

# 제6회 한국위험물학회 정기총회 및 학술대회 초록집

## – 지능정보시대의 화학안전 –

일 자\_ 2018년 8월 16일(목) 12:00 ~8월 17일(금) 13:00

장 소\_ BEXCO 제1전시장 1층~3층(부산)

### | 협 찬 |

한국가스안전공사, 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원,  
한국소방산업기술원, 한국화학연구원, 해양경찰연구센터, GS칼텍스(주),  
SK이노베이션(주), 한방유비스(주), (주)산청, (주)플리어시스템코리아, 브루커코리아(주),  
아이피상사, 선두전자(주), (주)유민에쓰티, (주)스코넥엔터테인먼트, 가천대학교,  
연세대학교 대학원 엔지니어링융합학과



# Contents

## IL

### 초청강연

- IL 4차 산업혁명과 위험물 안전의 비전 ..... 1  
신동일(명지대학교)

## A1

### 가스안전(1)\_한국가스학회 공동세션

- A101 도시가스배관 위험평가에 관한 연구 ..... 2  
조영도(한국가스안전공사)
- A102 하천횡단 배관에 대한 위험예측 방법 ..... 3  
이진한 · 김정훈 · 주유경 · 조영도 · 문종삼(한국가스안전공사)
- A103 위험지도기반 위험분석 시스템 구현 ..... 4  
오정석(한국가스안전공사)
- A104 플랜트 내 작업자 위치 인식 기반 리스크 그라데이션 시스템 개발 ..... 5  
이우귀연 · 오원식 · 오정석(한국가스안전공사)
- A105 산업용 밸브 사고 예방을 위한 취약위치 및 영향인자 분석 ..... 6  
김정훈 · 이진한 · 조영도(한국가스안전공사)
- A106 고압가스 무적용기 처리를 위한 천공기술 개발 ..... 7  
주유경 · 이우귀연 · 이진한(한국가스안전공사)
- A107 중·고압(18bar) 가스 배관 적용 매물형 플라스틱 개폐 밸브 개발 및  
적용에 관한 연구 ..... 8  
이종화((주)폴리텍)
- A108 가연성 가스 및 산소 사용 시 작업자 안전을 위한 역화방지기 ..... 9  
김종익((주)세화하이테크)
- A109 극저온 이동식 가스공급설비의 안전성 향상 방안 ..... 10  
단승균 · 윤익근 · 정호진 · 홍성경(한국가스공사 가스연구원)
- A110 국내·외 가스보일러 연통고정기준 비교 ..... 11  
류영돈 · 최슬기 · 유철희 · 조영도 · 문종삼(한국가스안전공사)

## A2

### 석유화학

- A201 에틸렌옥사이드의 안전밸브 대기배출 시 모델링 방법에 관한 연구 ..... 12  
조필래(한국교통대학교) · 이향직(광운대학교) · 백종배(한국교통대학교)
- A202 폭발사고사례를 통해서 본 가스감지기 측정값의 올바른 해석과 보완대책 ..... 13  
박승규 · 박용기 · 오상규(안전보건공단) · 백종배(한국교통대학교)
- A203 분출 산화에틸렌(Ethylene Oxide)의 적정처리 방안에 관한 연구 ..... 14  
입경민 · 안수빈 · 고하은 · 마병철(전남대학교 화학공학과)
- A204 여수 석유화학단지 사고예방을 위한 위험신호에 대한 연구 ..... 15  
백승현(케이알 코폴리머) · 권혁면(연세대학교) · 변헌수(전남대학교)
- A205 위험물 저장시설 누설검지 및 안전관리 개선방안 ..... 16  
장인철 · 강도석 · 노성혁(한국가스안전공사)
- A206 화관법 장외영향평가 위험도감소와 LOPA비교 ..... 17  
박진형(한국요꼬가와전기)
- A207 발포폴리스티렌 발포공정에서의 폭발위험장소 구분 및 화재 위험요인 파악 ..... 18  
천영우 · 김보민 · 김기석(인하대학교 환경안전융합)
- A208 SK인천석유화학 SHE 혁신모델 추진 ..... 19  
나상도(SK인천석유화학)
- A209 산성 화학물질 누출 시 향상된 염기중화제 선정에 관한 연구 ..... 20  
조철희 · 이민혁 · 이동원 · 김승룡(소방청 중앙119구조본부)

## A3

### 소방안전(1)\_화재안전

- A301 방독 마스크의 착용성 및 활동성 평가 기준 비교 연구 ..... 21  
노재현 · 박용환(호서대학교) · 김영수((주)산청)
- A302 방독 마스크의 착용성 및 활동성 평가 실험적 연구 ..... 23  
노재현 · 박용환(호서대학교) · 김영수((주)산청)
- A303 안전성을 더욱 향상시킨 SIL\_2 Wireless Gas Detector ..... 24  
박진형(한국요꼬가와전기(주))
- A304 재난재해 대비 유독가스 흡착용 마스크 필터 및 마스크 제품화 기술 개발 ..... 25  
김영수 · 박평규((주)산청) · 노호성(방재시험연구원) · 김태환((주)한소) · 박용환(호서대학교)
- A305 개방 및 구획화재의 최대 열발생률 비교 ..... 26  
윤홍석(대전대학교 대학원 방재학과) · 남동균(한국소방산업기술원) · 황철홍(대전대학교 소방방재학과)
- A306 FDS버전에 따른 플화재의 평균 화염높이 비교 ..... 27  
한호식 · 황철홍(대전대학교 소방방재학과) · 오창보(부경대학교 안전공학과)
- A307 재사용 및 제한적 화학보호복의 열적 성능 평가에 관한 연구 ..... 28  
박평규 · 김영수 · 윤병선((주)산청) · 노호성(방재시험연구원)
- A308 LOI가 뛰어난 내열섬유의 방열성능 연구 ..... 29  
박평규 · 김영수 · 윤병선((주)산청) · 노호성(방재시험연구원)
- A309 공조·제연 일체형 소방 댐퍼 도입 필요성에 관한 연구 ..... 30  
최규출(동원대학교) · 임태섭 · 송성범(벨리모서울(주))

A401	2017년 국내 화학사고 통계 및 분석 : 소방청 중앙119구조본부 중심으로	31
	<u>조철희</u> · 원옥경 · 권두효 · 석장후 · 이동원 · 김성연(소방청 중앙119구조본부)	
A402	유해화학물질 누출대응 모바일앱 개발	32
	<u>진항교</u> · 김한나 · 류병환(한국화학연구원)	
A403	대도시 소방관들의 화상에 의한 직업관련성 손상 발생특성	33
	<u>김수진</u> (서울특별시소방학교 소방과학연구센터)	
A404	냉동시설의 암모니아 폭발사례를 통한 폭발량과 과압 크기에 관한 연구	34
	<u>김지훈</u> (주)한국RMC)	
A405	화재현장 열기류 이동에 의한 화재성상 변화에 관한 연구	35
	<u>현성민</u> (서울동작소방서) · <u>이영병</u> (서울소방재난본부) · <u>안재성</u> (서울강동소방서) · <u>이상열</u> (서울강남소방서)	
A406	분진에 의한 화재폭발사고 저감을 위한 인화성고체의 제도개선 방안	36
	<u>한우섭</u> (한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원)	
A407	방염성고분자(Nylon 66)의 열분해 특성연구_반응역학 모델링 구축	37
	<u>권경옥</u> (전주대학교)	
A408	위험성평가 분석기법에 의한 위험물사고 원인조사 사례 연구	38
	<u>김인범</u> (경민대학교 소방안전관리과)	
A409	최근 대형 화재사례 분석을 통한 화재안전 대책에 관한 연구	39
	<u>이용재</u> (경민대학교 소방안전관리과)	
A410	울산항 취급화물의 TNT 당량에 따른 과압피해에 관한 연구	40
	<u>차정민</u> (경북전문대학교 소방안전관리과)	
A411	NCS를 기반으로 한 위험물안전관리 교과운영방안에 관한 연구	41
	<u>현성호</u> (경민대학교 소방안전관리과) · <u>차정민</u> (경북전문대학교 소방안전관리과)	

## A5

### 보건의료

- A501 국내 화학사고 의료대응 교육 현황 ..... 42  
왕순주 · 유학인 · 이승혜(한림대학교)
- A502 국내 화학사고 대응 교육 동영상 분석 ..... 43  
유학인 · 이승혜 · 왕순주(한림대학교)
- A503 불화수소 누출로 발생한 재난성 화학사고가 지역사회 정신건강에 미치는 영향 ..... 44  
윤성용(순천향대학교 구미병원) · 유승현 · 우극현 · 김진석 · 조성용(순천향대학교 구미병원) · 임현술(동국대학교 의과대학) · 안연순(동국대학교 일산병원) · 양원호(대구카톨릭대학교 산업보건학과)
- A504 응급구조사의 역량 강화를 통한 산업 안전관리 기여 방안 모색 ..... 45  
주정미(김해대학교 응급구조과)
- A505 산업현장에서 화학물질 누출에 의한 대량환자 발생시 환자분류 및 대응 ..... 46  
류지호(부산대학교 의학전문대학원)
- A506 지속적 신대체치료를 사용한 화학물질의 체외제거 ..... 49  
정진우(동아대학교 의과대학)
- A507 경주, 포항 지진의 경험과 보건의료대응 ..... 50  
최대해(동국대학교 의과대학)
- A508 화학물질의 직업적 노출 사고사례 및 관리현황 ..... 51  
윤성용(순천향대학교 구미병원)
- A509 화학사고시 증상 기반의 물질 추정 ..... 52  
왕순주 · 박주옥 · 이승혜 · 유학인 · 이정아 · 박향아(한림대학교)

## A6

### 해양안전

- A601 유럽표준분석기법(CEN methodology)을 이용한 경비함정 폐유탄류의 다환방향족탄화수소 분석에 관한 연구 ..... 53  
송인철 · 김형규 · 김만중(해양경찰교육원 해양경찰연구센터)
- A602 석탄 등 입자상 유해물질의 분석기법 개발에 관한 연구 ..... 54  
송인철 · 김형규 · 김만중(해양경찰교육원 해양경찰연구센터)
- A603 LNG 연료추진선박의 안전연구  
(Study on Safety of the LNG Fuelled Vessel) ..... 55  
장재식 · 박정훈((사)한국선급)

## A7

### 대학원생 구두발표

- A701 화학사고현장의 효과적인 대응을 위한 현장지휘체계의 개선방향에 대한 연구 ..... 56  
김희은 · 황용우 · 이익모 · 천영우(인하대학교)
- A702 Tetralin의 화재폭발특성치 측정 ..... 57  
김승환(세명대학교 대학원 소방방재공학과) · 이주현 · 진상우 · 오수빈 · 손민경 · 하동명(세명대학교 보전안전공학과)
- A703 저심도 터널에서 터널과 샤프트의 단면적비가 Plug holing에 미치는 영향에 대한 실험연구 ..... 58  
나준영(중앙대학교 기계시스템엔지니어링) · 유홍선(중앙대학교 기계공학과)
- A704 발전설비의 SCR에서 사용하는 환원제 변경에 따른 독성 위험성 비교 평가 ..... 59  
김기석 · 김보민(인하대학교 환경안전융합) · 황용우(인하대학교 환경공학)
- A705 관리 요소를 사용한 사고발생가능성 지표의 개발 ..... 60  
설지우 · 고재욱(광운대학교)

## A8

### 특별세션(1)\_테러 시뮬레이터(VR)

- A801 화학사고 대응을 위한 가상현실 기술의 교육적 적용 ..... 61  
김보경 · 김민선 · 윤이 · 황승율(화학물질안전원)
- A802 가상현실기반 화학사고 유형별 대응훈련 시나리오 개발에 관한 연구 ..... 62  
안수빈 · 임경민 · 고하은(전남대학교 화학공학과&화학공정안전센터) · 정창복 · 장희(전남대학교 화학공학부)
- A803 화학테러 대응훈련 시뮬레이터 개발을 위한 시나리오 개발 ..... 63  
오승현 · 이명석 · 조승식 · 은종화 · 문일(연세대학교)
- A804 화학시설 테러·물질누출 유형별 가상현실 프로그램 개발 ..... 64  
김성은 · 양효 · 이정훈 · 문성환 · 윤형준(주)유티이씨)
- A805 가상현실 훈련을 위한 화학사고 누출·확산 전산모사 분석 ..... 65  
조승식 · 오승현 · 최지원 · 권혁면 · 문일(연세대학교)
- A806 시나리오 기반 VR 시제품 개발 과정 및 이해 ..... 66  
이우성 · 송채훈 · 김지혜 · 김영미(스코넥엔터테인먼트)
- A807 폭발물테러대응을 위한 공항 안전활동 연구 ..... 67  
김태환(용인대학교) · 정진만(순천향대학교)

## A9

### 특별세션(2)\_과기정통부, 지능형 화재 플랫폼 고도화 전략

- A901 화재상황별 분석을 통한 화재예측 및 실화재 대응 플랫폼 개발에 관한 연구 ..... 68  
민세홍 · 이재문 · 임성빈 · 김재범 · 박은석(가천대학교)
- A902 지능형 실시간 화재예측경보시스템 구축에 관한 연구 ..... 69  
박은석 · 이재문 · 임성빈 · 김재범 · 최대현 · 민세홍(가천대학교)
- A903 전국 10년간 화재 통계의 규칙성 및 상관관계 분석 ..... 70  
민정기 · 임현석 · 이규민 · 우영제 · 조재우(한국건설생활환경시험연구원) · 민세홍(가천대학교)
- A904 화재상황별 분석을 통한 재난안전플랫폼 개발 연구 ..... 71  
최두찬 · 김희문 · 김학경 · 심해인 · 고민혁(한방유비스(주)) · 민세홍(가천대학교)
- A905 지능형 위험분석 피해예측 기반의 화재 상황 대응을 위한 플랫폼 고도화 연구 ..... 73  
김성은 · 양효 · 이정훈 · 문성환 · 윤형준(주)유티이씨) · 민세홍(가천대학교)
- A906 도심지 빌딩 화재 및 재난 상황 전파시스템에 대한 연구 ..... 74  
이승형 · 안병덕(주)에이앤디시스템) · 민세홍(가천대학교)
- A907 빅데이터 머신 러닝 기술을 이용한 소화전 모니터링 시스템 ..... 75  
김광국 · 김윤상 · 김용한(주)케이엠에스) · 민세홍(가천대학교)
- A908 데이터 기반 인공지능을 활용한 지역별 화재예측 및 대응정보 최적화 ..... 76  
홍석영(연세대학교) · 민세홍(가천대학교) · 조성현 · 장교진 · 문일(연세대학교)

## B1

### 가스안전(2)

- B101 내부식성 타입4 공기호흡기용 용기 개발 ..... 77  
조성민 · 노경길 · 염지용 · 문종삼 · 이승국(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- B102 진공단열 방식의 IMO Type C LNG 연료탱크의 단열성능 평가 ..... 78  
조상훈 · 심명지(주)엔케이)
- B103 TiO<sub>2</sub> 광촉매를 코팅한 유리섬유 필터의 톨루엔 제거특성에 관한 연구 ..... 79  
전병준 · 손걸 · 신동훈(국민대학교 일반대학원 기계공학과)
- B104 소형 열병합발전기 내연기관 발전 시스템 안전성능 평가기술 분석 ..... 80  
김소현 · 이은경 · 김민우 · 이정운(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- B105 가스엔진을 사용하는 m-CHP 시스템의 위험요소 분석 ..... 81  
김민우 · 이은경 · 이정운(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- B106 스퍼터링 방법으로 제조된 알칼라인 수전해용 Raney Ni 전극의 전기화학적 특성 평가 ..... 82  
한원비 · 조현석 · 조원철 · 김창희(한국에너지기술연구원)
- B107 풍력-수전해-연료전지 연계시스템 위험요소 분석 ..... 83  
김지혜 · 이은경 · 김민우 · 오건우 · 이정운 · 문종삼(한국가스안전공사)
- B108 멀티스케일 아키텍처링을 통한 고성능 연료전지 구현 ..... 84  
장세근(한국과학기술연구원) · 김성준(서울대학교 화학생명공학부) · 김상문(인천대학교 기계공학과) · 최만수(서울대학교 기계항공공학부) · 유성종(한국과학기술연구원)
- B109 가상현실기반 가스사고 예방 안전 훈련 연구 ..... 85  
유철희 · 윤혜주 · 이효렬 · 조영도(한국가스안전공사 가스안전연구원)

## B2

### 위험물 운송

B201	항만의 위험물 컨테이너 관리 개선방안 .....	86
	최나영환 · 박상원 · 신수용(한국해양수산개발원)	
B202	부산항 위험물질 안전관리 방안 .....	87
	최동호(부산소방안전본부)	
B203	다국적 물류기업의 위험물 운송관리 시스템 .....	88
	신세철(페덱스 코리아)	
B204	위험물질 수송차량의 유형별 교통사고 분석 연구: 국내 고속도로를 중심으로 .....	89
	홍정열 · 박동주(서울시립대학교) · 최윤희(도로교통연구원)	
B205	위험물 도로운송 안전관리를 위한 ICT 기반의 관리방안 .....	90
	송윤태((주)플래티늄건설팅)	
B206	국제 위험물 운송규칙(UN-RTDG) 안전관리 방안 .....	91
	이봉우 · 이기준(한국소방산업기술원)	
B207	위험물질 운송 사고대응 체계 방안 .....	92
	최찬일(부산 해운대 소방서)	

## B3

### 소방안전(2)\_화재폭발

B301	정량적 위험성평가를 활용한 액화염소 누출사고의 비상대응 및 대피방안 수립에 관한 연구 .....	93
	박중민 · 김동준(경일대학교)	
B302	RCA가 적용된 사고조사를 통한 혼산 저장탱크 안전성 향상방안 .....	94
	권남호 · 김동준(경일대학교)	
B303	불산누출 및 확산에 따른 비상조치계획 수립에 관한 연구 .....	95
	권용중 · 김동준(경일대학교)	
B304	산업현장 질식재해 예방을 위한 사례연구 .....	96
	최영택 · 김동준(경일대학교)	
B305	폭풍위력 평가를 위한 압력파의 가시화 .....	97
	김동준(경일대학교)	
B306	소각스팀보일러의 폭발사고사례에 관한 연구 .....	98
	이형섭 · 권용중 · 최영택(안전보건공단)	
B307	전기자동차 내 리튬이온전지 화재로부터 발생하는 독성가스의 위험성 분석 .....	99
	정승호 · 오의영 · 한지윤 · 윤자연(아주대학교)	

## B4

### 유해위험물 탐지

- B401 Selective Detection of Hazardous Gases using miniaturized-GC ..... 100  
이우영(연세대학교)
- B402 Portable chemiresistive gas analysis system for the Detection of Nitrogen-based Hazardous Gases ..... 101  
이진상((주)엑센도)
- B403 Development of electro-chemical sensor system for detection of residual microorganisms in tap water ..... 102  
전성찬(연세대학교)
- B404 Detection of Nitrogen Containing Compound Gases ..... 103  
맹성렬(우석대학교)
- B405 2D materials for low power consumption chemoresistive sensor array ..... 104  
장호원(서울대학교) · 박서연 · 김태훈
- B406 Detection and visualization of hazardous gases using FTIR technology ..... 105  
노영섭 · 조승필(브루커코리아) · Peter Maas · Armin Gembus (Bruker Optik GmbH)

## B5

### 원자력안전

- B501 제일원리 전산 방사화학을 이용한 사용후 핵연료의 응용염속 거동 이해 ..... 106  
권초아 · 한병찬(연세대학교 화공생명공학부)
- B502 고온 LiCl-KCl 용융염 내 우라늄(III) 흡수분광 특성 규명 ..... 107  
지영택 · 윤종일(한국과학기술원)
- B503 Lanthanum의 이종금속합금 형성에 의한 공침적 추출 ..... 108  
김범규 · 한화정 · 김원기 · 박병기(순천향대학교)
- B504 고온 수용액 환경(10-85°C)에서의 삼성분 칼슘 우라닐 카보네이트 화학종의 화학 열역학 특성 규명 ..... 109  
조용훈 · 윤종일(한국과학기술원)
- B505 중·저준위방사성폐기물 표층처분시설 안전성평가를 위한 보조안전지표의 적용 연구 ..... 110  
한술찬 · 윤종일(한국과학기술원)
- B506 방사성동위원소의 위치 추적 및 핵종판별을 위한 섬광체 광섬유 방사선 센서시스템의 개발 ..... 111  
신상훈 · 송시원 · 신현영 · 변현기 · 박재형 · 이봉수(중앙대학교)
- B507 TRACE를 이용한 APR1400형 원전에서의 LBLOCA 해석 ..... 112  
이영재 · 김태완(인천대학교) · 정애주(한국원자력안전기술원)
- B508 분리형 계산영역을 이용한 두께 기반 크러드 성장 예측 코드 개발 및 민감도 분석 평가 ..... 113  
조윤식 · 손홍현 · 김성중(한양대학교) · 박병기(순천향대학교) · 신호철 · 이환수(한국수력원자력 중앙연구원)
- B509 CaF<sub>2</sub>(Eu) 무기섬광체 방사선 센서 시스템을 이용한 알파/감마 동시측정 ..... 114  
송시원 · 신상훈 · 신현영 · 박재형 · 변현기 · 이봉수(중앙대학교)

## B6

### 환경안전

- B601 유해화학물질 저장탱크 누출계적 평가모듈 개발 연구 ..... 115  
유병태 · 이은별 · 권동욱 · 김민수 · 윤준현(화학물질안전원)
- B602 설비간 최소안전거리 설정을 위한 최대 상정 누출 크기 결정에 관한 연구 ..... 116  
윤익근 · 단승규 · 정호진 · 홍성경(한국가스공사 가스연구원)
- B603 미국의 화학테러 관리 ..... 117  
하규만 · 박희영 · 이성운(환경안전연구원)
- B604 네트워크 모델을 이용한 화학시설 취약성 평가 ..... 118  
박천탁 · 임동현 · 박다성 · 김유진 · 최신희 · 민미미 · 정승호(이주대학교)

## B7

### 특별세션(3)\_4차산업혁명과 위험물안전

- B701 위험물 운송차량 추적관리 시스템에 관한 연구 ..... 119  
권성필 · 이봉우(한국소방산업기술원)
- B702 가상현실기반 가스사고 예방 안전 훈련 연구 ..... 120  
윤철희 · 윤혜주 · 이효렬 · 조영도(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- B703 IoT 기반 유해화학물질 감지 화학센서 및 재난안전관리 통합시스템 ..... 121  
김근호((주)메티스) · 권성필(한국소방산업기술원) · 노시갑((주)플로우테크)
- B704 안전 분야 4차 산업혁명 핵심기술 적용 사례 ..... 122  
민광기((주)이씨마이너)
- B705 4차 산업혁명 시대의 재난안전 정책동향 ..... 123  
정윤환(행정안전부 안전기획과)

## P

### 포스터 발표

- P01 Reactors Failure Scenarior을 기반으로 한 사고발생빈도 산출 ..... 124  
강동천 · 황용우 · 이익모 · 천영우(인하대학교)
- P02 NF3 생산라인의 Non-Seal Pump 폭발 사고에 관한 법공학적 연구 ..... 125  
김의수(한국교통대학교 산업경영안전공학부)
- P03 가연성 3성분계의 자연발화특성 ..... 126  
김승환 · 한중기 · 유승돈 · 박수진 · 장영철 · 하동명(세명대학교)
- P04 가연성/가연성 2성분계 혼합물의 인화점 예측 ..... 127  
김승환 · 이성진 · 이주현 · 김민정 · 양유환 · 이원희 · 하동명(세명대학교)
- P05 가연성과 난연성 3성분계의 최소자연발화온도 측정 ..... 128  
김승환 · 최병일 · 김귀주 · 나병균 · 하동명(세명대학교)

- P06 금속 절단 시 발생하는 에어로졸 물리 화학적 특성평가 ..... 129  
양원석 · 채낙규 · 이민호 · 최성열(한국과학기술원)
- P07 핵 테러 현장 검출을 위한 레이저 유도 파열 분광 분석 평가 ..... 130  
이윤우 · 최성열(한국과학기술원)
- P08 통합 훈련을 위한 중앙사고수습본부용 유해화학물질 유출사고 대응 시나리오 개발 ..... 131  
김영진 · 오승현 · 허종찬 · 은종화 · 문일(연세대학교)
- P09 유해화학물질 포집장치 및 방재제 살포장치를 포함한 차량탑재형 방재장비 설계 및 테스트용 시제품 개발 ..... 132  
박진우 · 윤형준(연세대학교) · 서명재 · 최창윤(제이엔케이허티) · 문일(연세대학교)
- P10 폭발성 폐기물 소각을 위한 유동층 반응기 최적 설계 ..... 133  
조성현 · 박찬호 · 조형태 · 문일(연세대학교)
- P11 주거지역을 고려한 화학물질 누출시나리오 기반의 화학단지 내 설비 최적배치 연구 ..... 134  
이광희 · 유병길 · 김영진 · 문일(연세대학교)
- P12 병원시설 내 아날로그 광전식 연기감지기의 비화재보에 관한 연구 ..... 135  
김홍관 · 천영우 · 고평훈 · 박종필(인하대학교 대학원) · 이익모(인하대학교)
- P13 수소 누출 사고 발생시 안전성 확보를 위한 자연환기 및 강제환기 연구 ..... 136  
이재원 · 조승식 · 최지원 · 김민수 · 허종찬 · 문일(연세대학교)
- P14 설문조사를 통한 가스안전훈련 시스템 개선방안 연구 ..... 137  
윤혜주 · 유철희 · 이효렬 · 조영도(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- P15 First-Principles Computational Study on Spontaneous Reduction Reaction of  $\text{Eu}^{3+}$  in a  $\text{LiCl-KCl}$  Molten Salt ..... 138  
권초아 · 노승효 · 전호제(연세대학교) · 황일순(서울대학교) · 한병찬(연세대학교)
- P16 알루미늄 도핑된 산화아연 입자의 Pt 촉매 적용을 통한 아세톤 검지 성능 향상 연구 ..... 139  
유란 · 구아란 · 우성필 · 이현숙 · 이우영(연세대학교 신소재공학과)
- P17 원자로냉각재계통 내 부식생성물 거동을 추정하기 위한 선원항 모델링 방법 연구 ..... 140  
한화정 · 김범규 · 김원기 · 박병기(순천향대학교)
- P18 유동층반응기를 포함하는 더블베이스 추진제 배기가스의 후처리 공정 공정도 개발 ..... 141  
황래문(연세대학교) · 김현수 · 박정수(국방과학연구소) · 오민(한밭대학교) · 문일(연세대학교)
- P19 유동층 소각로 내부에서의 Double based propellant 소각 공정 모사 및 사례 연구를 통한 안전 연소 조건 도출 ..... 142  
이지현(연세대학교) · 김현수 · 박정수(국방과학연구소) · 오민(한밭대학교) · 문일(연세대학교)
- P20 방호벽을 이용한 화학물질 누출사고 피해 감소전략 ..... 143  
유병길 · 이광희 · 문일(연세대학교)

P21	CFD를 이용한 fluidized bed 혼합 효율 분석-폐 탄약 처리 기반 연구 .....	144
	박찬호 · 이지현(연세대학교) · 김현수 · 박정수(국방과학연구소) · 오민(한밭대학교) · 문일(연세대학교)	
P22	First-Principle Study on Stability of He in Spent Nuclear Fuels after alpha decay .....	145
	이관평 · 권초아 · 한병찬(연세대학교)	
P23	LNG 연료 추진 선박 엔진 내 가연성 증기로 인한 폭발 방지 장치 연구 .....	146
	이효렬 · 유철희(한국가스안전공사 안전연구실)	
P24	물리탐사를 이용한 위험물질 저장소 주변 지반의 안정성 검토방안 .....	147
	김우석 · 권오일 · 백용 · 정재형 · 이종현 · 김동민(한국건설기술연구원)	
P25	이미지데이터를 활용한 원자력시설의 안전성 평가기법 .....	148
	김우석(한국건설기술연구원)	
P26	하천매설배관의 위험성 및 매설심도 기준 분석 .....	149
	박우일 · 문종삼 · 조영도 · 유철희 · 류영돈(한국가스안전공사)	
P27	위험도 정량화에 기반한 장외영향평가 개선 연구 .....	150
	최우수 · 곽솔림 · 이지은 · 임형준 · 정진희 · 류태권 · 김정근 · 류지성(화학물질안전원)	
P28	장외영향평가 안전성 확보방안의 개시사건 및 빈도 분석의 정확도 개선을 위한 연구 .....	151
	곽솔림 · 최우수 · 이지은 · 정진희 · 류태권 · 임형준 · 허화진 · 류지성 · 김정근(화학물질안전원)	
P29	실내 염소 취급시설의 유효누출면적에 따른 틈새를 통한 누출량 및 피해범위에 관한 연구 .....	152
	곽솔림 · 이은별(화학물질안전원) · 최영보(충북대학교)	
P30	도시가스 가스시설의 안전 및 IoT기술적용 위한 연구 .....	153
	지현민 · 이우귀연(한국가스안전공사)	
P31	CNN 기반 IR 영상 분석을 통한 가스 시설 내 작업 감지 .....	154
	오원식 · 이우귀연 · 오정석(한국가스안전공사)	
P32	산업재해현황 분석(화학물질 누출·접촉)을 통한 화학물질 유해성·위험성 정보전달의 중요성 .....	155
	홍문기 · 최보경 · 김기웅(한국산업안전보건공단)	
P33	화학물질 누출 및 접촉에 의한 사고사망 사례 분석 .....	156
	서동현 · 이근원(한국산업안전보건공단)	
P34	지르코늄 레이저 용접공정 발생 미세분진의 열적안정성 평가 .....	157
	이정석 · 최이탁 · 이근원(한국산업안전보건공단)	
P35	소규모 장외영향평가서 작성대상 사업장의 유해화학물질 소량기준 R값 산정 사례 분석 .....	158
	정진희 · 임형준 · 이지은 · 곽솔림 · 최우수 · 류태권 · 김정근 · 허화진 · 류지성(화학물질안전원)	
P36	인터넷 상 화학물질 불법 유해정보 현황 고찰 - 화학물질 사이버감시단 신고 사례를 중심으로 - .....	159
	임지영 · 전다영 · 황반식 · 송기봉 · 이상목 · 류지성 · 이지호(화학물질안전원)	

- P37 유해화학물질 구체적인 취급기준 체계 마련 연구 ..... 160  
황만식 · 임지영 · 전다영 · 송기봉 · 이상목 · 류지성 · 이지호(화학물질안전원)
- P38 국내 유해화학물질 영업자 취급실적 현황분석 ..... 161  
황만식 · 임지영 · 전다영 · 송기봉 · 이상목 · 류지성 · 이지호(화학물질안전원)
- P39 장외영향평가지 물반응성 물질 누출 시나리오 영향범위 비교분석 ..... 162  
임형준 · 정진희 · 류태권 · 곽솔림 · 최우수 · 이지은 · 김정근 · 류지성(화학물질안전원)
- P40 액적과 입자간 체적 비에 따른 이중 액적 증발 특성 연구 ..... 163  
성건혁(중앙대학교) · 노경철 · 고권현(동양대학교)
- P41 국가화재정보시스템의 화재통계를 통한 시·도별 화재 발생요인  
분석에 관한 연구 ..... 164  
최대현 · 민세홍(가천대학교)
- P42 덕트 형상인자 변화에 따른 콘칼로리미터의 발열량 측정 결과 분석 ..... 165  
신연제 · 유우준(동양대학교 건축소방안전학과)
- P43 구획 공간에서 연소시간 변화에 따른 액체 가연물의 연소율 경향 분석 ..... 167  
박정욱 · 유우준(동양대학교 건축소방안전학과)
- P44 Natech에 의한 화학물질 저장시설의 위험성 평가 ..... 168  
박제혁 · 연웅진 · 박천탁 · 곽종범 · 정승호(아주대학교 화학공정안전연구소)
- P45 취약계층을 고려한 독성물질 누출 시 위험성 평가 ..... 169  
이학태 · 이병우 · 곽종범 · 박제혁 · 장세련 · 정승호(아주대학교)
- P46 위해관리계획의 주민고지도 한계점 개선 방안 연구 ..... 170  
이명지 · 신수빈 · 서경석 · 김수미 · 신창현 · 윤준현(화학물질안전원)
- P47 GRIN 렌즈를 이용한 감마 핵종 분석용 광섬유 방사선 센서시스템의 개발 ..... 171  
신현영 · 김지예 · 송시원 · 박재형 · 변현기 · 신상훈 · 이봉수(중앙대학교)
- P48 방류벽 설계조건에 따른 유해화학물질의 영향성 평가 ..... 172  
민동석 · 민미미 · 정승호(아주대학교)
- P49 수소전기차 저장용기의 내구성 평가 기준 분석 ..... 173  
염지윤 · 조성민 · 이승국 · 문종삼(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- P50 복합소재 용기의 돔 형상 안전설계 방안 연구 ..... 174  
노경길 · 조성민 · 이승국 · 문종삼(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- P51 Type3 수소저장 복합재료용기 수압반복시험 피로 거동 연구 ..... 175  
성혜진 · 조성민 · 이승국 · 문종삼(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- P52 Type3 복합재 용기 내 상온수압반복시험 시 공기 유입에 따른  
온도 변화 연구 ..... 176  
김다운 · 조성민 · 이승국 · 문종삼(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- P53 지능형가스미터 무선검침 데이터 유효성 및 시험방법에 관한 연구 ..... 177  
김민준 · 오동석 · 오정석(한국가스안전공사 가스안전연구원)

**P****포스터 발표**

P54	Real-time detection of 2-CEES by Al-doped ZnO Quantum dots ..... 178 <u>이준호</u> · 정희봉(연세대학교 신소재공학과) · 최용삼(iSenLab) · 이우영(연세대학교 신소재공학과)
P55	소듐 에어로졸 누설 감지 기술에 관한 연구 ..... 179 <u>감다영</u> · 정민환 · 정지영(한국원자력연구원)
P56	Enhanced Sensing Properties of ZnO Quantum Dots for Detection of Isoprene ..... 180 <u>박윤지</u> · 유란 · 박승렬 · 이준호 · 정희봉 · 이우영(연세대학교 신소재공학과)
P57	양자 산화 아연 입자 및 소형 가스 크로마토그래피 컬럼을 이용한 고선택성의 호기 아세톤 검지 장치 ..... 181 <u>정희봉</u> · 조원희 · 유란 · 이현숙(연세대학교) · 최용삼((주)아이센랩) · 전용관 · 이우영(연세대학교)
P58	Al, In 도핑한 ZnO Quantum Dots의 아세틸렌 검지 특성 ..... 182 <u>박민선</u> · 유란 · 구아란 · 박윤지 · 이현숙 · 이우영(연세대학교 신소재공학과)
P59	CPMS 정보와 RBDA를 활용한 위험순위 도출 프로그램 개발 ..... 183 <u>오동석</u> · 이진한(한국가스안전공사 가스안전연구원)
P60	High-Performance Hydrogen Sensors based on Pd-coated SnO <sub>2</sub> Nanorod Arrays for Detection of H <sub>2</sub> in Air and Oil ..... 184 <u>김민형</u> · 장병진 · 이우영(연세대학교 신소재공학과)

<b>Author Index</b> ..... 185
-------------------------------



## 4차 산업혁명과 위험물 안전의 비전

신동일<sup>†</sup>

명지대학교 화학공학과·재난안전학과

### Industry 4.0 and Safety Vision of Hazardous Materials

Dongil Shin<sup>†</sup>

Department of Chemical Engineering, Myongji University, Yongin, Gyeonggido 17058, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: dongil@mju.ac.kr

가까이는 Industry 4.0과 조금 멀리는 4차 산업혁명의 대두를 앞두고 산업 및 우리 삶 전반에 걸친 변화의 물결에 대한 논의가 뜨겁다. 산업안전보건법의 전부개정에 더해, 선진국형 negative 규제방식의 추진에 대한 공감대가 깊어가는 현 상황에서, 빅데이터, 인공지능 등 4차 산업혁명 핵심 기술들이 가져올 여러 변화들, 특히 위험물 안전과 관련한 연구사례 및 발전방향에 대해 본 발표에서는 논의하고자 한다.

자율주행차의 성숙은 충돌리스크의 감소에 따른 보다 많은 플라스틱의 사용을 가져오고 이에 따른 철강산업의 급격한 변화가 예견되는 등 위험물의 양적·질적 사용 변화 또한 우리 삶 및 산업의 변화와 궤를 같이 하기에 “paradigm shift”를 앞둔 상황에서, 패러다임의 선구자가 되기 위한 위험물 관련 종사자의 논의의 장을 아울러 제공하고자 한다.

경험기반, 이론기반, computation 기반, data 기반으로 연구의 패러다임 또한 변화하고 있고, 혹자는 “이론의 종말”을 천명하고 있는 현실에서, 부족할 수 밖에 없는 사고사례의 축적이 지능 정보 신기술의 활용을 제한하고 있다면, 기업의 이익을 저해하지 않는 방법으로, 국내 또는 해외 관련사들의 data 공유를 통한 안전 빅데이터의 구축 및 공동활용에 대해서도 향후 협력방안을 제시하고자 한다.

특히 4차 산업혁명의 핵심기술로 예지정비를 비롯한 예측력의 증대가 당장 활용가능한 신기술로 대두되고 있는 상황에서, 예지정비, 작업자 및 현장의 지능형 영상 모니터링 등 가깝게 다가온 AI기반 위험물 안전 기술의 활용에 대해서도 논의하고자 한다. 기계학습의 효율적인 bias로써 요구되는 현장지식의 체계적 축적, 강화학습의 활용과 더불어, IBM, 구글, 마이크로소프트 및 국내 AI 플랫폼의 연계활용에 대해서도 산업계, 학계의 의견을 구하고자 한다.

## 도시가스배관 위험평가에 관한 연구

조영도<sup>†</sup>

한국가스안전공사

## A Study of Risk Assessment of Natural Gas Pipeline

Young-Do Jo<sup>†</sup>

Korea Gas Safety Corporation

<sup>†</sup>Corresponding author: ydjo@kgs.or.kr

천연가스 배관은 가스를 다른 지역으로 수송하기 위한 수단으로, 가스를 공급받는 도시가스 사나 공장은 가스공급지역으로부터 수 백 미터 또는 수십 킬로미터 떨어져 있으며, 가스수송용 배관은 직경이 수 미터까지 되기도 하고, 농촌지역 또는 인구밀도가 높은 도심지역을 통과하기도 한다. 이러한 연유로 가스배관의 파손사고에 의하여 근방에 있는 건물이나 인명에 심각한 피해를 유발할 수 있다. 이러한 천연가스배관의 위험영역은 가스누출속도는 대부분 음속이상이고 압력의 제곱근에 비례하며 수 100미터에 이른다. 따라서 천연가스 배관의 안전관리가 매우 중요하다. 배관의 경우 선상으로 위험 원이 형성되어 있으므로 수많은 짧은 배관으로 나누어 위험을 평가하는 방법을 현재 구미에서 활용하고 있다. 일반적으로 도심통과 배관의 위험은 개인적 위험보다 사회적 위험에 더욱 관심을 가지게 된다. 사회적 위험은 한 번의 사고로 N명 이상의 사상자가 발생할 수 있는 누적된 사고빈도로 표현한다. 그러나 사회적 위험을 계산에는 여러 가지의 사고시나리오를 가정하여 사망자 수에 대한 면 적분을 반복적으로 하여야 하므로 매우 많은 계산이 수반되고 또한 지리정보시스템과 연계하여 배관의 루트 변경 또는 관리요소 변경에 따른 위험 영향을 해석에 이용하는데 있어서 계산속도가 문제될 수 있다.

본 연구에서는 치명적 배관길이 개념을 도입하여 도시가스배관의 개인적 위험평가를 간략하게 지리정보시스템에서 도식적으로 산출할 수 있는 방법을 제시하였다. 개인적 위험성을 근거로 천연가스배관과 건물과의 최소이격거리를 정할 경우, 최소이격거리는 배관의 운전압력의 제곱근에 비례하고, 배관의 직경에 비례함을 알 수 있었다. 개인적 위험성을 10-5/년으로 하여 건물과 최소이격거리를 정할 경우 최소이격거리는 적은 직경의 경우 수 십 미터에서 대구경의 경우 수 백 미터까지 이르게 된다. 또한 사회적 위험을 배관사용 이력 등을 고려하여 도식적으로 계산할 수 있는 방법을 제시하였다.

## 하천횡단 배관에 대한 위험예측 방법

이진한 · 김정훈 · 주유경 · 조영도 · 문종삼

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Hazard Analysis Methodology for Water Crossing Gas Pipeline

Jin-Han Lee · Jung-hoon Kim · Yu-Kyoung Joo · Young-Do Jo · Jong-Sam Moon

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

<sup>†</sup>Corresponding author: imhappy@kgs.or.kr

우리나라의 경우 가스배관을 하천을 통과하여 매설하는 경우 현행 도시가스사업법에 따라 하천의 특성에 관계없이 최소 4 m이상 심도로 매설한다. 그러나 매설 후 하천에서 발생하는 홍수 등 지질학적 원인뿐만 아니라 준설 확장 등 각종 하천정비 사업으로 인해 하천의 하상이 변동이 발생하고 있다. 그럼에도 불구하고 이런 하상변동에 대응하여 하천매설배관을 안전하게 관리하기 위한 유지관리 방법에 대한 기술기준이 부재한 실정이다.

우리나라와 달리 선진 외국의 경우 하천에 배관을 매설하고 자 하는 경우 하천의 침식 등 배관의 안전성에 미칠 수 있는 영향을 사전에 평가한 후 그 평가결과를 반영하여 경로와 매설 깊이를 결정한다. 영국의 경우 가스공급배관(16bar이하) 기준인 IGE TD/3에 따르면, 하천 횡단 시 예측 가능한 사건의 발생가능성과 그 사건에 따른 피해영향을 확인, 확인된 위험을 경감할 것을 규정하고 있으며, 호주의 경우도 배관설계 및 설치기준인 AS 2885.1에 따르면 모든 배관경로에 대해 환경영향평가를 실시해야 하며, 하천횡단의 경우 지질학적, 수리학적 조사 한 후 침식을 고려하여 설계하도록 규정하고 있다. 미국의 경우도 최소 매설 깊이(1.2 m)에 예상되는 침식깊이를 더하여 매설하고 있다. 이렇게 위험을 사전에 평가한 경우에도 주기적 모니터링을 통해 위험을 경감할 수 있도록 관리하고 있다.

본 연구에서는 해외 사례를 토대로 하천에 매설된 배관에 가해지는 위험요소를 단계별로 분석하는 방법을 제안하였다. 먼저 하천매설 배관의 물에 노출되는 세굴, 제방침식 등의 위험요인에 대해 수리학적 관점에서 고찰하였으며, 다음으로 노출된 배관이 하천의 흐름방향으로 발생하는 동수력하중에 의한 굽힘응력 손상과, 와유기진동에 따른 손상 등 노출된 배관의 손상메커니즘을 구조학적 안전성을 관점에서 고찰하였다. 다음으로 배관이 파손되었을 때 가스누출로 인해 발생할 수 있는 피해영향분석 방법을 검토하였다. 한편, 수리학적 분석을 통해 얻은 배관의 수중 노출빈도와 수중에 노출된 배관의 배관이 파괴되어 가스가 누출되는 사고빈도는 구조적 분석을 통해 예측할 수 있다. 또한, 누출 사고 시 착화되는 경우 복사열로 인한 피해는 관경과 압력의 함수로 예측할 수 있다. 이렇게 예측된 사고 빈도와 피해영향을 곱하면 매설된 배관의 위험을 정량적인 관점에 예측할 수 있다. 이 정량적인 위험예측 방법의 장점은 다양한 유지관리 시나리오를 적용하여 위험을 정량적으로 예측하여 각 시나리오 별로 비교해 봄으로써 가장 효과적인 유지관리에 방안을 찾는 데 유용하게 활용할 수 있다는 것이다.

## 위험지도기반 위험분석 시스템 구현

오정석

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Development of Risk Analysis System based on RiskMAP

JeongSeok Oh

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

<sup>†</sup>Corresponding author: js0h90@gmail.com

위험지도기반 위험분석은 4개의 접근관점에서 개별적 위험도를 산출하고 산출한 위험도를 통합하는 과정을 거친다. 첫 번째 개별적 위험도는 단위 지역에 대한 화재, 누출, 폭발에 대한 사고 확률을 구하여 사고 개연성 정도를 판별한다. 두 번째 개별적 위험도는 가스시설의 상태 열화(부식, 피로 등) 정도를 도출하여 가스시설에 대한 건전도(또는 신뢰도)를 구한다. 세 번째 개별적 위험도는 작업자가 작업을 수행할 때 오류율을 계산하며, 네 번째 개별적 위험도는 주변 환경의 변화와 예기시 못한 상황에 대한 위험을 산출한다. 이러한 다른 단위의 위험도는 위험순위방식에서는 정규화 수행을 통해 동일한 단위 형태로 변환되고 이를 결합하여 최종 위험도로 선정하며 위험 등급 방식은 4개의 개별적 위험도를 각 기준에 따라 등급화하고 API 위험 테이블을 통하여 상호 등급화하여 하나의 위험등급으로 산출한다.

위험지도기반 위험분석 시스템은 사태분석 모듈과 사고 예측 모델의 유기적인 결합과 동시에 상위 응용 서비스와 하위 데이터 수집 인프라가 독립적으로 구동되는 엔진을 개발하며 크게 4개의 구성요소가 있다. 첫 번째 위험지도 연동기는 플랜트, 공장을 지역별로 위험을 표시(rendering)해주는 모듈이다. 두 번째 통합 위험분석기는 위험 매트릭스기반 분석 방법과 위험 순위기반 분석 방법으로 위험을 분석하며 두 방법은 독립적이며 동시에 수행하여 위험결과를 표시할 수는 없다. 위험 매트릭스기반 분석 모듈은 단위지역 초기 위험등급(A~E), 상태열화모델기반 위험등급(A~E), 작업 위험등급(A~E), 지능형 위험등급(A~E)을 산출하는 4개의 세부 모듈과 하나의 단위지역 위험등급으로 통합하는 통합 세부모듈이 있다. 위험순위기반 분석 모듈은 단위지역 초기 위험지수(정량적 수치), 상태열화모델 기반 위험지수(정량적 수치), 작업 위험지수(정량적 수치), 지능형 위험지수(정량적 수치)를 산출하는 4개의 세부모듈과 하나의 위험지수로 통합하는 통합 세부 모듈로 구성된다. 세 번째 데이터 관리자는 효율적으로 데이터를 검색하고 대용량의 데이터를 관리하는 모듈이며 데이터베이스는 위험분석에 필요한 시설정보, 센서 데이터, 표준 데이터, 작업 데이터 등을 저장하고 있다. 데이터베이스 테이블 종류로는 시설정보 테이블, 물질 테이블, 작업 테이블, 주변환경 테이블, 표준 데이터 테이블, 작업자 테이블, 시설 상태 테이블이 있으며 유기적인 조인(Join) 결합에 의해 정보를 생성한다.

\*\* “본 연구는 과학기술정보통신부에서 지원하는 ICT융합산업원천기술개발사업(과제번호 : 2017-01948, 과제명: 산업용 사물인터넷(IIoT)기반 이동형 센싱 플랫폼을 이용한 고위험시설물 지능형 재난 상황 정보제공 및 의사결정시스템)의 지원으로 수행되었습니다.”

## 플랜트 내 작업자 위치 인식 기반 리스크 그라데이션 시스템 개발

이우귀연<sup>†</sup> · 오원식 · 오정석

한국가스안전공사

### A Development of Risk Gradation System based on Worker Location Sensing in Chemical Plant

Ugwiyeon Lee<sup>†</sup> · Wonsik Oh · Jeongseok Oh

Korea Gas Safety Corporation

<sup>†</sup>Corresponding author: lyullee@gmail.com

한국가스안전공사는 한국과학기술연구원, (주)리텍, 한국전자기계융합기술원과 함께 작업자 위치정보를 기반으로 하는 실시간 위험도 모니터링 시스템을 구축하고 있다. 작업자는 소형 단말기 형태의 위치 정보 시스템을 부착하게 되며, GPS대신 LORA, LTE, WiFi 신호 등의 송수신을 통해 시스템은 작업자의 위치 정보를 파악할 수 있다. 작업자의 위치 정보는 플랜트의 안전 모니터링에 매우 유용하게 사용될 수 있다. 비인가자를 제한하고, 위험 지역 내 작업자의 위치 정보를 알 수 있으며, 작업자 이동 경로를 최적화 할 수 있다. 하지만, 작업자 입장에서 자신의 위치정보를 실시간으로 시스템에 전달하는 것에 대하여 부정적인 관념을 가질 수밖에 없다. 리스크 그라데이션 시스템은 이러한 단점을 보완하기 위해 고안되었다. 자신의 위치 정보를 메인 시스템으로 전송되지 않고, 작업자가 부착하고 있는 소형 단말기에서만 위치정보를 사용한다면 반감을 최소화 할 수 있다. EIGA Doc 75를 활용하면 위험 시설로부터 안전거리를 Harm, No Harm 두 가지 기준으로 산정할 수 있다. Harm은 사고 발생 시 작업자 위해 빈도가 1% 이상인 지역이며, No Harm은 작업자 위해 빈도가 0.1%인 지역이다. EIGA Doc 75는 두 가지 기준에 대한 임계값(Threshold) 정보를 제공한다. 두 가지 임계값을 직선으로 연결하면, 피해영향(폭발압, 복사열, 독성 등)에 대한 위험 정도를 대략적으로 유추가 가능하다. 이 직선과 위험 정도에 따라 색의 농도를 반영하면, 위험지역을 단순히 특정 범위의 영역으로 표시하는 것이 아니라, 위험도에 따라 색의 농도로 표현한 리스크 그라데이션으로 위험정보를 나타낼 수 있다. 이 정보를 작업자 위치정보와 융합하면, 작업자 입장에서 단말기에 표시되는 색의 농도에 따라 자신의 위치에 대한 위험정보를 실시간으로 파악하는 것이 가능해 진다.

## 산업용 밸브 사고 예방을 위한 취약위치 및 영향인자 분석

김정훈<sup>†</sup> · 이진한 · 조영도

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Analysis of Vulnerable Position and Influence Factors for Prevention of Accidents in Industrial Valves

Jung Hoon Kim<sup>†</sup> · Jin Han Lee<sup>\*</sup> · Young Dong Jo<sup>†\*\*</sup>

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

<sup>†</sup>Corresponding author: jhkim223@kgs.or.kr

산업용 밸브 및 액추에이터는 가스, 액체 및 유동 고체의 흐름을 제어, 방향화, 조정하기 위해 사용되는 디바이스이다. 여러 가지 밸브가 있지만, 증기 배관에서 사용되는 수동밸브의 대표적인 것으로는 글로브 밸브, 볼 밸브, 게이트 밸브, 버티플라이 밸브 등이 있다. 산업용 밸브는 파이프에 연결하여 제품의 생산 또는 수송에 사용하므로 일단 고장이 나면 전체 생산을 중단해야 하는 경우가 있기 때문에 대단히 중요하다. 이물질 유입, 마모, 균열, 스크래치, 고착, 작동불량 등으로 인하여 사고로 까지 이어질 수 있다. 따라서, 고장 및 사고 관련 위험요인을 모니터링하고 누출 사고 발생 시 피해의 최소화를 위해 초동 대처방안이 필요하다. 대부분의 플랜트에서는 취약개소를 중심으로 인력중심 점검 업무 수행을 하고 있고 넓은 영역/접근성 등으로 완벽한 관리에 한계가 있기 때문에 센서기반의 모니터링 제어 및 진단을 할 수 있는 시스템 개발이 필요하다. 이 연구에서는 산업용 밸브 장치의 환경 분석으로 기본적인 개요, 밸브 종류별 동작 특성 분석에 따른 밸브 제어 방안 및 밸브 유지관리 현황 등에 대해서 연구하였다. 또한 고장 및 손상 등의 영향인자 분석을 위해서 주요밸브 업체로부터 고장 데이터 및 점검 데이터를 수집하여 정리 및 검토 하였다. 이러한 데이터로부터 산업용 밸브의 취약부위, 고장모드에 대해서 분석을 하고 일반적인 밸브에 대해서 파괴모드에 따른 파괴원인, 영향인자, 관련 센서 검토를 하여 산업용 밸브의 안전관리 방안에 대한 연구를 수행하였다.

## 고압가스 무적용기 처리를 위한 천공기술 개발

주유경<sup>†</sup> · 이우귀연 · 이진한

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Development of piercing Technology for High-pressure Gas cylinder not explicitly described

Yu-Kyoung Joo<sup>†</sup> · Ugwiyeon Lee · Jin-Han Lee

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

<sup>†</sup>Corresponding author: ukjoo@kgs.or.kr

현재 국내 연구소 및 고압가스 판매, 사용시설에는 오랫동안 처리되지 못한 용기들을 많이 보관하고 있다. 이중에는 비정상적인 보관방법 또는 방치로 인해 내용물을 알 수 없는 무적용기와, 밸브 파손으로 인해 내용물 방출 불가능으로 처리되지 못한 용기들이 대부분이다. 이렇게 정상적인 방법으로 처리되지 못한 고압가스 용기들은 언제 폭발할지 모르는 위험성을 갖고 있다. 본 연구는 고압가스용기 천공기술 개발을 통해 이러한 밸브파손 또는 무적용기의 잠재적 위험성으로부터 벗어나고, 미지가스에 대한 분석방법 정립을 통해 안전한 중화처리를 목적으로 한다.

우리나라의 경우, 현재 무적용기에 대한 처리기술 및 장비 부재로 미지가스로 인한 잠재적 위험성을 방치하고 있다. 반면, 일본의 경우 무적용기 처리 장비 및 기술을 보유하고 있어 일본 내 무적용기 및 밸브파손 용기를 안전한 방법으로 처리하고 있다. 본 연구를 통해 고압가스용기 천공기술이 개발된다면 용기 내 가스를 안전한 방법으로 채취할 수 있을것이라 생각된다. 또한, 미지가스의 경우 Gas Chromatography, FT-IR과 같은 화학물질 분석 장비를 이용하여 정성분석 한다면 가스의 성분을 알아낼 수 있을 것으로 예상되며, 해당 가스에 적합한 중화처리를 할 수 있을 것이다. 마지막으로, 본 기술 개발을 통해 방치된 고압가스용기의 폭발에 대한 위험성을 감소시키고 안전성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

## 중·고압(18bar) 가스 배관 적용 매물형 플라스틱 개폐 밸브 개발 및 적용에 관한 연구

이종화  
(주)폴리텍

### A Study on Development and Application of the open/close Valve for High Pressure Gas Plastics piping systems

Jong-Hwa. Lee

POLYTEC CO., LTD.

†Corresponding author: jhlee@polytec.co.kr

국내·외 연료 가스용 천연가스의 수요는 타연료 대비 상대적인 환경 친화성과 발전용 연료로서의 역할 증대로 말미암아 화석에너지 중에서 꾸준한 증가를 가져올 것으로 예상되고 있다. 현재 국내 중·고압용 매설 가스 배관에는 대부분 금속 강관에 중밀도 폴리에틸렌(Middle Density Polyethylene:MDPE)을 피복시킨 폴리에틸렌 피복 강관이 사용되고 있으며, 배관 시공시 개폐 밸브는 배관 재료와 동등한 주철, 강 등 금속 재질이 사용되고 있다. 금속 소재의 경우 고압(10kg/cm<sup>2</sup>) 이상에 견딜 수 있어 가스 개폐 밸브 및 공급 배관의 재료로 폭 넓게 사용되어 왔으나, 금속 소재의 가장 큰 단점인 부식 방지를 위한 유지 보수 비용 및 노후배관의 증가로 인한 누출, 사고 위험이 확대되고 있다. 그로 인해 내부식성과 내구성 향상을 위해 고분자 소재인 폴리에틸렌을 이용한 가스 배관 및 밸브가 개발되었으나, 사용압력이 4kg/cm<sup>2</sup> 이하로 고압 가스 배관에 대해서는 사용이 어려운 단점이 있다. 이러한 문제점으로 인하여 고압 조건에서 사용 가능한 배관 및 밸브의 개발이 요구되고 있다. 현재 개발중인 도시가스용 폴리아미드12(Polyamide 12) 고분자 소재의 밸브는 기존 밸브에 비해 높은 사용 압력과 금속 밸브 대비 내식성, 내한성 및 유연성이 우수하고 시공이 간편하여 개발완료시 그 수요가 증가할 것으로 판단되고 있다.

본 연구에서는 현재 개발중인 고분자 소재 도시가스용 고압가스 개폐 밸브에 대하여 해외 기술동향과 최적 사출성형 및 밸브 용착 조건 검토, 내부 유동 유체의 해석 결과 등을 바탕으로 최적화 설계 모델에 대한 성능시험과 평가를 진행하였다.

## 가연성 가스 및 산소 사용 시 작업자 안전을 위한 역화방지기

김종익

(주)세화하이테크

### Flashback arrestor protect workers when using flammable gases and oxygen

KIM JONGIK

SEHWA HIGHTECH CO.LTD

가연성 가스와 산소는 산업현장에서 없어서는 안 될 중요한 가스이다. 용접 및 절삭, 열처리, 성형, 경화 및 표면처리 등, 산업용 가스와 프로세스 가스로서 생산 현장과 연구실, 기타 다양한 용도로 사용된다.

하지만 이 가스들 사용 시에는 위험한 상황이 언제든지 발생할 수 있다. 환경적인 영향 외에도 대부분의 경우 잘못된 사용 및 작업자의 실수에 기인한다. 역화가 발생할 경우, 화염은 음속의 2배속으로 가스 파이프라인을 따라 이동한다. 따라서 일단 역화가 발생하면 작업자에 의한 수동 개입이나 사고 방지는 불가능하다고 볼 수 있다. 최악의 경우 압축가스 실린더 및 가스탱크가 폭발 할 수도 있다.

역화방지기는 다단계 보호 시스템을 통해 비극적인 산업 재해로부터 작업장 및 근로자의 안전을 보장한다. 주요 세 가지 기능은 체크밸브를 통한 역류방지, 스테인레스 소결재를 통한 화염방지, 그리고 온도감지 차단밸브를 통해 역화 시 가스유로차단 이 있다. 여기에 압력감지 차단밸브 기능과 과압 분출장치를 추가하여 최대한의 안전성을 보장할 수 있다. 현재 우리나라에는 아세틸렌가스와 LPG가스에만 역화방지기 사용이 의무화되어 있다. 이 논문은 먼저 역화방지기의 원리를 자세히 고찰하고 산업현장에서의 가스 안전사고 예방을 위해 역화방지기 사용을 모든 가연성가스 및 산소에 확대 적용하기를 제안하기 위해 작성되었다.

## 극저온 이동식 가스공급설비의 안전성 향상 방안

단승규 · 윤익근 · 정호진 · 홍성경

한국가스공사 가스연구원

### A Method to Improve the Safety of Cryogenic Mobile Gas Supply System

Seungkyu Dan · Ik Keun Yoon · Ho Jin Jung · Seong Kyeong Hong

Korea Gas Corporation R&D Center

천연가스 공급을 위한 배관망에서는 배관 이설, 볼밸브 교체 등의 작업을 위해 가스 공급을 중단해야 하는 상황이 발생한다. 이때 가스의 지속적인 공급을 위해 임시로 이동식 가스공급설비를 설치하고, 탱크로부터 받은 LNG를 기화시켜 공급함으로써 천연가스의 공급이 중단되지 않도록 운영하고 있다. 이런 이동식 가스공급설비의 사용 기간은 수일에 불과하지만 가연성 가스를 취급하는 설비이기 때문에 안전성 확보를 위한 방안을 마련해야 한다.

이동식 가스공급설비는 탱크로부터 극저온의 LNG를 공급받아 약 9.6 bar의 압력과 5℃ 이상 천연가스로 기화/가압하여 배관망에 송출하는 설비이다. 이는 skid 형태로 제작되어 기화, 정압, 계량 기능을 수행할 수 있도록 구성되어 있다. 대상 설비의 위험성 분석은 설비의 구성/기능 및 위치, 배관 길이, 운전 조건 등 일반적으로 위험성 분석에서 고려하는 사항을 바탕으로 수행한다. 특히 가스공급설비 내의 배관은 직경 대비 길이로 판단할 경우 longpipe로 볼 수 있고, 이는 일반 누출과 거동이 다르기 때문에 그에 적합한 분석 방법을 적용해야 한다.

본 연구에서는 이동식 공급관리소의 안전성 향상을 위해 정성적 분석을 통한 위험 요소 관리 방안을 도출하고자 한다. 더불어 LNG 누출 사고 시나리오의 결과분석으로 위험 범위를 산정하고 운영 시 설비와의 이격거리를 확인하는 등 설비의 안전성을 향상시키는 방안을 제시하고자 한다. 그 외에도 생산기지와 공급관리소의 기능을 동시에 가지고 있는 특수 설비로 기존에 고려하지 않았던 추가 위험성의 존재 여부 또한 검토하고자 한다.

## 국내·외 가스보일러 연통고정기준 비교

류영돈<sup>†</sup> · 최슬기 · 유철희 · 조영도 · 문종삼

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Comparison of Domestic and Overseas Gas Boiler Exhaust Flue Fixing Standards

Youngdon Ryou<sup>†</sup> · Seulki Choi · Chulhee Yu · Youngdo Jo · Jongsam Moon

Korea Gas Safety Corporation

<sup>†</sup>Corresponding author: rydon@kgs.or.kr

국내의 가스보일러 설치기준은 KGS GC208(주거용 가스보일러의 설치·검사 기준) 및 KGS GC209(상업·산업용 가스보일러의 설치·검사 기준)에서 규정하고 있다. 두 개의 가스보일러 설치기준(KGS GC208 및 KGS GC209)은 2016년 8월 24일에 제정되었으며, 2017년 8월 24일부터 시행되었다. 신규 제정된 두 기준은 기존의 도시가스 사용시설 기준(KGS FU551)과 기존 3개의 LP 가스 사용시설 기준[KGS FU431(용기사용시설 기준), KGS FU432(소형저장탱크 사용시설 기준), KGS FU433(저장탱크 사용시설 기준)]의 가스보일러 및 가스온수기 설치 기준을 통합하여 주거용과 상업·산업용(2종)으로 신설한 것이다.

신설 기준의 적용은 2017년 8월 24일 이후에 설치하는 가스보일러에 적용하고, 시행일 이전에 설치된 가스보일러의 경우에는 종전 기준에 따를 수 있도록 기존 기준의 내용을 부록에 수록하였다. 신설된 기준은 주거용과 상업·산업용으로 구분하고, 가스보일러 배기통의 용어를 EN 규격과 부합화하였다.

주거용 가스보일러 설치기준(KGS GC208)에서는 배기방식에 따라 단독·밀폐식, 단독·반밀폐식, 공동·반밀폐식으로 구분하여 규정하고 있고, 상업·산업용 보일러 설치기준(KGS GC209)에서는 배기가스가 지나가는 연통형태에 따라 이음연통, 캐스케이드 연통, 공동이음연통, 금속이음관형 연통 및 연돌로 구분하여 규정하고 있다. 기존 가스보일러의 용어도 변경되었다. 기존의 공동배기구는 연돌로, 배기통톱은 터미널로, 복합배기통은 공동이음연통 및 캐스케이드연통으로 각각 구분되며, 복합공동배기구는 금속이음관형 연돌로 변경되었다.

신규 제정된 주거용 가스보일러 설치기준(KGS GC208)에서는 연돌을 사용하는 경우 지지간격 및 설치상태를 확인하도록 하고 있으나, 연통의 지지간격을 명시적으로 규정하고 있지 않다. 또한, 2017년 8월 24일 이전의 규정에서도 급·배기통과 벽의 접촉은 단단하게 고정되도록 규정하고 있을 뿐 고정 간격에 대하여는 규정하고 있지 않으며, 복합공동배기구에 대하여는 복합공동배기구의 지름별 지지간격을 4m 또는 8m로 규정하고 있다.

상업·산업용 보일러 설치기준(KGS GC209)에서도 완성검사 및 정기검사시 연돌의 지지간격 및 설치상태를 확인하도록 하고 있으나, 연통의 고정 또는 지지 간격을 명시적으로 규정하고 있지 않다.

본 연구에서는 국내의 가스보일러 설치기준을 조사하고, 국내 주요 가스보일러 제조사의 연통 설치 방법 및 국외 제조사의 연통 설치 방법을 비교하였다.

