

# 제11회 한국위험물학회 정기총회 및 학술대회 초록집

- 체계적인 화학물질 관리를 통한 안전사회 구현-

일시 | 2023. 8. 23(수) 12:00 ~ 25(금) 11:00

장소 | BEXCO 제2전시장 1층, 3층

**주 최** (사)한국위험물학회

**협 찬** SK이노베이션(주), GS칼텍스(주), 삼성전자(주), 한국소방산업기술원,  
한국산업안전보건공단, 한국가스안전공사, 한국가스공사 가스연구원,  
(주)유티이씨, (주)한화, 한방유비스(주), 한국소방안전원, (주)새빛테크, (주)코너스,  
(주)건일방재, 알파안전(주), 산업안전보건연구원, (주)한백에프앤씨, (주)되고시스템,  
(주)영설계에프앤씨, (주)지엠이앤에스, 차스택이앤씨(주), (주)종우엔종우소방기술단,  
(주)미래기준연구소, 도부라이프텍(주), 가천대학교, 한국전자통신연구원,  
전남대학교 공정혁신 시뮬레이션센터, (주)헤르스, (주)엠라인스튜디오



# 제11회 한국위험물학회 정기총회 및 학술대회 초록집

- 체계적인 화학물질 관리를 통한 안전사회 구현-

일시 | 2023. 8. 23(수) 12:00 ~ 25(금) 11:00

장소 | BEXCO 제2전시장 1층, 3층

주 최 (사)한국위험물학회

협 찬 SK이노베이션(주), GS칼텍스(주), 삼성전자(주), 한국소방산업기술원,  
한국산업안전보건공단, 한국가스안전공사, 한국가스공사 가스연구원,  
(주)유티이씨, (주)한화, 한방유비스(주), 한국소방안전원, (주)새빛테크, (주)코너스,  
(주)건일방재, 알파안전(주), 산업안전보건연구원, (주)한백에프앤씨, (주)되고시스템,  
(주)영설계에프앤씨, (주)지엠이앤에스, 차스택이앤씨(주), (주)종우앤종우소방기술단,  
(주)미래기준연구소, 도부라이프텍(주), 가천대학교, 한국전자통신연구원,  
전남대학교 공정혁신 시뮬레이션센터, (주)헤르스, (주)엠라인스튜디오



# Contents

## A1 가스안전

- A101 수소용 연소기의 안전기준 마련을 위한 국제 동향 조사 및 분석 연구 ..... 1  
이화영 · 조영광 · 하상준(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A102 고위험 가스 시설 내 인공지능을 적용한 비파괴검사 기술에 관한 연구 ..... 2  
이재웅 · 이효렬 · 이우귀연(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A103 선박용 메탄올 벙커링 현황 ..... 3  
김종민 · 박동욱 · 정정호(한국선급)
- A104 도시가스 배관망 수소혼입환경에서 연소기의 안전성 검증방안에 관한 연구 ..... 4  
조영광 · 신현국 · 하상준(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A105 국내 트럭-선박 간 LNG 벙커링 개선 및 안전에 관한 연구 ..... 5  
박성인 · 노재승 · 신동규(HD한국조선해양) · 박재희(HD한국중공업) · 박경민(현대삼호중공업)
- A106 AI 기반 위험분석 자동화 알고리즘 개발 ..... 6  
이우귀연(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A107 이동형 기반 암모니아 선박 충전 실증을 위한 안전기준 개발 연구 ..... 7  
최영주 · 백지효 · 이지희 · 오정석(한국가스안전공사)
- A108 선박용 천연가스 공급을 위한 펌프 구동방식 LNG벙커링 모듈 개발 ..... 8  
박성진 · 김태완(㈜한준에너지)
- A109 압력용기등 사용적합성(Fitness-For-Service)평가 균열특성 판단법 ..... 9  
김정환 · 하상준 · 이진한(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A110 극저온 액화수소 저장용기의 진공, 단열 관련 국제기준 분석연구 ..... 10  
박주현 · 이민경 · 김정환(한국가스안전공사 가스안전연구원)

## A2 안전교육 · 안전정책

- A201 국가기술자격증 개설현황 분석 및 위험물기사 신설에 대한 제언 ..... 11  
김인별 · 이용재 · 차정민 · 현성호(경민대학교)
- A202 국가직무능력표준(NCS)기반 과정평가형 자격제도 운영성과 및  
개선 방안 연구 ..... 12  
황중록(한국산업인력관리공단)
- A203 인공지능 학습을 통한 화학물질 판독시스템 및 활용방안 연구 ..... 13  
김태훈(한국소방안전원)
- A204 소규모 건축물의 소방시설 작동장애에 관한 연구 ..... 14  
유재길(경민대학교) · 함재영(주)LH방재) · 현성호(경민대학교)

|      |  |    |
|------|--|----|
| A205 | 공정위험성평가 HAZOP 방법론의 효용 극대화 방안               | 15 |
|      | 심중호((주)포스코)                                |    |
| A206 | 터널형 방음벽 화재안전성능 확보에 관한 제언                   | 16 |
|      | 이용재 · 김인범 · 차정민 · 현성호(경민대학교)               |    |
| A207 | SK에너지 계기/전기 방폭 설비 기술지원 Chatbot 개발 사례       | 17 |
|      | 배상집 · 박재현(SK에너지)                           |    |
| A208 | 도시가스사업자에 대한 중대재해처벌법(중대시민재해)의 문제점 및 개선방향 검토 | 18 |
|      | 허민희 · 이현익(㈜미래엔서해에너지)                       |    |

## A3

### 소방안전(1)\_화재안전, 소방안전(2)\_재난안전분석

|      |   |    |
|------|---|----|
| A301 | 4방향 흔들림 방지 버팀대의 구조 안정성 및 내진 성능 연구           | 19 |
|      | 이항준((주)메이크순) · 오수연 · 좌성훈(서울과학기술대학)          |    |
| A302 | 소방시설 내진설계의 공학적 배경과 응용                       | 20 |
|      | 김길중(지케이엔지니어링) · 오홍규(라인이엔씨) · 민세홍(가천대학교)     |    |
| A303 | 위험물 사각 탱크의 지진안전성 설계 시 구조해석에 의한 체크리스트 적정성 연구 | 21 |
|      | 이형기(내진탱크)                                   |    |
| A304 | 소화가스설비 배관의 흔들림 방지 버팀대 적용에 관한 연구             | 22 |
|      | 이병호(한방유비스(주) 내진사업부)                         |    |
| A305 | 식품업종 화재특성 및 예방에 관한 연구                       | 23 |
|      | 이중표 · 김용민 · 정재용(롯데웰푸드(주))                   |    |
| A306 | 전기화학 평가를 통한 과충전 시 리튬이온 배터리의 흑연 음극 계면 반응 분석  | 24 |
|      | 강경석 · 최재원(구리소방서)                            |    |
| A307 | 영상 기반 화재 감시 및 발생 위치 탐지 데이터 활용방안             | 25 |
|      | 최두찬 · 서기준 · 김민규 · 손은수(한방유비스(주))             |    |
| A308 | 플랜트 전용 스마트 화재 모니터링 연동 방수총에 관한 연구            | 26 |
|      | 최두찬 · 황현수 · 김상일 · 김정민 · 손은수(한방유비스(주))       |    |
| A309 | 시뮬레이션 기반 다중밀집 위험도 평가 기법 제시                  | 27 |
|      | 최두찬 · 김희문 · 김은솔 · 김정민 · 손은수(한방유비스(주))       |    |
| A310 | 물류시설 화재안전 DB 구축 활용방안에 관한 연구                 | 28 |
|      | 최두찬 · 김상일 · 고민혁 · 양소진 · 손은수(한방유비스(주))       |    |

## A4

### 위험물 리스크 평가 및 사고대응 경진대회

- A401 FLACS CFD 시뮬레이션, 회귀분석과 기계학습을 활용한 수소자동차  
누출 확산 및 증기운 폭발 위험성평가 ..... 29  
정영민 · 신동일(명지대학교)
- A402 Bow-Tie, 고장형태 영향 분석을 활용한 위험성 평가 및 공정 근로자의  
접근성 향상에 관한 연구 ..... 30  
양유호 · 박성수 · 조윤진 · 천영우(인하대학교)
- A403 도심 내 수소충전소의 정량적 위험도 평가 ..... 31  
김민지 · 김이수 · 이근원 · 정승호(아주대학교)
- A404 위험성평가 활성화를 통한 공공기관의 안전활동 강화 사례 연구 ..... 32  
안정운 · 윤여송(한국기술교육대학교)

## A5

### 특별세션(1)\_ICT융복합화재·재난과학연구센터

- A501 물류창고 지하화 화재대책연구 ..... 33  
민세홍(가천대학교)
- A502 CPVC 배관의 내진제품 기술기준에 관한 연구 ..... 34  
오유라 · 민세홍(가천대학교)
- A503 대규모 공동주택 피트공간의 소방 안전성 확보를 위한 연구 ..... 35  
권형용 · 민세홍(가천대학교)
- A504 전기자동차 충전시설 소방대책 고찰 연구 ..... 37  
이명애 · 민세홍(가천대학교)
- A505 대형 스포츠경기장 시뮬레이션을 통한 위험성 평가에 관한 연구 ..... 38  
주민언 · 이재문 · 사재천 · 민세홍(가천대학교)
- A506 준공 이전 공사 현장의 화재 위험성 분석에 관한 연구 ..... 40  
이종균 · 이재문 · 이수행 · 민세홍(가천대학교)
- A507 FDS 화재 시뮬레이션을 통한 지하공동구 화재 위험성평가 검증에 대한 연구 ..... 41  
김재엽 · 이재문 · 사재천 · 민세홍(가천대학교)
- A508 지하공동구 화재대응을 위한 화재 시뮬레이션 데이터 정제에 관한 연구 ..... 42  
이재호 · 이재문 · 사재천 · 민세홍(가천대학교)
- A509 화학공정에서 AI를 활용한 근로자 중대산업재해예방 시스템 적용 사례 ..... 44  
윤태균 · 김동오 · 김종현(코너스)

## A6

### 특별세션(2)\_공정안전관리제도의 개선방안

- A601 공정안전관리제도의 어제와 오늘, 그리고 내일 ..... 45  
김형석((주)헤르스)

## B1

### 석유화학

- B101 CFD 기반 화학물질 취급 사업장의 환기 시스템 최적화에 관한 연구 ..... 46  
김은희 · 임채완 · 문명환 · 마병철(전남대학교)
- B102 보일러 유해가스 중독 예방을 위한 자동 환기장치 설치에 관한 연구 ..... 47  
김상현 · 이현종 · 오일환 · 조규선(호서대학교)
- B103 중대재해 감축 로드맵 이행을 위한 사업장 작업위험성평가 현황 및 개선 방안 ..... 48  
최진영(SK에너지)
- B104 친환경 경질우레탄 난연재료로서의 폐각(굴껍질) 사용 및 난연 성능 연구 ..... 49  
이승훈 · 안승효 · 마병철(전남대학교)
- B105 질식재해 예방을 위한 맨홀 관리시스템 필요성에 대한 연구 ..... 50  
유현철 · 김명철 · 김충래 · 조규선(호서대학교)
- B106 변경관리 시스템 운영 사례 소개 ..... 51  
모진택(SK에너지)
- B107 CFD 시뮬레이션 기반 폴리우레탄 폼의 난연성 평가 연구 ..... 52  
이준서 · 이슬기 · 이승훈 · 마병철(전남대학교)
- B108 제철산업 위험성평가 사례에 관한 연구 -화학물질취급 A기업 사례를 중심으로- ..... 53  
이동윤 · 이규식 · 엄재근(호서대학교)
- B109 중대 재해예방을 위한 안전관리 고도화 사례(Gray Zone & Blind Spot) ..... 54  
이원호 · 윤슬기((주)LG화학)
- B110 SK실더스의 산업제어시스템(ICS) 보안 전략 ..... 55  
강서일(SK실더스)
- B111 고온 배관 보온재에 누유된 윤활유의 화재 발생 가능성에 대한 연구  
- 타이어 제조사 H사업장을 중심으로 - ..... 56  
김용진 · 이형민(호서대학교)

## B2

### 위험물운송

- B201 토픽 모델링 기법을 적용한 유해화학물질 관련 국민 질의 분석 ..... 57  
김강현 · 홍정열(계명대학교) · 최윤혁(도로교통연구원)
- B202 철도 위험물 운송 안전성 강화를 위한 용기 요구사항 분석 ..... 58  
원종운 · 유용훈 · 박기준(한국철도기술연구원)
- B203 효율적인 PSM관리를 위한 디지털솔루션개발방향 제시 ..... 59  
박진형(숭실대학교)

## B3

### 원자력안전

- B301 인공지능 기반의 원자력발전소 기기냉각수 상실사고 예측 모델 개발 ..... 60  
주세민 · 이연하 · 송석호 · 이정익(한국과학기술원)
- B302 다양한 인공지능경망 모델을 활용한 원자력 발전소 중대사고 진행 예측 ..... 62  
이연하 · 송규상 · 김성중 · 이정익(한국과학기술원)
- B303 핵 사고에 대한 선원항 역추정 방법: 다중 방사성핵종 방출 시나리오에 대한  
미분 없는 최적화 접근법 ..... 63  
장시호 · 박주룡 · 김수현 · 임경동 · 김용수(서울대학교)
- B304 다중고장사고 시 운전원 조치 시간에 따른 열수력 거동 민감도 분석 ..... 64  
이연건 · 유지아(제주대학교)
- B305 시스템 코드와 CFD를 통한 EBR-II SHRT-45 실험 자연 순환의 연구 ..... 65  
박준범 · 정재호(가천대학교)
- B306 입자법 CFD 기반의 원자력 중대사고 완화전략 IVR-ERVC 해석 방법론 개발 .... 66  
최태수 · 이태훈 · 김용수(서울대학교)
- B307 The Preliminary Design for Heat Exchanger in Heat Pipe Cooled  
Micro Reactors by Considering Heat Pipe Failure Scenarios ..... 67  
Faruk Celik · 방인철(울산과학기술원)
- B308 비등 영역을 고려한 크러드 열전달 모델 연구 동향 분석 및 개선 ..... 68  
서동균 · 김형대(경희대학교)
- B309 크러드 침적 단일 가열봉의 급랭 열전달에 관한 실험적 연구 ..... 69  
배반석 · 박영재 · 이윤주 · 김지현 · 김병재 · 김형대(경희대학교)

## B4

### 반도체 안전

- B401 반도체용 가스실린더 캐비닛 내부에서의 수소가스 폭발압력이 방호벽에  
미치는 영향 ..... 70  
김민지 · 민미미 · 정승호(아주대학교)
- B402 반도체산업에서의 위험물안전관리법 정책제언 ..... 71  
권혁화 · 박은우 · 최광문(SK하이닉스)
- B403 위험물 취급 반도체 산업의 안전성평가 사례 ..... 72  
최경식 · 김서영 · 윤영환 · 최종호(삼성전자)
- B404 반도체 제조 설비에서 실란가스를 취급하는 가스박스의 최적화 설계 연구 ..... 73  
임근영(세이프티월드) · 김민지 · 이근백(아주대학교)
- B405 반도체 산업현장 내 화학사고 영향범위 분석 사례 ..... 74  
선우건의(SK하이닉스) · 김신지 · 김형수 · 정승호(아주대학교)
- B406 반도체 저압기상증착 공정에서 발생하는 부산물 분진의 폭발 위험성 평가 ..... 75  
이진백 · 유나린 · 정승호(아주대학교)
- B407 반도체 세정 설비 LOPA 위험성평가 분석 ..... 76  
최동권(SK하이닉스) · 김민지 · 이근백 · 정승호(아주대학교)

**B5****특별세션(3)\_해상 위험물 사고 스마트 대응(ETRI)**

|      |   |    |
|------|---|----|
| B501 | 해상 위험물 사고 대응을 위한 현장 시나리오 분석 .....                             | 77 |
|      | 박소영 · 배명남 · 이강복(한국전자통신연구원)                                    |    |
| B502 | 선박의 3차원 실내 공간정보 구축을 위한 공간정보 모델링 구축 기법 및<br>저작도구 개발 .....      | 78 |
|      | 역욱현 · 최주현 · 박남희((주)유엔이)                                       |    |
| B503 | 해양 선박사고의 현장대응 위험요인 도출 .....                                   | 80 |
|      | 배명남 · 이강복(한국전자통신연구원)  |    |
| B504 | 입력 매개변수를 고려한 유막 이동의 수치모델 분석: 허베이 스피리트호 사고<br>사례를 통한 검증 .....  | 81 |
|      | Hai Van Dang · 신성원 · 주수찬(한양대학교 에리카산학협력단)                      |    |
| B505 | LTE-M1 네트워크에서 다중 CE 레벨에 대한 Preamble 자원 온라인 제어 .....           | 82 |
|      | 장환 · Zhenyu Cao · Hu Jin(한양대학교 에리카산학협력단)                      |    |
| B506 | 화학사고 현장 출동 대원들의 건강 모니터링을 위한 사물인터넷 장치 및<br>그 이용방법 .....        | 83 |
|      | 김현석 · 이상연 · 조광수 · 신동범 · 배명남 · 박소영 · 이강복(한국전자통신연구원)            |    |
| B507 | 해양사고에서 선박 공간정보 및 실내 경로를 지원하는 웨어러블 재난정보<br>디스플레이 설계 및 연구 ..... | 84 |
|      | 이성훈 · 정용안 · 변상봉 · 한동철 · 조수현(구미전자정보기술원)                        |    |
| B508 | 해양 화학화재 사고 현장에 따른 현장 대원의 임무 지원 단말기<br>디자인 연구 .....            | 85 |
|      | 엄태완 · 윤장원 · 허다인 · 정재원 · 송정혜((주)아이온)                           |    |

**C1****환경안전 및 RISK관리**

|      |   |    |
|------|---|----|
| C101 | 거버넌스를 통한 화학물질관리정책 수립 .....                                | 86 |
|      | 김신범(노동환경건강연구소)  |    |
| C102 | 화관법, 화평법의 유해화학물질 지정관리체계 개편 방안 .....                       | 87 |
|      | 이은정(리켄프로(주)) · 현준원(한국법제연구원) · 황성익(법무법인 세종) · 성정우(리켄프로(주)) |    |
| C103 | 만성유해성물질 정의와 관리방안 방향성 .....                                | 88 |
|      | 김기태(서울과학기술대학교)  |    |

## C2

### 수소안전

- C201 다차종 동시 수소충전 시스템의 정량적 위험성 분석에 관한 연구 ..... 89  
김부승 · 한규진 · 홍승택(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- C202 액화수소 충전소 정량적 위험성 평가에 관한 연구 ..... 90  
유은결 · 강승규 · 김민아 · 홍승택(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- C203 액화수소 누출시험에 대한 최신 기술 동향과 누출시험 기본설계 ..... 91  
김정민 · 김승환 · 강승규(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- C204 High-Mn 적용 액화수소 저장탱크 안전성 평가 방법 연구 ..... 92  
이동현 · 강승규 · 홍승택(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- C205 고압 수전해 시스템 안전기준 개발 ..... 93  
이정훈 · 이정운 · 유수연 · 추지안(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- C206 수소추출설비 성능평가 및 안전기준 개발 현황 ..... 94  
김수경 · 정재환 · 추지안 · 이정운(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- C207 수전해설비 안전기준 분석 및 개발 ..... 95  
윤문삼 · 이정훈 · 정재환 · 이정운(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- C208 암모니아 수소추출설비 관련 국내외 기준 분석을 통한 안전항목 도출 ..... 96  
맹주희 · 추지안 · 정재환(한국가스안전공사 가스안전연구원)

## C3

### 엔데믹과 보건안전

- C301 동물용 고압산소챔버의 산소분압 신속증가 달성방법의 개발 ..... 97  
왕순주 · 박정은(한림대학교)
- C302 부산 사상 황화수소 유출 사망 환자 사례를 통한 산업체 사고 유형 ..... 99  
장윤덕(인제대학교부산백병원)
- C303 유해화학물질 취급종사자를 위한 안전의식 및 안전교육 필요성에 관한 연구 ..... 100  
피혜영(대원대학교)
- C304 크루즈 선사의 ESG경영과 보건안전 ..... 102  
윤여현(영산대학교)
- C305 엔데믹 시대의 디지털 보건안전교육 - 모바일 콘텐츠를 중심으로 ..... 103  
모효정(뉴베이스)
- C306 산업 재난 현장에서의 1급 응급구조사의 역량과 역할 ..... 104  
김민찬(USFK Camp Carroll)
- C307 최근 산업 안전사고의 경향과 정책적 대응방안 모색 ..... 105  
박시은(동강대학교)
- C308 병원전단계 구조구급대원 재난 및 다수사상자대응 도상 교육훈련 과정 개발 ..... 106  
최대해(차의과대학교구미차병원) · 문성배(경북대학교) · 최옥진(울산대학교) · 이상훈(계명대동산병원) ·  
정남기(구미강동병원) · 안은규 · 서호성 · 전병주(경북응급의료지원센터)
- C309 군중놀림 사고의 이해와 접근 : 이태원 참사 인명피해를 중심으로 ..... 108  
왕순주(한림대학교) · 양필승(MAILab) · David Wagner(한양대학교)

## C4

### A 해양오염

- C401 국립공원 내 도서지역 해중쓰레기 관리방식 전환 ..... 111  
허덕경 · 신창호 · 이재성 · 진승환 · 김한진(국립공원공단)

### B 해양위험물

- C402 친환경연료 등 해상환경 변화에 따른 해상화학사고 대응 개선에 관한 연구 ..... 113  
김백제 · 송영구 · 정재현(해양경찰청)
- C403 탱크터미널 및 항만 HNS 액체위험물 안전관리 ..... 114  
길용찬(오드펠터미널 코리아(주))
- C404 선박에서의 훈증제 사용과 안전관리 ..... 115  
황승윤 · 남근우 · 천광수 · 박춘화 · 박봉균(화학물질안전원)
- C405 친환경 선박 확산에 따른 위험 관리 및 방제 방안 ..... 116  
강희진(선박해양플랜트연구소)
- C406 항만 위험물 컨테이너 관리 한계점 및 관리방안 ..... 117  
최나영환 · 박상원(한국해양수산개발원)
- C407 화학물질 운반선 화재에 대한 소방대응 ..... 118  
박정호(울산소방본부)

## C5

### 특별세션(4)\_위험물 사고예방 및 대응(소방청)

- C502 위험물 데이터베이스 활용 및 관리와 GHS 제도의 국제적 이행상태 ..... 119  
반준화 · 한지훈(한국소방산업기술원)
- C503 화학사고 대응을 위한 염기성 위험물질 중화 실험 ..... 120  
김주석 · 최아영 · 염수현 · 박제섭 · 박민영(국립소방연구원)
- C504 ESS화재 폭발에 의한 소방대원 안전 위협에 관한 조사 ..... 121  
나용운(국립소방연구원)
- C505 화학사고 현장에 적용 가능한 실시간 시야 개선방안 ..... 122  
신영민 · 임유리(국립소방연구원) · 한동훈(소방정책연구실) · 강동구(한국전기연구원)
- C506 소방드론을 활용한 Hazmat 재난현장 적용기술 ..... 123  
김영래 · 김경남(중앙소방학교) · 이덕(강북소방서)
- C507 화학사고 시 특수화학구조대의 역할 및 대응 ..... 124  
홍승목(울산소방본부)
- C508 최근 국내 화학사고 동향 분석: 소방청 기초자료 중심으로 ..... 125  
조철희(국립소방연구원)

**P****포스터발표**

|  |     |
|--|-----|
| P01. 공사현장 임시가설용 화재안전모듈 개발 필요성에 관한 연구 .....               | 126 |
| 이종규 · 이재문 · 이수행 · 민세홍(가천대학교)                             |     |
| P02. 도금조 FRP 적층작업 중 발생한 화재사고 원인분석 .....                  | 128 |
| 최이락 · 김천동(산업안전보건연구원)                                     |     |
| P03. Bow-Tie, 고장형태 영향 분석을 활용한 공정 유해·위험요인 분석 .....        | 129 |
| 양유호 · 천영우(인하대학교)   |     |
| P04. 냉동창고에 설치되는 공기흡입형 연기감지기 파이프 결로현상에 대한<br>실험적 연구 ..... | 130 |
| 최수길 · 김민욱 · 이진호((주)태산전자)                                 |     |
| P05. 이성분계 혼합물인 n-Hexanol+Butyric acid 계의 인화점 계산 .....    | 131 |
| 이성진(세명대학교)   |     |
| P06. Water+Ethanol 계의 인화점 측정값을 이용한 기포점 예측 .....          | 132 |
| 이성진(세명대학교)   |     |
| P07. 유해화학물질 취급시설의 사고원인분석 표준화에 관한 연구 .....                | 133 |
| 이수훈 · 이민수 · 김세윤 · 김의수(한국교통대학교)                           |     |
| P08. 폐황산 재사용 공정의 안전성 향상 대책 .....                         | 134 |
| 권남호 · 이진우 · 김우태 · 임세훈(한국산업안전보건공단)                        |     |
| P09. 수소취급시설의 누출특성에 따른 폭발위험범위 산정에 관한 연구 .....             | 135 |
| 안승효(전남대학교)   |     |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| <b>Author Index</b> ..... | <b>136</b> |
|---------------------------|------------|



## 수소용 연소기의 안전기준 마련을 위한 국제 동향 조사 및 분석 연구

이화영<sup>†</sup> · 조영광 · 하상준  
한국가스안전공사 가스안전연구원

## A Study on International Trends and Analysis to Prepare Safety Standards for Hydrogen Application

Hwa Young Lee<sup>†</sup> · Yeong Gwang Jo · Sang Jun Ha

Korea Gas Safety Corporation R&D

<sup>†</sup>Corresponding author: [hy10019@kgs.or.kr](mailto:hy10019@kgs.or.kr)

국제적인 환경문제 해결을 위해 정부에서는 탄소중립 실현 및 수소경제 활성화 정책들을 발표하고 있다. 현재 수소 생태계(생산-이송-저장-활용) 조성을 위한 인프라 보급이 모빌리티 및 연료 전지 개발에 집중되어 있다. 향후 수소의 활용처 확대(가정용 연료 등) 및 수소 도시 조성에 따라 수소용 연소기 개발의 필요성이 대두되고 있다.

해외의 경우, 2020년부터 수소용 연소기 개발을 추진하고 있다. 유럽의 경우, Bocsh, BDR Thermea Group 등에서 수소보일러 등을 개발하였고, THyGA(Testing Hydrogen admixture for Gas Applications) 프로젝트를 통해 수소용 연소기의 성능을 검증하고 있다. 일본의 경우, 2022년도 린나이에서 수소 전소 보일러 개발을 발표하였다. 국내에서도 경동나비엔에서 가정용 수소보일러 개발을 시작으로 다양한 연소기 개발을 추진 중이다.

수소 연소기 개발이 활성화됨에 따라 연소기의 성능 확보 및 안전성 검증을 위한 안전기준 개발이 필요한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 국산 수소연소기의 안전기준에 필요한 항목을 도출하기 위해 국제동향을 조사하고, 분석해보고자 한다.

\*\*본 연구는 환경부의 “물·대기산업 경쟁력 강화를 위한 주요 기자재 국산화 기술개발 사업”으로 지원받은 과제입니다. (평면상 화염기반 모듈형 1.2Gca/hr급 수소연소기 국산화 기술개발/RS-2023-00219971)

## 고위험 가스 시설 내 인공지능을 적용한 비파괴검사 기술에 관한 연구

이재웅 · 이우귀연<sup>†</sup> · 이효렬

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on the Non-Destructive Testing applying Artificial Intelligence for High Risk Gas Facilities

Jae-woong Lee · Ugiyeong Lee<sup>†</sup> · Hyo-Ryeol Lee

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

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

고압가스 냉동제조시설, 고압가스 일반제조시설, 고압가스 충전 시설, 정유시설, 석유화학 플랜트와 같은 고위험 가스 시설의 경우, 설비의 노후화, 설치 불량, 작업미비 등으로 인한 화재, 붕괴, 가스누출, 폭발, 중독 등 안전사고가 지속적으로 발생하고 있다. 안전사고 예방과 동일 사고 재방방지를 위해 IT와 인공지능을 활용한 검사 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 대표적인 예로 설비에서 발생하는 진동, 음향, 부재 온도를 실시간으로 계측하고, 측정 데이터를 AI를 기반으로 분석하여, 고장 예지와 설비 건전성을 예측하는 모니터링 기술 개발이 진행되고 있다.

본 연구에서는 고위험 가스 시설 내 압축기 등 주요 설비에 대한 결함 검출을 위해 진동 신호 및 전원 신호 분석과 같은 비파괴 검사 기법을 기반으로하고, 인공지능을 활용한 데이터 분석 기법을 접목한 ‘스마트 안전관리 시스템’을 개발하고자 한다. 스마트 안전관리 시스템은 계측 데이터와 주요 설비에서 발생한 사고 유형과 빈도, 위험 분석 데이터를 연동하여 위험 지수를 정량화하여 시설 내 구역별 실시간 위험도 산출 및 시각화를 통해 작업자가 인지하기 쉽도록 제공한다. 관리자에게는 설비의 위험도에 따른 차등적 안전관리 프로세스를 제시하여 설비고장 예후를 사전 경고하고 긴급 상황 발생 시 선제 조치가 가능하다.

나아가, 구역별 위험도 산출 알고리즘 세분화와 초음파, 열화상 탐지 등 비파괴 검사 기법의 지속적인 현장 적용을 통해 작업자 맞춤형 위험요소 제시 시스템을 개발하여 업무 효율성과 안전성을 확보하고자 한다.

\*\*본 연구는 산업통상자원부 및 KETEP의 다중이용 에너지시설 안전진단 및 위험예측 안전기술개발사업(20215910100200, 고위험가스 밀집 시설에서 현장 상황에 따른 위험예측과 사고대응이 가능한 차등적 안전 프로세스 중심의 스마트 안전관리시스템 개발)의 연구 결과로 수행되었습니다.

## 선박용 메탄올 벙커링 현황

김종민<sup>†</sup> · 박동욱 · 정정호

한국선급 연구본부 시스템안전연구팀

## The Status of Marine Methanol Bunkering

**Chongmin Kim<sup>†</sup> · Dongwook Park · Choungho Choung**

System safety research team in R&D Division, Korean Register (KR)

<sup>†</sup>Corresponding author: ckim@krs.co.kr

The maritime industries are very busy. This is due to the need to find environmentally friendly alternative fuels to meet increasingly stringent regulations to reduce greenhouse gases from ships around the world. Among other alternative fuels, methanol technology is gaining traction because it has a number of advantages: engines are already developed, it has lower carbon emissions than LNG, and it can be transported as a liquid cargo at room temperature.

Methanol can significantly reduce sulfur oxides and nitrogen oxides compared to conventional marine fuels, and can reduce greenhouse gases by up to 25%. In addition, methanol does not cause marine pollution when discharged into the ocean because it dissolves in water and biodegrades quickly.

Currently, methanol-fueled ships are being delivered starting in 2023, and the demand for methanol bunkering for these ships will increase. Therefore, a technical and safety review of methanol bunkering is required.

\*\*This study will review the current status of methanol bunkering and safety guidelines/checklists for methanol bunkering, and propose directions for safety technology and technology improvement through analysis.

## 도시가스 배관망 수소혼입환경에서 연소기의 안전성 검증방안에 관한 연구

조영광<sup>†</sup> · 신현국 · 하상준

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on the Safety Verification Method of Combustor in Hydrogen Blended Environment in City Gas Piping Network

Jo Yeong-Gwang<sup>†</sup> · Shin Hyun-guk · Ha Sang-joon

Korea Gas Safety Corporation Gas Safety Research Institute

<sup>†</sup>Corresponding author: jyg202@kgs.or.kr

세계적인 기후변화 문제로 인하여 온난화가스 저감대책은 이제 선택이 아닌 필수가 되었다. 국제적으로는 온난화 가스 배출량 감소 목표(2030 NDC)를 설정하였고 우리나라 또한 2020년 10월 국가 비전으로 2050 탄소중립을 선언하고 2021년 10월 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향 안을 발표 하면서 2030년 까지 2018년 온실가스 총 배출량 대비 40% 감축을 목표로 하였다. 이를 달성하기 위한 수단으로 다양한 방안이 존재하고 있으며 신에너지인 수소가 좋은 대안 중 하나로 여겨지고 있다. 이에 따라 정부에서는 ‘2026년 도시가스 수소 20% 혼입 사용화’라는 목표를 설정하였지만 기존 연소기의 구조적 변경 없이 수소가 혼입된 도시가스를 직접 공급하기 위해서는 수소 혼입농도 변화에 따른 화염형태 분석 및 안전성 검증방안에 관한 연구가 필요하다. 수소는 도시가스에 비하여 연소속도가 빠르고 역화의 위험이 존재한다. 또한, 단위 부피당 발열량이 작고 밀도가 낮아 연소호환성에 변화가 발생 할 수 있다. 따라서 국내에서 사용 중인 보일러 및 연소기의 열량, 열효율, 연소상태변화, 연소속도, 가스누출, 배출가스 농도, 역화에 대한 성능을 평가하고 안전성을 검증할 수 있는 방안을 도출하고 연소기 검사 설비에 적용하여 수소혼입 농도 변화에 따른 성능변화를 실증하여 안전성을 검증하여야 한다.

## 국내 트럭-선박 간 LNG 병커링 개선 및 안전에 관한 연구

박성인<sup>†</sup> · 노재승 · 신동규 · 박재희\* · 박경민\*\*

HD한국조선해양 · \*HD현대중공업 · \*\*현대삼호중공업

### A Study on the Improvement and Safety of the Domestic LNG Truck-to-Ship Bunkering

**Sung-In Park<sup>†</sup> · Jae Seung Roh · Dongkyu Shin · Jaehee Park\* · Kyoungmin Park\*\***

HD Korea Shipbuilding & Offshore Engineering ·

\*HD Hyundai Heavy Industries · \*\*Hyundai Samho Heavy Industries

<sup>†</sup>Corresponding author: parksungin@pusan.ac.kr

본 논문은 국내 트럭-선박 간 LNG 병커링(bunkering) 작업 개선 및 실증에 관한 연구 활동을 소개한다. 국제 온실가스 배출 규제에 따라 LNG를 연료로 활용하는 선박이 급증하고 있다. 해당 선박 대다수는 국내 조선소를 통해 건조되며 신규 건조 선박의 시운전을 위해 트럭-선박 간 LNG 병커링이 실시된다. 국내의 경우 관련 법규에 따라 해당 작업 시 트럭 대수 제한이 존재하여 연료 충전에 상당한 시간이 소요되었다. 이에 특정 사업자는 개선 방안을 검토하였으며 “산업융합 규제 샌드박스 - 실증을 위한 규제특례 (실증특례)” 제도를 통해 최대 4대 트럭-선박 간 LNG 병커링이 기획되었다. 규제부처/기관을 통해 연료충전 시설 일체 및 작업 안전기준이 제정되었으며 사업자의 각종 위험성 평가를 통해 작업장 안전이 검토되었다. 개선된 작업 실시를 통해 연료충전 시간이 크게 단축되었으며 연료충전 과정에서의 BOG(boil-off gas) 발생 및 배출 절감, 즉 친환경 효과 또한 확인되었다.

## A.I 기반 위험분석 자동화 알고리즘 개발

이우귀연<sup>†</sup>

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Development of Risk Analysis Automation

**Ugiweon Lee<sup>†</sup>**

Korea Gas Safety Corporation

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

한국가스안전공사는 30년 이상 가스시설데이터와 가스사고데이터를 조사 및 축적해왔다. 축적된 데이터의 활용도를 극대화하기 위하여 가스안전연구원은 2017년부터 지속적으로 데이터를 효율적으로 분석할 수 있는 알고리즘을 연구해 왔고 축적된 데이터 품질도 보완해 왔다. 연구 진행된 기술을 바탕으로 2021년 이후부터 가스사고관리시스템(Gas Incident Management System)을 자체적으로 개발하고 공사 내부망을 통해 사고데이터 관리, 열람, 사고영향분석 등에 대하여 서비스를 제공하고 있다.

한편, 국내 가스사용시설(도시가스, LPG, 수소 시설 등)에 대한 사고 빈도 데이터는 거의 전무한 편이다. 그런데 한국가스안전공사는 가스시설데이터와 사고데이터를 지속적으로 수집해왔기 때문에 사고빈도 데이터를 개발할 수 있는 환경을 이미 갖추고 있다. 본 연구는 사고 빈도 산출 알고리즘을 우선적으로 개발 진행하고 있다. 시스템이 사용자의 명령어를 분석하고 이와 부합하여 시설 종류, 사용가스, 구축년도, 사용목적, 사용환경 등에 대한 다양한 조건별로 즉각적으로 빈도가 산출 가능하도록 구현할 예정이다. 또한 2017년부터 가스안전연구원은 사고영향(피해영향)을 예측 계산하는 알고리즘을 개발해 왔다. 이를 통해 사고빈도와 피해영향 데이터를 리스크 매트릭스를 통하여 통합적으로 위험성을 분석할 수 있는 시스템이 구현될 수 있다.

인공지능 알고리즘은 위험 조건을 찾아서 제시하는 목적으로 활용된다. 위험분석 시스템은 사용자가 위험분석을 원하는 조건(시설종류, 사용가스, 사용환경 등)을 입력값으로 받아들이며 해당 조건에 대한 위험분석 결과를 출력값으로 제시한다. 인공지능 알고리즘은 다양한 위험 조건을 스스로 구축하여 위험분석을 실시하고 시스템 사용자에게 위험한 조건을 선별하여 역으로 제시한다.

이 연구 결과는 향후 가스사고관리시스템을 통해서 공사 내부적으로 서비스 제공 및 활용될 예정이다.

## 이동형 기반 암모니아 선박 충전 실증을 위한 안전기준 개발 연구

최영주<sup>†</sup> · 백지효 · 이지희 · 오정석

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on the development of safety standards for mobility-based ammonia bunkering station demonstration

Young-Joo Choi<sup>†</sup> · Ji-Hyo Baek · Ji-Hee Lee · Jung-Suk Oh

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

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

최근 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization) 및 유럽연합(EU, European Union)을 중심으로 국제 해양오염 규제가 강화되고 있다. 특히, IMO는 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>를 규제하고 탈탄소, 무탄소 연료 사용을 목표로 온실가스를 감축하고자 한다. EU는 온실가스 배출량을 2030년까지 1990년 대비 55 %이상 감축을 목표로 하고 있으며, EU배출권 거래시스템에 해운분야가 포함되어 선주는 EU에게 배출허용량을 구매하여야 한다. 이에 따라, 국제 해운 연료사용 전망은 현재 많이 쓰이는 화석연료 기반 연료유에서 천연가스, 메탄올, 바이오에너지, 전기 등으로 전환되고 있으며, 무탄소 연료인 수소와 암모니아도 연료로 전환이 예상된다. 이와 같이 해양환경에서도 온실가스 배출 저감을 위해 저탄소 및 무탄소 연료로의 전환을 노력하고 있으며, Clarkson's Research에 따르면 2050년에는 무탄소 연료를 사용하는 친환경 추진선박이 79%를 점유할 것으로 예상되며, 국내 조선사에서 2025년 이후, 암모니아 연료 추진선 건조를 목표로 하고 있다.

국내에서도 그린쉽-K 추진전략으로 친환경선박법 기본계획과 그린뉴딜 등을 통하여 친환경 선박의 보급을 촉진하기 위해서 노력하고 있으며, 친환경선박/기자재 기준, 친환경선박(기자재) 인증 및 시험평가 기반을 마련하고 있다. 다만, 육상에서 선박으로 암모니아를 충전하는 암모니아 병커링의 경우, 고압가스일 경우, 「고압가스 안전관리법(이하 “고법)」의 적용을 받게 되나, 현행 고법 상 고압가스 충전대상 및 종류에는 선박이 포함되지 않고 있다. 암모니아를 육상에서 충전하기 위해서는 일반제조 또는 충전허가를 받아야 하며, 현재 충전대상은 용기와 자동차에 고정된 탱크만을 명시하고 있다. 따라서, 암모니아를 육상 충전시설을 통하여 선박에 고정된 탱크 또는 용기에 충전하기 위해서는 고법 및 관련 법령의 제도개선이 필요하다.

본 연구에서는 중소벤처기업부 규제자유특구사업(6차)을 통하여 특구지역(부산) 내 암모니아 선박 충전시설이 구축될 수 있도록 하였으며, 암모니아 ISO 탱크컨테이너를 저장설비로 사용한 이동형 기반 액화암모니아 선박 충전의 실증을 위한 안전기준 개발 추진방향과 도출된 액화암모니아 선박 충전시설 실증기준을 분석하고, 암모니아 선박 충전사업에 대한 제도화 방안을 검토하여 육상에서의 암모니아 병커링 제도 마련에 기여하고자 한다.

\*\*본 연구는 2023년도 중소벤처기업부 규제자유특구혁신사업(부산 암모니아 친환경에너지 규제자유특구) 지원에 의한 연구임[P0020618]

## 선박용 천연가스 공급을 위한 펌프 구동방식 LNG병커링 모듈 개발

박성진 · 김태완

(주)한준에너지

### Development of pump-driven LNG bunkering module for LNG supply for ships

**Sungjin Park · Taewan Kim**

Hanjun Energy Co., Ltd.

†Corresponding author: sjpark@hanjun.co.kr

국제해사기구(IMO) 해양환경보호위원회(MEPC)는 2023년 7월 제80차 회의에서 초기전략의 목표를 상향 개정한 “2023 IMO 온실가스 감축전략”을 채택을 통해 2030년까지 국제해운 전반의 운송작업당 평균 이산화탄소 배출량을 2008년 대비 40% 감축 목표와 2050년 무렵 온실가스 배출량 제로(Zero)를 목표 달성을 제시하였다. 따라서 해운분야에서 친환경 연료의 사용이 늘어날 것으로 예상되며, 현재 친환경 연료 중 선박용 천연가스(LNG)는 이미 인프라 구축이 충분히 되어 있고 및 LNG추진선이 지속적으로 증가되고 있다. 또한 국내 조선 3사에서는 연간 약 100여척의 LNG추진선박을 건조 중에 있으며 건조 이후에는 LNG 연료를 이용한 엔진성능을 평가와 LNG운반선을 건조한 이후에도 LNG저장탱크에 LNG를 주입하는 가스시운전 작업에도 LNG 수요가 증가하고 있다.

본 연구는 TTS(Truck to Ship)방식으로 선박용천연가스를 LNG추진선에 공급하기 위한 극저온 LNG 펌프를 적용한 LNG병커링 모듈(가스 집합설비) 개발로, 선박용 천연가스(LNG)를 연료로 사용하는 선박인 LNG 연료추진선에 LNG를 효율적으로 공급하기 위해 LNG탱크트레일러 2대이상 연결할 수 있는 MTTS(Multiple Truck to Ship) 방식의 LNG 병커링 모듈을 고안하고 제반 설계와 해석을 수행하여 차압 방식 및 펌프 구동방식으로 LNG를 공급할 수 있는 선박용 LNG 병커링 모듈 개발하였다.

본 연구에서는 MTTS LNG 병커링 모듈의 이동성 확보를 위해 ISO 20ft 컨테이너 규격으로 설계 및 제작되어 조선소 시운전 및 항만에서 LNG 병커링 작업을 할 때 있으며 경제성 및 효율성을 고려하였다. LNG 공급은 LNG이송 펌프 사용 유무에 따라 차압방식과 펌프구동방식으로 구분할 수 있으며 항만 및 선박의 상황에 따라 공급방식을 선택할 수 있도록 하였다. 차압방식으로 4대의 LNG 탱크트레일러를 연결하여 선박용 천연가스 공급할 경우 최대 LNG 유량은 시간당 80m<sup>3</sup>로 1 시간 이내에 작업을 완료할 수 있고, 펌프방식으로 공급할 경우 최대 유량이 시간당 150m<sup>3</sup>로 최대 8대의 LNG 탱크트레일러를 1시간 이내 작업을 완료할 수 있다. 다만 유량은 150m<sup>3</sup>/h 미만, 유속은 10m/s 이하로 유지해야 한다.

## 압력용기등 사용적합성(Fitness-for-Service) 평가 균열특성 판단법

김정환<sup>†</sup> · 하상준 · 이진한  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Fitness-for-Service Evaluation and Crack Characterization Method for Pressure Vessels

**Jeong Hwan Kim<sup>†</sup> · Sang-Jun Ha · Jin-Han Lee**  
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation  
<sup>†</sup>Corresponding author: abbu2k@kgs.or.kr

탄소중립 달성과 미래 환경을 위하여 수소의 다양한 사용은 전세계적으로 활발하게 연구되고 있습니다. 현재 단계에서 수소의 사용을 위한 저장 수단으로 초고압의 압력으로 압력용기에 저장하는 기술이 가장 많이 적용되어 있으며, 수소충전소에서는 90MPa에 달하는 압력으로 강제 심리스 압력용기에 저장하고 있습니다. 여기서, 수소는 강재에 대하여 41MPa 이상의 압력에서는 수소취성을 갖게 할 경향이 큰 것으로 보고되어 있어서, 그렇기에 수소취성에 의한 균열의 성장을 항상 감시하고 진단하며 압력용기의 사용한계를 설정하고 관리하는 것이 매우 중요합니다. 본 연구에서는 API 579-1/ASME FFS-1(Fitness for Service) 코드의 Part 9(ASSESSMENT OF CRACK-LIKE FLAWS)에 따라 결함(균열)의 모양, 크기 등으로 결함을 정의하는 방법을 논의하고, 결함이 정의된 경우, 수명평가로 이어지는 방식을 논의하고자 합니다. 결함의 실제 모양으로부터 균열의 평가로 이어지기 위한 모양 단순화 방법을 먼저 논의하고, API 579-1/ASME FFS-1에서 균열의 모양으로 다루는 through-wall, semi-elliptical surface crack, elliptical embedded crack, corner crack 등의 모양으로 정의하는 방법을 논의하겠습니다. 다음은 응력과 관계된 균열의 방향을 해석하기 위한 단순화 방향과 다중결함을 평가하기 위한 방법과 예시를 논하고자 합니다. 최종적으로 결함이 수명평가용으로 정의된 후, 수명평가로 이루어지는 단계를 소개하고자 합니다.

## 극저온 액화수소 저장용기의 진공, 단열 관련 국제 기준 분석 연구

박주현 · 이민경 · 김정환<sup>†</sup>

한국가스안전공사 가스안전연구원

## Analysis of international standards related to the vacuum and insulation of cryogenic liquefied hydrogen storage containers

**Juhyeon Park · Mingyeong Lee · Jeonghwan Kim<sup>†</sup>**

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

<sup>†</sup>Corresponding author: abbu2k@kgs.or.kr

탄소중립 및 연간 526만톤의 수소 공급 목표를 이루기 위해 최근 수소산업에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그 중 수소를 액화하여 운송, 저장하려는 시도도 이루어지고 있으며 다양한 분야에서 활용할 수 있도록 개발이 진행되고 있다. 이러한 액화수소는 기체 수소보다 압력이 낮아 안정적인 상태로 보관 및 운송이 가능하고 기체 수소 대비 부피가 1/800로 감소되어 동일 압력에서 800배의 체적에너지 밀도를 갖는다. 따라서 이러한 액화수소는 대량 운송 및 저장에 용이하고 경제적이라는 평가를 받고 있다. 하지만  $-253^{\circ}\text{C}$ (20K)의 극저온 상태를 유지해야 하고 증발가스(Boil-Off Gas, BOG)의 발생 및 가압 등을 방지할 수 있는 높은 난이도의 진공단열 기술 적용이 필요하다.

현재 이러한 액화수소 진공단열 기술을 국내에 적용하기 위해서는 국내 기준으로는 미흡한 실정이기에 CGA H-3-2019(Standard for Cryogenic Hydrogen Storage), ISO 21014-2019(Cryogenic vessels-Cryogenic insulation performance)와 같은 국외 기준을 인용하여 평가 기준을 도입 중에 있다.

NER(Normal Evaporation Rate), Warm&Cold vacuum retention test, Cold shock 등 초저온 액화수소에 관한 다양한 시험방법과 기준들을 다루고 있다. 이를 참고하여 산업통상자원부와 한국가스안전공사에서는 극저온 액화수소 관련 추가안전기준안을 통해 국내 진공, 단열 성능평가 체계를 도입하였다.

본 연구에서는 초저온 액화수소 저장 및 운송에 대한 추가안전기준안 및 국제 기준들을 분석하여 기준개발에 대한 참고자료로 활용하고자 한다.

**Key words** : Liquid hydrogen(액화수소), Liquid hydrogen technologies(액화수소 기술), Cryogenic design(극저온 설계), Test certification(인증 시험), Empirical evaluation(실증 평가)

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

## 국가기술자격증 개설현황 분석 및 위험물기사 신설에 대한 제언

김인범 · 이용재 · 차정민 · 현성호<sup>†</sup>

경민대학교 소방안전관리과

### Analysis of the Current Status of Opening of National Technical Qualifications and Proposals for the Establishment of Hazardous Materials Engineer

In-Beom Kim · Yong-Jae Lee · Jeong-Min Cha · Seong-Ho Hyun<sup>†</sup>

Dept. of Fire Protection Safety Management, Kyungmin Univ

<sup>†</sup>Corresponding author: shhyun@kyungmin.ac.kr

산업현장의 다각적인 변화와 더불어 4차 산업혁명이라는 용어의 등장처럼 산업환경이 급변하고 있는 만큼 국가기술자격에 있어서도 산업현장을 기반으로 한 위험물과 관련한 자격제도에 대해 논의와 정비가 필요할 것으로 판단되어 현행 자격제도에 대한 분석 및 현행 기술자격 종목들의 체계에 분석을 통해 자격제도의 개편이나 신설의 가능성에 대해 살펴보고자 한다.

국가기술자격은 국가기술자격법 제1조에서 산업현장의 수요에 적합한 자격제도를 확립하여 기술인력을 양성해 국가 경제발전에 이바지하기 위해 운영되고 있다. 국가기술자격제도는 1988년도 이후 기술·기능 분야와 서비스 분야로 구분되어 운영되고 있는데 기술·기능 분야는 기술사, 기능장, 기사, 산업기사, 기능사 등 5개 등급체제로, 서비스 분야는 단일등급, 2개 등급(1급, 2급), 3개 등급(1급, 2급, 3급)으로 구성되어 있다. 전체 운영 종목 수는 2022년 말 기준으로 기계, 건설, 전기·전자, 정보통신, 농림어업, 화학, 안전관리 등의 직무 분야에 총 544종목으로 한국산업인력공단에서 493종목을 운영하며 나머지 종목은 9개의 전문기관에서 위탁하여 운영하고 있다.

이들 국가기술자격 중 2023년 기준으로 등급별 상위 접수 종목을 보면 기능장의 경우 위험물 기능장 종목의 접수인원이 12,014명으로 차순위 종목인 전기 기능장 5,223명에 비해 2배 이상의 인원이 지원하였으며, 산업기사의 경우 위험물 종목의 지원자가 62,110명으로 최근 5년간 3순위 내에 위치할 정도로 가장 많은데 이는 위험물 종목에 대한 산업 전반의 수요가 많음을 보여주는 것이다. 이에 반해서 최근 5년간 산업기사 종목의 최다 접수인원을 나타낸 종목인 전기와 산업안전의 경우에는 기사 종목이 개설되어 운영되고 있지만 위험물의 경우 기사 종목이 존재하지 않음으로 인하여 기능장 종목의 지원자가 타 종목에 비해 2배 이상 많은 지원자를 보이는 것으로 판단되므로 이에 대한 세밀한 고찰 및 종목의 신설을 고려할 필요성이 있다고 본다.

## 국가직무능력표준 기반 과정평가형 자격제도 운영성과 및 개선 방안연구

황종록

한국산업인력공단

### A study on the Operation Performance and Improvement Plan of the Course – based Qualification system based on the National Competency Standards

**Jong Rok Hwang\***

Human Resources Development Service of Korea, 345 Jongga-ro Jung-gu, Ulsan, KOREA

직업교육·훈련 및 자격제도가 산업현장과의 불일치에 지속적인 문제제기를 해소하기 위해 국가직무능력표준(NCS)을 기반한 산업현장의 “일”을 중심으로 하여 직업교육·훈련과 자격간 유기적 연계를 강화하고자 “과정평가형 자격 국가기술자격제도”가 2015년 15개 종목 선정을 시작으로 2023년 현재 186개 종목으로 확대 선정되었으며, 이 중 126개 종목이 운영 중에 있다. 또한 과정지정과 운영과정이 비례하여 증가되고 있으나, 2020년도 이후로는 그 증가폭이 둔화 되었다.

과정평가형 자격 제도의 운영에 따른 그간의 성과로는 검정형자격 취득자에 비해 취업률과 취업소요기간이 우위에 있는 것으로 나타난 것은 당초 제도 도입의 목적을 부합하는 결과인 것으로 판단된다. 그러나 과정평가형 자격 제도의 운영과정에서 “운영기관 평가방법, 직업계 교사의 과정형 운영에 따른 업무량증가, 교사들의 업무량 증가, 자격운영을 위해 학과 교육과정을 수정시 교수-능력단위간 매칭의 어려움, 수업연한으로 인한 편성의 어려움” 등의 몇가지문제점들이 도출되고 있다. 과정평가형 자격의 확산 및 안정운영을 위해서는 운영기관 심사평가방법개선, 교과과정 매칭 컨설팅 등의 개선책 마련이 필요하다.

# 과정평가형자격 #국가직무능력표준

## 인공지능 학습을 통한 화학물질 판독시스템 및 활용방안 연구

김태훈<sup>†</sup>

한국소방안전원

### Research on chemical substance verifying system using artificial intelligence learning and utilization method

Taehoon Kim<sup>†</sup>

Korea Fire Safety Institute

<sup>†</sup>Corresponding author: koriarky@kfsi.or.kr

대부분의 화학물질은 무색, 무취로 눈으로 구분하기 쉽지 않으며 누출사고 발생 시 단시간에 폭발이나 화재 등으로 확대되는 특성을 보인다. 그러므로 피해를 최소화하기 위해서는 사고 초기에 신속하게 탐지하고 대응할 수 있는 기술이 매우 중요하다. “AI융합 유해 화학물질 판독시스템”(이하 “AI 판독시스템”)은 화학물질 화재 시 실제 발생한 화재 동영상과 화학물질 종류 등에 따른 영상 데이터를 수집하여 데이터를 가공하고, 인공지능 학습을 통해 화학물질의 종류, 사고 유형 등을 판독하며, 판독 결과는 현장에 출동하는 소방관들에게 신속하고 올바른 초기대응을 지원하는 것을 목적으로 하고 있다.