## 에틸렌옥사이드의 안전밸브 대기배출 시 모델링 방법에 관한 연구

조필래 · 이향직\* · 백종배\*\* †

한국교통대학교 · \*광운대학교 · \*\*한국교통대학교

## Study for the modelling method of ethylene oxide being discharged to atmosphere from pressure safety valves

Pil-rae Cho · Hyang-jig Lee\* · Jongbae Baek\*\*†

Korea National University of Transportation · \*Kwangwoon University ·

\*\*Korea National University of Transportation

†Corresponding author : kosos@kosos.or.kr

석유화학공장에서 취급 또는 제조되는 에틸렌옥사이드(EO), 염화비닐(VCM)과 같은 독성물질은 화재폭발위험성, 더 유해한 물질의 생성 또는 폐수처리 문제 등의 이유는 석유화학공정에서 가장 일반적으로 사용되는 플레어스택, 흡수탑과 같은 대기방지사설을 적용하기 어렵다. 따라서 이런 경우에 일반적으로 적용되는 방법은 안전밸브 작동 가능성을 줄이는 방법과 안전밸브 작동 시 영향을 줄이는 방법이 적용된다. 안전밸브는 보호하고자 하는 설비의 위치에 따라 안전밸브 인입측 배관 또는 토출측 배관이 다양하게 설치될 수 있고, 배출배관의 길이가 길 경우에는 최종배출구에서의 배출압력이 영향을 받으므로 배출배관의 압력손실이 발생된다. 본 연구에서는 PHAST 프로그램을 이용하여 에틸렌옥사이드가 함유된 안전밸브 배출물질의 모델링 방법을 Relief valve 모델과 Vessel 모델에 대해 배출압력과 누출공 사이즈를 다르게 하여 독성영향에 대한 착지농도를 비교하였다.

**Keyword:** PHAST, 안전밸브 배출농도

## 폭발사고사례를 통해서 본 가스감지기 측정값의 올바른 해석과 보완대책

박승규 · 박웅기 · 오상규\* · 백종배<sup>†\*\*</sup>

안전보건공단 · 안전보건공단\*\*교통대학교3

### Right understanding of measured gas concentration from gas detectors based on a case study of a explosion accident and remedial actions

Pak Seungkyoo · Park Ungi · Oh Sangkyoo\* · Baek Jongbae<sup>†\*\*</sup>

<sup>†</sup>Corresponding author: paksk@kosha.net

가스감지기는 인화성, 독성물질의 체류여부와 그 농도를 측정하는데 있어 가장 중요한 수단이라 할 수 있다. 가스의 농도는 측정되는 순간에서의 상황을 표시하는 지표로서 정확한 농도의 표현은 정확한 대응을 위한 기준이 된다. 인화성가스의 경우 폭발범위 상한값을 넘는지의 여부가 관건이 되며, 독성가스의 경우 ERPG 값의 기준과 비교하여 실내 체류하는 것이 좋을지 외부로 대피하는 것이 합리적인지 또 어느 수준의 보호구를 확보해서 대응하는 것이 합리적인지 판단하도록 하게 된다. 이러한 가스농도의 측정에는 여러 가지 불확실성이 존재하는데 여기에는 측정과 감시대상 공간농도의 불균일성, 측정 지연시간, 감지기 자체의 측정오차, 감지기 주위 온습도 등 주위환경, 측정가스의 종류별로 다른 측정감응도, 인화성의 경우 가스별로 다른 최저폭발범위(LEL) 등의 요인이 있다. 이러한 측정상의 오류를 감안하지 않고 계기에 표시되는 측정치를 잘못 해석할 경우 폭발범위를 넘지 않았다고 판단하거나, 보호되지 않은 상태에서 현장을 출입하는 등의 잘못된 판단을 할 수 있고, 이는 사고와 직결될 수 있다. 실제 이러한 측정해석상의 문제로 현장조건이 폭발범위를 넘지 않았다고 잘못 판단하여 발생한 폭발사고의 사례를 고찰해보고, 정확한 해석에 필요한 기술, 감지기의 감도조정, 경보값의 하향조정, 공정제어와 비상대책의 보완 등 필요한 개선대책을 알아본다.

## 분출 산화에틸렌(Ethylene Oxide)의 적정처리 방안에 관한 연구

임경민 · 안수빈 · 고하은 · 마병철<sup>†</sup>

전남대학교 화학공학과 및 화학공정안전센터

### A Study on the Optimal Treatment of Spurted EO(Ethylene Oxide)

Kyung-Min Lim · Su-Bin An · Ha-Eun Go · Byung-Chol Ma<sup>†</sup>

Chonnam National University, Department of Chemical Engineering & Center  
for Chemical Process Safety

<sup>†</sup>Corresponding author: anjeon@jnu.ac.kr

에틸렌글리콜, 계면활성제, 살충제 원료 등 공업적으로 유용하게 사용되는 물질인 산화에틸렌(Ethylene Oxide)은 그 활용가치가 높은 만큼 유해·위험성이 크기 때문에 독성, 폭발성, 반응성 등을 충분히 고려하여 안전하게 취급해야 하는 물질이다. 특히 외부화재 등의 영향으로 취급설비에 과도한 압력이 형성되는 경우, 안전밸브나 파열판을 통해 산화에틸렌이 외부로 누출될 수 있어 적절한 후처리 시스템이 적용될 필요가 있다. 인화점이 낮고(-20℃), 폭발한계 범위(3~100%)가 매우 넓어 폭발 위험성이 크다는 이유로 국내 대부분의 사업장에서는 산화에틸렌을 대기 중으로 직접 배출하여 처리하고 있으며, 국외의 경우 직접 대기배출 방법뿐만 아니라 배출된 산화에틸렌이 외부에 영향(독성, 폭발 등)을 미치는 것을 방지하기 위하여 플레어 시스템, 스크리버 등을 활용하여 배출되는 산화에틸렌의 농도를 낮추고 있다. 이에 따라 국내에서 적용하고 있는 직접 대기방출 방법의 안정성을 검토할 필요가 있으며, 산화에틸렌의 유해·위험성을 고려한 적정처리 방안을 마련하여 근로자 및 인근 주민에 미치는 영향을 최소화할 필요가 있다. 본 연구에서는 DNV PHAST v8.0을 활용하여 주요 취급설비에서 과압으로 인해 배출되는 산화에틸렌의 영향범위를 산출하고, 배출된 산화에틸렌의 영향범위를 토대로 안정성 여부를 판별하였다. 그 결과, 산화에틸렌이 대기 중으로 배출되었을 때 일부 조건에서 지표면 근처에 관심농도(ERPG-2, 50ppm)를 형성하였으며, 특히 산화에틸렌이 배출되는 높이가 영향 범위에 많은 영향을 끼치는 것으로 확인되었다. 이에 대한 해결방안으로 본 연구에서는 플레어 시스템을 이용한 산화에틸렌 처리방안, 스크리버를 활용한 포집방안, 지표면에 영향을 미치지 않는 대기벤트 적정높이 산출 방안 등을 검토하여 안정성이 확보된 최적의 분출 산화에틸렌 처리방안을 제시하고자 한다.

## 여수 석유화학단지 사고예방을 위한 위험신호에 대한 연구

백승현<sup>†</sup> · 권혁면\* · 변헌수\*\*

케이알 코폴리머(유) · \*연세대학교 · \*\*전남대학교

### A Study warning signs to prevent incidents in Yeosu Chemical Complex

Seung-Hyun Baek<sup>†</sup> · Hyuck-Myun Kown\* · Hun-Soo Byun\*\*

<sup>†</sup>SHE Team Leader, K. R. Copolymer (KRCC), Yeosu, Jeonnam 59613, Republic of Korea

\*Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University,  
Seoul 03722, Republic of Korea

\*\*Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Chonnam National University,  
Yeosu, Jeonnam 59626, Republic of Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: shbaek380@naver.com

석유화학 공장에서 위험신호들은 어딘가 이미 문제가 있거나 문제가 발생하고 있다는 지표가 될 수 있다. 이런 위험신호들을 찾아내서 올바르게 조치하면 사고 및 손실을 예방할 수 있다. 화학공정이나 안전작업 활동에서 이탈로 인해 발생한 피해결과가 명확하게 보이지 않으면, 우리는 새로운 관행으로 받아들이고 기존의 관행을 대신하게 된다. 정유 및 화학 공장에서 사고를 유발할 수 있는 공정안전 위험요소를 찾아내어 올바르게 조치해서 위험요소를 제거하거나 감소시키면 중대 산업사고를 예방할 수 있다. 본 연구에서는 정유 및 화학공장에 잠재하고 있는 위험요인을 정확히 찾아내기 위해 중대사고 위험신호에 대한 설문조사를 여수 화학단지에서 실시하였다. 설문은 장치산업에서 발생했던 사고를 분석·조사해서 사고의 발생을 유발했던 위험요인을 모아 화학공정안전센터에서 발간한 “장치산업에서 중대사고 위험신호인지(Recognizing catastrophic incident warning signs in the process industry)”에서의 중대사고 위험신호 점검표를 이용하였다. 설문 조사를 통해 석유화학 장치산업에서 중대사고 위험요인을 공정안전관리 요소 별로 찾아내어 사업장에서 사고 예방활동에 활용할 수 있도록 하였으며, 이런 위험요인을 근본적으로 제거하는데 필요한 활동이 무엇인지 제시 하였다.

## 위험물 저장시설 누설검지 및 안전관리 개선방안

장인철<sup>†</sup> · 강도석<sup>\*</sup> · 노성혁<sup>\*\*</sup>

한국가스안전공사 한국가스안전공사 한국가스안전공사

### A study on improvement measures of leak detection and safety management for hazardous material storage tank

In Chul Chang<sup>†</sup> · Do Seok Kang<sup>\*</sup> · Seong Hyeok Noh<sup>\*\*</sup>

KOREA GAS SAFETY CORPORATION · \*KOREA GAS SAFETY CORPORATION ·

\*\*KOREA GAS SAFETY CORPORATION

<sup>†</sup>Corresponding author: cinchol@kgs.or.kr

국내에는 울산, 여수 등 국가산단지역 및 주요 거점에 석유류를 대단위로 비축·저장하는 민간 시설 및 국가주도로 비상시 사용할 수 있는 한국석유공사의 비축시설들이 있다. 또한, 석유화학 공장에서 생산된 경질류를 지하매설배관으로 이송하여 사용자에게 출하하는 저유소가 운영중에 있다. 이러한 시설중 건설·운영이 20년 이상 경과한 시설들이 많으며, 설비노후 등에 따라 사고 발생의 개연성이 높아지고 있다. 요즘 이러한 위험물 저장탱크의 안전이 화두이다.

얼마전 석유류를 이송·저장·출하하는 저유소에서 저장탱크 부속설비의 파손으로 인하여 경유가 누출되었으며, 누출된 경유의 일부가 폐쇄된 우수배관용 관거를 통해 외부로 유출되어 환경오염을 시킨 현장을 다녀왔다. 또한, 타 저유시설의 운영실태 및 유사한 사고의 재발을 방지하기 위하여 전국의 유사사업장 6곳에 대하여 관계기관 및 외부전문가와 합동으로 안전점검을 실시하였다.

본 내용에서 안전점검 방법들과 관리실태, 안전사고 예방을 위한 시설개선 및 법령개정의 필요성 등이 소개가 될 것이다.

## 화관법 장외영향평가 위험도감소와 LOPA비교

박진형<sup>†</sup>

한국요꼬가와전기

Annual Conference of the Korean Institute of Hazardous Material :  
Comparison between Risk Reduction of Consequence Analysis of Act  
on Management of Chemical Substance and LOPA

Jinhyung Park<sup>†</sup>

Yokogawa Electric Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: jinhyung.park@kr.yokogawa.com

2015년1월1일부로 화학물질관리법에 의거 장외영향평가서를 작성하여 환경부 장관에게 제출하는 제도가 시행된 후 장외영향평가서에 위험도감소도 함께 포함되어 제출되어 왔다. 위험도감소는 이전의 양식보다 정량화된 개념이긴 하지만 국제표준의 정량화방식과 비교하면 차이가 있다. KOSHA에서는 PSM고시에 LOPA도 인허가서류에 포함시킬 수 있도록 개정하여 2016년8월18일부터 시행하기 시작했다. 이번 발표에서는 장외영향평가서의 위험도감소와 비슷한 개념인 IEC61508의 LOPA (Layer Of Protection Analysis)와 어떤 차이가 있는지 비교하고자 한다.

## 발포폴리스티렌 발포공정에서의 폭발위험장소 구분 및 화재 위험요인 파악

천영우<sup>†</sup> · 김보민 · 김기석  
인하대학교 환경안전융합

### Hazardous Area Classification & Fire Risk assessment of Expanded Poly Styrene Process in Electric Company

Chon Young Woo<sup>†</sup> · Kim Bo Min · Kim Ki Sug

Inha University

<sup>†</sup>Corresponding author: ponychon@inha.ac.kr

석유화학공장에서 생산되는 다량의 화학물질은 원료로부터 고분자 물질의 형태로 변환되어 생활화학 제품의 형태로 소비되기도 하지만 타 산업의 중간재 또는 제품을 포장하는 포장용기로 사용되기도 한다. 전자제품을 생산하는 공장에서는 전자제품의 생산과정에서 사용되는 화학물질도 있지만 완성된 제품을 포장하기 위하여 사용되는 석유화학제품의 대표적인 사례가 통상 스티로폼으로 불리는 발포 폴리스티렌(Expanded Poly Styrene)이라고 할 수 있다. 최근 글로벌전자업체에서는 제품의 생산과정에서 발생하는 물류비를 줄이기 위하여 기존에 별도의 공장에서 생산하는 폴리스티렌을 전자제품의 생산공정 내에서 직접 생산하는 방식으로 변환하고 있으며 이에 따라 제품 생산공정에서의 화재 발생위험성이 높아지고 있어 화재위험성을 줄이기 위한 다양한 위험분석 및 예방 조치를 실시하고 있는 실정이다.

폴리스티렌의 발포를 위해서는 발포제로 인화성 액체인 펜탄(n-pentane)을 이용하고 있어 예비발포 후 숙성을 거치는 동안 사용된 발포제가 취급공정 중으로 비산하는 특성이 있어 화재 발생위험성이 특히 높으며 제품인 발포폴리스티렌 특성상 일단 화재가 발생하면 급격하게 용융 연소되는 특성이 있어 화재의 전개속도가 상당히 빠른 특성이 있으므로 사전 예방적이 측면에서 폭발위험장소의 구분 및 가스감지의 설치위치 및 정전기 예방조치가 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 발포폴리스티렌 원료를 이용하여 예비발포, 숙성 그리고 성형에 이르는 스티로폼 생산공정에서 발생할 수 있는 인화성 액체 및 가스의 생성 비율을 연구하고 그에 따른 폭발위험장소의 구분 및 정전기예방방법 등에 대하여 연구하고자 한다.

## SK인천석유화학 SHE 혁신모델 추진

나상도

SK인천석유화학(주)

### Drive SKIPC SHE\* Innovation Models

Na Sang-do

SK incheon petrochem

†Corresponding author: nsd1004@sk.com

SK인천석유화학은 '13년 시작된 공장증설을 계기로 회사가 지역사회에 미치는 환경·안전영향, 나아가 지역의 환경관리실태를 조사하는 '안심프로젝트(건강영향평가, 안전검증 등)'를 수행하였으며, 그 과정은 결과적으로 인천지역 전체에 산재해 있는 다양한 환경·안전 위해 요소 및 부족한 예방/관리실태를 인식하게 하는 계기가 되었음.

인천지역에는 10개 산업단지 및 중·소규모 공장밀집 지역 내 19만여 개의 공장과 3,000여 개의 수질/대기오염 물질 배출사업장, 800여 개의 유해화학물질 취급 사업장이 소재하고 있어, 사고 발생 확률과 피해를 낮추기 위해서는 공동의 협력과 관리체계가 필요함.

SK인천석유화학은 SK그룹의 경영관리 체계인 SKMS(SK Management System) 내 '이해관계자의 행복 추구'라는 핵심철학 실천을 목적으로 다양한 사회문제 해결에 동참해 왔으며, 그 경험을 통해 위와 같은 인천지역의 환경·안전문제 해결을 위해 가장 좋은 방법은 'Collective Impact' 즉, 환경·안전 관련 다양한 Sector에 있는 이해관계자들의 협력이 필수적이라는 사실을 누구보다 잘 알고 있었음.

이에, SK인천석유화학은 이러한 인천지역의 환경·안전 문제해결 역량을 갖고 있는 다양한 이해관계자와 해결을 위한 방안을 모색함과 동시에 협력을 통한 문제해결을 제안하는 과정을 거쳐 '17년 5월 31일, 환경부 한강청, 안전보건공단, 인천시 등 환경·안전 관련 13개 기관이 참여하는 『환경·안전 리스크 거버넌스』 구축을 지원하여, 관계기관 간 긴밀한 협력을 통한 인천지역 환경·안전문제 해결에 앞장서고 있음.

대표적인 활동으로는 사업장 중심 안전문화 확산을 위한 CEO 안전포럼 및 시민 안전의식 고취를 위한 재난안전 체험 전시회, 영세 사업장의 안전관리 역량 제고를 위한 화학물질 안심 컨설팅 등 10개 중점추진과제를 중심으로 관계기관 간 역량을 결집하고 있음.

\* SHE : Safety · Health · Environment (안전 · 보건 · 환경)

## 산성 화학물질 누출 시 향상된 염기 중화제 선정에 관한 연구

조철희<sup>†</sup> · 이민혁 · 이동원 · 김승룡

소방청 중앙119구조본부

### A Study on the Selection of Improved Basic Neutralizer for Acid Chemical Leakage

Chul-Hee Cho<sup>†</sup> · Min Hyuk Lee · Dong Won Lee · Seung-Ryong Kim

National Fire Agency, National 119 Rescue Headquarters

<sup>†</sup>Corresponding author: chcho119@korea.kr

최근 4년간 소방청 중앙119구조본부에서 대응한 크고 작은 화학사고의 원인물질을 분석한 결과, 산성[염산(HCl), 질산(HNO<sub>3</sub>), 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 불산(HF) 등] 물질이 가장 높은 비중을 차지하였다. 산성 물질 누출사고 대응전략은 사고 물질의 상태가 액체냐 기체냐에 따라 대응전술에 확연한 차이를 가진다. 산성 물질 사고대응 방법 중 하나인 “중화작업(neutralization)”은 적은 비용과 노력으로 산성 물질을 염(salt)과 물(H<sub>2</sub>O)로 변환시켜 유해 위험성을 제거·처리하는 방법이다. 하지만 산염기 중화작업에서 발생하는 높은 중화열로 인해 중화(quenching)되는 과정에서 사고 물질인 액체 상태의 산(acid)과 중화제인 염기(base)가 순간적으로 기체 상태로 변환되어 사고 현장 인근 주민은 물론 출동대원의 신변안전까지 위협우려가 크다.

본 연구에서는 전국 소방관서에서 보유·사용하고 있는 6종 염기중화제[소석회(Ca(OH)<sub>2</sub>), 가성소다(NaOH), 탄산나트륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), 중탄산나트륨(NaHCO<sub>3</sub>), 과탄산나트륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·1.5H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)]의 안정성을 실험적으로 확인한 결과 신생 염기중화제인 “중탄산나트륨(=중조, 식용소다, 베이킹파우더)”이 모든 면에서 우수한 결과를 보였다. 중탄산나트륨을 제외한 5종 염기성 중화제는 43도에서 높게는 126도까지 중화열이 발생하였으며, 소석회와 탄산칼슘은 석고(CaSO<sub>4</sub>)와 같은 잔류 슬러지가 많이 발생하고 가성소다는 중화 과정에서 대기 중으로 유해 기체가 확산될 우려가 가장 큰 것으로 나타났다. 중탄산나트륨의 경우 다양한 산류와 중화시켜 본 결과 중화열 없이 안전하게 중화됨을 규명하였으며 물질 자체도 매우 안전한 염기물질이며 가격적인 면에서도 타 염기성 물질과 비교하여 경쟁력 있는 중화물질이다. 또한 물에 대한 용해도가 우수하므로 분무 노즐을 이용하여 분사가 가능하므로 대기 중으로 유해한 기체(fume) 중화 제거에 매우 용이하리라 기대된다.

## 방독 마스크의 착용성 및 활동성 평가 기준 비교

노재현\* · 박용환<sup>†</sup>\* · 김영수\*\*

\*호서대학교 · \*\*산청

### Comparison on the Fitness and Activity Evaluation Criteria of Gas Masks

Roh, JaeHyeon\* · Park, YongHwan<sup>†</sup>\* · Kim, YoungSoo\*\*

\*Hoseo university · \*\*SanChung

<sup>†</sup>Corresponding author: yhpark@hoseo.edu

1. **서론** 최근 산업단지에서 많은 가스 누출 및 폭발 사고들이 발생하고 있다. 여수단지에서만 2017년 한해에만 7건에 사망 1명, 부상 7명, 2014년은 10건에 사망 1명, 부상 12명이 발생하였다. 국내의 경우 2013년에 공장시설 화재 사고 2,515건 중 256건이 화학물질을 사용하는 공장에 화재가 일어났고, 2017년에 공장시설 화재 사고 2629건 중 323건으로 5년사이 9.8%에서 11.9%로 증가하였다. 이러한 산업단지 내에서 발생하는 화재를 진압하거나 피난 시에는 유해가스에도 대응할 수 있는 화재용, 산업용 복합 방독마스크가 필요하며, 성능적인 면 이외에도 실제 착용 및 활동에 따른 불편함이 커서는 안 되며, 관련 KS 기준의 경우 항목 수가 가장 적고 단순하여 국제적 성능수준에 부합하기 위해서는 보완이 필요한 것으로 판단되었다.

2. **본론** 방독 마스크와 같은 호흡보호장비의 착용성 및 활동성 관련 성능기준으로는 국내 KS 기준, 해외의 EN 기준, 미국 OSHA 기준 그리고 ISO 기준 등이 있다. KS M 6766에는 착용성 시험 2개 항목과 활동성 시험 3개 항목이 있고, EN 13274-2에는 착용성 시험 10개 항목, 활동성 시험 20개 항목을 제시하고 있다. EN 기준은 대피뿐 아니라 구조 활동과 관련한 항목들도 많이 포함되어 있었다. ISO 16975-3에는 착용성 및 활동성 관련 항목이 6개가 있으며, OSHA(작업용 방독면 선정 지침) 기준은 정성밀착검사 등 총 7개의 착용성 시험 항목이 있다. OSHA 기준 중 6개 항목은 ISO 기준과 동일하다. 각 기준은 시험 항목에서 많은 차이가 있었으며, 시험방법 간에도 상이한 부분이 많은 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 실제 현장에서 방독마스크를 사용하는 소방관과 작업자들을 대상으로 착용성에 대한 설문조사를 실시한 후 중요하다고 판단되는 항목을 추가로 도출하였다. 특히 구조 및 대피 활동에 불편함이 없도록 소방관들의 의견을 최대한 반영하였다. 그리하여 착용성 시험 11개, 활동성 시험 11개의 시험 항목이 필요한 것으로 도출되었다.

	착용성 시험	활동성 시험
KS M 6766	1. 안면부 시야 2. 글자 확인	1. 엎드려 포복하기 2. 허리 숙여 포복하기 3. 바구니 채우기
ISO 16975-3	1. 호흡하기 2종 2. 머리움직이기 2종 3. 말하기 4. 허리굽히기	-
EN 13274-2	1. 착탈 용이함 2. 조절하기 3. 면체안락감 4. 머리움직이기 5. 호흡하기	1. 휴식하기 2. 걷기 7종 3. 달리기 4. 포복하기 2종 5. 물건 옮기기 6. 호스 풀기, 감기
소방관 의견	-	1. 달리기 2. 장애물넘기 3. 계단오르내리기 4. 소방호스 감기
개선안	1. 시야확보 2. 착탈용이 3. 조절, 고정 4. 착용안락감 5. 허리굽히기 6. 피부밀착성 7. 장비균형 8. 음성전달 9. 머리움직이기 10. 호흡 2종	1. 휴식하기 2. 걷기 5종 3. 달리기 4. 물건 옮기기 5. 포복하기 2종 6. 소방호스 감기

3. 결론 현 화재용 방독마스크의 착용성 및 활동성에 대한 KS 기준의 시험항목이 많이 부족하다고 판단되었으며, 국제적 수준에 대한 검토와 함께 실제 소방관들이 구조 및 대피 시에 필요로 하는 항목을 추가로 도출하여 향후 KS기준 개정 시에 반영할 수 있도록 개선안을 제시하였다.

## 방독마스크의 착용성 및 활동성 평가 실험적 연구

노재현\* · 박용환\* · 김영수\*\*

\*호서대학교 · \*\*산청

### Experimental Study on the Fitness and Activity Evaluation of Gas Masks

Roh, JaeHyeon\* · Park, YongHwan\* · Kim, YoungSoo\*\*

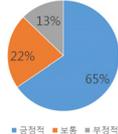
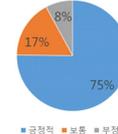
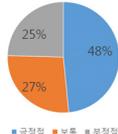
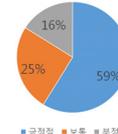
\*Hoseo university · \*\*SanChung

†Corresponding author: yhpark@hoseo.edu

1. **서론** 최근 산업단지에서 많은 가스 누출 및 폭발 사고들이 발생하고 있다. 여수단지에서만 2017년 한해에만 7건에 사망 1명, 부상 7명, 2014년은 10건에 사망 1명, 부상 12명이 발생하였다. 국내의 경우 2013년에 공장시설 화재 사고 2,515건 중 256건이 화학물질을 사용하는 공장에 화재가 일어났고, 2017년에 공장시설 화재 사고 2629건 중 323건으로 5년 사이 9.8%에서 11.9%로 증가하였다. 이러한 산업단지 내에서 발생하는 화재를 진압하거나 피난 시에는 여러 유해가스에 대응할 수 있는 소방용, 산업용 복합 방독마스크가 필요하다.

2. **본론** 방독 마스크 관련 기준에는 KS M 6766, ISO 16975-3, EN 13274-2, OSHA-작업용 방독면 선정 지침 기준 등이 있다. 착용성 및 활동성 평가에 대한 KS 시험 항목이 불충분하다고 판단됨에 따라, 국제적 수준의 EN 기준과, ISO 기준 검토와 함께, 현장 설문조사를 통해 도출된 방독 마스크 착용성 시험 항목 11가지와 활동성 시험 항목 11가지, 총 22가지 항목에 대하여 실험하였다. 시험용 샘플은 국내외에서 가장 많이 사용되고 있는 국산제품 1개와 동종의 해외제품 1개를 사용하였다. 각 항목은 ‘매우불편, 불편, 보통, 편함, 매우 편함’의 5개 항목으로 나누어 성인 남녀 총 30명을 대상으로 실험하였고, 실험자의 의견을 기록하였다.

3. **결론** 착용성 실험 결과 해외제품의 경우 긍정적인 의견은 총 65.5%로 좋은 결과가 나왔지만 호흡저항이 커서 호흡이 힘들고, 조임 끈이 없어 본체가 고정이 되지 않아 흔들리는 단점이 있는 것으로 나타났다. 국산제품의 경우 긍정적인 의견이 75.2%로 해외제품보다 약 10% 정도 높았다. 그러나 국산제품도 정화통의 무게와 무게 때문에 마스크의 균형이 앞으로 쏠리며, 몸을 굽힐 때 정화통이 가슴부에 닿아 압박을 한다는 문제점이 제기되었다. 활동성 테스트는 해외제품의 긍정적인 의견은 48.5%로 나타났다. 국산제품의 긍정적인 의견은 58.8%로 이 또한 약 10% 정도 높은 것으로 나타났다. 비교 실험 결과 착용성 및 활동성 측면에서는 국산제품이 해외제품보다 우수하였으나, 정화통 크기 축소 및 균형감 개선, 경량화 필요성 등이 제기되었다.

	해외제품	국산제품
사진		
착용성	 ■ 긍정적 ■ 보통 ■ 부정적	 ■ 긍정적 ■ 보통 ■ 부정적
활동성	 ■ 긍정적 ■ 보통 ■ 부정적	 ■ 긍정적 ■ 보통 ■ 부정적

## 안전성을 더욱 향상시킨 SIL2 Wireless Gas Detector

박진형<sup>†</sup>

한국요꼬가와전기

### Annual Conference of the Korean Institute of Hazardous Material : SIL2 Wireless Gas Detector to increase safety level

Jinhyung Park<sup>†</sup>

Yokogawa Electric Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: jinhyung.park@kr.yokogawa.com

요꼬가와전기는 2005년 SIL3 Logic Solver인 ProSafe-RS를 출시한 이후 향후의 Safety시장을 선도하기 위해 많은 연구투자를 해 왔다. 요꼬가와전기는 최근 이슈가 되고 있는 4차산업혁명과 Digitalization 요구에 부응하고자 SIL2 무선가스감지시스템(Wireless Gas Detector System)을 출시했다. 요꼬가와전기의 SIL2 무선가스감지시스템은 NFPA72 2013 Edition에 이미 명확한 요구조건이 명기되어 해외에서 적용되고 있다. 무선감지시스템은 건설비용절감이라는 큰 장점도 있지만 더 중요한 것은 기존의 회로배선(Cable)방식보다 안전성이 훨씬 향상된다는 것이다. 국내에도 4차산업혁명과 Digitalization도입에 발맞추고 공장의 안전성향상을 위해 많은 현장에서 무선가스감지시스템 적용시도가 필요하다.

## 재난재해 대비 유독가스 흡착용 마스크 필터 및 마스크 제품화 기술 개발

김영수<sup>1†</sup> · 박평규<sup>1</sup> · 노호성<sup>2</sup> · 김태환<sup>3</sup> · 박용환<sup>4</sup>(주)산청<sup>1</sup>, 방재시험연구원<sup>2</sup>, (주)한소<sup>3</sup>, 호서대학교<sup>4</sup>

## Development of Mask Filter and Mask Production Technology for Toxic Gas Adsorption Against Disaster

Y.S. Kim<sup>1†</sup>, P.K. Park<sup>1</sup>, H.S. Ro<sup>2</sup>, T.H. Kim<sup>3</sup>, Y.H. Park<sup>4</sup>SanCheong Co., Ltd.<sup>1</sup>, FILK<sup>2</sup>, Hanso Co.<sup>3</sup>, HoSeo University<sup>4</sup>

†Corresponding autor: yskim@sancheong.com

대구지하철 참사와 같은 뼈아픈 경험이 있음에도 불구하고 충북 제천시스포츠센터(사망 29명, 부상 40명), 밀양 세종병원 화재참사(사망 41명, 부상 150여명) 등 대형 참사가 계속 발생하고 있다. 소방청에서는 대형 화재참사를 방지하기 위해 TF를 통해 건축물의 화재안전관리 역량강화를 위한 제도개선을 위해 “화재방지대책”을 발표하였다. 소방기본법, 소방시설법령 및 다중이용업소법령을 마련하고 있다. 특히 면적과 무관하게 6층 이상인 건축물도 건축허가동의 대상에 포함하는 조치도 이루어질 예정이며 스프링클러 의무화가 추가 조치될 것이다.

현행법상 11층 이상의 건축물은 방염대상물품을 사용하도록 의무화하고 있지만 내년부터는 모든 아파트 내부 천장이나 벽지, 옷장, 찬장, 식탁, 식탁용 의자, 사무용 책상 등에 방염처리 제품을 사용 권장할 수 있는 내용의 법을 개정추진 중에 있다.

특히, 노래방, 고시원 등의 협소공간에서의 화재발생시 재난재해 대비용 마스크가 없어 앞으로 많은 사상자를 발생 시킬 가능성이 매우 높다고 본다. 최근 중국은 황사 및 미세먼지로 인한 마스크 수요가 증가하고 있다. 노르웨이, 스위스, 덴마크 등의 선진국은 전쟁대비 민방위용 1인 1방독면 시스템을 갖춰져 있는 상황이다. 화재 및 재난으로 발생하는 인명피해를 방지하기 위해 재난재해 대비용 마스크가 필요하다고 본다.

현재 국내에서는 화재용, 산업용 또는 전쟁용(일반 방독면 또는 군용 방독면)을 각각 판매하고 있는 실정이다. 이에 국민안전을 고려하여 화재시 발생하는 유독가스외에 산업용 가스까지 제거할 수 있는 마스크가 필수적이다.

본 연구에서는 화재용 + 산업용 겸용의 복합식 마스크 개발을 통하여 해외의 제품보다 저가형 재난재해 대비용 마스크를 개발하고자 한다.

## 개방 및 구획화재의 최대 열발생률 비교

윤홍석 · 남동군\* · 황철홍<sup>†\*\*</sup>

대전대학교 대학원 방재학과 · \*한국소방산업기술원 · \*대전대학교 소방방재학과

### Comparison of Maximum Heat Release Rates in Open and Compartment Fires

Hong-Seok Yun · Dong-Gun Nam\* · Cheol-Hong Hwang<sup>†\*\*</sup>

Department of Disaster Prevention, Graduate School, Daejeon University

\*Korea Fire Institute

\*\*Department of Fire and Disaster Prevention, Daejeon University

<sup>†</sup>Corresponding author: chehwang@dju.kr

국내에서 2011년부터 시행되고 있는 성능위주설계(Performance-Based Design)는 건축물의 용도 및 구조, 수용인원, 가연물의 종류 및 양과 같은 설계 및 위험요소를 고려한 화재안전성 평가 결과를 바탕으로 수행된다. 화재안전성평가에 활용되는 FDS는 사용자가 입력하는 물리 및 수치적 입력인자에 따라 화재현상을 예측하게 된다. 따라서 화재시물레이션의 신뢰성 확보를 위해서는 적절한 입력인자의 제공이 필수적이라 할 수 있다. 특히 화원정보로 입력되는 열발생률은 유효연소 열과의 관계를 통해 화재공간으로의 연료공급량으로 해석 가능해 가장 중요한 물리적 인자로 알려져 있다.

화재안전성평가 과정에서 시간에 따른 열발생률, 즉 화원정보는 건축물의 화재시나리오에 따른 화재성장률(Fire growth rate)과 최대 열발생률을 고려한 화재성장곡선(Fire growth curve)의 형태로 입력된다. 이 때 화재성장률과 최대 열발생률은 다양한 화재조건에 대한 실험DB의 부족으로 기존 문헌에 보고된 단일 및 복합가연물 또는 공간용도별 화재실험결과가 인용되고 있다. 그러나 화재특성은 구획형상 및 환기조건, 가연물의 양 및 배치와 같은 인자에 의해 변화하며, 특히 환기조건에 따른 최대 열발생률(Maximum Heat Release Rate), CO 및 Soot yield와 같은 전반적인 화재특성에 큰 영향을 미치게 된다. 즉, 화재시나리오에 따른 가연물의 실험결과가 인용되더라도 대상 건축물과 실험공간의 환기조건 차이에 의해 화재시물레이션은 상이한 결과를 가져올 수 있다. 이는 화재안전성평가의 신뢰성을 크게 저하시키게 되며, 국내 PBD에서도 부적합한 화원 정보 제공에 의한 오류는 어렵지 않게 찾아볼 수 있다. 그러나 개방된 공간 또는 임의의 구획에서도 출된 실험결과를 평가 대상 건축물에 적용하기 위한 방안에 관한 연구는 부족한 실정이다.

이러한 배경 하에 본 연구에서는 개방된 공간에서 얻어진 최대 열발생률 정보를 구획화재에 적용하기 위해 요구되는 관계를 검토하기 위한 연구가 수행되었다. 구체적으로 완전 개방된 공간과 1/4 크기로 축소된 ISO 9705 표준화재실을 대상으로 동일한 목재연료(Spruce wood)에 대한 화재실험이 수행되었다. 실험의 편의성을 위해 건조되지 않은 목재연료의 함수량은 평균 15%로 확인되었다. 또한 환기조건에 따른 최대 열발생률의 변화를 검토하기 위해 표준개구부(0.20 m × 0.50 m)를 기준으로 개구부 폭이 75%, 50%, 25%로 변화되었다. 실험결과 충분한 면적의 표준개구부 조건에서는 개방된 공간의 최대 열발생률과 큰 차이를 나타내지 않지만, 개구부 면적의 감소에 따라 최대 열발생률이 감소함을 확인하였다. 본 연구를 통해 동일한 가연물의 조건에서 환기조건과 최대 열발생률이 갖는 관계를 도출하는 것은 화재안전성 평가를 위한 적절한 화재성장곡선을 제공하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## FDS 버전에 따른 풀화재의 평균 화염높이 비교

한호식 · 황철홍<sup>†</sup> · 오창보<sup>\*</sup>

대전대학교 소방방재학과 · \*부경대학교 안전공학과

### Comparison Mean Flame Height of Pool Fire according to FDS Version

Ho-Sik Han · Cheol-Hong Hwang<sup>†</sup> · Chang-Bo Oh<sup>\*</sup>

Department of Fire and Disaster Prevention, Daejeon University

<sup>\*</sup>Department of Safety Engineering, Pukyong National University

<sup>†</sup>Corresponding author: chehwang@dju.ac.kr

최근 국내에서는 건축물의 화재사고를 감소시키기 위한 노력으로 건축물 설계단계에서부터 화재 안전성을 확보하기 위해 성능위주설계와 같은 다양한 시도들이 이루어지고 있다. 이와 같은 노력에서 중요한 역할을 하는 것 중 하나가 바로 화재 시뮬레이션이다. 화재 시뮬레이션 수행에 있어서 대표적인 Field 모델인 Fire Dynamics Simulator (FDS)는 많은 연구자에 의한 실험과의 비교·검증 그리고 개발자의 지속적인 개선으로 불확실성이 높은 화재 시뮬레이션 결과의 신뢰성이 상대적으로 크다는 장점을 갖고 있다. 최근 FDS는 Version 5에서 6으로 변경되었으며, 예측 정확도 및 효율성의 관점에서 다양한 서브모델의 개선이 이루어졌다. 하지만 Large Eddy Simulation (LES) 기법이 FDS에 적용되었음을 고려할 때, FDS Version에 따른 아격자 난류모델 및 연소모델의 변경은 수치결과의 상당한 차이를 가져올 것으로 예상된다.

본 연구에서는 FDS Version에 따른 화염높이의 정량적 차이를 분석하기 위하여, 개방된 공간에서 헵탄 풀화재를 대상으로 시뮬레이션이 수행되었다. 구체적으로 FDS Version 5와 6의 변경에 따라 수치해에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 아격자 난류 및 연소모델에 대한 영향이 검토되었으며, 이때 평균 화염높이와 연관된 주요 인자들로서 시간 평균된 유속, 혼합분율, 단위 체적당 열발생률, 온도분포 및 열유속이 비교·분석되었다. 또한 FDS Version에 따라 예측된 평균 화염높이는 이론 혼합분율( $Z_{st}$ ) 및 적분된 열발생률의 비율을 통해 산출된 평균 화염 높이와 정량적으로 비교되었다.

주요 결과로서 FDS 5와 6에 각각 적용된 Smagorinsky 및 Deardorff 난류모델은 평균 유동분포의 변화에 영향을 주지 않으며, 화염면의 형상 및 화염높이에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 연소모델의 관점에서 Mixture Fraction (MF) 연소모델이 적용된 경우 화염면을 따라 비교적 균일한 평균 열발생률 및 온도분포를 예측하는 반면에, 연료/공기의 혼합시간에 의해 반응속도가 제한되는 EDC 연소모델은 버너 림 근처에서 급격한 열발생률 및 높은 온도를 예측하고 있다. 그 결과 FDS 5는 6에 비해 상당히 긴 화염높이 예측결과를 제공한다. MF 전달방정식을 통해 직접 화염면의 위치를 계산하는 FDS 5는 FDS 6에 비해 평균 화염높이를 기존 상관식에 보다 근접하게 예측할 수 있음을 확인하였다.

이와 같은 결과를 통해 화염높이가 화재위험성에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 과환기 구획화재, 천장 및 화원 근처의 주요 설비에 대한 위험성 그리고 건축 구조물의 내화성능 평가를 위해서는 FDS Version에 따른 수치결과의 분석 및 활용에 대한 주의가 요구됨을 확인하였다.

**\*\* 감사의 글:** 본 연구는 2017년도 소방청의 현장중심형 소방활동지원 기술개발사업(MPSS-소방안전-2015-66)의 지원을 받아 수행되었으며 관계제위께 감사드립니다.

## 재사용 및 제한적 화학보호복의 열적 성능 평가에 관한 연구

박평규<sup>1†</sup> · 김영수<sup>1</sup> · 윤병선<sup>1</sup> · 노호성<sup>2</sup>

(주)산청<sup>1</sup>, 방재시험연구원<sup>2</sup>

## A Study on Investigation of Thermal Performance Properties of Limited and Reusable Chemical Protective Clothing

P.K. Park<sup>†</sup> · Y.S. Kim · B.S Yoon · H.S. Ro.

SanCheong Co.<sup>1</sup>, Ltd., FILK<sup>2</sup>

<sup>†</sup>Corresponding autor: pkpark@sancheong.com

화학보호복은 산업분야에 화학물질의 유출사고 또는 화학물질의 유출을 동반하는 화재현장의 대응 시 착용자를 화학물질로부터 보호하기 위한 보호복이다. 화학보호복 분류는 크게 일회용, 제한용 및 재사용 화학보호복으로 나뉜다. 먼저, 일회용은 저가이며, 사용 후 세척, 서비스 및 유지관리가 어려우며 유지관리를 위해 재사용보다 폐기 용이하다. 제한용은 장시간 사용이 불가하며 유지 및 관리 공정 중 분해 가능하여 성능저하를 보일 수 있기 때문에 주기적으로 가스기밀성 등을 검사 및 유지관리를 해야 한다. 반면, 재사용 화학보호복은 제한용 보호복보다 고가이지만 내구성이 제한용 화학보호복보다 뛰어난 장점이 있어 장시간 사용 가능하다.

국내 화학보호복 기준은 소방용, 산업용 및 군용으로 분류하고 있다. 산업용은 유럽 EN 943-1 및 EN 943-2를 그대로 준용한 반면 소방용은 유럽의 EN 943-2와 NFPA 1991 기준을 혼용하고 있다. 산업용 기준은 소방용보다 열적특성이 상당히 약하다. 소방용 화학보호복은 난연성 및 열방호성이 있어 화재현장에 사용가능한 Level A 화학보호복, 난연성 및 열방호성이 없는 Level B 화학보호복 및 Level A 및 Level B 보호복에 속하지 않는 현장에서 사용가능한 Level C 화학보호복이 있다. 화학보호복의 형태는 Fig. 1과 같이 공기호흡기 내장형 가스 기밀 밀폐형 내화학보호복으로 가장 높은 방호력을 가지고 있어 가장 고위험 지역(Hot zone)에서 사용되어지고 있으며 좁은 공간에서 작업 가능한 공기호흡기 외장형 화학보호복이 있으며 방독면 등이 착용하는 호흡보호구 외장형으로 분류한다.

국립환경연구원에서는 근래에 화학물질 사고유형별 조사한 결과 화재, 폭발, 유출, 누출, 화재·폭발, 질식 등의 순으로 발생됨을 보고하였다<sup>7</sup>. 화학물질은 주로 순도가 95% 이상을 갖기 때문에 항상 화재를 동반할 수 있으며 화재 현장시 온도는 최소온도가 600℃에서 최대 1200℃ 까지 올라가는 실정입니다. 이에 소방관이 극한 상황을 직면했을 때 대응하기에 역부족이기에 탈출하기 위한 시간이 최소 8초 까지 주는 이유인 것 같다.

본 연구에서는 화학보호복의 열적특성을 해외 타 제품과 비교를 통하여 국내 화학보호복의 수준을 파악하기 위한 기초자료로 활용되기 위한 연구이다.

## LOI가 뛰어난 내열섬유의 방염성능 연구

박평규<sup>1†</sup> · 김영수<sup>1</sup> · 윤병선<sup>1</sup> · 노호성<sup>2</sup>  
 (주)산청<sup>1</sup>, 방재시험연구원<sup>2</sup>

### A Study on the Flame Resistance of Heat Resistant Fiber with Excellent LOI

P.K. Park<sup>†</sup> · Y.S. Kim · B.S Yoon · H.S. Ro.  
 SanCheong Co.<sup>1</sup>, Ltd., FILK<sup>2</sup>  
<sup>†</sup>Corresponding autor: pkpark@sancheong.com

화재현장에서 소방관은 개인보호장구(공기호흡기, 헬멧, 방화두건, 방화복, 안전장갑, 안전화 등)을 필히 착용하고 투입되어야 한다. 이들 개인보호장구의 무게는 약 20kg로 각 품목별 무게를 보면 공기호흡기가 54%로 11kg로 가장 무거웠으며 다음으로 방화복은 19%인 3.8kg, 안전화는 14%인 2.9kg 및 헬멧은 6%인 1.2kg를 보였다.

특히 소방용 방화두건은 화염에 소방관의 얼굴부위를 보호하는 용도로 사용된다. 헬멧과 공기호흡기 안면부 착용한 부분 외를 보호하는 기능을 한다. 현용 소방용 방화두건 재료는 아라미드계 섬유, 폴리벤즈이미다졸(Polybenzimidazoles, PBI)계 섬유로 된 직물 또는 이와 동등 이상이어야 한다고 명시되어있다. 국내기준의 시험항목을 보면 방염성능, 내열시험, 열통과시험이 있다. 국외 기준, NFPA 1971(2013) EN 13911(2004), ISO 11999-9(2015)과 국내기준의 차이점은 열방호성능이 추가되어 있다. ISO에서는 수준1과 수준2로 분류하고 있다.

본 연구에서는 방적사 편직물 및 방화두건 제품 편직물의 방염성능 등을 조사하였다.

#### 국내외 규격비교

시험항목	KFIS 031 (2014)	NFPA 1971 (2013)	EN 13911 (2004)	ISO 11999-9 (2015)	
방염성능	잔염 2초 이내, 탄화길이 10cm 이내, 용융 및 적하 없을 것	잔염 2초 이내, 탄화길이 10cm 이내, 용융 및 적하 없을 것	재료, 구성품조립체, 지퍼 시스템시험시 구멍이 없을 것	FH1	FH2
				잔염, 잔진 2초 ↓, 탄화길이 구멍없을 것	잔염 2초 ↓, 탄화길이 10cm ↓
내열시험	260°C, 5분 후 용융, 적하 및 변형이 없고 수축률이 ±10% 이내	방화두건(라벨, 벨크로제외) 열수축 10% 이하	재료, 구성품조립체, 지퍼 및 액세서리는 용융, 적하, 경화 또는 파괴가 없고 열수축률 10% 이내	ISO15025A	ISO15025B
		중재사는 260°C 이하에서 녹지 않을 것		FH1	FH2
열방호성능		20 이상일 것 (ISO 17492)	HTI <sub>24</sub> ≥ 8초 HTI <sub>24,12</sub> ≥ 3초 [EN 367, ISO 9151]	180°C	260°C
				5%	10%
				[ISO 17493] 봉제사는 녹지 않을 것 @ 260°C [ISO 3146]	
				FH1	FH2
열통과성능(복사열성능)	1,000°C에서 30cm거리에서 4분 경과후 내부 중심온도가 47°C 이하		HTI <sub>24</sub> ≥ 11초 HTI <sub>24,12</sub> ≥ 3초 [EN ISO 694 @20kw/m <sup>2</sup> ]	≥ 8초	≥ 11초
				≥ 3초	≥ 4초
				[ISO 9151]	
				FH1	FH2
열통과성능(복사열성능)				≥ 700	≥ 900
				[ISO 17492]	
				FH1	FH2
				≥ 11초	≥ 14초
				≥ 3초	≥ 4초
				[ISO 6942 694 @20kw/m <sup>2</sup> ]	

## 공조·제연 일체형 소방 댐퍼 도입 필요성에 관한 연구

최규철\* · 임태섭\*\* · 송성범\*\*

\*동원대학교 · \*\*벨리모서울 주식회사

## A Study on the Necessity of Introduction of Integral Fire & Smoke Damper for Air Duct and Ventilation Duct

Choi Kyuchool\* · Lim Taesep\*\* · Song Sengbem\*\*

\*Tongwon University · \*\*ABelimo Seoul Co.

†Corresponding author: kihm@kihm.org

### 1. 서론

화재현장의 사망자는 대부분 연기로 인한 호흡 곤란으로 밝혀지고 있다. 아무리 폐활량이 큰 사람도 1분 안에 호흡하지 못하며 바로 사망에 이르게 된다. 연기 속에 들어있는 독성가스가 그 원인이다. 화재현장에서 연기의 제어가 꼭 필요한 항목이다 이처럼 중요한 제연설비 안에 설치되는 댐퍼는 그 열리는 각도에 따라 제연성능을 발휘하지 못하여 무용지물인 경우가 많다. 그 원인은 공조와 제연댐퍼를 일체형으로 설치하였으나, 유지관리는 서로 하지 않기 때문이다. 덕트 내부에 설치된 댐퍼를 정기적인 소방검사 때 점검할 수 있는 장치를 방재실에 설치하여 감시하는 소방 일체형 댐퍼 설치가 필요한 이유이다. 이 연구는 소방 일체형 댐퍼의 도입 필요성을 연구하였다.

### 2. 일체형 소방 댐퍼의 성능확인에 의한 도입 필요성

공조덕트는 온·습도를 조절하여 실내 환경을 쾌적하게 유지하기 위해 설치되는 환기 목적의 덕트이다. 반면 제연덕트는 화재 시 실내에서 발생하는 연기를 배출하기 위한 목적으로 설치되는 덕트이다. 덕트에 설치되는 댐퍼에는 화재확산방지(Fire Damper)용과 연기확산방지(Smoke Damper)용 및 두 기능을 겸한 방화·방연댐퍼(Fire & Smoke Damper)가 있다. 이러한 댐퍼들은 대부분 덕트를 통과하는 공기나 연기의 온도에 따라 기계적으로 닫히는 구조이다. 기계적 작동의 한계로 동작 신뢰성이 떨어지거나 장기간 유지관리 미흡에 따른 미작동으로 제 기능을 발휘하지 못하는 사례가 많다. 이런 이유로 최근에는 전동밸브(Motorized)를 사용하는 댐퍼가 개발되어 보급되고 있다. 전동밸브를 이용하는 경우 정전 시 작동되지 않아 역시 문제점을 제기한다. 소방용 댐퍼의 경우 정전과 무관하고, 화재경보기에 의해 개폐되는 댐퍼의 도입이 필요하다. 이러한 기능을 갖춘 성능이 입증되는 일체형 소방댐퍼(Integral Fire & Smoke Damper)의 사용 가능성을 실험적 방법으로 성능을 확인하였다.

### 3. 결론

공조·제연덕트에 설치하는 일체형 소방댐퍼는 화재감지기, 화재경보시스템, 덕트 내 공기 온도, 정전으로 인한 전원 차단 등 다양한 방법으로 제어가 가능한 소방 댐퍼로 성능이 확인되어 연기확산 방지용으로 설치된다면 화재 시 연기로 인한 인명피해를 줄일 수 있는 것으로 확인하였다.

## 2017년 국내 화학사고 통계 및 분석 : 소방청 중앙119구조본부 중심으로

조철희<sup>†</sup> · 원옥경 · 권두효 · 석장후 · 이동원 · 김성연

소방청 중앙119구조본부

### A Review of Statistics & Analysis on the Chemical Accidents in Korea 2017 : Focus on the NFA, National 119 Rescue Headquarters

Chul-Hee Cho<sup>†</sup> · Dong Won Lee · Sung Yeon Kim

National Fire Agency, National 119 Rescue Headquarters

<sup>†</sup>Corresponding author: chcho119@korea.kr

2017년 소방청 중앙119구조본부 6개 119화학구조센터에서 출동한 총 사고건수는 351건으로 2016년(316건), 2015년(246건), 2014년(242건)과 비교하여 매년 증가하는 추세이다. 그 중 화학 사고는 48가지 화학물질 102건(28%)의 출동건수를 가졌다. 위험물안전관리법상 위험물(1류~6류)로 지정된 물질 중에는 4류(인화성 액체) 제1·2·3석유류, 6류(산화성액체), 2류(가연성고체) 순으로 높은 출동을 보였다. 또한 가연성, 독성, 가연성·독성, 조연성, 비활성 등 다양한 기체 누출사고가 발생하였으며, 그 외 염산, 황산, 불산, 수은, 사염화규소, 염화제이철, 트리클로로에틸렌, TDI, MDI 등 다양한 유독물질들의 누출 및 화재사고가 발생하였다. 월별로 출동현황(최근 4년)을 살펴보면 기온이 상승하는 6월에서 10월에 높은 출동 빈도를 보였으며, 기온이 낮아지는 1월에서 4월, 11월, 12월에는 상대적으로 낮은 출동 빈도를 보였다. 이는 화학사고 발생은 화재와 정반대의 결과를 가진다는 것이다.

본 연구에서는 추후 유사 화학물질 사고 발생 시 체계적이고 효율적인 대응전략을 구상하였으며 신생 화학사고 발생 시 방재활동의 체계적이고 효율적인 대응전술 구축을 위한 전문적 사고대응 역량 강화를 위해 계속해서 노력해 나아갈 것이다.

## 유해화학물질 누출대응 모바일앱 개발

진향교<sup>†</sup> · 김한나 · 류병환

한국화학연구원

## Mobile application for harmful chemicals leak respond

Hangkyo JIN<sup>†</sup> · Hanna KIM · Beyong-Hwan RYU

Korea Research Institute of Chemical Technology

<sup>†</sup>Corresponding author: hkjin@kRICT.re.kr

본 발표는 유해화학물질 누출 시 피해를 축소하기 위한 대응 정보를 모바일 어플리케이션(이하 모바일앱으로 기재함) 모듈로 신속하게 제공하는 기술에 관한 것이다. 본 개발기술에서는 모바일앱 모듈에 누출된 화학 물질정보와 주변정보를 입력하면, 데이터 베이스부와 유해화학물질 누출대응정보 연산부가 물리적 포집과 화학적 제독 처리를 포함한 누출대응방법을 신속하고 구체적으로 산출하여, 다시 모바일앱 모듈을 통해 방재담당자에게 제공함으로써, 화학물질에 대한 지식이 부족한 방재담당자라 하더라도 유해화학물질 누출 시 초동 대응을 효율적으로 수행할 수 있고, 그에 따라 유해화학물질 누출로 인한 피해를 최소화하고, 국민들의 불안감을 경감시킬 수 있는 유용한 효과를 제공하고자 한다.

본 초기단계 모바일앱의 실효성 및 완성도를 높이기 위하여 방재전문가(환경부, 소방방재청 등)분들께서 본 모바일앱에 관심을 가지시고 수정, 보완사항을 제안해 주시면 이를 반영하여 보다 개선된 모바일앱을 2019년 경부터 공개소프트웨어로 보급할 계획이다.

이하에 본 기술에서 개발한 모바일앱 구동 화면을 일례로 도시한다(불화수소 1000 kg 이 누출되어 대기 중 농도가 150 ppm 이고 대기온도가 15°C 일 경우).

## 대도시 소방관들의 화상에 의한 직업관련성 손상 발생 특성

김수진<sup>†</sup>

서울특별시소방학교 소방과학연구센터, 서울대학교 보건대학원

### Characteristics of Job-related injury incidence due to Burns for Firefighters in Metropolitan

Soo Jin Kim<sup>†</sup>

Fire Science Research Center, Seoul Metropolitan, Fire Service Academy  
Graduate School of Public Health, Seoul National University

<sup>†</sup>Corresponding author: kdamian0@snu.ac.kr

소방공무원들은 각종 사고 및 재난발생시 가장 먼저 사고현장 내부로 진입하여 현장수습과 인명구조를 수행한 후 가장 마지막에 나오는 위험직군으로, 현장 수습활동 중 2차사고를 목격하고 현장활동중인 소방관이 스스로 손상에 노출될 위험이 매우 높다. 소방청에서 공표한 소방공무원 보건안전관리규정에 의거하여 소방관들이 공무 중 발생하는 손상은 안전사고발생보고서와 소방활동 안전평가·검토서(4M Risk Assessment)를 작성하여 함께 보고하도록 규정하고 있다. 그러나 그 발생규모와 유형별 발생빈도 및 원인은 취합 분석되지 못하고 있으며 적절한 중재(intervention) 또한 없어 유사한 사고사례가 발생되고 있는 것이 현실이다. 이에 따라 본 연구의 목적은 2014년 11월에서 2017년 12월까지 서울특별시소방재난본부 산하 소속 소방공무원들이 공무 중 발생하였던 직업관련성 손상 중 화상(burn) 손상의 발생특성을 분석하는 것이다.

총 6건의 화재사고가 발생하였고 이 중 11명의 부상자로 확인되었다. 부상자의 인구사회학적 특성으로 11명 모두 남자였고 평균 연령은 40.6세(±8.3), 평균 재직년수는 13.4년(±8.9)이었다. 손상의 원인으로 기여한 사고의 특성으로 발생월은 겨울이 4건, 봄이 2건이었고, 발생요일로는 수요일이 4건, 토요일이 2건이었으며, 사고시간은 오전시간이 3건, 오후 2건, 밤 1건이었다. 사고의 1차원인은 모두 화재였고, 2차원인은 불꽃, 전선피복, 화염, 롤오버, 폭발이었으며, 6건 모두 현장활동 단계에서 화상을 입었는데 이 중 5명이 화재진압팀장(대원)이었고 6명이 구조대원이었다. 화상의 종류는 모두 열화상이었고 2도화상 이상이었으며 부상부위는 얼굴, 귀, 팔, 손목, 손바닥으로 조사되었다. 이들 모두 적정치료를 받은 후 직장으로 복귀했는지(RTW; return to work) 여부는 발생보고서에서 확인할 수 없었다.

현재 국가기반의 소방관 공상·순직DB는 구축되어 자료수집은 이루어지고 있으나 구축된 자료의 분석과 피드백시스템이 부재하며 소방관 공상DB는 공무 중 발생하는 모든 안전사고를 포함하지 못하였다. 서울시 소방관은 3년간 1,000명당 1.5%의 비율로 직업관련성 화상환자가 발생하는 것으로 확인되었다. 향후 4M 위험도 평가를 포함하여 명확한 사고원인이 규명되고 유사한 사고가 발생되지 않도록 피드백 시스템과 사고예방을 위한 교육프로그램 개발 보급을 포함하는 직업관련성 손상에방감시체계 작동이 필요할 것이다.

오전(6~12) - 오후(12~19) - 야간(20~6)

## 냉동시설의 암모니아 폭발사례를 통한 폭발량과 과압 크기에 관한 연구

김지훈<sup>†</sup>

한국RMC

### Annual Conference of the KIHM : A Study on the Amount of Explosion and Overpressure Size through the Analysis of an Explosion Case at Ammonia Refrigeration Facilities

KIM JI HOON<sup>†</sup>

Korea RMC

<sup>†</sup>Corresponding author: kidsmurf@naver.com

암모니아 가스는 누출될 경우에 독성가스로서 눈의 자극, 두통, 호흡곤란 등 인체에 치명적인 피해를 줄 수 있고 가연성가스로 알려져 왔음에도 불구하고 누출시 자극적인 냄새가 나기 때문에 미세한 누출이라도 누구나 쉽게 인지할 수 있어 신속히 안전조치를 할 수 있다는 것과 연소범위가 다른 가연성가스에 비하여 상대적으로 높아 누출되어도 쉽게 화재나 폭발이 발생하지 않는다는 잘못된 인식을 가지고 있다. 그러나 2014년 2월 경기도 000시의 고압가스 냉동제조시설에서 냉매가스로 사용하던 암모니아 가스가 국내 최초로 폭발하는 사고가 발생하였고, 이 사고로 인하여 업계 및 학계에서는 암모니아 가스의 폭발 위험성에 대하여 큰 관심을 갖게 되었다.

본 연구에서는 암모니아 가스의 누출 및 확산에 따른 이론적으로만 알려져 있던 암모니아 가스의 폭발 위험성에 대하여 확인하게 되었다. 즉, 암모니아 가스는 공기보다 가벼워 누출이 발생하여도 대기 중으로 쉽게 확산되어 폭발범위를 형성하기가 어렵지만 밀폐되거나 환기가 잘 되지 않는 건축물 안에서는 쉽게 폭발범위를 형성하여 점화원이 존재하는 경우 폭발이 발생할 수 있는 조건이 조성됨을 확인하였다.

따라서 이론적으로 도출한 UEL과 LEL 폭발범위에 대한 과압형성의 크기를 PHAST 프로그램으로 검증하여 암모니아 가스의 누출후 배기에 따른 연소상한계에 도달시 폭발 위험성에 대한 과압크기를 현장에서 발생한 과압크기와 비교하여 검증을 통해 실제 사고시의 암모니아 가스 폭발량을 확인하였다.

## 화재현장 열기류 이동에 의한 화재성상 변화에 관한 연구

현성민<sup>†</sup> · 이영병\* · 안재성\*\* · 이상열\*\*\*

<sup>†</sup>서울 동작소방서, \*소방재난본부, \*\*강동소방서, \*\*\*강남소방서

### A Study on the Changing Fire Characteristics by Wind-driven fire

Sung-Min Hyeon<sup>†</sup> · Young-Byeong Lee\* · Jea-Sung Ahn\*\* · Sang-Yeol Lee\*\*\*

<sup>†</sup>Seoul Dong-jak Fire Station, \*Fire & Disaster HQ, \*\*Gang-dong Fire Station,  
\*\*\*Gang-nam Fire Station

<sup>†</sup>Corresponding author: condolre@seoul.go.kr

The ultimate purpose of the fire investigation is to analyze the combustion conditions of the machinery and electrical equipment and the combustible environment collectively. Which leads to minimizing damage to personnel property and materials by contributing to the strategic development of fire prevention data and firefighting activities. To achieve this purpose, the fire inspector needs have a good understanding of fire occurrence or growth and being able to determine the exact source and Origin of the fire.

In order to find the cause of ignition at the fire scene, the fire investigator predicted the initial ignition point, and research on the burning traces has been continuing until now. However, these burning traces are difficult to accurately determine the direction of combustion because the fire grows and goes through the flash over, etc., and the combustion is enlarged to the ignition Room and the adjacent Room.

As a result of repeated experiments, it was found that the generation of Wind-driven fire was caused by natural factors and digestive water. Wind-driven fire was confirmed that the combustion range was expanded by pushing the heat and combustible gas to increase the heat release rate of the ignition chamber and to promote the fire growth.

Wind-driven fire was also confirmed that the burning traces were Changed due to fire investigator having to assume could lead to mistakes of ignition point if the understanding of the 'Wind-driven fire' is not sufficient. Therefore, This study hope that many fire investigators will understand the growth and traces of fire caused by 'Wind-driven fire' and observe the fire scene more in detail, so that the fire detection point can be scientifically and accurately determined.

**Keywords** : Wind-driven fire, Wind control, Natural factors, Digestive water

## 분진에 의한 화재폭발사고 저감을 위한 인화성고체의 제도개선 방안

한우섭<sup>†</sup>

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

### Regulation improvement of flammable solids for reducing of dust fire and explosion accidents

Ou-Sup HAN<sup>†</sup>

Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA  
#339-30, Expo-ro, Yuseong-gu, Deajeon 305-380, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author : hanpaule@kosha.or.kr

2011년7월6일 이전의 산업안전보건법(산안법)에는 가연성 분진이란 용어가 사용되었는데 산안법에서의 유해·위험 화학물질 분류체계가 GHS 체계로 통일되면서 가연성 분진이 인화성고체로 변경되었다. 이로 인해 대부분의 분진 화재폭발사고 원인물질이 되고 있는 가연성분진이 법적 관리의 사각지대에 놓이게 되어, 분진화재폭발 등의 동종재해 및 중대사고가 매년 반복하여 발생하고 있다. 또한 현재 산안법에서는 위험성 분류범위가 인화성고체보다 매우 넓고 사용량이 많은 가연성 분진에 대한 규정이 없는 상황으로서 실제 가연성 분진 취급 사업장은 관리대상에서 제외되어 분진의 화재폭발사고가 증가 경향에 있다. 그러므로 분진에 의한 화재폭발사고를 예방하기 위해서는 현재 산안법 관리체계에 있어서 가연성 분진에 대한 관리규정 등을 제개정하여 가연성 분진 취급 사업장을 제도권 내로 유입하여 관리할 필요가 있다. 또한 현행 GHS분류기준에 있어서 인화성고체는 모든 가연성 분진을 대표하지 않으며 또한 가연성 분진에 대한 위험성을 사용자(작업자)에게 정확히 알려주지 못하는 큰 문제점을 가지고 있다. 국내에서 발생한 대부분의 분진화재폭발사고는 인화성고체가 아닌 가연성분진에 의한 것이므로, 화재폭발사고 예방 및 저감을 위해서는 현재 산안법에서 규정하고 있는 유해인자 분류기준의 인화성고체를 가연성분진으로 변경하고 인화성고체 이외의 가연성분진을 규제대상에 포함하여 관리하는 것이 시급히 요구되고 있다. 본 연구에서는 가연성분진에 의한 사고사망을 줄이기 위한 제도개선 대책과 안전관리 기준방안을 제시하였다.

## 방염성고분자 (Nylon 66)의 열분해 특성연구\_반응역학 모델링 구축

권경옥<sup>†</sup>

전주대학교 소방안전공학과

### Pyrolysis Behavior of Polymer (Nylon 66) contained Flame-retardant -agents\_Modeling based on Thermo and Kinetic Reaction

kyungok Kwon<sup>†</sup>

Jeonju University

<sup>†</sup>Corresponding author: kokwon@jj.ac.kr

**요약** : 방염성능을 측정하고 예측하기 위한 열역학에 기반한 컴퓨터 모델링을 구축하고자 하였다. Nylon 66에 방염물질은 유리섬유와 적인을 사용하여 방염성능을 구현하도록 하였다. 모델링을 위한 열분해의 동역학 열역학 데이터는 DSC (Differential Scanning Calorimetry)와 MCC (Microscale Combustion Calorimetry) 이용하였다.

**본론** : 고분자 섬유는 산소한계지수는 나일론 20-22, 폴리에스터 20-22, 양모는 24-26, 폴리염화비닐은 35-37이다. 연소를 지속하기 위해서 필요한 최저의 산소농도를 한계산소지수라고 부른다. 통상 26이상을 난연성이라고 부른다. 또한, 나일론의 착화온도는 다른 고체나 기체의 가연물보다도 낮은 편이다. 전기전자 기기분야에 사용되는 나일론 난연재료의 난연그레이드를 표1에 나타냈다. UL-94의 HB클래스부터 5V클래스까지 폭넓게 난연성재료로 사용되고 있다.

표 1. 난연성

종류	응용분야	난연성
난연 Nylon 66	기어, 커넥터 등	V-2~V-0

난연제로 유리섬유와 적인을 사용하여 나일론의 난연성을 높일 수 있고, 난연성능은 질량손실속도(MLR)과 열량을 동시에 측정하는 DSC에서 측정하였다.

ThermaKin을 이용하여 방염성능을 정량적으로 예측할 수 있는 화재모델링을 구축하였다.

#### 참고문헌

1. Yan Ding, Kyungok Kwon, Stanislav I. Stoliarov, Roland H. Kraemer, Development of a semi-global reaction mechanism for thermal decomposition of a polymer containing reactive flame retardant, *Proceedings of The Combustion Institute*, PROCI-D-17-00171R2, (2018). 07
2. R. E. Lyon, N. Safronava, and E. Oztekin, A Simple Method for Determining Kinetic Parameters for Materials in Fire Models, *Fire safety science-proceedings for the tenth international symposium*, pp. 765-778 (2011)

## 위험성평가 분석기법에 의한 위험물사고 원인조사 사례 연구

김인범<sup>†</sup>

경민대학교 소방안전관리과

### A Case Study on the Investigation of Cause of Hazardous Material Accident by Risk Assessment Analysis Method

InBeom Kim<sup>†</sup>

Dept. of Fire Protection Safety Management, Kyungmin University

<sup>†</sup>Corresponding author: inbeom@nate.com

경북 구미의 불산 누출사고와 울산시 울주군 원유 누출 사고 등과 같이 위험물로 인한 사고가 지속적으로 발생하고 있으며 외국의 경우에도 가스누출이나 유류 등으로 인한 사고가 빈번히 발생하고 있다. 이와 같은 위험물 사고가 발생하게 되면 사고의 발생이 어떠한 원인에 의해 발생하였는가를 규명하기 위한 노력이 수행되어진다. 이러한 노력은 사고의 원인을 제공하게 되는 다양한 위험(Hazard)에 대한 평가를 통해 위험을 찾아내어 사전에 그것이 얼마나 위험한 것인지를 평가하고 그 평가의 결과에 따라 확실한 예방대책을 세우는 위험성 평가(Risk Assessment)와 그 분석기법들을 활용하는 것으로 설명될 수 있다.

위험성평가와 분석기법은 분류의 방법에 따라 다양하나 크게 정성적 평가와 정량적 평가로 구분할 수 있으며 정성적 평가는 어떠한 위험요소가 존재하고 그 위험의 감소조치로는 어떤 것이 있는지를 찾아내는 방법이며, 정량적 평가는 위험요소를 정량적으로 분석평가하고 그 크기에 따라 대내적, 대외적 예방대책이나 저감대책을 수립하는 평가분석방법이다. 정성적 평가 방법에는 체크리스트 기법, What If기법, HAZOP (Hazard and Operability)기법 등이 있으며, 정량적 평가기법에는 사건수 분석법(ETA, Event Tree Analysis), 결합수 분석법(FTA, Fault Tree Analysis), 원인결과분석법(CCA, Cause Consequence Analysis) 등이 있다.

본 연구에서는 국내외에서 적용되어진 위험성평가분석기법을 기초로 위험물사고의 원인조사 사례를 살펴보고, 발생한 위험물사고에 따라 적용되어진 위험성평가 분석기법의 사례들을 살펴보고자 하였다.

## 최근 대형 화재사례 분석을 통한 화재안전 대책에 관한 연구

이용재

경민대학교 소방안전관리과

### A Study on Fire Safety Measures through Analysis of Large-scale Fire Case

Yong-Jae Lee

Dept. of Fire Safety Management, Kyungmin Univ

†Corresponding author: vplyj@naver.com

독일의 사회학자 울리히 백(Ulrich Back/뮌헨대학교 교수)은 산업발전 자체가 각종 위험을 증가시켰으며, 아무리 정교한 시스템을 구축하더라도 보이지 않는 위험이 내재돼 있다고 그의 저서 위험사회에서 밝히고 있다. 특히 우리나라처럼 급속한 성장을 한 나라일수록 그 위험이 더 광범위하게 숨어 있다고 경고 했다. 이처럼 한국 사회는 경이적인 경제성장을 이뤘었지만 한편으로 잠재된 어두운 면과 다양한 위험 요인들이 존재하고 있다.

최근 우리나라에서 발생한 화재 및 대형사고의 경우 그 유형이 다변화 하고 있다. 90년대에는 씨랜드 화재(1999년), 인현동 호프집화재(1999년), 우암상가아파트 화재 및 붕괴사고(1993년) 등이 대표적인 사고로 기록되었다.

2000년대 이후에는 방화(대구 지하철 방화 사건/사망 193명, 2003년), 요양병원 화재(포천/사망 10명, 장성/사망 21명, 밀양/사망 46명), 공사중 화재(이천 물류창고/사망 8명, 고양 종합터미널/사망 8명), 고층 건축물 화재(부산 골든스위트), 제천 스포츠센터 화재(사망 29명, 2017년) 등 사회적 문제에 의한 방화, 공사중 화재, 고령화 사회를 반영한 요양원(병원) 화재, 고층 건축물 화재 등 대형 화재발생 장소의 다변화 현상이 두드러지게 나타나고 있으며 특히 샌드위치패널, 드라이비트 등 가연성 건축재료 사용의 확대에 따른 화재 위험성이 현실로 나타나고 있다.

즉, 소방기술의 발전과 소방관련 법규정의 강화에도 불구하고 최근에도 대형화재는 지속적으로 발생하고 있음을 알 수 있다. 특히 경제적 논리에 따른 가연성 건축재료의 사용, 화재에 취약한 필로티 구조 건축물이 광범위하게 건립됨으로 인해 잠재적인 위험성이 대형 화재를 발생시키는 원인이 되고 있다.

최근의 이와 같은 다수의 인명피해를 유발한 대형 화재사건의 원인을 분석한 결과 다음과 같은 개선대책이 필요하다.

첫째, 필로티 구조 상부에 외측면을 따라 적정 높이의 현수벽을 설치한다. 현수벽의 설치로 주차장 부분의 화염이 측면 및 상층으로의 확산 위험성을 최소화 할 수 있다.

둘째, 드라이비트공법의 화재 위험성 최소화를 위해 난연성 재료(단열재) 사용, 구조체에 단열재(스치로폼) 부착 시 빈 공간이 없도록 모르타르의 밀실한 도포가 필요 하다.

셋째, 법규정에 따른 철저한 방화 구획 설치를 통해 화염 확산을 방지 한다. 방화문, 덕트(EPD) 등 철저한 방화구획으로 필요하다.

넷째, 불법적 용도변경의 금지 및 재실자 특성을 반영한 피난경로의 확보가 필요하다.

## 울산항 취급화물의 TNT 당량에 따른 과압피해에 관한 연구

차정민

경북전문대학교 소방안전관리과

### A Study on Overpressure Damage According to TNT Equivalence of Cargo Handled in Ulsan Port

Jeong-Min Cha

Dept. of Fire Safety Management, Kyungbuk Univ.

<sup>†</sup>Corresponding author: jmcha@kbc.ac.kr

항만은 선박의 출입, 사람의 승선·하선, 화물의 하역·보관 및 처리, 해양친수활동 등을 위한 시설과 화물의 조립·가공·포장·제조 등 부가가치 창출을 위한 국가의 기간시설로서 육상운송과 해상운송의 연결기능을 수행하는 중계지로서의 중요한 역할을 하고 있다. 국내의 무역의존도가 70% 내외에 달하는 대외 의존적 경제구조인 것과 취급하는 전체 화물 중 90% 이상이 해운항만을 통해 이루어지고 있다는 것을 고려한다면 해운항만의 중요성이 크기 때문에 국가 주도의 항만개발 정책에 따른 지속적인 부두 시설 등의 확충으로 전국 항만의 확보율이 점진적으로 증가하고 있다. 하지만 항만에서의 부두형태, 하역형태, 취급화물, 선박의 접안 능력별 안전관리에 대해서는 정량적 분석 및 평가가 미흡하여 해양 및 항만에서의 안전관리가 체계적으로 이루어지지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 항만화재의 특수성을 고려할 때 위험물의 하역 중 화재·폭발 및 누출 사고가 발생하면 인적, 설비적인 피해가 매우 크기 때문에 잠재적인 위험요소를 찾아서 위험이 얼마나 자주 발생할 수 있고 위험이 발생한다면 그 피해가 얼마나 클 것인가를 평가하고자 하였다. 누출되는 위험물은 울산항에서 비교적 물동량이 많은 케미컬 제품 중 벤젠을 선정하였으며 화재·폭발 위험성 및 위험특성을 정량적으로 평가하고자 하였으며 화학적 폭발 에너지를 계산하기 위해 TNT 당량 모델을 활용하여 과압에 따른 피해 정도를 예측하고자 하였다.

## NCS를 기반으로한 위험물안전관리 교과운영방안에 관한 연구

현성호 · 차정민<sup>\*†</sup>

경민대학교 소방안전관리과 · \*경북전문대학교 소방안전관리과

### A study on the NCS base management plan hazardous material safety management courses

SeongHo Hyun · JeongMin Cha<sup>\*†</sup>

Dept. of Fire safety Management, Kyungmin Univ.

<sup>\*</sup>Dept. of Fire Safety Management, Kyungbuk Univ.

<sup>†</sup>Corresponding author: jmcha@kdaum.net

과학기술의 진보와 동시에 이에 따른 위험물의 수요가 날로 증가하고 있기 때문에 새로운 사고재해의 원인을 동반케한다. 특히, 화학분야에 관계하는 사람들에게는 사고방지를 위해 항상 위험물질에 대한 새로운 지식이 요구되는데, 기존 교육과정의 경우 이론중심으로 운영하는 경우가 많았다. 따라서 본 연구는 기존 위험물 교과에 대한 학습과정 운영 시 이론중심의 교과 운영이 아닌 NCS의 취지에 맞게 이론과 실기를 병행하여 위험물에 대한 이해를 돕고 실제 교육현장에서 활용할 수 있도록 교육과정 운영방안에 관하여 제안코자 한다.

NCS 교육과정은 '능력중심 교육과정'으로 기존 교과목을 그대로 사용하는 것이 아니라 현장에서 수행할 수 있는 직무 중심의 모듈로 개편한다는 것을 의미한다. NCS기반 교육과정은 기존의 전통적인 학문과 지식 위주의 교육과정으로부터 산업계가 요구하는 일 중심의 교육과정으로의 변화를 촉진함으로써 학습과 일 사이의 갭(GAP)을 줄이고 일과 교육훈련 및 자격을 연결하는 매개체로 활용 되어야 하는 것이다. 따라서, 본 연구에서는 위험물안전관리 교과 운영 시 기본 이론 전개후 그에 따른 사고사례를 보여주고 각 유별을 제대로 이해하기 위한 관련 수행내용을 제시하며, 그에 따른 수행결과보고서, 평가자질문, 학습자와 교수자의 공동평가 및 직무능력평가까지 단계별 학습운영방안에 대해 고찰하고자 하였다.

## 국내 화학사고 보건의료 대응 교육 현황

왕순주<sup>†</sup> · 유학인 · 이승혜

한림대학교

### Status of Domestic Medical Response Education Program for Disasters Including Chemical Accidents

Soon-Joo Wang<sup>†</sup> · Hakyin Yu · Seunghye Lee

Hallym University

<sup>†</sup>Corresponding author: erwsj@chol.com

과거 지진, 홍수 등 자연재해로 인한 재난사고와 달리 현대사회에서는 자연재해는 물론, 급속한 산업화에 따른 테러, 방사선사고, 유독성 화학사고, 신종 전염병 등과 같은 인위적인 사회재난의 다양한 형태의 재난이 발생하고 있다. 그러나 2012년의 구미 불산 누출사고와 같은 예측하지 못했던 대형 화학사고 발생 시 초동대응 실패로 피해가 확산되면서 이에 따른 재난대응능력부족에 대한 문제점이 대두되었다.

특히 화학사고와 같이 유독물질로 인한 재난이 발생할 경우 현장구조자 및 응급의료진의 신속한 응급처치와 유독물질로 인한 2차 피해 등 피해확산을 위해 화학물질 피해자 처치에 대한 전문지식 함양이 필수적으로 요구된다. 화학사고와 같은 특수 재난의 상황에 대비하여, 국가적으로 재난의료대응 인력에 대한 교육 훈련 정책이 제공되어야 하며, 재난의료대응기관에서는 현장구조자 및 응급의료진 등 재난의료대응 전문 인력의 양상을 위한 사전 교육이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 화학물질사고 발생 시 현장대응자 및 응급의료진의 의료대응을 위한 전문 교육 프로그램을 개발하기 위해 현재 국내에서 실시되고 있는 재난의료대응 및 화학사고 관련 교육 프로그램들을 조사하였다. 일반재난관련 프로그램 중 화학사고 관련 프로그램, 보건의료 관련 프로그램을 조사하고 화학사고 및 보건의료 관련 프로그램이 동시에 포함되는 프로그램의 존재 여부 및 그 내용, 운영을 조사하였다. 조사에 따르면 화학사고와 보건医료를 동시에 다루는 프로그램이 내용상 존재하나, 내용의 일부분이며 전문적으로 교육훈련하는 프로그램은 미흡하여 향후 프로그램 개발 및 적절한 운영이 요구되어 진다.

\*\* 본 연구는 환경부의 화학사고 대응 환경기술개발사업에서 지원받았습니다.

## 국내 화학사고 대응 교육 동영상 분석

유학인 · 이승혜 · 왕순주

한림대학교

### Analysis of Educational Video for Chemical Accident Response

Hakyin Yu · Seunghye Lee · Soon-Joo Wang

Hallym University

<sup>†</sup>Corresponding author: erwsj@chol.com

본 연구는 화학물질로 인한 사고 발생 시 현장대응자 및 응급의료진의 의료대응을 위한 전문 교육 프로그램을 개발하고 향후 시민들의 화학사고에 대한 안전을 향상시키기 위해 현재 국내에서 실시되고 있는 재난의료대응 및 화학사고 관련 교육 동영상들을 조사하였다.

화학사고만 혹은 화학사고를 포함하는 동영상의 구분, 일반재난안전관련 동영상 혹은 화학사고와 같은 특수한 재난사고 대비 동영상의 구분, 대상별 구분, 교육 목적별 구분 등을 시행하였다. 교육홍보의 요소가 없는 동영상들은 제외하였다.

기술적으로는 애니메이션 혹은 실사촬영의 구분, 진행자 활용 여부, 캐릭터 개발 혹은 활용 여부, 실제 사고나 재난 장면의 삽입 여부, 이미 개발된 다른 콘텐츠들의 활용 여부를 영상 내용을 보면서 조사하였다.

동영상이 개발되어 제공되는 방법, 즉 파일로 제공되는지 혹은 스트리밍 형태로 제공되는지 여부, 인가된 대상들만 접근할 수 있는지 혹은 공개되어 있는지의 구분, 온라인 교육 과정 등 다른 프로그램에 일부로서 제한되게 활용되는지 혹은 독립된 콘텐츠로서 상황에 맞게 응용하여 활용할 수 있는지 등 다양한 측면에서 조사 비교하였다.

본 연구진은 적절한 화학사고 대응을 위한 효과적인 역량 강화를 위하여 관련 동영상을 분석하여 국내에서 미진한 사항을 보강하고자 하였다. 이를 통하여 국내 화학사고 관련 교육 동영상의 개발의 방향을 결정하고 향후 추세인 동영상을 통한 온라인, 혹은 모바일 교육의 방향으로 나가는 적절한 방법을 제시하고, 시민들에게는 자체 교육 홍보 효과가 있도록 할 것이 기대된다.

\* 본 연구는 환경부의 화학사고 대응 환경기술개발사업에서 지원받았습니다.

## 불화수소 누출로 발생한 재난성 화학사고가 지역사회 정신건강에 미치는 영향

윤성용<sup>†</sup> · 유승현 · 우극현 · 김진석 · 조성용 · 임현술\* · 안연순\*\* · 양원호\*\*\*

순천향대학교 구미병원 환경보건센터 · 순천향대학교 구미병원 직업환경의학과 · 동국대학교 의과대학 예방의학과\* · 동국대학교 일산병원 직업환경의학과\*\* · 대구가톨릭대학교 산업보건학과\*\*\*

## Psychological effects of a disastrous hydrogen fluoride spillage on the local community

Seong-yong Yoon<sup>†</sup> · Seung-Hyun Yoo · Kuck-Hyun Woo · Jin-Seok Kim ·  
Seong-Yong Cho · Hyun-Sul Lim\* · Yeon-Soon Ahn\*\* · Won-Ho Yang\*\*\*

<sup>†</sup>Department of Emergency Medicine and Environmental Health Center The department of occupational and environmental medicine, Soonchunhyang university Gumi Hospital · Department of Preventive Medicine, Dongguk University College of Medicine\* · Department of Occupational and Environmental Medicine, Dongguk University Ilsan Medical Center\*\* ·  
Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu\*\*\*

<sup>†</sup>Corresponding author: justicebear@hanmail.net

2012년 9월 27일 오후 3시 43분 구미시 4공단 소재 (주)휴브글로벌에서 불화수소가 누출되는 사고가 발생하였다. 작업 중이던 근로자 5명이 현장 또는 이송 중 사망하였고, 지역사회로 확산된 불화수소로 인해 인근 마을 주민들과 공단지역 근로자들이 신체적, 심리적 피해를 입었다. 또한 농작물과 주변 식물, 시설들의 광범위한 피해현장을 지켜보면서 지역사회의 불안은 가중되었다. 본 연구는 지역사회 불화수소 누출로 발생한 재난성 화학사고가 지역사회 정신건강에 미치는 영향을 분석하고, 신체적 증상과의 관련성 및 시간 경과에 따른 변화 양상을 확인하고자 하였다. 또한 이러한 분석을 통해 추후 화학사고 발생시, 피해 지역사회 구성원들의 심리적 안정화에 기여할 수 있는 보다 실효적인 지원방안 마련의 근거자료로 활용하고자 하였다.

불화수소 누출사고 이후 2단계에 걸쳐 건강영향조사를 실시하였다. 1단계 조사는 2012년 10월 13일부터 2013년 1월 12일 까지 사고지점 인근 거주주민 220명, 사고지점 인근 근로자 829명, 사고지점 인근지역의 중학교 학생 및 교직원 310명 등 총 1,359명을 대상으로 실시하였다. 2단계 조사는 2013년 2월19일부터 2013년 5월 14일까지 1단계 조사대상자에게 설문지를 우편으로 발송하여 수거된 대상자 711명(거주주민 83명, 인근 지역 근로자 413명, 중학교 학생 및 교직원 214명)을 대상으로 실시하였다. 설문 문항은 인구학적 특성, 신체적 증상, 심리적 상태를 평가를 위한 문항, 노출평가를 위한 문항으로 구성되었다. 심리적 상태 평가를 위한 도구로 한국판 사건충격척도(impact of event scale - revised korean version, IES-R-K)와 Beck 불안 척도(Beck Anxiety inventory, BAI)를 사용하였다. 사건충격수준 평가 기준은 IES-R-K 25점 미만은 정상, 25점~39점은 중등도군, 40점~59점은 위험군, 60점 이상은 극심 위험군으로 분류하였다. 불안수준 평가 기준은 BAI 21점 이하는 정상, 22점~26

점은 불안군, 27점~31점은 심한 불안군, 32점 이상은 극심한 불안군으로 분류하였다.

사건충격 수준 극심 위험군 비율이 사고 1개월후 125명(9.2%)에서 사고 7개월후 26명(3.7%)로 유의하게 감소하였고 위험군 비율도 사고 1개월후 249명(18.3%)에서 사고 7개월후 69명(9.7%)로 유의하게 감소하였다.( $p < 0.05$ ) 사건충격수준 총점(IES-R-K)의 평균점수는 1개월 경과시  $33.33 \pm 14.64$ 점에서 7개월 경과시  $28.68 \pm 11.80$ 점으로 유의하게 감소하였다.( $p < 0.05$ ) 불안수준 총점(BAI)의 평균점수는 1개월 경과시  $5.16 \pm 6.59$ 점에서 7개월 경과시  $6.79 \pm 8.41$ 점으로 유의하게 증가하였다.( $p < 0.05$ )

사고 7개월후 지속증상 유무에 영향을 미치는 요인에 대해 로지스틱 회귀분석을 시행하였다. 연령대별로 10대를 기준으로 지속 증상 유무에 대한 odds ratio는 50대가 25.737(95% CI = 4.793-138.213), 60대가 19.108(95% CI = 2.757-132.437), 70대가 32.236(95% CI = 4.247-244.698), 80대가 28.356(95% CI = 1.855-433.508) 이었다. 불화수소 노출수준별로 극저노출군을 기준으로 지속 증상 유무에 대한 odds ratio는 저노출군은 12.115(95% CI = 1.054-139.275), 중등도 노출군은 19.206(95% CI = 1.716-214.895), 고노출군은 23.346(95% CI = 2.117-257.489) 이었다. 사건충격수준별로 정상군을 기준으로 지속 증상 유무에 대한 odds ratio는 중등도군은 2.302(95% CI = 1.249-4.241), 위험군은 5.268(95% CI = 2.397-11.575), 극심 위험군은 27.834(95% CI = 5.747-134.811) 이었다.

재난 사고는 피해자에게 PTSD, 불안장애 등 심리적 문제를 유발할 수 있고, 이러한 심리적 영향의 정도에 따라 신체적 증상의 지속 위험이 높아질 수 있다. 본 연구에서는 불화수소 노출 수준이 높은 피해자에서 심리적인 영향이 더 크게 나타났으며, 50대 이상 고령층과 사건충격 수준이 높은 피해자에서 사고 7개월 후 신체증상의 지속 위험이 높았다. 또한 불안수준은 시간이 지날수록 높아지는 경향을 보였다.

화학사고 발생 초기, 지역사회 불안감 해소를 위해 전문가 집단 및 관계기관에서 정확한 정보를 제공하고 홍보하는 노력이 중요할 것이다. 또한 사고초기 피해자들의 심리적 영향을 평가하는 것이 필요하고, 고위험군에 대해서는 적극적인 중재를 시행하는 것이 신체적, 심리적 피해 수준을 줄이고, 증상 지속기간을 단축하는데 기여할 것이다.

\* 본 연구는 환경부의 화학사고 대응 환경기술개발사업에서 지원받았습니다.

## 응급구조사의 역량 강화를 통한 산업 안전관리 기여방안 모색

주정미

김해대학교 응급구조과

Looking for way how to contribute for industry safety management  
through strenghten the capabilities of emergency medical technician

Jeongmi Ju

Department of Emergency Medical Technology, Gimhae College

삼풍백화점 붕괴, 성수대교 붕괴 등 국가적·사회적인 재난 및 사고의 증가로 응급상황에서 응급의료서비스를 제공할 전문인력의 필요성으로 인해 1995년 2년제 11개 대학에서 응급구조과가 설립되었다. 2002년에 학제가 2년제에서 3년제로 확대되기 시작하면서 2018년 기준 전국 응급구조(학)과는 3년제 24개 대학, 4년제 17개 대학으로 총 41개의 대학에서 1급 응급구조사를 양성하고 있다. 1급 응급구조사 배출 인원도 2011년 899명에서 2012년 980명, 2013년 1,034명으로 증가 추세에 있으며 2014년 기준 1급 응급구조사는 14,044명에 이른다. 이들의 주요 취업현황을 보면 소방청 119 구급대 4,044명, 의료기관 4,164명, 산업체 및 기타사업 2,655명으로 미취업을 제외한 취업자의 35.8%(4,164명)가 의료기관, 34.7%(4,044명)가 소방청 119, 22.8%(2,655명)가 산업체 등에서 일하고 있다.

산업체 등 기타사업에 종사하는 1급 응급구조사 수는 2012년 1,836명에서 2014년 2,655명으로 매년 꾸준히 증가하고 있고, 이들의 업무는 환자평가 및 검사, 환자처치 등의 1급 응급구조사 본연의 업무와 소방시설 안전 점검, 안전재해 예방 업무(현장 점검) 등을 포함하고 있다. 하지만 응급구조(학)과의 전공 교육과정은 1급 응급구조사 국가시험 항목 관련 교과목 위주로 편성되어 있으며, 산업안전 관련 교육은 미비한 실정이다. 이에 응급구조(학)과에서 기졸업자 및 재학생을 대상으로 산업안전 관련 교육을 실시할 것을 제안한다. 산업체에서 요구하는 역량을 갖춘 1급 응급구조사가 산업체에 진출한다면, 산업재해로 발생하는 인적·경제적 손실을 줄이는 활동을 통한 산업재해 예방에 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

## 산업현장에서 화학물질 누출에 의한 대량환자 발생시 환자분류 및 대응

류지호

부산대학교 의학전문대학원

### Annual Conference of the KIHM : Triage and management for chemical disaster caused by leakage of chemicals in the industrial fields

Ji Ho Ryu

School of medicine, Pusan national university

<sup>†</sup>Corresponding author: pnuyhem@gmail.com

화학물질 사고시 3가지 구역으로 나눌 수 있다.

첫째는 hot zone(exclusion area)으로 화학물 누출 주위구역이고 이 구역은 노출자에게 직접적인 건강의 위험을 가할 수 있는 구역이다. 이 구역은 훈련된 구조자가 구조활동을 하지만 제한된 처치를 한다. 또한 구조활동에 있어 충분한 장비가 필요하다. 둘째로 decontamination zone(warm zone)으로 이 구역은 일차적인 오염이 예측되지 않는 hot zone주위 구역이지만, 오염된 환자에게서 화학물 노출을 피하기 위해서는 이 구역에서 활동하는 사람들은 방어복과 방어장비를 착용해야 한다. 이 구역은 오염된 환자로부터 가스들이 자연적 환기에 의해 증발할 수 있게 최대한 hot zone과 맞바람이 불고 언덕쪽인 곳에 설치하는 것이 좋다. 화학물의 종류와 농도가 정체 불명인 경우에는 hot zone과 동일 수준으로 개인보호구를 착용해야 한다.

세째로, support zone(cold zone)으로 노출의 위험이 없는 가장 바깥쪽 구역으로 안전한 구역이다. 그러나, 유기인계 살충제와 같은 강력하고 접착력이 있는 화학물에 노출된 경우에는 이 구역의 구조자들은 가운과 라텍스 글러브를 착용해야 한다.

병원전 현장에서의 기본적 응급처치를 보면, hot zone에서 기도유지를 하고 필요시 경추보호대를 착용한다. 육안적으로 오염물질이 있는 경우 털어내고 동맥 출혈이 있는 경우에는 압박하여 지혈한다. Hot zone에서는 level A 또는 level B의 방호복을 착용하고 구조활동을 하므로 최소한의 환자에게 최소한의 필요한 처치를 할 수밖에 없다.

Decontamination zone(제염구역)에서는 생명에 치명적인 기도유지나 호흡상태를 평가하고 처치해야 하고 심각한 출혈의 유무를 평가하여 처치한다. 필요시 기관삽관 등의 처치 또한 시행할 수 있다. 기본 제염방법으로는 협조가능한 환자의 경우 먼저 의복 및 소지품을 제거하여 이중백에 보관하고, 피부나 모발의 경우 비누 등을 이용하여 3-5분간 물로 세척한다. 안구에 노출되었을 경우 깨끗한 물이나 생리식염수로 5분간 세척하고 노출된 화학물의 종류가 부식성일 경우 15분이상 계속 세척을 한다. 콘택트렌즈를 착용하고 있는 경우에는 제거한다. 조심해야 되는 경우는 물과 반응하여 독성가스를 생성하고 폭발할 수 있는 화학물의 경우에는 절대로 물로 제염을 해서는 안되고 최대한 털어서 제거한다. 음독이 된 경우에는 억지로 구토를 유발해서는 안되고 의식이 명료하다면 물을 먹여 희석해 볼 수 있고 부식성 화학물이 아니라면 50~60g의 활성탄을 복용하는 것이 빠른 배출에 도움을 줄 수 있다. Support zone에서의 처

치는 다시 한번 더 환자의 기도유지, 호흡상태, 순환상태를 평가하여 처치하고 필요시 정맥로를 확보하여 수액을 공급해야 하고 심전도 모니터링이 필요하다. 기본적인 처치로 유지안되고 전문적인 처치가 필요한 경우라면 기관지확장제 분무, 기관내삽관이나 전문심폐소생술을 시행한다.

기본적인 처치가 이루어지면 좀 더 전문적인 처치와 약물투여가 가능한 병원을 선정하여 이송한다.

다수 희생자 사고시 일반적인 재난과 마찬가지로 중증도를 분류하여 우선순위를 결정하여 환자이송을 실시하고 기본적으로 모든 환자는 의료기관으로 이송하는 것을 원칙으로 하나 무증상인 경우 환자의 이름, 주소, 연락처 등을 확인하고 귀가조치 할 수 있고 또는 현장이나 중독센터 의료진의 의견을 수렴하는 것도 도움이 된다.

## 지속적 신대체치료를 사용한 화학물질의 체외제거

정진우<sup>†</sup>

동아대학교 의과대학 응급의학교실

### Extracorporeal Removal of Toxic Chemicals with Continuous Renal Replacement Therapy

Jinwoo Jeong<sup>†</sup>

Department of Emergency Medicine, College of Medicine, Dong-A University

<sup>†</sup>Corresponding author: jinwoo@dau.ac.kr

중독 물질에 노출되었을 때의 치료는 크게 활력 징후를 유지하기 위한 보존적인 치료, 독성 물질의 흡수를 지연시키기 위한 치료, 독성 물질의 작용 기전에 따른 해독제 치료, 그리고 체외 배설을 촉진시키기 위한 치료 등이 포함된다. 이 중에서 체외 배설을 촉진시키는 치료에는 혈액투석, 혈액관류, 혈장교환술, 지속적 신대체 치료 등이 포함된다. 지속적 신대체 치료(continuous renal replacement therapy; CRRT)는 혈액을 체외로 순환시키면서 확산과 여과의 원리에 의해 노폐물이나 독성 물질 등을 제거하는 치료이다. CRRT는 전통적인 혈액투석에 비해 투석액의 유속이 느리기 때문에 제거율이 상대적으로 낮아 급성 중독에서 독성 물질을 제거하는 데에는 적합하지 않다고 여겨져 왔다. 그러나 CRRT는 특별한 시설이 필요하지 않고, 혈액학적으로 불안정한 환자에게 침상 옆에서 실시할 수 있다는 점 때문에 혈액투석이 불가능한 상황에서 대체 치료로 활용되고 있다.

[증례]

44세 여자가 의식저하, 구역, 구토로 응급센터에 왔다. 의식은 혼미하였으며, 정련을 보였다. 수혈압 80/40 mmHg, 맥박 128회, 호흡 30회, 체온 37.7°C였다. 급성 리튬 중독을 의심하고 CRRT 치료를 시작하였으며, 최초 혈중 리튬 농도는 6 mmol/L 이사이었던 것으로 이후에 확인되었다. 3일째 증상이 호전되고 리튬의 혈중 농도가 1.0 mmol/L 이하로 유지되어 CRRT를 종료하였다. 혈중 리튬 농도를 시간대별로 표시하였을 때 일차제거곡선을 따르는 것으로 확인되었고, 비선형 회귀 분석 결과 제거계수  $k_e=0.10$ , 반감기는 6.9시간으로 나타났다. 리튬의 분배계수와 체중을 고려했을 때 청소율(clearance)은 74.1-95.3 mL/min 으로 추산하였으며, 전통적인 혈액투석의 리튬 청소율이 106.9 mL/min으로 보고된 것과 비교할 때 CRRT 또한 상당히 우수한 제거 능력을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

## 경주, 포항 지진의 경험과 보건의료대응

최대해

동국대학교의과대학 응급의학교실

### Experience of earthquakes and Healthcare response system in Gyeongbuk Provance(Gyeongju and Pohang area)

DAIHAI CHOI

Dongguk University, School of Medicine, Emergency Medicine

†Corresponding author: retrorunnerchoe@nate.com

2016년 9월 12일 오후 7시 44분에 리히터 규모 5.1, 5.8의 강력한 지진이 발생하였다. 이 지진은 한반도에서 발생한 지진 가운데 가장 강력한 규모였다. 지진의 진앙지는 경주와 울산 중간 지점인 경주시 내남면 내남초등학교 인근으로 밝혀졌다. 지진의 진동은 경상도, 충청도, 제주도, 부산, 강원도, 서울 등 전국 각지에서 감지되었다. 그리고 48분 후 오후 8시 32분에 경주시 남남서쪽 8km 지역에서 1차 지진보다 더 강력한 모멘트 규모 5.8의 지진이 또 발생하였다. 첫 진앙지와 두번째 진앙지는 직선거리로 1.4km 떨어져 있는 것으로 파악이 되었다. 이 지진으로 부산에 있는 80층 고층 건물이 흔들렸으며, 서울 종로구에서도 3~5초간 건물이 흔들리는 것을 느꼈다고 한다. 그리고 일본에서도 지진이 감지되었다고 했다. 지진 발생 후 통신 장애가 발생하였고 재난안전문자가 먹통이 되었다. 국민안전처에 의하면 어제저녁 8시 40분쯤 경북 경주시 인근에서 발생한 규모 5.8의 2차 지진과 관련해 121개 지자체에 재난안전문자를 보냈지만, 이 지역 SKT와 KT 4G 가입자 전체가 문자를 받지 못했다고 밝혀졌다. 이 때문에 2,100만 명 가운데 절반이 넘는 1,200만 명이 재난안전 문자를 받지 못했다. 통신장애로 인해 대부분의 환자들이 자가로 병원으로 이동하였다.

2017년 11월 15일 오후 2시 22분 32초에 포항시 북구 북쪽 7km 지역에서 규모 2.2의 지진이 발생하였다. 이어 22분 44초에 포항시 북구 북서쪽 7km 지역에서 규모 2.6의 지진이 발생하였다. 이 두 지진은 전진으로서, 규모 5.4의 본진은 그 뒤를 이어 29분 31초에 발생하였다. 오후 2시 32분 59초에 포항시 북구 북쪽 7km 지역에서 규모 3.6의 지진이 이어졌다.[14] 이후 규모 2에서 3을 오가는 몇 차례 여진이 추가적으로 발생하였다. 계속 여진이 이어져 4시 49분에는 규모 4.3의 여진이 발생하였다. 본진 이후에도 여진은 계속해서 진행되어, 12월 25일 오후 4시 19분 22초에는 경북 포항시 북구 북쪽 8km 지점에서 규모 3.5의 여진이 발생하였다. 이 여진까지 총 70회의 여진이 발생하였으며, 규모 3.0 이상의 지진은 총 여섯 번 발생하였다. 포항시내 곳곳에 다양한 형태의 지진 피해가 발생되어 교통체증이 악화되었고 이로 인해 환자의 이송로 확보에 어려움이 많았다. 현재까지 포항에서는 의료구호소가 운영 중에 있으며 100여명의 주민이 거주하고 있다.

## 화학물질의 직업적 노출 사고사례 및 관리현황

윤성용

순천향대학교 구미병원 환경보건센터  
순천향대학교 구미병원 직업환경의학과

### Occupational exposure cases and management status of chemical substances

Seong-yong Yoon

<sup>1</sup>Department of Emergency Medicine and Environmental Health Center  
The department of occupational and environmental medicine,  
Soonchunhyang university Gumi Hospital

<sup>†</sup>Corresponding author: justicebear@hanmail.net

우리나라는 1996년 12월 발간한 기존화학물질목록(37,021종)과 2010년까지의 신규화학물질(6,167종) 보고에 따라 최근 국내에는 43,000여종의 화학물질이 유통되고 있는 것으로 알려져 있다. 1996년 12월 37,021종의 기존 화학물질 목록을 발간하였고, 그 이후 매년 300~400여종의 신규화학물질이 보고되고 있다. 화학물질은 사업장에서 제조와 사용, 취급하는 과정을 통해 근로자의 호흡기나 피부 등을 통하여 체내에 흡수되거나 피부에 접촉함으로써 주로 중독성 직업병을 일으키는 원인으로 작용하기도 한다. 또한 폭발성과 인화성이 있는 화학물질의 물리적 성질로 인하여 화재 및 폭발 등의 화학사고를 일으킬 수도 있다.

이러한 화학물질의 위험을 방지하고 안전을 확보하기 위하여 고용노동부, 환경부 및 소방방재청은 각각 산업안전보건법, 유해화학물질 관리법(화학물질관리법), 위험물안전관리법으로 화학물질을 관리하고 있다. 산업안전보건법에서는 화학물질의 유해 및 위험의 예방을 위하여 유해성·위험성 조사, 유해하거나 위험한 작업의 도급인가에 관한 규정, MSDS 작성·비치 및 경고표지 부착, 제조·사용 금지 및 허가, 노출기준 및 허용기준 준수, 작업환경측정 및 특수건강진단 실시 등을 규정하고 있다.

직업적 화학물질 노출에 의한 직업병 발생사례 및 통계, 직업병 예방을 위한 노출기준 측정 및 특수건강검진 등의 활동을 소개하고자 한다.

직업적 화학물질 노출에 의한 유해성 및 위험성을 정확히 알고, 안전하게 사용하고 취급할 수 있도록 하는 것이 직업병 및 화학사고를 예방하는데 가장 중요하다.

\* 본 연구는 환경부의 화학사고 대응 환경기술개발사업에서 지원받았습니다.

## 화학사고시 증상 기반의 물질 추정

왕순주<sup>†</sup> · 이승혜 · 유학인 · 박주옥 · 이정아 · 박항아  
한림대학교

### Development of Emergency Medical Information Providing System to Chemical Accident in Korea

Soon-Joo Wang<sup>†</sup> · Seunghye Lee · Hakyin Yu · Juok Park · Jeong-Ah Lee · Hang-Ah Park  
Hallym University  
<sup>†</sup>Corresponding author: erwsj@ichol.com

국내에서 화학물질로 인한 인명피해는 지속적으로 발생하고 있으나 물질이 불분명 한 경우는 신속한 대응이 쉽지 않다. 이 경우 업체의 취급 물질 정보, 서류나 표기를 통하여 추정하고 있으나 이는 업체나 화학물질 표기가 된 운송수단에서 난 화학사고에 한정되어 있고, 미지의 물질에 의한 테러, 불법적인 화학물질 취급 활동, 화학전 등에는 전혀 소용이 없으며, 기존 업체의 사고도 긴박한 현장 활동 중 실시간으로 물질을 파악하기는 어려운 상황이다. 미국, 일본 등에서는 화학사고 피해자의 증상을 유발하는 많은 화학사고 자료를 축적하여 증상과 물질과의 관계를 정리하여 알고리즘화 함으로써, 증상을 보고 거꾸로 물질을 우선순위로 제안하는 시스템을 보유하고 있으며, 이는 빅데이터나 인공지능을 통하여 지속적으로 보완되고 있는 상황이다. 따라서 국내에 많은 화학물질, 화학사고 데이터베이스가 존재함에도 불구하고 피해자의 증상을 통하여 물질을 추정하는 역할은 하지 못하며, 한국적 상황에 맞는 증상 기반의 화학사고 원인 물질 추정 시스템이 필요한 상황이다.

본 연구는 이러한 증상 기반의 화학사고 원인 물질 추정 시스템의 필요성에 따라 현재 존재하는 증상 기반 화학사고 원인 물질 추정 시스템의 현황 및 발전 방향에 대하여 알아보았다. 대표적으로 미국의 WISER 및 일본의 중독정보센터에서 활용하는 체계가 있으며 개별 시스템의 세세한 화학사고 원인 물질 추천 결정 알고리즘은 서로 다르고 공개되어 있지 않지만 이를 통하여 물질이 불분명 한 경우는 화학사고에 어떻게 신속한 대응을 수행하는지 알 수 있다. 이미 국내에는 화학사고 시 피해에 대한 응급의료정보 데이터베이스가 개발되어 있고, 화학사고 응급의료 정보 및 대응 시나리오를 포함한 콘텐츠가 제작 중이라 향후 기존 콘텐츠를 활용하여 원인 물질 추정 시스템의 기반을 확보할 수 있을 것이라고 기대된다.

**\*\* 감사의 글:** 본 연구는 환경부의 화학사고 대응 환경기술개발사업에서 지원받았습니다.

## 유럽표준분석기법(CEN methodology)을 이용한 경비함정 폐유허활유의 다환방향족탄화수소 분석에 관한 연구

김형규 · 송인철<sup>†</sup> · 김만중  
해양경찰교육원 해양경찰연구센터

### A analysis study on Polycyclicaromatichydrocarbons(PAHs) in used oil of KCG' vessel using CEN methodology

Hyung Gyu Kim · In Chul Song<sup>†</sup> · Man Jung Kim

Korea Coast Guard Academy and Korea Coast Guard Research Center

<sup>†</sup>Corresponding author: giver1@korea.kr

본 연구에서는 해양경찰 경비함정의 폐유허활유에 기름속에 포함하고 있는 다환방향족탄화수소(Polycyclicaromatichydrocarbons, PAHs)의 정성·정량분석을 유럽표준화위원회(EUROPEAN COMMITTEE STANDARDIZATION, CEN)에서 제정한 분석기법(CEN methodology)을 이용하여 분석을 실시하였다. 해양경찰연구센터에서는 2016년부터 유럽표준분석기법(CEN methodology)을 적용하여 행위자 불명의 해양오염사건에 대한 감식·분석을 실시해오고 있다. 유럽표준분석기법은 GC/FID 및 GC/MS를 이용하여 기름의 화학적 조성을 분석하는 방법이다. 유출유의 풍화정도를 통계(95%신뢰수준에서의 오차율)기법을 적용하여 유출유와 혐의유를 비교분석하는 방법인 유럽표준분석기법은 현재, EU회원국 외에 약 25개국 40여개의 시험연구기관에서 사용되는 분석기법이다. 선박의 운항시간 증가에 따른 유허활유 내 연료유의 혼입이 증가함에 따라, 이에 따른 정성 및 정량분석이 필수적이다. 연료유인 경유에 포함되어 있는 다환방향족탄화수소는 해양환경공정시험기준 및 EPA의 분석기법으로 정성 및 정량분석을 실시하고 있으나, 표준물질 적용에 따른 검정곡선 검정 및 회수율 확인 등 복잡한 절차를 거쳐야 하나, 유럽표준분석기법은 hopane 및 phytane 등 기준물질에 대한 다환방향족탄화수소의 비에 따른 표준화를 거쳐 농도를 정량할 수 있다. 기준물질에 대한 표준화비에 의해 계산된 다환방향족탄화수소의 양은 비록 절대적인 값은 아니지만, 폐유허활유에 대한 연료유 혼입정도를 간접적으로 확인할 수 있으며, 이는 경비함정의 효율적 운항을 위한 성능모니터링에 적용할 수 있다.

## 석탄 등 입자상 유해물질의 분석기법 개발에 관한 연구

김형규 · 송인철<sup>†</sup> · 김만중  
 해양경찰교육원 해양경찰연구센터

### The Analysis study on hazardous particles such as coal

Hyung Gyu Kim · In Chul Song<sup>†</sup> · Man Jung Kim  
 Korea Coast Guard Academy and Korea Coast Guard Research Center  
<sup>†</sup>Corresponding author: giver1@korea.kr

본 연구에서는 석탄과 같은 입자상 유해물질의 분석에 관한 연구를 실시하였다. 유해하며, 난용성 물질인 석탄은 유기용매를 이용한 정성분석이 어려워, 광학분석 및 열분해 분석을 통해 분석을 실시하였다. 화력발전소의 발전용 연료로 사용되는 석탄은 외국에서 선박을 통해 수입을 하고 있으며, 하역과정에서 석탄회(Fly ash)의 비산에 의해 발전소 주변, 해양오염 및 대기오염을 일으키는 주요한 물질로 여기지고 있다.

대부분의 석탄을 녹일 수 있는 유기용매는 없으며, 주로 액상의 물질 분석에 사용되는 GC/FID 및 GC/MS로는 정성분석이 어렵다. 이러한 이유 때문에 석탄의 분석초기에 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 표면구조를 분석하며, 석탄을 구성하고 있는 원소의 조성을 확인하기 위해 X-선 형광분석기(XRF)를 이용하여 분석을 실시하였다. 수입되는 석탄의 종류에 따라, 표면구조 및 원소의 조성의 차이를 확인할 수 있으며, 이는 석탄이 해상에 유출되었을 경우, 유출물질의 성상을 확인할 수 있는 주요인자로 작용된다. 또한, 열중량분석기(TGA)를 이용하여 석탄의 열중량감소를 통해, 석탄의 무기물 함량의 정량분석 및 중량감소패턴을 동시에 분석함으로써 광학분석을 보완할 수 있다.

주사전자현미경 등의 광학분석 및 열중량감소 분석 등을 이용하여 분석이 어려운 유해성의 난용성 물질인 석탄을 분석함으로써, 해양오염을 일으키는 물질의 정성분석을 가능하게하여, 오염원을 확인하는데 기여할 수 있다.

## LNG 연료 추진 선박의 안전 연구

장재식 · 박정훈

(사)한국선급

### Study on Safety of the LNG Fuelled Vessel

Jaeshik Jang · Chunghoon Park

Korean Register of Shipping

온실가스 배출 증가에 따라 지구온난화 현상이 점차 심각해지고 있으며, 이에 따라 해상에서도 대기 오염물질 배출을 줄이기 위하여 UN 산하 국제해사기구(IMO)를 중심으로 선박의 엔진에서 발생하는 NOx, SOx, CO2, PM(Particulate Matter)을 줄이기 위한 다양한 규제를 시행하고 있으며, 이러한 규제를 만족하기 위한 최선의 방법 중 하나로 청정 연료인 LNG를 사용하는 LNG 연료추진선박의 건조가 시작되었다.

LNG는 액체상태 온도가 약  $-163^{\circ}\text{C}$  이므로 취급시 고도의 안전조치가 요구되며, 또한 가스 누출시에 대규모 화재/폭발로 이어질 수 있기 때문에 취급에 상당한 주의를 기울여야 한다. 따라서 IMO에서는 이러한 LNG 연료추진선박에 대한 안전성을 확보하기 위하여 국제협약인 IGF Code(가스연료선박의 안전에 대한 국제 코드)를 2015년 채택하여 2017년부터 적용하고 있다.

LNG 연료추진선박의 주요 설비는 다음과 같이 크게 4가지 장치로 구분할 수 있다.

첫째, LNG 병커링설비는 육상 또는 해상의 LNG 공급장치로부터 LNG 연료추진선박에 LNG를 공급 받는 설비이며, 이 설비는 주로 이중관(Double wall pipe), 비상차단장치(ESD), 플렉시블 호스, 신속연결분리커플링(QCDC), 비상분리커플링, 통신수단 등으로 구성된다.

둘째, LNG 저장탱크는 국제 협약인 IGF Code 기준에 따라 독립형탱크(형식A, 형식B 및 형식C) 또는 멤브레인탱크가 사용된다. LNG 저장탱크는  $-163^{\circ}\text{C}$ 의 온도에 견딜수 있는 특별한 재질 및 구조이어야 하며, 초저온의 열전달 효과에 따라 적절한 방열수단도 고려하여야 한다.

셋째, LNG 연료준비장치는 초저온의 액체상태 LNG를 엔진에 바로 사용할 수 있도록 상온의 가스로 만들어 주는 장치이다. 연료준비장치는 고압펌프, 압축기, 기화기 등으로 구성된다.

넷째, LNG 연료엔진은 선박의 추진용엔진 또는 발전기용엔진으로 사용되며, 가스와 디젤을 겸용으로 사용할 수 있는 이중연료(Duel fuel)엔진이 주로 사용된다. 이중연료엔진은 연소 Cycle의 차이에 따라 디젤사이클과 오토사이클을 사용하는 하는 엔진으로 구분할 수 있다.

이러한 LNG 연료추진선박의 병커링설비, 저장탱크, 연료준비장치 및 엔진의 안전한 운용을 위하여 IGF Code는 위험성평가, 통풍장치, 가스탐지, 방화, 소화설비, 위험구역, 비상차단장치 등에 대한 안전요건을 규정하고 있으며, 이에 따라 건조된 LNG 연료추진선박은 지구온난화 현상을 감소시키는데 조금이라도 기여할 것으로 기대된다.

## 화학사고현장의 효과적인 대응을 위한 현장지휘체계의 개선방안에 대한 연구

김희은 · 황용우<sup>†\*</sup> · 이익모<sup>\*\*</sup> · 천영우<sup>\*\*\*</sup>

인하대학교 · \*인하대학교 · \*\*인하대학교 · \*\*\*인하대학교

## A Study of Incident Command System For Effective Response to Chemical Accident

Hee Eun Kim · Yong Woo Hwang<sup>†\*</sup> · Ik Mo Lee<sup>\*\*</sup> · Young Woo Chon<sup>\*\*\*</sup>

Inha University · \*Inha University2 · \*\*Inha University · \*\*\*Inha University

<sup>†</sup>Corresponding author: hwangyw@inha.ac.kr

산업의 고도화에 따라 화학물질의 사용은 점점 증가하여 현재 전 세계적으로 1,500만 여종 이상의 화학물질이 상업적으로 사용되고 있다. UNEP 보고서에서는 한국의 화학물질 생산량이 2012년부터 2020년까지 약 35% 증가할 것으로 예상하고 있다. 더불어 화학사고는 2013년 86건, 2014년 104건, 2015년 111건으로 연도별 발생 건수가 급증하고 있는 추세이다. 이에 따라 화학사고 발생에 따른 예방 및 대응의 중요성과 이에 대한 관심이 점점 커지고 있다. 이러한 흐름에 대응하기 위해 우리나라에서는 2013년 화학재난 합동방재센터를 설치하여 화학사고의 예방, 대비, 대응, 복구에 대한 범정부적 화학사고 예방대응체계를 마련하였다. 또한 재난관리 상위법인 재난 및 안전관리 기본법에서는 화학물질에 대한 특별한 규정을 두고 있지 않으므로, 2015년 화학물질관리법이 개정되면서 화학사고를 대비한 예방관리체계의 강화 및 신속한 대응체계의 구축에 있어 핵심적인 역할을 하게 되었다. 그러나 화학재난 합동방재센터는 지역재난대책본부와의 협업체계상에서 역할과 책임이 불분명하다는 한계를 가지고 있으며, 화학물질관리법은 화학사고 발생 시 지역주민에 대한 정보제공에 대한 내용이 없다는 문제점을 가지고 있다. 또한 유해화학물질 재난의 관리주체 중 하나인 지방자치단체의 화학물질 사고 대응 시스템은 상당히 미비하여 현장 초동대응에 있어 적절한 역할을 수행하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 문헌연구를 통한 미국의 ICS(Incident Command System) 등 해외의 재난대응시스템 및 화학물질 현장대응체계와 국내 현행 법령 및 제도의 비교, 화학사고 사례 분석 등을 사용하여 유해화학사고의 효과적 현장대응을 위한 적절한 개선방향을 제시하고자 한다.

## Tetralin의 화재 및 폭발특성치 측정

김승환 · 이주현\* · 진상우\* · 오수빈\* · 손민경\* · 하동명†\*

세명대학교 대학원 소방방재공학과 · \*세명대학교 보건안전공학과

### Measurement of Fire and Explosion Characteristics of Tetralin

S.H. Kim · J.H. Lee\* · S.W. Jin\* · S.B. Oh\* · M.G. Son\* · D.M. Ha†\*

Dept. of Fire and Disaster Prevention Engineering, Graduate School, Semyung University

\*Dept. of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University

†Corresponding author: hadm@semyung.ac.kr

화학산업이 발달함에 따라 화학 산업 현장에서 사용되고 있는 가연성물질들의 여러 가지 화재 및 폭발 위험이 증가되고 있다. 위험물질을 취급하는 공정에서 일단 사고가 발생되면 중대재해로 전개되는 경우가 많다.

산업 현장에서 취급하는 물질의 화재 및 연소특성치(폭발특성치)로는 폭발한계, 인화점, 최소자연발화온도, 최소산소농도, 최소발화에너지, 연소열등을 들 수 있다. 물질들의 연소 특성치들은 MSDS(Material Safety Data Sheets)를 통해 얻을 수 있고, 잘 알려진 D/B인 미국화학공회(DIPPR(Design Institute for Physical Property Data))를 비롯해 안전 관련 Handbook 등에서도 확보할 수 있다. 그러나 자료들에서 제시된 연소특성치는 각각 다른 값들이 제시되어 있는 경우가 많다. 특히, 현장에서 널리 사용되고 있는 물질의 특성치 조차도 제시되어 있지 않은 경우가 많다.

산업 현장에서 취급하고 있는 각종 화학물질은 잠재적 위험성이 크므로 보관, 수송 및 취급할 때 특별한 주의를 필요로 하고 있다. 최근 산업현장에서 화재 및 폭발 사고의 원인을 살펴보면 작업자 및 관리자 등이 재해 원인을 신속히 파악하여 대응하여야 하나, 취급물질의 정보 부족, 부주의로 인하여 효과적인 대책도 없이 안전조치를 하는 경우 중대사고로 이어지는 사례가 많다. 따라서 산업현장에서 화재 및 폭발의 위험을 최소화하기 위해서는 공정의 최적화 조치가 이루어져야 하며, 이를 위해 우선 작업 조건하에서 취급물질의 연소 특성치 파악이 필요하다.

본 연구의 Tetralin은 법적 규제사항이 없으며, NFPA에서는 화재 위험성은 2등급 그리고 건강 위험성은 4등급이다. Tetralin은 광택제 및 도료에서 테르펜틴 대응으로 사용, 유지류의 용제 이(louse)를 죽이는 약의 성분 등으로 다양하게 사용되고 있다.

본 연구에서는 산업현장에서 널리 사용하고 있는 Tetralin의 인화점과 최소자연발화온도를 측정하였으며, 측정된 인화점과 최소자연발화온도는 기초문헌 값들과 비교하였고 예측된 폭발한계 역시 기준 자료와 비교하였다.

## 저심도 터널에서 터널과 샤프트의 단면적비가 Plug holing에 미치는 영향에 대한 실험연구

나준영 · 유홍선<sup>\*†</sup>

중앙대학교 기계시스템엔지니어링 · <sup>\*</sup>중앙대학교 기계공학과

### Experimental Study on the Effect of Tunnel and Shaft Area Ratio on the Plug-holing Phenomena in Shallow Underground Tunnels

Junyoung Na · Hong Sun Ryou<sup>†\*</sup>

Department of Mechanical System Engineering, Chung-Ang University ·

<sup>\*</sup>Department of Mechanical Engineering, Chung-Ang University

<sup>†</sup>Corresponding author: cfdmec@cau.ac.kr

터널 화재 시 샤프트(배기구)에서 설계된 연기 배출량보다 실제 연기 배출량이 적어지는 Plug holing 현상이 문제점으로 대두되고 있다. Plug holing 현상은 열방출율, 터널과 샤프트의 형상 등에 영향을 받는다. Hinkley가 처음으로 터널 내 자연환기 시스템에서의 Plug holing 현상을 정의하고 판단의 기준으로 Modified Froude Number를 제시하였고 이후 Ji등이 자연 배기구의 Aspect ratio가 Plug holing에 미치는 영향을 분석하였다. 하지만 샤프트의 단면적이 Plug holing 현상에 대해 큰 영향을 끼치는 것에 반하여 이전 연구에서는 이를 고려하지 않았다.

본 연구에서는 터널과 샤프트의 단면적비가 Plug holing 현상에 미치는 영향을 분석하기 위하여 축소모델 실험을 실시하였다. 축소된 터널의 길이는 7m, 높이는 0.3m이며 터널과 샤프트의 종횡비 0.71로 서로 동일하게 고정하였고, 단면적비는 0.054, 0.071, 0.09, 0.11로 하였다. 화재모사는 Pool fire로 열방출률 1.67kW로 고정시켰다. 연기층의 두께를 측정하기 위해 화원으로부터 2m 떨어진 곳에서 종방향 온도분포를, 샤프트 내부로의 신선한 공기 유입을 확인하기 위하여 터널과 샤프트 경계에서 횡방향 온도분포를 측정하였다. Plug holing 현상은 실험에서 얻은 온도분포를 기반으로 분석된다. 연기 경계층 온도와 샤프트 내부 온도를 비교하여 샤프트 내부온도가 더 작으면 Plug holing 현상이 발생했다고 판단하며, 연기 경계층 온도는 터널 내부에서 얻은 종방향 온도분포를 이용하여 계산되었다. 레이저 시트로 연기유동을 시각화하여 Plug holing 발생을 판단한 것을 온도 비교를 통한 Plug holing 발생판단과 비교했다.

실험결과 터널과 샤프트의 단면적비가 커질수록 샤프트에서 배출되는 연기의 유량이 증가하여 연기층의 두께는 얇아지게 된다. 이에 따라 연기 경계층의 높이가 높아지고 종방향 온도분포에 따른 연기 경계층의 온도 또한 높아졌다. Plug holing의 발생위치는 횡방향 관성력이 상대적으로 작아지는 샤프트의 후류에서 발생하였다. 샤프트의 단면적이 커지면, 횡방향 관성력이 감소하는 구간이 길어지고 이 구간은 상대적으로 관성력보다 부력이 커 샤프트 하단의 공기가 샤프트를 통해 배출되어 온도가 낮아졌다. 단면적비 0.054를 제외한 나머지 케이스에서 연기 경계층온도와 샤프트 내부 온도의 비교를 통한 판별, 연기 유동 가시화 판별 모두 동일하게 Plug holing이 발생하는 것으로 나타났고 이에 따라 Plug holing은 터널과 샤프트의 단면적비에 영향을 받으며 단면적비가 클수록 잘 일어나는 것으로 판단된다.

## 발전설비의 SCR 환원제 변경에 따른 독성 위험도 비교 평가

김기석 · 김보민 · 황용우 · 천영우<sup>†</sup>

인하대학교 환경안전융합

Comparison of toxic risk assessment  
by changing of SCR reducing agents in power generation facilitiesKi Sug Kim · Bo Min Kim · Yong Woo Hwang · Young Woo Chon<sup>†</sup>

Department of Environmental Technology &amp; Safety Technology Convergence, Inha University

<sup>†</sup>Corresponding author: ponychon@hanmail.net

1960년대 이후 우리나라는 급속한 공업화, 산업화가 진행되면서 많은 양의 전기수요가 발생하였고 이에 따라 여러 지역에 걸쳐 석탄, 석유 등의 화석연료를 사용하는 화력발전설비가 대량으로 건설되었다. 화력발전설비가 운용되며 나오는 질소산화물, 황산화물 등의 화석연료 연소산화물은 대기환경에 영향을 주었고 대기환경보전법에 따라 관리되어 왔다. 특히 질소산화물 저감을 위해 발전설비 후단에 배연탈질공정(SCR)을 도입하였다. 배연탈질공정(SCR)에서는 연소배가스 내 질소산화물이 300 ~ 400℃의 온도범위에서 환원제와 반응하는 환원과정을 거쳐 질소상태로 대기 중에 방출된다. 여기서 사용되는 환원제의 종류로는 무수 암모니아, 암모니아수, 요소수 등의 암모니아계 환원제와 일산화탄소, 탄화수소 등의 비 암모니아계 환원제가 있다. 배연탈질공정(SCR)에서는 주로 암모니아계 환원제인 암모니아수를 환원제로 채택하여 사용해왔는데 2015년 화학물질관리법이 시행됨에 따라 암모니아수가 사고대비물질로, 산업안전보건법 상 관리대상유해물질, 공정안전보고서 제출대상 유해·위험물질로 지정되면서 암모니아수를 환원제로 사용하던 발전소 및 발전설비운영 업체는 장외영향평가서, 공정안전보고서 등을 제출해야 하는 실정이다. 이에 따라 배연탈질공정(SCR)에서 사용하는 환원제를 암모니아수에서 요소수로 전환하여 사용하고 있지만 환원제 전환으로 변화된 위험도에 대한 충분한 평가는 미흡한 상태이다.

본 연구에서는 배연탈질공정(SCR)에서 사용되는 암모니아수와 요소수 간의 독성 위험성을 비교하였다. LNG를 연료로 사용하는 150MW 급 복합화력 발전설비를 대상으로 하였으며 해당하는 배연탈질공정(SCR)을 미국 EPA에서 발간한 SCR Cost manual chapter 7th Edition\_2016을 바탕으로 설계하였다. 사고위험이 가장 높은 SCR 반응기와 환원제 저장탱크를 중심으로 암모니아수와 요소수 각각 누출반경을 산출하였으며 이를 3D builder를 이용하여 가시화하였다. 본 연구는 배연탈질공정(SCR)에서 사용되는 환원제를 변경함에 따라 독성 위험도가 얼마만큼 변화되었는지를 정량화하여 제시하였으며 이를 바탕으로 안전장치 설치, 안전운전계획 수립 등에 활용될 것으로 기대한다.

## 관리 요소를 사용한 사고발생가능성 지표의 개발

설지우 · 고재욱<sup>†</sup>

광운대학교 화학공학과

### A Development of Accident Likelihood Index using Management Factor

Ji Woo Seol · Jae Wook Ko<sup>†</sup>

Kwangwoon University, Department of Chemical engineering

<sup>†</sup>Corresponding author: jwko@kw.ac.kr

공정안전관리 제도(PSM)는 산업에서 발생할 수 있는 사고를 방지하기 위한 최소한의 규제  
로 국내에서 20여년동안 시행되어왔다. 공정안전관리 제도는 산업상에 존재하는 여러 사고 원  
인들에 대한 관리를 시행하도록 되어있는 제도지만, 각각의 항목이 얼마나 사고를 저감하는 효  
과가 있는지, 어떠한 방법으로 하는것이 효과적인지에 관한 논의가 부족하였다.

본 연구에서는 과거 발생하였던 사고 기록을 기반으로 공정안전관리 제도의 각각의 요인들  
이 얼마나 효과적이었는지에 대한 분석을 시도하였다. 또한 분석 결과를 토대로 목표한 안전  
수준에 얼마나 근접했는지를 나타내는 사고 발생 가능성 지수를 개발하고자 하였다.

이를 위하여, 기존의 사고 발생 모델, 사고 발생 확률 모델, 인적 오류 및 위험성 기반 공정  
안전(RBPS) 등을 조사하여 이론적 타당성을 만들고자 하였고, 일본의 산업 사고 통계를 활용  
하여 근거를 마련하고자 하였다.