AI 학습모델에서 객체 검출(Object Detection)은 주어진 이미지 또는 비디오에서 객체의 클래스를 예측하고, 객체의 위치를 추정하여 경계 상자를 그리는 역할을 수행한다. AI 판독시스템에서 라벨링 기법으로는 분석의 성능을 위해 주로 마운딩 박스 기법을 라벨링에 적용하였다. 인공지능 학습모델은 이미지에서 해당 물질의 색상을 기준으로 판독하는 기법을 기본으로 하였으며, 객체 검출을 위한 판별 모델은 컨볼루션 신경망(Convolution Neural Network, CNN)을 기반으로 하여 최적화하는 과정을 수행하였다.

화학물질안전원 2022)에서 제시하는 유해화학물질 194종 중 화학물질 사고의 대부분을 차지하는 것은 30종 이내이다. 이 중 데이터 구축 대상물질은 색상, 사고발생 횟수, 열화상/분광카메라 구분 가능 여부 등을 기준으로 하여 총 17종의 대상을 선정하였으며, 화학물질에 대하여 좋은 성능을 보인 AlexNet과 YOLOv5를 적용하여 최적의 모형을 개발하였다. 10종의 화학물질에 대하여 30만 건의 인공지능학습 영상 데이터를 가공 및 구축하였고, 인공지능 판독모델을 적용하여 Top1에 대하여 46%의 판독 정확도(목표치 40%)와 Top3에 대하여 66%의 판독정확도(목표치 50%)를 달성하였다. 2023년도는 전년도 10종에 대한 고도화를 포함하여 유해화학물질 17종에 대해 50만건 이상의 데이터 가공을 추진 중에 있으며, 구축된 데이터의 판독정확도는 품질, 성능 평가 및 현장실증을 거쳐 Top1 60%, Top3 70% 이상을 목표로 하고 있다.

화학물질 사고는 사고 초기에 신속하게 탐지하고 대응하는 기술은 피해를 최소화하기 위해 매우 중요하다. AI 융합 유해 화학물질 판독시스템 연구는 유해화학물질 영상 기반의 인공지능 학습용 데이터를 구축하여 유해화학물질을 탐지 및 판독하여 예측하기 어려운 화학사고 대응에 대한 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 현재 적용되고 있는 이미지 분석 방법은 동일한 색상의 화학물질들을 구분하기에는 한계가 있다. 향후 접촉식 탐지방식 장비의 센서 융합, IR 탐지방식 및 식별장비 등의 활용을 통해 인공지능 기반의 유해화학물질 판독의 정확도를 향상시키는 기법들에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 소규모 건축물의 용도별 소방시설 작동장애에 관한 연구 (서울 및 경기지역을 중심으로)

함재영 · 유재길 · 현성호<sup>†</sup>

(주)LH방재·경민대학교 소방안전관리과

## A Study on the Malfunction of Firefighting Facilities in Small Buildings (Focusing on Seoul and Gyeonggi Province)

Jae-Yong Ham · Jae-Gil You · Seong-Ho Hyun<sup>†</sup>

LH Disaster Prevention Co.,Ltd

Dept. of Fire Protection Safety Management, Kyungmin Univ ·

<sup>†</sup>Corresponding author: shhyun@kyungmin.ac.kr

본 연구에서는 실제 특정소방대상물의 소방시설 점검을 실시하고, 그 소방시설의 종류별 상태 및 기능을 조사 하였다. 조사한 내용을 근거하여 특정소방대상물 550여개를 대상으로 소방시설 등의 불량 특성을 분석 하였으며, 기존의 소방시설 점검에 관련 기준 및 작동기능점검, 종합정밀 점검 기준을 토대로 소방점검 체크리스트를 설정하여 서울·경기지역을 소재로 한 특정소방대상물을 대상으로 소방 시설 관련 현장 조사 및 자체점검을 시행 하였다. 용도별 불량특성을 비교분석한 결과 아파트 1건물 당 평균 불량개수가 120건(27.97%)으로 가장 높은 것으로 확인되며 소방 시설 유지관리의 문제점을 나타내고 있으며, 이와같은 아파트는 층고가 높아 피난 안전성 확보가 가장 중요할 것으로 사료된다. 또한 이러한 아파트의 근본적인 유지관리 대책은 소방안전관리자의 전문성, 자격 강화, 겸직 금지, 상시 근무 체제로의 제도적 구축이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 특정소방대상물의 합리적인 소방시설 유지관리 개선 방안에 대한 기초자료를 조사하고자 하였다.

## 공정위험성평가 HAZOP 방법론의 효용 극대화 방안

심중호<sup>†</sup>

(주)포스코

### Maximum Utilization of HAZOP Methodology

**Jong-Ho Sim<sup>†</sup>**

POSCO

<sup>†</sup>Corresponding author: jhsim@posco.com

HAZOP은 공정위험성평가 방법으로 1970년대부터 사용되기 시작하면서, 전 세계에 보급되어 정유, 석유화학, 제철산업 등 화학물질을 사용하는 공장에 대표적으로 사용되고 있다. 위험성평가는 작업위험성평가와 공정위험성평가로 크게 2가지로 나누는 것이 일반적이며, 화학물질 위험성평가를 포함기도 한다. HAZOP이 영국의 ICI사에서 시작된 이후 방법론의 발전을 거듭하면서 현재에 이르게 되었으며, Guideword와 Parameter의 결합을 통해 Deviation을 발굴로 Cause, Consequence, Recommendation을 준비하는 절차를 제시하고 있다. 공정위험성평가에 대한 고용노동부 고시에 따르면 HAZOP이외에 What-if, Checklist, ETA, FTA 등을 규정하고 있으나, 다양한 분석 및 관련 분야 전문가들의 토론하여 잠재된 위험을 발굴한다는 측면에서 아직도 HAZOP이 가장 많이 사용되고 있는 공정위험성평가 방법이다. 그러나, 현재 국내에서는 일부 기관에서만 HAZOP교육을 실시하고 있으며, 교육은 기초 수준에서 머물고 있어, 다양한 관점에서의 위험성 발굴에 대한 교육 및 방법적인 접근이 필요하다. Parameter도 Flow, Temperature, Pressure, Level등에 국한되고 있는데 HAZOP이 발달한 구미국가에서는 다양한 Parameter를 통한 Deviation이 적용되고 있다. 또한 화학설비 보유 공장에서는 운전중 발생하는 사고보다 Start-up 또는 Shut-down중에 사고의 70%가 발생한다는 통계가 있어, HAZOP이 갖고 있는 장점을 극대화할 수 있는 방법을 제시코자 한다.

이를 위해 Deviation은 Start-up, Shut-down, Human Error, Corrosion, Maintenance, Misdirected Flow 등의 다양한 적용을 통해 공정위험성평가인 HAZOP방법론이 보다 실질적인 화학설비의 안전을 담보코자 한다.

## 터널형 방음벽 화재안전성능 확보에 관한 제언

이용재 · 김인범 · 차정민 · 현성호<sup>†</sup>

경민대학교 소방안전관리과

## Proposal for securing fire safety performance of tunnel type sound barrier

Yong-Jae Lee · In-Beom Kim · Jeong-Min Cha · Seong-Ho Hyun<sup>†</sup>

Dept. of Fire Protection Safety Management, Kyungmin Univ

<sup>†</sup>Corresponding author: shhyun@kyungmin.ac.kr

2022년 12월 29일 제2경인고속도로(안양~성남) 북의왕 나들목 인근에서 발생한 방음터널 화재로 사망 5명, 안면부 화상 3명과 단순 연기흡입 경상자 34명(총 부상 37명)의 인명피해와 재산 피해로는 차량 45대 전소되는 피해가 발생하였다. 이 사고의 인명 및 재산피해의 주원인은 PMMA(Poly-Methyl Methacrylate) 소재의 지붕재에 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 방음벽 지붕재의 위험성을 분석하고 화재 안전을 위한 방음벽 지붕재의 필요조건을 근거로 현행 사용이 가능한 방음벽 지붕재 중에서 안전성, 시공성, 도심지에 설치에 요구되는 재료의 특성 등을 고려하여 합리적이고 적합한 재료를 제안하고자 한다.

기존의 방음벽 지붕재의 위험성은 다음과 같다.

첫째, 열가소성에 따른 “불 폭포”에 의한 화재 확산성이 크다. PMMA는 열가소성 수지로 가연성뿐만 아니라 고온에서 겔(Gel) 상태가 되고 여기에 불이 붙은 상태로 하부로 흘러내리거나 떨어지게 된다. (=불 폭포 유발 화재 성장/아래 우측 사진1 참조) 이 반고체-반액체 상태의 겔에 불이 붙어 차량 위에 떨어지게 되고 이런 현상이 화재를 급속하고 광범위하게 확산시키게 된다. P.C(=Poly Carbponate)의 경우도 일정부분 이와 유사한 현상이 발생한다.

둘째, 지붕재의 재료의 가연성이다. 터널형 방음벽 지붕재로 사용이 가능한 재료 중 강화접합유리(Tempered Glass)를 제외한 PMMA, PC(=Poly Carbponate), PVC(폴리염화비닐 난연시트) 모두가 가연재로 화재 시 화염이 충분한 산소의 공급에 따라 지속적으로 연소하게 된다.

셋째, 지붕재 연소시 다량의 유독가스가 발생한다. 강화접합유리를 제외한 폴리머 계열(=PC, PMMA, PET, PVC, 난연 PVC 등)의 지붕재는 대부분 유독가스(CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, HCL 등)를 배출하며 이로 인해 질식사를 유발할 수 있다.

따라서 화재안전성능 확보를 위한 방음벽 지붕재의 최우선적인 필요조건은 첫째, 화재 열로 인해 발생하는 불 폭포의 발생이 없거나 최소화할 수 있는 재료의 선택이 필수적이다.

둘째, 난연성 및 내연성 기준(=자기소화성) 소재가 사용되어야 한다.

셋째, 유독가스 발생의 최소화가 필요하다. 강화접합유리를 제외한 폴리머 계열(=PC, PMMA, PET, PVC, 난연 PVC 등)의 지붕재는 종류에 따라 근소한 차이는 있으나 대부분 유독가스(CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, HCL 등)를 배출하며 이로 인해 질식사를 유발할 수 있다.

넷째, 가능한 한계산소지수(=LOI)가 높은 재료의 사용이 필요하다. PVC(폴리염화비닐 난연시트)는 PMMA, PC와 비교 할 때 단가, 시공성, 투명도, 중량, 차음성, 내충격성 등이 유사하나 화재안전성과 직접적인 난연성의 핵심 지수인 “한계산소지수(ILO)”가 39로 높아 화재 안전성 측면에서 우수한 성능을 나타내고 있다.

## SK에너지 계기/전기 방폭 설비 기술지원 Chatbot 개발 사례

배상집<sup>†</sup> · 박재현

SK에너지

### SKenergy Explosion-proof Technology Supportor Chatbot Development

**Sang-Jip, Bae<sup>†</sup> · Jae-Hyun, Park**

SKenergy

<sup>†</sup>Corresponding author: tkdwlq89@sk.xom

방폭은 폭발성 물질이 존재하는 환경에서 안전을 유지하기 위한 중요한 요소로, 정유/화학 산업에서 특히 중요한 역할을 한다. 또한 중대재해처벌법 시행 이후 화재, 폭발 방지를 위한 방폭 설비 관리의 중요성은 높아지고 있다. 그러나 방폭 기술은 복잡하고 전문적인 지식이 필요하므로 모든 정비부서 구성원이 이를 완전히 이해하고 설비를 관리하기에는 한계가 있으며, 한정된 전문 인력이 제한된 Resource로 다수 설비를 관리하게 되므로 비효율적 설비 관리의 문제점을 안고 있었다. SK에너지는 이러한 한계를 해결하고 방폭 설비 관리 고도화를 위한 Chatbot을 직접 설계 및 개발하였으며, 이를 소개하고자 한다.

Chatbot 개발을 위해서는 방폭 관련 Data 확보가 필수적이다. 정확한 기술지원을 위해 방폭 설비 Type별 관리/설치 기준, 연도별 법규 개정에 따른 소급 적용 필요 여부, 유권해석 결과 및 과거 수검시 지적사항 등을 수집하고 분석하였으며, 이를 기반으로 MS Teams내 App.으로 Chatbot을 구현하였다. MS Teams는 SK 구성원들이 사용하는 업무 System으로써 PC 및 Mobile로 사용 가능하므로 시공간에 대한 제약사항 없이 궁금한 사항을 질문할 경우 수집된 Data 기반 방폭 관련 정보를 확인하고 기술지원을 받을 수 있다.

개발 결과 Chatbot을 통해 구성원이 방폭 설비 관리/설치 관련 기준이 궁금할 경우 신속하고 정확한 정보 확인이 가능하였으며, 외부기관 수검시 방폭 관련 지식이 없더라도 유권해석 등 확인이 가능하므로 효율적 수검 지원이 가능하였다. 또한 방폭 전문 구성원의 지원이 제한적인 상황에서도 원할한 기술 지원이 가능하므로, 효율적 설비관리의 효과를 얻을 수 있었다.

방폭 지식 및 기술지원을 위한 Chatbot 개발 사례를 통해 Chatbot이 산업 현장에서의 구성원 교육, 설비관리 향상에 기여할 수 있는 잠재력을 보여주었다. 앞으로 SK에너지에서는 Chatbot의 기능과 성능을 더욱 발전시켜 방폭 이외의 분야에서도 적용 가능성을 지속적으로 연구할 예정이다.

## 도시가스사업자에 대한 중대재해처벌법(중대시민재해)의 문제점 및 개선방향 검토

허민희<sup>†</sup> · 이현익  
(주)미래엔서해에너지

### A Study on the Problems and Improvement Direction of the Serious Accident Punishment Act(Civil disaster) to City Gas Company

**Min Hoi Hur<sup>†</sup> · Hyun Ik Lee**

Mirae'N SeohaeEnergy Co.,Ltd.

<sup>†</sup>Corresponding author: hurming@miraense.com

2022년 1월 ‘중대재해처벌 등에 관한 법률’(중대재해처벌법)이 시행되었다. 중대재해처벌법은 사업자, 지자체, 각종 기관 등에 안전·보건 조치의무를 부여하여 중대재해를 예방하고자 하는 목적으로 제정되었고 크게 중대산업재해와 관련된 내용과 중대시민재해와 관련된 내용 두 가지로 구성되어있다.

두 가지 내용 중 지금까지는 중대산업재해와 관련된 이슈에 대해 많은 논의가 있었고 다수의 사고에 대한 조사와 기소 그리고 현재까지 3건의 1심 판결이 진행되었으나 상대적으로 중대시민재해에 대한 논의는 많지 않았던 상황이었다. 그러나 지난 4월 분당 정자교 보행로 붕괴사고로 중대시민재해에 대한 관심이 높아졌고 7월 오송 지하차도 침수사고에 대한 중대시민재해 적용 여부에 대한 관심이 높고 실제 적용여부에 대한 검토도 이루어지고 있는 것으로 알려진 상황이다. 또한 현재 정부가 중심이 되어 중대재해처벌법 시행령 개정을 준비하는 것으로 알려져 있으나 대부분 중대산업재해에 대한 논의가 많고 중대시민재해에 대한 개정 여부 등의 진행사항은 알려지지 않고 있다. 하지만 중대시민재해에 대해서도 여러 가지 문제점이 있고 개선이 필요한 사항이 있다는 것도 사실이다.

특히 도시가스사업자의 경우 도시가스사업법령 및 안전관리규정 등에 따라 높은 수준의 도시가스 시설물에 대한 안전관리를 수행하고 있고 한국가스안전공사에서 각종 시설물에 대한 관리와 확인을 진행하고 있다. 특히 매년 ‘안전관리규정 준수여부 확인·평가’ 및 내부 심사 등을 통해 각종 규정을 준수하고 있는지 확인하고 있는 상황이지만 중대재해처벌법의 중대시민재해와 관련된 의무는 동일하게 적용되고 있어, 일부 발생가능성이 매우 낮거나 일반적이지 않은 지엽적인 상황에 대비하기 위한 별도의 활동이 필요할 수 있는 등 효율성이 떨어지는 것으로 검토되었다.

이에 도시가스 사고 중 중대시민재해로 판단될 수 있는 사례와 지금까지 중대시민재해 적용이 검토되었던 사례에 대한 분석을 통해 중대시민재해를 중심으로 한 중대재해처벌법의 문제점을 도출하여 이에 대한 개선방향에 대한 의견을 제시하고자 한다.

## 4방향 흔들림 방지 버팀대의 구조 안정성 및 내진 성능 연구

오수언<sup>1</sup> · 이항준<sup>2</sup> · 좌성훈<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학 박사과정, 한국 서울,

<sup>2</sup>(주)메이크순 대표이사 한국 부산, <sup>3</sup>서울과학기술대학 교수, 한국 서울

### Study of Structural Stability and Seismic Performances of 4-Way Sway Prevention Brace

Soo Un O<sup>1</sup>, Hang Jun Lee<sup>2</sup>, Sung Hoon Choa<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>PhD student, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Republic of Korea

<sup>2</sup>CEO, Make soon Inc., Pusan, Republic of Korea

<sup>3</sup>Professor, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Republic of Korea

\*Corresponding author: Sung Hoon Choa, shchoa@seoultec.ac.kr

본 연구에서는 기존 소방시설에 사용되고 있는 흔들림방지버팀대에 비하여 설치 면적을 효율적으로 감소시키고, 안정성과 내진 성능이 우수한 4방향 흔들림방지버팀대를 개발하였다. 개발된 4방향 흔들림방지버팀대의 성능 및 신뢰성을 인장 및 압축 시험과 내진 시험을 통하여 검증하였다.

연구방법은 KFI 인증 기준에 따라 정적시험으로서 수평 및 수직 배관에 4방향 흔들림방지버팀대를 설치하여 인장 및 압축 시험을 수행하였으며, 정격 하중에 최대 움직임을 측정하였다. 또한, 동적 시험으로서 물이 채워진 배관에 4방향 흔들림방지버팀대를 설치하고 가속도 센서를 통하여 입력 가진 파에 대한 시험 응답 스펙트럼을 측정하였다. 또한, 내진 시험 후 배관 및 흔들림방지버팀대의 이탈, 파손 및 국부변형을 관찰하였다. 인장 및 압축 실험을 수행한 결과, 인장 및 압축 시에 배관의 최대 움직임은 규정 기준 대비 50%~70% 이하로서 4방향 흔들림방지버팀대의 성능이 매우 우수함을 알 수 있었다.

4방향 흔들림방지버팀대의 내진 시험결과, 시험 응답 스펙트럼이 요구 응답 스펙트럼을 포괄하고 있음을 알 수 있었다. 시험 종료 후에 배관 및 흔들림방지버팀대의 이탈이나 파손 및 국부변형 등은 발생하지 않았으며, 시설물의 구조적 안정성이 유지됨을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 정적 실험 및 동적 실험을 통하여 개발된 4방향 흔들림방지버팀대가 KFI 인증 기준을 만족하고 있음을 알 수 있었고, 기존 흔들림방지버팀대에 비하여 효율성과 경제성 및 안정성과 내진 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

## 소방시설 내진설계의 공학적 배경과 응용

김길중 · 오흥규\* · 민세홍\*\*†

지케이엔지니어링 · \*라인이엔씨 · \*\*가천대학교

### Engineering background and application of Seismic of firefighting facilities

**KilJoong Kim · HeungGyoo Oh\* · SeHong Min\*\*†**

GK Engineering · \*Line E&C · \*\*Gachon University

†Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

소방시설의 설치는 소화와 인명·재산 피해의 저감을 목적으로 하며, 소방시설의 정상적 작동은 “all or nothing”의 개념으로 화재 시 목적을 달성하든지 아니면 실패에 관한 결과를 가져온다. 지진에 의한 화재는 인명 및 재산 피해가 크며, 지진으로 인한 2차적 피해를 저감시키기 위해 소방시설은 중요하다. 이러한 소방시설에 대해 지진으로부터 정상적 작동을 위한 법규적 대책이 내진설계이며, 포항 및 경주 지진을 겪으면서 내진설계에 대한 중요성이 강하게 인지되었고, “소방시설의 내진설계 기준”은 “2016년 1월”에 시행되어, “2022년 12월”까지 4번의 개정을 거쳤다.

소방시설에 대한 내진 규정이 시행된 이후 “2021년 2월”의 “소방시설의 내진설계 기준”에서 내진설계 방법에 대한 상세한 제시와 수평력의 계산, 앵커볼트와 건축요소의 접촉, 제어반 등의 지진으로부터 기능 유지 등 규정들이 제시되어 내진설계에 대한 많은 부분에서 공학적 검토가 필요하게 되었다. 내진설계는 공학적인 측면에서 지진이 외력인 힘, 방향 및 작용점으로 나타나 소방시설의 내력과 비교하여 안전성을 확보하기 위한 안전설계 개념이다.

“지진을 고려한 검토이냐”가 중요한 쟁점이 되어, 근래도 수조에 대한 문제가 제기되고 있어 이를 예로 하여 설명하면 다음과 같다.

수조 자체에 대한 지진과의 관계를 우선 검토되어야 할 것이며, 수조와 건축요소와의 연결에 대한 검토 시 앵커볼트에 대한 지진과의 관계를 검토하는 것이다.

부가적으로 수조에 지진에 의한 외력이 작용할 때 수조와 기초의 수평관계에 대한 방향성을 고려하여 편심으로 가해지는 외력에 대한 해석과 앵커볼트와 수조의 연결부인 브라켓에 작용하는 지진의 힘(진동)에 대한 해석이 되어야 한다. 즉, 지진이라는 힘과 재료가 견디는 힘과의 비교에 의한 안전설계를 하고자 각 부분이 지진을 고려한 설계가 되어야 하며 이를 고려하고자 재료적 이해와 지진에 대한 이해가 필요하다.

본 논문에서는 재료와 내진에 대한 이론적 배경을 이해하고, 수평 지진하중·세장비·앵커볼트의 내진설계 적정성 평가·항복 능력과 허용능력 등 내진설계를 위한 공학적 사항에 대해 방향성을 제시하고자 한다.

## 위험물 사각탱크의 지진안전성 설계 시 구조해석에 의한 체크리스트 적정성 연구

이형기

(주)내진탱크 이사

### A Study on the Appropriateness of Checklist by Structural Analysis in Seismic Safety Design of Dangerous Goods Square Tanks

Hyeong-Gi Lee

Executive Officer, Seismic Tank Research Institute CO, LTD.

위험물 저장 탱크는 원통형이 많이 사용됐으나, 최근 저장용량이 증대되면서 건축물 내의 배치 용이성 및 유지관리 편의성을 고려하여 사각 탱크를 적용하는 사례가 증가하고 있다. 소화 수조를 포함한 사각 탱크의 내진설계 해석에서 비구조요소의 일부를 강체로 규정하고 해석할 수가 있으며, 이에 비구조요소의 지진에 대한 안전성을 확보하기 어렵다.

근래에 개정된 ‘소방시설의 내진설계 기준’에서 소방시설의 지진하중과 구조 안전성에 대한 내진설계에서 각 연결부 위에 대한 내진설계를 중요시하고 있다. 특히, 지진으로 인해 진동하는 수조는 액체와 구조물의 상호작용으로 수조 벽체에 유체유동의 압력이 작용하며, 이러한 압력은 수조의 응력을 증가시키고 구조적인 손상을 일으키는 원인이 될 수 있다. 또한, 수조와 연결 배관 등의 주파수가 상이하여 서로의 파장에 의한 원인으로 손상을 초래할 수 있다.

위험물 저장 탱크를 포함한 수조에 관한 지진피해 사례로는 수조 벽체 연속부위의 파손 및 수조와 연결된 배관커넥터 등의 파손으로 내용 수의 유출되는 발생하여 위험성을 증가시켰다.

본 연구에서는 내진설계 시 위험물 사각 탱크의 구조검토에서 수조의 내진설계를 위한 구조적 안전성 체크리스트’를 항목별로 검토 및 비교할 수 있도록 검토항목의 기준을 제시하였다.

수계산에 의한 구조계산은 수조의 충분한 구조적 보완이 어려우므로 구조계산에 대한 검증과 수계산에 대한 한계를 보완한 정량적인 설계를 고려하고, 연결부 위에 대한 상대 변위를 포함한 설계를 할 수 있도록 3D Modelling과 구조해석 시뮬레이션을 통하여 구조부재와 연결을 검토하여 구조 안전성을 확인하였다.

## 소화가스설비 배관의 흔들림 방지 버팀대 적용에 관한 연구

이병호

한방유비스(주)

### A study on the application of seiesmic braces for gas fire extinguishing equipment piping

**Byoung-ho Lee**

Korea Fire Protection UBIS co.ltd

†Corresponding author: lbh4449@kfubis.com

『화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률』 제9조2(소방시설의 내진설계기준)에 따라 특정소방대상물의 소방시설은 지진이 발생할 때 정상적으로 작동될 수 있도록 내진 설계 기준에 맞게 소방시설을 설치하여야 한다고 규정되어 있다. 여기서 `대통령령으로 정하는 소방시설'이란 소방시설 중 옥내소화전 설비, 스프링클러 설비, 물분무등소화설비를 말한다. 옥내소화전 설비 및 스프링클러 설비 내진설계 기준은 수조, 가압송수장치 수직 직선 배관 수평 직선 배관, 65mm 이상 가지 배관 등 장비 부분과 배관 부분에 설치되는 흔들림 방지 버팀대의 설치기준이 명확히 나와 있지만, 물분무등소화설비 중 가스계 소화설비 및 분말소화설비는 저장 용기, 제어 반, 자동기동장치, 비상 전원 등 장비에 대해서만 설치기준이 제시되고, 설비의 배관 부분에 대해서는 설치기준이 제시되어 있지 않다. 또한, 내진설계 제외기준 항목에도 가스계 소화설비의 배관은 제외 항목에 포함되어 있지 않다.

이에 본 연구는 가스계 소화설비의 배관이 지진 시에 정상적으로 작동되기 위해 흔들림 방지 버팀대를 적용할 경우 그 설치기준 및 근거 등에 관한 연구를 수행하였다. 또한, 이러한 설치기준 등으로 적용된 현장의 사례를 공유하고 추후 내진설계 화재안전기준중 가스계 소화설비 배관 부분의 내진설계 기준 제정 시에 본연구가 활용될 수 있길 바란다.

## 식품업종 화재특성 및 예방에 관한 연구

이중표 · 김용민 · 정재용<sup>†</sup>

롯데웰푸드(주)

### A study on fire characteristics and prevention in the food industry

JoongPyo Lee · Yongmin Kim\* · Jaeyong Jeong\*\*†

LotteWellFood

<sup>†</sup>Corresponding author: jp.lee@lotte.net

식품업종은 생두, 반죽 등 원재료를 조리하기 위하여 온도를 가하는 발열설비를 사용하고, 동식물유 등의 유류를 이용하는 설비를 사용한다. 발열설비 및 유류를 사용하는 설비는 화재에 매우 취약하다.