## 화학사고 대응을 위한 가상현실 기술의 교육적 적용

김보경 · 김민선 · 윤이 · 황승율<sup>†</sup>

화학물질안전원 연구개발교육과

### Application of Virtual Reality Technology in Chemical Accident Response Training

Bokyeong Kim · KIM MIN SUN · YOON YI · Hwnag, Seung-Ryul<sup>†</sup>

National Institute of Chemical Safety

<sup>†</sup>Corresponding author: justdoit0726@korea.kr

화학물질은 고온·고압이라는 가혹한 환경에서 다량으로 취급되어 대형재난의 가능성이 늘 존재하여 비상에 대비한 대응능력 확보가 필수적이라 할 수 있다. 화학물질안전원은 화학시설에서의 누출에 대비한 전문훈련을 위해 국내 유일의 화학사고 전문훈련장을 조성하고 있다.

훈련장에는 탱크로리, 저장탱크, 플랜지 및 가스킷에서의 누출을 구현할 수 있는 전문훈련설비가 설치되며, 특화된 전문방재훈련 프로그램이 개발되어 운영될 예정이다. 전문훈련설비는 화학시설 구조를 이해하고 누출 봉쇄 등의 실제적인 훈련이 가능하다는 점에서 도움이 되겠지만, 실제 누출 상황에 대한 체험이 곤란하다는 한계점이 있다.

여기에서는 이러한 한계점을 극복하기 위해 정보통신 기술을 교육 콘텐츠와 연결시키는 연구를 수행하였다. 정보통신 기술의 교육적 활용은 디지털 콘텐츠가 가지는 효과성 측면에서 다루어지는 문제로, 해당 기술이 가지는 특성 요인에 지배를 받는다. VR(Virtual Reality)은 컴퓨터나 스마트기기에 의해 생성된 3차원의 가상세계를 말하며 실제 세계와 동일하게 3차원으로 경험할 수 있게 표현된다. 가상현실 기술은 입출력 장치에 따라서 시각, 청각, 촉각을 느낄 수 있고, 현실에 존재하지 않는 세계를 구현할 수 있으며 실제와 유사한 상황 속에서 특정 기능을 숙달하거나 체험이 가능하다는 점에서 직접 경험이 곤란한 화학물질 누출 상황을 체험하는데 최적의 교육 도구라 할 수 있다. 정보통신기술을 적용한 학습 콘텐츠 유형은 관찰조작형, 실험활동형, 학습안내형, 현장문제 해결형 등으로 구분되나, 본 연구는 직접조작에 의한 숙달과 몰입도, 상호 작용 능력을 기를 수 있게 실험 활동형으로 학습 유형을 설계하고, 세부 콘텐츠를 개발하였다. 본 연구 결과물은 향후 화학사고 교육훈련장에서 운영할 교육과정과 가상현실 시뮬레이션 개발사업의 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

## 가상현실기반 화학사고 유형별 대응훈련 시나리오 개발에 관한 연구

안수빈 · 임경민 · 고하은 · 정창복\* · 장희\* · 마병철†\*

전남대학교 화학공학과 및 화학공정안전센터 · \*전남대학교 화학공학부

### A Study on Development of Response Training Scenario for each Type of Chemical Accident based on Virtual Reality

Subin An · Kyungmin Lim · Haeun Go · Changbock Chung\* · Hee Jang\* · Byungchol Ma†\*

Chonnam National University, Department of Chemical Engineering & Center for Chemical Process Safety · \*Chonnam National University, School of Chemical Engineering

†Corresponding author: anjeon@jnu.ac.kr

화학물질은 그 종류별로 유해·위험성이 상이하고 화학사고 등에 효과적으로 대응하기 위해서는 사고 대응자의 전문성을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 특히 화학사고가 발생하면 다양한 대응기관이 대응활동에 함께 참여하므로 대응요원의 체계적이고 규격화된 교육·훈련이 선행되는 것이 필요하며, 그 경우해야 비로소 사고현장에서 각자의 역할에 맞는 임무를 수행하여 사고피해를 최소화할 수 있다. 그러나 대응요원 등이 사고현장을 직접 체험하며 훈련하는 것은 쉽지 않으며, 훈련 종료 후 이들의 객관적인 훈련평가가 어렵다는 문제점이 있다. 한편, 최근 과학기술의 발전으로 가상현실 기술을 적용하여 실제와 흡사한 가상의 환경에서 훈련할 수 있는 훈련프로그램 등이 개발되어 군사훈련, 안전교육 등에서 활용되고 있다. 가상현실 기술을 이용한 교육·훈련은 실제와 흡사한 환경을 구현할 수 있다는 점과 시스템 상으로 훈련자에 대한 훈련평가를 객관적으로 가능하다는 장점이 있다. 따라서 사고대응훈련 역시 이에 맞추어 가상현실 기술을 적용하여 훈련할 필요성이 있으며, 본 연구에서는 가상환경에서의 체계적인 사고대응훈련이 가능하도록 훈련 콘텐츠를 개발하였다. 이를 위해, 우선 국내·외 화학사고 사례를 분석하여 훈련유형을 선정하였으며 그 결과, 이송·충전시설에서의 염소 누출, 옥외 운송차량에서의 염산 누출, 저장시설에서의 불산 누출, 제조·사용시설에서의 암모니아 누출유형이 선정되었다. 이후 각 유형별 발생할 수 있는 누출 시나리오를 도출하였으며, 도출된 누출 시나리오를 바탕으로 세부 대응절차에 따른 대응 시나리오를 개발하였다. 이렇게 개발된 대응시나리오와 훈련자의 역할 및 요구수준을 고려하여 각 단계별·수준별 교육과정을 제시하였으며, 이를 바탕으로 교육·훈련용 시나리오를 완성하였다. 마지막으로 훈련자의 객관적인 훈련평가를 위하여 대응조치시간과 조치내용을 중심으로 평가항목과 등급을 나누어 단계별 평가기준 지표를 제시하였다.

## 화학테러 대응훈련 시뮬레이터 개발을 위한 시나리오 개발

오승현 · 이명석 · 조승식 · 은종화 · 문일<sup>†</sup>

연세대학교

### Annual Conference of the KIHM : Scenario Development for Chemical Terrorism Response Training Simulator

Seunghyeon Oh · Myeongseok Lee · Seungsik Cho · Chonghwa Eun · Il Moon<sup>†</sup>

Yonsei University

<sup>†</sup>Corresponding author: shoh0427@yonsei.ac.kr

화학 테러는 물질의 유형을 바로 확인할 수 없고 여러 기관의 협력 대응을 필요로 하기 때문에 대응 절차가 다른 사고 유형과 다르고 매우 까다롭다. 또한 실제 훈련을 위해서는 화학물질을 다루야 하므로 위험성이 동반되고 많은 돈과 시간이 소모된다. 이러한 환경적 요인으로 인해 최근에는 VR(Virtual Reality) 기술을 적용한 훈련 시뮬레이터가 개발되고 있으며, 그에 따라 훈련 시뮬레이터에 적용하기 위한 시나리오의 개발 필요성이 커지고 있다. 본 연구에서는 화학 테러 대응 훈련 시뮬레이터에 적용하기 위한 시나리오의 개발 방안을 도출하였다. 먼저 국내외의 화학 테러 사례를 분석하여 가장 많은 사고가 발생했던 다중이용시설 유형으로 사고 장소를 선정하였다. 대응 절차는 물질 정보 식별부터 테러물질 수거후송, 현장 긴급제독, 농도 정밀 측정, 현장 요원 제독까지 5단계로 설정하였다. 여러 기관이 협동해야 하는 복합적인 사고인 것을 고려하여 각 기관의 임무와 역할을 분석하였고 각 단계별로 대응 행동 기준을 마련하여 시나리오에 반영하였다. 또한 훈련 기관이 실제 보유하고 있고 사용할 수 있는 장비와 그 사용법을 반영하여 훈련대상자가 실제 상황에서도 훈련에서와 동일하게 대응할 수 있도록 하였다. 각 단계별 대응 행동 기준을 기반으로 제한 시간 및 평가 지표를 제시하여 훈련 종료 후 훈련대상자가 7단계의 등급으로 결과를 받고 스스로의 훈련 내용을 점검할 수 있도록 하였다. 이러한 훈련 시뮬레이터용 시나리오 개발을 통해 실제 화학 테러에 대한 요원들의 대응 역량이 높아질 것으로 기대된다.

## 화학시설 테러·물질누출 유형별 가상현실 프로그램 개발

김성은 · 양 효\* · 이정훈\*\* · 문성환\*\*\* · 윤형준†

(주)유티이씨

### Develop of Virtual Reality Program by the type of Terrorism and Material Leakage in Chemical Facilities

Sung-Eun Kim · Hyo Yang\* · JungHoon Lee\*\* · SungHwan Moon\*\*\* · HyungJun Yoon†

UTEK.Co., Ltd.

†Corresponding author: hjyoon@utec.kr

본 연구는 누출 유형별 누출, 대응 및 훈련시나리오를 개발하고 이에 맞는 가상현실 시뮬레이션 시나리오와 시제품(Prototype)을 개발하며, 가상현실 훈련프로그램에 대한 구현방식 및 운영기반 등을 제시한다.

이를 위해, 국내·외 화학테러·사고사례 등을 정밀하게 분석하여 누출유형(화학사고 4종, 화학 테러 1종)을 선정하였다. 화학사고의 경우는 염소, 암모니아, 불산, 염산 등이 배관 및 탱크 등에서 누출되는 상황이 선정되었으며, 테러사고의 경우 지하철역 밀집지역에서 사린가스가 누출되는 시나리오가 선정되었다.

자사에서는 선정된 누출유형 시나리오를 토대로 실제 화학공정과 테러사례를 조사·분석하여 3차원 입체영상 구현이 필요한 가상환경(3D Modeling)을 제시하였다.

3D Modeling이란, 컴퓨터 그래픽스의 분야에서 가상의 3차원 공간속에서 재현될 수 있는 수학적 모델을 만들어가는 과정을 뜻한다. 이러한 3D Modeling을 통하여 사고유형에 따른 공정의 실제 공정 설계를 표현하여 설계도면으로 공정설계를 판단하기가 어려운 비전문가들의 공정 이해도를 높이며, 훈련 프로그램의 기본 설계 자료로 이용이 가능하다. 3D Modeling은 화학공정과 지하철역 밀집지역에 해당하는 오브젝트들을 스케치하여 모델링이 진행되었다. 모델링된 오브젝트는 설계도면의 규격과 모양이 모두 일치하도록 제작된다.

3차원 입체영상 구현을 위하여 화학물질 취급 사업장을 직접 방문하여 설비 형태, 배치 등을 파악한 후 공정도면(PFD, P&ID)을 작성하고 이를 바탕으로 3차원 가상환경을 제시하였다.

작성된 PFD 및 P&ID 도면은 가상현실 교육 훈련프로그램에 반영되며, 반영이전 단계인 가상환경 제시의 기초가 되어 3D Modeling이 진행된다.

본 연구에서 개발된 3차원 가상환경은 FBX(3D 모델링) 파일 형태로 제공되었으며, 게임 개발 엔진 및 개발 도구인 Unity와 Autodesk사의 FBX Review 등으로 실행이 가능하다. 또한, FBX프로그램이 컴퓨터 내 설치되어있지 않은 사용자의 경우 윈도우 자체 프로그램인 그림판 3D와 혼합 현실 뷰어도 실행이 가능하며, 오브젝트를 자유롭게 회전, 확대, 축소 등 다양한 조작용이 가능하여 화학공정에 대한 이해력을 높인다. 이러한 3D Modeling은 가상훈련 프로그램에 적용되어 화학사고 대응을 위한 다양한 교육과정에 적용이 가능하며, 화학공정 설비 및 설계의 이해도를 높여 훈련 프로그램 개발에 토대가 될 것으로 예상된다.

\* 본 연구는 환경부 화학물질안전원 화학시설 테러·물질누출 유형별 가상현실 프로그램 개발 용역 사업 중 '시나리오 개발 및 맞춤형 가상현실 훈련장치 시제품(prototype)제작 연구'에 의해 이루어졌습니다.

## 가상현실 훈련을 위한 화학사고 누출·확산 전산모사 분석

조승식 · 오승현 · 최지원 · 권혁면 · 문일<sup>†</sup>

연세대학교

### CFD Analysis of Leak and dispersion in Chemical accident for Virtual Reality Training

Seungsik Cho · Seunghyun Oh · Jiwon Choi · Hyuckmeon Kwon · Il Moon<sup>†</sup>

Yonsei University

<sup>†</sup>Corresponding author: s2cho08@yonsei.ac.kr

화학 산업의 고도화, 전문화로 실제 공정이 더욱 복잡해지고 위험하여 다루기 어려운 실정이다. 구미 불산 누출사고를 포함하여 플랜트 폭발 등 안전사고에 유의함에 불구하고 지속적으로 사고가 발생함에 따라 경제적으로 큰 피해를 입고 있다. 따라서 사고를 예방하기 위한 다양한 훈련 프로그램이 개발되고 있고 최근 가상현실(Virtual Reality)을 접목시켜 넓은 공간을 필요로 하지 않고 복잡한 화학 시설을 실제 크기와 동일한 크기로 실습을 함으로써 사고를 예방하고 실제 사고가 일어났을 때 올바르게 대처할 수 있는 훈련 프로그램이 주목을 받고 있다. 가상현실을 접목시켜 훈련하는데 가장 효과적인 방법은 훈련을 하는 대상에 맞춰 수준별로 훈련 콘텐츠를 다양하게 만들어 초보자부터 상급자까지 모두를 만족시키는 프로그램을 만드는 것이다. 이에 어떤 내용을 포함 할 것인지 결정하는 것이 가장 중요하다. 본 연구는 훈련자들이 교육을 받는 가상현실 콘텐츠의 내용을 구성하는데 바탕이 되는 화학 사고를 Computational Fluid Dynamics(CFD) 프로그램을 사용하여 누출, 확산 시뮬레이션을 수행하고 3D 결과를 제공하였다. 먼저 실제 사고의 빈도와 위험성을 분석하여 사고 시 피해를 크게 입힐 수 있는 화학 물질 4종의 제조 공정을 선정하였다. 또 각 제조 공정을 KOSHA guide에 입각하여 누출 시나리오를 선정하여 수치적으로 누출량과 누출공을 계산하였으며 그 값을 CFD의 전산모사 데이터로 사용하여 얻은 결과를 가상현실 프로그램을 제작하는데 제공하였다. 해당 연구를 통해 다양한 누출 사고로 인해 발생하는 사고의 물질 별 피해 범위와 피해 정도를 파악할 수 있고 이는 가상현실을 접목시킨 프로그램 결과의 신뢰도를 높이는데 큰 기여를 할 것으로 예상된다.

## 시나리오 기반 VR 시제품 개발 과정 및 이해

이우성 · 김지혜 · 김영미 · 송채훈<sup>†</sup>

스코넥 엔터테인먼트

### Annual Conference of the KIHM : Understanding scenario based VR Prototype project development process

Woonsung Lee · Jihye Kim · Yungmi Kim · Chaehoon Song<sup>†</sup>

Skonec Entertainment

<sup>†</sup>Corresponding author: iscarriot7@skonec.com

VR은 다양한 산업 분야에 활용 되고 있다. 엔터테인먼트를 비롯하여 의료, 군사, 교육, 유통 등 산업 전 분야에 걸쳐 점차 확산되어가고 있는 추세다. 이러한 추세에 맞추어 화학사고 대응 훈련 분야를 목적으로 ‘화학사고 대응 VR’ 콘텐츠 시제품을 개발하였다. 해당 시제품이 만들어 지는 과정에 있어서, 사고 대응 매뉴얼에 따른 훈련 기획의도를 최대한 살릴 수 있게 시나리오를 구성해가는 방법론과 품질을 올리기 위해 사용된 기법을 소개한다. 반복학습과 재미요소를 부여해 사용자의 학습에 대한 VR이 가지고 있는 장점을 십분 활용할 수 있는 몰입도와 효과를 증진 시킬 수 있는 시나리오로 설계한다. 유저의 몰입을 위해 완결된 하나의 스토리에 기반하는 기승전결의 흐름으로 구성하고, 그 중간 중간에 사용자의 이해를 도울 수 있는 가이드를 제공할 방안을 고려해 제작된다. 실감을 위해 리얼 스케일로 가상공간을 제작해 공간감을 살리고, 사고에 대한 시뮬레이팅을 CFD를 모사하여 구현한다. 이러한 접근을 통해 만들어진 시제품이 사용자에게서 사고 인지와 대응 학습에 대해 훈련시키고, 향후 실제 사고가 발생 시, 된 사고 대응에 대한 완벽한 습득을 통해 인적 물적 피해 감소를 기대한다.

## 폭발물테러대응을 위한 공항 안전활동 연구

김태환\* · 정진만\*\*

용인대학교\* · 한국항공대학교\*\*

### A Study on Airport Safety Activities to Counterattack Bombs

Kim, Tae Hwan\* · Jeong Jin Man\*\*

†Corresponding author: twehwan@empal.com

최근 이슈가 되고 있는 테러 위협 중에서 가장 보편적이고 현재도 전 세계에서 일어나고 있는 유형이 폭발물에 의한 테러이고 이것은 지상의 다중이용시설 뿐만이 아니라 항공기, 선박 등에서 큰 피해가 예상되고 있다. 특히, 항공기·공항시설 중 여객터미널 등에 대한 폭발물 테러 위협과 공항의 안전활동에 대한 우리의 대비능력에 문제점이 대두되고 있어 공항내 안전점검과 검측 등 대응책을 연구하는데 그 목적이 있으며 특히 폭발물 검색 기능과 대응방법을 제시하고자한다. 본 연구에서는 항공시설관련 법과 보완, 검색관련 현황과 실태를 살펴보고 테러 사례를 국내외 비교분석후 우리의 테러가능성에 대한 대응방안과 개선방안을 제시하였다.

첫째, 판독전문가 양성에 필요한 국가 자격제도의 도입이다. 보안검색요원 중에서도 판독전문가를 별도로 양성하고 자격을 부여해야 한다. 보안검색요원 중에서도 판독전문가를 별도로 양성하고 자격을 부여해야 한다. 판독전문가 제도가 도입되면 해당인원은 판독에만 전념하고 책임감과 전문성을 가지고 현장업무에 집중할 수 있게 된다.

둘째, 다중보안검색에 대한 법적 근거개선이 이루어져야한다. 다중보안검색은 공항시설에 들어가는 순간부터 어디서든 보안검색을 실시할 수 있어야 하고 강제성이 동반되어야 한다. 특히 민영화 과정에서 민간경비인 특수경비와 경찰 사이의 관할권과 권한에 대한 명확한 법령이 필요하다. 이것은 양쪽집단 간의 이권문제가 아니라 항공보안이라는 공공의 안녕과 관련된 문제이기 때문이며 민영화가 지속되고 있는 우리의 상황에서 반드시 매듭지어야 할 문제라고 생각한다. 또한 강제성을 가지는 법규의 마련은 인권문제와도 필히 상충되기 때문에 우리나라에서 영향력을 발휘하는 인권단체들과의 문제가 있어 인권침해와 공공의 안녕 사이에서 절충안을 찾거나 한 가지를 포기할 해야 한다.

## 화재상황별 분석을 통한 화재예측 및 실화재 대응 플랫폼 개발에 관한 연구

민세홍<sup>†</sup> · 이재문 · 임성빈 · 김재범 · 박은석  
가천대학교

### A Study on the Fire Prediction and the Development of the Real Fire Response Platform through Analysis of the Fire Situation

Min, Se-Hong<sup>†</sup> · Lee, Jae Moon · Lim, Seong-Bin · Kim, Jae-Bum · Park, Eun-Seok  
Gachon University

<sup>†</sup>Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

본 연구는 2016년~2020년까지 과학기술정보통신부에서 수행하고 있는 재난안전정보 공유 플랫폼 기술개발 연구과제와 연계하여 지능형 위험분석 및 피해예측 기반의 화재상황 대응 플랫폼 구축을 하고자 한다.

소방방재청은 화재관련 정보시스템을 통하여 방대한 데이터를 축적하고 사전 예측·예방 등에 활용하고 있으나, 수집된 정형 데이터의 활용성 및 접근성 부족, 빅데이터 분석 처리의 복잡성 등으로 인하여 정확한 화재추세를 인지하기 어려우며 통합적인 플랫폼이 없는 상태에서 화재 예방은 한계에 도달하였다.

이를 위해 개발하고 있는 화재상황 대응 플랫폼은 화재발생 가능성의 예측을 통해 화재예방 및 화재진압에 종합적인 정보를 제공하고 도심 밀집지역이나 초고층 건축물 등 화재상황별로 능동적으로 대처할 수 있어 국민의 생명을 보호하고 재산피해를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 화재 상황별 대응정보 및 재난자원 분석자료 등의 고급분석정보 DB구축으로 대 국민 홍보 및 화재위험에 대한 경각심을 고취 시킬 수 있고 각종 주요 소방정책의 의사결정에 자료로 활용 가능할 것이다. 이러한 화재발생확률예측 및 실화재 대응 예측을 바탕으로 지능형 연계 및 화재상황 대응 플랫폼 개발을 최종 목표로 하고 있다.

현재 지능형 플랫폼 개발 연구에 있어서 가천대학교는 소프트웨어적인 기획 측면을 담당하고, (주)유티이씨에서는 하드웨어적으로 실현하는 것으로 업무를 분장하고 있다. 화재통계데이터, 소방력 데이터, 수보자 가이드라인, 상황실 매뉴얼 등 확보한 데이터는 가천대학교, 한국건설생활환경시험연구원, 한방유비스(주), (주)유티이씨에서 인자값 추출 및 분석 진행하여 규칙성 분석을 실시하였으며, 이를 통해 (주)유티이씨에서 Lay-out을 구성, 연세대학교에서 AI 분석을 실행하여 초기 플랫폼을 구축하였다. 이후, 정부망을 담당하는 (주)에이앤디시스템과 민강망을 담당하고 있는 (주)케이엠에스의 시스템을 플랫폼에 연동하고 Open API를 통한 AI 화재예측프로그램의 고도화, 반복학습을 통한 신뢰성 확보를 목표로 하고 있다.

**\*\*감사의 글:** 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 - 재난안전플랫폼기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. NRF-2017M3D7A1071832)

## 지능형 실시간 화재예측경보시스템 구축에 관한 연구

박은석 · 이재문 · 임성빈 · 김재범 · 최대현 · 민세홍<sup>†</sup>  
가천대학교

### A Study on the Construction of Intelligent Real Time Fire Prediction Alarm Alert System

Park, Eun-Seok · Lee, Jae Moon · Lim, Seong-Bin · Kim, Jae-Bum ·  
Choi, Dae-Hyeun · Min, Se-Hong<sup>†</sup>

Gachon University

<sup>†</sup>Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

국내의 화재정보 및 화재관련 지식의 공유는 현재 소방청에서 운영하는 국가화재정보센터를 통해 받고 있으나 화재내비게이션은 월별로 해당지역에 대한 위험등급으로 구분하고 각 시도 별로 구까지만 위험지수를 나타내고 있다. 또한, 국내의 경우 연평균 4만 6천 건에 달하는 화재가 발생하여 막대한 재산과 인명 피해를 낳고 있으며 이를 감소시키기 위해서는 화재발생 후 조기 감지시스템 개발 및 구축이 필요하며, 미국의 경우도 이와 유사한 범죄 예측시스템을 도입하여 화재 발생건수를 20% 이상 감소시키는 효과를 달성하고 있다.

이에 본 연구에서는 화재발생에 대한 빅데이터 분석을 통해 구축된 예측 경보 시스템의 예측된 화재발생확률을 통보하고 기관에서는 대응매뉴얼에 따라 위험요소를 감소시킬 수 있는 전략을 수립할 수 있도록 구성하는 것을 목표로 한다.

가천대학교에서는 지하역사, 외장재, 시장지역의 화재 조사 및 위험도 분석을 진행하였다. 지하역사는 화재시물레이션과 피난시물레이션을 분석하여 총 342개의 역사를 위험도별 4단계로 등급화 하였고, 외장재는 건물형태별의 화재시물레이션과 외장재 재료별 실험을 하여 4단계로 등급화 하였다. 마지막으로 시장화재는 밀집지역 평가표를 통해 5단계로 등급화 하여 화재위험도 등급을 제시하였다. 화재위험도평가모델은 한국건설생활환경시험연구원이 총괄로 가천대학교((초)고층 건축물, 재래시장, 지하철 역사), 한국건설생활환경시험연구원(산림지역, 복합건축물), 한방유비스(주)((초)고층 구획화재, 원자력 발전소, 공항, 장대터널, 공연장), 연세대학교(산업시설)로 분담하여 개발하고 개발한 모델을 (주)유티이씨에서 플랫폼에 연동할 예정이다. 이후 단계별 화재위험도평가모델에 따른 화재상황별 대응 매뉴얼 및 시나리오를 작성하여 화재 예측플랫폼에 연동할 예정이다. 플랫폼에 입력되는 화재위험도평가모델은 수보자의 해당 지역 센터/소방서/지역대의 소방력을 효율적으로 출동시켜 신속한 화재 진압에 도움이 될 것이며, 수보자가 신고자의 적절한 답변을 요구하도록 화재대응매뉴얼 및 시나리오를 개발할 것을 목표로 하고 있다.

**\*\*감사의 글 :** 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 - 재난 안전플랫폼기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. NRF-2017M3D7A1071832)

## 전국 10년간 화재 통계의 규칙성 및 상관관계 분석

민정기 · 임현석 · 이규민 · 우영제 · 조재우 · 민세홍\*

한국건설생활환경시험연구원, \*가천대학교

### Regularity and Correlation Analysis of Fire Statistics for 10 Years in Korea

Min, Jeong Ki · Lim, Hyeon Seok · Lee, Kyu Min · Woo, Young Je ·  
Cho, Jae Woo · Min, Se-Hong\*

Korea Conformity Laboratories, \*Gachon University

†Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

최근 대형 인명피해 및 재산피해를 유발하는 화재 발생이 계속되는 반면, 양적 성장위주의 산업 투자로 인해 사전 예방보다는 사후 대응위주 대책이 수립되고 있는 실정이다. 또한 국내 여건을 고려한 체계적인 안전대책이나 법규의 마련보다는 주변 선진국의 제도를 도입하는 수준에 그치고 있어, 제도적인 측면에서 화재 관리체계를 구축함과 동시에 관련 분야의 인적, 물적 자원을 확보함에 따른 선진화된 안전관리 체계의 구축이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 전국의 10년간 발생한 화재의 경향 및 특성을 분석하기 위해 국가화재정보센터(NFDS)의 자료를 기준으로 2007년부터 2016년까지 전국에서 발생한 화재를 건축물 용도 및 화재유형에 따라 발생건수와 인명피해, 재산피해의 비교, 분석을 진행하였다. 화재발생건수와 화재로 인한 피해요인 간의 상관관계 분석을 위해 SPSS 프로그램을 활용하였으며, 분석결과를 통해 지난 10년간 국내 화재의 전반적인 규칙성 분석과 동시에 피해요인 간의 상관관계를 알아보았다.

전국의 화재원인에 대한 분석결과 부주의로 인한 화재발생건수가 가장 높게 나타났으며 사망인원과 부상인원 또한 가장 높게 나타난 것으로 분석되었다. 그러나 재산피해의 경우 전기화재에서 가장 많이 발생한 것으로 나타났는데, 이는 공장시설에서 발생한 전기화재의 경우 화재확산이 용이하고 고가 장비 및 시설 피해가 많이 발생하여 일반적인 건축물에서 발생하는 화재보다 재산피해가 비교적 높게 나타난 것이 원인으로 판단된다.

전국 건축물 용도별 화재현황 분석결과 단독주택에서의 화재발생건수와 그로 인한 사망인원의 발생비율이 가장 높게 나타났으나, 부상인원의 경우 공동주택에서 가장 높은 비율이 나타나는 것으로 분석되었다. 이는 공동주택의 경우 화재발생으로 인한 열기 및 연기가 인접실로 전파됨에 따라 나타난 것으로 판단되며, 향후 연구에서는 주거시설의 화재발생건수에 대한 발화요인 및 화재발생 위치(또는 층)에 대한 조사를 통해 인명피해 발생에 영향을 주는 요인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

화재유형 및 건축물 용도에 따른 SPSS의 상관관계 분석결과, 대부분의 화재유형에서 화재발생건수와 부상인원과의 상관관계가 가장 높게 나타난 반면 사망인원과 재산피해와의 상관관계는 비교적 낮게 나타나는 것으로 분석되었다. 이는 화재발생건수 대비 사망인원 또는 재산피해의 발생이 낮게 나타남에 따라 도출된 분석결과로 판단된다.

향후 연구를 통해 건축물의 용도에 및 화재요인에 대한 세부적인 조사 및 분석으로 화재통계 데이터를 보완하며 이를 지역별 인구밀도와 비교하였을 때, 더욱 객관적이고 정량적인 건축물 용도별 화재위험성 평가의 진행이 가능할 것으로 전망된다.

**\*\* 감사의 글:** 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 - 재난안전 플랫폼기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호는 NRF-2017M3D7A1071840)

## 화재상황별 분석을 통한 재난안전플랫폼 개발 연구

최두찬 · 김희문 · 김학경 · 심혜인 · 고민혁 · 민세홍<sup>\*†</sup>

한방유비스(주), \*가천대학교

### A Study on the Development of Disaster Management Platform Through fire situation analysis

Doo Chan Choi · Hee Moon Kim · Hak Kyung Kim · Hye In Sim ·

Min Hyeok Ko · Sae Hong Min<sup>\*†</sup>

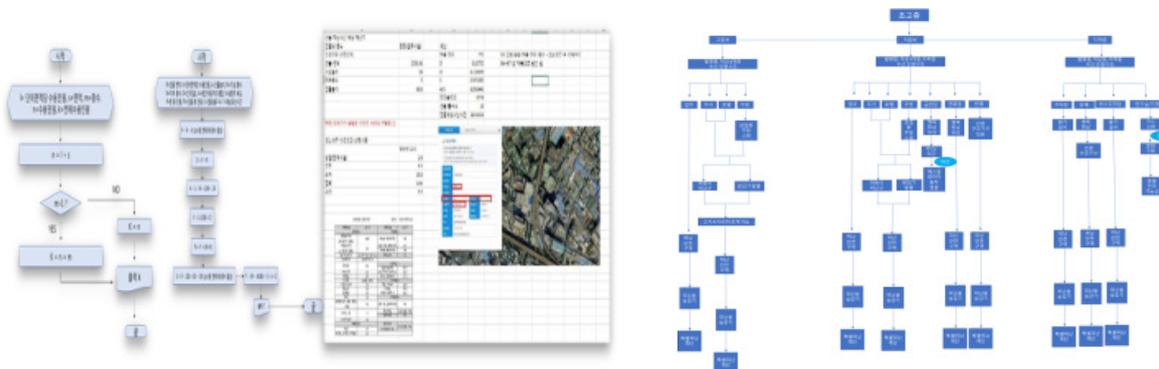
KF UBIS CO., Ltd., \* Gachon University

<sup>†</sup>Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

현대사회에서는 건축물의 대형화와 사용목적의 다양성, 다수의 거주자, 기존건축의 노후화에 따른 건축물 기능 및 설비약화로 화재로 재난은 복합적 양상으로 나타나고, 점차 대형화 되고 있으며, 이로 인해서 과거에 비해 유사한 성격의 재난으로 더 큰 피해가 발생할 가능성이 높아지고 있다. 특히 다중이용시설의 증가, 생활공간의 복잡화 및 밀집화, 도심과 산업시설의 집중화, 건축물/시설물 서로간의 상호 영향과 의존관계 등으로 피해가 상대적으로 더 많은 사람에게 영향을 줄 수 있다. 또한 과거 10년 이상의 국내외 화재현황을 분석한 결과, 시간이 지날수록 화재발생 건수는 큰 차이가 없거나 감소하는 반면, 화재피해 액수와 사상자수는 증가하는 경향이 있음을 확인할 수 있다.

2017년 12월에 제천시 하소동에 위치한 9층규모의 스포츠센터 건물화재사태는 불법적인 건물시공과 사용, 소방시설관리 미흡 등이 피해의 주원인으로 분석되었지만, 적합하고 신속한 화재상황분석을 수반한 초기의 소방대응과 화재진압과 구조활동을 위한 소방지휘판단의 중요성에 대해서도 인지할 수 있었다. 본 연구는 지능형 위험분석 피해예측 기반의 재난 대응 플랫폼 기술 개발의 일환으로 화재상황분석을 통한 상황수보 적용요소를 개발하는 것을 목적으로 수행하였다. 이를 위해 화재발생 시, 다수의 인명/재산 피해가 예상되는 화재상황별 분석을 통해 아래와 같은 플랫폼 화재상황분석 수보적용 절차 요소를 연구개발하였다. 화재발생을 최초 확인하는 수보자는 기존의 일률적인 메뉴얼과 자신의 경력 등에 의지한 화재상황분석을 현장에 출동하는 소방대에 전달하게 된다. 개발된 분석 절차 요소는 플랫폼에 상황수보를 위한 분석도구로 적용되어, 소수의 정보입수를 통해서 화재상황과 피해예측에 대한 지능형분석이 가능하고, 차후 소방대활동을 위한 중요정보를 전달하여, 적합한 화재대응이 가능하도록 한다.

향후 화재대응시나리오 분석과 연구 등을 통해서 최종적으로는 신속하고 정확한 대응을 위한 지능형 소방력 대응이 플랫폼을 통해서 가능할 것으로 기대된다.



화재피난알고리즘을 기반한 수용인원, 피난시간, 피해예측의 분석과 상황수보적용 절차요소

**\*\* 감사의 글:** 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 - 재난 안전플랫폼기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2017M3D7A1071894).

## 지능형 위험분석 피해예측 기반의 화재 상황 대응을 위한 플랫폼 고도화 연구

김성은 · 양 효\* · 이정훈\*\* · 문성환\*\*\* · 윤형준\*\*\*\* · 민세홍†

(주)유티이씨, 가천대학교

### Develop intelligent disaster linkage and fire situation correspond platforms

SungEun Kim · Hyo Yang\* · JungHoon Lee\*\* · SungHwan Moon\*\*\* ·

HyungJun Yoon\*\*\*\* · Sehong Min†

UTEC.Co.,Ltd. , Gachon University

†Corresponding author: sekim@utec.kr

최근 도시화에 따른 인구 과밀화, 건축물의 대형화·복합화 등 재난환경변화에 따라 단순 화재사고가 대규모 복합재난으로 확대되는 추세에 있으나 이러한 예측 불능의 화재로부터 미리 예방하고 피해를 줄일 수 있는 대응 시스템이 부족한 실정이다.

급격한 발전과 함께 건축물의 고층화 및 심층화와 다양한 용도의 복합화 경향을 나타내고 있으며 화재 건수도 2016년 기준으로 4만3천 건이 넘고 인명피해는 2,024명 재산피해는 3,697억 원으로 지속해서 발생하고 있다.

특히, 우리나라는 OECD 국가 중 화재로 인한 사망률이 최저 그룹에 속함에도 불구하고 중복 제천 복합건물 화재와 같은 대형 화재에서 취약요인이 노출되어 대형 화재를 저감시키기 위한 화재상황대응시스템 강화방안이 요구되고 있다.

이에 지난 1차년도 연구를 통해 화재발생 전 이상징후를 감지하여 대응전략을 수립하기 위하여 다양한 화재발생 원인정보를 수집하고 화재발생 패턴 분석 및 화재발생의 역학관계를 발취하여 화재 발생 징후를 감지할 수 있는 시스템을 시범적으로 가 구축 하였으며, 화재사고 시 피해에 대한 대응정보를 신속, 적정히 제공, 관리하기 위하여 데이터베이스를 설계, 화재 상황 분석/위험 피해예측 시나리오 정보 및 자원소요, 배치기술을 포함한 콘텐츠를 제작하여 “재난안전정보 공유 플랫폼 기술개발” 사업 및 관련 기관에 연계되어 운영함으로써 그 결과를 환류, 수정 반영하여 화재 사고 대응정보가 적절히 제공되는 지속적인 화재 상황 대응 플랫폼이 운영될 수 있도록 이번 연구를 통해 고도화하고자 한다.

또한, 본 연구의 화재 발생에 대한 빅데이터 분석을 통해 구축된 예측 경보 시스템을 바탕으로 실시간으로 위험 발생 빈도를 통보하고 기관에서는 대응 매뉴얼에 따라 위험요소를 감소시킬 수 있는 전략을 수립할 수 있도록 구성함으로써 화재 발생원인, 확산경로, 피해원인, 피해예측, 대응 정보, 현장대응 등에 대한 데이터가 탑재된 화재상황 대응 플랫폼을 통해 향후 “재난안전정보 공유 플랫폼”과 연계하여 화재 관련 재난정보에 대한 추가제공이 가능하며, 특히, 화재가 발생했을 경우 최적의 대응 방법에 대한 가이드 라인을 제시할 수 있을 것으로 본다.

**\*\* 감사의 글:** 본 연구는 미래창조과학부 원천기술개발사업 중 ‘지능형 재난 연계 및 화재상황 대응 플랫폼 개발’ 사업(NRF-2017M3D7A1085358)에 의해 이루어졌습니다.

## 도심시 빌딩 화재 및 재난 상황 전파시스템에 대한 연구

이승형 · 안병덕 · 민세홍<sup>\*†</sup>

(주)에이앤디시스템, 가천대학교<sup>\*†</sup>

### A Study on Fire and Disaster Situation Propagation System in Urban City Buildings

Lee, Seung-Hyung · Ahn, Byung-Dug · Min, Se-Hong<sup>\*†</sup>

A&D System Co., Ltd, \*Gachon University

<sup>†</sup>Corresponding author: gopellee@adeng.com

본 연구는 도심지 대형 빌딩화재 및 재난 발생시 실시간으로 화재(재난) 위험성 분석을 통해 피해를 예측한 화재플랫폼 정보를 기반으로 화재(재난) 유형별로 신속하게 피해 예상 지역에 상황을 전파하기 위한 시스템으로 재난(화재) 유형별 대응 상황을 전달하기 위하여 빌딩 화재(재난) 방송 시스템 운영프로그램과 사용 용도에 따라 설치 운용이 가능한 3가지 유형의 상황전달 수신 단말 시제품을 개발하였다.

『빌딩화재(재난)방송시스템』은 화재플랫폼을 통해 분석, 수집, 예측된 정보를 기반으로 화재유형별 전달 메시지를 자동 및 수동으로 방송할 수 있는 시스템으로 경보방송 단말을 개별, 그룹, 전체 지역에 대해서 선택적으로 방송할 수 있으며 원격으로 제어 및 감시가 가능하도록 설계하였다. 이 프로그램을 통해 3가지 형태의 수신기로 방송이 가능하다.

첫 번째는 『상황실용 상황전달 경보단말』로 지역 119상황실이나 재난상황실에서 수집되는 화재 및 재난 정보를 대화면 TV를 통해 모니터링을 하고 관계자에게 상황을 전달 할 수 있는 상황실용 상황전달 경보단말을 개발하였다. 이 시스템은 기상청과 중앙재난상황실 및 민방위경보통제소의 각종 정보를 수집하여 화면에 표출하며 건물 내부 전관방송시설과 연동하여 구내방송을 통해 상황전달이 가능하도록 설계되었다. 상황근무자는 수신기를 통해 전달되는 정보를 통해 신속하게 화재(재난)에 대하여 대응이 가능하다.

두 번째는 『유관기관용 상황전달 경보단말』로 발생하는 대형 화재(재난)에 대하여 건물 내부 전관방송시설을 제어하여 상황을 라이브 또는 TTS(Text to Speech) 음성을 통해 화재(재난)상황을 전달한다. 이 시스템은 정부 유관기관뿐 아니라 대형 건물에도 적용이 가능하여 중앙재난상황실의 DMB재난방송과 지역 상황실의 전달메시지를 수신하여 방송하도록 구성하였다.

세 번째는 『인구밀집지역용 상황전달 경보단말』로 옥내·외에 설치하여 무선 자체스피커를 통해 상황을 전달하도록 되어있다. 태양광 자가 운영이 가능한 형태와 AC전원을 사용하는 두가지 형태로 개발되어 전원이 없는 옥내·외에 설치하여 운영할 수도 있으며 건물 관리자가 무전기를 통해 외부에서도 현장상황에 따라 방송이 가능한 것이 특징이다. 이 연구를 통해 도심지 화재(재난)발생시 신속하게 상황을 전달하여 국민의 재산과 인명 피해를 최소화 하고자 한다.

**\*\* 감사의 글:** “이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 - 재난안전플랫폼기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2017M3D7A1085358)”

## 빅데이터 머신 러닝 기술을 이용한 소화전 모니터링 시스템

김광국 · 김윤상 · 김용한 · 민세홍\*\*

(주)케이엠에스, 가천대학교\*

The research is about the fire hydrant monitoring Sys' though  
Machine learning technology of BigData

Kim, Kwang-Kook · Kim, Yun-Sang · Kim, Yong-Han · Min, Se-Hong\*\*

KMS Co.,Ltd. Gachon University

\*Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

IoT 4차 산업혁명으로 소방 제품에 IoT 접목시키는 기술을 이용하도록 정부정책에서 유도하고 있다. 국내 소방 산업은 시장규모가 작고 새로운 IoT 기술에 R&D 투자가 소극적으로 이루어지고 있고, 다양한 IoT 관련 기술의 개발이 진행되기에는 진입 장벽이 높다고 볼 수 있다. IoT 소화전 모니터링의 도입으로 기존 현장 방문 점검으로 발생하는 인력, 시간, 비용 손실을 막을 수 있게 됐으며 실시간으로 관제 시스템, 모바일 어플, Web 모니터링이 가능해짐에 따라 관리자는 직접 현장에 출동하지 않더라도 관제 시스템에서 신속하고 편리하게 소화전 모니터링 이상 유무를 확인 할 수 있다. 본 논문에는 IoT 을 근간으로 Sensors Network 을 통해서 빅 데이터를 수집하고 수집된 데이터 머신 러닝 기술을 접목 시켜서 소화전 예측, 관리, 분석 가능한 플랫폼의 구조를 연구하고 다양한 소방 센서에 적용시켜서 4차 소방산업혁명에 발전의 기반의 되기를 기대해 본다. 소화전 모니터링 시스템은 소화전 구성요소와 IoT Sensors Network 통신 방식 활용한 통합적인 소화전 신호 분석관리시스템 및 지능형 소화전 감시 대응 플랫폼이다. 수많은 소방 센서로부터 아날로그 정형, 비정형 및 반정형 데이터들을 Hadoop 을 이용하여 데이터 분산 처리하고 머신 러닝을 사용하여 데이터 생성하고 머신러닝 알고리즘을 이용해서 소화전 압력계이지, 소화전 펌프 예측 기반으로 소화전 수명 및 압력계이지 고장 유무 을 빅데이터 근간으로 예측할 수 있다. 소화전 모니터링 시스템 플랫폼 구조는 그림 2와 같이 Sensors 데이터 생성 부분은 진단 모델 생성을 위한 데이터 셋 생성, 모터의 고장 유형별 데이터 셋 생성 기반으로 구성하고, 데이터 수집은 데이터 수집을 위해서 Collector 모듈 부분은 TCP/IP 기반이며 수집된 데이터를 NoSQL에 Database 에 저장하고 빅데이터 분석 부분은 Hadoop 구조를 구성하면 Map Reduce 분산 데이터 처리 시스템, HBase 분산 데이터 베이스, HDFS 분산 파일 시스템으로 구성되며 Commodity 서버 클러스터를 통해서 빅데이터를 수집한다. 머신 러닝 부분은 Tensorflow 구글에서 만든 머신 러닝 알고리즘을 이용하여 빅데이터 을 이용하여 학습을 통해서 소화전 sensors 최적 및 고 신뢰도의 학습 모델을 제시하는 것이 최종 목표이다. 따라서 머신 러닝 기법의 함수 기반 및 트리 기반의 대표적인 알고리즘을 선정하여 생성한 데이터 셋을 시험한다. 통신 사업자 LTE 네트워크을 이용하여 소화전 Sensors Network 통해서 데이터 수집을 하여 현재 소화 센서들의 고장 유무, 소화전 발생위치분석, 실시간 소화전 신호 정보의 체계적 관리 구성할 수 있는 플랫폼 구조 가능성을 검증하였고 이를 기반으로 각 건물 또는 산업체에 설치되어 있는 소화전시설의 공공 안전망으로써 소화전 모니터링 시설 구축이 가능하다는 것을 알 수 있었고, 향후 소화전 예측 플랫폼 구성 시 실시간 모니터링 체계로써 활용을 연구할 예정이다.

\*\* 감사의 글 : 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 - 재난안전 플랫폼기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. NRF-2017M3D7A1072543)

## 데이터 기반 인공지능을 활용한 지역별 화재예측 및 대응정보 최적화

홍석영 · 민세홍\* · 조성현 · 장교진 · 문일†

연세대학교 · \*가천대학교

### Data-driven artificial intelligence to predict local fire and optimize response information

Hong, Seok Young · Min, Se-Hong\* · Cho, Sung Hyun · Jang, Kyo Jin · Moon, Il†

Yonsei University · \*Gachon University

†Corresponding author: hsyoun224@yonsei.ac.kr

지금까지의 소방정책은 제한된 정보에 의한 단순 통계 분석을 통하여 결정되었다. 하지만 통계 분석에 사용되는 데이터가 부정확하고 분석 방법 또한 체계적이지 못해 소방정책이 효율적으로 의사결정을 내리지 못하고 있다. 따라서 고도화 된 화재위험 예측 및 대응 모델을 만들어 지역별로 발생할 수 있는 화재에 대비하고 화재진압에 활용할 수 있는 최적화된 정보를 제공하는 시스템 구축이 필요하다. 최근 인공지능 기술을 활용한 데이터 상관관계 및 패턴 분석을 통해 분류(Classification) 및 회기(Regression)문제를 해결할 수 있는 기법들이 발전하였으며, 이에 따라 범죄, 주식, 날씨 등 각종 요인들이 복잡하게 얽혀 있는 문제들을 해결할 수 있게 되었다.

국가화재정보시스템(NFDS)에서는 2007년도부터 발생한 과거 화재사고 데이터를 축적하였고 이로 인하여 신뢰도가 높은 데이터 분석이 가능해졌다. 따라서 화재에 영향을 미치는 다양한 위험 요인과 화재 정보, 피해규모 및 화재 대응정보를 분석하고, 이를 활용한 데이터 기반의 인공지능 모델 구축을 수행할 수 있다. 본 연구에서는, 인공지능 기법을 활용한 지역별 화재발생 확률 예측 모델과 피해규모 예측 및 대응 정보 최적화 모델을 구축하였다. 국가화재정보시스템(NFDS)에서 제공하는 최근 10년간의 91가지 화재사고 데이터(2008년~2017년)를 사용하여 위험 요인이 화재에 영향을 미치는 상관관계를 분석하고 지역별 화재발생 예측, 피해규모 예측 및 대응정보 최적화에 사용되는 변수요인을 선별하였다. 그 결과 시기 및 기상, 발생지역 변수를 이용해 지역별 화재 발생확률 예측 모델을 구성하였으며 피해 규모 및 대응정보를 추가하여 피해규모 예측 및 대응정보 최적화 모델을 구성하였다. 각 모델에 사용되는 데이터는 전처리과정을 거쳐 심층신경망(Deep Neural network, DNN) 학습 및 검증에 사용되며, DNN 모델은 오차역전파(Back propagation) 알고리즘을 통해 학습을 진행한다.

본 연구의 결과물인 지역별 화재발생 확률 예측을 통해 화재 발생 이전에 소방자원을 배치하여 화재 발생시 피해를 최소화 할 수 있으며 피해 규모 예측 및 대응자원 최적화를 통해 소방자원의 낭비를 최소화하여 효율적인 소방대응을 할 수 있을 것으로 확신한다.

**\*\* 감사의 글:** 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 - 재난안전플랫폼기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2017M3D7A1085361)

## 내부식성 타입4 공기호흡기용 용기 개발

조성민 · 노경길 · 염지웅 · 문종삼 · 이승국<sup>†</sup>

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Development of Type 4 Composite Pressure Vessel by using PET Liner for Self-contained breathing apparatus

Sungmin Cho · Gyeong Gil Roh · Jiwoong Yeom ·

Jongsam Moon · Seungkuk Lee<sup>†</sup>

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

<sup>†</sup>Corresponding author: lsk@kgs.or.kr

용기의 개발 역사에 발맞춰 여러 산업군에 사용되는 압력용기 역시 기존 타입 1, 2 제품에 서 타입 3로 활발한 교체가 이루어지고 있으며, 공기호흡기 역시 사용자가 장시간 신체에 착용하여 활동하는 제품인 만큼 저중량 및 안전성이 중요하게 검토되어 일찍부터 타입 3 제품이 사용되고 있다. 그러나 타입 3 용기의 내부 알루미늄 라이너는 장시간 산소와 접촉 시 알루미늄 자체에서 갖고 있는 산화피막이 벗겨져 녹이 발생하게 된다. 이러한 녹 성분은 인체로 흡입 되어 심각한 중금속 문제가 발생한다.

이에 따라 본 연구에서는 기존 공기호흡기에 적용되는 내부 알루미늄 라이너 부식에 의한 녹 발생 및 인체 유해성 문제를 해결하기 위해 시중 식음료 용기의 재질로 사용되는 플라스틱 PET(Polyethylene terephthalate) 라이너를 적용하여 인체 유해성 문제를 해결하였으며, 외기류를 체결하여 용기 내 산소 유입을 담당하는 포트 부위의 강도 향상을 위해 PET 재질의 열경화 방법을 적용하였다. 그리고 낮은 강도의 플라스틱 라이너 사용에 따른 돔 부위 추가 보강을 위해 알루미늄 포트를 삽입하였다. 이와 같은 방법으로 설계된 개발품의 성능을 예측하기 위해 3차원 구조해석을 진행하였으며, 시제품 성능시험을 통해 제품의 건전성을 입증하였다.

\*\* 본 연구는 산업통상자원부 지역주력산업육성기술개발사업 (A019400119), 중소기업벤처기업부 중소기업기술혁신개발사업(S2498468) 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

## 진공단열 방식의 IMO Type C LNG 연료탱크 단열성능 평가

조상훈<sup>†</sup> · 심명지

(주)엔케이

Evaluation of insulation performance of  
IMO Type C LNG fuel tank with vacuum insulationSang Hoon Cho<sup>†</sup> · Myung Ji Sim

NK Co., Ltd.

<sup>†</sup>Corresponding author: shcho1@nkcf.com

국제해사기구(IMO)에서 선박에서 배출하는 황산화물과 질소산화물에 대한 규제를 점점 강화함에 따라 세계 각국의 선사들은 친환경 선박연료인 액화천연가스에 주목하고 있다. 이에 힘입어 국내외 조선업계에서는 LNG 관련 기술 개발에 박차를 가하고 있으며 점진적으로 LNG 연료추진선박의 수요 역시 증가될 것으로 예상된다. 본 연구의 대상은 IMO에서 규정하는 독립형 연료 탱크 유형 중 Type C LNG 탱크이며, Type C LNG 탱크는 아직까지 국내에서 실수요가 많지 않고 LNG연료추진선에 적용하는 초기 단계이므로 단열성능 테스트의 표준 절차 및 기준이 없는 실정이다. 현재까지 탱크에 대한 단열성능 테스트는 한국가스안전공사에서 발행한 액화천연가스 차량용 탱크 제조의 시설·기술·검사기준의 단열성능검사 방식을 참고하여 수행되고 있다. 이는 압력을 고려하지 않은 탱크 내에서 발생한 Boil Off Gas(BOG) 전체를 측정하는 방법으로서 탱크내 BOG를 선박내 발전용으로 사용하는 IMO Type C LNG 탱크에는 적합한 방법이라고 볼 수 없다.

본 연구에서는 선박용 IMO Type C LNG 탱크에 적합한 새로운 BOG 테스트 절차를 제시하였다. 이를 바탕으로 LNG Mock up 탱크에 대한 Boil Off Rate(BOR)를 측정하였고, 계산을 통한 BOR 값과의 비교를 통하여 BOR 테스트 절차에 대한 타당성 및 유효성을 검증하였다. 또한 실험을 통해 극저온 액화가스 저장 탱크 내부의 온도, 유량, 압력 등이 변동되는 특성을 관찰하였다. 이러한 내용을 바탕으로 본 연구에서 제안한 IMO Type C LNG Tank의 BOR 테스트 절차는 관련 표준 절차 및 기준을 정립하는 연구에 활용될 수 있을 것이라고 판단된다.

\*\* 본 연구는 중소기업청의 World Class 300 프로젝트(S2367419, LNG 연료추진 선박용 독립형 연료탱크 최적화 모델 개발)의 지원을 받아 수행한 연구입니다.

## TiO<sub>2</sub> 광촉매를 코팅한 유리섬유 필터의 톨루엔 제거특성에 관한 연구

전병준 · 손걸 · 신동훈<sup>†</sup>

국민대학교 일반대학원 기계공학과

### Study on the toluene removal characteristics of glass fiber filter coated by TiO<sub>2</sub> photocatalyst

Byeongjun Jeon · Jie Sun · Donghoon Shin<sup>†</sup>

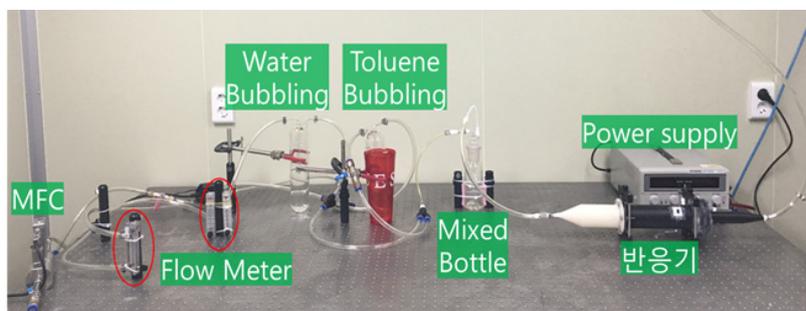
Department. of Mechanical Engineering Graduate School, Kookmin University

<sup>†</sup>Corresponding author: d.shin@kookmin.ac.kr

휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)은 실내 공기 오염 물질 중 한 종류이고 톨루엔은 그 중 대표적인 화합 물질이다. 톨루엔의 발생 원인은 많고 노출이 되면 단기 간에 질환에 걸릴 수 있다. 광촉매는 톨루엔 제거 방법 중 효과적인 방법일 때문에 공기 오염 처리 분야에서 사용되는 방법이 되고 있다. 그 중 광촉매에 TiO<sub>2</sub>는 화학적으로 안정하고, 반응 속도가 빠르며 가격이 저렴해서 점점 VOCs 처리에 응용되고 있다.

본 연구는 광촉매 반응의 메커니즘을 분석하고 L-H 반응율속 방정식을 통해 톨루엔 제거 과정을 묘사하였다. 실험은 설계된 광촉매 반응기를 이용하여 공기 습도, 공기 속도, 톨루엔 입구 농도, UV LED 조사량에 따라 UV 조사량 측정, 필터 풍압 측정 및 톨루엔 제거에 대해 진행되었다. 또한, 전산해석은 모델을 만들어 필터 표면의 UV 조사균일도, 반응기 내부 유동장 및 톨루엔 제거에 대해 진행되었다.

실험 결과를 통해 습도는 광촉매 반응 효율에 대한 영향이 큰 것을 확인하였고, 톨루엔 입구 농도가 증가하면 톨루엔의 제거량이 증가하지만 제거 효율은 떨어지는 것을 확인하였다. 톨루엔 제거 효율은 최소 3.1%, 최대 28%로 확인하였다. 전산해석 연구 결과를 통해 필터 표면의 UV 조사 균일도는 87 %로 나타났고, 반응기 내부 공기 유동이 균일한 것을 확인하였고, L-H 반응 모델은 본 연구에서 광촉매 반응에 대해 적절한 것으로 판단된다.



Photograph of toluene removal experiment

## 소형 열병합발전기 내연기관 발전 시스템 안전성능 평가기술 분석

김소현 · 이은경<sup>†</sup> · 김민우 · 이정운

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Analysis of Safety Performance Evaluation of the Internal Combustion System for Micro Combined Heat and Power System

So-Hyun Kim · Eun-Kyung Lee<sup>†</sup> · Min-Woo Kim · Jung-Woon Lee

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

<sup>†</sup>Corresponding author: eklee0123@kgs.or.kr

국제에너지기구의 통계에 의하면 대부분 주요 OECD 국가의 전력소비량은 감소하는 추세를 나타내고 있으나, 최근 10년간 우리나라 인구 1인당 전력 소비량은 지속적해서 증가하는 추세이다. 우리나라는 전력의 주요 소비지역과 생산지역의 불균형화로 인해 지역 간 전력 자급률의 격차가 큰 경향을 나타내며, OECD 국가 대비 화석연료에 대한 의존도가 높다. 이러한 전력 수급 및 환경오염 문제에 대한 해결 방안으로 고효율·친환경적인 에너지 수급의 필요성이 대두됨에 따라 소형 열병합발전 시스템(m-CHP, Micro-Combined Heat and Power System)에 관한 연구와 개발이 활발하게 수행되고 있다. 열병합발전 시스템은 열과 전력을 동시에 생산하여 전기와 냉·난방에 적용 가능한 하이브리드 발전 시스템으로써 기존의 대형 발전소에서 폐기되었던 배열을 회수하여 에너지로 이용하므로 에너지 종합 효율이 높으며 안정적인 전력 공급이 가능한 특징이 있다.

열병합발전의 선도국인 미국, 독일, 일본의 경우 열병합발전 시스템의 안전성과 성능평가 기술 기준에 대해 표준화되어 제품의 제조 및 생산에 적용하고 있으나, 국내의 경우 가정용 및 상업용 열병합 발전기와 관련하여 가스 소비율과 성능에 국한된 시험방법들에 대한 기준만 운영되고 있다. 따라서 제조업체가 해외의 기준을 토대로 제품 개발을 수행하고 있는 실정으로, 열병합발전 시스템 각 부의 구조와 재료 등을 고려한 기준에 관한 표준화 연구가 필요하다.

본 연구에서는 소형 분산 열병합발전 시스템에 적용되는 내연기관(가스엔진에 한함) 발전 시스템의 기술기준 및 안전성능에 대한 평가기술에 대해 분석하였다. 건물용 및 가정용으로 사용되는 열병합발전 시스템 내연기관의 구조, 재료, 작동 성능 등에 대한 평가기술 분석을 수행하였으며, 본 연구 결과는 소형 열병합 발전기 내연기관 발전 시스템의 안전성능 향상에 활용될 것으로 예상된다.

\*\* 본 연구는 2017년 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. S2563281)

## 가스엔진을 사용하는 m-CHP 시스템의 위험요소 분석

김민우 · 이은경 · 이정운<sup>†</sup>

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Risk Factors Analysis of m-CHP System Using Internal Combustion Engine

Min-woo Kim · Eun-kyung Lee · Jung-woon Lee<sup>†</sup>

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

<sup>†</sup>Corresponding author: wooni@kgs.or.kr

전 세계적으로 화석에너지의 고갈 및 가격상승, 환경오염 문제 등으로 인해 각 국에서는 실효성 있는 대책 마련에 고심하고 있다. 이에, 유럽, 미국, 일본 등 해외 선진국에서는 분산 발전형 전원의 보급을 추진하고 있으며, 관련 기준 연구도 활발히 진행되고 있다. 한편, 우리나라에서는 8차 전력수급 기본계획에서 경제성을 확보하면서도 안전하고 깨끗한 발전원을 마련할 것을 명시하고 있으며, m-CHP와 같은 분산형 전원이 한 축을 담당하고 있다. m-CHP는 연료전지, 스팀터 엔진, 내연기관 엔진으로 발전이 가능하나, 본 연구에서는 내연기관을 통한 발전 시스템의 위험요소를 분석하고자 한다. 내연기관은 19세기 후반부터 압축점화 방식의 디젤엔진 및 전기 스파크 점화 방식의 가솔린 엔진이 최초로 상용화 되어, 현재까지 기술개발의 축적이 높은 분야이다. 하지만, 그 기술개발 분야가 항공기, 자동차용 등으로 주로 한정됨으로써 거주용 발전 분야에서는 아직 안전성능을 위한 충분한 실험 및 검증이 필요하다고 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 거주용으로 사용되는 내연기관 발전 시스템의 운전조건 및 이상운전 형태와 관련 설비 및 부품 위험요소 등을 분석하고자 한다. 이를 통해 도출된 연구결과는 향후 내연기관 발전 시스템의 검사 및 시험항목을 도출하는데 활용될 것이며, 분산 전원의 보급을 통해 우리나라의 전력수급 안정화 및 환경오염 개선에 크게 기여할 것으로 예상된다.

\*\* 본 연구는 2017년 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. S2563281)

## 스퍼터링 방법으로 제조된 알칼라인 수전해용 Raney Ni 전극의 전기화학적 특성 평가

한원비 · 조현석 · 조원철 · 김창희<sup>†</sup>

한국에너지기술연구원 수소연구실

## Electrochemical Performance of Sputtered Raney Nickel Electrodes used in Alkaline Water Electrolyzer

WON-BI HAN · HYUN-SEOK CHO · WON-CHUL CHO · CHANG-HEE KIM<sup>†</sup>

Hydrogen Laboratory, Korea Institute of Energy Research

<sup>†</sup>Corresponding author: chk14@kier.re.kr

본 연구에서는 스퍼터링 방법으로 제조된 Raney Ni 전극의 수소발생반응(HER, hydrogen evolution reaction)에 대한 전기화학적 활성을 평가하였다. 스퍼터 파워를 300 W로 고정하고 증착시간을 조절하여 복합구조 기재인 Ni foam에 Al의 두께를 20  $\mu\text{m}$ 까지 조절하여 증착하였다. Al-Ni 합금을 형성하기 위하여 610°C에서 30분간 열처리하였으며, XRD 분석을 통해 열처리 과정 중 Ni의 Al 상으로의 확산에 의해 Al-Ni 합금이 형성되었음을 확인할 수 있었다. 다공성 구조의 Al-Ni 전극을 제조하기 위하여 80°C의 KOH 용액에서 24시간동안 Al-rich 상의 선택적 용출을 진행하였다. SEM 및 EDS 분석을 통해 대다수의 Al이 용출과정에서 용출되었으며 이로 인해 다공성의 Raney Ni 전극 구조가 형성된 것을 알 수 있었다. 다공성 구조의 Raney Ni 전극의 전기화학적 활성면적은 순환전압전류법(CV, cyclic voltammetry)으로부터 측정하였고 전극 두께가 20  $\mu\text{m}$ 까지 증가할수록 활성면적이 5배 이상 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 전극의 HER 활성은 선형주사전위법(LSV, linear sweep voltammetry)으로부터 측정하여 알칼라인 환경에서 전극의 활성면적, 기공구조, 기재의 종류에 따른 영향을 조사하였다.

## 풍력-수전해-연료전지 연계시스템 위험요소 분석

김지혜 · 이은경<sup>†</sup> · 김민우 · 오건우 · 이정운 · 문종삼  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Analysis of Risk Factors for Wind – Water Electrolysis – Fuel Cell Connection System

Ji-Hye Kim · Eun-Kyung Lee<sup>†</sup> · Min-Woo Kim · Gun-Woo Oh ·  
Jung-Woon Lee · Jong-Sam Moon

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation  
<sup>†</sup>Corresponding author: eklee0123@kgs.or.kr

현재 국내외에서는 지속가능하고 친환경적인 신재생에너지를 기반으로 가스를 생산하여 이용하는 수소에너지 생산·저장·이용 전 단계의 융합 기술개발 연구가 한창 진행 중에 있다. 신재생에너지 중 풍력에너지는 많은 전력을 생산하고 있지만, 주·야간에 각 발생하는 풍량이 일정하지 않아 불규칙한 전력이 나온다. 불규칙한 전력은 주로 야간에 잉여전력을 발생하게 되는데, 이러한 잉여전력을 버리지 않고 저장하였다가 다시 전력으로 변환하여 재사용하는 융합 시스템인 풍력-수전해-연료전지 연계시스템이 전 세계적으로 각광받고 있다. 이 시스템은 풍력에서 나오는 잉여전력을 Power to Gas(P2G)방식으로 수소와 산소를 생산하고, 생산된 수소는 H-ESS (Hydrogen-Energy Storage System) 인 수소 에너지 저장 시스템으로 저장한다. 저장한 수소는 연료전지를 통해 다시 전력으로 변환하여 재사용하는 시스템이다. 선진국에서는 이미 풍력-수전해-연료전지 연계시스템의 실증플랜트를 구축하여 운전 중에 있지만, 국내에서 본 연구를 통하여 풍력-수전해-연료전지 연계시스템 실증플랜트는 구축을 계획하고 있다. 본 연구에서는 풍력-수전해-연료전지 연계시스템에서 발생 가능성이 있을 이상동작에 대비해 이상동작의 항목들을 도출하고 위험 요소를 분석한 후 국내에 맞는 실증플랜트를 구축 시 안전 설계 방향을 제시하고자 한다. 본 연구 결과는 풍력-수전해-연료전지 연계시스템 실증플랜트를 구축하는데 도움이 될 것이라 예상된다.