식품업종의 특성상 고온의 조리온도에서의 화재 위험, 덕트를 통한 고온의 배기가스 배출 위험 등이 있으며 해당 위험점을 고려한 공학적인 기준이 미흡하다. 또한 우리나라의 소방법적 기준은 화재에 취약한 설비에 대한 기준보다 건물을 대상으로 설치하는 기준이 마련되어 있어 화재발생 위험성이 있는 설비에 대한 대비가 매우 부실하다.

그러므로 식품업종의 대표적 화재 취약 설비인 프라이어기(기름을 이용하여 튀김 요리를 하는데 사용되는 기기), 로스터기(커피콩을 불로 굽거나 볶아 익히는 기기)의 화재위험점과 이에 대한 대책을 연구하였다.

프라이어기는 ①배기 후드 및 연도 내 유기물이 적층되어 온도 상승 시의 발화 위험, ②식용유를 가열하여 사용하는 프라이어룸 내 유기물이 적층되어 온도 상승으로 인한 발화 위험, ③발화된 식용유의 연소확대로 주변 LNG 등의 가스 폭발로 2차 피해 발생 위험이 있다. 해당 위험점으로부터 화재 위험을 방지하기 위해서 ①배기덕트 내 유기물을 주기적으로 청소하여 유기물이 적층되지 않도록 관리, ②프라이어기 전체를 방호할 수 있도록 상업용 주방 자동소화장치를 설치하는 등의 개선방안으로 도출해보았다.

로스터기는 ①채프 사이클론(원두 껍질을 따로 분리하는 장소) 내 불티 등의 점화원으로 인한 발화 위험, ②드럼(로스팅이 되는 장소) 내 원두의 온도 상승으로 인한 발화 위험, ③냉각팬(원두의 열을 식히는 장소)에서 원두 내부 열 축적으로 인한 발화 위험이 있다. 해당 위험점으로부터 화재 위험을 방지하기 위해서 ①로스터기 수동 및 자동으로 살수 할 수 있는 장치의 설치로 도출해보았다.

당사(롯데웰푸드(주))는 화재 취약 설비에 대한 위험점, 국내외 법령 등을 고려하여 자체 안전대책인 설비 안전 필수사양을 규정하였으며, 화재 위험 설비의 설계, 제작, 설치단계부터 화재가 발생할 수 있는 잠재적 위험요인을 제거함으로써 설비의 화재를 사전에 예방하고 있다.

## 전기화학 평가를 통한 과충전 시 리튬이온 배터리의 흑연 음극 계면 반응 분석

강경석<sup>†\*</sup> · 최재원<sup>\*</sup>

서울시립대학교 재난과학과 · \*구리소방서

### Analysis of interfacial reaction of graphite anode in lithium ion battery during overcharging through electrochemical evaluation

**Kyungseok Kang<sup>†\*</sup> · jae won Choi**

Department of Disaster Science<sup>†</sup>, University of Seoul · \*Guri-Fire Station

<sup>†</sup>Corresponding author: kksfire@gg.go.kr

The energy storage technology of lithium-ion batteries has made the world more comfortable and prosperous. If you look around you, you can easily find products that use lithium-ion batteries. Among them, personal mobility, short-distance transportation such as electric kickboards and electric bicycles, have gained great attention and are in increasing demand. The expansion of this ecosystem is manifested in the form of new fires, which are increasing in frequency and causing casualties. In particular, there are frequent cases of overcharging due to continuous charging in an abnormal way, which threatens safety. We focused on the reaction at the cathode during overcharging. The precipitation of lithium metal on the cathode surface and its growth into dendritic crystals were induced by electrochemical evaluation and analyzed by scanning electron microscope (SEM). The effect of these changes on the resistance at the cathode surface was quantitatively analyzed by EIS (Electrochemical Impedance Spectra), and the electrolyte reaction at the cathode interface was analyzed by linear sweep voltammetry. In addition, the degree of swelling caused by the cathode interface reaction was compared between the pouch cells.

**Key words:** Hazards associated with lithium ion battery, Overcharging, anode electrode, Electrochemical Impedance Spectra, inear sweep voltammetry

## 영상 기반 화재 감시 및 발생 위치 탐지 데이터 활용방안

최두찬 · 서기준 · 김민규 · 손은수<sup>†</sup>

한방유비스(주) · 한방유비스(주) · 한방유비스(주) · 한방유비스(주)

### Image-based Fire Monitoring and Location Detection Data Application Plan

Doo Chan Choi · Ki Jun Seo · Min Gyu Kim · Eun Soo Son<sup>†</sup>

KF UBIS CO., Ltd · KF UBIS CO., Ltd · KF UBIS CO., Ltd · KF UBIS CO., Ltd

<sup>†</sup>Corresponding author: ses6856@kfubis.com

최근 CCTV (Closed Circuit TeleVision), 블랙박스 (Black Box)의 영상 등을 활용하여 인공지능 기반 화재 예측 모델을 통해 고도화하는 분석 연구들이 수행되고 있으며, 학습 데이터, 인공지능 모델, 소스코드 등을 공유하여 활용하는 노력이 활발하게 이루어지고 있다.

본 연구는 실 화재 영상을 기반으로 분석하여 클래스를 화재 현상 클래스와 화재현장 주요객체 클래스 2가지로 정의하였다. 화재 현상 클래스는 화재 발생 여부 탐지를 위한 것으로 비정형객체 (불꽃/연기)를 학습하기 위해 SlowFast 모델을 활용하고, 화재현장 주요객체에는 YOLOv8 모델을 활용하였으며, 각 모델의 성능 평가를 위해 모델별 2~3가지의 모델과 비교 분석 후 벤치마크 성능 평가 결과를 검토하였다.

원활한 데이터 학습을 위해 화재 현상 클래스에서는 평균 3분 분량의 동영상을 12초 클립으로 가공하여 약 5,300여 개의 학습 동영상을 구축한 뒤 해당 동영상 클립을 통해 약 190만 장의 이미지를 추출하고, 화재현장 주요객체 클래스에서는 약 47만 장의 이미지를 추출하여 약 238만 장의 데이터를 구축하고자 한다.

일반적으로 정확한 딥러닝 모델을 개발하기 위해서는 체계적인 구축 방안 등이 필요하지만, 타 분야와 달리 소방이나 화재·안전 분야는 화재라는 특수성을 띠고 있기에 인공지능 학습 데이터를 구축할 시, 이와 관련된 표준화된 가이드라인은 미흡한 상황이다. 따라서, 본 연구에서는 실 화재 동영상을 기반으로 화재 발생 예측 영상 고도화를 위해 화재 감시 및 발생 위치 탐지 데이터 예측 모델을 개발하고 이와 관련된 수집·정제·가공·모델 및 품질 가이드라인을 제시하였다. 또한, 디지털 대전환의 핵심 자원인 인공지능 학습용 데이터 구축·개방(고품질·대규모 학습용 데이터 구축·개방)을 통해 초거대 AI 환경조성, 인공지능 산업 고도화 그리고 디지털 플랫폼에 도움을 제공하고자 한다.

\*\*이 연구는 2023년 과학기술정보통신부 및 한국지능정보사회진흥원(NIA)의 사업 지원에 의한 연구입니다(069-089).

## 플랜트 전용 스마트 화재 모니터링 연동 방수총에 관한 연구

최두찬 · 황현수 · 김상일 · 김정민 · 손은수<sup>†</sup>

한방유비스(주)

### A Study on the Remote Controlled Fire Monitor for Plant-Only Smart Fire Monitoring

Doo Chan Choi · Hyeon Su Whang · Sang Il Kim · Jeong Min Kim · Eun Su Son<sup>†</sup>

KF UBIS CO., Ltd

<sup>†</sup>Corresponding author: kihm@kihm.org

플라스틱은 우리 삶 안에서 수많은 물질로 구성되어 다양한 편의를 제공하고 있다. 원유를 정제하여 생산하는 플라스틱의 특성에 따라 석유 화학 플랜트 시설 또한 중요 비중이 커지고 있다. 특수 건축물에 비하여 석유 화학 플랜트 시설에서의 화재 발생 빈도는 상대적으로 적으나 서산 케미컬 화재, 울산 S-OIL공장, 대구 석유 화학 공장 화재 등을 분석하였을 때 화재 발생 시 에틸렌, 프로필렌, 벤젠, 부탄 등 각종 위험물로 인해 화재강도 상승 및 화재폭발이 일어날 수 있다. 석유 화학 플랜트 시설의 특성상 화재 발생 시 소방대의 화재진압이 어려워짐에 따라 인력과 시간이 상당히 소요되고 인적, 물질적 자원의 피해가 상당한 것으로 확인되었다.

본 연구는 플랜트 시설에 적용할 수 있는 스마트 화재 모니터링 시스템을 개발하여 화재 발생 위험 지점에 고정 배치한 방수총을 스마트 화재 모니터링 시스템과 연동하고자 한다. 플랜트 시설 물 소화설비 기술 분석 및 Thunderhead사의 Pyrosim(화재 시뮬레이션)을 활용한 상황별 화재 성장 분석을 기반으로 스마트 화재 모니터링 구현을 위한 아키텍처 시스템을 설계하여 화재 초기 상황에 스마트 화재 모니터링을 통해 방수총을 빠르게 동작시킬 수 있다. 플랜트 시설 화재 시 스마트 화재 모니터링과 연동된 방수총의 동작 시간을 효과적으로 단축시키며 화재 취약지점에 거점타격방식으로 방수하고자 한다.

최종적으로 본 연구를 통해 플랜트 시설에 대한 화재 진압 설비의 새로운 방법인 스마트 화재 모니터링 프로그램을 구축하고 있으며, 이를 활용하여 방수총과의 연동으로 초기소화를 단시간에 진압 및 화재성장을 억제하고자 한다. 소방대의 화재진압에 있어서 인력과 시간 소비를 효과적으로 단축시킬 수 있고, 인적 피해와 물질적 피해가 상당 부분 감축 될 것으로 기대된다.

\*\*본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 연구비지원에 의해 수행되었음.

(과제번호:22RMPP-C163162-02)

## 시뮬레이션 기반 다중밀집 위험도 평가 기법 제시

최두찬 · 김희문 · 김은솔 · 김정민 · 손은수<sup>†</sup>

한방유비스(주)

### Presentation of simulation-based multi-density risk assessment techniques

Doo Chan Choi · Hui Mun Kim · Eun Sol Kim · Jeong Min Kim · Eun Soo Son<sup>†</sup>

KF UBIS CO., Ltd

<sup>†</sup>Corresponding author: ses6856@kfubis.com

지난해 10월, 159명이 숨진 이태원 사고는 심각한 군중 밀집으로 인하여 발생한 재난으로, 이러한 형태의 사고로 인한 인명피해 발생에 대한 경험과 대비가 미진하여 이에 관한 군중 밀집 시 인명피해 분석과 예방, 대응을 위한 객관적인 분석 및 평가, 접근법의 체계화의 필요성이 대두되고 있다. 이는 콘서트, 페스티벌, 시위 등 다양한 행사에서도 발생할 수 있어 군중 밀집 시의 위험에 대해 이해하고, 이를 방지하는 방안을 취하는 것이 중요하다. 2022년 10월 29일 이태원에서 발생한 사고는 국내에서 발생한 경험이 최근에 없었던 형태라 군중 밀집 시 인명피해 예방을 위한 군중안전의 원칙적 접근의 정리와 향후 대비가 필요한 시점이다. 본 연구에서는 이러한 국내 상황을 고려하여 다중밀집 공간에 대한 위험성 평가절차를 수립하고, 다중밀집 공간 및 군중의 특성을 반영한 피난 시뮬레이션 기법을 소개함으로써 다중밀집에 대한 안전관리 대책 방안을 제시하였다.

본 연구는 불특정 다수의 군중이 모일 것으로 예상하는 축제, 공연, 행사, 주요 문화 거리 등의 사전 위험요인을 검토하여 공공기관 또는 민간에서 시행하는 것으로서 주최가 있는 행사와 변화가, 주요 문화 거리 등으로 모여드는 주최가 없는 행사로 나누어 위험 원인을 분석하였다. 첫째로, 한정된 공간에 인구가 밀집되는 원인을 도출하고, 단위 면적당 인구 밀도를 추산하여 해당 공간에 대한 위험도를 평가하였으며, 보행자의 흐름 및 밀도와 상관관계를 갖는 보행속도에 따른 안전 설계를 검토하였다. 마지막으로 현장 확인을 통해 해당 공간 범위의 보행로 폭 측정, 폭 감소 비율, 경사도 비율, 예상 합류 구간 등을 조사를 통해 일정 부분에서 흐름이 정체되는 병목현상에 따른 사고 위험 수준을 평가절차를 거쳐 피난 시뮬레이션을 통해 화재 또는 비상 상황 시 특정 공간에 있는 사람들이 보행상의 장애 요인에 따라 피난 소요 시간 및 병목현상 등에 미치는 영향을 분석하여 피난 활동의 지연 감소방안 및 병목현상 또는 압사로 인한 위험 구간을 파악함으로써 사전에 재난을 예방할 수 있는 지표로 연구하였다.

본 연구를 통해 인파가 몰리는 공간에 대한 안전성 향상을 위해 필요한 인파관리 지침서 작성 및 개선, 현장 안전관리 단계 구간 설정, 인파 밀집 예상 안전지도 작성 재난지휘관과 실무자에 대한 임무 카드 작성, 군중 밀집 행사 안전관리 계획 수립 등에 활용될 수 있는 결론을 도출함으로써 예방·대비 단계에서 제어가 가능한 군중 압사 사고에 대한 안전조치가 원활히 이루어지며, 발생할 수 있는 사고 위험에 미리 대응하는 조치가 시행될 것으로 예상된다. 재난의 반복 속에 재난의 원인을 보다 구조적인 방식으로 파악한다면 제2의 피해를 예방할 수 있을 것으로 기대된다.

\*\*본 연구는 서울기술연구원의 지원으로 수행되었음(과제번호 202305DB91-00)

## 물류시설 화재안전 DB 구축 활용방안에 관한 연구

최두찬 · 김상일 · 김전수 · 양소진 · 손은수<sup>†</sup>

한방유비스(주)

### A Study on the Utilization plan of Fire Safety Database in Logistics Facilities

Doo Chan Choi · Sang Il Kim · Jeon Su Kim · So Jin Yang · Eun Soo Son<sup>†</sup>

KF UBIS CO., Ltd

<sup>†</sup>Corresponding author: ses6856@kfubis.com

2020년 4월에 발생한 이천시 물류창고 화재를 계기로 물류시설 화재에 대하여 매년 대두되고 있으며 신종 코로나바이러스 감염증(COVID19) 등의 계기로 이커머스 시장이 성장함에 따라 물류시설이 급증하고 규모가 대형화됨에 따라 대규모 화재로 이어지고 있다. 이에 따라 물류시설에 대한 화재 안전성을 강화하기 위하여 수많은 연구 및 실험이 진행되었고, 2020년 12월 물류창고 방화기준(KFS 630)이 개정되었으며, 2022년 8월 창고시설의 화재안전기준(NFSC 609) 제정(안)이 예고되었다.

본 연구는 물류시설에 대한 화재 및 소방 관련 필수 조사항목을 도식화하여 화재안전 기반정보 체크리스트를 개발하였다. 조사항목은 건축물 일반현황, 보관/적재, 운영현황, 건축방화, 피난시설, 냉장·냉동창고로 크게 6가지로 분류하였다. 건축물 일반현황은 건물의 연면적과 층별 용도 등 건축물의 개요를 나타내고 보관/적재 분야는 방화구획별 랙의 크기, 적재물품의 종류, 적재형태, 파렛트의 종류, 인렉스프링클러 설치여부, 메자닌의 유무, 메자닌 내 보관형태, 운영현황은 각 층별 근무인원, 소방대 및 행정기관과의 거리, 건축방화는 방화구획 및 방화셔터의 크기와 건물 내·외장 마감재료, 피난시설은 피난설비 설치여부와 피난층의 보행거리, 냉장·냉동창고는 냉장·냉동창고에 설치되는 소방설비와 내부 온도 등을 파악할 수 있다. 이와 같이 물류시설의 특성을 반영하여 개발한 체크리스트를 통해 현재까지 국내 물류시설 49개소에 대한 현장조사를 수행하였다. 조사한 내용을 바탕으로 데이터베이스(DB)를 구축하였고, 해당 DB를 활용하여 물류시설 방화구획별 적재형태 및 적재물품, 보관 랙에 대한 사양, 건축물 내·외부 마감재료, 파렛트 종류 등 전반적인 현황을 확인할 수 있다. 단위 면적당 랙의 부피를 계산하여 화재하중에 따른 화재성상을 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

최종적으로 본 연구를 통해 물류시설 플랫폼을 구축하고 있으며, 이를 토대로 소방대와 물류시설 관계자들이 데이터를 활용하여 용이한 소방활동과 효율적인 운영 및 안전관리가 가능할 것으로 기대된다.

\*\*본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음  
(과제번호 RS-2022-00156237)

## FLACS CFD 시뮬레이션, 회귀분석과 기계학습을 활용한 수소자동차 누출 확산 및 증기운 폭발 위험성평가

정영민\* · 신동일\*,\*\*†

\*명지대학교 재난안전학과 · \*\*명지대학교 화학공학과

### FLACS CFD-based Simulation, Regression Analysis and Machine Learning for Risk Assessment of Hydrogen Vehicles by Leak, Dispersion, and Vapor Cloud Explosion

Young Min Jung\* · Dongil Shin\*\*,†

\*Department of Disaster and Safety, Myongji University ·

\*\*Department of Chemical Engineering, Myongji University

†Corresponding author: dongil@mju.ac.kr

수소자동차는 환경친화적인 특성과 높은 효율성으로 인해 환경 문제와 에너지 문제 해결을 위한 주요 대안으로 주목받고 있다. 그러나 수소 연료의 저장 및 사용 과정에서의 누출에 따른 잠재적인 위험이 존재하며, 이로 인한 확산과 증기운 폭발은 주요한 안전 문제로 대두되고 있다. 수소는 가연성이 높은 가스이며, 높은 에너지 밀도를 가지고 있기 때문에 누출 시 빠르게 증기운을 형성하여 폭발이 발생할 수 있다. 이의 위험성평가는 실험이나 시뮬레이션 기반으로도 가능하지만, 또한 기존 제안된 간단 모델식의 활용도 가능하다. 수소 누출과 증기운 폭발은 복잡한 물리적 현상으로서 정합성이 높은 시뮬레이션이 필요하다. 본 연구는 수소 가스의 특성을 반영한 확산, 폭발 및 화재에 대한 시뮬레이션이 가능하며, 실제 테스트를 통해 검증되어 높은 정확도를 가진 Gexcon사의 FLACS CFD로 시뮬레이션을 진행하였다. 각각 다른 환기 특성을 갖는 지하 주차장 및 터널에서, 수소 연료를 사용하는 승용차, 버스, 트럭 등의 누출이 발생하였을 때, 수소 가스의 확산과 증기운 폭발을 주요 시나리오로 피해 예측 결과를 도출하였다. 또한, 차량 외부의 장애물과 누출 위치 및 방향 등 세부적인 조건을 변경하여 다양한 시나리오를 생성하였으며, 이에 따른 민감도 분석을 실시하였다. 하지만 CFD 기반으로 모든 시나리오를 평가하기에는 상당한 자원과 노력이 요구되기에, 설계 단계에서의 간략화된 위험성평가를 위해 간단 모델식 기반의 비선형 회귀분석과 기계학습 기반의 예측 모델 개발을 또한 제안하였다. 결론적으로 본 연구는 해석 결과의 정확도와 요구 노력 관점에서 CFD, 비선형 회귀분석 및 기계학습 기반의 예측 모델 사용 가이드 라인을 제시한다.

## Bow-Tie, 고장형태 영향 분석을 활용한 위험성 평가 및 공정 근로자의 접근성 향상에 관한 연구

양유호 · 박성수 · 조윤진 · 천영우<sup>†</sup>

인하대학교 환경안전융합전공

### A Study on the Risk Assessment and Improvements of Accessibility of Process Workers using Bow-Tie and Failure Mode Effectiveness Analysis

Yuhoo Yang · SungSoo Park · YoonJin Cho · Youngwoo Chon<sup>†</sup>

Dept. of ET & ST Convergence, Inha University

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

2013년 「산업안전보건법」을 통한 위험성 평가 제도의 도입 이후 현재까지 위험성 평가 실시율 33.8%로 사업장의 인지도가 낮고 형식적으로 실시되는 등 본래 취지를 살리지 못함에 따라 2023년 사업장 위험성 평가에 관한 지침이 재개정되었다. 이에 따라 위험성 평가의 목적을 재정 의함과 동시에 평가시기를 구체화하는 등 기존 위험성 평가 제도의 교정이 이루어졌다. 그 중에서 중소기업에서 위험성 평가를 쉽게 할 수 있도록 방법들을 제안하고 근로자의 참여 또한 보장할 수 있도록 하는 사항들이 이목을 끌고 있다.

2023년 「산업안전보건법」의 개정으로 발간된 위험성 평가 안내서에서는 다양한 근로자의 참여가 필요함을 강조하고 있다. 이는 근로자가 사업장에서 직접 활동하는 정보원의 역할을 할 수 있기 때문이다. 위험성 평가의 전 과정에 근로자의 지속적인 참여를 권장하려면 위험성 평가의 흐름이 근로자가 알기 쉬운 형태로 갖추어져야 하고, 장기간 설비 또는 공정 요소에서 작업하는 근로자가 익숙하게 접할 수 있는 설비 위주의 내용으로 구성하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 중소기업에 쉽게 적용할 수 있으면서 근로자의 관점에서 접근할 수 있는 방법으로 고장형태 영향 분석 기법을 활용하고자 한다. 화학사고 사례연구집에서 예시를 선정하고 위험요인을 분석하여 위험우선순위를 평가한다. 이와 같이 설비를 기준으로 분석한 자료를 기반으로 직접적인 원인과 간접적인 원인으로 나누어 예방, 대비, 대응이 필요한 사항들을 확인하기 위해 사고의 흐름으로 구성된 Bow-Tie 기법을 활용하여 모든 위험요인들을 거시적으로 나열한다. 이 방법을 통해 만들어진 설비 중심의 위험성 평가 기법이 실제 근무하는 공정 근로자의 수준에서도 이해할 수 있으면서 참고 또한 가능한지 특성을 고찰하고자 한다.

## 도심 내 수소충전소의 정량적 위험도 평가

김민지<sup>1</sup> · 김이수<sup>1</sup> · 정승호<sup>2\*†</sup> · 이근원<sup>2\*†</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 환경공학과 · <sup>2</sup>아주대학교 환경안전공학과 교수

## Quantitative Risk Assessment of Hydrogen Refueling Stations in the City

MinJi Kim<sup>1</sup> · LeeSu Kim<sup>1</sup> · SeungHo Jung<sup>2\*†</sup> · GeunWon Lee<sup>2\*†</sup>

<sup>1</sup>Environmental Engineering, Ajou University

<sup>2</sup>Environmental Safety Engineering, Ajou University

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

정부 수소경제 활성화 로드맵('19)을 통해 2040년까지 수소차 290만대 보급과 1,200개소의 수소충전소를 확충하기 위해 '규제샌드박스'를 활용하여 도심지, 공공청사 등 주요 도심 거점에 충전소 구축을 추진하고 있다. 수소경제사회 실현과 수소안전이 더불어 나가기 위해서는 수소충전소의 안전성을 확보하는 것이 중요하다. 실제로 수소는 온실가스 감축·미세먼지 저감 등 매우 유용한 친환경 에너지원이다. 또한, 질식·대기오염 등 독성에 대해선 일반 가스보단 안전하나 폭발 부분에서는 위험한 물질이라 볼 수 있다.

본 연구에서는 유동인구가 많고 도심 내 위치한 서소문청사 수소충전소를 대상으로 정량적 위험성 평가(ORA: Quantitative Risk Assessment)를 통해 안정성 평가를 실시하였다. 이를 위해 미국 샌디아 국립 연구소(SNL: Sandia National Laboratories)의 HyRAM과 HyKORAM 프로그램을 사용하였다. 그 결과를 바탕으로 수소충전소와 도심지 간 안전거리를 파악하고 안전거리 최적화에 관해 연구를 진행하였다. 또한, PHAST 8.7를 사용하여 유럽의 토지이용계획(LUP: Land Use Planning)기법을 활용하여 수소충전소의 입지에 대한 타당성 평가를 진행하였다. 그 결과 수소충전소의 Jet fire의 복사열이 위험 영향범위 안에 있으나 빈도를 결합한 Risk적인 측면에서는 수용 불가능한 위험지역(Unacceptable) 아닌 영역에 위치함을 확인할 수 있었다.

\*\*본 연구는 2023년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 '산업혁신인재성장사업'(P0012787)으로 수행된 연구임.

## 위험성평가 활성화를 통한 공공기관의 안전활동 강화 사례 연구

안정운 · 윤여송<sup>†</sup>

한국기술교육대학교 산업안전공학과

### A Study on The Strengthening Safety Initiatives in Public Institutions through the Activation of Risk Assessment

**Ahn Jeongwoon · Yoon Yeo Song<sup>†</sup>**

Korea University of Technology and education

<sup>†</sup>Corresponding author: ysyoon@koreatech.ac.kr

최근 정부는 반복되는 중대재해로 인한 개인의 생명, 가정의 행복 등의 피해를 최소화하고자 ‘국민의 생명과 안전을 지키는 것’을 핵심 국정과제로 선정하고, 중대재해 감축을 위한 정책을 강화하고 있다. 규제와 처벌 중심의 행정을 탈피하고, ‘자기 규율’과 ‘예방 역량’ 향상 중심으로 산업 안전정책의 패러다임 전환을 추진하고 있으며, 그 핵심수단으로 위험성평가를 강조하고 있다.

위험성평가 제도는 근로자 참여를 통한 유해·위험요인의 사전적 제거 및 재해예방을 위해 도입되었으나, 고용노동부 실태조사와 연구용역결과 2019년 기준 약 76.3%의 사업장이 시행여력이 부족하고 절차가 복잡한 사유로 정기평가를 실시하지 않은 것으로 확인된다. 연구실을 보유한 사업장 역시 법령의 중복 적용에 따른 업무과중으로 위험성평가 실시에 많은 애로가 있으며, 특히 대학은 보호범위 및 대상이 넓은 탓에 형식적 수준의 실행에 그치고 있는 실정이다.

본 논문에서는 대학의 위험성평가 실시 사례를 통해 연구기관 특성에 맞는 위험성평가 방법을 제시하고, 현장 실행력 제고를 위한 방안 모색을 통해 위험성평가 제도의 실효적 적용 방안을 제안하고자 한다. 사례연구 대상기관은 공공기관이자 4년제 대학으로 3명의 연구실안전환경관리자가 고위험연구실 81개소를 포함한 186개의 연구실과 연구활동종사자 3,300여명을 보호대상으로 정하고 있으며, 그 외 안전관리 조직에서는 교직원 등 종사자 약 1,000여명 및 교육시설 건축물(생활관 포함) 46개동을 보호대상으로 정하고 있다. 위험성평가는 개정된 「사업장 위험성평가에 관한 지침」을 반영하여 연구 분야 및 작업특성에 따라 빈도·강도법, 체크리스트법, CHARM기법 등 실행 기법을 달리 적용하였고, 사전준비~기록·보존까지 5단계 절차에 따라 실시하였다. 현장 실행력 제고를 위해 위험성평가 참여 대상 확대 및 위험성평가 결과를 기초로 한 비상 대응훈련 실시, 위험성평가 결과 게시 및 교육 등을 실시하였다.

## 물류창고 지하화 화재대책연구

민세홍

가천대학교

### A Study on Fire Prevention Measures for Underground Logistics Warehouses

SeHong Min

Gachon University

†Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

최근 2020년 4월 이천시 물류창고 화재, 2021년 6월 덕평물류센터 화재, 그리고 2022년 1월 평택시 물류창고 화재 등으로 물류시설에서의 화재가 지속해 발생하고 있다. 이에 따라 정부는 2020년 9월에 물류창고 화재안전 강화 방안을 도입하였고, 2021년 8월에는 소방청, 국토부, 산업부 등이 물류센터 화재안전 종합대책을 추진하며, 물류창고 화재 대책에 대한 방안을 수립하고 있다.

그러나 최근 서울지역에서 계획 중인 2건의 물류창고는 대도시 내 용지 확보의 제한적인 상황 등 다양한 원인으로 인해 심층 지하화를 계획하고 있어, 화재 위험 등 안전에 대한 우려가 증가하고 있다. 물류창고의 화재안전 측면에서는 다음과 같은 위험 요소가 고려된다. 높은 화재하중, 대량의 유독가스 발생, 방화 구획되지 않은 대규모 공간, 냉장·냉동 창고의 기계설비 및 견고하지 않은 구조물 등으로 인해 화재진압이 매우 어려운 시설이다. 이와 같은 시설을 심층 지하에 설치할 경우 위험성은 수십 배 가증될 것으로 판단된다. 이러한 위험성에도 불구하고 지하에 물류창고를 설치하려면 위험성을 줄일 수 있는 철저한 대책이 필요하다. 이를 통해 물류창고의 화재 위험성을 낮추어 안전한 작업 환경을 조성할 수 있을 것이다.

위험성을 줄일 수 있는 다양한 대책이 있겠지만, 실질적으로 적용될 수 있는 대책을 제안하려고 한다. 공사 중 화재를 고려한 적절한 공정 관리를 위해서 소방 감리 및 안전 관리자의 사전 승인 후 공사를 진행해야 하며, 공정별 위험 개소를 파악하여 화재 위험 개소가 있는 공정을 분리하고 작업 지시가 결정되도록 건축 공사계획서 및 소방기계 시방서에 기록한다. 이를 통해 시공 시 관리 감독이 이루어질 수 있도록 조치한다. 지하층에 설치하는 전기차 충전소는 깊은 지하에 설치하는 것을 제한하고, 지하층 배연 시스템은 덕트를 사용해 시스템을 구성하여 연기 배출을 원활하게 할 수 있도록 설계한다. 피난과 관련하여 지하 공간에 Safety Zone을 설치하고 해당 장소에 방열복 및 공기호흡기를 지하층 수용 인원에게 맞춰 설치 수량을 반영한다. 물류 시설을 다른 주거 및 판매 용도와 함께 구성할 경우, 각각의 구획을 완전하게 분리하여 화재 발생 시 화재와 연기가 다른 시설로 확산하지 않도록 계획한다. 그 외에도 물류창고 화재 대책과 관련하여, 2022년 6월 17일 대통령 지시사항 1호에 따라 행안부가 주관한 '물류창고 화재 민관 합동 재난 원인 조사단'에서 도출한 35개 과제의 확인과 반영이 필수적으로 반영되어야 한다고 판단된다.

\*\*본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(RS-2022-00156237).

## CPVC 배관의 내진제품 기술기준에 관한 연구

오유라 · 민세홍<sup>†</sup>

가천대학교

### A Study on the Seismic Sway Brace Clamp of CPVC pipe

YuRa Oh · SeHong Min<sup>†</sup>

Gachon University

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

2023년 2월에 발생한 튀르키예-시리아 대지진과 국내 경주·포항 지진 이후, 지진에 대한 경각심이 고조되고 있다. 지진은 타 자연재해보다 단시간 내 막대한 인적 및 재산 피해를 일으키며, 위험물 관리에 있어서 누출, 화재, 폭발 등의 2차 피해를 발생시킬 수 있다. 지진의 2차 화재 피해로부터 수계소화설비를 보호하기 위해서 ‘소방시설의 내진설계 기준’에서 배관의 내진제품인 흔들림 방지 버팀대를 설치하는 것을 규정한다.

지금의 국내 소방용 배관 내진설계 규정은 금속 강관에 집중되어있다. 반면에, 지속적으로 건축물의 소화배관으로 공급과 사용이 증가하고 있는 CPVC 배관에 대해서는 미흡한 편이다. 이에 따라 CPVC의 특성을 반영한 기술기준과 안전성 평가를 한 연구도 부족한 상황이다.

본 연구는 합성수지 배관에 집중하여 제품의 내진설계 기준을 분석하면서 국내 제품인증인 ‘KFI인정기준’의 신설된 버팀대 배관연결장치 기술기준의 보완점을 찾아내고 개정을 제안하고자 한다. 연구 방법으로는 지진 피해사례, 내진설계 기초이론, 국내외 규정과 기술기준을 조사 및 분석하고, CAE 시뮬레이션과 내진성능시험을 시행하여 그 결과에 대한 안전성을 평가하며 경향성 분석을 하였다.

그 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 시뮬레이션과 내진성능시험 모두 배관연결장치의 한 종류인 클램프와 맞닿은 배관에 집중하중이 발생하였다. 그리고 배관과 배관연결장치에 작용하는 응력은 클램프의 폭이 증가할수록 그 값은 감소하는 경향을 보였다.

둘째, 시뮬레이션과 내진성능시험을 모두 비교한 결과, ‘KFI인정기준’에서의 배관연결장치의 폭에 대한 신설된 조항은 논란의 여지가 있다. 따라서 클램프의 폭의 기술기준을 현재보다 넓고 구체적으로 개정하는 것으로 제안하였다.

셋째, 배관 내진제품의 인정기준 시험방법이 강관 위주이기에, CPVC 재질의 특성을 ‘KFI인정기준’의 시험 정격하중 기준에 미반영하였다. 내진성능시험에서 배관연결장치의 응력이 모두 허용응력을 초과하는 결과는 이에 따라 발생한 것으로 추정했다. 현재 국내 버팀대의 기술기준에서 제품의 형상 측면과 함께 시험 정격하중 기술기준에도 개정이 필요함을 제안하였다.

## 대규모 공동주택 피트공간의 소방 안전성 확보를 위한 연구

권형용 · 민세홍<sup>†</sup>

가천대학교

### A Study on Securing Fire Safety in the Pit of Large Apartment Complex

HyeongYong Kwon · SeHong Min<sup>†</sup>

Gachon University

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

도심 속 공동주택은 안락하고 쾌적한 주거환경, 생활편의 시설을 만족도를 높이기 위한 발전을 거듭해 왔고, 현대의 공동주택은 신도시 재개발, 재건축 및 리모델링을 통해 대규모의 공동주택이 생김에 따라 단지 내 지하주차장은 하나로 통합되었으며, 그에 따른 지하 피트공간의 면적과 범위도 대규모로 성장되었다.

피트공간은 단지 내 도시미관, 효율성 및 실용성을 반영하여 배관, 덕트, 전선관등 각종의 건축 설비가 밀집하여 설치되는 공간을 만들고, 점검 및 유지관리가 비교적 쉽고, 접근성을 고려한 공간이다. 법률상 피트공간은 바닥면적에 제외되고, 소방시설물이 제외된 공간으로 관계자 이외 엄격히 출입통제가 되는 공간이며 창고, 휴게실, 작업실 등으로 용도를 변경하여 사용할 수 없는 공간이다. 피트공간 화재 안전성에 대한 관심은 2010년 10월 부산 W골든스위트 화재로부터 시작되었고, 이후 대책을 위한 소방청에서 주관한 ‘피트공간 소방시설 설치에 관한 지침해설’을 공표하였다. 본 연구를 시작한 계기는 피트공간 개구부의 부실관리, 피트공간 불법 용도변경으로 인한 사용실태 인지하면서 시작되었다. 이에 따른 관련 법령, 피트공간 현황, 피트공간 특성 등을 파악하고 현장실태 조사를 통해 문제점 자료를 수집하여 화재발생 우려에 대한 인자들을 분석하고, 화재 위험성을 연구하여 피트공간의 관리적인 대책과 설비적인 대책을 마련하고자 한다.

본 연구의 핵심은 다음과 같다.

첫째, 피트공간을 수평적 피트공간과 수직적 피트공간으로 구분하여 화재 위험성을 분석하고, 법령상의 현장실태 조사를 통해 발견되는 위법행위 관련 문제점들은 정리하여 이를 방지하기 위한 관계자의 점검 및 의무사항 이행을 위한 관리적 제안을 제시하고, 소방시설 설치에 관한 제도를 마련하여 피트공간의 활용성을 높여주는 대책을 제시하는 것이다.

둘째, 소방청 ‘피트공간 소방시설 설치에 관한 지침해설’을 분석하고, 각종 건축법령, 소방법령을 연구하여 법령해석의 상의 근거 조항을 나열하여 피트공간의 바닥면적 제외, 소방시설의 설치 제외 대한 기준을 스프링클러 화재안전기준에 관한 해설서를 제외하고는 찾아볼 수 없다는 점을 강조하고, 또렷한 기준이 없다면 소방시설을 설치하여야 한다는 것이다.

셋째, 피트공간의 천장 또는 벽 및 바닥을 관통하는 각종 건축설비는 내화 충전을 통해 방화구획 되어야 하는 공간이다. 현장에서의 작은 소홀함으로 생기는 틈으로 인해 수직 및 수평으로 화마가 번져 대형화재로 변질 수 있다. 따라서 ‘건축물 피난·방화기준에 관한 규칙’을 준수하여 관리

가 될 수 있도록 대책을 강구하여야 한다는 것이다.

넷째, 개구부 훼손 및 변경, 불법 용도변경 사용이 되지 않도록 소방시설 자체점검 항목에 세부 사항을 만들고, 소방안전관리자의 의무사항의 피트공간 세부사항을 만들어 관리할 수 있도록 연구 분석하여 피트공간의 화재 예방 및 안전성 확보에 기여하고자 한다.

\*\*본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(RS-2022-00156237).

## 전기자동차 충전시설 소방대책 고찰 연구

이명애 · 민세홍<sup>†</sup>

가천대학교

### A Study on the Fire Protection Measures for Electric Vehicle Charging Facilities

**MyungAe Lee · SeHong Min<sup>†</sup>**

Gachon University

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

전 세계적인 기후·에너지 위기에 대응하기 위하여 정부는 2023년 4월 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획을 확정하였다. 이 계획에 따르면, 국가 온실가스 감축을 위해 2022년 말 누적 등록 대수가 39만 대이던 전기자동차를 2030년에는 420만 대로 확대하여 보급하는 것을 목표로 하고 있다. 이와 더불어 충전설비를 123만 기 이상을 보급할 계획이다. 사용자의 충전시설에 대한 접근성을 높여 전기자동차 보급 확대를 유도하겠다는 전략이다.

충전시설의 확충에 따라 관계부처에서는 화재안전 강화를 위한 대책도 마련하였다. 주요 내용은 차종별 화재 진압 방법을 개발하고 화재 진압 장비를 지속적으로 확충해나가는 것으로써 주로 소방부처의 역할에 국한되어 있다. 충전설비를 지하주차장에 설치하는 경우 내화구조로 건축하도록 하고 CCTV를 설치를 의무화한다는 내용도 있으나, 대부분의 주차장이 내화구조로 건축되어 관련 법규에 따라 수평 방화구획의 설치를 면제받는 현실을 감안할 때 실효성 있는 대책이 될 수 없다.

리튬이온배터리를 주요 동력원으로 하는 전기자동차 화재는 열폭주하는 특성이 있어서 확산이 빠르고 쉽게 재발화하며 소화가 어렵다. 또한 가연성 가스 및 독성가스를 많이 발생시킨다. 따라서 충전시설 자체의 소방방재는 소방부처의 역할 이상으로 중요하다. 그러나 충전시설에 대한 소방방재는 여전히 내연기관 자동차에 준하고 있다. 소방청 통계에 따르면, 전기자동차 화재는 2020년에는 11건이던 것이 2022년에는 44건으로 계속 증가하는 추세에 있다. 주차장에서 발생한 전기자동차 화재 건수 또한 2020년에는 6건이던 것이 2022년에는 17건으로 크게 증가하여 전기자동차 충전시설에 대한 전기자동차 화재에 초점을 맞춘 소방대책 마련이 시급함을 시사한다.

본 연구에서는 전기자동차 충전시설의 화재 위험성을 분석하고 적응성 있는 소방설비 및 국내·외의 관련 규정에 대한 조사·검토하였다. 나아가 이에 대한 고찰을 통하여 전기자동차 화재에 효과적 대응하기 위한 소방대책을 연구하였다.

\*\*본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(RS-2022-00156237).

## 대형 스포츠경기장 시뮬레이션을 통한 위험성 평가에 관한 연구

주민언 · 이재문 · 사재천 · 민세홍<sup>†</sup>

가천대학교

### A Study on the Risk Assessment through Simulation of Large Sports Stadium

MinEon Ju · JaeMoon Lee · JaeChun Sa · SeHong Min<sup>†</sup>

Gachon University

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

최근 약 3년간 지속해 온 신종 코로나바이러스 감염증 펜데믹(감염병 세계적 유행)이 엔데믹(감염병 주기적 유행)으로 전환되면서 침체를 겪었던 공연 및 스포츠 분야에서 빠른 회복세를 보이고 있다. 이에 따라 대형 스포츠경기장의 사용량이 증가하였다. 스포츠경기장은 대규모 인원의 수용이 가능하며 스포츠 경기 외에도 콘서트, 박람회 등 다목적 사용이 가능하다는 점에서 스포츠경기장 사용량이 지속적으로 증대할 전망이다.

하지만 스포츠경기장은 관중석 내 높은 인구밀도, 객석 계단의 경사도 등 대피에 취약한 건축구조적 특징을 가지며, 다중밀집시설로서 대규모 인명 피해를 노린 테러 발생 가능성이 현저하다. 스포츠경기장 사고 및 재해는 테러, 붕괴, 폭력 사태, 화재, 압사 등 5가지 유형으로 분류되는데, 피해 규모가 큰 사고의 경우에는 해당 유형이 복합적으로 나타난다. 특히 비상 상황 시 피난 과정에서 발생한 압사 사고는 많은 인명 피해를 야기한다. 따라서 대피 시 스포츠경기장의 피해 최소화를 위한 피난 대책 마련이 요구된다.

본 연구에서는 수도권에 위치한 S 월드컵 경기장을 대상으로 피난 시뮬레이션을 실행하여 위험성을 평가하였다. 시뮬레이션의 신뢰성을 확보하기 위하여 경기장 도면, 객석별 수용인원, 대피 경로 등에 대한 자료 분석과 현장 조사를 통해 현황에 맞는 데이터를 확보하였다. 시나리오는 상황에 따른 수용인원의 차이를 반영하여 3가지로 설정하였다. 이때, 시나리오별 피난 시뮬레이션을 실행하여 도출한 필요안전피난시간(RSET : Required Safe Egress Time)을 피난 한계시간과 비교하여 안전성 확보 여부를 판단하였다. 필요안전피난시간보다 피난 한계시간이 클 경우, 피난 한계시간 내에 대피가 완료된 것으로 보고 피난 안전성이 확보되었다고 판단하며, 필요안전피난시간이 피난 한계시간보다 큰 경우에는 피난 안전성이 확보되지 않았다고 판단한다. 국내의 경우, 피난 한계시간을 별도로 규정하고 있지 않다. 따라서 피난 한계시간은 미국 NFPA 101 : Life Safety Code, 영국 GreenGuide 및 FIFA Football Stadium Guidelines를 기준으로 한다.

시뮬레이션 실행 결과, 시나리오 1을 제외한 시나리오 2와 시나리오 3은 피난 한계시간 내에 피난을 완료하였고 피난 안전성이 확보된 것으로 나타났다. 구역별 피난 형태를 보면, 하부 객석에 비하여 인구밀도가 큰 상부 객석에서 피난 지연 정도가 크게 나타났다. 특히 전광판과 같은 설치물이 있는 곳에서 재실자의 병목현상이 오래 지속되었으며, 피난 완료까지 많은 시간이 소요되었다.

\*\*본 연구에서는 대형 스포츠경기장 피난 시뮬레이션을 통하여 대피 상황에서의 위험성 평가하였다. 평가 내용을 바탕으로 정책적 및 기술적 제언을 도출하였다. 해당 제언 내용은 건물의 추가적인 보수 없이 피난 안전성 확보에 기여할 수 있는 방안으로, 기존에 설치되어 사용되고 있는 스포츠경기장에도 적용 가능할 것으로 기대한다.

## 준공 이전 공사 현장의 화재위험성 분석에 관한 연구

이종규 · 이재문\* · 이수행\*\* · 민세홍†\*\*\*

가천대학교

### A Study on the Analysis of Fire Risk in Construction Site Before Completion

JongGyu Lee · JaeMoon Lee · SuHaeng Lee · SeHong Min<sup>†</sup>

Gachon University

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

소방청 국가 화재 통계에 따르면 최근 5년(2018~2022) 동안 건설현장 화재 발생은 3,300여 건으로, 2022년 657건을 비롯해 꾸준히 발생하는 추세이다. 건설현장의 화재안전기준(NFTC, NFPC 606)이 2023년 7월부터 시행되면서 기존 임시 소방 시설 설치가 강화되어 비상 조명등과 방화포, 가스 누설 경보기가 의무사항으로 추가되었다. 이는 불티 비산의 방지와 피난 조도 확보로 화재 예방과 피난안전성이 향상될 것으로 기대되지만, 공사 현장의 화재 위험 작업과 복잡한 피난 구조에서 갖춰야 할 최소한의 설비 구조라고 볼 수 있다. 공사현장 화재 발생 시 초기 화재 진압과 조기 경보를 기반으로 한 피난 유도가 확보되지 않는 이상 기존과 다른 피난 위험성이 존재하므로, 법규 기반 피난 대응의 적용으로는 화재 시 피해를 경감하기 어려운 실정이다.

이에 본 연구는 공사현장 화재 위험 요소를 분석하고, 위험 요소별 안전 대응 방안을 도출하여 화재 조기 경보 및 피난 유도 가능한 IoT 경보 모듈 개발의 필요성을 제시하고자 한다.

화재 위험 요소는 첫째로 공사현장 특성상 사람이 상주하지 않고 넓은 작업 반경 대비 화재 감시가 이루어지지 않는 구조로서 화재 발생 사실을 감지할 수 있는 감지기 등의 설비가 구축되지 않는다. 둘째로는 공사로 인한 소음과 분진이 발생하며 비상 방송 설비의 부재로 화재 발생 장소를 포함한 화재 상황 정보의 전파가 어려워 피난 지연이 발생, 이는 소요 피난 시간(RSET)의 증가로 이어진다. 셋째는 작업 공수 중 거푸집과 가설재, 전선들과 적치된 자재의 관리가 미흡하여 화재 시 피난 경로의 확보가 어렵다. 넷째는 급·배기 시설의 미비로 인해 위험 물 가스가 축적되어 폭발 하한계(LEL)에 도달할 가능성이 비교적 높고, 화재 시 연기 또한 축적되어 피난 허용 시간(ASET)이 단축될 우려가 있다. 현행 건설 현장의 화재 안전 기준만으로는 이러한 위험 요소들에 대응하기 어려운 한계점이 분명히 존재한다. 이에 해결 방안으로 화재 감시와 피난 유도가 가능한 화재 감시 센서(영상 인식, IR, UV) 센싱을 기반으로 한 무선 통신 피난 유도 체계가 유용하게 적용될 것으로 보인다. 또한, 이를 종합하여 공사현장에 설치할 수 있도록 이동 형태 구조로 임시 설치가 가능한 무선 모듈형의 IoT 장치로의 개발이 적용될 수 있음을 확인하였다. 공사 현장의 화재 위험성을 감소시키기 위하여 화재 발생 시 신속히 화재 상황을 인지하고 근로자 초기 피난에 기여할 수 있는 연구가 진행되어야 한다.

\*\*본 연구는 2023년도 정부(중소벤처기업부)의 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 00219137, DNA기반의 공사현장 임시가설용 화재안전모듈 및 관리운영 플랫폼 개발)

## FDS 화재 시뮬레이션을 통한 지하공동구 화재 위험성평가 검증에 대한 연구

김재엽 · 이재문 · 사재천 · 민세홍<sup>†</sup>

가천대학교

## A Study on the Verification of Fire Risk Assessment of Underground Commons through FDS Fire simulation

JaeYeop Kim · JaeMoon Lee · JaeChun Sa · SeHong Min<sup>†</sup>

Gachon University

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

지하공동구는 도시 및 아파트 단지에 필요한 공공시설물인 전력, 통신, 상수도, 도시가스, 하수도, 냉난방시설 등을 효과적으로 수용하고 도시기반시설의 확장에 따라 파생되는 여러 가지 문제점을 해결하기 위해 지하 공간을 활용하여 필요한 시설을 한 곳에 모아 유지, 관리하기 위해 지하에 설치하는 시설물을 말한다.

2023년 07월 기준 소방청이 공개한 최근 10년간(2013~2022) 지하공동구 화재 발생 및 인명 재산 피해현황에 따르면 2013년부터 2022년 현재까지 10년간 지하공동구에서 발생한 화재 건수는 평균 매해 2건 정도지만, 화재 당 연간 평균 재산피해액이 건축물 화재 대비 약 18배 이상 높으며, 일반적으로 지하구에는 전기·가스·수도 등의 공급설비, 통신시설, 하수도시설 등이 있어 화재발생 시 간접피해액은 일반 건축물 화재와는 비교하기 어려울 정도로 클 수 있다.

지하공동구 화재발생 원인을 분석하였을 때 주 가연물이 케이블임을 확인할 수 있었고, 케이블 자체에서 발생하는 경우와 외부 발화원에 의한 화재로 구분할 수 있다. 케이블 자체 발화에 의한 화재로는 단락에 의한 발화, 지락에 의한 발화, 누전에 의한 발화, 과전류에 의한 발화, 도체 접속부 과열에 의한 발화, 스파크에 의한 발화 등이 있으며, 외부 발화원의 경우에는 공사 중 용접 불뚱에 의한 발화와 케이블에 접속된 기기류의 과열에 의한 발화 또는 기름 등의 가연물 연소에 따른 발화, 방화 등이 있다.

지하공동구 케이블 화재의 특징은 착화되면 쉽게 연소하고 긴 시간에 걸쳐 연소하기 때문에 화재 확산 가능성이 매우 높고 대형화재로 이어질 가능성이 높으며, 케이블의 소실로 인한 1차적 피해보다 그에 따른 사회적 간접시설의 중단에 따른 2차적 피해가 중대재해의 원인이 되기 때문에 소방 활동 공백 지연의 발생을 일으키고 금융기관 등 컴퓨터 온라인의 정지에 의한 데이터 통신망의 혼란 등 사회적, 경제적으로 큰 피해를 준다. 이와 같은 피해를 최소화하기 위해 지하공동구 화재 위험성 평가를 통한 위험도를 기반으로 한 소방대응 정책이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 지하공동구 현장 조사 및 문헌 조사를 통해 화재 성상 등 변수를 고려하여 시나리오를 작성하였고, 위험성 평가 항목을 7가지로 분류하고, 평가항목에 대한 점수를 합산하여 시나리오별 화재 위험성을 평가하였다. 또한 작성한 시나리오를 FDS 화재 시뮬레이션을 통해 구축하여 연을 결과값을 도출한 뒤 화재 위험성 평가에서의 위험도와 비교분석을 통해 위험성 평가의 신뢰성을 검증하여 지하공동구 화재 시 소방대응 방향성에 관하여 연구를 진행하였다.

\*\*이 논문은 2023년도 정부(행정안전부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020-0-00061, 디지털트윈 기반의 지하공동구 화재·재난 지원 통합플랫폼 기술개발).

## 지하공동구 화재대응을 위한 화재 시뮬레이션 데이터 정제에 관한 연구

이재호 · 이재문 · 사재천 · 민세홍<sup>†</sup>

가천대학교

## A Study on Refinement of Fire Simulation Data for Fire Response in Underground Utility Tunnel

JaeHo Lee · JaeMoon Lee · JaeChun Sa · SeHong Min<sup>†</sup>

Gachon University

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

지하공동구는 전기·가스·수도 등의 공급설비, 통신시설, 하수도시설 등 지하매설물을 공동으로 수용하며 미관의 개선, 도로구조의 보전 및 교통의 원활한 소통을 위하여 지하에 설치하는 시설물로서 폭 1.8 m 이상, 높이 2 m 이상, 길이 50 m 이상(전력·통신용은 500 m 이상)인 것으로 급·배수관용 이외의 것인 지하구를 말한다. 국가화재정보센터에 따르면 지하구 화재당 평균 재산피해액은 건축물 대비 약 27배 이상 큰 것으로 확인하였다. 이는 화재로 인한 동산 및 부동산의 직접 피해 위주로 산출한 것이다. 일반적으로 지하구에는 전기·가스·수도 등의 공급설비, 통신시설, 하수도시설 등이 있어 화재 시 발생하는 간접피해액까지 고려 시 지하구의 화재피해규모는 더욱 클 것으로 사료된다. 또한 밀폐 구조라는 공간적 특성과 유독성 가스로 인해 화재진압이 쉽지 않은 실정이다. 따라서 화재확산을 예측·예방하고 위험도 추론 및 전조감지를 통해 초동·능동 대응하는 것이 지하공동구 화재의 중요한 요소이다.

모델링 및 시뮬레이션 중심의 고차원 디지털트윈 기술이란 복합정보 간의 복합연결을 통하여 현실세계와 동일한 가상세계의 동적공간을 구현하는 기술이다. 이를 통하여 보다 신뢰성 있는 통합분석을 통해 예측·예방 중심의 피해저감을 위한 복합·통합 관리가 가능하다.

그러나 동적공간을 구현하기 위해서는 3차원 공간 내 방대한 양의 로우데이터 구축이 선행되어야 한다. 타 재난의 경우 건축물의 외벽 붕괴 혹은 지하공동구 내 수심 높이 등 데이터의 양을 축소할 수 있지만, 화재의 경우 3차원 공간 내 모든 데이터를 수집 및 탑재하여야 하기에 관리하여야 할 DB의 양이 기하급수적으로 증가하게 된다. 이 과정에서 화재 시뮬레이션(Pyrosim) 내 전 구간에 걸쳐 데이터 측정 장치를 설치하였다. 그러나 현재 시스템 서버 기술 대비 복잡하고 많은 연산 처리가 요구됨에 따라, 상당한 시간 소요 및 에러가 발생하였다.