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

## 멀티스케일 아키텍처링을 통한 고성능 연료전지 구현

장세근<sup>1†</sup> · 김성준<sup>2\*</sup> · 김상문<sup>3\*\*</sup> · 최만수<sup>4\*\*\*</sup> · 유성종<sup>1</sup>

한국과학기술연구원 연료전지연구센터<sup>1</sup> · \*서울대학교 화학생명공학부<sup>2</sup> ·

\*\*인천대학교 기계공학과<sup>3</sup> · \*\*\*서울대학교 기계항공공학부<sup>4</sup>

### Annual Conference of the KIHM : High-performance Fuel Cells with Multiscale Architecturing Method

Segeun Jang<sup>1†</sup> · Sungjun Kim<sup>2\*</sup> · Sang Moon Kim<sup>3\*\*</sup> · Mansoo Choi<sup>4\*\*\*</sup> · Sung Jong Yoo<sup>1</sup>

Fuel Cell Research Center, Korea Institute of Science and Technology<sup>1</sup>

\*School of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University<sup>2</sup>

\*\*Department of Mechanical Engineering, Incheon National University<sup>3</sup>

\*\*\*Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University<sup>4</sup>

†Corresponding author: sedor1@kist.re.kr

The capability of fabricating high-performance membrane electrode assembly (MEA) is a key to commercialize the direct methanol fuel cells (DMFCs). In DMFCs, the performance loss mainly resulted from two factors: (a) formation of a mixed potential at the cathode due to methanol crossover through an electrolyte membrane and (b) slow kinetics of methanol oxidation at the anode. Based on interface engineering approach, our group has tried to solve both problems. First, we fabricated a MEA with a multiscale-patterned membrane using creep-assisted sequential imprinting method, which our group has previously developed for constructing multiscale structures. By using the multiscale MEA, we achieved improved performances due to enhanced mass transport by thinned electrode, effective utilization of most active sites, and higher Pt utilization. Furthermore, we incorporated a guided gold cracked layer into the MEA with the multiscale patterned membrane. The electrochemically inactive thin gold layer acted as a physical barrier for methanol crossover and the guided cracks provided multiple proton pathways. On achieving these additional improvements, finally, the multiscale MEA with guided gold cracked layer showed significantly enhanced performance by 42.3 % compared to that of the reference one.

## 가상현실기반 가스사고 예방 안전 훈련 연구

유철희 · 윤혜주 · 이효렬 · 조영도

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on the Safety Training for Gas Accident on based Virtual Reality

Chul-Hee Yu · Hye-Ju Yun · Hyo-Ryeol Lee · Young-Do Jo

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

<sup>†</sup>Corresponding author: hyeju4413@kgs.or.kr

최근 2012년부터 2016년까지 5년간 총 가스사고가 606건 발생하였으며, LP가스가 406건으로 67%, 도시가스가 127건으로 21%, 고압가스가 73건으로 12%를 나타내었다. 또한 연평균 가스사고 점유율에 따른 사고증감률은 LPG 2.5% 감소, 도시가스 1.0% 감소, 고압가스 19.7% 증가하였다. 고압가스가 다른 가스에 비해 사고발생건수는 적게 나타났지만, 사고 증감률이 다른 가스 사고에 비해 높게 나타남을 통해 사고에 대한 발병률이 높아지는 것을 알 수 있으며, 고압가스에 대한 사고 위험이 높아지고 있다. 고압가스 중의 한부분인 화학 플랜트 사고의 다수의 원인으로 인적오류(Human Error)를 들 수 있다. 조업자의 부주의 혹은 규정 위반과 같은 부분이나 운전 경험 미숙 또는 사고시 대처 능력이 미흡하여 사고로 이어질 가능성이 있다.

한국가스안전공사에서는 고압가스의 대표적인 산업인 석유화학플랜트에 대한 가스 사고를 분석하였다. 이를 바탕으로 특히 석유화학플랜트 위험성평가 보고서를 기반으로 RDS공정에서 발생할 수 있는 사고 요인을 조사하여 사고 대응 훈련 시나리오를 개발하였다. 가스 디텍터에서 Gas leak를 감지하면 제어실 운전자와 현장 운전원이 협업하여 사고 상황 전달 및 조치를 취하는 시나리오를 구성하였다.

또한 효과적인 안전훈련 연구를 위해 가상현실 기반 안전 훈련장을 구축하여 기존의 평면적인 2차원 화면을 몰입감과 현실감이 있는 3차원으로 변환하여 훈련원이 실제 훈련을 하는 것처럼 체감화 할 수 있도록 가상현실 교육 설비를 설치하였다. 가상현실 교육 설비를 통하여 훈련을 통해 사고 현장을 가상으로 체험하고 비상 상황에 유연하게 대응할 수 있는 훈련을 제시하고자 한다.

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

## 항만의 위험물 컨테이너 관리 개선방안

최나영환<sup>†</sup> · 박상원 · 신수용

한국해양수산개발원 항만·물류연구본부

### Study for Port Dangerous Containers to Improve Management

CHOI, Na Young Hwan · PACK, Sang Won · SHIN, Soo Yong

Port & Logistics Research Division, Korea Maritime Institute

<sup>†</sup>Corresponding author: chnayoung@kmi.re.kr

우리나라는 1970년대부터 중화학공업 정책을 추진하여 정유 및 석유화학 관련 산업이 발전하였다. 1990년대부터는 전자제품, 환경, 반도체 소재 등 화학제품의 소재의 다양화와 함께 위험물 및 화학물질의 수입량도 확대되었다. 이러한 위험물과 화학물질은 국가의 산업경쟁력 향상에 큰 기여를 하였으나, 다종·다양한 물질의 수입이 확대됨에 따라 하역, 보관, 운송, 생산 등의 모든 과정에서의 취급 위험도와 관리의 어려움이 발생하였다. 또한 위험물 사고 발생 시 막대한 인적·물적 피해의 우려가 있으며, 물질별 대응방안도 상이하여 초동대응 및 후속조치에도 큰 어려움이 따른다.

이러한 위험물의 최전선에 위치한 항만은 선박의 입출항, 승객의 승하선, 화물의 적하역, 이송, 적치 등이 이루어지는 공간이다. 항만의 범위를 배후단지까지 확대하면 물류센터 등을 통해 화물의 운송, 보관, 하역, 포장, 유통·가공 등 다양한 부가가치 물류가 이루어지고 있다. 따라서 항만은 우리나라의 대부분의 위험물이 모이는 거점의 역할을 수행하고 있으며, 배후단지를 통해 위험물의 보관, 가공 등이 이루어지는 중요한 공간이라고 할 수 있다. 이에 항만 및 배후단지에서의 위험물 관리가 안전하고, 철저하게 이루어지지 않으면 국가 경제와 국민 생활에 큰 영향을 미치는 것은 당연한 일일 것이다.

이에 해양수산부는 2016년 항만 내 위험물 컨테이너 관련 규정을 마련하여 취급 과정상의 준수 규정을 제시하였다. 그리고 2017년 7월 2일 해양수산부장관은 전국 무역항에 대한 행정안전부·환경부 등 관계 기관과 협력하여 위험물관리협의체를 설치·운영하는 법률안 발의 취지를 밝혔다.

이러한 정부의 정책이 효과적이고 체계적으로 추진되기 위해서는 항만 내 위험물 관리 실태에 대한 철저한 현장조사를 통한 문제점 파악이 필요하고, 이러한 문제점을 해결할 수 있는 법·제도 개선, 안전관리체계 강화 방안 마련이 필요하다.

이에 본 연구는 항만 위험물 컨테이너의 안전하고 체계적인 관리를 위해 위험물 컨테이너의 관리 실태를 조사하고, 항만 위험물 컨테이너 관리의 개선방안 제시를 목적으로 한다. 이를 위해 항만의 관련 법·제도, 인력, 시설·설비, 정보시스템 등 위험물 관리 체계의 실태를 조사하고, 이를 통한 문제점 도출 및 개선방안 제시를 실시한다.

## 부산항 위험물질 안전관리 방안

### 최동호

부산소방안전본부 위험물안전계

2015.8.12. 22:51분경 창고에 적재된 컨테이너 고온·건조 현상으로 질화면이 습윤제를 소실, 자연발화 되어 질화면 화재가 해당 컨테이너 전체로 번지면서 화염이 인근 질산암모늄 컨테이너로 확산되어 1차폭발이 있었고, 이 폭발의 화염, 충격파로 서북방향 약 20m 떨어진 다수 위험물 컨테이너로 2차 폭발이 발생(질산암모늄 800톤, 시안나트륨 700톤, 질산칼륨 500톤등)하여 사망 165명, 부상 798명 / 약 1조3,170억원의 인명 및 재산피해가 발생한 중국의 텐진항 사고를 기억하고 있을 것이다. 이 사건은 항만에서 발생한 최대의 큰 사고가 발생되었다. 이런 사례처럼 항만의 특성상 수많은 종류의 컨테이너가 항만을 통하여 수출입이 이루어지고 있다. 우리나라 부산항은 우리나라의 수출입 위험물컨테이너의 약 75%를 저장·취급하고 있다.

만약 부산항에서 텐진항과 같은 위험물질 사고가 발생되면 많은 피해가 날것으로 사료 되며, 전국적으로 가장 많은 위험물의 수출입을 유통하고 있는 부산항은 다음과 같은 문제점을 내포하고 있다.

먼저 화학 전문대응팀이라고 볼 수 있는 부산소방안전본부의 특수구조단과이 원거리에 위치하여 초기 대응이 곤란한 실정이다. 특수구조단과 부산항 즉, 북항과 거리는 약 18km(30분) / 신항과의 출동거리 : 약 48km (1시간)이상 소요되어 즉각적인 진압이 되기가 어렵다.

또한 부산항 내 적용되는 국내법-국제법 간 위험물 분류체계의 상이함에 따른 위험물업무담당자와 현장 실무자(위험물안전관리자) 간 업무혼선으로 인한 마찰 발생

※ 국내법 상 위험물안전관리법(1류~6류)/국제법상 국제해상위험물 규칙(1Class ~ 9Class)

그리고 부산항 내 업체별 자체 사고대응능력 부족에 따른 초기 진압 조치 미흡

- 신항과 북항의 9개 위험물질 취급 터미널 별 합동대응체계 부재

※ 재난사고발생 시 장비 및 인원 확보 어려움

- 부산항 내 터미널 별 위험물질 사고대비 장비 부족 등

위와 같은 문제점을 해소하기 위하여 부산소방안전본부에서는 부산항의 위험물질사고 예방을 위하여 다각적인 노력을 하고 있다.

첫째, 매년 위험물 시설 안전관리 감독강화를 위해 중점관리대상을 지정하여 유관기관 합동 소방검사를 실시하고 있다.

둘째, 위험물질 대상 국내법 적용체계 확립을 위한 학술용역결과 시범 운용

셋째, 위험물컨테이너 누출시 대응 매뉴얼 개발

넷째, 부산항 터미널 별 자체 사고대응능력 강화를 위하여 권역별(북항-신항)공동사고 대응 협약체결(부산소방본부, 부산지방해양수산청, 부산본부 세관, 부산항만공사, 북항.신항 등)하여 “부산항 위험물질 재난사고 자체 대응팀“을 편성하는 등 부산소방안전본부는 부산항 안전관리를 위하여 ”동북아 해양수도 부산“을 만들어가는 데 최선을 다할 것이다.

## 다국적 물류기업의 위험물 운송관리 시스템

신세철

Health & Safety Dept. FedEx Express Asia Pacific Division

### Dangerous Goods Ground Transportation System - Case Study of a Multinational Logistics Company -

Secheol Shin

Snr. Health & Safety Specialist, FedEx Express Asia Pacific Division

다양한 소비재와 신소재 개발에 따라 화학물질 사용량은 나날이 증가하고 있으며, 이와 더불어 위험물 운송 비즈니스에 대한 수요도 계속 높아지고 있는 실정이다. 특히 운송서비스의 발달에 따라 화물이 출하지에서부터 최종 목적지의 수하인에게까지 직접 전달되는 Door to Door 서비스가 보편화되고 있으며, 이를 주력으로 제공하는 Express의 경우, 일반화물 뿐만 아니라 고객으로부터 다양하고 불특정한 위험물들을 위탁받아 운송하고 있다.

Express Cargo에서 취급되는 위험물들은 기존의 대형 운반 차량에 의한 대량 운송이 아닌 다품종 소량의 화학물질 및 소비재들이 대부분이며, 일반물품들과 같이 적재되어 운반되는 특징을 가지고 있다.

그러나 소량의 위험물이라 할지라도 누출 시 운송자에게 심각한 피해를 줄 뿐만 아니라 자산의 손실을 초래하고, 더불어 환경에까지 위협이 될 수 있으므로, 이에 대한 정확한 취급절차와 적재기준 그리고 누출 시에 대처할 수 있는 Contingency plan이 사전에 마련되어 있어야 한다.

본 연구에서는 다국적 물류기업의 위험물 운송 시스템 사례를 중심으로 하여 위험물의 복합 운송 간에 적용되는 국내 외 법규 준수 외에 내부 안전규정에 따른 위험물 취급 및 적재 절차, 탑재 후 운전자에게 전달되는 위험물 적재정보, 위험물 전용 데이터베이스 시스템을 통한 추적 이력 관리 시스템, 그리고 누출 시의 대응절차에 대해 소개함으로써 보다 효과적이고, 안전한 위험물 운송 시스템 구축의 모델을 제시하고자 한다.

## 위험물질 수송차량의 유형별 교통사고 분석 연구: 국내 고속도로를 중심으로

홍정열\*<sup>†</sup> · 최윤혁\*\* · 박동주\*

\*서울시립대학교 · \*\*도로교통연구원

### Study on Hazardous Materials Transport vehicle accidents by specific types on Expressway

Jungyeol Hong\*<sup>†</sup> · Yoonhyuk Choi\*\* · Dongjoo Park\*

University of Seoul · \*\*Korea Expressway Corporation

<sup>†</sup>Corresponding author: jyhong9868@uos.ac.kr

위험물질 수송차량의 교통사고는 적재된 위험물질의 독성, 화재성, 폭발성으로 인해 다른 유형의 화물수송차량의 교통사고보다 대규모의 인명피해와 재난형태의 환경피해를 야기할 가능성이 크다. 따라서 국내 위험물질 수송차량의 유형별 교통사고 특징을 분석하고 각 유형에 적합한 대응책을 마련하는 것은 매우 중요하다. 본 연구는 고속도로를 주행하는 위험물질 수송차량의 교통사고를 조사·분석하고, 사고현황으로부터 도출된 시사점을 바탕으로 향후 위험물질 수송차량의 고속도로 운행에 안전성을 향상시킬 수 있는 정책을 제안하고자 하였다. 위험물질 수송사고는 한국도로공사의 교통사고속보자료(2007년~2017년)를 이용하여 추출하였으며, 위험물질 운반차량 및 운송차량으로 차종을 구분하여 각 차량이 나타내는 유형별 사고현황을 분석하였다. 그 결과 최근 11년 간 국내 고속도로에서 발생한 위험물질 수송차량 사고는 총 315건으로 나타났으며, 이 중 평판트럭 형태의 운반차량이 94%를 차지하여 탱크로리 형태의 운송차량에 비하여 현저히 사고발생률이 높은 것을 알 수 있었다. 인적요인에 의한 위험물질 수송차량 사고는 졸음운전과 과속이 주요 원인인 것으로 나타나 운전자 휴식시간 및 고속도로 내 휴게시설 증설에 대한 고려가 필요하며 차량운전들의 법규 준수 향상을 위하여 위반단속 강화, 안전교육 및 홍보 활성화 등의 노력이 필요하다는 시사하고 있다. 위험물질 수송차량은 고속도로 본선에서 절반 이상인 67%의 사고가 발생하고 있으며, 그 다음 순으로 연결로에서 21.9%의 사고가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 연결로 건설시 위험물질 차량의 제원을 고려하여 안전성이 확보된 기하구조로 개량하는 것이 필요하다. 위험물질 수송차량 사고처리시간은 승용, 승합차량의 사고처리시간보다 3배 이상 긴 것으로 분석되었으며, 일반화물차량에 비하여 2배 가량 길게 나타났다. 따라서 위험물질 수송차량에 특화된 신속한 초동대처 및 수습 작업을 위한 사고대응체계가 구축되어야 하며, 위험물질 특성 고속도로 사고대응 매뉴얼이 마련되어야 할 것이다.

## 위험물질 도로운송 안전관리를 위한 ICT 기반의 관리방안

송윤태

플래티늄컨설팅(주) 대표이사

### ICT-based management for safety control on the Transport of Dangerous goods

Youn Tae Song

<sup>†</sup>Corresponding author: CEO, Platinum Consulting

위험물질은 국가 기반시설, 산업체 및 다양한 생활환경에서 사용되고 있으며, 산업과 기술발전에 따라 다양한 화학제품들이 생산되고 있다. 최근 5년간 위험물질의 제조,사용,유통량을 살펴보면 지속적으로 증가하는 추세이며, 특히 유통량은 급속히 증가하고 있다. 위험물질의 운송수단을 살펴보면 수출과 내수 모두 도로운송 비중이 80%이상이며, 서울 및 수도권 등 인구밀집 지역의 내수 소비량도 상당수 차지하고 있는 실정이다. 이에 반해 위험물질 운송사고로 인한 국가적,사회적 피해는 점점 늘어나고 있으며, 운송 시 발생될 사고예방과 2차 피해 확산을 최소화하기 위한 다양한 검토가 필요하다. ICT 기반 기술의 개발과 실시간 모니터링 및 소통체계 연결을 위한 IT Infra가 우수한 국내 여건을 살펴볼 때 위험물질 운송차량의 실시간 모니터링에 의한 체계적 대응방안 마련이 가능한 시점이다.

현재 중대형 운송사업자들이 개별적으로 GPS 기반 위치관제 서비스를 활용하는 경우도 있으나, 위험물질의 전주기 안전관리 관점에서 국가적 차원의 통합 모니터링 센터의 필요성이 대두된다. 이를 위해 사고 대응기관과 실시간 정보소통 체계를 구축하여야 하며, 제조 및 운송사업자들이 법적 근거에 따라 의무적으로 모니터링 체계 안에 운송정보를 제공하도록 되어야 한다.

개별 위험물질 및 운송정보는 통합하여 관리되어야 하며, 운송차량과 이동경로에 대한 실시간 모니터링과 사고방재 대응기관과의 정확한 정보 공유로 신속한 사고처리 및 2차 피해를 예방하도록 구축되어야 한다.

ICT기반의 능동적인 사고예방과 대응체계 구축을 통한 안전한 위험물질 운송과 사고 발생에도 효과적으로 대응함으로써 국민의 안전과 산업체의 경쟁력을 확보할 수 있게 된다. 본 연구에서는 국내 법,정책적 측면과 선진사례의 검토 및 ICT 기반 정보시스템 구축을 통한 효율적인 운송안전관리 시스템의 구축 방안을 제시하고자 한다.

## 국제 위험물운송규칙(UN-RTDG) 안전관리 방안

이봉우 · 이기준<sup>†</sup>

한국소방산업기술원 위험물기술부

### Accident Prevention and Response Policy on the Transport of Dangerous goods

Bongwoo Lee · Kijun Lee<sup>†</sup>

Dept. of Hazmat Management, Korea Fire Institute

<sup>†</sup>Corresponding author: kijun.lee@kfi.or.kr

화학산업은 모든 산업의 기초가 되어 다양하게 응용되고 있지만 화학시설의 대형화, 복잡화가 이루어져 잠재적인 위험요소가 계속적으로 증가하고 있는 추세이다. 이중 위험빈도가 높은 위험물 운송은 크게 육상, 해상, 철도 및 항공으로 구분되며, 우리나라의 경우 2014년 유통량 통계를 보면 주로 석유화학공업단지인 울산, 여수, 대산 등으로부터 전국에 약 496.9톤이 유통되었다. 이와 같이 위험물의 종류 및 유통량 증가로 최근 대형사고가 빈번하게 발생하여 사회적으로 큰 문제가 되고 있다.

국제적으로 UN경제사회이사회는 1956년부터 엄격한 「Recommendations on the Transport of Dangerous Goods - Model Regulation(위험물 운송 권고안)」을 제정하고, 육상, 해상, 항공, 철도 등 모든 운송수단에 표준화된 기준(RTDG)으로 사용하고 있다. 또한 국제적인 합의에 따라 국가간의 조화를 이루기 위하여 각각의 국가들은 노력하고 있는 실정이다.

이에 반해 국내의 경우 위험물질의 운송에 대한 안전관리 규정이 부처별 소관 개별 법률로 분산되어 있고, 특히 육상 운송 중 일어날 수 있는 사고로부터 예방 및 대응과 관련된 법률은 매우 미비한 상태이다.

본 연구에서는 “유엔”의 「위험물 운송 권고안」을 적극적으로 반영하여 국내 실정에 적합한 「**위험물 운송사고 예방 및 대응 방안**」의 교육내용 등을 소개 하고자 한다.

첫째 위험물 규정, 목적 : 위험물 운송에 내재하는 위험으로부터 생명과 재산 및 환경보호, 둘째 기본원칙 : 운송 중의 인적, 물적 피해, 환경파괴, 운송장비 등의 손상을 최대한 방지 하기 위한 규제, 셋째 분류 및 구분: 위험물의 특성에 따라 기술적 조건을 충족하고 동시에 기존 규정과의 적합. 즉 위험물의 성상에 따라 위험한지 또한 어느 분류에 속하는지를 나타냄

넷째 포장: 유엔규격 포장 즉 포장용기와 내용물로 준비된 포장작업

다섯째 위험물 확정: 위험물로 분류된 물질(substance)이나 물품(article)은 유엔번호와 운송명칭을 부여, 위험물의 우선순위

여섯째 표시와 표지: 유엔번호, 운송명칭, 위험물의 순량 이외 위험물에 따라 특별히 요구되는 표시(labeling) 및 위험성 표지(marking) 등으로 구성되어야 할 것이다.

## 위험물질 운송 사고대응 체계 방안

최찬일

부산 해운대 소방서

### Pollutant accident counter

Chan il Choi

Korea Pusan Hae Un Dae Fire station

현대 사회는 급격한 도시화, 산업화로 인구가 도시로 집중되고, 건물이 고층화, 지하화 및 복합화 되어가고 있으며, 각종 위험 물질의 사용증가 및 새로운 위험 물질의 출현 등으로 우리 생활 환경은 더욱 위험하고 복잡해져서 체계적이고 전문 기술적인 소방 대응 대책이 절실히 필요한 상황이 도출되고 있다. 전체 위험물 시설 중 위험물 운송사고는 평균적으로 약30% 정도로 큰 비중을 차지하고 있다. 특히 2012년 구미 불산 탱크로리 누출 사고로 공장 근로자 5명이 사망하고, 18명이 부상을 당했으며, 2015년 중국 해상운송 텐진 항만터미널의 위험물질 폭발 사고로 초기 사상자가 사망48명, 부상300명(소방관포함)의 대규모 인명피해를 가져오는 등 화학물질은 사용하기 편리해서 우리의 삶을 풍요롭게 해 주고 있으나, 일부 위험물질은 사고로 인해 대규모 인명 피해와 재산 피해를 동시에 가져옴으로서 인류의 안전에 심각하게 위협을 주고 있다.

따라서 위험물질을 안전하게 관리하는 것이 최우선이지만, 사고 발생 시 피해를 최소한으로 줄일 수 있는 체계적이고, 효율적인 대응체계의 모델을 제시함으로써 위험물질 사고의 예방 및 대비에 기여하고자 한다.

사고대응 절차는 1단계 : 사고 관련 정보수집, 2단계 : 초기 응급조치 및 인명구조, 3단계 : 물리적 위험 제거, 4단계 : 현장통제 및 작전지역 분류, 5단계 : 누출방지 조치, 6단계 : 오염 확대방지, 7단계 : 제독 및 폐기물 처리로 수행하고 있다.

## 정량적 위험성평가를 활용한 액화염소 누출사고의 비상대응 및 대피방안 수립에 관한 연구

박중민<sup>†</sup> · 김동준

경일대학교 소방방재학과

### A Study on Emergency Response and Establishment of Escape Plan of Liquefied Chlorine Gas Leakage Accident Using Quantitative Risk Assessment

Jung-Min Park<sup>†</sup> · Dong-Joon Kim

Kyongil University, Department of Fire Safety

<sup>†</sup>Corresponding author: 0527pjm@naver.com

최근 연구는 공정안전관리제도(PSM, Process Safety Management), 장외영향평가(Off-site Risk Assessment), 위해관리계획(RMP, Risk Management Plan) 에 다양한 정량적위험성평가(QRA, Quantitative Risk Analysis)를 활용한 피해영향범위 산정 등을 제시하고 있다.

액화염소는 2015년 화학물질관리법 시행에 따른 장외영향평가에 포함되었다. 그러나, 지역주민고지, 소산계획을 포함하는 위해관리계획서 대상은 제조·사용 450톤/년 또는 보관·저장 10톤 이상일 경우에만 제한적으로 해당된다.

또한, 산업안전보건법에 따른 공정안전관리(PSM) 대상도 20ton/일 이상 제조·취급·저장되는 경우만 관리영역에 포함하고 있어 대부분의 중·소규모 취·정수장 등 사용시설은 정량적 위험성평가를 적용한 피해저감대책/비상대응/비상대피방안 마련 등 관리 System 의 사각지대이다.

아울러, 2010년 이후 현재까지 우리나라에서 진도 3도 이상의 강진 발생횟수가 5회에서 34회로 약 7배 증가하는 현실에서 대부분의 취·정수장은 액화염소 누출에 대비한 고정식 중화처리시설 파손시 추가적인 중화처리방안이 취약한 것이 현실이다.

특히, 지자체에서 운영하는 중·소규모 취·정수장은 대부분 인구밀도가 높은 도심지에 위치하고 있고 취급형태도 PSM 이나 RMP 대상에 포함되는 대규모 취·정수장과 큰 차이가 없다.

본 연구에서는 액화염소 누출사고의 정량적위험성평가를 실시하였고 고정식 중화처리시설 파손을 대비하여 즉각 대응 가능한 이동식 중화처리시설 피해저감대책을 반영하였다.

이에 따라 피해영향 확산거리 비교분석을 통해 비상대응 및 대피방안을 제시하였고 향후 중·소규모 액화염소 사용시설의 피해최소화 관리 System 구축을 위한 연구에 큰 도움이 될 것이라 생각된다.

## RCA가 적용된 사고조사를 통한 혼산 저장탱크 안전성 향상방안

권남호<sup>†</sup> · 김동준

경일대학교 소방방재학과

### A Study on the safety improvement of mixed acid storage tank through the accident investigation applicated by RCA

Nam-Ho Kwon<sup>†</sup> · Dong-Joon Kim

Kyoungil University, Department of Fire Safety

<sup>†</sup>Corresponding author: 9205792@Daum.net

혼산(mixed acid)은 전자공업, 철강공업, 화학공업 등에서 반응제, 식각제, 표면처리용으로 많이 사용된다. 혼산(mixed acid)은 반응성과 부식성이 매우 높아 저장 및 사용공정에서 누출되는 사고가 여러 번 발생하였다. 특히 저장조에서 혼산이 누출될 경우 대형사고의 원인이 될 수 있다. 따라서 저장공정에 대한 안전성 향상 방안을 연구하였다.

본 연구에서는 혼산 저장조에서 최근 발생한 4건의 누출사고를 두 단계로 조사하여 원인을 파악하고 대책을 제시하였다. 첫 번째로 각 사고에 대한 직접적인 발생 원인을 파악하고 대책을 도출하였다. 두 번째로 사고 발생 원인에 대한 근본원인(Root Cause)을 파악하고 근본대책을 수립하였다. 두 번째 단계에서는 “사고의 근본원인 분석 기법(Root Cause Analysis)”을 적용하였다.

그 결과 혼산 저장조의 안전성을 향상시키기 위한 근본방안으로 전문인력의 확보, 공정물질의 물리화학적 특성과 위험성 파악, 공정설계시 근원적 안전대책 적용, 운전절차의 문서화, 근로자의 교육, 자체감사를 통한 안전조치의 주기적 재검토 등의 방안이 도출되었다.

도출된 방안을 적용하여 안전관리 매뉴얼을 작성하고 적용함으로써 체계적인 안전관리를 시행할 수 있어 혼산 저장조의 안전성 향상을 기대할 수 있다.

## 불산누출 및 확산에 따른 비상조치계획 수립에 관한 연구

권용중<sup>†</sup> · 김동준

경일대학교 소방방재학과

### A Study on Emergency response planning for Hydrogen Fluoride Leakage and Dispersion

Yong-Joong Kwon<sup>†</sup> · Dong-Joon Kim

Kyungil University, Department of Fire Safety

<sup>†</sup>Corresponding author: yj6979@gmail.com

반도체 및 디스플레이의 식각을 위하여 불산은 중요한 물질이다. 이러한 불산은 급성 흡입독성 및 피부부식성을 가지고 있어 누출시에 피해 최소화를 위해 비상조치계획 수립이 매우 중요하다. 현재 대부분의 사업장에서는 ALOHA, KORA 등의 프로그램을 활용하여 피해범위를 예측하고 비상조치계획을 수립하고 있다. 이 프로그램들은 실외의 결과만을 제시하여, 옥내 저장탱크 등의 누출시 증기의 거동에 대하여 명확한 결과 값을 제시하지는 못한다. 이 값을 바탕으로 사업장에서는 실내보다는 실외의 비상조치계획 수립에 중점을 두고 있다. 따라서 본 연구에서는 실내에서 불산(50 wt.% ) 누출시 물질의 확산 거동을 고찰하기 위해 FLACS V10.7을 이용하였다.

사업장 저장소의 3층 건물 중 1층에 위치해있는 저장소의 배치공간을 모델링하여 시간에 따른 농도확산거동을 계산하였다. 사업장 저장소에는 총 3기의 5m<sup>3</sup> 용량의 불산(50 wt.% ) 저장탱크가 있으며 1기의 탱크 50A노즐에서 3.8 X 3.8m X 0.6(height) 면적의 방유제로 누출되는 시나리오를 가정하였다. 저장소 전체 바닥면적은 약 500m<sup>2</sup> 이고, 높이는 5.2m 이다.

시뮬레이션 결과, 5분이 경과한 후 방유제 주위로 불산(50 wt.% ) 증기의 확산이 확인되었으며 8분 후 출입문으로 확산하여 도착하였다. 본 연구는 시간에 따른 불산(50 wt.% ) 증기의 확산 거동을 확인하였다. 본 연구 결과를 활용하면 불산저장시설의 실효성 있는 비상조치 계획의 수립에 도움이 될 것으로 판단된다.

## 산업현장 질식재해 예방을 위한 사례 연구

최영택<sup>†</sup>, 김동준

경일대학교 소방방재학과

### A Case Study on Prevention of Asphyxia accident in Industrial Site

Young-Taek Choi · Dong-Joon Kim

Kyoungil University, Department of Fire Safety

<sup>†</sup>Corresponding author: cyt0110@gmail.com

우리나라의 산업현장에서는 매년 20여명의 노동자가 질식으로 사망하고 있다. 질식재해는 발생빈도가 높지는 않으나 발생에 따른 강도는 다른 재해보다 높다. 또한 지난 10년간 발생률이 낮아지는 경향을 보이고 있지 않다.

본 연구는 최근 10년간 발생한 질식재해 사례를 분석하여 질식재해의 의미와 그 근본원인이 되는 위험요소를 분석하였다. 실제로 발생한 사고사례의 분석 결과를 통해 질식재해가 빈번하게 발생하는 물질, 장소 등에 대하여 분석을 실시하였으며, 특히 세부적인 사례분석을 통해 재해가 발생하는 근본적 원인을 파악하여, 재해를 예방할 수 있는 근원적 방법에 대해 연구하였다.

사망재해의 근원요인에 대한 분석에서는 산소결핍 뿐만 아니라 불활성기체, 화학물질 등에 의해서 사망재해가 더 많이 발생한다는 것이 확인되었다. 또한 사고 발생장소에 있어서는 저장 탱크와 같은 밀폐된 공간보다 일부 개방되어 있는 공간에서 사망재해가 더 많이 발생하는 것으로 파악되었다.

이상의 연구결과는 앞으로 질식재해 예방을 위한 기술적 및 제도적인 연구에 큰 도움이 될 것이라 생각된다.

## 폭발위력 평가를 위한 압력파의 가시화

김동준

경일대학교 소방방재학과

### Visualization of blast wave for evaluation of explosion strength

Dong-Joon Kim

Kyoungil University, Department of Fire Safety

<sup>†</sup>Corresponding author: djkim@kiu.kr

폭발위력 평가는 폭발시 발생하는 폭발파를 압력센서로 측정하여 평가하는 것이 일반적이다. 하지만, 압력센서에 의한 측정은 센서, 암프, 케이블, 데지타이저 등 많은 기기가 필요하며 설치에 많은 노력이 소요된다.

최근 BOS(Background-oriented schleren) 방법에 의해 폭발파 전파거동을 가시화하여 위력을 평가하는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 대규모 야외실험에서 폭발현상을 고속도 카메라로 측정한 데이터를 활용하여 BOS를 통해 위력을 평가해 보았다. 만약 BOS의 방법에 의한 폭발위력평가와 압력측정에 의한 결과가 동일하다면, 폭발위력 측정에 큰 도움이 될 것이라 생각된다.

연구진행은 기존의 자유낙하 실험 결과인 고속도 카메라에 의해 취득한 폭발현상 이미지 데이터를 BOS 방법으로 분석하였으며, 압력측정결과와 비교하였다.

그 결과, 충돌/착화시의 화염전파속도가 음속보다 빠른 것이 확인되었다. 따라서, 연소생성물의 팽창에 의해 발생하는 폭발파는 충격파라는 것이 확인되었다. 또한 충격파의 전파거동을 파악한 결과, BOS에 의한 압력과 도달시간과 압력측정에 의한 압력과 도달시간이 일치함이 확인되었다. 마지막으로, 전파속도에서부터 산출한 압력의 이론적 계산치과 실제 압력측정을 실시한 결과와 동일한 결과를 얻었다. 이상의 결과에 따라, BOS 수법에 의한 폭발위력평가의 타당성이 확인되었다.

## 소각스팀보일러의 폭발사고사례에 관한 연구

이형섭<sup>†</sup> · 권용준\* · 최영택\*

안전보건공단 대구서부지사 · \*안전보건공단 사고조사단

### A Case Study on Explosion of Incineration Steam Boiler

HyungSub Lee<sup>†</sup> · YongJun Kwon\* · YoungTaek Choi\*

DaeguSeobu Area office · \*Accident Investigation Board

<sup>†</sup>Corresponding author: leehyung@kosha.or.kr

2018년 6월 15일(금) 16:26분경 경북 고령군 소재 ㈜OO 보일러실에서, OO ENG가 운영하는 소각스팀보일러가 과압에 의해 폭발하여 소각스팀보일러에 폐의류를 투입하던 작업자 2명이 사망하는 사고가 발생하였다. 이 사고로 인하여 작업자의 사상뿐만 아니라 분진 집진논 여과기가 70 m 이상 비래하였으며, 공장 주위 150 m 까지 폭발에 의한 피해가 발생하였다. 또한 ㈜OO의 작업 중단에 따른 생산 손실, 폭발 파편에 의한 전선 절단으로 인한 전력공급 중단으로 인근 사업장 생산 손실 및 배전선로 손상으로 일대 주택에도 정전이 2일간 계속되었다.

사고 발생 당일 즉시 소각스팀보일러의 사고원인조사를 위해 현장조사, 증거수집, 목격자 진술, CCTV 영상확보, 인근지역의 피해조사, 보일러에 부착된 안전밸브의 검증시험 및 제도적 미비점과 설비 관리적인 측면의 미비점에 대한 심층조사 및 분석을 수행하였다.

기술적인 사고발생원인으로는 사고 당일 15시 경부터 보일러 폭발 시점까지 소각스팀보일러의 스팀 배출배관 밸브를 차단한 상태에서 소각을 계속하여 보일러 내부에 과압이 축적되었고, 보일러 내부의 과압을 방출시키는 압력방출용 안전밸브의 스프링이 부식·고착되어 작동하지 않으므로써 보일러 내부 과압을 외부로 방출하지 못하여 노통의 과열과 더불어 수증기 폭발이 이어진 것으로 판단된다.

관리적인 사고발생원인으로는 보일러 운용에 대한 외주처리로 보일러에 대한 법적 검사를 수검하지 않았고, 자체적으로 보일러 본체 및 안전장치를 비롯한 부속설비에 대한 체계적인 유지관리가 이루어지지 않았다. 또한 운전자에 대한 불안정한 행동 등 Human Error를 방지하기 위한 안전교육이 이루어지지 않았던 것으로 조사되었다.

## 전기자동차 내 리튬이온전지 화재로부터 발생하는 독성가스의 위험성 분석

오의영 · 한지윤 · 윤자연 · 정승호<sup>†</sup>

아주대학교 환경안전공학과

### Consequence analysis of toxic gases generated by fire of Lithium ion batteries in electric vehicle

Eui-young Oh · Ji Yun Han · Seungho Jung<sup>†</sup>

Dept. of Environmental and safety Engineering, Ajou University

<sup>†</sup>Corresponding author : processsafety@ajou.ac.kr

이차 전지는 일회성으로 쓰이는 일차전지와 달리 충전하여 재사용이 가능한 전지를 의미한다. LIB(Lithium Ion Battery)는 가장 진보된 형태의 이차 전지로 체적 대비 에너지 저장 효율이 높고 쉽게 재사용할 수 있다. 기술 개발 및 향상에 따라 LIB cell의 경량화 및 충전 효율이 증가하고 이에 따라 LIB를 사용하는 EV(Electric Vehicle)의 수요 역시 증가하고 있다. 하지만 EV의 수요가 증가함에 따라서 LIB에 관련된 EV 화재사고 또한 증가하고 있다. 특히 최근에 출시된, LIB를 사용하는 전기 버스는 일반 EV의 2~3배에 달하는 LIB cell을 탑재하고 있다. 이러한 형태의 대용량의 LIB는 화재 자체도 위험하지만 화재로 발생하는 대량의 독성 가스의 위험성 또한 존재한다. 이 연구에서는 EV 화재로 발생하는 독성가스의 위험성을 체계적으로 확인하기 위하여 장외영향 위험성평가 프로그램인 PHAST(Process Hazard analysis software tool)와 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics) 프로그램 중에서 가장 널리 알려진 Fluent를 이용하여 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션의 근거가 되는 독성가스의 종류와 크기는 검증된 논문의 실험 결과와 국내에서 시판되는 EV에 대한 정보를 바탕으로 결정하였다. 화재 발생 시나리오는 가상의 시나리오를 구상하여 화재 발생 상황에 따른 위험도 차이를 분석하였다. 이 연구는 EV의 LIB 화재로 발생하는 독성가스에 대해 시나리오별 위험도를 분석, 확인하여 화재로 인한 EV 안전에 대하여 더욱 정밀한 분석을 하는 것에 대하여 의의를 가진다.

**Keywords** : Lithium Ion Battery, Electric Vehicle, Computational Fluid Dynamics

## 미니 GC를 이용한 나노물질 기반 센서의 유해 가스의 선택적 검지

이우영

연세대학교 신소재공학과

### Selective Detection of Hazardous Gases using miniaturized-GC

Wooyoung Lee

Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, 50 Yonseiro,  
Seodaemun-gu, Seoul, 03722, Republic of Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: wooyoung@yonsei.ac.kr

The conventional tools for detection and analysis of gases, such as GC-MS, SIFT-MS, PTR-MS, and etc., are disadvantageous in terms of cost, portability, and complexity. Here, we developed gas sensors using nanomaterials such as ZnO nanoparticles, ZnO quantum dots, and SnO<sub>2</sub> nanowire for detection of acetone, hydrogen, and chemical warfare agents. Furthermore, we developed a gas sensor and analyzer based on a miniaturized gas chromatography (GC) column integrated with nano-sensor; this analyzer is capable of analyzing a wide range of gas concentrations using a small volume (1 ml) of gas without pre-concentration. The developed analyzer could detect acetone, hydrogen, and 2-CEES as a simulant of chemical warfare agent selectively as low concentrations.

## 질소계 유해물 검지용 휴대형 화학센서 어레이 기반 시스템

이진상

(주)엑센도

### Portable chemiresistive gas analysis system for the Detection of Nitrogen-based Hazardous Gases

Jinsang Lee

Wanjusandan 6 Ro 237, Bongdong-Eup, Wanju-Gun, Jeollabuk-Do, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: jslee@accendotion.com

It is very danger that exposed of nitrogen-based hazardous gases due to even small amounts can have a fatal effect on the human body. Accordingly, in order to take precise action, it is necessary to develop a monitoring system that can detect the nitrogen-based hazardous gases accurately in real time. However, currently developed hazardous gas detection equipment is as large as GC which has disadvantages of being difficult to carry or as expensive as FT-IR which representative of optical analysis technic. A portable gas detection system has been presented, but it can only measure volatile organic compounds. Single-chip gas recognition system have been reported, but these devices cannot measure gas concentrations. Therefore, a new portable system is urgently needed to detect multiple nitrogen-hazardous gases and measure the concentration of these gases.

In compliance with these demands, we have developed portable chemiresistive gas analysis system that can detect five kinds of nitrogen based hazardous gases (NH<sub>3</sub>, TEA, TMA, NO, and NO<sub>2</sub>) and analyze gas concentration while providing small volume and easy maintenance. portable chemiresistive gas analysis system consists of chemiresistive sensor array, instrumentation board that enables orthogonal sensing modes, and embedded controller running a sensor array signal processing algorithm to improve selectivity and prediction of multi-gas concentration.

## 수돗물 내 잔류 미생물 검출을 위한 전기화학식 센서 시스템 개발

전성찬<sup>†</sup> · 정영모

연세대학교 기계공학과

### Development of electro-chemical sensor system for detection of residual microorganisms in tap water

Seong Chan Jun<sup>†</sup> · Youngmo Jung

Department of Mechanical Engineering, Yonsei University, Seoul 03722, Republic of Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: scj@yonsei.ac.kr

최근 환경 및 유해물질에 대한 사회적 관심이 증대되면서 생활 환경에 대한 유해물질 검지 기술이 큰 이슈로 부각되고 있다. 이 중에서 수돗물 내 유해 세균 검지 분야는 미생물 군집 및 발생 원인에 대한 연구 진행이 미흡하여 연구 진행이 시급하다.

수돗물 내 미생물에 의한 안정성 저하 요인은 아래와 같이 구분할 수 있다. 첫째, 미생물에 의해서 금속관의 부식이나 플라스틱 관의 분해가 발생하여 상수관의 물리적인 안정성에 문제가 발생할 수 있는 경우이다. 둘째, 미생물에 의해서 부식 및 분해된 관에서 발생하는 중금속 이온 및 플라스틱 분해산물에 의한 인체 유해 물질 발생이며, 마지막은 미생물이 탈리되면서 수돗물 내에 인체에 유해한 세균들이 포함될 가능성이 있다. 따라서 상수관 내 미생물 관련 유해성의 관리를 위해서는 이러한 목표 미생물들의 존재 여부 및 농도에 대한 분석이 선행되어야 한다. 정확하고 빠른 미생물 진단을 위해 다양한 검출 기술을 기반으로 한 바이오센서가 개발되었으나 박테리아 검출 측면에서 높은 민감도를 보이는 효소결합 면역 흡착검사를 이용한 바이오센서는 분석 시간이 오래 걸리며 광범위한 연구 시설 및 장비가 요구된다.

이를 해결하기 위하여 본 연구에서는 임피던스 분광(Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS) 분석을 통해 기존의 방법보다 더 빠르고 경제적으로 박테리아를 검지할 수 있는 시스템을 구축하였다. 수돗물 내의 미생물을 검출하기 위해 임피던스 분광법을 기반으로 K12 E.coli 박테리아를 검출하였다. 표적 세균에 대한 선택적 반응을 유도하기 위해 항원-항체 반응을 기반으로 바이오 센서의 검출부 표면에 항체를 부착하였으며, 표적 박테리아와 항체가 선택적으로 결합할 때 발생하는 임피던스 특성 변화를 측정하였다.

## 질소계 유해물 검지용 나노소재 기반 센서

맹성렬

우석대학교 전기전자공학과

## Detection of Nitrogen Containing Compound Gases

Sunglyul Maeng

Department of Electrical and Electronic Engineering, Woosuk University, 443, Samnye-ro, Samnye-eup, Wanju\_Gun, Jeollabuk-do, Republic of Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: sunglyulm@gmail.com

In this study, we investigated the sensing properties of five kinds of sensing materials (Al-doped ZnO nanoparticles, Pt decorated Al-doped ZnO nanoparticles, Pt decorated WO<sub>3</sub> thin film, Au decorated WO<sub>3</sub> thin film, N doped graphene) for detection of five kinds of nitrogen containing compound gases (ammonia, nitrogen monoxide, nitrogen dioxide, trimethylamine, triethylamine). The Au decorated WO<sub>3</sub> thin film exhibits the highest response to 10 ppm of TEA and high selectivity to the rest. Also, the results of that the Pt decorated WO<sub>3</sub> thin films had the fastest reaction rate as fast as several seconds in the reducing gases. It can be observed that the shapes of the response patterns are quietly different between each gas. Therefore, each gas can be distinguished irrespective of whether oxidizing or reducing gas, by applying the patterns to recognition technique.

## 2차원 물질 기반 저소비전력 반도체식 가스 센서 어레이

박서연 · 김태훈 · 장호원<sup>†</sup>

서울대학교 재료공학부

### Annual Conference of the KIHM : 2D materials for low power consumption chemoresistive sensor array

Seo Yun Park · Tae Hoon Kim · Ho Won Jang<sup>†</sup>

Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul 08826,  
Republic of Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: hwjang@snu.ac.kr

Internet of things (IoT) is the network of physical objects or “things” embedded with electronics, software, and connectivity to enable it to achieve greater value and service by exchanging data with the manufacturer, operator and/or other connected devices. One of the key technologies of the IoT is sensors. Gas sensors that convert chemical information ranging from the concentration of a specific target component to total composition analysis into analytically useful signals have been widely used in broad fields. In order to fulfill needs for IoT, low power consumption, low cost, miniaturized size, and easiness to be integrated with electronic circuits along with high sensing performance are essential for gas sensors. Gas sensors based on nanostructured semiconducting metal oxides lead to high responses to various gases, but they operate with external heaters to maintain the materials at elevated temperatures. The use of an external heater not only increases the power consumption but also causes thermal stability problems, hindering practical applications. Here we present our methods to enhance gas sensing properties of 2-dimensional materials such as graphene, graphene oxide flakes, MoS<sub>2</sub> thin films, and MoS<sub>2</sub> nanoparticles. We show that surface functionalization and nano/microscale structural modification are the key in improving gas response and selectivity. We present our strategy to make sensor array using heater-less operation of chemoresistive gas sensors based on functionalized graphene and transition metal disulfides.

## Detection and visualization of hazardous gases using FTIR technology

노영섭<sup>†</sup> · 조승필 · Peter Maas\* · Armin Gembus\*

Bruker Korea Co., Ltd., Seongnam-Si, Korea · \*Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Germany

## Detection and visualization of hazardous gases using FTIR technology

Young Sup Roh<sup>†</sup> · Sengpil Cho · Peter Maas\* · Armin Gembus\*

Bruker Korea Co., Ltd., Seongnam-si, Korea · \*Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Germany

<sup>†</sup>Corresponding author: youngsup.roh@bruker.com

FT-IR (Fourier Transform-InfraRed) spectrometer has been used in rho-vibrational studies of the gases in the fundamental research fields. Due to the recent development of FT-IR technique and relevant instrumentation, it become possible to detect the radiance temperature difference between gas clouds and its backgrounds.

Remote Sensing using the FT-IR enable to detect and identify the chemical gas clouds by measuring the IR radiation, passed through the gas samples. Remote sensing can be used as the first responder and/or real time monitoring of the chemical accidents, fire site, and home land securities, etc.

We introduce the theoretical principle of gas detection base on the layer model of gas clouds. FT-IR spectrometer for the remote sensing of gas will be presented. Using the relevant instrument and dedicated software, the remote detection of hazardous or environment gases will be introduced. The visualization by overlaying the analysis result with visible image will be given.

## 제일원리 전산 방사화학을 이용한 사용후 핵연료의 용융염속 거동 이해

한병찬<sup>†</sup> · 권초아

연세대학교 화공생명공학부

Computational Studies of Used Nuclear Fuels in Molten Salt  
Using First-Principles RadiochemistryByungchan Han<sup>†</sup> · Choa Kwon

Department of Chemical &amp; Biomolecular Engineering, Yonsei University

<sup>†</sup>Corresponding author: bchan@yonsei.ac.kr

양자물리화학에 기반한 제일원리 전산을 이용하여 사용후 핵연료의 고온 용융염속 거동을 이해한다. 범밀도 함수이론과 분자 동력학을 연동하여, 열역학 및 전기화학적 물성에 대한 데이터베이스를 구축하여, 효율적으로 사용후 핵연료속의 우라늄을 재활용하는 파이로 공정 시스템의 설계를 제안한다.

열역학적 물성으로, 파이로 공정의 핵심 단계인 전해정련 단계에서 LiCl-KCl 용융염에 용해된 우라늄 이온이 고체 전극위에서 흡착 및 성장하는 메커니즘을 해석하고, 최적의 획득 효율을 가지는 후보 전극을 제안한다. 또한 희토류 이온들의 산화 및 환원에 대한 반응을 깁스 프리에너지를 계산하여 분석하여 엔탈피와 엔트로피 요인을 비교한다.

Kinetic 물성으로 각 이온들의 확산계수를 계산하고, Eistein-Stokes 식을 이용하여 용융염의 점성도를 예측한다.

산화 우라늄 (UO<sub>2</sub>)와 지르코니아 (ZrO<sub>2</sub>)간의 반응예측을 통해 두 산화물이 서로 고용체가 될 수 있음을 밝히고 이를 통해 우라늄의 지하 처분시 그 안정성을 예측한다.

구축된 다양한 물성에 머신러닝을 접목하여, 고준위 방사성 물질의 처리와 처분 시스템에 중요한 소재 설계를 제안한다.

## 고온 LiCl-KCl 용융염 내 우라늄(III) 흡수분광 특성 규명

지영택 · 윤종일<sup>†</sup>

한국과학기술원(KAIST)

### Absorption Spectroscopy of U(III) in High Temperature Molten LiCl-KCl

Young Taek Jee · Jong-Il Yun<sup>†</sup>

Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

<sup>†</sup>Corresponding author: jiyun@kaist.ac.kr

사용후핵연료의 약 96%는 알파 방사선을 방출하는 우라늄으로 구성된다. 함유된 우라늄은 반감기가 다른 U-235( $T_{1/2} = 7$ 억년)와 U-238( $T_{1/2} = 45$ 억년)을 포함하고 있다. 사용후핵연료에는 우라늄 외에도 고열·고방사성을 띠는 초우라늄원소들과 핵분열생성물을 함께 포함되어있기 때문에 고준위방사성폐기물로 분류된다. 고준위방사성폐기물의 관리기술로는 크게 직접처분과 처리 후 처분으로 구분된다. 본 연구에서는 건식처리 조건인 고온 LiCl-KCl 용융염 내에서 비파괴적으로 우라늄의 정량분석이 가능한 흡수 분광 특성을 규명한다.

본 연구에서는 건식처리 조건 모사를 위해 글러브박스와 용융로를 활용하였다. 글러브박스는 수화·산화를 방지하기 위해 99.9999% 아르곤 가스로 채워졌으며, 물과 산소의 농도는 항상 1ppm 미만으로 유지되었다. 용융로 내에서 감손우라늄금속을 전기화학적으로 양극용해시켜  $UCl_3$ -LiCl-KCl을 제조하였다. Carl Zeiss 흡수분광기(MCS601 UV-NIR C, MCS611 NIR 1,7hr)를 활용하여 400nm - 1400nm 영역에서 우라늄 흡수분광 특성과 함께 온도에 따른 몰흡광계수 변화 등을 규명하였다.

고온 LiCl-KCl 용융염 내 우라늄의 몰흡광계수는 가시영역에 대해서 보고되고 있다. 또한 가시영역의 경우 f-d 전이로 인해 스펙트럼이 전 영역에 걸쳐 넓게 분포되어 백그라운드 제거나 피크 분해에 어려움이 있어 보고된 몰흡광계수 간에도 상이한 결과를 보인다. 이에 반해 900nm부터 시작되는 근적외선영역의 우라늄 흡수스펙트럼은 f-f 전이를 나타내며 몰흡광계수가 가시영역에 비해 약 3% ~ 5% 수준으로 낮아져 백그라운드를 효과적으로 제거할 수 있다. 이러한 장점을 바탕으로 가시영역의 농도-흡광도 분석의 정밀도를 향상시켜 가시영역의 몰흡광계수를 보완할 수 있다. 400nm - 1400nm에 걸쳐 우라늄(III)은 총 6개의 특성 피크를 보였으며, 각 피크에 해당되는 에너지 준위를 제시하였다. 아울러 400°C - 600°C의 온도변화를 통해 모든 흡수피크가 peak broadening과 함께 몰흡광계수가 감소함을 확인하였다. 통상적인 1cm 큐벳 셀을 활용할 때 가시영역에서의 우라늄(III)의 검출한계는  $1.78 \times 10^{-4}$  wt% 수준으로 극미량 측정이 가능하다. 가시영역만 활용할 때에는 농도가 조금만 올라가도 탁도와 흡광도의 증가로 인해 측정이 어려운 상황이 발생할 수 있으나, 가시영역에 비해 3%의 몰흡광계수를 가지는 근적외선영역을 활용하면 검출한계는 다소 높아지지만 고농도의 우라늄(III) 측정에 용이하다. 특히 우라늄(III) 농도가 9 wt%로 유지되는 실제 건식처리공정의 경우에는, 근적외선영역 활용과 동시에 1mm로 광경로를 줄이면 10 wt%까지 농도분석이 가능하다. 본 연구를 통해 고온 LiCl-KCl 용융염 내 우라늄(III)은 흡수분광의 서로 다른 영역 활용(f-d: 가시영역, f-f: 근적외선영역)을 통해 다양한 수준의 농도분석이 비파괴적으로 가능함을 확인하고 규명하였다.

## Lanthanum의 이종금속합금 형성에 의한 공침적 추출

김범규 · 한화정 · 김원기 · 박병기<sup>†</sup>

순천향대학교

## Co-precipitated extraction by intermetallic compound formation of Lanthanum

Beom Kyu Kim, Hwa Jeong Han, Won Ki Kim and Byung Gi Park

Soonchunhyang University

<sup>†</sup>Corresponding author: byunggi@sch.ac.kr

사용후핵연료의 독성과 부피를 저감하기 위하여 개발 중인 파이로공정은 용융염 매질을 이용하여 우라늄과 초우라늄 원소를 회수한다. 파이로공정에서 사용된 용융염은 핵분열생성물인 대부분의 란타나이드계 원소를 함유하고 있으며 미량의 악티나이드계 원소도 잔류하고 있어 고준위폐기물로 취급된다. 폐용융염은 구조적으로 안정하여 함유된 란타나이드계 원소를 추출하여 정화하면 재사용이 가능하므로 이들을 제거하기 위한 다양한 방법이 개발되고 있다. 폐용융염에서 란타나이드계를 추출하는 방법으로 Bi 이온을 이용하는 전기화학적 동시환원법이 대안이 될 수 있다. Bi 이온과의 동시환원 특성을 파악하기 위하여 La 원소를 대상으로 LiCl-KCl 용융염에서 La 이온과 Bi 이온의 거동을 연구하였다. LiCl-KCl 용융염에서 Cyclic Voltammetry와 Square Wave Voltammetry를 이용하여 Bi-La 이종금속합금 형성에 의한 La 이온의 환원 전위로  $-1.42$ ,  $-1.74$ ,  $-1.81$ V (versus Ag/AgCl)를 결정하였다. 공침전으로 생성된 침전물의 합금조성을 확인하기 위하여  $-1.42$ V (versus Ag/AgCl)의 정전압 환원전위를 6시간 동안 가하고 획득된 침전물에 대해 SEM과 XRD을 이용하여 분석하였다. 실험 결과는 순수한 La 이온의 환원 전위인  $-2.1$ V (versus Ag/AgCl)보다 더 낮은  $-1.42$ V에서 La 이온의 공침전에 의한 추출이 가능함을 나타내었다. 따라서 폐용융염에서 La 이온은 Bi 이온과의 동시환원 원리에 따라 추출될 수 있으며 이러한 방안을 란타나이드계 이온에 적용하였을 때 폐용융염을 정화시켜 재사용할 수 있도록 하는 공정을 개발하는데 활용할 수 있을 것이다.

## 고온 수용액 환경(10 - 85°C)에서의 삼성분 칼슘 우라닐 카보네이트 화학종의 화학 열역학 특성 규명

조용흠 · 윤종일<sup>†</sup>

KAIST 원자력 및 양자공학과

## Chemical Thermodynamic Properties of Ternary Calcium Uranyl Carbonate Species at Elevated Temperatures (10 - 85°C)

Yongheum Jo · Jong-Il Yun<sup>†</sup>

Department of Nuclear and Quantum Engineering, KAIST

<sup>†</sup>Corresponding author: jiyun@kaist.ac.kr

고준위방사성폐기물의 처분방식은 지질학적으로 안정한 지하 500m 이하에 처분하는 심지층 처분 방식으로 채택되었지만 10,000년 ~ 100,000년 이상의 장기안전성을 입증하는데 어려움이 있어 실제 운영되는 처분시설은 국내외적으로 아직 존재하지 않는다. 악티나이드 원소는 고준위방사성폐기물 및 사용후핵연료의 장기 안전성 측면에서 방사성 독성을 지배하는 원소이며, 매우 복잡한 산화환원반응 및 착화합물 반응을 보이므로 실제 자연 지하수 환경에서 그 화학적 특성을 이해하고 예측하는 것이 처분 안전성 측면에서 매우 중요하다. 처분 안전성평가에 활용하기 위하여 신뢰성 있는 열역학적 데이터 확보에 대한 국제적인 노력이 지속되고 있으나, 심부지층 환경은 방사성붕괴열 및 지열( $\Delta T \sim +3 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ )로 인하여 고온 환경임에도 불구하고 지금까지 수행된 대부분의 연구들은 상온 환경에서 수행되었다는 한계점을 가진다.

따라서 본 연구에서는 국내 고준위방사성폐기물 및 사용후핵연료 처분시설의 처분안전성 증진 및 안전성평가의 불확실도 저감을 위해 처분환경의 지구화학적 조건을 고려한 고온 수용액 환경(10 - 85 °C)에서의 악티나이드 원소의 화학거동 및 특성을 규명한다. 다양한 온도 (10, 25, 40, 55, 70 및 85 °C)의 수용액 조건에서 시간분해 레이저 형광 분광법(TRLFS), 칼슘 선택성 전극 전위차법 및 자외선/가시광선 흡수 분광 광도법을 상호 보완적으로 활용하여, 자연 지하수 조건에서 가장 지배적으로 존재하는 삼성분 칼슘 우라닐 카보네이트 화학종 ( $\text{CaUO}_2(\text{CO}_3)_3$  및  $\text{Ca}_2\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3(\text{aq})$ )의 형성상수를 규명한다. 이와 더불어 열량 측정법을 활용하여 삼성분 칼슘 우라닐 카보네이트 화학종의 형성반응의 엔탈피 및 엔트로피를 측정·도출한다. 이를 통해 10 - 85 °C 범위의 온도 내 임의의 온도에서의 삼성분 칼슘 우라닐 카보네이트 화학종의 반응 형성상수를 예측할 수 있는 모델을 개발한다.

## 중·저준위방사성폐기물 표층처분시설 안전성평가를 위한 보조안전지표의 적용 연구

한솔찬 · 윤종일<sup>†</sup>

한국과학기술원 원자력 및 양자공학과

### Study on Application of Complementary Safety Indicators for the Safety Assessment of Near-surface LILW repository

Sol-Chan Han · Jong-Il Yun<sup>†</sup>

Dept. of Nuclear and Quantum Eng., KAIST, 291 Daehak-ro,  
Yuseong-gu, Daejeon 34141, Republic of Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: jiyun@kaist.ac.kr

우리나라는 중·저준위방사성폐기물의 안전한 처분을 위해 2014년 원자력안전위원회로부터 중·저준위방사성폐기물 처분장 사용 승인을 허가받은 이래로 2015년 7월 최초처분을 시작, 최종 4단계에 걸친 방사성폐기물 처분시설 건설·운동을 계획하고 있다. 이와 더불어 현재까지도 방사성폐기물 처분시설의 안전 성능을 이해하고 안전성을 향상시키려는 연구가 꾸준히 수행되고 있다. 방사성폐기물 처분시설의 안전성을 평가하는 대표적인 방법은 처분 시스템을 모사한 안전성평가모델을 구축하고 이를 전산프로그램을 기반으로 향후 처분시설에 의해 나타날 방사선학적 특성을 평가하는 것이다. 또한 이와 같은 전산모델로부터 도출된 방사선학적 영향은 주로 인간에 대한 유효선량(피폭선량)으로 평가되어 이를 각 국가에서 정한 기준치와 비교함으로써 안전성을 평가하게 된다.

방사성폐기물 처분시설을 운영하는 국가에서는 처분시설의 안전성을 평가하기 위한 주요 지표로서 주로 유효선량 및 위험도를 사용하고 있다. 한편, 주요 지표의 경우 유효선량 계산을 위해 생태계를 모사하는 모델을 필요로 하는데 이와 같은 생태계 모델의 경우 생태계 내의 다양한 기작을 상세히 이해하고 모사하는 것에 한계가 있으며, 기후 변화, 섭생 특성 변화 등에 따라 모델이 달라질 수 있어 장기적인 안전성평가의 불확실성을 높일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 주요 지표가 갖는 한계를 보완하고 처분시설의 성능에 대한 이해를 높이고자 ‘보조안전 지표’를 활용하여 처분시설 안전성평가를 수행하였다.

본 연구에서는 보조안전지표를 통한 안전성평가 사례연구로, 2단계 중·저준위방사성폐기물 처분시설(표층처분시설)을 대상으로 상용 전산프로그램인 Goldsim 프로그램을 활용하여 안전성평가모델을 구축하고 안전성평가를 수행하였다. 또한 보조안전지표로는 ‘해양에서의 방사성 독성 농도’를 선정하였으며, 안전성평가모델로부터 도출된 ‘해양에서의 방사성 독성 농도’를 실제 처분시설 주변 해양 시료로부터 도출한 기준값과 비교하였다. 안전성평가 결과 처분시설 주변 해양에 존재하는 자연 방사성 독성 농도에 비해 처분시설로부터 야기되는 방사성핵종에 의한 방사성 독성 농도는 매우 낮은 것으로 나타났으며, 이로부터 처분시설에 의한 방사선학적 영향은 매우 미미한 것으로 평가되었다.