따라서 본 연구에서는 용량 및 우선순위 등을 고려하여 보간기법을 활용하여 시스템 서버의 처리속도에 맞는 팩터 값을 산출하는 것을 목적으로 연구를 진행하였다. 타당성 검증을 위해 보간 기법과 실측 데이터 간 오차율이 10% 이내인 것을 확인하였다. 또한, 보간 계산의 정확성과 연산 처리속도를 모두 고려하여 디바이스 설치 거리를 테스트하였다. 지하공동구의 환기구 별 간격이 150 m인 점을 고려하여 각각 6 m, 10 m, 15 m로 비교분석하였다. 그 결과 10 m 간격으로 디바이스를 설치하였을 때 계산 값의 신뢰성을 유지하며, 시뮬레이션의 연산처리속도 또한 유지할 수 있었다. 이후 10 m 간격으로 산출한 데이터를 토대로 Linear Interpolation을 통해 2차원 단면

내 데이터를 보간 후 각 단면 사이 3차원 내부 공간을 보간 진행하였다.

본 연구를 통하여 데이터를 효율적으로 정리함으로써 재난 예측·예방 중심의 피해저감에 효과적인 디지털 트윈 기술의 활용 가능성을 극대화하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

\*\*본 연구는 2023년도 정부(행정안전부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2020-0-00061-004, 디지털트윈 기반의 지하공동구 화재·재난 지원 통합플랫폼 기술 개발)

## 화학공정에서 AI를 활용한 근로자 중대 산업재해예방 시스템 적용 사례

윤태균<sup>†</sup> · 김동오 · 김종현

(주)코너스

### Enhancing Worker Safety: An AI-Based System Case Studies for Preventing Major Industrial Disasters in Chemical Processes

Taekyun Yoon<sup>†</sup> · Tony kim · Johnny Kim

Corners Co.,Ltd

<sup>†</sup>Corresponding author: tkyoon@corners.co.kr

화학 공정 제조업은 원료·중간제품·완제품 등의 입·출고 및 운반 작업과, 근로자가 단기적으로 여러 작업을 동시에 수행해야 하는 일상적인 유지보수 작업이 많다. 이러한 작업 과정에서 기본적인 근로자 안전 수칙 위반으로 인해 발생하는 재해, 입·출고 및 운반 작업에서 발생하는 재해, 유지보수 작업 간 발생하는 재해 등 화학 공정 제조업에서 근로자 산업재해가 빈번히 발생하고 있다. 최근 잇따른 화학 공정에서의 작업자 안전사고로 인해 기업에서는 제도 개선 및 환경 안전 관리 강화에 노력하고 있다.

그러나 제도 개선 및 재발 방지책으로는 근로자 산업재해 예방 수준을 높이는 데 한계가 있다. 그 이유는 다양한 작업 상황에서의 위험 감지 상황을 즉각적으로 감지하고 신속하게 알릴 수 있는 환경에 열악하기 때문이다. 이에 AI 기술을 통해 위험을 즉각적으로 감지하고 안전 관리자에게 신속하게 알림을 줄 수 있는 시스템이 절실하다.

이를 해결하기 위해 AI를 활용한 근로자 중대 산업재해 예방 시스템을 개발하였다. 시스템은 실시간 영상, 지능형 영상 분석, 메시지 브로커, 이벤트 분석, 디지털트윈 관제로 구성된다. 현장에 설치되어 있는 CCTV 화각과 디지털트윈 3D 화각을 동기화하고 CCTV 영상을 통해 화학 공정 작업 상황을 실시간 모니터링한다. 딥러닝 알고리즘을 적용한 지능형 영상 분석 SW에서 실시간 영상을 바탕으로 객체 인식 정보, 2D 좌표 정보를 메시지 브로커를 통해 이벤트 분석 SW로 전달한다. 만약 객체 오감지가 발생한 경우 이미지 데이터, 라벨링 데이터 등을 추가로 학습하고 영상 분석 SW에 적용하여 오감지 발생을 개선할 수 있다. 이벤트 분석 SW에서는 작업자 안전모 착용·미착용, 롤러 컨베이어 상부 위험 작업자 존재, 작업자 지게차 근접 감지 등의 위험 상황을 판단하는 로직이 적용되고, 영상 분석 SW로부터 전달받은 2D 객체 좌표를 3D 좌표로 변환하여 디지털트윈 관제 SW로 전달한다. 디지털트윈 관제 SW에서는 영상 분석 SW에서 감지된 3D 객체 정보를 표출하고, 이벤트 분석 SW에서 전달되는 다양한 이벤트 정보를 디지털트윈 관제 SW 화면에서 위험 감지 알림 화면으로 표출한다. 안전 관리자는 디지털트윈 관제 SW 화면에서 위험 감지 알림 화면이 표출될 경우 이벤트 발생 관련 CCTV를 통해 즉각적으로 현장을 확인하고 위험 상황을 조치할 수 있다.

본 논문에서는 화학 공정에서 AI를 활용한 근로자 중대 산업재해 예방 시스템의 주요 기능과 적용 사례를 제시하고자 한다. 이를 통해 향후 다양한 제조공장에서의 적용 가능성을 모색하고자 한다.

## 공정안전관리제도의 개선방안 토론회

### □ 토론회 개요

○ 목 적 : PSM 보고서 제출 대상이 되는 각 산업분야의 운영 현황 및 문제점을 공유하고 개선 가능한 방법과 개선 방향을 논의

○ 일 시 : 2023.08.23.(수) 13:30 ~ 16:30

○ 장 소 : 벙스코 제2전시장 326호

○ 주 최/주 관 : (주) 헤르스, 안전보건공단

### □ 프로그램 일정

| 시 간           | 주 제  | 발 표 자                |
|---------------|--|----------------------|
| 13:00 ~ 13:30 | 등 록  |                      |
| 13:30 ~ 13:40 | 인사말  | 한국위험물학회 회장<br>권혁면    |
| 13:40 ~ 14:10 | 공정안전관리제도의 어제와 오늘,<br>그리고 내일  | (주)헤르스 대표이사<br>김형석   |
| 14:10 ~ 14:30 | 정유화학산업의 PSM제도 문제점<br>및 개선방안  | 대한석유협회 실장<br>안국헌     |
| 14:30 ~ 14:50 | 반도체·디스플레이산업의 PSM제도<br>문제점 및 개선방안   | 한국반도체산업협회 본부장<br>김효수 |
| 14:50 ~ 15:10 | 중소·중견기업의PSM제도 문제점<br>및 개선방안  | 조광요턴 부장<br>이형근       |
| 휴 식 (15분)     |  |                      |
| 15:25 ~ 16:30 | < 토 론 ><br>-좌 장 : 김태욱(미래일터안전보건포럼공동대표)<br>-토론자 : 임우택(한국경총 안전보건본부장)<br>: 신백우(고용노동부 사무관)<br>: 김광일 (한국노총 산업안전보건본부장)<br>: 조필래(알파안전(주) 대표이사) |                      |

\*\* (주)헤르스에서는 안전보건공단과 함께 'PSM 제출대상 및 이행상태평가의 합리적인 개선방안에 관한 연구'를 진행하고 있습니다. 제도개선에 꼭 필요한 의견을 담을 수 있도록 많은 참여 부탁드립니다.

## CFD 기반 화학물질 취급 사업장의 환기 시스템 최적화에 관한 연구

김은희 · 임채완 · 문명환 · 마병철<sup>†</sup>

전남대학교 화학공학과

## A Study on the Optimization of Ventilation System in the Workplace Handling Chemicals Based on CFD Simulation

Eunhee Kim · Chaewan Lim · Myeonghwan Moon · Byungchol Ma<sup>†</sup>

Chonnam National University, Department of Chemical Engineering

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

최근 10년간 발생한 화학사고 중 누출로 인한 화학사고가 약 79%로 높은 비중을 차지하고 있다. 특히 증기압이 높은 액체 화학물질을 취급하는 실내 사업장에서 물질이 누출되어 풀을 형성할 때, 풀에서 증발된 증기로 인하여 중독이나 질식 등의 피해를 불러올 수 있다. 따라서 실내 사업장의 경우 이러한 피해를 예방하기 위하여 적절한 환기 설비를 설치해야 한다. 환기는 누출원에서 발생하는 화학물질을 집중적으로 처리하는 국소배기과 사업장 내의 화학물질을 희석시키는 전체 환기가 있으며, 공정의 특성상 국소배기의 환기가 불가능한 경우 전체환기로 해야 한다. 이때, 환기구 배치에 따른 환기 효율의 차이를 CFD 기반의 시뮬레이션을 통하여 확인할 필요가 있다. 또한, 화학물질 누출 시 물질의 분자량, 증기밀도, 증기압에 따라 거동이 상이하므로 물질의 특성에 따른 적합한 환기구의 위치를 선정할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 FLACS 소프트웨어를 사용하여 3D CFD 시뮬레이션을 구동하였고, 내부 기류를 확인하여 환기 시스템을 설계하였다.

우선, 임의의 공간을 대상으로 급배기시스템을 모델링하였고, 액체 화학물질이 누출되어 풀을 형성한 상황을 가정하여 증발되는 화학물질로 인한 실내 공간의 농도를 비교·분석하였다. 이때, 환기는 사업장에서 일반적으로 사용하는 방법인 3종 환기(자연급기, 기계배기) 방법으로 선정하였고, 환기구의 배치는 급기구, 배기구 조합에 따라 45가지로 설정하였고, 45가지의 배치 중 가장 효율적인 환기구 배치를 도출하였다.

본 연구를 통해 CFD 시뮬레이션으로 사업장 내 최적의 환기구 배치를 도출하는 방법을 제시하였으며, 시뮬레이션 결과를 통해 보다 과학적인 방법으로 환기구를 설치함으로써 근로자의 안전성을 확보할 수 있을 것으로 기대한다.

## 보일러 유해가스 중독 예방을 위한 자동 환기장치 설치에 관한 연구

김상현<sup>†</sup> · 임현종 · 오일환

호서대 안전행정공학과

### A Study on the Installation of Automatic Ventilation System for the Prevention of Hazardous Gas Addiction in Boiler

**Sang Hyun Kim<sup>†</sup> · Hyun Jong Yim · Il Hwan Oh**

Department of Safety Public Administration, Hoseo University

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

본 연구의 목적은 보일러 질식 사고의 원인인 유해가스 중독을 예방하기 위하여 보일러실의 자동 환기장치 설치의 법제화를 제안하여 의무화하려는 것이다. 이 논문에서는 보일러의 형식을 파악하여 각각의 형식별 환기구 설치 규정을 파악하였고, 보일러의 질식사고 예방을 위한 안전장치의 종류와 기능을 파악하였다. 또한 보일러 질식사고 원인 중 대부분을 차지하고 있는 일산화탄소 중독과 관련하여 일산화탄소 농도별 인체 반응을 파악하였다, 일산화탄소 질식 사고 예방을 위한 가스경보기 설치가 2020년도 8월 5일부터 의무화됨에 따라서 가스경보기와 연동된 자동 환기 장치 설치를 제안하는 것이다. 이는 기존에 공동주택에서의 자동 방화셔터나 제연창과 같이 화재경보기 작동 시 자동으로 작동되도록 하는 것과 마찬가지로 보일러실의 일정농도 이상의 가스가 발생하면 자동으로 환기 장치를 작동시켜, 일산화탄소와 같은 가스로 인하여 사람이 질식에 이르지 않도록 하는 것이 목적이다.

이는 기존의 보일러에 설치되는 여러 가지의 안전장치와 별개로 보일러의 배관 파손과 같이 보일러 기능적 결함이나 고장이 아닌 기계적 결함과 사용상의 실수 등과 같은 휴먼에러에도 사고 예방을 가능하게 하는 방법 중 하나로, 보일러 가스와 관련된 사고예방에 큰 기여를 할 것으로 기대한다.

\*\*본 연구는 2023년도 환경부의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 중대재해 감축 로드맵 이행을 위한 사업장 작업위험성평가 현황 및 개선 방안

최진영

SK 에너지

### Current situation and improvement measures of workplace job hazard analysis for implementation of the Roadmap for catastrophic injury reduction

Jinyoung Choi

SK Energy

Jinyoung-choi@sk.com

작업위험성평가는 모든 작업 및 그 외의 업무 수행 전 안전, 보건 상 유해/위험요인을 파악하고 그 요인에 의한 사고, 부상 또는 질병의 발생 빈도(가능성)와 강도(중대성)를 추정하여 위험도를 결정하고 그 위험도를 낮추기 위한 감소대책을 수립하여 실행하는 일련의 과정을 말한다. 최근 발표된 고용노동부의 중대재해 감축 로드맵은 위험성평가 특히 작업위험성평가를 작업 중에 발생할 수 있는 중대재해를 예방하고 재발 방지의 핵심수단이라고 선언하고 있다. SK에너지 또한 작업위험성평가를 실질적인 중대재해예방의 도구로 활용하고자 이를 지속적으로 개선하여 이행하고 있다.

SK에너지는 최근 위험요소 발굴의 최적화를 통한 중대재해 예방을 목표로 작업위험성평가 내실화 방안을 수립하여 이를 사업장에 정착시키고 있다. 본 발표에서는 SK에너지의 작업위험성평가 수행 현황 및 그 문제점에 따른 개선안을 소개할 예정이다. 주요 내용은 작업위험성평가의 평가 대상, 수행 주체, 수행 방식, 수행 범위, 평가 방식 등 전방위적으로 개선된 위험성평가 수행 내실화 방안이다. 현재 이 내실화 방안은 SK에너지의 중대재해 예방을 위한 주요 전략 중의 하나로 활용되고 있으며, 도출된 개선방안을 지속적으로 개선하여 사업장에 성공적으로 정착함으로써 중대재해 예방에 기여하고자 한다.

## 친환경 경질우레탄 난연재료로서의 폐각(굴껍질) 사용 및 난연 성능 연구

이승훈 · 안승효 · 마병철<sup>†</sup>

전남대학교 화학공학과

## Effect of Oyster shell upon the intumescent flame retardant and smoke suppression properties of the rigid polyurethane foam

Seunghun Lee · Seunghyo An · Byungchol Ma<sup>†</sup>

Department of Chemical Engineering, Chonnam National University

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

난연성능에 있어 효과적이며 할로젠난연제를 사용하지 않는 경질 폴리우레탄 폼(RPU)를 만들기 위해 팽창성 난연 물질(IFR)들인 polyphosphate (APP), melamine cyanurate (MC), expandable graphite (EG)에 폐각(굴껍질)을 활용하여 폴리우레탄 폼을 비교 평가하였다.

무기물이 들어있지 않은 RPU와 팽창성 난연 물질을 사용한 RPU/IRF의 물리적 특성을 비교하기 위해 Cone calorimeter test (CCT), Limiting oxygen index (LOI) test, Thermal Conductivity test 등의 실험 방법으로 분석하였다.

실험결과 총열방출량 결과는 폐각을 포함하면 최대 열 방출률(PHRR), 총 열방출률(THR) 및 연기 생성률(SPR)이 크게 감소하였다. 폐각 함량이 적당한 RPU/IFR은 HR 29.13MJ/m<sup>2</sup>, HRR 20.90kW/m<sup>2</sup>, SPR 0.00024 m<sup>2</sup>/s 의 수준으로 개선된 난연성능을 제공하였다. TGA분석 결과는 폐각으로 인해 RPU/IFR내에 Char가 증가하였음을 알 수 있다. 폐각을 이용한 RPU/IFR의 열전도율은 19.2mw/m-K로 측정되어, 단일 성능에도 우수한 결과를 보여주었다.

본 연구는 적당한 함량의 폐각을 첨가함으로써 경질우레탄 폼의 허용 가능한 단일성능과 함께 난연성능이 함께 향상되었음을 알 수 있었다.

\*\*이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업단지공단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022-0156-01, 공정혁신 시뮬레이션센터 구축사업)

## 질식재해 예방을 위한 맨홀 관리시스템 필요성에 대한 연구

유현철<sup>†</sup> · 김명철 · 김충래

호서대학교 안전행정공학과

### A Study on the Necessity of Manhole Management System for the Prevention of Asphyxiation Disaster

Hyon-Chol Ryoo<sup>†</sup> · Mung Chul Kim · Chung Rae Kim

Department of Safety Public Administration, Hoseo University

<sup>†</sup>Corresponding author: hc6710@naver.com

정부의 지속적인 산업재해 감축 노력에도 산업재해 발생은 줄지 않고 있으며, 사고사망 만인율 역시 0.4~0.5 ‰ 수준에서 정체 되고 있다. 특히 밀폐공간 관련 질식재해를 분석해 보면 2012년부터 2021년까지 10년간 밀폐공간에서 질식해 사망한 노동자가 165명인 것으로 나타났다. 또한 질식사고 발생 시 사망률이 47.4 %로 나타났으며, 이는 일반적 사고성 재해 사망률의 1.1 %보다 44배 높은 수준으로 산업재해 사고 중 가장 치명적인 재해라고 할 수 있다. 밀폐공간 작업은 밀폐공간 프로그램을 수립하여 그에 따른 작업절차와 안전조치를 하고 작업하여야 함에도 이를 준수하지 않고 작업하여 사고가 발생하고 있으며, 그 원인 또한 산소결핍 과 유해가스 중독 등 다양한 원인이 존재 한다. 그리고, 맨홀내부 질식사고는 밀폐공간 질식사고중 높은 비중을 차지하고 있으며, 그 원인 또한 산소결핍과, 유해가스 중독이 대부분을 차지한다. 따라서 본 연구에서는 밀폐공간 대상 작업 중 일상에서 가장 흔하게 접할 수 있는 맨홀을 대상으로, 가스안전공사의 굴착공사 정보지원시스템과 한국전력의 전력구 출입관리 시스템을 각각 벤치마킹 하여, 맨홀관리 시스템을 제안하였다. 맨홀 내 밀폐공간 작업 시 시공 사업자의 사전 작업 신고와 해당 맨홀 관리 기관이 밀폐공간 해당여부 현장 확인과 밀폐공간 해당 시 작업승인 절차를 거치는 맨홀 관리 시스템의 필요성 연구를 통하여, 밀폐공간과 관련된 질식사고를 예방 하는 것을 목적으로 하고 있다.

\*\*본 연구는 2023년도 환경부의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 변경관리 시스템 운영 사례 소개

모진택

SK Energy

### Introduction to Management of Change System

Jintaek Mo

SK Energy

변경관리는 국내 법규상 산업안전보건법 공정안전관리제도(이하 PSM) 12대 요소 중 하나이며, 크게 두가지의 목적이 있다. 첫 번째로 공정 및 부대시설에서의 변경사항이 기술적으로 타당한지를 관련부서가 검토·승인함으로써 변경 후에도 최초 설계시의 안전·환경·보건 및 Reliability 수준이 그대로 유지 또는 향상되는 것을 보장하는 것이고, 두 번째로는 모든 시설 및 설비의 운전·유지 및 보수에 필요한 관련자료가 개정·관리되도록 함으로써 실제 시설과 자료의 일치를 확보하기 위함이다.

SK Energy는 국내 정유회사로서 다수 조직간 협업을 통해 매년 다수의 공정 개선 및 보수를 진행하고 있으며, 이를 변경관리 시스템 환경하에 기술검토와 문서개정을 진행하고 있다.

이번 “변경관리 시스템 운영 사례 소개“에는 SK Energy가 다년간 변경관리를 진행하며 겪었던 경험을 토대로 개선된 변경관리 System 전반에 대해 안내한다.

주요 내용으로 변경관리 누락에 따른 사고사례를 공유하고, 변경관리 누락방지를 위한 System Work Flow 상세 단계별(① 변경검토 의뢰, ② 기술검토·위험성평가, ③ 변경승인·작업의뢰, ④ 작업완료, ⑤ 원상복구작업, ⑥ 문서 및 자료관리) 구성과 각 단계별 화면 구성·필요 정보를 안내한다. 또한 변경관리 진행단계 중 필요한 타 주요절차와 연계된 System(인허가검토 시스템, 작업허가 시스템, 가동전 안전점검 시스템, 문서개정 시스템)과의 연관성 및 연동관계를 설명하고, 마지막 시사점으로는 “System에 의한 변경관리 진행의 효율성“, “빈틈없는 기술검토 및 문서관리“, “타 시스템과의 연계확장성“을 마무리하며 SK Energy에서 고민하는 변경관리 시스템 현안과 개선방향 공유 할 예정이다.

## CFD 시뮬레이션 기반 폴리우레탄 폼의 난연성 평가 연구

이준서 · 이슬기 · 이승훈\* · 마병철†\*

전남대학교 공정혁신 시뮬레이션센터 · \*전남대학교 화학공학과

## A Study on Evaluation for Flame Retardancy of Polyurethane Foam Based on CFD simulation

Junseo Lee · Seulgi Lee · Seunghun Lee\* · Byungchol Ma†\*

Center for Process Innovation Simulation, Cheonnam National University · \*Department of Chemical Engineering, Cheonnam National University

†Corresponding author: anjeon@jnu.ac.kr

폴리우레탄(PU)과 같은 유기 단열재는 우수한 단열성을 보유하고 있어, 건축자재로 널리 활용되고 있으나, 가연성 물질이기 때문에 화재 시 화염과 독성가스의 확산을 촉진시켜 질식 또는 중독 등의 인명피해를 야기한다.

이에 정부에서는 건축법을 개정함으로써, 단열재의 난연성 등을 평가하여 건축자재로의 적합성을 확인하고 있으며, 학계 및 산업계에서는 유기 단열재에 세라믹 등의 무기 절연재료를 혼합하여 이러한 문제를 보완하고 있다. 다만, 난연성 평가를 위해 시간당 건축물 내부의 연소가스의 확산을 확인하는 것부터 화재 대피시간 등을 산출하기까지는 상당한 위험과 비용이 수반됨으로 현실적으로 불가능하다.

이를 보완하고자 본 연구에서는 소규모 실험장비와 CFD 시뮬레이션을 활용한 난연성 평가 방법론을 제시하였으며, 선행연구에서 개발한 폴리우레탄폼(PUF)을 대상으로 본 연구방법을 적용시켜 난연성을 평가하였다.

우선, 실험실 규모의 실증실험 장치를 설계 및 설치한 후, 선행 연구에서 개발한 PUF와 기존의 PUF를 대상으로 연소실험을 수행하였으며, CFD 시뮬레이션과의 비교를 통해 연소 후 생성되는 연소가스가 실험장비 내에서 확산하는 경향과 산소농도의 변화를 분석하였다.

연구결과, 방향족 구조의 도입으로 배출량을 약 82.5% 감축시켰으며, 무기물의 함유를 통해 CO 배출량의 50%를 추가로 감축시켰다. 실험장비 내 산소농도 또한 지방족 구조를 지닌 PUF가 18%로 감소하지만, 이는 ASET 기준에 미치지 못하므로 세가지 PUF 모두 화재 안전성은 높은 것으로 평가되었다.

본 연구를 통해 PUF의 구조적 차이 및 무기물의 함유 여부가 단열재의 난연성에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였으며, 안전 및 비용 측면에서 타당한 난연성 평가 방법론을 제시하였다. 이러한 방식의 검증은 건축자재 인증 비용을 감축할 수 있으며, 나아가 해당 재료를 단열재로 활용한 건축물의 안전성을 사전에 확인하여 화재 등의 사고를 대응할 수 있는 체계를 구축하는 데 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

\*\*이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업단지공단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022-0156-01, 공정혁신 시뮬레이션센터 구축사업)

제철산업 위험성평가 사례에 관한 연구  
- 화학물질취급 A기업 사례를 중심으로 -

이동윤<sup>†</sup> · 이규식 · 엄재근  
호서대 안전행정공학과

A Study on Risk Assessment Cases in the Steel Industry  
- Focusing on the case of company A handling chemical substances -

**Dong Yun Lee<sup>†</sup> · Guy Sik Lee · Jae Gun Eom**  
Department of Safety Public Administration, Hoseo University  
<sup>†</sup>Corresponding author: ldy3262@naver.com

본 연구는 A제철사 위험성평가 시스템인 표준관리시스템(Safety Keeper)에 기반한 위험성평가 검증 도구를 8단계로 구축하여 A제철사 5개 사업장 123개 부서를 대상으로 사례 분석을 실시하였다. 연구결과를 요약하면 위험성평가 유무 및 시스템 내 정보 일치는 수시로 변화하는 작업 항목에 대한 위험성평가 업데이트 여부로서, 규모가 작은 사업장들 점수가 더 높았다. 정기, 수시 평가 이행 정도 및 개선 결과에 대한 조치 등 형식적 차원이 강한 항목에서는 모든 규모의 사업장들 점수가 전반적으로 우수했으며, 위험성평가 참여, 승인 점수는 모든 규모 사업장들 점수가 전반적으로 저조했다. 마지막으로 위험성평가 내용 적정성의 경우 규모가 가장 영세한 E사업장이 가장 높았으나, 규모가 역시 작은 D사업장의 점수가 가장 저조했다. 이러한 결과에 따라, 본 연구는 화학물질취급 제철산업 사업장 규모별로 위험성평가 수행 및 결과 개선을 위한 실무적 전략을 각각 제시했다.

\*\*본 연구는 2023년도 환경부의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 중대 재해 예방을 위한 안전관리 고도화 사례 (Gray Zone & Blind Spot)

이윤호<sup>†</sup> · 윤슬기

(주)LG화학

### EHS Best Practice of LG Chem for preventing Serious Accidents (Gray Zone & Blind Spot)

Yun-Ho Lee · Seulgi Yun

LG Chem

<sup>†</sup>Corresponding author: yunholee2020@lgchem.com

LG화학은 2020년 발생한 인도 SM 누출사고를 기점으로 비가역적으로 중대재해를 예방하기 위한 중장기 환경안전 관리 프로젝트를 진행하고 있으며 이를 통하여 사고 예방 및 환경안전 역량 향상 효과가 나타나고 있다. 2022년부터 사고 발생 현황을 보면, 3일 이상 입원 상해사고 및 손실금액 3,000만원 이상의 물적 손실사고가 전년 대비 발생 건수는 56%, 사고 강도는 55% 수준으로 낮아졌으며 2023년 상반기 2개월간 누적 약 28,000명이 투입된 대규모 정비 작업과 일련의 중소 정비 작업에도 불구하고 2023년 상반기 역시 전년 대비 사고 발생 건수는 54%, 사고 강도는 42% 수준으로 꾸준히 낮아지고 있다. 특히 가장 대규모인 여수 사업장은 환경안전 실행력을 확보하기 위하여 본사의 환경안전 Top Management Leadership을 사업장에 바로 반영하고, 기존 법규관리 중심의 환경안전조직을 해외 선진사 EHS 조직과 같이 공정안전/산업보건/소방&방재/환경기술/기획 등 기능 중심 전문 조직으로 추가로 구성 및 세분화 하였으며, 전사에 도입된 상위 규정인 환경안전 표준, 기술지침, 선진사BP, 인근사 등의 사고사례 Lesson learned를 중심으로 사업장 50여 내규를 제·개정하여 Work Process 단계별 업무가 시스템적으로 진행되도록 관리하고 있다.

이러한 일련의 활동으로 고위험 공정, 물질 및 작업에 대한 안전성을 확보하고 중대 재해 및 중대산업사고 위험성은 획기적으로 감소시켰으나, 아직까지 관리 주체가 불명확하거나 저위험으로 간주된 시설, 공정 내 비주요시설, 공통시설 등 관리의 Gray Zone 또는 사각지대(Blind Spot)에서 발생하는 사고의 위험성은 여전히 상존함을 위험성평가와 여러 사고 사례 등을 통해 인지하게 되었다. 이러한 Gray Zone 또는 사각지대의 안전관리를 보다 더 강화하고자 사내·외 배관, 공정 유틸리티, 운휴 공정 등 관리 주체가 불명확한 Gray Zone과 포장실, 소방배관, 스팀배관, 콘크리트 구조물 등 관리구역 내에 있으나 위험성이 상대적으로 낮아 관리가 미흡한 사각지대를 구분하였고, 향후 지속적으로 발굴하여 기존 환경안전보건 활동과 함께 잠재된 위험성을 특정 관리영역에 포함시켜 개선하고 있으며, 이를 통해 중대재해, 중대산업사고를 포함하여 어떠한 산업재해도 발생하지 않도록 지속적으로 노력하고 있다.

## “SK 쉘더스의 산업제어시스템(ICS) 보안 전략”

강서일

SK쉘더스

최근 OT/ICS 산업제어시스템에 대한 사이버 공격 동향에 대하여 알아 보고 이에 따른 보안 기술 및 대응 방안에 대하여 제안한다. 이를 통해서 향후 OT/ICS 산업제어시스템의 구축이나 운영에 대한 보안 솔루션 및 기술 운영에 대하여 연구한다.

고온 배관 보온재에 누유된 윤활유의 화재 발생 가능성에 대한 연구  
- 타이어 제조사 H사업장을 중심으로 -

김용진<sup>†</sup> · 이형민

호서대 안전행정공학과

A Study on the Possibility of Fire of Lubricating Oil Leakage in  
High Temperature Piping  
- Focusing on tire manufacturer H business -

Yong Jin Kim<sup>†</sup> · Hyung Min Lee

Department of Safety Public Administration, Hoseo University

<sup>†</sup>Corresponding author: kimyj9955@naver.com

많은 사업장의 경우 다양한 고온 배관이 사용되고 있다. 이런 고온 배관의 경우 보온재를 사용하여 배관을 보호하여 안전사고 및 화재를 예방하고 있다. 또한 설비의 원활한 작동을 위하여 다양한 윤활유의 사용이 필수적인데 윤활유를 사용하며 사업장 마다 다른 환경에서 누유가 되고 고온 배관에 설치된 보온재에 윤활유가 장시간 축적되는 경우나 훼손된 보온재의 사이로 윤활유가 스며들어 노출된 환경에서 발화점이 낮아져 화재로 이어지는 경우가 많다. 최근 윤활유의 누유로 인한 화재 사고가 많고, 윤활유의 발화 원인과 안전성에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있다.

그리하여 본 연구에서는 타이어 제조 사업장 H사의 가류공정에 사용되는 윤활유의 인화점 및 자연 발화점을 측정하고, 가류공정의 정상적인 환경조건에서 윤활유가 고온 배관 보온재의 훼손된 부분에 누유된 상태를 재현하여 화재 발생 가능성에 대한 실험을 진행하고, 가류 공정에 사용하는 윤활유와 가류 공정의 다양한 물질과 혼합되었을 경우 성분분석을 통해 혼합된 물질이 고온 배관의 보온재에 축적되어 발생하는 화재 가능성에 대한 연구를 하였다.

\*\*본 연구는 2023년도 환경부의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 토픽 모델링 기법을 적용한 유해화학물질 관련 국민 질의 분석

김강현 · 홍정열\* · 최윤혁\*\*

계명대학교 · \*계명대학교 · \*\*한국도로공사

Analysis of National Inquiry of Hazardous Chemicals  
Using Topic modeling

Kanghyun Kim · Jungyeol Hong\* · Yoonhyuk Choi\*\*

Keimyung University · \*Keimyung University · \*\*Korea Expressway Corporation

†Corresponding author: jyhong9868@kmu.ac.kr

유해화학물질은 인간에게 유해성이 있거나 그러할 가능성이 있는 화학물질로 사고발생 시 대규모의 인명피해와 막대한 경제적 손실을 야기시킨다. 이에 정부는 유해화학물질 취급시설 검사 및 관리기준 법령을 통해 유해화학물질을 관리하고 있으며 특히, 지속적으로 사고가 발생하는 취급시설을 중점으로 사고예방대책을 수립하고 있다. 그러나, 이러한 대책 수립과정에서는 보편적으로 유해화학물질 관련 종사자의 의견들을 고려하지 않고 전문가의 의견만을 반영한 편향된 대책이 수립될 가능성이 높다. 따라서, 본 연구에서는 2014년 2월부터 2022년 5월까지의 국민신문고의 유해화학물질 관련 민원데이터를 수집하여 토픽모델링 중 잠재디리클레어할당 방법론을 적용함으로써 민원데이터에 내재되어있는 유해화학물질 관련 종사자 중심의 이슈와 동향을 파악하고자 하였다. 그 결과, 도출된 주요 이슈는 유해화학물질 유출감지, 보관시설 관련 법규, 장외영향평가, 배관시설 및 이송시설, 안전교육인 것으로 나타났다. 본 연구에서 활용된 토픽 모델링 잠재디리클레어할당 방법론은 확률을 기반으로 이슈를 추출하기 때문에 확률이 낮은 내용을 도출해내기에는 한계가 있다. 그러나, 본 분석을 통해 도출된 이슈를 기반으로 관련 법령개정 및 유해화학물질 관련 종사자의 의견을 수렴한 사고예방정책 수립이 가능할 것으로 예상되며 향후에는 유해화학물질 관련 정책수립 시 전문가의 의견뿐만 아니라 관련 민원내용을 동시에 고려함으로써 보다 효과적인 대안을 마련할 필요가 있다.

\*\*이 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No. 2021R1A2C1095641).

## 철도 위험물 운송 안전성 강화를 위한 용기 요구사항 분석

원중운<sup>†</sup> · 유용훈 · 박기준

한국철도기술연구원

## Analysis of Tank Requirement for Reinforcement of Railway Dangerous Goods Transport Safety

**Jong Un Won<sup>†</sup>, Yonghun Yu, Keejoon Park**

Korea railroad research institute

<sup>†</sup>Corresponding author: juwon@krri.re.kr

철도를 이용한 위험물 운송에서 가장 주의해야 하는 것은 사고를 방지하는 것이다. 철도는 대량 운송을 하고 있기 때문에 한번의 부주의한 사고는 대형사고를 야기한다. 철도에서 발생 가능한 사고 유형은 탈선, 추돌 등과 같은 철도 자체의 사고와 위험물을 포장하고 있는 용기 이상으로 인한 사고로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 철도 사고보다 용기 이상으로 인한 사고와 철도 사고발생 시 용기의 안전성 강화를 위한 요구사항에 대한 국내외 비교분석을 수행하여, 국내 철도 위험물 운송 용기의 요구사항 개선 방안을 제시한다. 비교대상 국외 규정은 UN RID, OSJD 그리고 미국 규정과 국내 규정을 상호 비교하였다. 국내외 규정 비교에서 두드러진 차이는 미국의 경우 위험물 열차의 속도 제한과 용기 열차단 장치 및 충격방지 장치 등의 요구사항이 있다.

## 효율적인 PSM관리를 위한 디지털 솔루션 개발방향 제시

박진형<sup>†\*</sup> · 박교식<sup>\*</sup>

한국요꼬가와전기 · \*송실대학교 안전보건융합공학과

### Proposal of digital solution development plan for efficient PSM

**Jinhyung Park<sup>†\*</sup> · Kyoshik Park<sup>\*</sup>**

Yokogawa Electric Korea · Safety & Health Convergence Dept of Soongsil University

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

최근 국내외에서 PSM관리를 위한 여러 가지 솔루션들이 개발되어 있다. 하지만 대부분의 솔루션들이 단순히 종이로 기록하던 양식을 스마트폰에 기록하는 정도로만 개발되어 있어 Big Data 조희나 통합 등의 장점을 못 살리고 있다. PSM은 총12가지 요소가 있지만 그 중 위험성평가, 안전작업허가, 도급업체 안전관리계획, 근로자 교육계획, 변경요소관리, 공정사고조사는 상호 연관성이 있다. 위험성평가 시는 해당 작업과 관련된 이전 사고와 원인을 조희해야 보다 바람직한 위험성평가를 할 수 있다. 안전작업허가를 발급하기 전에는 반드시 해당 작업에 대한 위험성평가를 수행해야 하고 혹시 변경작업에 대한 허가를 발급해야 한다면 변경요소관리 절차대로 서류를 준비했는지와 작업과 관련된 근로자 교육도 충실히 받았는지도 확인되어야 한다. 만일 안전작업이 도급업체에 의해 수행되는 일이라면 도급업체 안전관리계획에 부합하는 업체인지도 확인되어야 한다. 작업허가 전 반드시 선행되어야 하는 업무들이나 확인되어야 하는 상태도 있는데 그런 사항들에 대한 상세한 체크리스트와 확인사진 등을 등록할 수 있는 양식도 필요하다. 그리고 여러 가지 작업이 동시에 진행되는 경우도 많은데 작업공간이 겹침으로써 발생할 수 있는 위험성에 대해서도 충분히 검토된 후 작업허가가 발급되어야 한다. 설계변경작업 전에도 반드시 설계변경에 대한 위험성평가를 통해 변경될 설계에 대한 위험성이 파악되고 안전을 보장하는 대책이 강구되어야 한다. 현재 개발된 대부분의 디지털솔루션들은 PSM 12가지 항목들이 상호 인터페이스없이 독립적으로 작성되도록 되어 있어 디지털솔루션의 장점을 크게 살리지 못하고 있다. 이 6가지 항목이 상호 조희기능을 통해 관리될 때 사용자가 디지털솔루션에 대한 이점을 느끼게 될 것이다. 이번 발표에서는 대부분의 PSM관리솔루션들의 한계를 발견하고 향후 개발방향에 대한 방향을 제시하고자 한다.

## 인공지능 기반의 원자력발전소 기기냉각수 상실사고 예측 모델 개발

주세민 · 이연하 · 송석호 · 이정익<sup>†</sup>

한국과학기술원(KAIST)

### Annual Conference of the KIHM : Development of an AI-based Loss-of-Component-Cooling-Water Accident Prediction Model

Semin Joo · Yeonha Lee · Seok Ho Song · Jeong Ik Lee<sup>†</sup>

Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

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

원자력발전소의 중대사고란 심각한 노심손상을 초래하고 물리적 방벽들의 건전성을 손상시킬 수 있는 사고로 정의한다. 중대사고 발생 시 주제어실(MCR)에서의 빠른 의사결정은 사고의 영향을 완화하는 데 매우 중요하다. 그러나 중대사고의 진행 과정은 비선형적이고 영향을 미치는 변수가 다양하기 때문에 그 예측에 어려움이 있다. 현재 산업계에서 사용하는 중대사고 분석 프로그램인 Modular Accident Analysis Program (MAAP)은 계산자원을 많이 필요하다는 한계가 있다. 이러한 배경에서 본 연구팀은 MAAP의 예측 정확도를 유지하면서 계산자원 소모는 적은 인공지능 기반의 중대사고 예측 알고리즘을 고안하였다. 본 연구의 목적은 고도로 복잡한 계통에서의 사고 진행 예측에 어떤 심층 신경망 구조가 적합한지 비교하는 데 있으며, 노심 건전성을 나타내는 중요한 지표인 원자로용기 내 수위를 보다 정확하게 모사하려면 MCR의 어떤 감시변수가 추가되어야 하는지 탐색해보는 데 있다.

본 연구에서 모사하고자 하는 중대사고는 OPR1000 노형에서의 기기냉각수 상실사고(LOCCW)이다. 해당 사고에서 고장 나는 기기들은 사고 발생 시 노심 냉각을 지원하는 7가지 안전기기들로, 한 사고 시나리오 기간인 72시간 동안 무작위로 실패하도록 샘플링되었다. MAAP 프로그램으로 생성한 12,121개의 사고 시나리오로 심층 신경망을 학습시켜 지도학습 모델을 개발했다. 이 지도학습 모델은 MCR에서 확인 가능한 주요 열역학 변수들과 기기 고장 여부를 입력 변수로 받아서 다음 time step에서의 열역학 변수들을 출력하는 Rolling window forecast 방법을 기반으로 하였다. 지도학습 모델의 심층 신경망을 구성하기 위해 총 5가지 신경망 구조를 시험해봤다. 시계열 데이터 예측에 효과적인 것으로 알려진 CNN, LSTM, GRU 모델들과 이들을 조합한 CNN+LSTM, CNN+GRU 모델을 사용하였다. 신경망의 입력층에 들어가는 입력 변수는 (1) 1차 축 압력, (2) Hot leg 온도, (3) Cold leg 온도, (4) 원자로용기 수위, (5) 증기발생기 압력, (6) 증기발생기 수위, (7) 최대 노심 출구 온도, (8) 격납건물 압력, (9) 가압기 압력, (10) 가압기 수위로 선정하였다. 우선 (1)~(7)의 변수만 가지고 개발한 지도학습 모델과, (8)~(10) 변수를 추가하여 개발한 지도학습 모델의 회귀 성능을 비교하였다. 회귀 성능에 대한 지표로는 평균 절대오차(MAE)와 dynamic time warping (DTW) distance가 활용되었다. (8)~(10)의 변수를 추가한 결과, MAE 값이 모든 신경망 모델에서 감소하였다. 즉, 다음 time step에서의 열역학 변수값을 예측하는 회귀 성능이 향상되었다. 뿐만 아니라 전체 시나리오에 대한 예측 성능의 지표인 DTW

distance가 평균적으로 줄어들었다. 특히 1차측 압력과 원자로용기 수위, hot leg 온도에 대한 DTW distance가 각각 60.5%, 50.2%, 35.2%씩 감소하였다. 이는 1차측 압력, 원자로용기 수위, hot leg 온도와 (8)~(10)의 변수 사이의 물리적 연관성으로부터 기인한다. 입력 변수의 종류와 관계없이 모델 간의 회귀 성능 순위에는 변화가 없었다. CNN+LSTM과 CNN+GRU 모델의 회귀 성능이 가장 좋았으며, 그다음으로 CNN, LSTM, GRU 모델 순으로 성능이 좋았다. 종합하자면, 중대사고 시 열역학 변수들의 변화를 예측하는 데 Rolling window forecast 방법을 활용할 경우 가장 적합한 심층 신경망 구조는 CNN+LSTM 모델이며, 격납건물 압력과 가압기 압력/수위 변수를 입력 변수로 추가할 시 원자로용기 수위의 예측 성능이 향상된다.

## 다양한 인공신경망 모델을 활용한 원자력 발전소 중대사고 진행 예측

이연하 · 송규상\* · 김성중\*\* · 이정익†

한국과학기술원 원자력 및 양자공학과 · \*한국수력원자력 중앙연구원 · \*\*한양대학교 원자력공학과

## Application of various artificial neural networks for time-series forecasting of severe accident progression in nuclear power plants

Yeonha Lee · Kyusang Song\* · Sung Joong Kim\*\* · Jeong Ik Lee†

Department of Nuclear and Quantum Engineering, KAIST · \*KHNP CRI ·

\*\*Department of Nuclear Engineering, Hanyang University

†Corresponding author: jeongiklee@kaist.ac.kr

In this study, various artificial neural networks were applied to forecast thermal-hydraulic variables in the event of a severe accident at a nuclear power plant. Managing severe accidents is essential due to potential consequences, such as fission product release. However, effectively managing a severe accident is challenging due to significant uncertainty surrounding the physical phenomena involved.

According to the Severe Accident Management Guideline (SAMG), appropriate mitigation strategies must be determined when a severe accident occurs. This involves weighing the pros and cons of available strategies based on the symptoms of the nuclear power plant. For that reason, having tools that can predict the progression of accidents based on these mitigation strategies would be highly beneficial.

An artificial neural network was chosen as the methodology for severe accident prediction tools. This choice is due to the suitability of methodologies like artificial neural networks, particularly recurrent neural networks, for time-series forecasting. Utilizing a severe accident analysis code commonly used in the nuclear power industry, random accident scenarios were calculated and used as data for training the artificial neural network model.

Seven key thermal-hydraulic variables were selected from the accident scenario data, and a model was created to predict changes in thermodynamic variables over time. Two models were developed and compared: one using data from the previous single step, and another using data from the previous three steps. As a result, the model that uses data from the previous three steps shows better prediction performance. In conclusion, the results highlight the effectiveness of the artificial neural network model that utilizes data from the previous three steps for predicting severe accidents in nuclear power plants.

## 핵 사고에 대한 선원항 역추정 방법: 다중 방사성핵종 방출 시나리오에 대한 미분 없는 최적화 접근법

장시호 · 박주룡 · 김수현 · 임경동 · 김응수<sup>†</sup>

서울대학교

## Source Term Estimation for Nuclear Accidents: A Gradient-free Optimization Approach for Multi-radionuclide Release Scenarios

Siho Jang · Juryong Park · Suhyeon Kim · Gyongdong Im · Eung Soo Kim<sup>†</sup>

Seoul National University

<sup>†</sup>Corresponding author: kes7741@snu.ac.kr

In the event of a nuclear accident, multiple radionuclides, which pose a significant threat to humans and nature, can rapidly disperse into the atmosphere. When access to the accident's origin is challenging or when information is lacking, it is necessary to devise appropriate countermeasures while minimizing collateral damage and making swift decisions. The refinement of source term inversion methodologies — techniques for estimating the initial release quantities of radionuclides — is critical in situations requiring a complex consideration of various uncertainties, such as measurement errors and model inaccuracies. Particularly, if we can estimate the source terms using gamma dose information measured in real-time from multiple locations, real-time data analysis will greatly assist in accident response and decision-making.

Our research employs a gradient-free optimization approach based on gamma dose data to estimate the source terms for multiple radionuclides, using inverse modelling based on Bayesian optimization. Our optimization methodology does not require a separate matrix detailing the relation between the source and the receptor nor separate differential operation processes; instead, inversion can be achieved solely through repeated simulations of radionuclide dispersion. We've confirmed that such dispersion simulations can be further accelerated through GPU parallelization. We also discuss several technical methods that can exploit the characteristics of our methodology to reduce the aforementioned uncertainties. Our research will provide crucial insights to foster the development of innovative real-time source estimation techniques, expanding the scope of application for such technologies.

\*\*This work was supported by the Nuclear Safety Research Program through the Korea Foundation Of Nuclear Safety(KoFONS) using the financial resource granted by the Nuclear Safety and Security Commission(NSSC) of the Republic of Korea. (No. 2105010-0222-WT112)

## 다중고장사고 시 운전원 조치 시간에 따른 열수력 거동 민감도 분석

유지아 · 이연건<sup>\*†</sup>

제주대학교 에너지응용시스템학부 에너지화학공학전공 · \*제주대학교 전기에너지공학과

### Sensitivity analysis of thermal-hydraulic behavior of a nuclear power plant according to operator action time in multiple failure accidents

Jia Yu · Yeon-Gun Lee<sup>\*†</sup>

Major of Energy and Chemical Engineering, Jeju National University · \*Department of Electrical and Energy Engineering, Jeju National University

<sup>†</sup>Corresponding author: yeongun2@jejunu.ac.kr

2015년 개정된 국내 원자력안전법에서는 원전 운영허가를 받기 위해 제출해야 하는 서류에 사고관리프로그램을 추가하였다. 원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로42) "사고관리범위 및 사고관리능력평가 세부기준에 관한 규정"에 따르면 급수완전상실사고, 소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 안전주입 또는 재순환상실사고를 포함한 총 9개의 다중고장사고를 필수적으로 고려해야 하는 사고로 규정하고 있다. 다중고장사고 시 사고가 진행되는 동안 운전원은 노심의 손상을 방지하기 위해 사고관리절차에 따라 완화 조치를 취하는데, 이때 운전원 조치시간은 사고 결과에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 각종 다중고장사고에 대응하기 위한 운전원 조치시간의 타당성을 검증하고, 노심 손상을 일으키지 않는 운전원 조치 여유시간을 파악하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 국내 규제검증용 안전해석코드인 MARS-KS 코드를 이용하여 APR1400의 다중고장사고 중 안전주입 상실을 동반한 소형냉각재상실사고와 중형냉각재상실사고, 급수완전상실사고 시 운전원 조치시간에 따른 계통 열수력 거동과 노심의 건전성을 평가하기 위한 분석을 수행하였다. 2인치 파단 소형냉각재상실사고의 경우 일차계통의 급속냉각을 수행하기 위한 주증기대기방출밸브의 수동 개방 시점, 10인치 파단 중형냉각재상실사고의 경우 일차측에 냉각수를 공급하기 위한 정지냉각계통의 운전 시작 시점, 그리고 급수완전상실사고의 경우 일차계통의 감압 및 비상노심냉각계통의 작동을 유도하기 위한 파이롯트구동 안전방출밸브 수동 개방 시점에 대한 민감도 분석을 수행하여 각 운전원 조치 시간에 따른 APR1400의 열수력 거동과 침투 피복재 온도의 최대값을 평가하였다. 그리고 이를 통해 각 다중고장사고 시 노심 손상을 방지하기 위해 운전원에게 허용될 수 있는 운전원 조치 여유시간을 도출하였다. 이에 대한 연구 결과는 사고관리프로그램에 수록된 다중고장사고 해석에서 운전원 조치 시간의 설정 근거로 활용될 수 있다.

## 시스템 코드와 CFD를 통한 EBR-II SHRT-45 실험 자연 순환의 연구

박준범 · 정재호<sup>†</sup>

가천대학교

### In-depth understanding of endless natural circulation for EBR-II SHRT-45 coupling system code and CFD code

**Junbeom Park · Jae-Ho Jeong<sup>†</sup>**

Gachon University

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

이 논문은 1964년에 아이다호에서 설계된 EBR-II (Experimental Breeder Reactor II)으로 알려진 실험용 번식로 반응기의 성능과 안전성 평가를 위한 연구를 제시하였다. 이를 위해 CFD(Computational Fluid Dynamics)와 MARS-LMR(Multi-Dimensional Analysis of Reactor Safety for Liquid Metal Reactors)을 비교하고 검증하였다. EBR-II는 소듐 냉각 반응기로 작동하며, 열 출력은 62.5MW, 전기 출력은 20MW이다. 초기 단계에서 EBR-II는 우라늄만을 사용하여 폐기물이 없는 연료주기 반응기의 타당성을 입증하기 위해 운전되었다.

1984년에는 액체 금속 반응기 발전소에서 예상되는 비정상 상황 및 심각한 사고 조건에서도 손상 없이 감쇄 열을 안전하게 제거할 수 있는 능력을 입증하기 위해 두 가지 실험이 진행되었다. SHRT-45 실험은 주요 및 보조 펌프의 운전을 중지하는 반응기 보호 시스템 미작동 시나리오를 테스트하였다.

액체 금속 냉각 반응기(LMR)는 냉각재로 일반적으로 납 또는 소듐을 사용하는 원자로 시스템으로, 높은 온도와 압력 조건에서 작동한다. LMR은 높은 열전달 능력과 연료 효율성을 비롯하여 기존의 수냉형 원자로에 비해 많은 장점을 제공한다. 이러한 설계와 운전에 있어서 중요한 측면은 안전 분석과 성능 예측이다. 이를 위해 CFD와 MARS-LMR과 같은 고급 모델링 및 시뮬레이션 기술이 사용된다. CFD는 유체 유동, 열 전달 및 질량 이동을 포함한 다양한 물리 현상을 수치적으로 모델링하는 계산 도구이다. 반면, MARS-LMR은 다차원 반응기 안전 분석 프로그램으로서 다양한 운전 조건에서 LMR의 성능과 안전성을 평가한다.

본 논문의 목표는 CFD와 MARS-LMR을 사용하여 EBR-II의 특정 운전 조건에서 유동, 열전달 및 안전성을 평가하고 이 두 코드의 결과를 비교하여 신뢰성과 일치성을 검증하는 것이다. 이 연구 결과는 신뢰성 있는 모델링 도구를 선택하고 적용하기 위한 지침을 제공하기 위해 수행되었다. 또한, CFD를 사용하여 XX09 실험 데이터와의 검증 및 비교 분석이 수행되었으며, SHRT-45 실험에서의 CFD 결과도 보고되었다.

최종적으로, 이러한 연구 결과는 LMR 설계와 운전의 효율성과 안전성 강화에 기여할 것으로 기대된다.

\*\*본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 연구한 과제입니다.(RS-2023-00243201, Global Talent Development project for Advanced SMR Core Computational Analysis Technology Development)

## 입자법 CFD 기반의 원자력 중대사고 완화전략 IVR-ERVC 해석 방법론 개발

최태수, 이태훈, 김용수<sup>†</sup>

서울대학교 에너지시스템공학부 원자핵공학과

## Development of a Particle-based CFD Methodology for Analysis of Corium Behavior under IVR-ERVC Condition

Taesoo Choi, Tae Hoon Lee, Eung Soo Kim<sup>†</sup>Department of Nuclear Engineering, Seoul National University,  
1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, South Korea<sup>†</sup>Corresponding author: kes7741@snu.ac.kr

원자력 중대사고 완화전략인 IVR-ERVC (In Vessel Retention of molten corium through External Reactor Vessel Cooling)는 노내에 노심용융물을 억류하고, 냉각수 자연 순환에 의한 외벽 냉각을 통해, 핵분열 생성의 외부누출 방지 및 사고 진전 완화를 목표로 한다. 따라서 전략 성공을 위해, 플레넘 하부에서 산화물-금속물층으로 성층화된 노심 용융물의 열유동, 압력용기 열적 용발, 압력용기 내외부에서의 열속 분포 등에 대한 고도화된 이해가 필수적이다.

대표적인 입자법 CFD 기법인 SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)는 물리량을 가지고 움직이는 입자들을 활용하는 차분화 방법론으로써, 다유체, 다상, 자유계면 및 상변화 현상과 같이 해석영역에 큰 변형률을 동반한 해석에 특징점이 있다. 따라서 노심용융물 성층화 구조, 계면 및 압력용기 용발의 과도 해석에 적합하며, 전통적 CFD 방법론과 상호보완적인 역할을 통해, IVR-ERVC 조건하의 물리현상 이해를 고도화할 수 있다.

본 연구에서는 다양한 길이/속도 규모의 유동이 혼재한 노심용융물층의 난류 자연대류를 해석하기 위해, 동적 대외류 모델 중 Dynamic Vreman 모델 기반 난류 SPH 모델을 활용하였다. Dynamic Vreman 모델은 층류부터 난류까지의 열유동에 범용적으로 적용할 수 있으며, 유동 구조를 고려한 열전달 모델링이 가능하다는 장점이 있다. Enthalpy-Porosity 모델 기반 SPH 상변화 기법을 적용하여, 압력용기 내벽 용발 정도 및 용발된 액체금속 거동을 해석하였다. 이때, 압력용기 외벽에서의 냉각은 원자력열수력 시스템코드인 MARS 를 통해 해석하였으며, SPH 및 MARS 간 연계를 통해 압력용기에서의 열유속 출입을 계산하였다.

해석결과, 열집중현상(Focusing Effect)로 인해, 금속용융물층에 접해있는 압력용기 표면에서 열적 용발현상이 집중적으로 발생하는 것을 확인하였다. 용발된 저온의 액체금속은 밀도차에 의해, 산화물-금속용융물 층간 성층화되었다가, 온도상승에 의한 열팽창으로 노심용융물층 상단으로 상승한다. 저온의 용발 액체금속으로 인해, 압력용기 인근 금속용융물층의 자연대류 강도가 감소한다. 산화용융물층은 압력용기 곡면을 따라 저온 하강유동이 발생하며, 하부 플레넘에서 크러스트 층이 발달한다. 산화용융물층과 접한 압력용기에서는 금속용융물 층에 비해 적은 용발현상이 발생하지만, 부력에 의한 용발 액체금속의 강한 상승유동을 확인하였다. 상승하는 용발 액체금속은 산화용융물층을 관통하면서, 노심용융물층 혼합을 촉진할 것으로 기대된다. 이러한 해석결과는 전통적 CFD 방법론을 활용했을 때 확인할 수 없는 것들으로써, IVR-ERVC 전략성공에 핵심적인 노심용융물 거동 및 압력용기 용발 정도에 지배적인 영향을 미칠 것으로 예상된다.

## The Preliminary Design for Heat Exchanger in Heat Pipe Cooled Micro Reactors by Considering Heat Pipe Failure Scenarios

**Faruk Celik · In Cheol Bang\***

Department of Nuclear Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST),  
50 UNIST-gil, Ulsan, Republic of Korea

\*Corresponding author: icbang@unist.ac.kr

The heat pipe cooled reactor is a sophisticated design in nuclear reactor technology. It primarily consists of an almost solid-state assembly that includes multiple heat pipes inside the core to facilitate passive heat removal. This configuration bypasses the need for active cooling mechanisms, thus enhancing the reactor's safety and reliability. Generally, heat pipes offer strong reliability and consistency. Some designs can manage the failure of two adjacent heat pipes without halting operation, yet three simultaneous failures generally require a reactor shutdown. In some cases, multiple heat pipe failures may occur due to insufficient heat pipe capacity margins. In other words, these failures can be caused by exceeding the heat transport capacity limits which are viscous, sonic, capillary, entrainment, and boiling. These factors are crucial in evaluating heat pipe failure accidents. Transient operation, temperature oscillation, working fluid activation have effect on these situations. In case of the activation of working fluids by neutron flux, the heat transfer limits will be different because of the change of thermophysical properties by isotope decaying (The activation products which are K-40, Na-24 or Li-8 subsequently undergo beta decay to form Ca-40, Mg-24 or Be-8, respectively). In this condition, the reactor operating temperature will be over the heat pipe operating limits which will result in dry out of liquid phase of working fluid. These failures could potentially lead to detrimental effects like fuel or cladding swelling, and even monolith failure. A controllable system efficiency may help maintain the operating temperature within desired limits. In this study, a heat exchanger concept was suggested as combination of Thermoelectric Generator (TEG) and Closed Brayton Cycle. The system is based on the effect of external load on TEG's efficiency. In case of the change in limits or temperature, the system optimizes the efficiency by regulating TEG's external load, and converts the excess heat into electricity.

## 비등 영역을 고려한 크러드 열전달 모델 연구 동향 분석 및 개선

서동균 · 김형대<sup>†</sup>

경희대학교 원자력공학과

### Analysis and improvement of CRUD heat transfer model in boiling regime

**Donggyun Seo · Hyungdae Kim<sup>†</sup>**

KyungHee University, Department of Nuclear engineering

<sup>†</sup>Corresponding author: hdkims@khu.ac.kr

크러드(CRUD, Chalk-River-Unidentified-Deposit)는 원자로 1차측 내 증기발생기 또는 배관에서 발생하는 부식생성물로 과냉 비등에 의해 핵연료봉 표면에 침적된다. 금속 산화물로 구성된 크러드는 낮은 열전도도로 인해 핵연료봉의 열전달을 저해시켜 핵연료의 온도 및 축적열을 증가시켜 냉각재상실사고 시 첨두 피복관 온도를 상승시키는 요인으로 작용한다. 그러나, 이러한 크러드에 의한 온도 변화를 상세하게 평가할 수 있는 열전달 모델의 개발 및 검증이 부족한 상황으로, 현재까지 가용한 크러드 열전달 모델의 불확실도를 고려할 경우 피복재 정상상태 온도는 최대 100℃를 넘는 오차를 보일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 크러드 열전달 모델의 연구 동향을 파악함으로써, 기존 모델들의 한계를 분석하여 개선된 크러드 열전달 모델을 개발하고자 하였다. 기존의 크러드 열전달 모델을 총 3세대로 분류하여 모델의 발전 과정을 나타내었다. 1세대는 단순 다공성 매질을 가정한 모델로 Cohen 모델(1974)이 해당하며 열 및 물질 전달을 1차원으로 계산하였으며, 유효 열전도도를 크러드와 냉각재의 다공도를 가중한 평균을 이용하여 계산하였다는 특징이 있다. 2세대는 Pan 모델(1987), Henshaw 모델(2006), Haq 모델(2011)로 크러드 내·외부의 냉각재 유동을 고려한 모델들이 속한다. 2세대 모델들은 다공성 구조의 크러드 내부 모세관 유동을 고려하였으며, Pan 모델 및 Haq 모델은 열 및 물질 전달을 2차원으로 계산하였다는 특징을 가지고 있다. 3세대 모델들은 2세대 모델에서 고려한 막비등 구간 보다 고열유속 구간에 존재할 것으로 예상되는 막비등 구간의 모델링을 추가한 모델로 Short 모델(2013), Yeo 모델(2017)이 3세대 모델에 해당한다. 이 중 Yeo 모델은 Short 모델과 달리 건조 열유속 모델을 추가하여 막비등 영역이 시작되는 열유속 값을 제시하였으며, 이를 WALT 실험 데이터와 비교하여 모델을 검증하였다. 하지만, Yeo 모델은 천이비등 영역에 대한 모델링이 없어 해당 구간에서 부족한 점을 보였다. 본 연구에서는 이를 보완하기 위하여 건조영역 분율을 이용하여 천이비등 구간 모델링을 수행하였으며, 천이비등과 막비등 영역을 구분하기 위한 최소 안정 막비등 온도 모델을 추가하였다. 본 연구에서는 기존 크러드 열전달 모델의 문헌조사를 통하여 각 모델의 한계를 파악하였으며, 개선된 모델을 제안하였다. 하지만, 본 연구에서는 제시된 모델은 실험적 검증이 진행되지 않았다는 한계가 있어 향후 실험을 통한 검증이 이뤄질 예정이다.

## 크러드 침적 단일 가열봉의 급랭 열전달에 관한 실험적 연구

배반석 · 박영재\* · 이윤주\*\* · 김지현\*\* · 김병재\*\*\* · 김형대†

경희대학교 · \*미래와 도전 · \*\*울산과학기술원 · \*\*\*충남대학교

## Experimental Study on Quenching Heat Transfer of Single Heating Rod with CRUD Deposition

Banseok Bae · Youngjae Park\* · Yunju Lee\*\* · Ji Hyun Kim\*\* ·

Byung Jae Kim\*\*\* · Hyungdae Kim†

Kyung Hee University · \*FNC Technology co., Ltd ·

\*\*Ulsan National Institute of Science and Technology · \*\*\*Chungnam National University

†Corresponding author: hdkims@khu.ac.kr

과열된 핵연료에 대한 재관수 시 급랭 열전달 특성에 대한 예측은 가압경수로형 원전의 냉각재 상실 사고에 대한 열수력 안전해석에 있어 중요한 부분이다. 정상 운전 중에 핵연료 표면에 1차측 냉각재에 포함된 부식생성물이 침적되어 생성된 크러드층의 열저항으로서 영향에 대한 연구들이 진행이 되어 왔으나, 최근 크러드의 친수성, 다공성 미세 구조 특성에 의한 열전달 향상 연구 결과들이 보고되고 있다. 본 연구는 크러드 침적층의 주요 구성 성분인 Ni 이온과 Fe 이온이 첨가된 작동 유체에서 가압경수로 운전 조건인 15.5 MPa, 330°C에서 7일간의 침적 실험을 통해 획득한 크러드 침적 단일 가열봉 시편과 일반 가열봉 시편에 대하여 출구 압력 0.1 MPa, 입구 과냉도 10 K, 재관수율 50 mm/s에서 재관수 실험을 수행하였다. 시편 내에 설치된 열전대를 통하여 시간에 따른 온도 변화를 측정함과 동시에 초고속 카메라를 이용하여 재관수 시 2상유동 양식을 가시화하였다. 실험 분석 결과, 크러드가 침적된 시편에서 냉각수가 주입되는 초기의 재관수 유동에서 일반 표면의 시편에 비해 막비등 지속 시간이 짧아 급랭 열전달이 빠르게 시작됨을 확인하였으며, 표면의 온도가 재적심 온도에 도달한 지점인 재수착 전선의 전파속도를 측정한 결과 크러드 시편에서의 재수착 전선 전파속도가 일반 표면에 비해 약 2배 빠름을 확인할 수 있었다. 이는 시편의 급랭에 필요한 시간 단축을 의미하는 것으로 크러드의 열전달 향상 효과를 나타낸다. 본 연구를 통해 열전달 향상 측면에서의 크러드 층의 영향을 확인하였으나, 제한된 실험 횟수의 한계가 있었다. 추후 다양한 조건 및 많은 횟수의 실험 연구가 필요하다고 판단된다.

## 반도체용 가스실린더 캐비닛 내부에서의 수소가스 폭발압력이 방호벽에 미치는 영향

김민지<sup>1</sup> · 민미미<sup>1</sup> · 정승호<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 환경공학과 · <sup>2</sup>아주대학교 환경안전공학과 교수

### Effect of Hydrogen Gas Explosion Pressure on Protective Walls Inside the Gas Cylinder Cabinet for Semiconductors

**MinJi Kim<sup>1</sup> · Mimi Min<sup>1</sup> · SeungHo Jung<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Environmental Engineering, Ajou University ·

<sup>2</sup>Environmental Safety Engineering, Ajou University

\*Corresponding author: processsafety@ajou.ac.kr

반도체 산업에서는 일반적으로 H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>F<sub>6</sub> 등과 같이 다양한 인화성 물질들이 사용된다. 이를 안전하고 편리하게 취급하기 위해서 가스 캐비닛이 필요한 경우가 많다. 수소는 인화성과 폭발성이 매우 높으며, 캐비닛 내의 가스를 안전하게 사용하기 위해 위험 분석이 필요하다. 본 연구에서는 가스 캐비닛 내 수소 누출 시 다양한 캐비닛 조건에 따른 과압을 측정하고 방호벽에 미치는 영향을 시뮬레이션하였다. 연구를 위해 실제 반도체 현장에서 사용하는 캐비닛과 동일한 규격의 가스 캐비닛을 주문 제작하여 실증 실험을 진행하였다. 실험 결과를 바탕으로 3D 스캐닝을 통해 역엔지니어링하여 방호성능을 분석하였다. 캐비닛 내부의 수소폭발에 따른 압력 값을 실험을 통해 측정 후 AUTODYN을 이용하여 방호벽의 방호성능을 확인하였다. 가스 실린더 캐비닛의 폭발에 따른 콘크리트와 철근의 최대응력은 각각 30.211MPa와 112.88MPa로 계산되어 각각 콘크리트의 인장강도와 철근의 항복강도를 초과하지 않았다. 이는 실린더 캐비닛 내 수소 폭발이 방호벽 손상에 미치는 영향이 매우 작음을 보여준다. 이러한 결과는 반도체 팹(FAB)배치 변경 시 반도체 가스 실린더 캐비닛의 안전성을 평가하고 방화벽 설치 간소화 근거를 제시함으로써 반도체 산업 발전에 도움이 될 것으로 기대된다.

\*\*본 연구는 2023년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 ‘산업혁신인재성장사업’(P0012787)으로 수행된 연구임.

## 반도체산업에서의 위험물안전관리법 정책제언

권혁화 · 박은우 · 최광문<sup>†</sup>

SK하이닉스

Policy Proposal for Act on the safety control of hazardous substances  
in the Semiconductor IndustryHyuk Hwa Kwon · Eun Woo Park · Kwang Moon Choi<sup>†</sup>

SKhynix

<sup>†</sup>Corresponding author: kwangmoon.choi@sk.com

한국의 반도체 산업은 1965년대부터 시작되었다. 저렴한 인건비를 바탕으로 미국계 기업의 국내 진출로 시작되었으며, 1980년대 초반에 이르러 국내기업들이 산업시장에 본격적으로 뛰어 들어 생산뿐만 아니라 기술개발을 위한 투자도 진행되었다. 그간 크고 작은 어려움 속에 대한민국 10대 수출 품목에 맨 꼭대기 위에 자리 잡고 있을 뿐만 아니라 현재는 국가핵심기술 보유 및 기간산업으로서 역할을 해오고 있다.

그러나 반도체 업종의 이러한 국가 기여에도 불구하고 국내 여러 안전보건 관련된 법률들은 반도체 공장의 특수한 구조나 산업 생태계를 이해하지 못한 채 입법 및 제·개정이 반복되고 있다. 그 중 위험물안전관리법(이하, 위험물관리법)도 예외는 아닐 것이다. 2004년 5월 시행(2003년 5월 제정)된 위험물관리법은 무려 20년의 크고 작은 개정이 있었음에도 불구하고 반도체 공장의 특수한 구조와 급변하는 반도체 제조공장 환경을 반영하지 못해 신규 공장 건설 및 운영·관리상의 법규 이행 어려움이 존재한다.

국내 반도체 산업은 공정 특성상 다품종 화학물질을 취급하고 있어 사고예방 최우선 및 피해 최소화 원칙에 따라 반도체 공장을 설계하고, 2~3중 Fail-Safe 방어선을 최우선으로 고려하여 맞춤형 안전관리를 통한 사고예방관리체계를 갖추고 있다. 나아가, Smart IoT/AI Safety System 기술개발 및 조기 도입을 통해 첨단 수준의 안전관리를 점차적으로 추진 중에 있다.

이번 정책 제언에서는 앞으로 위험물관리법이 반도체 업종의 특수한 상황을 고려한 제·개정 방향과 정책 입안과정을 제언하고 현재 반도체 산업의 법규 이행 불합리를 분석하여 법 기준과 동등 이상의 위험물의 화재·누출 등 사고로부터 안전을 확보한 현 수준을 반영한 합리적인 규제개선 방향성까지 짚어보고자 한다. 특히, 위험물 취급과 관련하여 업종에 대한 특화 배경과 안전성 확보에 대한 방안을 제시하여 투명하고 안전한 위험물 제도 개선과 정책 개발에 대한 제언을 하고자 한다.

## 위험물 취급 반도체 산업의 안전성평가 사례

최경식 · 윤영환 · 김서영 · 최종호

삼성전자 DS부문 소방방재팀

### A Case Study on Safety Evaluation of Hazardous Materials in Semiconductor Industry

Kyungsik Choi · Younghwan Yoon · Seoyoung Kim · jongho Choi

Samsung Electronics Device Solution Fire & Disaster Prevention Team

미래 산업에 AI(인공지능), 고성능컴퓨팅(HPC), 오토모티브(전장) 등 시스템 반도체에 대한 수요가 두드러짐에 따라, 최근 반도체 산업은 메모리 반도체 외에 시스템 반도체 개발에 따른 고밀도화가 이루어지고 있다. 삼성전자는 파운드리 업체 가운데 최초로 GAA(게이트올어라운드) 기술에 기반한 3나노 칩 생산라인 가동을 시작하는 등(2022년) 시스템 반도체의 개발에 많은 투자를 하고 있으며 이에 따라 신규 위험물에 대한 취급이나 개발 등의 연구가 급속도로 증가하고 있다.

반도체 제조공정은 반도체 생산을 위해 일부 공정에서 IPA(이소프로필알코올), 신너(Thinner) 등의 4류 인화성 액체를 취급하고 있어 국내 위험물안전관리법에 의거 일반취급소의 시설기준을 준용하여 허가받고 있다. 다만 급변하는 반도체 제조공정에서 현행 기술기준을 적용하기 곤란한 법규가 지속 발생하고 있어 해당 기준에 대해서는 한국소방산업기술원을 통해 안전성평가를 진행한 이후 소방서장의 허가를 받고 있다.

본 연구에서는 반도체 산업 특성상 현행 기술기준을 적용하기 어려운 시설 기준들에 대해 공유하고 당사가 한국소방산업기술원을 통해 안전성 평가를 받은 사례 등에 대해 소개하고자 한다.

## 반도체 제조 설비에서 실란가스를 취급하는 가스박스의 최적화 설계 연구

임근영 · 김민지\* · 이근백\*†

세이프월드엔지니어링 · \*아주대학교

## A study on the optimization design of gas box that handles silane gas at the semiconductor manufacturing equipment

Keun Young Lim · Minji Kim\* · Geunbaek Lee\*†

SAFEWORLD ENGINEERING · \*Ajou University

†Corresponding author: Seungho Jung

다양한 산업분야 중에 반도체 산업은 대단히 고도화되어 있고 최신 기술이 적용되어 있다. 하지만 반도체 제조 공정은 다양한 위험원들 (전기, 기계/기구, 이온화 방사, 비이온화 방사, 화학물질)이 존재한다. 이중에 증착, 에칭, 세정 등의 공정에서는 다양한 독성, 인화성, 반응성 화학물질을 취급하고 있어서 그 위험성에 높은 관심을 보이고 있습니다. 그래서 의도치 않는 유출로 보호하기 위해서 다양한 안전장치와 유출 시에 위험 농도 (LFL, TLV 등)이하로 희석하기 위해서 배기되는 밀폐 구조의 가스 박스를 제공하고 있다. 특히 가스 박스 내에 의도치 않은 고장에 의해서 유출될 수 있는 잠재적인 유출 지점이 포함되어 있어서 유출 시에 위험 분위기를 만들지 않기 위해서 환기 유효성을 확보할 수 있는 최적화 설계가 반드시 필요하다.

특히 가스박스의 환기 유효성을 확보할 수 있는 최적화 설계에 대해서 다양한 방법을 강구할 수 있는데 이번 연구에서는 두 가지 조건에 대해서 검증해 보도록 하고자 한다. 첫 번째는 공기흡입구 (Intake hole)에 대한 필요성 유무 및 최적화된 위치 및 사이즈에 대한 시험을 진행할 것이다. 두 번째는 배기를 하는 배기에 대한 최적화 사이즈 및 위치에 대한 시험을 진행할 것이다.

이 시험 결과를 통해서 반도체 제조 설비에 설치되는 가스박스 및 각종 특수 가스 공급장치, 스크러버 등 다양한 밀폐된 배기구조 설비에 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 특히 가스박스에 설치된 환기 시스템에서 대한 유효성을 높이고 유출 시에 화재 폭발 및 작업자 흡입 등의 사고를 방지하는데 큰 도움이 될 것으로 보인다. 나아가 Good Ventilation design을 통해서 안전 보장을 이유로 과도하게 사용되는 배기 압력을 최적화하여 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대한다.

## 반도체 산업현장 내 화학사고 영향범위 분석 사례

김신지<sup>1</sup> · 선우건의<sup>1</sup> · 김형수<sup>2</sup> · 정승호<sup>3\*</sup><sup>1</sup>아주대학교 환경공학과 박사과정<sup>2</sup>SK하이닉스<sup>3</sup>아주대학교 환경공학과 교수

## Cases of analysis of the scope of influence of chemical accidents in the semiconductor industry

Shinji Kim<sup>1</sup> · Guneui Sunwoo<sup>1</sup> · Hyeongsoo Kim<sup>2</sup> · Seungho Jung<sup>3\*</sup><sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Ajou University<sup>2</sup>SK Hynix<sup>3</sup>Department of Environmental Engineering, Ajou University

\*Corresponding author: processsafety@ajou.ac.kr

중대재해처벌법 제정 이후 사업장 주변에서 기업들의 활동으로 인한 거주민의 잠재적 피해에 대한 우려가 심화되면서 사회적인 문제로 대두되고 있다. 본 연구의 대상인 반도체 사업장은 여러 화학물질을 사용하는 가운데 특히 무수암모니아, 암모니아수용액, 무수불산, 불산수용액 등 유해화학물질을 반도체 산업현장 내에서 취급하며 조업 중 사업장에서 배출되는 유해화학물질이 상존한다.

본 연구에서는 중대시민재해예방을 위해서 사업장에서 자구적으로 가능성 있는 시나리오를 대상으로, 누출 사고시 주변에 확산될 수 있는 영향거리를 미리 파악하고 대책을 세우기 위하여 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)을 통해 사업장에서 발생할 수 있는 유해화학물질이 누출되어 인근 주거지역에 확산되어 영향을 미치는 범위와 농도를 확인하고자 하였다.

특히 사업장 주변에 영향을 미칠 수 있는 시나리오를 Gas Cylinder, Tank Lorry 등이 사업장 내에서 사고가 발생하여 독성가스가 누출되었을 때로 가정하여 고도와 지형에 따른 사업장 외부로 영향범위가 확대되는지에 대한 여부를 확인하였다. 그리고 이를 통해 CFD 시뮬레이션 결과와 정량적위험성평가(Quantitative Risk Assessment)의 사고영향평가(Consequence Analysis) 결과를 비교하여 문제점을 판단하고 중대재해처벌법과 중대시민재해예방 대비를 위한 회사(사업장) 차원의 관리 방안을 도출하고자 하였다.

**Key Words:** CFD, QRA, CA, 사고시나리오, 영향범위, 반도체 산업

## 반도체 저압기상증착 공정에서 발생하는 부산물 분진의 폭발 위험성 평가

이진백<sup>1</sup> · 유나린<sup>1</sup> · 정승호<sup>2\*</sup><sup>1</sup>아주대학교 환경공학과 석사과정 · <sup>2</sup>아주대학교 환경공학과 교수

## Evaluation of the risk of explosion of by-product dust generated in the low pressure vapor deposition process of semiconductors

Jinbaek Lee<sup>1</sup> · Narin Yoo<sup>1</sup> · Seungho Jung<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Ajou University<sup>2</sup>Department of Environmental, Engineering, Ajou University<sup>2\*</sup>Corresponding author: processsafety@ajou.ac.kr

반도체 제조공정 중 Diffusion(산화막 형성) 공정에서 여러 반응성 부산물(미세 분말, 즉 먼지 형태)이 발생한다. 그 부산물은 후처리 및 배기 처리 시스템에 설치된 배관 안에 퇴적되고, 잠재적으로 분진폭발 위험이 있을 수 있다. 국내 사고 사례로 확인된 ALD(Atomic layer deposition) 공정 외에 LPCVD(Low Pressure Chemical Vapor Deposition) 공정에서도 퇴적된 부산물에 대한 위험성을 확인할 수 있었다. 이 연구에서는 선행연구에서 확인한 ALD 공정의 위험성 평가와 마찬가지로 LPCVD 공정에서 발생한 부산물의 폭발 위험성이 있는지를 평가했다.

부산물의 물질을 검증하고, 폭발 위험성 분석을 진행한 결과, Diffusion 공정에서 취급 중인 물질 중 부산물 분진이 발생할 수 있는 물질은 총 4개(ZrO<sub>2</sub>, TEOS, 4MS, E-DEOS)이며 이 1중 ZrO<sub>2</sub>를 제외하고 나머지 3개의 물질에 대해 각각 스크러버 미처리, Dry 스크러버 처리시에 발생한 부산물 6개 시료를 대상으로 최소착화에너지, 분진폭발테스트를 진행하였다.

연구방법은 최소 착화 에너지 측정기기인 MIKE-3(Switzerland)을 이용하여 압축 공기를 주입하고 스파크를 사용하여 화염 전파 모습을 통해 폭발 여부를 판정했다.

본 연구는 Diffusion 공정 중 LPCVD에서 발생하는 부산물의 위험성을 확인하고 검증하여 반도체 산업에서의 사고 예방 활동에 도움이 될 것으로 기대한다.

\*\*본 연구는 2023년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 ‘산업혁신인재성장사업’(P0012787)으로 수행된 연구임.

## 반도체 세정 설비 LOPA 위험성평가 분석

최동권 · 김민지\* · 이근백\*†

SK 하이닉스 · \*아주대학교

## Semiconductor Cleaning Facility LOPA Risk Assessment Analysis

Dongkown Choi · Minji Kim\* · Geunbaek Lee\*†

SK HYNIX · \*Ajou University

†Corresponding author: Seungho Jung

반도체 세정공정은 여러 부식성, 독성 Chemical을 사용하여 안전사고의 위험이 높다. 이에 본 연구에서는 각 세정 장비의 취급 물질, 안전 장치, 운전 조건 등을 고려하여 평가 대상장비를 선택하고, 정성적 위험성 평가 방법인 HAZOP 위험성 평가를 적용하여 위험성이 높은 사고 시나리오를 도출하였다. 이후 정량적 위험성 평가 방법인 LOPA 위험성 평가를 수행하여 현재의 안전조치가 적절한지 검토하였다.

HAZOP 위험성 평가 결과 공정에서 사용한 약품을 처리하기 위한 폐수 운송배관의 부식 및 파손, 역류에 의한 약액 Leek와 실제 Wafer의 세정 공정이 진행되는 Bath 및 Chamber의 부식에 의한 Leak 위험성이 비교적 높게 나타났다. 이에 각각의 시나리오 별로 방호계층을 확인하고, 공정설계, 기본공정 제어 시스템, 경보, 추가적인 완화 대책 등을 검토하여 LOPA 위험성 평가를 진행 하였다.

그 결과 중간단계 사고빈도의 합은  $1.23 \times 10^{-6}$ 으로 허용가능 영역( $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-6}$ )에 있는 것이 확인 되었다. 사고 원인 중 가장 높은 중간 단계 사고 빈도 시나리오는 폐수 배관의 노후화, 물리적 외압에 의한 파손으로,  $1 \times 10^{-6}$ 으로 나타났다. 이에 주요 부식발생 부위에 사전 Sealing System을 설치하거나 비산방지 실드(Scattering Prevention Shidle)등을 설치함으로써 보완을 진행하여 안전기능계장 무결 수준 PFD 0,1을 추가 적용할 경우 완화된 사고빈도의 총합은  $3.31 \times 10^{-7}$ 으로 보완할 수 있음을 확인 하였다.

반도체 설비는 여러 안전 방호계층이 적용되어 허용 가능한 영역의 사고빈도를 나타내는 것으로 확인되었으나, 부식 및 노후화, 오감 등으로 인해 작동하지 않을 가능성이 있는 공정 조건임으로, 이를 주기적으로 점검하고 보완하기 위한계획이 수립되어야 할 것이다.

## 해상 위험물 사고 대응을 위한 현장 시나리오 분석

박소영<sup>†</sup> · 배명남 · 이강복

한국전자통신연구원

## Scenarios for Responding to Maritime Hazardous Materials Incidents

Soyoung Park<sup>†</sup> · Bae Myung Nam · Lee Kang Bok

Electronics and Telecommunications Research Institute

<sup>†</sup>Corresponding author: bubble@etri.re.kr

유조선, 가스운반선, LNG운반선 등 위험·유해물질을 운반하는 선박이 해상 운항 중 화재·화학 사고가 나면 해경이 출동하여 대응한다. 본 논문에서는 이 같은 상황에서 효과