## 방사성동위원소의 위치 추적 및 핵종판별을 위한 섬광체 광섬유 방사선 센서시스템의 개발

신상훈 · 송시원 · 신현영 · 변현기 · 박재형 · 이봉수<sup>†</sup>

중앙대학교 에너지시스템공학부

## Development of Scintillator Fiber-optic Radiation Sensor System for Source Position Tracking and Spectroscopy of Radioisotope

Sang Hun Shin · Si Won Song · Hyun Young Shin · Hyungi Byun ·  
Jae Hyung Park · Bongsoo Lee<sup>†</sup>

School of Energy Systems Engineering, Chung-Ang University

<sup>†</sup>Corresponding author: bslee@cau.ac.kr

원자력시설에서 발생하는 중·저준위 방사성폐기물을 영구처분장으로 운반 및 처분 하고자 할 경우에는 방사성폐기물 드럼에 내재된 방사성물질의 종류(핵종), 핵종별 방사능 농도, 총 방사능 및 폐기물의 형태 등 드럼 개개의 이력관리 파악이 필수적이다. 특히 중·저준위 방사성폐기물은 기체, 액체 및 고체 상태의 비교적 다양한 발생원을 가지고 있으며, 비파괴검사 등 산업활동, 연구, 병원에서의 의료에서 발생하는 대부분은 방사성동위원소이다. 따라서 이러한 중·저준위 방사성폐기물의 관리 및 처분 시 드럼 내 존재하는 방사성동위원소의 핵종에 대한 정보를 파악하여 제공하는 문제는 매우 중요하며, 방사성동위원소로부터 방출되는 방사선에 대한 위치 정보 및 핵종에 대하여 정확히 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 방사성폐기물 드럼에 내재된 다양한 방사성동위원소에 대한 위치 추적 및 핵종정보의 제공이 가능한 섬광체 광섬유 방사선 센서시스템을 개발하였다. 개발된 섬광체 방사선 센서는 유기 및 무기섬광체와 광섬유를 이용하여 제작하였으며 섬광체에서 발생된 섬광신호를 계측하기 위한 광 계측기와 핵종 분석이 가능한 디지털라이저 (Digitizer)를 사용하여 시스템을 구성하였다. 섬광체 광섬유 방사선 센서시스템의 방사성동위원소 위치 추적 가능성을 확인하기 위하여 감마선 조사장치를 이용한 성능평가를 진행하였으며, 동시에 방사성동위원소를 이용하여 핵종분석에 대한 실험을 진행하였다. 섬광체 광섬유 방사선 센서시스템은 향후 중·저준위 방사성폐기물 드럼의 내부의 균질 및 비균질 방사성동위원소에 대한 위치 추적 및 핵종판별을 위한 방사선 검출기로서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

\*\* 이 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부) 및 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2017R1A2B2009480, 2018R1D1A1B07041159). 또한, 이 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 원자력연구사업임(No. 2016M2B2B1945255).

## TRACE를 이용한 APR1400형 원전에서의 LBLOCA 해석

이영재 · 김태완<sup>†</sup> · 정애주<sup>\*</sup>

인천대학교 안전공학과 · \*한국원자력안전기술원

## Analysis of LBLOCA at APR1400 type NPP using TRACE

Yeongjae Lee · Taewan Kim<sup>†</sup> · Aeju Chung<sup>\*</sup>

Department of Safety Engineering, Incheon National University ·

<sup>\*</sup>Korea Institute of Nuclear Safety<sup>†</sup>Corresponding author: taewan.kim@inu.ac.kr

본 연구는 미국원자력규제위원회의 열수력 안전해석 코드인 TRACE를 활용하기 위한 APR1400형 원전의 대형냉각재상실사고 모델을 개발하고 사고해석을 통해 코드의 안전해석 능력을 평가하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 국내의 규제검증코드인 MARS-KS를 대상으로 개발된 APR1400형 대형냉각재상실사고 입력자료를 바탕으로 3차원 원자로 압력용기 모델을 포함한 TRACE 해석모델을 개발하였다. 원자로압력용기는 5개의 radial ring, 6개의 azimuthal section, 35개의 axial level로 구성되어 총 1,050개의 제어체적을 포함하고 있다. 노심의 핵연료는 266개의 열구조체를 사용하여 핵연료집합체 단위로 모사되었으며, radial 및 axial 방향의 출력 분포는 신고리 3&4의 최종안전성분석보고서를 바탕으로 적용되었다. 개발된 모델의 정상상태 계산은 null-transient 방법으로 5,000초 동안 수행되었고, 계산 결과에서 주요변수들은 APR1400의 설계값을 잘 예측하는 것으로 나타났다. LBLOCA 사고해석을 위하여 pump discharge leg에 양단순시과단을 모사하고, 안전주입탱크와 안전주입펌프 모델을 추가하여 안전주입계통을 모사하였다. 또한 대형냉각재상실사고 발생과 동시에 소외전원상실사고를 가정하여, 사고 시작과 동시에 원자로냉각재펌프는 관성서행을 시작하고 2대의 비상디젤발전기 중 1대가 고장인 단일고장을 가정하여 4대의 안전주입펌프 중 2대만 작동하도록 하였다. 원자로냉각재펌프의 관성서행은 참조입력의 펌프 curve를 통해 모사되었으며, 붕괴열은 ANS-79 curve가 사용되었다. 과도계산은 500초 동안 수행되었으며 처음 100초는 모델의 안정화를 위해 null-transient 방법으로 수행되었다. 해석결과, 대형냉각재상실사고의 해석에서 가장 중요한 변수인 침투피복재온도는 999.2 K로 미국 원자력규제위원회(US NRC) 10CFR50.46의 허용기준과 비교했을 때 큰 여유를 가지고 있으며, 다른 변수들도 타당한 물리적 거동을 보이고 있는 것을 확인하였다. 또한 3차원 원자로 압력용기 모델로부터 사고 중 나타나는 재관수 단계에서 노심 수위가 고유의 3차원 거동을 보이며 노심 냉각을 향상시키는 특성을 확인하였다.

**Keywords:** APR1400, TRACE, 대형냉각재상실사고, 3차원 원자로 압력용기 모델

## 분리형 계산영역을 이용한 두께 기반 크러드 성장 예측 코드 개발 및 민감도 분석 평가

조윤식\* · 손홍현\* · 박병기\*\*\* · 신호철\*\*\*\* · 이환수\*\*\*\* · 김성중†\*\*\*\*

\*한양대학교 원자력공학과 · \*\*한양대학교 나노과학기술연구소 · \*\*\*순천향대학교 에너지환경공학과 ·  
\*\*\*\*한국수력원자력 중앙연구원

### Sensitivity analysis of thickness-based CRUD growth model using separate computing domain method

Yun sik Cho\* · Hong Hyun Son\* · Byung Gi Park\*\*\* · Ho Cheol Shin\*\*\*\* ·  
Hwansoo Lee\*\*\*\* · Sung Joong Kim 3†\*\*\*\*

\*Department of Nuclear Engineering, Hanyang University

\*\*Institute of Nano Science & Technology, Hanyang University

\*\*\*Department of Energy and Environmental Engineering, Soonchunhyang University

\*\*\*\*Central Research Institute, Korea Hydro & Nuclear Power

†Corresponding author: sungj kim@hanyang.ac.kr

장기적인 가압경수로 발전소 운전 환경은 구조체 물질로부터 다량의 부식 생성물과 이온을 형성시키며, 또한 장기적인 출력 조절을 위해 냉각재 내에는 높은 붕소 이온 및 붕산 농도가 유지된다. 이러한 수화학적 조건은 고온 및 고열유속의 극한 환경에서 피복재 표면에 소위 크러드(CRUD: Corrosion-Related Unidentified Deposit)라고 불리는 고형의 부식생성물 층을 형성한다. 크러드 층은 다량의 붕소를 함유하고 있기 때문에, 소위 노심 비정상 축방향 출력분포(AOA: Axial Offset Anomaly)라 불리는 현상을 일으키는 다양한 원인 중 하나이다. 노심 비정상 출력분포 현상은 최종적으로 노 내 안전 여유도를 저하시키기 때문에, 크러드 성장량과 붕소 축적량을 정확히 예측하고자 하는 시도가 다양하게 이루어지고 있다. MAMBA 코드는 크러드 성장 예측 코드 중 하나로, 아레니우스 기반의 화학반응 속도와 침니를 통한 모세관 비등을 바탕으로 크러드 침적량을 계산한다. 또한 부수로에서 발생하는 표면 난류에너지에 경험상수를 곱하여 난류에너지에 의한 침식량을 계산한다. 따라서 MAMBA 코드는 지배방정식에서의 위의 여러 변수의 도출을 위해 STAR-CCM+ 와 DeCART 등의 외부 코드와 연계된다. 또한 Adaptive mesh를 사용함으로써 상세계산과 동시에 그에 따른 계산부하를 줄여주었다.

본 연구는 추후 전노심 영역에서의 계산확장을 위해 1D 형태의 단순화된 외부 코드와의 연계를 고려하여야 한다. 이를 위해 성장 계산 방식 및 계산 영역 분류 등의 방법론을 통해 기존의 MAMBA의 성장계산 방법론을 단순화하려 한다. 또한 MAMBA의 지배 방정식의 주요 인자 중 하나인, 침니를 통한 모세관 비등에 의한 성장량과 난류에너지에 대한 침식계수에 대한 민감도분석 결과를 통해 경험상수를 수정하고 이를 기존 연구와 비교하여 코드 결과를 입증하고자 하였다. 이에 따라 참고 문헌을 참고하여 날짜에 따른 축방향 출력분포와 난류에너지 분포를 통해 500일 간의 계산을 이루었다. 계산 결과, 침니를 통한 모세관 비등 열전달 계수가 부분 출력의 20% 이고, 난류에너지에 의한 침식계수를 450,000로 설정하였을 때, MAMBA 코드의 계산 결과와 성장 경향성이 매우 유사하게 나타났다. 특히, 상단부에서의 크러드 성장량은 그 차이가 10% 이하로 나타나, 성장 계산 방식과 계산 영역 분류 방법을 변경하여도 큰 차이가 없음을 확인하였다.

CaF<sub>2</sub>(Eu) 무기섬광체 방사선 센서 시스템을 이용한 알파/감마 동시측정송시원 · 신상훈 · 신현영 · 박재형 · 변현기 · 이봉수<sup>†</sup>

중앙대학교 공과대학 에너지시스템공학부

Simultaneous Measurements of Alpha/Gamma Using a CaF<sub>2</sub>(Eu) Inorganic Scintillator Radiation Sensor SystemSi-Won Song · Sang-Hun Shin · Hyun-Young Shin · Jae-Hyung Park ·  
Hyungi Byun · Bongsoo Lee<sup>†</sup>

School of Energy Systems Engineering, Chung-Ang University, Seoul, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: bslee@cau.ac.kr

방사선 폐기물 처분장 및 원자력시설 주변 등과 같은 환경에서 혼합 방사선의 측정은 필수적이며 방사선의 구별을 위해서는 일반적으로 PSD(Pulse Shape Discrimination) 기술이 사용된다. PSD 기술은 방사선계측기에서 방사선의 종류에 따라 발생하는 전류신호의 파형을 구별해 각각의 방사선 분별이 용이한 측정기술로서 특히 중성자와 감마선을 구별하는데 활용되고 있다. 또한 혼합 방사선장의 다양한 방사선을 동시 측정하여 구별하는데 사용 가능하며 각각의 핵종에 대한 에너지 스펙트럼을 측정하여 핵종판별 또한 가능하다. 본 연구에서는 CaF<sub>2</sub>(Eu) 무기섬광체를 사용하여 혼합방사선 측정이 가능한 방사선 센서를 제작하였고, PSD 기술을 적용하기 위해서 디지털화(digitizer)를 광계측기와 결합하여 시스템을 구성하였다. 제작된 방사선 센서시스템의 성능평가를 위하여 알파 및 감마 방출 핵종의 동시측정을 통한 방사선 구별 가능성을 확인하였다.

센서부로 사용된 CaF<sub>2</sub>(Eu) 무기섬광체는 수백 keV까지의 감마선과 하전 입자를 검출하는데 사용되며 열적안정성과 기계적 강도가 뛰어나고 흡습성이 없는 장점을 가진다. 알파 및 감마핵종에 의해 CaF<sub>2</sub>(Eu) 무기섬광체에서 발생한 섬광신호는 광계측기인 광증배관을 통해 획득되고, 획득된 광신호는 디지털라이저에서 PSD 기술을 적용하여 분석하였다. 개발된 방사선 센서 시스템의 성능평가를 위해 Po-210 알파선원과 Cs-137 감마선원을 사용하였고, 각각의 방사선원을 독립적으로 측정한 경우와 동시에 측정한 경우에 대하여 방사선 분별이 가능한 scatter plot을 획득하였다.

실험결과, 알파 및 감마선원에 대한 혼합 방사선의 분별이 가능함을 확인하였고 본 연구를 통하여 제작된 CaF<sub>2</sub>(Eu) 무기섬광체기반의 방사선센서 시스템을 이용하면 혼합방사선장에서 알파 및 감마선의 정확한 구별이 가능할 것으로 판단된다. 앞으로 수행해야할 연구는 혼합방사선의 구별과 동시에 각각의 핵종에 대한 에너지 스펙트럼을 측정하여 핵종을 판별하는 것이다.

\*\* 이 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부) 및 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2017R1A2B2009480, 2018R1D1A1B07041159). 또한, 이 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 원자력연구사업임(No. 2016M2B2B1945255).

## 유해화학물질 저장탱크 누출궤적 평가모듈 개발 연구

유병태<sup>†</sup> · 이은별 · 권동욱 · 김민수 · 윤준현

화학물질안전원 사고예방심사2과

### A Study on Development of Evaluation Module for Hazardous Substances Leakage Trajectory

Byungtae Yoo<sup>†</sup> · Eunbyul Lee · Dongwook Kwon · Minsu Kim · Junheon Yoon

Division II of Accident Prevention and Assessment, National Institute of Chemical Safety

<sup>†</sup>Corresponding author : flyduck@korea.kr

화학사고 예방을 위하여 정부는 2015년 「화학물질관리법」 전면 개정을 실시하였다. 특히, 방류벽(Dike) 내에 위치한 유해화학물질 저장탱크에서 누출 사고가 발생할 경우 외부로 누출되지 않도록 방류벽 용량과 일정거리 이상의 이격거리를 규정하였다. 하지만 2015년 이전에 설치된 설비들은 물리적 공간이 부족하여 대규모 이설이 불가피하거나 유해화학물질 취급시설을 무리하게 개선하는 과정에서 오히려 안전상의 문제가 발생할 우려가 있을 수 있기 때문에 환경부에서는 2015년 이전 착공한 유해화학물질 시설에 한해 누출사고 발생 시 해당 시설의 안전성을 사전에 확보할 경우 예외를 둘 수 있는 안전성 평가 제도를 도입하는 특례조항을 신설하였다. 특례조항에 포함되는 시설로는 1) 제조·사용시설(방지턱, 집수설비), 2) 실내보관·저장시설(방류벽, 집수설비), 실외 보관·저장시설(방류벽), 배관 이송시설(긴급차단밸브)로 한정하고 있다.

유해화학물질 취급사업장에서는 해당 설비에 대한 누출 위험성 및 시나리오를 작성하여 적절한 대응방안을 수립해야하는 상황이지만, 누출궤적을 수학적으로 손쉽게 분석할 수 있는 체계가 마련되어 있지 못한 실정이다. 특히, 이를 수행할 수 있는 전문 인력이 상대적으로 부족한 중·소기업의 경우 평가에 어려움을 호소하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 방류벽 내부에 위치하고 있는 유해화학물질 저장탱크에서 누출되었을 경우 방류벽 외부로의 누출 여부를 손쉽게 평가할 수 있는 누출궤적 및 도달거리 산정을 위한 평가를 개발하였다. 이를 바탕으로 누출사고에 따른 적절하고 효과적인 안전성 확보방안을 마련하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 설비간 최소안전거리 설정을 위한 최대 상정 누출 크기 결정에 관한 연구

윤익근 · 단승규 · 정호진 · 홍성경

한국가스공사 가스연구원

### A Study on Decision of Maximum Credible Hole Size for Determining the Minimum Safety Distance between Facilities

Ik Keun Yoon · Seung Kyu Dan · Ho Jin Jung · Seong Kyeong Hong

Korea Gas Corporation R&D Center

육상 위험 물질 공정에 대한 HSE 엔지니어링 기본 설계 단계에서 안전성 확보를 위해 가장 먼저 집중해야 할 부분은 설비와 민간인 지역과의 안전거리를 설정하는 것이다. 이를 위해 몇몇 국가는 코드를 통해 사고 결과/영향 분석 모델 및 누출 시나리오 선정에 관하여 규정해주고 있다. 하지만 설비간의 최소안전거리에 대해서는 사업자가 스스로의 안전 기준을 가지고 산출하여야 한다. 설비간 안전관리가 중요한 이유는 첫째, 도미노 피해 최소화와 건설 비용을 고려해야하는 trade off 사항이라는 점, 둘째 개념 설계 단계에서 결정됨으로써 “point of no return” 특성을 가진다는 점이다.

사업자 입장에서는 부지 매입 비용과 안전성과의 복잡한 상관 관계를 고려할 때 이러한 안전 기준 수립이 쉽지 않은데, 특히 안전거리 분석을 위한 적합한 누출 시나리오 규모를 결정하는 문제가 매우 어렵다. 이는 최대 상정 누출 (Maximum credible hole) 크기를 결정하는 것으로서 사고 결과/영향 분석과 연계하여 작업자 또는 주변 시설에 미치는 영향을 최소화하는 이격 거리를 산출하는 데 필수적 가정이 되기 때문이다.

본 연구에서는 이와 관련하여 해외 엔지니어링 적용 사례 및 관련 코드, 문헌 등을 고찰하였다. 그리고 각 적용 내역의 이해를 통해 장단점을 검토하였다. 더불어 본 연구에서는 현존하는 수치적 빈도 분석 모델을 기반으로 위험도 측면에서 근사적으로 접근하는 방법을 고안하였다. 이를 통해 향후 육상 공정 HSE 엔지니어링 사업에서 합리적이면서도 신속하게 설비간 안전거리 도출을 위한 누출 크기를 산정하는 방법론 설정에 기여하고자 한다.

## 미국의 화학테러 관리

하규만 · 박희영 · 이성운  
환경안전연구원

### Annual Conference of the KIHM : US chemical terror management

Kyoo-Man Ha · Hee-Yeong Park · Sung-Woon Lee  
Korea Environmental and Safety Institute  
†Corresponding author : koensi99@gmail.com

미국은 21세기에 접어들면서 다양한 형태의 테러에 직면하고 있으며, 특히 화학테러의 경우 위협적이 되고 있다. 그러나 우리나라에서는 미국의 화학테러 관리에 관한 정보가 여전히 부족한 상황이다. 이에 미국이 국가차원에서 어떻게 화학물질 테러를 관리하고 있는가를 살펴보고 우리나라의 나아갈 방향을 제시하고자 미국의 화학테러관리에 대해 알아보하고자 한다.

미국은 각종 재난이 (자연재해와 인적재난 모두 포함) 발생 이전에 모든 재난종사자의 (예, 모든 단위의 정부, 자원봉사단체, 기업체, 군대, 대중매체, 기타 지역사회, 인디언부족, 미국령) 역할과 책임을 문서로서 정리한 국가재난 대응체제를 가지고 있다.

미국재난대응체제(NRF), 미국국가기획체제(NPFs)에서 화학물질 혹은 화학테러 위상, 화학테러 대처용 전략으로 화학사고 대테러리즘 차원의 접근법등에 대하여 고찰하고자 한다.

## 네트워크 모델을 이용한 화학시설 취약성 평가

박천탁, 임동현, 박다성, 김유진, 최신희, 민미미, 정승호<sup>†</sup>

아주대학교 환경안전공학과 화학공정안전 연구실

### Chemical Facility Vulnerability Assessment using Network Model

Chuntak Phark, Donghyun Lim, Dasung Park, Yoojin Kim, Shinhee Choi,  
Mimi Min, Seungho Jung<sup>†</sup>

Department of Environmental & Safety Engineering, Ajou University

<sup>†</sup>Corresponding author: ProcessSafety@ajou.ac.kr

2011년, 미국 세계무역센터 쌍둥이 빌딩 테러가 발생한 이후, 미국은 국토안보부(The Department of Homeland Security, DHS)를 설립하여 테러로 인한 공격 등으로부터 미국 국토를 보호하려는 노력을 시작하였다. 2007년, DHS는 화학시설 테러방지표준(Cheical Facility Anti-Terrorism Standards, CFATS)을 제정하여 화학시설에 대한 보안취약성평가(Security Vulnerability Assessment, SVA)를 실시할 기반을 마련하였다. 평가 결과를 토대로 테러 등의 의도적 인적재난 발생 시 그 피해가 심각하고 이에 대한 대비가 미흡한 사업장을 관리하게 되었다.

일반적으로 화학공정안전분야에서 이용하는 리스크는 사고의 영향(Consequence)과 발생 빈도(Frequency)의 조합으로 도출된다. 반면 보안취약성평가에서 다루는 리스크는 사고의 영향(Consequence)과 취약성(Vulnerability), 그리고 위협(Threat)의 조합으로 도출된다. 취약성이란, 테러리스트가 특정 화학 시설에 대한 접근 권한을 획득하고 악의적인 행위를 성공시키는 용도로 악용될 수 있는 시설의 약점이나 특징을 이용하여 도출된다. 위협이란, 의도적 인적재난을 발생시키려는 자의 역량이나 의도, 정치/종교/이데올로기적 대립 수준 등을 이용하여 도출된다.

본 연구에서는 미국 국토안보부의 선형적인 화학시설 보안 취약성평가의 틀을 벗어나, 네트워크 모델을 이용하여 대규모 사업장 혹은 화학단지의 테러로 인한 도미노 취약성을 평가하였다. 도미노 효과란, 화학사고의 여파로 인근 설비에 임계치 이상의 복사열이나 폭발과압이 전파되어 최초로 사고가 발생했던 설비 외의 시설에도 영향을 미치는 것을 의미한다. 화학시설이 밀집되어 있는 국내 실정을 고려하면, 도미노 효과를 고려할 필요성은 자명하다. 이러한 방법론의 가장 큰 장점은 의도적 인적재난의 취약성을 정량화하여 대테러자원투입의 우선순위를 정하고, 설비 혹은 사업장의 위치를 최적화하여 그 지역의 리스크를 최소화 할 수 있다는 것이다. 도미노 취약성의 고려에는 일반적으로 화학공정안전분야에서 이용하는 개념인 화재폭발이나 독성영향범위 등이 포함되었다. 또한 가상의 사업장을 대상으로 사례연구를 실시, 그 실효성을 확인해보았다.

**\*\* 감사의 글:** 이 연구는 2018년 화학물질 안전원 연구비(과제명: 화학시설 보안 취약성 평가 방법론 개발 연구) 지원으로 수행되었습니다.

## 위험물 운송차량 추적관리 시스템에 관한 연구

권성필, 이봉우  
한국소방산업기술원

### A Study on the Monitoring System for Transportation Vehicles of Dangerous Goods

Seong-Pil Kwon, Bong-Woo Lee  
Korea Fire Institute

최근 급속한 산업 발전과 신소재 개발에 따라 각종 화학물질의 사용량이 크게 증가하고 있으며, 그로 인해 위험물 운송의 안전성에 대한 우려의 목소리가 우리 사회에서 나오기 시작하고 있다. 그리고 그에 대한 구체적인 해결방안의 하나로써 위험물 운송차량 추적관리 시스템을 구축하려는 시도가 국토교통부, 소방청, 환경부, 산업통상자원부 등을 중심으로 이루어져 왔다. 특히, 국토부에서는 이미 오래 전부터 위험물 운송차량 단말기 공유체계 구축을 통해 도로관리자가 위험물 운송차량을 실시간으로 모니터링하고, 위험물 운송차량 내에 디바이스를 설치하여 도로관리자 통합관제실과 실시간 소통이 가능하도록 만들고 있다. 하지만, 이를 위해서는 우선 도로관리자의 정보공유 및 열람에 관한 법제화가 이루어져야 할 것이다. 위험물 운송차량 단말기 공유체계 구축과 이를 운영·관리하는 통합관제센터 설치를 통해 위험물 운송차량의 위치 및 경로를 실시간으로 모니터링 하고, 운행정보, 위험경보 등을 통해 전반적인 위험물 운송과정을 관리할 수 있게 된다. 한편, 위험물 운송차량, 운전자, 위험물의 상태 등을 지속적으로 관측하여 이상 징후가 발견되면, 사전에 대응할 수 있도록 해야 한다. 차량의 속도나 적재량의 변화, 차량의 온도 변화 등을 지속적으로 감시하여 사고의 위험을 미리 포착하고, 이상 징후 발견 시 운전자를 대피시키거나 운전자에게 대응방안을 전달하여 신속한 초동대처가 이루어질 수 있도록 해야 한다. 또한, 위험물 운송차량이 주행 중 사고가 발생하면, 이를 신속히 인지하고 대응·처리하는 것이 매우 중요하다. 따라서 사고인지, 사고정보 전파, 사고 대응 및 처리의 일련과정을 빠르게 진행할 수 있도록 위험물 사고관리 시스템이 통합관제센터를 중심으로 구축되어야 할 것이다. 그밖에도 최근 4차 산업혁명의 중추적 역할을 담당하며 빠르게 발전하고 있는 기계학습 기반 인공지능 기술들을 위험물 운송차량 추적관리 시스템에 포함된 이상 징후 발견, 사고인지 등과 같은 기능들을 구현하는데 적절히 활용함으로써 시스템의 신뢰성 및 효율성을 향상시킬 수 있도록 해야 할 것이다.

## 가상현실기반 가스사고 예방 안전 훈련 연구

유철희 · 윤혜주 · 이효렬 · 조영도

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on the Safety Training for Gas Accidents Based on Virtual Reality

Chul-Hee Yu · Hye-Ju Yun · Hyo-Ryeol Lee · Young-Do Jo

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

†Corresponding author : hyeju4413@kgs.or.kr

최근 2012년부터 2016년까지 5년간 총 가스사고가 606건 발생하였으며, LP가스가 406건으로 67%, 도시가스가 127건으로 21%, 고압가스가 73건으로 12%를 나타내었다. 또한 연평균 가스사고 점유율에 따른 사고증감률은 LPG 2.5% 감소, 도시가스 1.0% 감소, 고압가스 19.7% 증가하였다. 고압가스가 다른 가스에 비해 사고발생건수는 적게 나타났지만, 사고 증감률이 다른 가스 사고에 비해 높게 나타남을 통해 사고에 대한 발병률이 높아지는 것을 알 수 있으며, 고압가스에 대한 사고 위험이 높아지고 있다. 고압가스 중의 한부분인 화학 플랜트 사고의 다수의 원인으로 인적오류(Human Error)를 들 수 있다. 조업자의 부주의 혹은 규정 위반과 같은 부분이나 운전 경험 미숙 또는 사고시 대처 능력이 미흡하여 사고로 이어질 가능성이 있다.

한국가스안전공사에서는 고압가스의 대표적인 산업인 석유화학플랜트에 대한 가스 사고를 분석하였다. 이를 바탕으로 특히 석유화학플랜트 위험성평가 보고서를 기반으로 RDS공정에서 발생할 수 있는 사고 요인을 조사하여 사고 대응 훈련 시나리오를 개발하였다. 가스 디텍터에서 Gas leak를 감지하면 제어실 운전자와 현장 운전원이 협업하여 사고 상황 전달 및 조치를 취하는 시나리오를 구성하였다.

또한 효과적인 안전훈련 연구를 위해 가상현실 기반 안전 훈련장을 구축하여 기존의 평면적인 2차원 화면을 몰입감과 현실감이 있는 3차원으로 변환하여 훈련원이 실제 훈련을 하는 것처럼 체감화 할 수 있도록 가상현실 교육 설비를 설치하였다. 가상현실 교육 설비를 통하여 훈련을 통해 사고 현장을 가상으로 체험하고 비상 상황에 유연하게 대응할 수 있는 훈련을 제시하고자 한다.

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

## IoT 기반 유해화학물질 감지 화학센서 및 재난안전관리 통합시스템

권성필 · 김근호\* · 노시갑\*\*

한국소방산업기술원, (주)메티스\*, (주)플로우테크\*\*

### A Study on IoT for the Leak Sensor of Harmful Chemical Substance and the Integrated System of Emergency Safety Management

Seong-Pil Kwon · Geun-ho Kim\* · Si-gab Noh\*\*

Korea Fire Institute, \*Metis Co., Ltd, \*\*Flowtech Co., Ltd

최근 4년간 재난 안전사고 중 유해화학물질 사고는 약 296건 발생하였으며 화재사고는 2017년까지 약 76,000건으로 꾸준히 증가하는 추세이다.

2018년6월 인천 폐기물업체 폐산 15톤 유출, 창원 질산 유출 및 최근 화성 메타폴리스, 대구시장, 여수시장, 제천 스포츠 센터 사고 등 갈수록 유해화학물질 누출로 인한 산업재해, 화재로 인한 인명 및 재산상의 피해도 크게 증가하고 있다. 따라서 이러한 산업재해 및 인명 피해를 최소화하기 위해 산업현장에서의 신속한 대피는 물론이고, 산업시설 안전관리 및 재난안전관리를 위해 신속한 화학물질 누출 감지, 화재신고 및 긴급 재난신호를 조기 감지하여 통보하는 기기가 IoT 기반 유해화학물질 감지센서 및 재난안전관리 통합시스템이다.

본 개발 기술은 IoT Chemical Sensor, Sensor Interface & Sensor Controller 기술을 적용한 LoRa Module, IoT 재난안전시스템, SMS 및 자동음성통보 등 기능을 수행하는 개발이다. 본 연구에서 제안하는 “IoT 기반 유해화학물질 감지용 화학센서 및 재난안전관리 통합시스템”은 아직까지 스마트화가 보편화되지 않은 국내외 소방안전 및 화학/정유 산업에 가장 우선적으로 적용이 용이한 기술이다.

특히, 2018년1월1일 개정된 화관법 규정 중 ‘유해화학물질 공장 누출 사고 발생시: 15분이내 미신고 3회 시, 해당사업장 영업취소’ 로 강화 되어 신속한 유해화학물질 누출 관리가, 비또는 눈에 영향을 받지 않고 감지가 가능한 ‘재사용 리크센서’를 접목한 IoT 기반으로의 구축이 필요하다.

정책적인 측면에서 살펴보면, 소방기본법, 소방시설공사업법, 화관법, 화평법 등 소방 및 환경 관련 규제가 강화됨에 따라 관련 산업 및 시장 또한 지속적으로 확대 될 것으로 전망된다.

(출처: 2018년 화재안전정책 세부시행 계획(서울시), 화학물질안전원)

## 안전 분야 4차 산업혁명 핵심기술 적용 사례

민광기

(주)이씨마이너

### 4th industrial revolution's key technology applications to safety areas

Kwang Gi Min

ECMiner Co. Ltd.

†Corresponding author: kgmin@ecminer.com

4차 산업혁명이란, “현실과 가상세계가 데이터를 통해 융합되는 혁명, 즉, 현실세상을 디지털 트랜스포머(Transformer)로 가상화하고 가상세계의 최적화된 결과를 아날로그 트랜스폼(Transform)으로 현실화하여 스마트한 현실세상을 구현하고자 하는 혁명이다” 라고 정의하며, 이를 실현하기 위한 핵심기술 중 하나로 “빅데이터 및 인공지능”을 강조하고 있다.

국내 제조부문에서의 빅데이터 및 인공지능 적용은 반도체, 철강, 화학, 디스플레이 등을 중심으로 품질 및 생산성 향상, 에너지 절감, 안전, 환경 등의 문제를 해결하기 위하여 적용되어 왔다. 최근 안전 관련 빅데이터 활용 및 인공지능 적용에 대한 관심이 높아지고 있다.

기존 안전을 위한 빅데이터 적용은 공정 및 설비에서 발생하는 실시간의 대용량의 데이터를 처리하여 실시간 모니터링, 이상조기 감지, 그리고 원인진단의 형태로 적용되어 왔다. 이와 병행하여 설비의 운전데이터 분석을 통한 설비의 예지/예방 정비를 위한 설비 교체시점 최적화를 통해 안전성 향상 및 O&M(Operation and Maintenance) 비용절감을 목표로 적용되어 왔다.

본 발표의 구성 및 목적은 1) 데이터마이닝, 빅데이터 및 인공지능에 대한 분석절차와 방법론 소개, 2) 데이터마이닝/빅데이터/인공지능 SW인 ECMiner™을 활용한 시연을 통해 빅데이터 및 인공지능 활용에 대한 이해를 높이고, 3) 최근 적용된 타 부문의 빅데이터 및 인공지능 적용사례 소개를 통해 안전 부문 빅데이터 및 인공지능 적용 방안 모색하여, 향후 안전 부문에 빅데이터 및 인공지능의 활용이 활발해지길 기대한다.

## 4차 산업혁명 시대의 재난안전 정책동향

정윤한

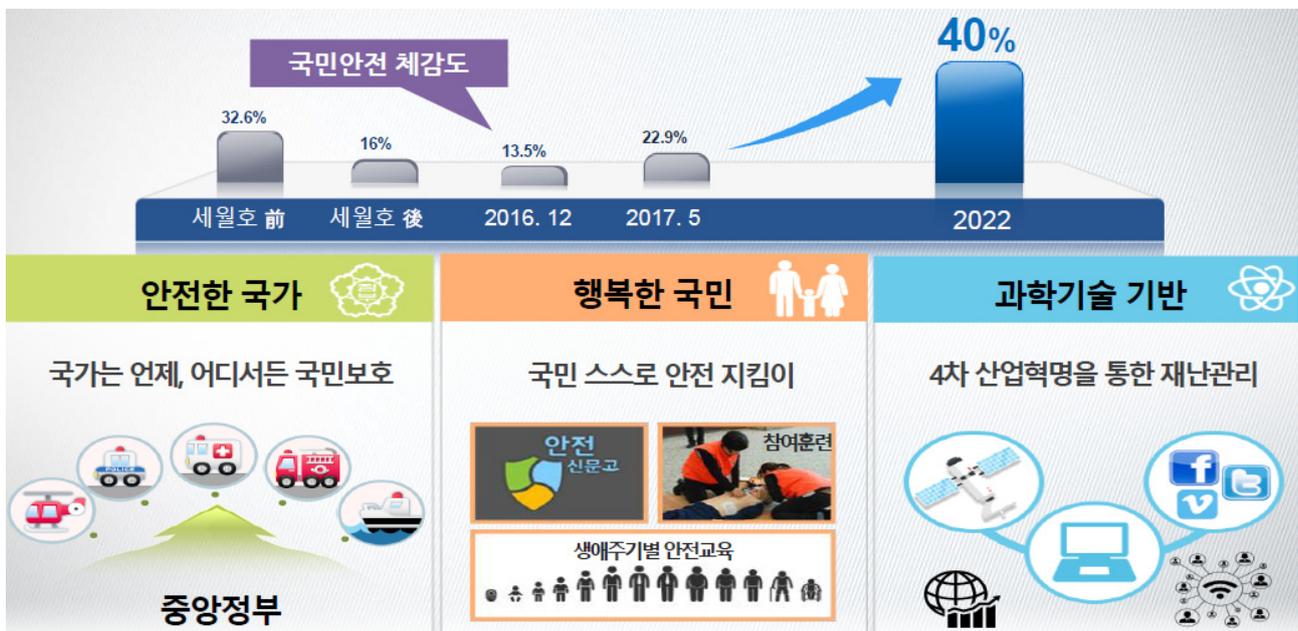
행정안전부 안전기획과

### Disaster and Safety Policy in the Era of Industry 4.0

Yoon Han Jung

Department of Safety Planning, Ministry of Public Administration and Security,  
Sejong 30128, Korea

학계, 산업계 및 사회 모두에서 지대한 관심을 받고 있는 4차 산업혁명은 대변혁이 선행된 후 그에 대한 공인이 이루어졌던 지난 3번의 산업혁명과는 다르게 다가올 대변혁에 대한 설계 및 논의가 앞서 진행되고 있다는 점에서 기존 혁명들과 궤를 달리한다. 또한 우리나라, 독일을 비롯해 선진국의 많은 정부들이 이 변혁의 중심에 서서, 일정부분은 국가주도의 혁신과 발전을 선도하려는 논의와 노력을 경주하고 있다는 부분에서도 지난 혁명들과 차이가 있다. 이번 발표에서는 기후변화에 따른 재난 강도의 심화 또한 예상되는 시점에서, 4차 산업혁명 시대 재난 안전 정책동향에 대한 논의를 통해, 국가사회의 경쟁력 제고를 위한 각 분야 전문가들의 의견을 구하고자 한다.



## Reactors Failure Scenario를 기반으로 한 사고발생빈도 산출

강동천 · 황용우 · 이익모 · 천영우<sup>†</sup>

인하대학교 환경안전융합전공

### The frequency of accidents based on the Reactors Failure Scenario

Dong Cheon Kang · Yong Woo Hwang · Ik Mo Lee · Young Woo Chon<sup>†</sup>

Department of Environmental Technology & Safety Technology Convergence, Inha University

<sup>†</sup>Corresponding author: ponychon@inha.ac.kr

「산업안전보건법」 제41조의2에 의거 사업주는 사업장의 유해·위험요인에 대한 실태를 파악하고 이를 평가하여 관리·개선하는 등 필요한 조치를 하도록 의무화 되어 있다.

산업재해통계에 의거 화학제품제조업 관련 사고는 주로 저장탱크나 반응기의 폭발에 의해 발생하며, 이는 주로 반응물질 위험성에 대한 인식부족과 운전조건에 따른 불충분한 인지 등으로 인해 폭주반응으로 이어져 화재·폭발사고로 전이되는 양상으로 보여진다.

이에, CCPS(Center for Chemical Process Safety)에서 제시하는 다양한 통계적 사고 시나리오를 바탕으로 회분식과 연속식 등 각종 반응기들의 폭주반응(Runaway) 사건과 해당 사건에 관한 수동적(Inherent/Passive), 능동적(Active) 방호계층을 정리하였다.

또한, 이를 개시사건의 빈도값에 적용시켜 개별 사건과 방호계층에 대한 사고발생 빈도값을 산출하였다.

이 Data들은 사업장에서 위험성평가 혹은 취급 설비 등의 유지보수 등 다양하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## NF3 생산라인의 Non-Seal Pump 폭발 사고에 관한 법공학적 연구

김의수

한국교통대학교 산업경영안전공학부 안전공학전공

### A Forensic Engineering on Explosion Accident of Non-Seal Pump used in NF3 Product Line

Eui Soo Kim

Dept. of Safety Engineering, Korea National University of Transportation

†Corresponding author: es92kim@ut.ac.kr

삼불화질소(Nitron Fluorine Three, NF3)는 반도체 및 액정 표시 장치(LCD) 공정 장비 내 체임버를 세정하는 특수 가스로, 암모니아와 불소를 고온, 고압 반응을 통해 추출하고 정제시키는 과정을 통해 순도를 높인다. 이러한 NF3 가스 생산 라인에는 정제 과정 후 액체 삼불화질소를 이송하기 위한 특수 펌프가 필수적으로 사용되어지는데 액체 밀봉과 부식성 없는 물질의 운전을 위해 대표적으로 Non-Seal Pump가 윤활과 냉각의 두 가지 역할을 수행하며 사용되고 있다. 그 중 캔(Can) 모양의 Canned Motor Pump는 Pump의 Impeller와 Shaft에 Motor Rotor를 같이 구성하여 하나의 Rotor로 만든 형태로 Rotor를 구동하기 위한 Motor Stator를 캔 모양의 Pump안에 구성하고 있으며 Motor Stator와 Rotor 사이에는 막이 존재하고 Motor Stator에는 유체가 닿지 않는 형태로 구성되어 있다. 기본적인 Pump의 특성은 일반 원심 Pump의 회전 원리와 동일하나 원심펌프와 전동기를 일체로 조합한 Pump로 Pump액의 일부를 축수와 전동기로 순환시켜 회전 부분을 액속에 넣어 윤활(Lubricant) 과 냉각(Cooling)의 두가지 역할을 동시에 수행한다는 점에서 차이가 있으며 유체가 누액이 되어서는 안 되는 화학 설비 분야에서는 필수적인 설비이다. 하지만 구조 특성 상 점검 후 조작 및 작동 불량으로 인한 폭발 안전사고가 빈번히 발생하고 있다. 특히 본 연구에서 다룬 폭발 사고는 순도 99.99%의 액화 NF3를 최종 제품 탱크로 이송하는 펌프의 작동 불량을 확인한 후 펌프 대체 작업 중 주변 밸브 조작 불량으로 인명 피해가 큰 사고가 발생하였기에 국내 화학플랜트 및 정유 공장의 실제 위험성을 보여 주는 좋은 사례라 할 수 있다. 이러한 안전사고를 예방하기 위해서는 좀 더 전문화되고 체계적인 사고조사와 분석을 통해서 사전에 예방대책을 마련함으로써 유사 및 동종재해의 발생을 최소화해야 한다. 이에 본 연구에서는 최근에 발생한 삼불화질소 생산라인의 Non-Seal Pump 폭발사고에 관한 법공학(Forensic Engineering)적 연구를 통해 폭발 사고 원인을 재조명하고 이 사고를 통하여 얻을 수 있는 교훈을 다시 음미하여 동일 안전사고 재발 방지를 위한 방안을 제시하고자 한다.

**\*\* 감사의 글:** 이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2017R1D1A1B03028163)

## 가연성 3성분계의 자연발화특성

김승환 · 한중기 · 유승돈 · 박수진 · 장영철 · 하동명<sup>\*†</sup>

세명대학교 대학원 소방방재공학과 · <sup>\*</sup>세명대학교 보건안전공학과

## Autolgnition Characteristics of Flammable Ternary System

S.H. Kim · J.G. Han · S.D. You · S.J. Park · Y.C. Jang · D.M. Ha<sup>\*†</sup>

Dept. of Fire and Disaster Prevention Engineering, Graduate School, Semyung University

<sup>\*</sup>Dept. of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University

<sup>†</sup>Corresponding author: hadm@semyung.ac.kr

화학산업 현장에서 수시로 발생하는 화재 및 폭발과 누출 사고는, 공장 설비를 파괴하여 막대한 재산피해를 유발할 뿐만 아니라 현장 근로자 및 인근 주민에 대한 치명적인 인명 피해까지 초래한다. 공정 설계 시 정확하지 않은 폭발한계를 사용함으로써 사고가 유발되는 경우가 많다. 따라서 사업장에서 사용되고 있는 화학물질의 화재 및 폭발 특성치인 인화점, 자연발화 온도 등을 정확히 파악하는 것은 중요하다. 또한 위험물의 사고는 위험물질의 관한 정보가 취급자에게 제대로 전달되면 주의를 기울여 사고를 미연에 방지 할 수 있다.

재해의 원인 가운데 하나인 자연발화는 가연성혼합기체에 열 등의 형태로 에너지가 주어졌을 때 스스로 타기 시작하는 산화현상이다. 그리고 최소자연발화온도(AIT: Autoignition Temperature)는 주위로부터 충분한 에너지를 받아서 스스로 점화할 수 있는 최저온도를 말한다. 일반적으로 AIT는 농도, 용기 크기, 산소농도, 압력, 촉매, 발화지연시간 등 다양한 실험 조건에 영향을 받으므로 문헌들 마다 다른 값들이 제시되고 있다. 그동안 AIT의 연구는 순수 물질 가운데 탄화수소류(hydrocarbons)에 국한되어 연구가 진행되고 있으며, 혼합물에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 ASTM E659(Koehler사) 장치를 사용하여 1-Butanol과 1-Pentanol 그리고 Cyclohexanol 3성분계 혼합물의 9개 조성에 대해 AIT를 측정하였다. 그리고 조성변화에 따른 활성화에너지(Activation Energy)를 계산하였다. 또한, 3성분계 조성변화에 따른 AIT를 예측할 수 있는 식을 제시하여 다른 조성에서도 AIT를 계산 할 수 있는 식을 제시하였다.

## 가연성/가연성 2성분계 혼합물의 인화점 예측

김승환 · 이성진\* · 이주현\*\* · 김민정\*\* · 양유환\*\* · 이원희\*\* · 하동명†\*\*

세명대학교 대학원 소방방재공학과 · \*세명대학교 임상병리학과 · \*\*세명대학교 보건안전공학과

## Flash point Prediction of Flammable/Flammable Binary System Mixture

S.H. Kim · S.J. Lee\* · J.H. Lee\*\* · M.J. Kim\*\* · Y.H. Yang\*\* · W.H. Lee\*\* · D.M. Ha†\*\*

Dept. of Fire and Disaster Prevention Engineering, Graduate School, Semyung University

\*Dept. of Clinical Pathology, Semyung University

\*\*Dept. of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University

†Corresponding author: hadm@semyung.ac.kr

산업현장의 재해 가운데 가연성 취급 물질에 대한 연소특성치를 정확히 이해하지 못해서 생기는 사례가 너무나 많다. 따라서 인명 안전과 설계 보존을 위해서는 사업장에서 취급하고 있는 위험물질의 연소특성치의 파악이 무엇보다 중요하다. 위험에 관련된 연소특성치는 수 없이 많지만 가장 대표적으로 인화점, 연소점, 폭발한계, 최소자연발화온도, 연소열, 최소발화에너지 등을 들 수 있다.

인화점은 하부 및 상부인화점으로 구분되며, 특히 하부인화점은 소방법, 산업안전보건법, GHS(Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals) 등에서 취급물질의 위험특성을 구분하는데 지표로 사용되고 있다. 하부인화점은 가연물을 가열할 때 나온 가연성 증기가 연소(폭발)범위 하한에 달하는 최저온도로 정의하고 있으며, 연소점(fire point)은 인화 이후 화염이 5초 이상 지속시킬 수 있는 온도로서 위험물에 따라 인화점과 차이가 있다. 폭발한계는 가연성가스(혹은 증기)를 발생하는 공정에서 재해를 예방하기 위한 특성치로서, 가연성가스 혹은 증기가 공기와 혼합되었을 경우 어느 일정온도 범위에서 폭발하고 그 이하나 그 이상에서는 폭발하지 않는데 이 범위를 폭발한계라고 한다. 폭발한계는 다른 연소특성치보다 실험이 어려운 경우가 많으며, 이런 경우에는 인화점을 이용하여 폭발한계의 예측이 가능하다.

## 가연성과 난연성 3성분계의 최소자연발화온도 측정

김승환 · 최병일 · 김귀주 · 나병균 · 하동명<sup>\*†</sup>

세명대학교 대학원 소방방재공학과 · \*세명대학교 보건안전공학과

### Measurement of Autoignition Temperature of Flammable and Non-Flammable Ternary System

S.H. Kim · B.I. Choi · G.J. Kim · B.G. Na · D.M. Ha<sup>†\*</sup>

Dept. of Fire and Disaster Prevention Engineering, Graduate School, Semyung University

<sup>\*\*</sup>Dept. of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University

<sup>†</sup>Corresponding author: hadm@semyung.ac.kr

화학공정은 고도의 정밀한 기술이 요구되는 장치산업으로써, 다른 산업에 비해 위험요소가 잠재되어있어 이를 찾아내 대처하기가 쉽지 않다. 일단 공정에서 사고가 발생하게 되면 막대한 피해를 입는 중대재해로 전개되는 경우가 많다. 그러므로 공정상에서 폭발 및 누출, 화재를 방지하기 위해 취급 물질의 연소특성치와 재해를 감소시키기 위한 절차의 개념을 확실히 세워야 한다.

사업장에서는 부주의, 조작실수, 배관파손 등으로 인해 가연성물질이 누출되어 발화원에 의해 중대재해가 발생할 수도 있으며, 또한 유해물질의 누출로 인한 독성가스누출 및 화재, 폭발 사고가 발생할 수도 있다. 따라서 사업장에서 중대재해의 위험을 최소화하기 위해 공정의 안전과 최적화된 조작이 이루어져야 하는데, 이를 위해서 작업 조건하에서 사용되는 취급물질의 인화점과 자연발화온도 등의 정확한 연소특성치 파악이 특히 중요하다.

국내의 사업장에서 취급하는 화학물질은 4만 5천여 종이 되며, 그 중 1만 9천여 종류만 안전보건공단 MSDS에 제공되고 있을 뿐 약 58%정도는 아직 위험성평가가 이루어지지 않은 상태이다. 석유류를 많이 취급하고 산업이 고도로 발달된 국가들에서는 이에 대한 기초 연구를 활발히 진행하고 있는 반면, 국내는 아직 안전에 관한 이해 및 관심의 부족, 연구의 제약성 및 화재위험성 평가는 인체 위험성이 높아 현재 대학연구 같은 한정된 연구만 진행되고 있는 실정이다.

자연발화(Autoignition 혹은 Spontaneous Ignition)는 가연성혼합기체에 열 등의 형태로 에너지가 주어졌을 때 스스로 타기 시작하는 산화현상으로, 주위로부터 충분한 에너지를 받아서 스스로 점화할 수 있는 최저온도를 최소자연인화성물질(Autoignition Temperature(AIT))이라고 한다.

본 연구에서 물을 포함하는 가연성과 난연성 3성분계 혼합물의 AIT를 측정하여 통계 분석을 통해 3성분계의 다른 조성에서도 AIT를 예측할 수 있는 식을 제시하였다.

## 금속 절단 시 발생하는 에어로졸 물리 화학적 특성평가

양원석 · 채낙규 · 이민호 · 최성열<sup>†</sup>

한국과학기술원

### Characteristics of Aerosol from Metal Cutting with Plasma Arc Torch

Wonseok Yang · Nakkyu Chae · Minho Lee · Sungyeol Choi<sup>†</sup>

Korea Advanced Institute of Science & Technology

<sup>†</sup>Corresponding author: sungyeolchoi@kaist.ac.kr

현재 451기의 원자력 발전소가 가동 중이며 30년 이상 운전한 원자력 발전소가 반이 넘는다[1]. 수명이 다한 원전은 해체해야 한다. 따라서 핵주기에서 마무리인 제염·해체 연구의 중요성이 더욱 커지고 있다. 원자력 발전소 해체 과정에서 방사성 에어로졸은 방사성물질을 절단하는 과정에서 주로 발생한다. 방사성 에어로졸은 작업자의 내부 피폭에 주요 요소이다. 따라서 작업자의 안전을 위해 방사성 에어로졸을 분석하는 것이 중요하다. 방사성 에어로졸이 신체에 미치는 영향은 방사능과 공기중역학적 직경(aerodynamic diameter)에 관련되어있다[2]. 해체 방사성 에어로졸 발생의 많은 비중을 차지하는 원전 금속 부품을 절단 시 발생하는 방사성 에어로졸을 공기중역학적 직경을 분석하는 장치를 구성하였다.

공기와 질소가스를 이용하는 플라즈마 아크 토치(poweramx125)를 이용하여 금속을 절단하여 에어로졸을 발생시킨다. 재현성과 실험자의 안전을 위해 외부와 폐쇄필터로 연결되어있는 챔버 안에서 절단을 하며 모든 절단 실험은 서보모터를 이용하여 속도를 조절하며 플라즈마 아크 토치의 출력을 조절할 수 있고 자동화되어있다. 챔버에서 샘플링 관을 통해 빼낸 에어로졸을 HR-ELPI(High Resolution Electrical Low Pressure Impactor) (Dekati)를 이용하여 공기중역학적 직경을 측정한다.

이 분석 장치를 이용하여 다양한 금속 절단 시 발생하는 에어로졸의 물리 화학적 분석을 통해 최종적으로 작업자의 안전을 향상할 수 있을 거라 예상된다.

\*\* 감사의 글: 본 연구는 한국연구재단의 연구비 지원(No. NRF-2017M2A8A4018596)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] IAEA, "REACTOR STATUS REPORTS Operational & Long-Term Shutdown", <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalByAge.aspx>,(2018), (accessed July 3, 2018).
- [2] M.-D. Dorrian, M. Bailey, Particle size distributions of radioactive aerosols measured in workplaces, Radiation Protection Dosimetry, 60 (1995) 119-133.



에어로졸 분석 장치

## 핵 테러 현장 검출을 위한 레이저 유도 파열 분광 분석 평가

이윤우 · 최성열<sup>†</sup>

한국과학기술원, 대전광역시 유성구 대학로 291

### Evaluation of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Analysis for In-situ Detection Possibility of Nuclear Terror Science

Yunu Lee · Sungyeol Choi<sup>†</sup>

Korea Advanced Institute of Science and Technology, 291 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34141, Republic of Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: sungyeolchoi@kaist.ac.kr

핵 및 방사성 테러가 일어나는 현장은 매우 긴박하며, 테러가 일어난 곳에서의 정확한 위해도 확인과 신속한 대응은 필수적이다. 감찰관을 보호하고 현장에서 증거를 수집하기 위해서 레이저 유도 파열 분광(LIBS, Laser-Induced Breakdown Spectroscopy)은 원격으로 수행된다. 아르곤 국립 연구소는 감마선을 방출하지 않는 스트론튬 90과 폴로늄 210은 방사능물질 살포장치(Radiological Explosive Device)의 후보 구성 물질이라고 제안하고 있다. 하지만, 가이거-뮐러계수기 등과 같은 기존의 방사능 검출 장치들은 감마선에 대해서만 민감하며 실시간 분석은 어려워 수일이 걸려야만 분석이 가능해, 그 과정에서 샘플의 손실이 발생하는 한계를 가지고 있다. 일반적으로 감마선 방출 핵종을 검출하는 기존의 기술을 보완하기 위해, LIBS는 짧은 시간만으로도 핵물질의 존재 유무를 판단할 수 있다는 것을 보여준다. 본 논문에서는 LIBS가 도시 환경 속에서 볼 수 있는 일반적인 물질을 배경으로 한 샘플위에 다양한 화학적 형태를 가지는 스트론튬을 검출하는데 적용되었다. 이를 위해 방사능물질 살포장치가 도심에서 폭발했다고 가정하여, 그의 구성 물질인 스트론튬이 도심에서 많이 볼 수 있는 알루미늄, 콘크리트, 그리고 흙에 분사되었다고 상정되었다. 핵물질을 얻기 위한 테러리스트의 경로 분석을 통해 재처리 공정과 원자력 전지(Radioisotope Thermoelectric Generator)로부터 얻을 수 있는 SrF<sub>2</sub>, SrCO<sub>3</sub>, 그리고 SrTiO<sub>3</sub>와 같은 총 3가지 화학적 형태를 가지는 스트론튬이 선택되었다. 이 3가지 화합물은 증류수에 용해되어 도심 모사 물질의 표면에 분사되었다. 각 샘플에 대해서, 검출한계가 707.0 nm에서 계산되었다. 검출한계를 줄이기 위해서 각 샘플에 대해 최대 100번의 다중 측정이 수행되었다. 알루미늄에서의 스트론튬 화합물 검출한계가 약 10 μg/cm<sup>2</sup>로 가장 낮은 값을 보였으며, 콘크리트에서는 약 100.0~150.0 μg/cm<sup>2</sup>, 그리고 흙에서는 20.0~90.0 μg/cm<sup>2</sup>의 값을 나타내었다. 한 가지 확인할 수 있었던 점은 다른 화합물이더라도 같은 도심 물질에서는 비슷한 검출한계를 보인 것이다. 이 연구에서 수행한 예비실험은 LIBS가 실시간으로 화학적 증거를 얻는 테러 물질의 검출을 빠르게 조사하기 위한 방법 중 하나가 될 수 있다는 점을 시사한다.

## 통합 훈련을 위한 중앙사고수습본부용 유해화학물질 유출사고 대응 시나리오 개발

김영진 · 오승현 · 허종찬 · 은종화 · 문일<sup>†</sup>  
연세대학교

Annual Conference of the KIHM : Development of a chemical  
accident response scenario for central disaster management  
headquarters for the integrated training

Youngjin Kim · Seunghyeon Oh · Jongchan Hur · Chonghwa Eun · Il Moon<sup>†</sup>  
Yonsei University

<sup>†</sup>Corresponding author: tytyuj@yonsei.ac.kr

복합적인 대응을 요구하는 재난에 효과적으로 대응하기 위해 다수의 기관을 동시에 훈련하는 훈련체계 및 프로그램이 개발되고 있다. 크기가 작은 집단 및 소규모 사고에 대해서는 협업을 토대로 한 훈련이 시행되고 있으나, 중앙부처가 개입하여 처리해야 하는 재난에 대해서는 하위 지자체와 유기적으로 연결되는 훈련이 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 유해화학물질 유출사고에 초점을 맞추어 기존 지방자치단체의 재난 대응 시나리오와 유기적으로 연결되는 중앙사고수습본부용 재난 대응 시나리오를 개발하였다. 시나리오는 매뉴얼 및 사례 분석을 통한 요소 분석, 주요 사태목록 선정, 상황대응 체계 개발, 상황 전달 체계 개발, 주요사태의 평가체계 개발의 5단계를 거쳐 개발되었다. 지역재난대책본부와 중앙사고수습본부는 목적이 상이하기 때문에 기존 시나리오의 13개 협업기능은 5개의 대응반 및 유관기관으로 대체되었다. 4단계로 구성된 대응 단계는 그대로 유지되었으나 각 대응 단계에서 핵심적으로 다뤄지는 주요 이슈는 본부의 설립목적에 맞추어 새롭게 추가되었다. 지역재난대책본부의 주요 이슈 중에서 상황전파, 주민대피, 환경오염, 주민복귀 및 현장조사의 내용이 중앙사고수습본부의 주요 이슈로 연결되었으며, 새롭게 지역사고수습본부 및 사고수습지원본부 운영에 대한 이슈를 추가적으로 선정하였다. 각 이슈에 대한 스토리보드를 작성하여 훈련에 대한 가이드라인을 제시하였고, 대응 행동의 오류가 있을 경우 상황에 맞게 평가 기준을 제시하여 훈련의 결과를 수치로 나타낼 수 있어 훈련 대상자의 대응 역량을 향상시킬 수 있도록 하였다.

## 유해화학물질 포집장치 및 방재제 살포장치를 포함한 차량탑재형 방재장비 설계 및 테스트용 시제품 개발

박진우 · 윤형준 · 서명재\* · 최창윤\* · 문 일<sup>†</sup>  
연세대학교 · \*제이엔케이히터

Development of prototype vehicle-mounted mobile decontamination equipment including hazardous materials collecting device and prevention agent spraying device

Jinwoo Park · Hyungjoon Yoon · Myungjae Seo\* · Changyoon Choi\* · Il Moon<sup>†</sup>

Yonsei University · \*JNK Heaters

<sup>†</sup>Corresponding author: jinkel7@yonsei.ac.kr

환경부에서는 2013년 사고대비물질 69종에 대해 환경위험성, 인체위험성, 사고발생빈도, 취급량 등이 고려된 분류로부터 방제대상물질 42종을 선별하였으며 해당 물질들의 경우 사고 위험균이므로 반드시 처리가 되어야한다. 이에 각 지방자치단체별로 유해화학물질 누출 현장 대응에 관한 연구 및 유해화학물질 누출사고 대비 합동훈련을 실시하고 있으나, 일부 유해물질 사업장의 경우 효과적인 방재장비가 마련되어 있지 않은 상황이다. 그러므로 유해화학물질 누출 현장 내외부로 확산된 액체/고체를 빠르게 포집 및 잔여물에 대한 방재제 살포를 목적으로 하는 차량탑재형 방재장비의 개발이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 다방면의 분석과 현장 테스트를 거쳐 차량탑재형 방재장비의 테스트용 시제품을 설계하고 제작하였다. 개발된 방재장비는 포집장치와 살포장치로 구성되어 있으며 운영 1단계는 유해화학물질을 대량 포집하는 단계, 운영 2단계는 잔여물에 대해 방재제를 살포하는 단계이다. 본 연구는 추후 시제품 개발의 바탕이 되어 사업장 내외로 유출된 유해화학물질의 확산 방지를 통하여 피해를 최소화하고 나아가 효과적인 방재활동에 직접적으로 기여할 것이라 예상된다.

\*\* 감사의 글: 본 연구는 환경부의 화학사고 대응 환경기술개발사업에서 지원받았습니다.

## 폭발성 폐기물 소각을 위한 유동층 반응기 최적 설계

조성현 · 박찬호 · 조형태 · 문일<sup>†</sup>

연세대학교

## Design & Optimization of Fluidized Bed Reactor for Explosive Waste Incineration

Sunghyun Cho · Chanho Park · Hyungtae Cho · Il Moon<sup>†</sup>

Yonsei University

<sup>†</sup>Corresponding author: muckre@yonsei.ac.kr

폭발물은 군사 무기의 가장 중요한 요소 중 하나이다. 군사 무기 내 폭발물들은 일정 기간이 지나면 폐기해야 하는데 이 물질들은 반응성이 매우 높으므로 폭발성 폐기물 소각 공정은 매우 위험한 공정이라고 할 수 있다. 현재 이러한 목적으로 로터리킬른이 사용된다. 그러나 이 공정은 불완전한 반응 및 핫스팟과 같은 몇 가지 문제점을 가지고 있으며 이는 NO<sub>x</sub> 형성 및 불안정한 공정 조건을 초래한다. 따라서 새롭고 보다 효율적인 형태의 소각로가 필요하다. 유동층 소각로는 효과적인 열 전달 및 혼합 환경 조성으로 잘 알려져 있기 때문에 이 소각 공정을 위한 반응기로 적합하다고 할 수 있다. 따라서 전산 유체 역학 (CFD) 모델을 사용하여 최적 반응기 조건을 연구하는 것이 필요하다.

전산 유체 역학 프로그램을 통해 반응기에서의 입자의 유동을 시뮬레이션 하였으며 공기 주입 속도와 같은 다양한 공정 조건을 바꿔 실험하였다. 또한 폭발성 폐기물의 분해 반응 또한 고려하여 반응기 내 온도 및 압력 조건을 계산하였다. 폭발성 폐기물은 직경 3mm로 가정하였으며, 연간 20,000kg을 처리하는것을 목표로 하였다. 또한 공정의 안전을 위해 반응기의 40%를 모래로 채워 넣었다. 이를 통해 반응기 내 온도와 압력을 최소화하는 최적 조건을 찾는 것을 목표로 하였다. 이 연구를 통해 폭발성 폐기물을 소각하는 공정을 안전하게 하고 효율적으로 하는데 큰 도움이 될 것이다.

## 주거지역을 고려한 화학물질 누출시나리오 기반의 화학단지 내 설비 최적배치 연구

이광희 · 유병길 · 김영진 · 문일<sup>†</sup>

연세대학교 화공생명공학과

### Optimal layout of facilities in chemical complexes considering residential areas based on chemical leaking scenarios

Kwnaghee Lee · Byeonggil Lyu · Youngjin Kim · Il Moon<sup>†</sup>

YONSEI University School of Chemical and Biomolecular Engineering

<sup>†</sup>Corresponding author: ilmoon@yonsei.ac.kr

화학산업단지는 다양한 장치와 건물들로 구성되어 있다. 산업이 대규모화 됨에 따라 설비 장치들의 규모 및 비용 역시 함께 증가하였다. 국내 화학산업시설은 노후화에 접어들게 됨에 따라 새로운 장비의 설치, 교체 등이 필요한 실정이다. 공장 내 설비 배치는 공정효율 뿐만 아니라 경제성 및 안전성의 측면에서도 중요하다. 특히 우리나라의 경우 영토가 좁기 때문에 공장 부지와 주거지역이 다소 밀집되어 있는 밀집형 산업단지가 많은 특징이 있다. 그동안의 화학단지 내 설비배치는 공정효율, 설비비용 및 공장부지의 비용을 고려한 배치로 인근 주거지역에 대한 고려보다는 산업단지 내부에 치중하여 진행되는 측면이 있었다. 본 연구는 밀집형 산업단지에서 사업장내부의 공정효율, 비용 뿐만 아니라 인근 주거지역의 안전요소를 고려하였다. 인근주거지역의 인구수, 보호계층 비율 등 구역의 특징에 따라 주거지역의 안전레벨을 3단계로 설정하였으며 이를 사업장 내부 배치 최적화 하는 과정에서 함께 반영하였다. 고밀도 화학물질의 누출 위험이 있는 단위 장치를 기존에 존재하는 설비 구조 내에 새롭게 설치하는 화학물질누출 시나리오를 설정하였으며 최적화 프로그램을 활용하여 최적의 배치를 도출하였다. 도출된 배치의 시나리오에 따른 결과를 전산유체모사 프로그램을 활용하여 비교 및 분석하였다. 본 연구는 기존 사업장 내부의 경제성 및 공정 효율, 안전 등 내부에 치중된 최적배치를 벗어나 사업장 외부의 주민 거주지역의 안전을 함께 고려한다는 측면에서 위험물질을 취급하는 공장지역의 전반적인 안전을 위한 기반 연구가 될 것으로 기대된다.

## 병원시설 내 아날로그 광전식 연기감지기의 비화재보에 관한 연구

김홍관\* · 천영우\* · 고광훈\* · 박종필\* · 이익모<sup>†\*\*</sup>

\*인하대학교 대학원 환경안전융합전공 · \*\*인하대학교 화학과

### A Study on the False Fire Alarm for the Analog Photoelectric Type Smoke Detectors in the Hospital Facilities

Hong-Kwan Kim\* · Young-Woo Chon\* · Kwang Hoon Ko\* · Jong Pil Park\* · Ik-Mo Lee<sup>†\*\*</sup>

\*Program in ET&ST Convergence, Inha University Graduate School

\*\*Department of chemistry, Inha University

<sup>†</sup>Corresponding author: imlee@inha.ac.kr

2010년 포항 요양원 화재, 2013년 포천요양병원 화재, 2014년 장성요양병원 화재, 2018년 밀양세종병원 화재 등을 제외하고 대부분의 병원화재는 그 규모가 작고 초기에 발견되면서 즉시 진화되었다. 그러나, 언제 작은 일이 감당할 수 없게 되어 불어나 큰 재앙을 불러올지 아무도 예측할 수 없다. 화재감지기는 화재시 화재발생을 자동으로 감지하여 신호를 수신에 발신하는 장치로 화재를 조기에 감지할 수 있는 매우 중요한 역할을 하고 있다. 화재시에 발생하는 물리현상 또는 연소생성물에 의해 경보를 발하도록 되어 있으나 화재가 아닌데도 조건에 충족하면 화재로 인식하여 경보를 발하는 것을 비화재보(Unwanted Fire Alarm)라고 한다. 화재수신기 그래픽명령센터(TSW) 내 과거에 발생한 정보를 500,000개까지 보존하여 기간별로 방재 기록을 확인할 수 있어 비화재보의 확인이 가능하다.

이에 본 연구에서 2015년 338건, 2016년 429건, 2017년 406건의 병원건물 10개소에 대한 3년간의 화재감지기 오동작으로 인한 비화재보 통계에 대하여 조사를 실시하였고, 비화재보 현황은 발생시간, 장소, 원인별로 분석하였다. 이러한 자료를 통해 병원건물 내 비화재보의 발생 감소를 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 소방안전관리대상물에서는 선행 연구자료 등에서 제시한 자동환경보정, 신호처리 알고리즘에서 경보레벨 설정, 오염상태 감시 기능을 통한 방법으로 비화재보 최소화하고 있고, 추가적인 개선방안을 마련을 통해 리스크 저감과 소방시설의 신뢰성을 높을 수 있을 것으로 판단된다.

## 수소 누출 사고 발생시 안전성 확보를 위한 자연환기 및 강제환기 연구

이재원 · 조승식 · 최지원 · 김민수 · 허종찬 · 문일<sup>†</sup>

연세대학교

## Natural and Forced Ventilation

Jaewon Lee · Seungsik Cho · Jiwon Choi · Minsu Kim · Jongchan Hur · Il Moon<sup>†</sup>

Yonsei University

<sup>†</sup>Corresponding author: jw\_lee9011@yonsei.ac.kr

울산 온산읍에 위치한 수소타운은 인근의 석유화학단지로부터 공급되는 부생수소를 활용하여 주거지역 및 주변시설에 공급하고 있다. 각 시설에는 연료전지가 설치되어 있으며 공급된 부생수소를 원료로 하여 전기를 생산하고 있다. 총 공급 및 생산 시스템은 수송, 감압, 사용처 세 파트로 구분되며 수소를 사용하는 시설이므로 안전성 확보가 필수적이다. 선행연구의 결과, 18 bar에서 0.5 bar로 압력을 낮추는 공정이 존재하는 감압시설의 위험성이 가장 높았다. 감압 전·후로 수소의 누출사고가 발생할 가능성이 높으며 수소의 물리·화학적 특징으로 인하여 화재 및 폭발의 사고로 이어질 가능성이 있다. 하지만 수소는 존재하는 물질 중 가장 가벼운 물질로써, 환기구를 적절히 설치한다면 해당 시설의 안전성을 확보할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수소 누출사고 발생시 안전성을 확보하기 위하여 환기구의 면적, 위치에 대한 유체전산모사(CFD) 시뮬레이션을 진행하였다. 환기구 면적은 시설 바닥면적의 3, 6, 9, 12 % 총 네 가지 경우로 진행하였으며, 환기구의 위치는 상단, 교차, 위-아래 형태의 총 세 가지 케이스의 시뮬레이션을 진행하였다. 화재 및 폭발사고를 방지하기 위한 최소요구조건인 1/4 LFL (lower flammable limit) 농도 이하로 수소내부 농도를 유지하는 것을 목표로 하였다. 시뮬레이션 결과, 환기구의 면적은 시설 바닥면적의 12%, 환기구 위치는 위-아래 교차형태가 가장 효과적인 결과를 보였다. 하지만 자연환기로는 안전성 확보에 부족함을 확인하였으며, 추가적으로 시설 내부 수소농도를 낮추기 위하여 강제환기 연구를 진행하였다. 강제환기 연구는 사고 발생시 초동조치로 불활성기체를 주입하여 진행하였으며 이를 활용시 기준농도 이하로 시설내부의 수소농도를 유지하여 안전성을 확보할 수 있었다.

## 설문조사를 통한 가스안전훈련 시스템 개선방안 연구

윤혜주 · 유철희 · 이효렬 · 조영도

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on the Improvements with the Gas Safety Training System through Public Opinion Survey

Hye-Ju Yun · Chul-Hee Yu · Hyo-Ryeol Lee · Young-Do Jo

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

†Corresponding author: gusari@kgs.or.kr

현재 한국가스안전공사에서는 가상현실을 이용한 안전훈련 콘텐츠를 개발하여 교육현장에 적용하고 있으며, 가상현실 기술의 체계는 PC기반의 오쿨러스 리프트, 모바일이나 돔(dom) 스크린을 이용한 훈련방식이 있다. 또한 법정교육 훈련생들을 대상으로 가상현실기반 안전훈련 시스템 구성의 안전훈련 콘텐츠를 체험하도록 가상현실 가스안전교육을 실시하고 있다.

본 연구에서는 가상현실기반 가상현실시스템의 보완을 위하여 총 5가지 설문항목을 설정하고 개선사항을 도출하였다. 설문조사의 세부항목은 가상현실 교육과 이론교육 비교, 가상현실 안전훈련 시스템의 필요성 여부, 가상현실교육과 이론 교육의 병행시 교육 효과, 안전훈련이 필요한 훈련 시나리오 및 가상현실기반 안전훈련 시스템의 완성도를 높이기 위한 개선 사항에 대한 항목을 조사하였다. 설문대상은 독성가스 법정교육을 수료한 조업자를 대상으로 이루어졌으며, 가상현실 기반 안전훈련을 시행하고 설문조사를 실시하였다.

2018년 5월부터 6월까지 총 8회 설문조사를 실시하였고, 총 설문조사 참여자는 214명으로 시행한 결과는 아래의 표와 같다. 아래의 결과를 살펴보면, 먼저 가상훈련을 통한 훈련이 이론 교육보다 효과적이라는 질문에 ‘매우 그렇다’라는 의견이 128표로 59.8%를 차지하였으며, 가상현실기반 안전훈련 시스템의 필요성 여부의 질문의 경우에도 ‘매우 그렇다’의 의견이 125표로 58.4%로 가장 많이 차지하는 것을 확인할 수 있었다. 위의 결과를 통하여 4차산업혁명으로 대두되고 가상현실기술이 교육분야에서도 긍정적인 부분에 응용될 수 있을 것이라는 기대 및 가능성을 확인할 수 있었다.

또한 안전훈련 시나리오를 조사한 결과 가스분야에서는 누출시 비상대응 훈련 및 사고 대피훈련의 경우 가장 많은 표를 차지하는 것을 확인하였고, 안전훈련 시나리오의 방향성도 설문조사를 통하여 재정비할 수 있었다. 또한 총 113건의 보완 및 건의사항을 통하여 현장에서 적합한 훈련시나리오 및 안전훈련 시스템을 구축하도록 개선방안을 검토하였다.

훈련생들의 답변 중 가장 많은 부분에서 가상현실 컨트롤러 조작의 어려움을 나타내었으며, 이를 보완하기 위하여 컨트롤러 조작부분을 최소화하고 훈련콘텐츠에서도 컨트롤러 조작법을 제시하도록 설정하였다. 또한 각 단계별 확인해야 할 사항들을 추가하여 보호구 종류 및 체크리스트, 가스검지기 등의 실무에서 확인해야 하는 사항을 화면에 사용자가 한눈에 볼 수 있도록 개선하였다. 추가적으로 12월까지 설문조사를 계속 진행하며 보완사항을 체크하고 시스템의 완성도를 높이도록 추진할 계획이다.

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

## 제일원리 계산을 이용한 LiCl-KCl 용융염 내 $\text{Eu}^{3+}$ 의 자발적 환원반응에 대한 연구

권초아, 노승효, 전호제, 황일순\*, 한병찬†

연세대학교 화학생명공학과

\*서울대학교 원자핵공학과

## First-Principles Computational Study on Spontaneous Reduction Reaction of $\text{Eu}^{3+}$ in a LiCl-KCl Molten Salt

Choah Kwon, Seung Hyo Noh, Hoje Chun, Il Soon Hwang\*, Byungchan Han†

Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University

\*Nuclear System Engineering, Seoul National University

†Corresponding author: bchan@yonsei.ac.kr

Using first principles calculations, we study fundamental mechanism of spontaneous reduction reaction of  $\text{Eu}^{3+}$  to  $\text{Eu}^{2+}$  in eutectic LiCl-KCl molten salt. We decouple the reaction Gibbs free energy into enthalpy and entropy contributions using rigorous thermodynamic formalism. Key structural features of the solvation shell are characterized by the radial distribution function (RDF) and the coordination number. Compared to  $\text{Eu}^{2+}$  the  $\text{Eu}^{3+}$  ion has a more rigid framework of the solvation shells, corroborating its stronger electrostatic interaction with neighboring ligands of  $\text{Cl}^-$  ions and a more favorable state on the aspect of enthalpy. Computations on vibrational frequency, however, pose significant contribution of vibrational entropy to the reaction Gibbs free energy for the reduction. Vibration frequency of  $\text{Eu}^{2+}$  is smaller than that of  $\text{Eu}^{3+}$ , driving a more positive change of the entropy in the reduction reaction. Furthermore, an  $\text{Eu}^{2+}$  diffuses more quickly than an  $\text{Eu}^{3+}$  in the LiCl-KCl molten salt with switching mechanism of ligand  $\text{Cl}^-$  ions in the solvation shell. Our results propose that the spontaneity of the reduction reaction is driven by the entropic contribution by overcoming the penalty of the reaction enthalpy.

## 알루미늄 도핑된 산화아연 입자의 Pt 촉매 적용을 통한 아세톤 검지 성능 향상 연구

유 란 · 구아란 · 우성필 · 이현숙 · 이우영<sup>†</sup>  
연세대학교 신소재공학과

### Enhanced Acetone Sensing Properties of Pt-loaded Al-doped ZnO Nanoparticles

Ran Yoo · Aran Koo\* · Sungpil Woo · Hyun-sook Lee · Wooyoung Lee<sup>†</sup>

Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, 50 Yonsei-ro,  
Seodaemun-gu, Seoul, 03722, Republic of Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: wooyoung@yonsei.ac.kr

We report the excellent sensing performance of Pt-decorated Al-doped ZnO (Pt-AZO) nanoparticles (NPs) for the detection of the hazardous gas acetone ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ). The Al-doped ZnO (AZO) NPs were synthesized using a hydrothermal method in an aqueous solution containing Al. Platinum was deposited on the surface of the AZO NPs during sputtering, spontaneously stirring the AZO NPs in an agitated vessel. Under the exposure to 10 ppm acetone at 450°C, the Pt-AZO NPs exhibited a remarkably enhanced sensing response ( $R$ ) and response time ( $t_R$ ) compared to those of the AZO and the pure ZO NPs: (i)  $R = 421$  and  $t_R = 2.9$  s for the Pt-AZO, (ii)  $R = 56$  and  $t_R = 15$  s for the AZO, and (iii)  $R = 17$  and  $t_R = 51$  s for the pure ZO. Furthermore, the sensing properties of the Pt-AZO NPs to 10 ppm acetone was superior to previously reported acetone sensors that are based on semiconducting metal oxides. From physical and chemical analytic measurements, we found that the Pt NPs in the Pt-AZO NPs play a crucial role in improving the acetone sensing performance. The spillover effect, which is also called as the catalytic effect of the Pt NPs, can be ascribed to the greater number of oxygen vacancies, higher carrier concentration, and larger specific surface area in the Pt-AZO NPs than in the AZO NPs, providing more active adsorption sites as well as enhancing the kinetics of the surface reaction.

## 원자로냉각재계통 내 부식생성물 거동을 추정하기 위한 선원항 모델링 방법 연구

한화정 · 김범규 · 김원기 · 박병기<sup>†</sup>  
순천향대학교

### A Study on Source-term Modeling Method to Corrosion Product Behavior Estimation in Reactor Coolant System

Hwajeong Han · Beomkyu Kim · Wonki Kim · Byunggi Park<sup>†</sup>  
Soonchunhyang University

<sup>†</sup>Corresponding author: byunggi@sch.ac.kr

원자로냉각재계통에서 냉각재와 구조 재료의 상호작용으로 발생하는 부식생성물은 냉각재를 따라 계통을 순환하면서 핵연료봉의 피복관 표면에 침적되어 크러드층을 형성한다. 부식생성물은 다양한 입자성 및 용해성 화학종으로 구성되며 부식생성물의 발생, 수송, 방사화, 침적 및 성장에 따라 붕소잠복에 의한 CIPS (Crud Induced Power Shift) 현상이나 열전달 성능 감퇴에 의한 CILS (Crud-Induced Localized Corrosion) 현상의 발생으로 발전소 운영에 장애를 유발할 수 있다. 따라서 크러드 침적과 성장에 기여하는 부식생성물 선원항의 평가는 크러드 침적과 성장에 기인한 현상들을 예측하기 위해 필요하다. 원자로냉각재계통 내 크러드 발생·이송·침적을 모사하는 선원항 모델을 개발하기 위해 복잡한 유동을 가지는 고온/고압 환경을 고려하여 물질보존과 검사체적법을 이용하여 모델링하였다. 원자로냉각재계통을 여러 개의 검사체적으로 구분하고 검사체적 내 존재하는 화학종들이 고온 환경에서 화학적으로 평형에 있다고 가정하여 물질보존식을 수립하였다. 부식생성물 선원항 평가를 위해 개발한 전산 모델은 실제 가압경수로 운영 데이터를 바탕으로 검사체적 내 평형 상태에서 냉각재의 농도 및 온도 변화에 따라 각 화학종들이 가지는 몰 분율로부터 도출된 플럭스값을 이용하여 물질보존식을 풀이하고 부식생성물의 양을 추정할 수 있다. 원자로냉각재계통 부식생성물 선원항의 평가는 부식생성물의 발생으로 인한 크러드 침적 및 성장 모델의 입력 자료로 활용되어 그로부터 기인되는 현상들을 예측하는 데에 기여할 수 있을 것이다.

## 유동층반응기를 포함하는 더블베이스 추진제 배기가스의 후처리 공정 공정도 개발

황래문 · 김현수\* · 박정수\* · 오민\*\* · 문일†

연세대학교 · \*국방과학연구소 · \*\*한밭대학교

### Flow diagram of treating waste gas from double base propellant combustion using fluidized bed reactor

Raymoon Hwang · Hyunsoo Kim\* · Jungsoo Park\* · Min Oh\*\* · Il Moon†

Yonsei University · \*Agency of Defense Development · \*\*Hanbat National University

†Corresponding author: raymoon@yonsei.ac.kr

최근 폭발성 폐기물을 적절히 다루는 것은 어려운 문제이다. 대부분의 폭발성 폐기물은 단순히 매장되고 있으며 소량의 폭발성 폐기물이 처리가 되고 있는 실정이다. 폭발성 폐기물을 처리하는 주요 방법은 로터리 킬른 반응기를 이용하여 연소시키는 것이다. 그러나 로터리 킬른 반응기를 이용하는 처리 방법은 폭발 메커니즘을 기반으로 하기 때문에 처리 도중 폭발의 위험이 있다. 또한 로터리 킬른 방식은 회분식 반응기를 사용하므로 불연소 반응 비율이 높아 폐기물을 충분히 처리 할 수 없다. 마지막으로, 비 연속 공정의 한계 때문에, 정제 공정의 효율이 낮아 불완전 연소를 초래한다. 이 불완전 연소는 배기가스에 유해한 물질의 함유량을 높인다. 위에서 소개 한 로터리 킬른 방법의 한계를 극복하기 위해서는 다른 종류의 연소 기반 공정의 개발이 필요하다. 따라서 유동층 반응기를 포함하는 흐름도가 Aspen Plus를 이용하여 개발되었다. 해당 모사에서는 폭발성 폐기물 슬러리와 동일한 비율의 물의 혼합물을 유동층 반응기에 공급 하였다. 또한 반응기를 보다 적합하게 만들기 위해 배기 가스를 후처리하는 공정들을 선택하고 설계하였다. 또한 제안 된 공정을 열역학적으로 분석하고 효율 평가를 실시했다. 마지막으로 프로세스의 개선 가능성이 도출되었습니다. 이 연구결과의 최종 배기 가스는 한국의 환경 규제를 만족시켰다. 이 공정은 한국의 폐기물 추진 제 총량 인 3000 톤/년을 처리 할 수 있는 반면 배기가스는 CO 25ppm/hr, NO2 10ppm/hr의 규제를 만족하였다. 본 연구는 폭발성 폐기물 처리 공정의 효율 향상 및 국내 기술 보유에 기여할 것으로 기대된다.

\*\* 본 연구는 방위사업청, 국방과학연구소, 차세대융복합에너지물질특화센터 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

## 유동층 소각로 내부에서의 Double based propellant 소각 공정 모사 및 사례 연구를 통한 안전 연소 조건 도출

이지현 · 김현수\* · 박정수\* · 오민\*\* · 문일†

연세대학교 · \*국방과학연구소 · \*\*한밭대학교

### Simulation of Double-Based Propellant incineration process in a fluidized bed incinerator and derivation of safe combustion condition

Jiheon Lee · Hyunsoo Kim\* · Jungsoo Park\* · Min Oh<sup>†\*\*</sup> · Il Moon<sup>†</sup>

Yonsei University · \*ADD · \*\*Hanbat University

<sup>†</sup>Corresponding author: wlgjs622@yonsei.ac.kr

한국에서는 그간 폭발성 폐기물을 야외 소각이나 해양 투기를 통해 처리해왔다. 하지만 환경 오염에 대한 규제가 점점 심해지고 있는 오늘날, 기존의 방식으로는 환경 문제와 안전성 문제를 해결하기가 힘들어서 새로운 처리 방식의 필요성이 대두되었다.

본 연구에서는, 적은 공기량과 상대적으로 폭발의 위험이 적은 온도 조건에서 공정을 진행하는, 유동층 반응기 기술을 소각로에 접목시켜 연구를 진행하였다. 대상 물질은 국내에서 가장 많은 양이 생산, 폐기되고 있는 폐 추진제의 일종인 Double Based Propellant(이하 DBP)이다. 이 DBP를 물과 혼합한 슬러리 형태로 소각로에 주입시켜 폭발이 일어나지 않는 조건에서 연소시키는 반응을 모사하였다. 소각로의 모양은 선행 연구를 통해 지름 2.0m, 높이 9.0m의 실린더형으로 선정하였고, 본 연구에서는 추가적으로 슬러리 입자의 물과 DBP 간 혼합 비율을 변화시키며 사례 연구를 진행하였다.

연구 진행 결과, 소각로 내부에서 DBP 입자가 폭발하지 않고 안전하게 열분해되는 것을 확인하였다. 본 연구를 토대로 국내에 실제 소각로를 설계하면, 기존에 누적되어서 처리되지 못한 폭발성 폐기물 및 추후 생산되는 폐기물까지 처리를 할 수 있을 것으로 사료된다.

## 방호벽을 이용한 화학물질 누출사고 피해 감소전략

유병길 · 이광희 · 문일<sup>†</sup>

연세대학교

### Damage reduction strategies for chemical accident using mitigation barrier

Byeonggil Lyu · Kwanghee Lee · Il Moon<sup>†</sup>

Yonsei University

<sup>†</sup>Corresponding author : longs25@yonsei.ac.kr

2012년 구미 불산 누출 사고 이후 화학물질 안전관리의 중요성이 크게 대두되었으며, 이를 개선하기 위한 많은 방안이 제안되었다. 대표적으로 ‘화학물질관리법’이 새로 제정되었으며, 이에 따르면 모든 화학 물질 취급 기업은 화학 물질에 대한 장외 영향평가를 수행하고, 그 결과에 따른 위해 관리 계획을 수립해야한다. 이에 국내 석유화학 플랜트의 장외 영향평가 수행 결과 피해영향을 줄이기 위한 누출 사고 후 방호계획을 설립할 필요성이 대두되었으며, 혁신적인 방호계획이 제안되었다. 화학 물질 누출 사고가 발생했을 시 물질의 확산으로 인한 피해를 감소시키기 위하여 30m이상 높이의 대형 방호벽을 건설하는 계획이 제안되었고, 실제 현장에 적용되어있다. 이에 본 연구에서는 방호벽의 피해 저감 영향을 확인하기 위하여 사고 시나리오를 산정하고, 이에 따른 사고시 피해저감 효과에 대해 확인하였다. 공장 내의 다양한 장치의 운전조건과 시나리오 산정기준에 따라 사고시나리오를 산정하였으며, 이에 따른 사고 시물레이션을 수행하였다. 총 24개의 사고시나리오가 산정되었으며, 시물레이션을 위해 대표적으로 두 가지의 사고시나리오를 선정하였다. 각각의 시나리오는 인근 주민거주지역과 가장 가까이 있는 톨루엔 저장탱크에서의 누출사고, 가장 높은 높이에 있는 자일렌 분리탑에서의 누출사고로, 산정된 24개 시나리오 중 가장 위험한 영향을 미칠 수 있는 시나리오로 평가되었다. 전산유체역학 시물레이션에 널리 이용되는 FLACS를 이용하여 대표적인 사고인 폭발, 화재, 그리고 독성 물질 확산에 대한 사고시물레이션을 수행하였으며, 방호벽의 피해저감 효과에 대해서 확인할 수 있었다. 방호벽이 적용되었을 때, 폭발 및 화재의 영향은 거의 미비한 것으로 확인되었으며, 독성물질의 확산으로 인한 피해 역시 크게 낮출 수 있는 것으로 확인 되었다. 화학물질의 사고예방계획 뿐 아니라 사고발생 시 피해저감 대책으로서 방호벽은 매우 훌륭한 방법으로 이용되고 있으며, 실제 이를 이용한 피해 저감 계획은 공장 근처의 지역 사회의 안전 문화를 개선 할 것으로 기대되고 있다. 또한 정유 및 석유화학산업에서의 사고시 피해 저감 대책의 좋은 사례가 될 것이다.

## CFD를 이용한 fluidized bed 혼합 효율 분석 - 폐 탄약 처리 기반 연구

박찬호 · 이지현 · 김현수\* · 박정수\* · 오 민\*\* · 문 일†

연세대학교 · \*국방과학연구소 · \*\*한밭대학교

### Annual Conference of the KIHM : Fluidized bed mixing efficiency analysis with CFD – Fundamental research for treating the waste ammunition

Chanho Park · Jiheon Lee · Hyunsoo Kim\* · Jungsu Park\* · Min Oh\*\* · Il Moon†

Yonsei University · \*Agency for Defense Development · \*\*Hanbat National University

†Corresponding author: ilmoon@yonsei.ac.kr

폐 탄약의 경우 매립 혹은 연소를 통하여 처리된다. 이 중 연소를 통한 폐 탄약 폐기 방법은 매립에 비해 환경오염이 적고, 폐 탄약의 잔존 에너지를 활용 가능하다는 측면에서 장점이 있다. 그러나 연소 시 폐 탄약의 특성 및 안정성을 고려하여 많은 양의 폐 탄약을 처리하기가 힘들다. 즉 다른 공정처럼 단순한 사이즈업으로 처리하기 힘들어 국내 발생량을 모두 처리하기 힘든 실정이다. 이에 기존의 로터리킬른 등을 이용한 방법으로는 연간 3,000톤 가량의 국내 폐 탄약 폐기물을 모두 처리할 수 없어 추가적인 공정 개선 방안 모색이 필요하다. 여러 공정 중 fluidized bed를 이용한 공정은 기존 방법에 비해 안정성이 뛰어나고 처리용량의 증대가 용이하다는 장점이 있다. 이때 fluidized bed 내부 입자가 충분한 bubbling을 통해 폐 탄약의 연소에서 발생하는 열을 흡수하고, 혹시 발생할 수 있는 충격을 분산시켜주는, 입자의 효과적인 fluidization이 필요하다. 그러나 기존의 연구에서는 이러한 bubbling을 정확히 평가할 수 있는 기법이 없어 장치의 공정 조건 및 디자인 개선을 검증하는 것에 어려움이 있었다. 이에 본 연구에서는 효과적인 fluidization 평가를 위하여 bubbling을 통한 mixing이 발생하는 것을 수치화하는 평가 기법을 제시하였다. 예시 공정으로 장치에 두 종류의 입자를 채운 후 fluidization 시 두 입자의 혼합 정도를 모사하였다. 이때 기존의 bin counting method를 응용하여 새로운 정량적 입자 혼합 품질 평가 기법을 개발하고 fluidized bed 내부 입자의 혼합 품질을 평가 하였다. 이에 fluidization 성능에 대한 수치화가 이루어 졌다. 이에 추후 fluidized bed 의 bubbling 효과 극대화를 위한 구조 개선 및 운전 조건 최적화 등에 대한 연구를 위한 기반을 마련하였다.

\*\* 본 연구는 방위사업청, 국방과학연구소, 차세대융복합에너지물질특화센터 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

## 제일원리기반 사용후 핵연료에서 알파붕괴로 인한 헬륨 기체의 안정성 조사

이관평 · 권초아 · 한병찬<sup>†</sup>

연세대학교 화공생명공학과

## First-Principle Study on Stability of He in Spent Nuclear Fuels after alpha decay

Kwanpyung Lee · Choah Kwon · Byungchan Han<sup>†</sup>

Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University

<sup>†</sup>Corresponding author: bchan@yonsei.ac.kr

We discuss results of first principles density functional theory (DFT) calculations of  $\text{UO}_2$  crystals with helium atoms in octahedral interstitial position(OIS) or at the grain boundary. We consider thorium atoms generated through  $\alpha$ -decay when calculating the incorporation energy of He. We have a result that thorium atoms do not affect significantly the incorporation energy of helium considering the long half-life of U-238(4.45 billion years). Also, to mimic grain boundary, we set a hollow nanoparticle by doing Wulff construction. In the case of  $\text{UO}_2$ , (111) surface with anion termination is much more stable than any other surfaces(surface energy of (111), (110), (100) are 100.6, 76.2, and 52.8 meV/Å<sup>2</sup>, respectively), nanoparticle consists of only (111) surfaces with anion termination. We discuss results of ab-initio molecular dynamic (AIMD) simulations to identify the condition that helium atoms in grain boundary could remain stable, which shows the condition that  $\text{UO}_2$  crystal could be stable without significant crack under pressure generated through  $\alpha$ -decay.

## LNG 연료 추진 선박 엔진 내 가연성 증기로 인한 폭발 방지 장치 연구

이효렬<sup>†</sup> · 유철희

한국가스안전공사 가스안전연구원

## A Study on the Prevention Device for Explosion caused by Flammable Mists in Marine Engine of LNG Fueled Ships

Hyo Ryeol Lee<sup>†</sup> · Chul Hee Yu

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

<sup>†</sup>Corresponding author: hrlee@kgs.or.kr

선박엔진 내부의 피스톤이 장시간 왕복 운동하는 동안 피스톤 링과 실린더 벽 사이의 마찰로 피스톤 링에 마모가 발생하게 된다. 마모된 틈 사이로 연료에서 발생하는 가연성 증기가 크랭크실로 유입되고, 엔진 동작에 따른 증기의 압축과 온도의 상승으로 실린더 아닌 크랭크실에서 이상 폭발이 발생할 수 있다. 이상 폭발은 최초 폭발 이후 압력강하가 발생하고, 대기와의 압력 차이로 인해 외부 공기가 크랭크 실로 유입되어 최초 폭발보다 훨씬 규모가 큰 연쇄 폭발이 일어날 수 있다. 특히, 선박의 경우 폭발 및 화재가 발생하면 외부로부터 소방 활동을 기대하기 어렵기 때문에 자력으로 화재를 진압해야하며, 초기에 신속히 대응하지 않으면 대형 화재로 번져 선박이 전소되거나 인명피해가 발생할 가능성이 높아진다. 이처럼 크랭크 실에서 발생하는 이상 폭발로 인해 물리적·인적 자원의 피해를 예방하기 위해 폭발 시 압력 해제와 화염을 제거하는 크랭크실 릴리프 밸브를 설치하고 있다. 국제선급협회(IACS : International Association of Classification Societies)에서는 IACS UR M9 규정을 제정하여, 2006년 1월 1일 이후에 건조 계약되는 선박 엔진의 실린더 지름이 200 mm 이상이거나 크랭크실의 총 체적이 0.6 m<sup>3</sup> 이상일 경우 크랭크실 측면에 릴리프 밸브 설치를 의무화 하고 있다.

국제해사기구(IMO : International Maritime Organization) 산하 해양 환경 보호위원회에서는 선박 운항으로 발생하는 유해가스로 인한 대기 오염을 줄이기 위해 2013년부터 배출량 규제를 시작하였고, 2025년까지 매년 지속적으로 규제 수준을 강화하고 있다. 선박 제조사는 배출 규제에 만족하기 위해 선박유와 LNG를 사용하는 이중연료 엔진, 기존의 선박유를 LNG로 완전히 대체하는 선박을 개발하고 있으며, IACS 규정에 의해 크랭크실 릴리프 밸브의 설치가 필수적이다. 국제 공인 인증 시험기관인 FTZU(Physical Technical Testing Institute)에서는 EN 14797에 따라 LNG 연료 추진용 크랭크실 릴리프 밸브 인증 시험을 진행하고 있다. EN 14797을 검토한 결과 시험 항목으로는 작동 압력과 오차범위, 누설량, 폭발 시 파편 및 비산물 발생여부, 폭발 시 구성품의 파단여부가 있으며, 기준을 만족하기 위해 다음의 연구를 수행하였다.

릴리프 밸브의 요구 작동 압력 만족과 폭발 압력의 원활한 배출, 경제성을 고려한 밸브의 높이 선정과 스프링을 설계하고 구조 해석을 통해 설계 타당성을 검증하였다. 폭발 시 발생한 화염은 릴리프 밸브의 적층된 타공판을 통과하는 동안 발생하는 열전달로 인해 소멸되며, 유한요소 해석을 통해 폭발 압력, 온도 조건에 따른 타공판의 구조 안전성과 화염의 온도 변화 특성을 분석하여 적층 수와 형상을 결정하였다. 개발된 릴리프 밸브의 성능 검증을 위해 작동 압력과 기밀성능, 폭발 시험 장치를 구성하고 EN14797에 따라 성능 시험을 진행하였으며, 시험 결과 요구 목표치를 만족함을 확인하였다. 향후 가격 경쟁력 향상을 위해 타공판의 재질에 따른 특성 분석과 적층 수 및 형상 최적화에 대한 연구를 수행할 예정이다.

## 물리탐사를 이용한 위험물질 저장소 주변 지반의 안정성 검토방안

김우석<sup>†</sup> · 권오일 · 백용 · 정재형 · 이종현 · 김동민

한국건설기술연구원

### A Study on the Stability of Ground Surrounding Hazardous Storage Facilities Using Geophysical Exploration

Woo-Seok Kim<sup>†</sup> · Oil Kwon · Yong Baek · Jaehyung Jung · Jonghyun Lee · Dongmin Kim

KOREA INSTITUTE of CIVIL ENGINEERING and BUILDING TECHNOLOGY

<sup>†</sup>Corresponding author: kws@kict.re.kr

물리탐사는 물리적 특성에 의하여 측정하는 물리량의 종류에 따라 구분하는 방법을 사용 하는 것으로 중력탐사를 비롯하여 자력탐사, 전기 및 탄성과탐사 등이 있다. 최근에는 탄성과 굴절법과 전기비저항, 탄성과 토모그래피 등도 활발히 사용되고 있다. 지반조사 과정에서의 물리탐사의 활용은 대체로 특정 시설물의 건설에 있어서 좋은 조건의 지질 및 지반조건을 선정하는 차원에서 이루어지고 있으며 아울러 나쁜 조건의 지질 및 지반을 배제하는 목적으로 이용된다고 볼 수 있다. 자료의 수집, 처리, 결과 해석 과정을 거쳐 원하는 특정 대상(위험물질 저장소 등) 주변의 안정성 검토에 유효한 자료를 제시할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 물리탐사 중 지표지진탐사(GPR), 토모그래피 등을 이용한 탐사 데이터 결과 분석을 통하여 위험물질 저장소 등의 주변 지반의 안정성 검토방안을 마련하고자 한다. 지표(GPR) 및 지중(토모그래피)에서의 탐사를 수행하여 지반의 안정성 검토를 수행하였다. 이러한 연구를 통하여 탐사의 규모나 심도, 측정기기의 정밀도, 노이즈의 정도 등이 탐사 결과에 크게 영향을 미치는 것으로 파악되었으며, 이에 대한 정확한 파악이 필요하다고 생각된다. 또한, 물리탐사 방법을 이용하여 원자력 시설, 지하 비축기지, 도심지 대규모 지하시설물 등의 대규모 시설물에 대한 주변 지반안정성 평가에 충분히 활용이 가능할 것으로 판단된다.

\*\* 본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 건설기술연구사업(지반함몰 발생 및 피해 저감을 위한 지반 안정성 평가 및 굴착·보강 기술개발, 18SCIP-B108153-04)의 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 이미지데이터를 활용한 원자력시설의 안전성 평가기법

김우석<sup>†</sup>

한국건설기술연구원

### Safety Evaluation Method of Nuclear Facilities Using the Image Data

Woo-Seok Kim<sup>†</sup>

KOREA INSTITUTE of CIVIL ENGINEERING and BUILDING TECHNOLOGY

<sup>†</sup>Corresponding author: kws@kict.re.kr

최근 국내외적으로 자연적 재해(지진, 화산, 태풍 등) 및 인위적 재해(시공 불량, 유지관리 미흡 등)에 따른 위험 시설물에 대한 안전성 평가방법에 관한 연구를 많이 진행되고 있다. 특히, 원자력 시설의 경우 인간의 접근성이 쉽지 않은 시설물인 관계로 더욱 안전성 평가에 대한 연구가 많이 수행되어야 된다고 본다. 이러한 평가를 위한 연구분야 중 이미지 데이터를 활용한 연구가 좋은 방법 중에 한가지로 대두되고 있다. 이에 원자력시설과 같은 특정위치를 대상으로 이미지 데이터를 이용하여 장단기적으로 지반의 침하량을 조사 및 분석을 실시할 경우 시설물 지반의 안정성 검토가 가능할 것으로 판단된다.

분석에 이용이 가능한 이미지 데이터의 경우 30m GDEM, SAR 데이터, optical 이미지 등을 이용할 수 있다. 국내·외 적으로 무료로 이용 가능한 데이터도 있는 관계로 활용도는 높다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 이러한 이미지를 이용하여 micro- 및 macro- 규모의 변위 변화량을 계산하여 전체 시설물의 변위값에 대한 분석을 실시하였다. 결과값으로 특정위치에서 높은 변위량을 보이는 경우도 있었으며, 이는 산출되는 결과값인 침하량은 지반의 변위값으로 마이너스의 값이 되는 경우가 위성으로부터 멀어지는 방향으로 침하 가능성이 있다고 할 수 있으며, 결과값에 대한 추가적인 실계측값 등을 통한 신뢰도 검증을 실시하여 위험도 등급을 제시할 필요가 있다.

추후, 본 연구의 평가방법에 대한 최종 연구결과를 바탕으로 원자력 시설뿐 만 아니라 방사성폐기물 처분장 시설의 안전성 평가에도 응용이 가능할 것으로 판단되며, 위험 시설물의 건설 전과 후, 건설 후 유지관리 차원에서 활용도 가능할 것으로 생각된다.

\*\* 본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 건설기술연구사업(지반함몰 발생 및 피해 저감을 위한 지반 안정성 평가 및 굴착·보강 기술개발, 18SCIP-B108153-04)의 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 하천매설배관의 위험성 및 매설심도 기준 분석

박우일 · 문종삼 · 조영도 · 유철희 · 류영돈

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Analysis of risk and International DOC(Depth of Cover) Standards for Installing City Gas Pipelines Crossing a River

Wooil Park · Jongsam Moon · Youngdo Jo · Chulhee Yu · Youngdon Ryou

Institute of Gas Safety R&D Korea Gas Safety Corporation

†Corresponding author: a01042333717@kgs.or.kr

국내에는 하천구역을 횡단하는 배관이 1000여개가 설치되어있다. 많은 배관이 설치되어있는 반면, 안전관리 기준은 존재하지 않는다. 배관의 매설심도는 규정되어 있으나, 안전하게 관리할 수 있는 유지 관리 기준의 부재로 인해 자체 기준으로 평가 하고 있다. 이에 선진국 기준을 참고하여 국내에 없는 안전관리 기준을 도입하는 방안이 필요하다.

배관의 위험성으로는 고압배관의 경우 누출 시 누출 운동량이 상대적으로 커 크레이터를 생성하게 된다. 주된 사고 피해요인으로는 제트화재에 의한 복사열이다. 매설기준으로는 국내 하천구역을 횡단하여 배관을 매설하는 경우 배관의 매설심도는 원칙적으로 4.0m, 소하천·수로 횡단 시 2.5m, 기타 1.2m 이상, 경암으로 이루어진 하천의 경우 1.2m 이상으로 할 수 있도록 규정되어있다. 미국의 경우 배관 위험 관리 기준인 API RP 1133에 따라 하천횡단의 위험과 잠재적 손상 메커니즘, 수명주기 관리 및 운영들을 규정하고 있다. 영국의 경우 공급배관 기준인 IGE TD/3(Steel and PE pipelines for gas distribution)에 따르면, 하천 횡단배관 설계 시 예측 가능한 사건의 발생 가능성과 그 사건에 따른 피해영향을 확인하며 확인된 위험을 경감할 것을 규정하고 있다. 그 외로 호주의 경우 배관설계 및 설치기준인 AS 2885.1 (Gas and Liquid petroleum – part 1 : Design and construction)에 따르면, 모든 배관경로에 대해 환경영향평가를 실시해야 하며, 하천횡단의 경우 지질학적, 수리학적 조사를 한 후 침식을 고려하여 설계하도록 규정한다. 캐나다의 경우는 배관설계, 설치, 유지관리 기준인 CSA Z662-15 (Oil and gas pipeline system)에 따라 하천횡단을 포함한 배관시스템은 배관 건전성관리프로그램에 따라 위험이 관리되어야 한다.

본 연구에서는 선진국의 하천매설배관 위험성, 설계, 설치 및 안전성평가를 조사하였다.

## 위험도 정량화에 기반한 장외영향평가 개선 연구

최우수 · 곽솔림 · 이지은 · 임형준 · 정진희 · 류대권 · 김정곤<sup>†</sup> · 류지성  
화학물질안전원 사고예방심사과

### A Study on Improvement for Off-site Risk Assessment based on Risk Quantification

Woosoo Choi · Sollim Kwak · Jieun Lee · Hyeongjun Lim · Jinhee Jung ·  
Taekwon Ryu · Jungkon Kim<sup>†</sup> · Jisung Ryu

Division of Accident Prevention and Assessment, National Institute of Chemical Safety

\*Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation

<sup>†</sup>Corresponding author : jungkon@korea.kr

화학사고는 사람에게만 영향을 미치는 것이 아니라 환경에도 막대한 손실을 야기한다. 뿐만 아니라 그 영향은 단기간에 끝나지 않으므로 사전에 피해정도를 파악하고 예방 및 대응체계의 마련이 필요하다. 2015년 화학물질관리법에 의해 사업장 주변의 주민과 환경에 미치는 영향을 평가하는 제도가 시행되고 있다. 장외영향평가 제도는 위험도 분석을 통해 주요 위험설비를 선정하고 사업장은 위험설비에 추가적인 안전성을 확보해야한다. 하지만, 현재 장외영향평가의 위험도 산정방식으로는 식생, 수생 등과 같은 환경적 요인에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 어렵다. 이 연구의 목적은 환경취약성 지수를 활용한 환경수용체의 정량적 위험도 분석방법론을 개발하고 시범 적용하는 것이다. 이를 위해, 첫째, 유럽 4개국의 사전 환경피해방법론을 비교하여 장단점을 분석하였다. 둘째, 환경수용체에 미치는 영향범위의 끝점농도로 적용가능한 기준값을 조사하였다. 개발한 산정방식으로 시범 적용하기 위해 염산 옥외저장탱크에서 누출되는 가상의 시나리오를 설정하였다. 설정된 시나리오의 사고 발생 확률에 환경취약성 지수를 곱하여 위험도 분석한 결과 0.451이 나왔다. 이 연구에서 제안한 위험도 분석 방법론으로 기존의 위험도 분석 방법의 한계점을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

**Keywords** : KORA, 환경수용체, 사전 환경피해평가, NOEC, 산정방식

## 장외영향평가 안전성 확보방안의 개시사건 및 빈도 분석의 적용성 개선을 위한 연구

곽솔립 · 최우수 · 이지은 · 정진희 · 류태권 · 임형준 · 허화진 · 류지성 · 김정곤<sup>†</sup>  
화학물질안전원

A study on the improved applicability of initiating event and frequency  
analysis of Korean off-site risk safety enhancement

Sollim Kwak · Woosoo Choi · Jieun Lee · Jinhee Jung · Taekwon Ryu ·  
Hyeongjun Lim · Hwajin Heo · Jisung Ryu · Jungkon Kim<sup>†</sup>

National Institute of Chemical safety

<sup>†</sup>Corresponding author: jungkon@korea.kr

장외영향평가의 위험도 분석기법에는 LOPA(Layer of Protection Analysis)와 OGP (Oil & Gas Producer)가 적용되고 있으나 OGP방식은 완화장치가 설치되어 있다고 가정되어 있는 빈도이기 때문에 LOPA방식보다 낮게 산정되는 경향이 있다. 또한, 현재 적용하고 있는 LOPA의 개시사건의 정의가 명확하지 않고 일부 개시사건(플랜지 등 가스켓 파손, 입출하 시설 누출, 소규모 및 대규모 외부화재 등)은 중복되거나 다른 방법론들에 비교하여 보수적으로 평가된다. 따라서, 본 연구는 위험도 분석 시 객관적인 근거를 마련하기 위하여 OGP의 사고발생빈도, CCPS (Center for Chemical Process Safety)의 LOPA위험도평가 기법, 영국 HSE (Health and Safety Executive)기관의 FRED (Failure Rate of Equipment Data)빈도 기법, 네덜란드 RIVM (Netherlands National Institute for Public Health and the Environment) 기관의 TNO Purple book 위험성평가의 특성을 분석하고 장외영향평가의 사고발생빈도와 비교연구를 수행하였고, 이를 바탕으로 장외영향평가에 적용되는 LOPA의 개시사건 빈도를 조정하였다. 사례 연구를 수행하기 위해서는 저장·보관시설 3대, 제조·사용시설 8대 전체 11개 사고시나리오에 위험성 평가를 6가지 방식으로 분류하여 적용하였다. 그 결과, 방식 6에서 적용한 플랜지·가스켓 및 밸브 누출 발생빈도를  $10^{-3}/\text{yr}$ , 입/출하시설 누출빈도를  $10^{-2}/\text{yr}$ , 펌프 케이싱과 쉘 파손을 동일한 개시사건으로 간주하고  $10^{-3}/\text{yr}$ , 소규모 및 대규모 외부화재를 통합하여  $10^{-2}/\text{yr}$ 를 적용한 결과 OGP 방식의 위험도 차이가 0.1~10배 이내로 좁혀졌다.

**Keywords** : Off-site Risk Assessment, LOPA, OGP, FRED, TNO Purple book

## 실내 염소 취급시설의 유효누출면적에 따른 틈새를 통한 누출량 및 피해범위에 관한 연구

곽솔림\* · 이은별\* · 최영보†

충북대학교 안전공학과, 화학물질안전원\*

A study on release rate and damage range through cracks  
according to effective leakage areas of indoor chlorine facility

Sollim Kwak · Eunbyul Lee · Youngbo Choi†

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

National Institute of Chemical safety

†Corresponding author: ybc@chnu.ac.kr

본 연구에서는 밀폐된 공간에서 염소가 누출되었을 때 어떤 경로를 통해 외부로 누출되는지 그리고 실외에 위치해 있을 때보다 어느 정도 피해범위가 완화되는지를 연구하였다. 밀폐된 공간에서 염소가 가득 채워져 있을 때 건물의 구조체 틈새나 개구부 틈 사이로 누출될 수 있는 건물의 유효누출면적이 있다. 이때 틈새를 통해 누출될 수 있는 누출량은 공기유출현상인 누기량 및 박스모델을 적용하여 산정하였으며, 피해범위는 ALOHA(Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.6 프로그램을 이용하였다. 그 결과 틈새를 통해 누출될 수 있는 피해범위는 건물의 유효누출면적 및 내·외부의 온도차에 따라 505~2,200 m까지 영향을 미칠 수 있는 것으로 산정되었다. 또한, 실내에서 누출되었을 때 실외에서 누출되었을 때보다 어느 정도 피해범위가 완화되는지를 확인하기 위하여 (1) 실외에서 누출되었을 때 피해범위 (2) 취급시설이 실내에 위치하여 누출물에 완화율 45%가 적용된 피해범위 (3) 건물의 유효누출면적에 따른 틈새 사이로 누출될 수 있는 피해범위를 각각 산정하여 비교·분석하였다. 그 결과 건물 내부에 설치된 설비로 누출물에 완화율 45%를 적용한 피해범위는 실외에서 누출되었을 때 보다 평균 5.3% 감소되었으며, 건물의 유효누출면적에 따라 틈새사이로 누출될 수 있는 피해범위는 실외에서 누출되었을 때 보다 평균 45.9% 감소하였다. 이를 바탕으로, 누출물에 완화율 45%를 적용하기 위해서는 바닥면적의 유효누출면적이 얼마인지를 확인한 결과 내·외부의 온도차가 적은 여름철에는 바닥 면적의 4%에 해당하는 유효누출면적이 있을 경우, 내·외부의 온도차가 큰 겨울철에는 바닥면적의 1%에 해당하는 유효누출면적일 경우에 한하여 완화율 45%를 적용할 수 있다는 것을 확인하였다.

**Keywords** : Off-site Risk Assessment, effective leakage area, chlorine, damage range, release rate

## 도시가스 가스시설의 안전 및 IoT기술적용 위한 연구

지현민 · 이우귀연\*

한국가스안전공사

## Study on Safety and IoT Technology of Facility using City gas

HyunMin Ji · Ugwiyeon Lee\*

KOREA GAS SAFETY CORPORATION

†Corresponding author: jhm140@kgs.or.kr

최근 5년간 도시가스 사고에서 원인별로 분석해보면 52%가 도시가스 사용자 원인(고의사고, 과열화재, 단순누출 및 취급부주의 등)이 많았으며 사용처별로는 주택사고가 56.1%로 가장 높은 점유율을 보여 주택의 도시가스 사용에 관한 장치 및 시설에 대한 근본적인 사전 안전성 강화가 요구된다.

도시가스 사용시설인 중간밸브(퓨즈 콕)는 가스레인지 호스와 도시가스 중간밸브(퓨즈콕) 탈착, 도시가스 호스 절단, 중간밸브(퓨즈 콕) 반개방상태에서 가스누출, 막음조치미비 등의 요인으로 누출, 폭발, 화재 사고가 발생하며 해외인 미국 뉴욕 맨해튼 아파트에서도 2014년 가스냄새 감지 후 신고를 했음에도 불구하고 가스누출에 의한 폭발이 발생하여 6명이 사망하고 60여명이 부상당하는 심각한 사고가 발생되어 반개방 상태에서 누출이 발생하지 않는 퓨즈 콕과 주변 상황 감지 및 위험 감지 시 가스공급이 자동으로 차단되는 기술이 시스템화 되어 사전 또는 신속 조치 및 원격 대응 대한 필요성이 증대되었다.

본 연구에서는 주택 등 건물에서 도시가스 사용에 관한 근본적인 사전 안정성 강화를 위해 가스용품(계량기, 퓨즈 콕) 본연의 기능 고도화, 안전 제어형 IoT 기술에 의한 원격 가스공급 차단, 관련기기를 이용한 주변상황과 위험을 사전 감지하는 기법 개발 및 표준적 안전 플랫폼 제시를 중점적으로 추진하고, 안전 제어형 무선 IoT 기술을 사용하는 가스용품을 위한 성능평가 기술 및 제도적 허용을 위한 가이드라인을 개발을 추진한다.

## CNN 기반 IR 영상 분석을 통한 가스 시설 내 작업 감지

오원식 · 이우귀연 · 오정석

가스안전공사

### Work monitoring in gas facility analysis IR biased CNN

Wonsik OH· Ugwiteon Lee· Jeongseok Oh

Korea Gas Safety Corporation

†Corresponding author: st1love@kgs.or.kr

기준에 국한되던 시설 중심의 안전관리 체제에서 벗어나 작업자 중심의 안전관리가 요구된다. 실시간 모니터링 시스템을 통하여, 시설과 작업자를 종합적으로 분석하고, 플랜트 내에 내재된 위험을 예측한다. 이를 통하여 사전 조치 가능성을 증가 시키고, 사고 대응 기술과 사고 예방 기술이 함께 고려된 통합형 안전관리 기술이 대두된다.

작업 시설 내 작업자 위치 정보 및 인체 감지정보는 작업자 감지에 의한 위험도 판단을 통하여 위험도가 예측 된다. 작업현장에서 카메라 설치 시 신원 노출 및 감시를 받는다는 불쾌한 느낌을 받을 수 있다. 위험도 판단은 작업 작업자의 유/무, 인원, 작업여부 만 고려되기 때문에 현재 가스안전 공사는 작업시설에 작업자의 신원을 확인하기 어려운 저해상도의 IR(Infrared Ray)카메라를 설치하였다. 실제 가스 시설 내에 IR카메라를 설치 후 작업 환경에서의 작업자 데이터를 얻어 IR 이미지를 활용하여 학습데이터를 분류하고 구성하였다.

실제 가스 시설 내에서 얻어진 데이터를 이용해 딥 러닝(Deep Learning)을 사용해 작업자의 유/무, 인원을 판단한다. 딥 러닝의 일종으로 영상 정보 처리에 활용되는 CNN(Convolution Neural Network)를 이용하여 작업 시설 내 작업자 인체 감지정보를 검출해 낸다. Google사의 GoogleNet기반의 CNN구조를 이용하여 객체를 확인하여 시설 내 작업자 감지를 하였으며, GoogleNet 뿐만 아니라, Yolo, Fster R-CNN를 사용하여 데이터를 학습시켜 인체감지 결과와 성능을 비교 분석하여 작업자 인체 감지정보를 분석한다.

## 산업재해현황 분석(화학물질 누출·접촉)을 통한 화학물질 유해성·위험성 정보 전달의 중요성

홍문기 · 최보경 · 김기웅<sup>†</sup>

산업안전보건연구원 산업화학연구실

### Importance of information on hazard·risk of chemical substances through analyzing the status of industrial accident(chemical leaks and contact)

Mun Ki Hong · Bo Kyung Choi · Ki-Woong Kim<sup>†</sup>

Occupational Safety and Health Institute Chemicals Information Research Department

<sup>†</sup>Corresponding author: k0810@kosha.or.kr

산업현장에서 발생하는 화학물질로 인한 업무상 사고는 화학물질 누출·접촉, 화재·폭발·과열 등으로 분류될 수 있다. 주된 발생 원인으로는 유해성·위험성에 대한 이해 부족, 취급 설비의 노후화, 정비 불량 등을 들 수 있다. 특히 화상, 중독, 접촉 피부염 등으로 발생하는 화학물질 누출·접촉에 의한 업무상 사고는 최근 5년('13년~'17년)간 1,512명에 이르며, 이 중 사망자는 76명(5.0%)이다.

화학물질 누출·접촉으로 인한 업무상 사고의 발생 현황을 살펴보면 업종별로는 제조업(620명, 41.0%), 기타의 사업(542명, 35.8%), 건설업(294명, 19.4%) 순이며, 규모별로는 대부분 50인 미만 사업장(1,192명, 78.8%)에서 발생하는 것으로 확인되었다. 또한, 주요 상병명으로는 화상(969명, 64.1%), 중독·질식(146명, 9.7%), 폐렴, 각막염, 피부염 등(397명, 26.3%)으로 분석되었다. 재해 내용을 구체적으로 살펴보면 화학약품(황산, 질산, 수산화나트륨, 세척제, 오븐크리너 등) 취급 부주의 또는 예상하지 못한 상황의 발생으로 피부 또는 눈에 접촉되어 화상을 입거나, 건설현장에서 콘크리트 양생 시 사용하는 갈탄 등에서 발생하는 일산화탄소에 의한 중독 또는 시멘트 접촉에 의한 피부염 등이다.

화학물질로 인한 사고를 예방하기 위해서는 취급 화학물질의 유해성·위험성 정보의 확인, 효과적인 전달과 이해 등이 선행되어야 한다. 산업안전보건법 제41조에서는 화학물질의 유해성·위험성 정보 전달을 제도적으로 마련하기 위하여 물질안전보건자료(Material Safety Data, Sheet, 이하 MSDS) 제도를 시행하고 있다. 화학물질 누출·접촉으로 인한 사고 중 60% 이상인 피부 및 눈 부위 화상을 유발하는 화학물질의 위험성은 MSDS를 통해서 확인이 가능하다. MSDS의 2번 항목(유해성·위험성)에 피부부식성/피부자극성 또는 심한 눈손상성/눈 자극성으로 기재되어 있거나, 9번 항목(물리화학적 특성)의 pH(수소이온 농도) 값이 2이하(강산) 또는 11.5이상(강염기)인 경우에는 피부 또는 눈 접촉 시 화상을 일으킬 수 있다.

산업안전보건법 시행규칙 제92조의6제1항에서 정하고 있는 MSDS에 관한 교육 내용은 물리적 위험성 및 건강 유해성, 적절한 보호구 등 6가지 항목이다. 사업장에서 MSDS 교육을 담당하는 관리자를 대상으로 MSDS 교육 시 어려운 점에 대한 조사 결과 독성에 관한 정보, 유해성·위험성, 안정성 및 반응성, 물리화학적 특성 등의 순으로 응답하였다. MSDS의 내용을 모두 근로자에게 전달하여 이해할 수 있도록 도모하는 것이 최선의 방법이지만, 실제적으로 MSDS의 내용을 모두 전달하고 이해하는 것이 한계가 있다. 따라서, 화학물질의 취급 방법, 노출 형태, 산업재해 발생 현황 등을 고려하여 공정 특성에 맞는 MSDS의 내용을 집중적으로 전달하는 방안 마련이 필요하다.

## 화학물질 누출 및 접촉에 의한 사고사망 사례 분석

서동현 · 이근원<sup>†</sup>

안전보건공단 산업안전보건연구원

### Characteristics analysis of fatal accidents due to leakage or contact of chemical substances

Donghyun SEO · Keun Won LEE<sup>†</sup>

Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA

<sup>†</sup>Corresponding author: leekw@kosha.or.kr

화학물질은 사업장에서 원재료나 부재료 등으로 제조하거나 사용 또는 취급하는 과정에서 근로자의 호흡기를 통해 체내에 흡입되거나 피부에 접촉되어 중독성 직업병을 일으키는 원인으로 작용한다. 이러한 화학물질의 유해·위험성으로부터 국민의 안전과 건강을 확보하기 위해 산업안전보건법, 유해화학물질관리법, 위험물안전관리법 등을 통해 화학물질을 관리하고 있고 그러한 노력의 결과로 최근 10년간(2008년~2017년) 우리나라 산업에서의 화재·폭발 사고는 감소추세를 보이고 있다. 그러나 화학물질의 누출이나 접촉에 의한 화학사고는 화재·폭발 사고에 비해 그 감소 추세가 약한 편으로 화학물질로부터 근로자의 안전을 확보하기 위해서는 화학물질의 유해성·위험성을 정확히 알고 안전하게 사용 및 취급하도록 하여야 하며, 과거 사례를 통해 안전대책을 마련할 수 있도록 하도록 하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 국내 제조업, 건설업 및 기타산업 분야에서 화학물질 노출 및 접촉에 의한 사고 사례를 수집하고 원인을 분석하여 근로자에게 발생할 수 있는 질식 및 중독 등의 화학사고 예방에 활용할 수 있도록 관련 분석결과를 제공하고자 하였다. 사고사례 수집 대상 기간 및 업종은 최근 10년(2008년~2017년)간 제조업과 건설업 및 농업을 포함한 기타산업에서 발생한 재해로 설정하였고, 사고사례는 산재요양신청서의 재해개요, 안전보건공단의 중대재해보고서 등을 통해 수집하였으며 상세 업종별, 사업장 규모별, 취급 또는 관련 물질, 작업 종류 등으로 구분하여 분석하였다.

## 지르코늄 레이저 용접공정 발생 미세분진의 열적안정성 평가

이정석 · 최이락 · 이근원<sup>†</sup>

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

## Evaluation of Thermal Stability of the Fine Dust Generated in the Zr Laser-Welding Process

Lee, Jung-Suk · Choi, Yi-Rac · Lee, Keun-Won<sup>†</sup>

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

<sup>†</sup>Corresponding author: leekw@kosha.or.kr

지르콘( $ZrSiO_4$ )이나 산화지르코늄( $ZrO_2$ )과 같은 광물로부터 추출되는 금속 지르코늄은 순백색의 금속으로 용점이 약  $1850\text{ }^\circ\text{C}$ 이며 HCP 결정구조의  $\alpha$ 상과 BCC 구조의  $\beta$ 상으로 존재한다. 높은 반응특성과 상간 전이온도가 낮기 때문에 단결정의 순수 지르코늄을 제조하는 것을 어렵지만 전성이 있기 때문에 기계적 가공성이 좋아서 다양한 응용성을 갖는다. 지르코늄과 지르코늄합금은 수중, 공기 및 산에 대한 안정성이 탁월하고 낮은 온도에서 내식성이 우수하기 때문에 화학공정장치, 해양설비를 포함한 다양한 분야에서 활용되어왔다. 특히 최근에는 핵연료봉 피복금속의 재료로 핵관련 분야 설비에서도 주요하게 사용되고 있다.

2018년 5월 대전소재 사업장 내 공정에서 원자로연료봉에 사용되는 지지격자를 레이저용접을 이용하여 가공하는 과정에서 발생하는 용접흄을 처리하는 설비(wet scrubber)의 증설작업 중 원인미상의 폭발로 6명의 작업자가 부상을 입은 재해가 발생하였다. 본 연구에서는 당해 폭발재해의 원인을 규명하기 위해서 시차주사열량계(DSC) 및 열중량분석기(TGA)를 이용하여 사고발생공정에서 채취한 공정 내 미세분진 3종에 대한 열적안정성을 평가하였다. 레이저용접 가공 대상은 96% 이상이 지르코늄으로 구성된 지지격자로서 용접가공 중에 발생된 흄 또한 지르코늄 또는 지르코늄산화물로 추정되며, 평가 대상시료는 습식흡수탑 내부, 흡수액 처리용 카트리지가필터 및 흡수타후단 배기팬 전단의 배기관벽에서 각각 채취하였다. 흡수탑 내부에서 채취한 시료를 제외한 두 종류의 시료는 (639 ~ 8737) J/g의 발열량과 중량감소를 동반하는 발열 peak이 관측되었다. 특히 폭발사고 발생 이전의 시료가 축적되었을 것으로 추정되는 카트리지가필터에서 채취한 시료는 질소를 이용한 불활성분위기에서도 약 640 J/g의 발열량이 관측되었다. 이상의 결과로부터 지르코늄 레이저용접공정에서 발생한 미세분진은 스크러버 내부에서 폭발로 전이될 수 있는 가연성분위기 형성이 가능하며, 질소분위기에서 반응성이 감소하지 않기 때문에 화재폭발예방을 위해서는 질소에 의한 불활성화보다는 점화원의 관리가 더 유효한 것으로 평가되었다.

## 소규모 장외영향평가서 작성대상 사업장의 유해화학물질별 소량기준 R값 산정 사례 분석

정진희 · 임형준 · 이지은 · 곽솔림 · 최우수 · 류태권 · 김정곤 · 허화진 · 류지성<sup>†</sup>  
화학물질안전원 사고예방심사1과

### Cases Analysis of Estimation of R-Value for Industries Using Hazardous Chemicals less than the Small Amount Criteria in the Small Off-site Risk Assessment

Jinhee Jung · Hyeongjun Lim · Jieun Lee · Sollim Kwak · Woosoo Choi ·  
Taekwon Ryu · Jungkon Kim · Hwajin Heo · Jisung Ryu<sup>†</sup>

National Institute of Chemical Safety

<sup>†</sup>Corresponding author: jsgood4u@korea.kr

「화학물질관리법」 제23조에 따라 유해화학물질 취급시설을 설치·운영하려는 자는 사전에 화학사고 발생으로 사업장 주변 지역의 사람이나 환경 등에 미치는 영향을 평가한 유해화학물질 화학사고 장외영향평가서를 작성 및 제출해야 한다. 같은 법 시행규칙 제19조 제3항에 따라 화학사고 발생 시 사업장 주변 지역의 사람이나 환경 등에 미치는 영향이 크지 아니하다고 판단되는 규모 미만의 유해화학물질(이하 “유해화학물질별 소량기준”)을 취급하는 사업장은 소규모(간이 수준) 장외영향평가서를 제출할 수 있다. 특히, 간이 수준으로 제출되는 장외영향평가서는 R값 적용이 핵심사항이다. 그러나 대부분의 소규모 장외영향평가서 작성 대상 사업장은 R값을 고려하지 않고 있는 추세이다. 개별 취급시설은 소량기준 미만을 만족하더라도 R값이 1 이상이면 표준 수준으로 제출해야 한다. R값은 동일한 공간에 2대 이상의 제조·사용·저장시설이 위치한 경우에는 개별 취급시설별로 취급하는 유해화학물질의 일일취급량 또는 보관·저장량을 구한 다음, 산출한 값이 1 미만일 때는 간이 수준, 1 이상일 때는 표준 수준으로 작성해야 한다. 2015년~2017년까지 제출된 간이 수준 장외영향평가서를 분석한 결과, 간이 수준의 장외영향평가서 제출 건수는 각각 10%, 13%, 20%로 점차 증가하는 추세를 보였다. 이 중 다빈도 업종은 인쇄업, 도금업으로 각 공정의 주요 취급물질을 분석하였다. 인쇄업은 메틸 에틸 케톤, 아세트산 에틸, 톨루엔, 메틸알코올 등 용제류이며, 도금업은 황산, 염산, 질산 등 산류가 주를 이루었다. 이에 대표적인 간이 수준 업종을 대상으로 R값 적용방안을 제시하였다. 이를 통해 본 연구에서는 장외영향평가서의 제출이 점차적으로 증가하고 있는 소규모(간이 수준) 사업장의 R값 활용에 도움을 주고자 한다.

## 인터넷 상 화학물질 불법 유해정보 현황 고찰 - 화학물질 사이버감시단 신고 사례를 중심으로 -

임지영 · 전다영 · 황만식 · 송기봉 · 이상목 · 류지성 · 이지호<sup>†</sup>  
환경부 화학물질안전원

### Status of Illegal Hazardous Information for Chemicals on Internet - Monitoring Case of Chemical Cyber Surveillance -

Ji Young Im · Da Young Jeon · Man Sik Hwang · Ki Bong Song ·  
Sang Mok Lee · Ji Sung Ryu · Ji Ho Lee<sup>†</sup>

National Institute of Chemical Safety, Ministry of Environment

<sup>†</sup>Corresponding author: jhlee76@korea.kr

국내에서 인터넷에서 화학물질을 손쉽게 구매하여 유해성을 알지 못한 채 불법 구매해서 사회적 범죄에 악용하는 사례가 증가하고 있다. 하지만, 인터넷 상 화학물질 불법 유해정보의 현황 분석을 통한 유통관리의 개선방향에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 화학물질안전원이 운영하는 ‘화학물질 사이버감시단’의 신고사례 중 유해의심정보를 폭발물 제조 및 화학물질 불법유통 관련 정보로 분류하고, 유해정보 유형별, 화학물질별 현황을 분석·고찰하여 향후 인터넷에서 확산되는 불법 유해정보 관리방안을 수립하는 데 있어 기초자료로 활용하고자 한다.

2017년 감시단의 총 신고건수 3,483건 중 폭발물 제조 및 불법유통 관련 유해의심정보 1,151건이었고, 이 중 사이트삭제·차단 조치된 건수는 185건으로 조사되었다. 폭발물 제조 관련 정보는 사고대비물질이 262건으로 45%를, 사고대비물질 중 질산칼륨을 사용한 유해정보가 246건으로 94%를 차지하였다. 불법 유통관련 정보는 유독물질이 264건으로 47%를 차지하였고, 이 중 시안화칼륨을 활용한 유해정보 건수는 165건으로 63%의 높은 비율을 보여주었다. 2015년부터 2017년까지 3년 동안 유해정보의 유형별, 물질별 유해의심 정보 건수를 살펴본 결과, 폭발물 제조 관련 유해정보는 사고대비물질을 활용한 정보가 대부분을 차지하였고, 해마다 꾸준히 증가하였다. 또한, 화학물질 불법유통 관련 유해정보는 유독물질이 2017년 264건(65%), 2016년 241건(78%), 2015년 153건(88%)으로 조사되었다. 물질별 유해정보는 질산칼륨, 시안화칼륨, 아산화질소, 수산화나트륨, 니코틴, 메탄올, 염소산칼륨, 질산암모늄 상위 8개 물질로 분석되었다. 이러한 불법 유해정보를 제대로 신고하여 유해정보 사이트 접속 차단 및 삭제조치가 효율적으로 이루어질 수 있도록 신고요령과 명확한 유해정보 기준 등을 상시 교육·전파하고, 화학물질 판매자와 구매자의 법 준수 의식을 고취하여 인터넷 상의 불법 유해정보 관리체계를 강화하여 관리 사각지대를 최소화할 수 있을 것으로 사료된다.

## 유해화학물질의 구체적인 취급기준 체계 마련 연구

황만식 · 임지영 · 전다영 · 송기봉 · 이상목 · 류지성 · 이지호<sup>†</sup>

환경부 화학물질안전원

## A Study on Handling Standards of Hazardous Chemicals

Man-Sik Hwang · Ji-Young Im · Da-Young Jeon · Ki-Bong Song ·

Sang-Mok Lee · Ji-Sung Ryu · Ji-Ho Lee<sup>†</sup>

National Institute of Chemical Safety, Ministry of Environment

<sup>†</sup>Corresponding author: jhlee76@korea.kr

화학물질관리법 제13조 동법 시행규칙 제8조에 따라 ‘유해화학물질별 구체적인 취급기준에 관한 규정’을 화학물질안전원 고시로 제정하였다. 기 제정된 취급기준을 국제적 표준화에 맞추어 물질 특성별 실효성있는 취급 안전관리 강화를 위해 물질의 성상을 반영한 물질별 구체적인 취급기준 마련이 필요하다. 이에, 본 연구에서는 유해화학물질별 GHS(Globally Harmonized System)위해·위험문구에 따라 물질군으로 분류하고, 물질 성상을 고려한 ‘유해화학물질별 구체적인 취급기준’으로 개정하여 이에 대한 체계를 마련하고자 한다.

유해화학물질을 GHS 유해·위험 문구를 기준으로 44개 물질특성 그룹으로 분류하여 물질별 특성을 물리·화학적 특성과 독성 등을 근거로 제시하였고, 기 규정된 취급기준과 중복되거나 유사한 내용을 표준화된 문구로 재정리하였다.

화학물질관리법에서 관리하는 유해화학물질 785종을 GHS 유해·위험문구로 분류해 본 결과, 다음기준으로 분류된 물질 그룹이 전체의 90.8%를 차지하였다. 독성·수생환경 유해성 물질 242종, 독성 물질 185종, 독성·자극성·수생환경 유해성 물질 90종, 수생환경 유해성 물질 57종, 독성·자극성 물질 48종, 인화성·독성 물질 29종, 자극성·수생환경 유해성 물질은 28종, 인화성·독성·자극성·수생환경 유해성 물질은 12종, 인화성·독성·수생환경 유해성물질 11종, 인화성·독성·자극성·수생환경 유해성 물질은 11종으로 확인되었다. 유해·위험문구를 기준으로 물질의 성상을 반영한 물질별 취급기준에 대해 현장 적용성 평가를 거쳐 ‘유해화학물질별 구체적인 취급기준’ 고시를 개정하였다. 유해화학물질 취급사업장의 실효성있는 현장맞춤형 취급안전관리 강화를 위한 정책적 노력이 필요할 것으로 사료된다.

## 국내 유해화학물질 영업자 취급실적 현황분석

황만식 · 임지영 · 전다영 · 송기봉 · 이상목 · 류지성 · 이지호<sup>†</sup>

환경부 화학물질안전원

## An Analysis of handling status on Hazardous Chemicals in Korea

Man-Sik Hwang · Ji-Young Im · Da-Young Jeon · Ki-Bong Song ·

Sang-Mok Lee · Ji-Sung Ryu · Ji-Ho Lee<sup>†</sup>

National Institute of Chemical Safety, Ministry of Environment

<sup>†</sup>Corresponding author: jhlee76@korea.kr

화학물질관리법(이하 화관법) 제 28조에 따라 유해화학물질을 취급사업장은 영업허가를 받아야 하며, 영업 허가자는 화관법 제49조 동법 시행규칙 제53조에 따라 전년도 유해화학물질 세부 취급실적을 제출해야한다. 본 연구에서는 2016년 영업허가자의 유해화학물질 취급실적을 영업형태별(제조, 사용, 보관·저장, 운반, 판매) 및 환경청별 유해화학물질의 취급현황을 분석하였다. 영업허가 사업장 11,836개소 중 취급실적을 보고한 사업장 9,472업체에서 총 유해화학물질 446종, 148.1백만톤을 취급하였다. 영업 형태별로는 제조업에서 유해화학물질 179종, 57백만톤, 사용업에서는 284종, 35백만톤, 판매업에서는 357종, 34백만톤, 보관·저장업에서는 146종, 6백만톤, 운반업에서는 130종, 9백만톤이 취급되었다. 환경청별로 살펴보면, 유해화학물질 취급 종수는 한강청(393종), 금강청(259종), 낙동강청(226종) 등 관할 지역 순으로 조사되었고, 취급량은 영산강청(48백만톤), 낙동강청(41백만톤), 한강청(29백만톤) 등 관할 지역 순으로 분석되었다. 이러한 결과는 환경청 관할 지역에서 취급하는 유해화학물질의 집중 우선관리 대상 물질과 취급시설 등 안전관리를 강화하는 데 있어 주요 기초자료로 활용할 수 있다.

## 장외영향평가지 물반응성 물질 누출 시나리오 영향범위 비교분석

임형준 · 정진희 · 류태권 · 광솔림 · 최우수 · 이지은 · 김정곤 · 류지성<sup>†\*\*</sup>

화학물질안전원 사고예방심사1과

## A Study on the Evaluation of Water Reactive Chemicals Leak Scenarios in the Off-site Risk Assessment

Hyeongjun Lim · Jinhee Jung · Taekwon Ryu · Sollim Kwak · Woosoo Choi ·  
Jieun Lee · Jungkon Kim · Jisung Ryu<sup>†\*\*</sup>

National Institute of Chemical Safety

<sup>†</sup>Corresponding author: jsgood4u@korea.kr

최근 화학물질안전원에서는 유해화학물질 대기 누출시 물과 반응하여 유해화학물질이 부가적으로 생성되는 물질 11종에 대해서 「사고시나리오 선정에 관한 기술지침」, 화학물질안전원 지침 제 2018-5호(2018.2.6.)에 따라 시나리오 평가를 수행하도록 하였다. 기존에는 원물질에 대해서 사고 영향범위를 산정하고 저감대책을 수립하여 관리했지만 물반응성 물질에 대해서는 생성물을 포함하여 평가하고 그에 따른 대응방안을 시급히 마련해야 한다.

이러한 배경에 따라 본 연구에서는 물반응성 물질로 지정된 유해화학물질로 인한 주요 생성물인 염화수소, 불화수소에 대한 시나리오를 선정하고 화학물질안전원에서 무료배포한 KORA(Korea Off-site Risk Assessment supporting tool)를 활용하여 영향범위를 평가하고 원물질과 상호 비교를 하였다. 그 결과 원물질인 삼염화붕소에 대한 대안의 사고시나리오는 원물질 156.6m, 생성물질인 염화수소 79.8m로 나타나 원물질의 영향범위가 생성물질에 비해 큰 것으로 확인됐다. 반면 사불화규소에 대한 영향범위는 원물질 496.1m이고 생성물질인 플루오르화수소는 520.9m로 생성물질에 대한 피해가 더 큰 것으로 나타났다.

본 연구 결과를 통해서 장외영향평가지 물반응성 물질로 인한 영향범위 특성을 파악하고 사고시 효과적인 영향범위 산정에 활용될 것으로 기대된다. 또한 산출된 결과분석을 통해 원물질과 생성물에 대한 종합적인 안전성 확보 방안 수립에 도움이 될 것으로 기대된다.

## 액적과 입자간 체적 비에 따른 이종 액적 증발 특성 연구

성건혁 · 노경철\* · 고권현†\*\*

중앙대학교 기계공학부 · \*동양대학교 철도기계시스템학과 · \*\*동양대학교 안전공학부

### Experimental Study on the Effect of the volume ratio of droplet to particle on heterogeneous droplet evaporation

Kun Hyuk Sung · Kyoungchul Ro\* · Kwon Hyun Ko†\*

Chung-Ang University · Dongyang University

†Corresponding author: kogh@dyu.ac.kr

In fire cases, droplets injected from sprinkler or water curtain can coalesce with various-sized particles, e.g. soot or ashes, entrained from around a fire plume. A heterogeneous droplet is defined as a droplet with particle which size is comparable with drop size. At the interface between droplet and particle, the evaporation rate of the droplet steeply increases, then it can cause an explosive breakup. The phenomenon can affect droplet size distribution, number density and overall water loading which are associated with the extinguishing performance of nozzles.

In the present work, we experimentally investigated the effect of volume ratio of initial droplet to particle on the evaporation in the heterogeneous droplet. Spherical carbon and water were used for particle and liquid of heterogeneous droplet, respectively. To changes the volume ratio, four initial droplet volumes of 1  $\mu\text{l}$ , 1.5  $\mu\text{l}$ , 2  $\mu\text{l}$ , and 4  $\mu\text{l}$  were considered when the diameter of the particle was 3 mm. The heterogeneous droplet was suspended with a rod at 15 cm away from the radiator which surface temperature was fixed to 300  $^{\circ}\text{C}$ . Ambient temperature and relative humidity remained 23  $^{\circ}\text{C}$  and 40 %, respectively, during the experiment.

As the results, the evaporation rate of 4  $\mu\text{l}$  case increased about 1.8 times compared with that of 1  $\mu\text{l}$  case. The evaporation rate increased almost linearly with the volume ratio, and that is related closely with the contact surface area between particle and water droplet. The contact surface area remained almost constantly with time, whereas it increased with the volume ratio. Hence, more heat transfers from particle to droplet as the volume ratio increases. Consequently, the volume ratio of liquid droplet is one of the influence factors on the evaporation rate in the heterogenous droplet.

\*\* 본 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2015R1D1A1A01057176)입니다. 이에 감사드립니다.

## 국가화재정보시스템의 화재통계를 통한 시·도별 화재 발생요인 분석에 관한 연구

최대현 · 민세홍<sup>†</sup>

가천대학교

### A Study on the Analysis of Fire Occurrence Factors by City and Province through Fire Statistics of National Fire Data System

Choi, Dae-Hyeun · Min, Se-Hong<sup>†</sup>

Gachon University

<sup>†</sup>Corresponding author : shmin@gachon.ac.kr

국가화재정보시스템(NFDS)의 화재통계에 따르면 2017년 기준 44,178건의 화재가 발생하였고, 이에 따라 2,197명의 인명피해, 5,000억 이상의 재산피해가 발생하였다. 이는 2016년 대비 화재발생건수, 인명피해, 재산피해 모두 증가하는 양상을 보이며, 복합적이고, 다수의 피해를 발생시킬 수 있는 화재를 예방하기 위한 효과적인 방법이 필요하다는 것을 시사한다. 이에 본 연구에서는 예방법을 모색하기에 앞서, 지역별, 월별, 발화요인별 화재 발생 통계를 통하여 지역 및 계절에 따른 주된 화재 발생요인에 대한 분석을 진행하고자 한다.

현재 국가화재정보시스템(NFDS)에서는 전국에서 발생한 화재에 대하여 지역, 기간, 발화요인, 피해 등에 대한 자료를 제공하고 있다. 본 연구에서는 이를 활용하여 전국 16개 시도별, 11개의 발화요인별, 월별(1~12월) 화재통계를 2008년부터 2017년까지의 자료를 분석하였고, 이를 통하여 계절별 화재패턴을 도출하였다.

각 지역에 대한 연도별 통계를 종합하여 각 화재 발생요인이 차지하는 비중을 분석해 본 결과, 서울 지역의 경우 부주의와 전기적 요인이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났으며, 그 뒤로 가스누출(폭발), 교통사고, 기계적 요인, 화학적 요인, 자연적인 요인, 미상, 방화의심, 방화가 화재 발생요인 비중을 차지하였다. 각 화재 발생요인은 월별로 다른 비중을 갖는 모습을 보이는데, 부주의의 경우 10월에 전체 화재 발생요인 중 57.35%로 가장 많이 발생하였고, 7월에는 42.26%로 가장 적게 발생하였으며, 봄(3~5월)과 가을(9~11월)에 비교적 많이 발생하는 것으로 나타났다.

이와 같이 본 연구에서는 해당 시·도에 대한 연도별 화재 발생요인의 통계를 종합하여 결과적으로 각 발생요인이 높은 비중을 차지하는 계절을 도출하였다. 분석의 결과는 지능형 위험분석, 피해예측 기반의 재난(화재)상황 대응 플랫폼 기술 개발과제에 시·도별, 발화요인별, 월별 가중치를 부여하여 AI 분석시스템에 적용하고, AI를 통한 화재예측의 신뢰성을 확보하는 것을 최종 목표로 하고 있다.

**\*\* 감사의 글 :** 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 - 재난안전플랫폼기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2017M3D7A1071832).

## 덕트 형상인자 변화에 따른 콘칼로리미터의 발열량 측정 결과 분석

신연제\* · 유우준†\*

\*동양대학교

### Analysis on the Effects of Measured Heat Release Rate on Duct Shape Factor of Cone-Calorimeter

Yeon Je Shin\* · Woo Jun You†\*

\*Dongyang University

†Corresponding author: wjyou@dyu.ac.kr

본 연구에서는 콘 칼로리미터의 신뢰성이 있는 발열량 산출 값을 분석하기 위해서 덕트 형상인자(Duct Shape Factor)의 변화를 분석하였다. 이를 위해서 액체 가연물인 헵탄의 연소 면적이 0.01m<sup>2</sup>, 0.023m<sup>2</sup>, 0.04m<sup>2</sup>에 대해서 질량소모법(Mass Loss Rate)과 산소소모지수법(Oxygen Consumption Rate)을 사용하여 각각의 발열량을 산출하였으며, Figure 1과 같이 콘칼로리미터의 연기 포집 후드에서 중력방향인 수직으로 연결된 수평 덕트의 직경이 0.2m이고 후드로부터 2.5m 떨어진 지점에 양방향 차압계(Bi-directional Differential Pressure)를 설치하여 유속을 측정하였다. 덕트 형상인자 변화에 따른 발열량 측정값을 분석하기 위해서 Figure 2와 같이 0.023m<sup>2</sup>의 헵탄 연소면적에 대하여 유속 측정값을 평균 유속으로 가정한 덕트

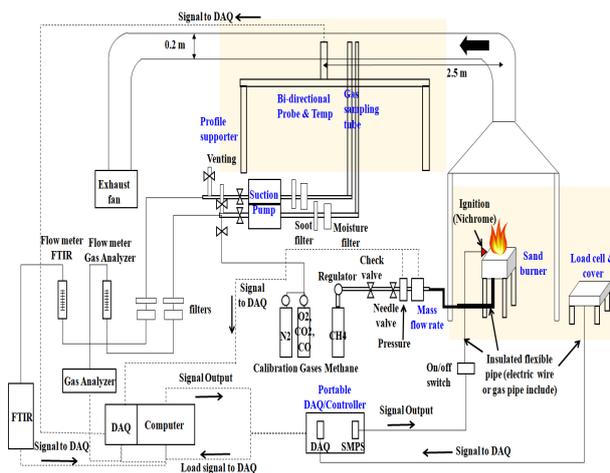


Figure 1. Schematic Diagram of Cone Calorimeter for Analysis on the Effects of Heat Release Rate on Duct Shape Factor.

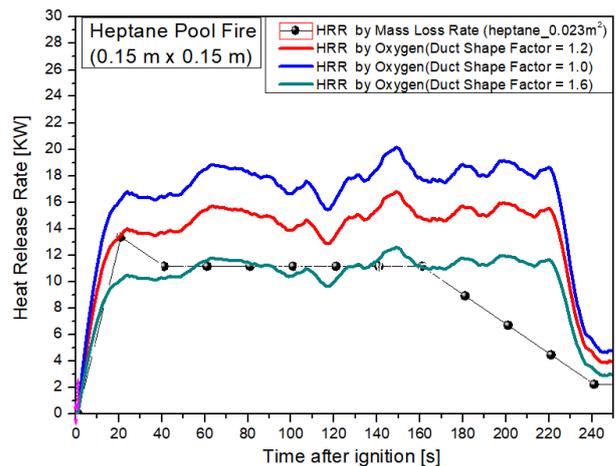


Figure 2. Comparison Mass Loss Rate and Oxygen Consumption Method According to Cone Calorimeter Duct Shape Factor.

형상인자의 값이 1.0인 경우와 속도 편차를 고려하여 덕트 형상인자의 값을 예측한 1.2, 1.6의 값과 질량 소모법에 의해서 산출한 발열량을 비교하였다. 그 결과 본 연구에서 사용한 콘 칼로리미터의 경우 덕트 형상 인자의 값은 약 1.6 으로 나타났으며, 보다 정확한 발열량 산출값을 도출하기 위해서는 덕트의 형상 인자를 고려하여 속도 편차를 감소시키기 위한 실험장치의 개선이 필요한 것으로 판단된다.

**\*\* 감사의 글 :** 논문은 2018년 정부(한국연구재단)의 재원으로 이공분야기초연구사업(2018045686)의 지원을 받아 수행된 연구임.

## 구획 공간에서 연소시간 변화에 따른 액체 가연물의 연소율 경향 분석

박정욱\* · 유우준†\*

\*동양대학교

### Analysis of the Burning Rate Tendency of Liquid Flammable Materials for the Combustion Time in Compartment Space

Jung Wook Park\* · Woo Jun You†\*

\*Dongyang University

†Corresponding author: wjyou@dyu.ac.kr

본 연구에서는 구획 공간에서 가연물인 헵탄(Heptane)의 연소 시간 및 위치 변화를 고려한 질량 감소율을 실험적으로 분석하였다. 이를 위해서 Figure 1과 같이 길이가 5 m이고 높이 0.35 m, 폭이 0.5 m로 한쪽 면이 개방된 구획 공간을 제작 하였으며, 천장과 측벽 각각에 열전대를 길이 방향으로 5개의 지점에 설치하여 외벽의 온도분포를 측정하였다. 동일 발열량 조건에서 연소시간의 변화에 따라서 헵탄의 질량 감소율이 변하는 구간을 분석하기 위해서 연료 팬은 가로 15 cm, 세로 15 cm 그리고 높이가 10 cm로 일정한 크기를 사용하였으며, Figure 2와 같이 화원의 위치가 밀폐된 벽면에서부터 0 m, 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m 그리고 2.0 m인 각각의 경우에 대해서 질량 감소율이 급격하게 변하는 연소 시간과 벽면 온도의 상관관계를 분석하였다. 실험 결과의 정확성을 검증하기 위해서 천정 제트(Ceiling Jet) 유동에 대한 Heskestad and Hamada의 기존 연구 결과와 실험 측정 경향을 비교 하였으며, 본 연구는 도로 터널에서 발열량에 따라서 화재가 확산되는 현상을 해석적으로 분석하기 위한 기초 연구 자료로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

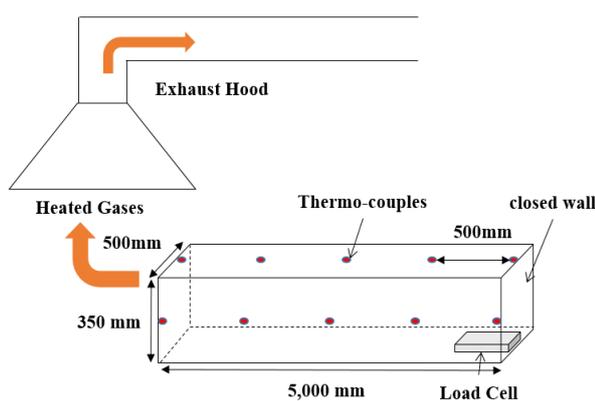


Figure 1. Model size of the Compartment Tunnel (Width=0.5m, Height=0.35m and Length=5m)

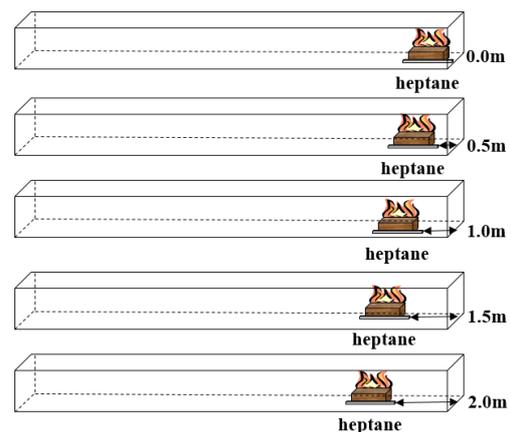


Figure 2. Experiment Cases with Various Distance from the Wall of Compartment Space.

\*\* 감사의글: 논문은 2018년 정부(한국연구재단)의 재원으로 이공분야기초연구사업(2018045686)의 지원을 받아 수행된 연구임.

## Natech에 의한 화학물질 저장시설의 위험성 평가

박제혁 · 연응진 · 박천탁 · 곽종범 · 정승호<sup>†</sup>

아주대학교 환경안전공학과

## Natech Risk Assessment of Chemical Storage Facilities

Jaehyuk Park · EungJin Yeon · Chuntak Park · Jongbeom Kwak · Seungho Jung<sup>†</sup>

Dept. of the Environmental and Safety Engineering, Ajou University

<sup>†</sup>Corresponding author: processsafety@ajou.ac.kr

고도의 기술력이 집중되어있는 화학 공정 시설에서 지진 등의 자연재해에 의해 발생한 사고는 심각한 사고 영향을 가져올 수 있다. 고도로 집약된 High-Technology 산업의 증가로 인해 지진 등의 자연재해로 화학 공정 시설이 피해를 입게 되면 그 피해는 상당하다. 자연재해와 고도로 집약된 기술재난의 상호관계에 관한 개념은 Natech(Natural Hazard Triggering Technological)으로 발전했다. Natech에 의한 화학물질 저장시설의 위험성 평가를 위한 프로그램인 RAPID-N은 JRC(European Commission's Joint Research Centre)에서 개발한 Natech Risk 분석 및 Mapping을 지원하는 웹 기반 프로그램이다. RAPID-N은 기존에 고려되지 않았던 Natech Risk Assessment를 Mapping으로 표현한 Mapping 방법론을 기반으로 개발되었다. 사용자의 친화적이고 상호보완적인 데이터 입력과 추론, 신속한 위험성 평가가 가능하며 RAPID-N을 통해 지진, 홍수 등의 자연재해에 대한 사례 연구가 활발히 진행 중이다. 이러한 방법론과 RAPID-N 프로그램은 Natech의 사고 영향 저감을 위한 충분한 대비에 사용될 수 있다. 시나리오 위험성을 토대로 토지 이용 및 비상 계획을 위한 Natech 위험성 지도의 개발을 위해 사용될 수 있고 자연재해의 발생 이후 신속하게 피해와 사고 영향을 예측하는데 사용할 수 있다. 따라서 본 연구에는 이러한 RAPID-N 프로그램을 이용하여 지진 등의 자연재해로 인한 화학물질 저장시설에 대한 Natech Risk Assessment를 나타내고 그에 대한 영향을 고려한다.

## 취약계층을 고려한 독성물질 누출 시 위험성 평가

이학태 · 이병우 · 곽종범 · 박제혁 · 장세련 · 정승호<sup>†</sup>

아주대학교 환경안전공학과

## Risk Assessment Considering Vulnerable Groups for Toxic Gas Leaks

Hak-Tae Lee · Byeongwoo Lee · Jongbeom Kwak · Jaehyuk Park ·  
Seryun Jang · Seungho Jung<sup>†</sup>

Dept. of The Environmental Safety Engineering, Ajou University

<sup>†</sup>Corresponding author: processsafety@ajou.ac.kr

국내 다수의 사업장에서 유해화학물질의 누출 사고로 인해 화학물질관리법이 2015년에 시행되면서 장외영향평가제도가 도입되었다. 이 제도의 도입 배경에는 화학물질의 누출 사고가 근로자뿐만 아니라 사업장 외부의 시설이나 거주자에게 큰 영향을 준 것에 있다. 장외영향평가는 화학물질 사고로 인하여 사업장 외부에 인적, 물적 피해를 일으키지 않도록 사업장 시설의 설계·설치부터 안전성을 확보하는 것을 그 목적으로 한다. 장외영향평가에는 사고 시나리오 영향범위 내에 있는 주변의 입지정보를 이용하는데, 영향범위 내에 보호대상 시설의 유무만을 정성적으로 판단하고 있다. 취약계층은 화학사고가 발생했을 때 동일한 사고영향 하에서 일반계층에 비해 더욱 민감하게 반응하여 그 피해 정도가 심각하다. 여기서 취약계층은 영유아와 고령자라고 볼 수 있다. 따라서 이들을 고려한 정량적 위험성 평가가 필요하다.

본 연구는 독성물질의 누출 사고 발생으로 비상대피를 실시할 때 취약계층과 일반 성인의 몸무게 혹은 이동속도 등의 신체적 특성에 따른 노출시간과 양을 비교하였다. 누출에 의한 영향은 정량적 위험성 평가 프로그램을 이용하였다. 독성물질 누출 시간은 누출원에서 일정 거리에 있는 대피 대상이 특정 지점까지 이동하는데 걸리는 시간을 기준으로 산출하고, 비상대피를 실시하는 인원의 특성을 고려하여 그 위험도를 비교하였다. 연구 결과, 취약계층을 고려한 위험성 평가가 필요하다고 판단된다.

\*\* 이 연구는 화학물질안전원의 “장외영향평가서 안전성확보방안 기술지침 개발연구(II)” 과제 (과제번호\_S2018A067300001)에서 지원받았습니다.

## 위해관리계획의 주민고지제도 한계점 개선 방안 연구

이명지 · 신수빈 · 서경석 · 김수미 · 신창현 · 윤준현

화학물질안전원 사고예방심사2과

### A Study on the Limits of Risk Management Plan Resident Notification System

Myeong Ji Lee · Su Bin Shin · Gyeong Seok Seo · Soo Mi Kim ·

Chang Hyun Shin · Jun Heon Yoon

National Institute of Chemical Safety

†Corresponding author: mj9721@korea.kr

사업장의 화학물질 정보를 인근 주민에게 제공하는 주민고지제도는 위해관리계획이 도입되면서 시작되었다. 제도 초기에는 사업장에서 자체적으로 작성하였으나, 비상대응분야에 대해서 지자체의 검토를 받아 반영하도록 2017년 6월부터 제도가 개선되어 있다. 하지만 제도가 도입된 지 1년이 지난 현 시점에서 지방자치단체의 유해화학물질 전문성 및 사업장과의 정보공유의 부족 등으로 인한 한계를 확인할 수 있었다. 따라서 이를 보완하기 위해 유사한 제도를 시행하고 있는 외국에서 운영하고 있는 지역단위 협력체계를 분석하고 지방자치단체의 전문역량 강화에 필요한 내용을 조사하여 우리나라에 적용할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 본 연구 결과를 주민고지제도에 적용한다면 제도의 효율성을 높일 것으로 판단된다.

## GRIN 렌즈를 이용한 감마 핵종 분석용 광섬유 방사선 센서시스템의 개발

신현영 · 김지예 · 송시원 · 박재형 · 변현기 · 신상훈 · 이봉수<sup>†</sup>

중앙대학교 공과대학 에너지시스템공학부

## Development of Fiber-Optic Radiation Sensor System to Measure Gamma-Spectroscopy Using a Graded-Index Lens

Hyun-Young Shin · Ji-Ye Kim · Si-Won Song · Jae-Hyung Park ·

Hyungi Byun · Sang-Hun Shin · Bongsoo Lee<sup>†</sup>

School of Energy Systems Engineering, Chung-Ang University, Seoul, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: bslee@cau.ac.kr

감마 핵종 분석용 광섬유 방사선 센서시스템은 일반적으로 섬광체, 광섬유 및 광계측기 시스템으로 구성되며 방사성폐기물 등과 같은 혼재된 방사선원에서 여러 가지의 감마 핵종판별이 가능할 것으로 판단된다. 또한 광섬유를 이용한 원거리 계측 및 모니터링을 통해 작업종사자에 대한 방사능 피폭을 최소화시킬 수 있다는 장점을 가진다. 그러나 기존의 연구 개발된 광섬유 방사선 센서시스템은 원거리 계측을 위하여 광섬유를 사용하며 광섬유의 길이가 증가함에 따라 에너지 스펙트럼의 광전피크에 대한 분해능이 떨어지는 단점이 있다. 이는 핵종 판별 시 시스템의 효율을 저해하는 결과를 가져오며, 따라서 이러한 문제의 해결을 위해서는 섬광체에서 발생하는 섬광 신호의 수광 효율을 증대시킬 필요가 있다. 본 연구에서는 핵종 분석용 광섬유 방사선 센서시스템의 수광 효율 증대를 위하여 GRIN 렌즈를 이용한 광섬유 방사선 센서시스템을 제작하였고 감마선원의 에너지 스펙트럼 측정을 통한 성능평가를 진행하였다.

핵종 분석용 광섬유 방사선 센서시스템의 센서부는 투명한 LYSO(Ce) 무기섬광체를 사용하였으며, 섬광체와 광계측기 사이에 GRIN 렌즈를 결합하였다. 센서부에서 발생된 섬광신호의 계측을 위해 광계측기로는 MPPC 모듈을 사용하였고 이를 이용하여 감마선원에 대한 에너지 스펙트럼을 측정하였다. 시스템의 성능평가를 위해 사용된 감마선원은 Cs-137 방사선원으로써 46.31  $\mu$ Ci의 방사능을 가지고, 662 keV의 최대 에너지를 방출한다.

실험 결과, 본 연구에서 제작된 광섬유 방사선 센서시스템을 이용하여 Cs-137 감마선원에 대한 에너지 스펙트럼을 측정하였고 센서부에 GRIN 렌즈를 사용할 경우 더 높은 분해능을 가진 에너지 스펙트럼의 광전피크를 획득할 수 있었다. 따라서 광섬유를 이용한 방사선 센서시스템의 원거리 계측을 위해서 GRIN 렌즈를 사용하면 섬광신호의 수광 효율을 증대시키고 고분해능의 에너지 스펙트럼을 측정할 수 있을 것으로 사료된다. GRIN 렌즈를 이용한 광섬유 방사선 센서시스템은 향후 방사성폐기물의 처분 및 저장 시 혼재된 방사선의 핵종 분석을 위한 계측 시스템으로 적용 가능할 것으로 기대된다.

\*\* 이 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부) 및 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2017R1A2B2009480, 2018R1D1A1B07041159). 또한, 이 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 원자력연구사업임(No. 2016M2B2B1945255).

## 방류벽 설계 조건에 따른 유해화학물질의 영향성 평가

민동석 · 민미미 · 정승호<sup>†</sup>

아주대학교 환경안전공학과

## Consequence Analysis of Harmful Chemical Substance on Design of Dike

Dong Seok Min · Mi Mi Min · Seung Ho Jung<sup>†</sup>

Dept. of Environmental and safety Engineering, Ajou University

<sup>†</sup>Corresponding author : processsafety@ajou.ac.kr

국내·외 발생하는 유해화학물질 사고로 인해 화학물질관리법(화관법)이 제정되었고 2015년 1월 1일부터 시행되고 있다. 화관법에는 화학 사고를 예방하기 위한 다양한 규제들이 만들어 졌고 그중 하나가 시행규칙 제21조 2항의 방류벽 설치 기준이다. 설비 용량의 110% 이상을 만족하고 높이는 0.5 m 이상, 설외 저장·보관설비의 지름과 높이를 고려하여 외부로 유출이 없도록 옆면으로부터 거리를 최소 1.5 m 이상을 유지해야 한다. 기존의 법령들보다 안전성 향상을 도모하였지만, 위의 기준만으로는 정량화 되고 최적화 된 방류벽의 설계를 하기는 어렵다. 화관법의 기준을 만족하는 방류벽 일지라도 설비와의 간격이나 그 높이에 따라서 사고 발생 시 영향 범위가 달라질 것이고 이에 따라 주변 시설의 배치 또한 고려해야 할 것이다. 설비와 방류벽간의 간격이 좁거나 높이가 너무 높을 시 화재 대응성이나 떨어 질것이고, 반대의 경우라면 누출 시 넓은 액체의 표면적으로 인해 증기 발생량이 많아져 독성 및 화재 영향 범위가 늘어날 것이다. 이러한 부분을 정량적으로 확인하고자 이번 연구에서는 시뮬레이션을 이용하여 화관법의 기준을 만족하는 원형의 방류벽을 높이와 지름을 변수로 하여 조건별로 설정하였고, 각 방류벽마다 사고 발생 시 유해화학물질의 영향 범위를 고려한 최적의 설계 조건을 확인해 보았다. 방류벽의 용량을 설비 용량의 110%로 고정한 상태에서 설비와 방류벽의 거리가 멀어질수록 높이는 낮아지게 설정하였다. 설비의 저장 물질은 국내에서 가장 많이 사용하고 있는 물질 중에서 암모니아와 톨루엔으로 설정하였다. 각 물질의 방류벽 조건별 Emergency Response Planning Guideline-2(ERPG-2) 영향 거리와 폭발한계, 화재 시의 복사열 범위를 도출하고 비교해 보았다. 이 연구 결과를 이용하여 유해화학물질 저장시설의 방류벽 설계 시, 안전성 확보를 고려한 최적화에 도움을 주고자 한다.

**Keywords:** Dike, Consequence analysis, Simulation

## 수소전기차 저장용기의 내구성 평가 기준 분석

염지웅 · 조성민<sup>†</sup> · 이승국 · 문중삼

한국가스안전공사 가스안전연구원

## Analysis on Durability of High Pressure Vessel in Hydrogen Fuel Cell Vehicle

Jiwoong Yeom · Sungmin Cho<sup>†</sup> · Seungkuk Lee · Jongsam Moon

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

<sup>†</sup>Corresponding author: cho225@kgs.or.kr

새롭게 출범한 정부가 전기·수소차 등 미래차산업 육성계획을 본격적으로 추진하고 있다. 2022년까지 급속충전기를 만 기 수준으로 확충하고, 올해 예정돼 있는 18곳의 신규 수소 충전소 건설을 예정대로 구축하기로 했다. 이와 함께 2030년까지 버스와 트럭을 전기·수소차로 100% 전환하는 ‘대중교통 전기차 전환 프로젝트’를 통해 전기·수소차 보급에 박차를 가하고 있으며, 이와 맞물려 대중의 미세먼지 저감에 대한 관심이 증가하면서 수소에너지를 활용한 수소전기차에 대해 관심이 집중되고 있는 상황이다. 수소전기차는 내연기관을 대체할 미래자동차로서, 수소를 초고압으로 저장할 수 있는 고압용기를 비롯해 연료전지시스템, 연료공급시스템, 전력시스템 등으로 구성된다. 초고압의 수소를 저장하기 위해서는 일반강재용기보다 우수한 비강성도, 내피로특성 등의 장점을 가지고 있는 복합재 용기가 주로 사용되고 있으며 성능 향상을 위한 연구가 계속적으로 진행 중에 있다. 이런 수소저장용기를 운송용 용기로서 사용하기 위해서는 의무적으로 성능 테스트 진행이 필요하다. 성능 평가를 위한 규정으로 여러 국제 규정이 있는데, 이 중 GTR(Global Technical Regulation)은 국제 규정의 하나로서 현재 세계 주요각국이 모여 재·개정이 활발히 진행되고 있는 규정이다. 특히 GTR 규정은 의무적인 규정은 아니지만 실험이 분리되어 있는 다른 국제 규정과는 다르게 연속적으로 실험을 실시하기에 기존 규정에 비해 가혹한 조건에서 실시하게 되고 최근에 많은 국가에서는 차량용 수소용기 내구성 평가에 활용되고 있고, 국제회의를 통해 규정의 보완 및 수정 작업이 활발하게 이루어지고 있다.

본 연구에서는 차량에 사용되는 복합재 용기의 특징과 국내의 복합재용기 관련 규정, 특히 수소자동차 관련규정인 GTR 규정과 기존의 규정과의 시험방법을 비교 분석하여 추후 국제사회에 통용될 수 있는 국내 기준 제정 마련의 토대를 마련하고자 한다.

\*\* 본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업(20173010041800) 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

## 복합소재 용기의 돔 형상 안전설계 방안 연구

노경길 · 조성민<sup>†</sup> · 이승국 · 문중삼

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study of Design Method for Safety on Dome Shape of Composite Cylinder

Gyeong Gil Roh · Sung Min Cho<sup>†</sup> · Seung Kuk Lee · Jong Sam Moon

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

<sup>†</sup>Corresponding author: cho225@kgs.or.kr

복합소재 용기(Type4)는 PA6, PET, HDPE 등 비금속 재질의 라이너 표면에 탄소섬유를 감아 제작된다. 복합소재 용기는 일반 강재용기(Type1)에 비해 무게가 가볍고 내부식성이 강하다는 장점을 지니고 있다. 이 때문에 복합소재 용기는 수소저장, 공기호흡기 등 고압가스의 저장·운송 용도로 많이 사용되고 있다.

용기는 원통형의 ‘몸통부’와 반구 형태의 ‘돔 부’로 구성이 되며, 돔 부와 몸통부가 연결되는 부분은 ‘돔 너클’이라고 칭하는데, 복합소재 용기의 돔 부 형상은 ‘등장력 돔’ 이론을 바탕으로 설계된다. 그 이유는 용기가 파열될 때 몸통부가 우선 파열되는 설계특성을 지녀 파열용기로 인한 2차 사고피해를 줄일 수 있기 때문이다.

하지만 해외에서 ‘등장력 돔’ 형상에서 벗어난 돔 형상을 지닌 복합소재 용기가 일부 제조, 유통되고 있다. ‘등장력 돔’ 형상이 법적의무 사항이 아니므로, 이를 제재할 수는 없으나 기술적인 측면에서 ‘등장력 돔’ 형상을 지닌 용기와 그렇지 않은 용기의 안전성을 비교할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 ‘등장력 돔’ 형상으로 제작된 복합소재 공기호흡기 용기와 ‘등장력 돔’ 형상에서 벗어난 2개의 용기를 제작하여 구조해석을 통한 응력분포를 분석하고, 수압파열시험을 통해 각각의 용기의 파열부위를 확인하였다.

구조해석을 통한 응력분포 분석은 두 가지 경우를 고려하여 이루어졌다. 하나는 제조 및 운반 과정에서 발생하는 결함을 무시한 경우이며, 다른 하나는 이런 결함을 고려하여 용기 최외각 섬유층이 훼손된 경우이다. 첫 번째 경우에는 3가지 유형의 용기 모두 몸통부에서 최대응력이 발생하였지만, 실제 여건을 고려한 경우에는 ‘비등장력 돔’ 형상을 지닌 2개의 용기는 돔 너클부에서 최대응력이 발생하였다.

그리고 실제 수압을 이용한 파열시험에서 ‘등장력 돔’ 형상을 지닌 용기의 경우 몸통부에서 파열이 발생하였지만 ‘비등장력 돔’ 형상의 용기는 모두 돔 너클 부위에서 파열이 발생하여, 실제 여건을 고려한 응력분석 결과에서 예측한 것과 같은 결과를 얻었다.

이 연구를 통해 ‘등장력 돔’ 형상을 지닌 용기가 ‘비등장력 돔’ 형상을 지닌 용기보다 더 높은 안전성이 있음을 확인하였으며, 복합소재 용기의 설계 시 ‘등장력 돔’ 이론을 따른 돔 형상 설계를 권장한다.

\*\* 본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업(20162220100080) 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

## Type3 수소저장 복합재료용기 수압반복시험 피로 거동 연구

성혜진 · 조성민<sup>†</sup> · 이승국 · 문중삼

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on Behavior of Hydraulic Cycling fatigue Test for Type3 Hydrogen Composite Cylinder

Hye-Jin Seong · Sung-Min Cho<sup>†</sup> · Seung-Kuk Lee · Jong-Sam Moon

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

<sup>†</sup>Corresponding author: cho225@kgs.or.kr

전 세계 국가들이 환경규제를 강화하고, 대기 오염의 원인이 되는 배기가스를 배출하지 않는 수소연료전지 자동차에 대한 산업이 급성장하는 추세이다. 한국가스안전공사는 수소연료전지자동차에 사용되는 수소저장용기의 상온수압반복시험 및 밸브류로 구성된 고압수소저장시스템의 시스템 평가를 통한 고 신뢰성과 안전 검증을 목적으로 한다. 수소저장용 복합재료 용기 Type3용기의 높은 내구성과 안전성이 보고되고 있지만 용기의 파열 거동이 국내에서 아직 검증되고 있지 않다. 따라서 공사 내 구축된 수압반복 장비를 이용하여 Type3 용기를 수압반복 시험을 통해 연구하였으며, 이를 통해 수소저장용기의 거동을 파악하고자 한다. 실험은 실제와 같은 상황을 모사하여 진행하는 용기에 대한 설계검증 시험으로 복합재료 용기의 피로특성을 실제 충전 및 방출 환경에서 용기의 건전성을 검증한다. 또한 해외 규정에서 요구되는 내구성을 충족하기 위해서 규정에 따라 시험 한다. 용기에 결함이 생겨 유체가 누출되었을 때 촬영 영상 또는 육안으로 확인하기 위해 시험유체는 물로 선정한다. 본 연구에서 70MPa Type3 수소저장 복합재료 용기에 대한 파열시험과 수압반복시험, 침투탐상시험을 통하여 다음과 같이 결론을 얻었다. 라이너의 파열시험 시 실린더부가 돔부위 보다 응력이 집중되어 파열이 먼저 시작됨을 확인하였다. 용기의 수압반복시험 시 피로 누적에 의해 라이너에서 누출이 될 경우 여러 부위에서 용기 누출 발생을 확인하였다. 반복 완료 내부라이너의 결함은 용기를 절개하여 침투탐상시험을 통해 실린더부에서 크랙이 발생된 것을 확인하였다. 이 결과를 통해 용기의 변형은 실린더부가 더 크게 부풀어 올라 돔 너클과 실린더부가 파열됨으로 피로누적에 취약함을 알 수 있었다. 향후 부위마다 구조해석을 통해 세부적 거동에 대한 연구를 수행할 예정이다.

\*\* 본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업(20173010041830) 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

## Type3 복합재 용기 내 상온수압반복시험 시 공기 유입에 따른 온도 변화 연구

김다은 · <sup>†</sup>조성민 · 이승국 · 문종삼  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on Internal Temperature Variations by Air Pocket during Ambient Hydraulic Cycling Test in Type-3 Composite Vessel

Daeun Kim · Sungmin Cho · Seungkuk Lee · Jongsam Moon

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

<sup>†</sup>Corresponding author: cho225@kgs.or.kr

세계적으로 자동차 개발 및 보급 기본계획에 따라서 수소 또는 압축천연가스(CNG) 등이 친환경 연료로 주목받고 있다. 수소나 압축천연가스를 친환경자동차 연료로 사용할 경우 차량 내 연료 저장 공간을 확보해야 하고 연비효율의 향상 시켜야 한다. 2가지를 충족하기 위해서는 고압으로 압축한 연료 저장 용기가 필요하다. 현재까지는 복합소재로 만든 용기가 뛰어난 성능을 나타내는 것으로 알려져 있다. 용기에는 4가지 형태가 존재하는데 이러한 용기는 재질에 따라 구분된다. 그 중에서도 Type 2,3,4 복합소재 용기가 경량성과 고압저장성 때문에 가장 뛰어난 것으로 알려져 있다. 대부분의 선진국은 용기를 판매하기 전 안전을 위해 NGV 또는 ISO11439에서 규정하는 시험을 의무적으로 통과해야 한다. 그 중 수압반복시험은 용기가 예상 수명에 도달할 때까지 반복되는 연료의 충전과 방출에 의한 손상되지 않고 원래의 기능을 구현하는지 알아보는 실험이다.

본 연구에서는 Type 3 복합재 용기 내 상온수압반복시험 시 공기 유입에 따른 온도 변화를 연구하였다. 실험에 사용된 용기의 공칭용량은 106 L이며, 사용압력이 20.7 MPa인 Type 3 복합재 용기를 사용하였다. 상온수압반복시험 시 전처리 과정에서 용기 내 남아있는 공기유입이 있을 경우 부작용을 보여주기 위해 절반의 유체를 주입하였고, 용기 내부 온도를 측정하기 위해 온도계 다발을 설치하였다. 실험 결과로 유체의 온도는 점진적으로 증가하였고 공기층의 온도는 압력변화와 같은 속도로 상승, 하강을 반복하는 것을 확인하였다. 온도변화로 인한 열적 피로가 일어날 가능성이 존재하며 복합용기 수명평가의 오류를 일으킬 수 있으므로 상온수압반복시험 시 전처리 과정에서 용기를 수직으로 세운 후 시험을 진행하거나 진공펌프에 용기를 연결하고 난 후 충분히 흔들어 공기층을 제거한다면 시험의 신뢰성이 향상 될 것이다.

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

## 지능형가스미터 무선검침 데이터 유효성 및 시험방법에 관한 연구

김민준<sup>†</sup> · 오동석 · 오정석

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on Data Validity Evaluation and Testing of Intelligent Gas Meter with Wireless Meter Reading Function

Minjun Kim<sup>†</sup> · Dongseok Oh · Jeongseok Oh

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

<sup>†</sup>Corresponding author: minjun1007@kgs.or.kr

도시가스 보급률은 지난 1992년 21.7%에서 77.8%(2014년 기준)으로 크게 높아지는 등 외연적인 면에서는 크게 성장한 가운데, 국내 가정용 가스미터의 연간 수요는 361만대 규모이며, 스마트가스미터 시장 규모는 연간 1000억원 안팎으로 추산된다.

하지만, 국내 가스계량기 계량·안전점검·요금 분야는 여전히 서비스 초기방식에서 크게 벗어나지 못하고 있으며, 고정된 수요와 계량기 제조업체 간의 가격경쟁으로 인하여 산업으로서의 성장 동력을 상실한 실정이다. 현재의 방식은 검침원의 방문을 통한 요금을 부과하는 방식으로, 신뢰성의 문제 및 지진, 화재와 같은 재해/재난으로 인한 원격차단 및 제어 기능의 부재로 안정성의 문제를 가지고 있다.

도시가스는 지역별 34개 가스사업자들로 운영되고 있어 기업의 자발적인 기술개발로는 지능형가스미터링에 대한 표준화 및 운영기술 확보가 어려운 실정이다.

성공적인 지능형가스미터링 구축을 위해서 본 연구를 통해 도시가스 산업 특성을 고려한 서비스, 플랫폼, 통신, 디바이스, 보안 등의 지능형 가스미터링 기술을 개발, 또한 테스트베드를 구축하고 가스사, 제조사, 인증기관, 연구기관이 실증과정에 참여하여 신뢰성 및 시장수용성을 확보하고, 스마트가스미터 형식승인, 성능인증/가스용품검사 등 관련 인증 기술 기준을 제시하고 지능형가스미터링 표준을 정립함으로써 조속한 보급확산을 이루고자 한다.

## Al-doped ZnO Quantum dot을 이용한 2-CEES의 실시간 검지

이준호 · 정희봉 · 최용삼\* · 이우영<sup>†</sup>

연세대학교 신소재공학과 · \*iSenLab

## Real-time detection of 2-CEES by Al-doped ZnO Quantum dots

Jun Ho Lee · Hwaebong Jung · Yong-Sahm Choe\* · Wooyoung Lee<sup>†</sup>

Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University,  
262 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea

\*iSenlab Inc., Halla Sigma Valley, Dunchon-daero 545,

Jungwon-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13215, Republic of Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: wooyoung@yonsei.ac.kr

We report a new portable warfare agent analyzer consists of a miniaturized gas chromatography (GC) and Al-doped ZnO quantum dot (AZO QD) sensors. This device can analyze of 2-CEES over a wide concentration range within 2 min and use a small volume of the target gas (1 mL) without pre-concentration. The average size of hydrothermally synthesized AZO QDs is approximately 5 nm and these particles exhibit superior sensing properties over un-doped ZnO QDs. This is mainly due to increased carrier concentration by doping Al<sup>3+</sup> into ZnO lattices. The analyzer is capable of detecting 2-CEES gas as low as 0.5 ppm and its signal is strongly correlated with the concentration of the target gas. In addition, the miniaturized GC column can separate 2-CEES from other VOCs like DMMP and acetone. In this study, we demonstrated that a portable device with miniaturized GC columns and AZO QD sensors can selectively separate and detect small amount of 2-CEES over other gases.

## 소듐 에어로졸 누설 감지기술에 관한 연구

감다영<sup>†</sup> · 정민환 · 정지영

한국원자력연구원

### Study on sodium aerosol leak detection technology

Dayoung Gam<sup>†</sup> · Minhwan Jung · Jiyoung Jeong

Korea Atomic Energy Research Institute

<sup>†</sup>Corresponding author: gdy@kaeri.re.kr

The facilities using liquid sodium(Na) like plant or reactor should be able to detect Na leakage whether operation or shutdown because the Na belonging to Class 3 water-prohibiting dangerous substances has high chemical activity with water and oxygen. If sodium leaks into a high temperature liquid state, it reacts rapidly with moisture and oxygen so that toxic aerosol is generated in the air and harms human body. The components of sodium aerosol are sodium oxide, sodium dioxide, sodium hydroxide, sodium carbonate, sodium bicarbonate etc. In particular, the threshold limiting value for the atmospheric concentration for humans of sodium hydroxide is 2mg/m<sup>3</sup> because of its high toxicity.

Therefore, early leakage detection is necessary to minimize equipment damage or accident by generating a trip signal or isolating leakage spot. For small leakage(100gNa/h) detection, SID(Sodium Ionization Detector), RID(Radioactive Ionization Detector), DPD(Differential Pressure Detector) and RIMS(Laser Resonance Ionization Measurement Spectrum) are commonly used as leak detectors for detecting sodium aerosol that is only about nanogram concentration. The detecting methods of these leak detectors are physically analysis of aerosol component or measuring electrical signal by Na ions. The detector is mainly configured as a system which samples the gas around the sodium container or piping and guides it to the leak detector to measure the aerosol concentration in real time.

This study describes sodium aerosol leak detection system, operation principle, advantages and disadvantages and application examples as well as characteristics of sodium aerosol so as to assist the safety of facilities utilizing high temperature liquid sodium.

## 크기에 따른 산화아연 나노입자를 기반으로 한 이소프렌 가스 검지 센싱 특성 연구

박윤지 · 유란 · 박승렬 · 이준호 · 정희봉 · 이우영<sup>†</sup>

연세대학교 신소재공학과

## Enhanced Sensing Properties of ZnO Quantum Dots for Detection of Isoprene

Yunji Park · Ran Yoo · Seungryol Park · JunHo Lee · Hwaebong Jung · Wooyoung Lee<sup>†</sup>

Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, 50 Yonsei-to,  
Seodaemun-gu, Seoul, 03722, Republic of Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: wooyoung@yonsei.ac.kr

The sensing properties of ZnO particles have been investigated for the detection of VOCs (Volatile Organic Compounds), in particular, isoprene ( $C_5H_8$ ). According to previous studies, size reduction of ZnO particles was used as one of the methods for maximizing the reactivity. Thus, we compared the reactivity of the ZnO particles, classified by average particlesizes,  $\sim 5$ (so-called quantum dots(QDs)) and  $\sim 25$ nm(so-called nanoparticles (NPs)), for the detection of isoprene. Evidently, from the X-ray diffraction characterizations, the ZnO particles were successfully synthesized by a wet-chemical synthesis method. According to the XPS and BET results, larger number of oxygen vacancies and specific surface area were observed in the ZnO QDs compared to the NPs. The maximum response to 1ppm isoprene was  $\sim 42$  at  $350^\circ\text{C}$  for the QDs and  $\sim 5.6$  at  $500^\circ\text{C}$  for the NPs. The higher sensing response and lower optimal working temperature of the ZnO QDs can be attributed to the comparably active adsorption sites and enhanced kinetics of the surface reaction from the size effect. Furthermore, the sensing response of ZnO QDs to 1 ppm isoprene is superior to previously reported isoprene sensors that are based on semiconducting metal oxides.

## 양자 산화 아연 입자 및 소형 가스 크로마토그래피 컬럼을 이용한 고선택성의 호기 아세톤 검지 장치

정희봉 · 조원희\* · 유란 · 이현숙 · 최용삼\*\* · 전용관\* · 이우영†  
연세대학교 신소재공학과 · \*연세대학교 스포츠응용산업학과 · \*\*(주)아이센랩

## Highly Selective Breath Acetone Analyzer Using a ZnO Quantum Dots Based Sensor with a Miniaturized Gas Chromatographic Column

Hwaebong Jung · Wonhee Cho\* · Ran Yoo · Hyun-sook Lee · Yong-Sahm Choe\*\* ·  
Justin Y. Jeon\* · Wooyoung Lee†

Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, 50 Yonseiro,  
Seodaemun-gu, Seoul, 03722, Republic of Korea

\*Department of Sport Industry Studies, Yonsei University, 50 Yonseiro, Seodaemun-gu,  
Seoul, 03722, Republic of Korea

\*\*Isenlab Inc., Halla Sigma Valley, Dunchon-daero 545, Jungwon-gu, Seongnam-si,  
Gyeonggi-do, 13215, Republic of Korea

†Corresponding author: wooyoung@yonsei.ac.kr

Breath acetone is related to diabetes, fasting, fat metabolism, and other numerous diseases. The conventional tools for breath analysis, such as GC-MS, SIFT-MS, PTR-MS, and etc., are disadvantageous in terms of cost, portability, and complexity. Here, we developed a breath acetone analyzer based on a miniaturized gas chromatography (GC) column integrated with ZnO quantum dots (QDs); this analyzer is capable of analyzing a wide range of breath acetone concentrations within 2 min using a small volume (1 ml) of human breath without pre-concentration. The developed analyzer could detect acetone concentrations as low as 0.1 ppm. The response of the ZnO QDs increased with increasing acetone concentration and was strongly correlated with the concentration ( $R^2=0.9915$ ). In addition, a preliminary testing of the breath acetone analyzer was conducted through breath analysis of volunteers who were on ketogenic and normal diets. The acetone content in the breath of volunteers (who were on a ketogenic diet for 3 days and a normal diet) was monitored using the breath acetone analyzer.

## Al, In 도핑한 ZnO Quantum Dots의 아세틸렌 검지 특성

박민선, 유란, 구아란, 박윤지, 이현숙, 이우영<sup>†</sup>

연세대학교 신소재공학과

### Acetylene Sensing Properties of M (Al, In)-doped ZnO Quantum Dots

Minsun Park, Ran Yoo, Aran Koo, Yunji Park, Hyun-Sook Lee, Wooyoung Lee<sup>†</sup>

Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, 50 Yonsei-ro,  
Seodaemun-gu, Seoul, 03722, Republic of Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: wooyoung@yonsei.ac.kr (W. Lee)

Acetylene (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), dissolved in oil-filled power equipment, has undoubtedly the most detrimental risk in terms of safety owing to the arc discharge characteristics. It is necessary to systematically detect the dissolved acetylene gas for optimum operation condition which can directly affect the safety and stability of the power system. In this vein, we report the high-performance C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> gas sensor based on 1 at% Un-, Al- and In-doped ZnO quantum dots (QDs) which was synthesized by a wet chemical method. The phase and morphology of the as-synthesized QDs were characterized by X-ray diffraction (XRD) and transmission electron microscope (TEM) analyses. The XRD reveal that Un-, Al- and In-doped ZnO QDs were successfully fabricated. The sensing properties of the M (Al, In)-doped ZnO quantum dots were measured via real-time monitoring of electrical resistance change upon exposure of acetylene in air. The sensing performance of the C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> gas were carried out by exposing the sensor to the lowest concentration under the working temperature 400°C. The response of Un-, M (Al, In) -doped ZnO QDs to the 10 ppm acetylene was 2.7, 6.8 and 19.3 in air at the optimum operating temperature, which are superior to that of other previously reported C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> sensors based on semiconducting metal oxides.

## CPMS 정보와 RBDA를 활용한 위험순위 도출 프로그램 개발

오동석 · 이진한<sup>†</sup>

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Development of risk ranking program using CPMS data and RBDA

Dongseok Oh · Jinhan Lee<sup>†</sup>

Korea Gas Safety corporation

<sup>†</sup>Corresponding author: imhappy@kgs.or.kr

도시가스시설에 대한 전반적인 데이터를 체계적으로 관리하고, 이를 활용하여 가스안전관리 관련 대내·외 업무를 효과적으로 수행하기 위해서 도시가스배관 종합관리시스템(CPMS : City-gas Pipeline Management System)을 개발하여 구축되었다. CPMS에 업로드된 데이터는 KGS Code의 명시된 기준에 의해서 위험지수로 표현되고 이를 통하여 진단우선순위가 도출되어 배관 안전관리가 수행되고 있다. 하지만 위험지수를 산장하는 배점방식이 매우 단순하고 관련 근거도 부족할 뿐만 아니라, 중복 순위가 많아 순위의 의미가 상실되었다. 따라서 33개 도시가스사의 데이터와 신뢰도 기반 설계 및 평가법(RBDA : Reliability Based Design and Assessment)기반으로 한 프로그램을 개발하여 합리적으로 위험도 및 위험순위를 도출함으로써 효율적인 배관 안전관리를 할 수 있는 방안을 마련하고자 한다.

RBDA는 신뢰성에 관계된 한계상태를 정의한 다음 한계상태 함수를 개발하고, 한계상태 함수에 사용되는 변수의 확률론적인 모델을 실제 통계데이터, 이론적 모델, 엔지니어링 판단에 근거하여 개발한다. 설계와 운전 적용되는 모든 인수 즉 재료물성, 설계인자, 방식특성 등을 정의하고 주어진 한계상태함수로부터 신뢰도를 계산한 후, 계산된 신뢰도가 허용가능 수준인지를 판단하여 만족 될 때까지 설계 및 운전 인자를 변경하여 신뢰도 계산을 반복한다. 여기에 서, 신뢰도 계산의 효율성을 높이기 위해 전통적으로 사용되어 온 Crude Monte-Carlo(CMC) 법 대신에 Separable Monte-Carlo (SMC)법을 적용해 그 유용성을 보였다.

본 연구에서 개발된 프로그램이 현장에 적용한다면 지역적으로도 적합한 우선적 안전관리가 실시됨과 동시에 위험도가 높은 배관부터 진단이 이루어짐으로써 대규모 가스 사고를 사전에 예방할 수 있을 것으로 기대된다.

## 공기중 및 유중에서의 수소 검지를 위한 팔라듐이 코팅된 산화주석 나노막대 어레이 기반의 고성능 수소 센서

김민형 · 장병진 · 이우영<sup>†</sup>

연세대학교 신소재공학과

## High-Performance Hydrogen Sensors based on Pd-coated SnO<sub>2</sub> Nanorod Arrays for Detection of H<sub>2</sub> in Air and Oil

Min Hyung Kim · Byungjin Jang · Wooyoung Lee<sup>†</sup>

Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, 262 Seongsanno,  
Seodaemun-gu, Seoul, 129-749, Republic of Korea

<sup>†</sup>Corresponding author: wooyoung@yonsei.ac.kr

We report enhanced sensing properties of Pd-coated SnO<sub>2</sub> nanorod (NR) arrays for detecting H<sub>2</sub> gas in air and dissolved in transformer oil. The Pd nanoparticles were coated on randomly ordered vertical SnO<sub>2</sub> NR arrays by the glancing angle deposition (GLAD) method, which utilizes an electron-beam evaporator and a DC magnetron sputtering system. The Pd-coated SnO<sub>2</sub> NR arrays exhibited high response (104 at 1% H<sub>2</sub>) in air. Pd-coated SnO<sub>2</sub> NR arrays were immersed and in mineral oil that contains various concentrations of dissolved H<sub>2</sub> and the electrical response was measured. We found that the Pd-coated SnO<sub>2</sub> NR arrays showed superior response ( $R = \sim 96$ ), low detection limit (0.3 ppm), and fast response times (300 s). The Pd-coated SnO<sub>2</sub> NR arrays had a temperature coefficient of resistance (TCR) of  $3.69 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  at various oil temperatures (20–80 °C), indicating good thermal stability at high temperatures. The sensing mechanism of the Pd-coated SnO<sub>2</sub> NR arrays was also demonstrated by using changes in the Schottky barrier height at the Pd/SnO<sub>2</sub> interface upon exposure to H<sub>2</sub>.

# Author Index



감다영 P55  
 강동천 P01  
 곽솔림 P28, P29  
 권경옥 A407  
 권남호 B303  
 권성필 B701  
 권용중 B304  
 권초아 P15, B501  
 김광국 A907  
 김근호 B703  
 김기석 A704  
 김다은 P52  
 김동준 B306  
 김민우 B105  
 김민준 P53  
 김민형 P60  
 김범규 B503  
 김보경 A801  
 김성은 A804, A905  
 김소현 B104  
 김수진 A403  
 김승환 A702, P03  
 P04, P05  
 김영수 A304  
 김영진 P08  
 김우석 P24, P25  
 김의수 P02  
 김인범 A408  
 김정훈 A105  
 김종익 A108  
 김지혜 B107  
 김지훈 A404  
 김태환 A806  
 김홍관 P12

김희은 A701  
  
 나상도 A208  
 나준영 A703  
 노경길 P50  
 노영섭 B406  
 노재현 A301, A302  
  
 단승규 A109  
  
 류영돈 A110  
 류지호 A505  
  
 맹성렬 B404  
 민광기 B704  
 민동석 P48  
 민세홍 A901  
 민정기 A903  
  
 박민선 P58  
 박승규 A202  
 박우일 P26  
 박윤지 P56  
 박은석 A902  
 박정옥 P43

박제혁 P44  
 박중민 B301  
 박진우 P09  
 박진형 A206, A303  
 박찬호 P21  
 박천탁 B604  
 박평규 A307, A308  
 백승현 A204  
  
 서동현 P33  
 설지우 A705  
 성견혁 P40  
 성혜진 P51  
 송시원 B509  
 송윤태 B205  
 송인철 A601, A602  
 신상훈 B506  
 신세철 B203  
 신연제 P42  
 신현영 P47  
  
 안수빈 A802  
 양원석 P06  
 염지웅 P49  
 오동석 P59  
 오승현 A803  
 오원식 P31  
 오정석 A103  
 왕순주 A501, A509  
 유란 P16  
 유병길 P20

유병태	B601	장인철	A205	최영택	B305
유철희	B109, B702	장재식	A603	최우수	P27
유학인	A502	장호원	B405	최찬일	B207
윤성용	A503, A508	전병준	B103		
윤익근	B602	전성찬	B403		
윤희주	P14	정승호	B307		
윤희석	A305	정유한	B705		
이관평	P22	정진우	A506	하규만	B603
이광희	P11	정진희	P35	한솔찬	B505
이명지	P46	정회봉	P57	한우섭	A406
이봉우	B206	조상훈	B102	한원비	B106
이승형	A906	조성민	B101	한호식	A306
이영재	B507	조성현	P10	한화정	P17
이용재	A409	조승식	A805	현성민	A405
이우귀연	A104	조영도	A101	현성호	A411
이우성	A806	조용흠	B504	홍문기	P32
이우영	B401	조윤식	B508	홍석영	A908
이윤우	P07	조철희	A209, A401	홍정열	B204
이재원	P13	조필래	A201	황래문	P18
이정석	P34	주유경	A106	황만식	P37, P38
이종화	A107	주경미	A504		
이준호	P54	지영택	B502		
이지현	P19	지현민	P30		
이진상	B402	진향교	A402		
이진한	A102				
이학태	P45				
이형섭	B302	차정민	A410		
이호렬	P23	천영우	A207		
임경민	A203	최규출	A309		
임지영	P36	최나영환	B201		
임형준	P39	최대해	A507		
		최대현	P41		
		최동호	B202		
		최두찬	A904		
장세근	B108				



이 학술대회는 산업안전보건연구원의 일부 재정이 지원되었습니다.

This work was partially supported by a grant from the Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI).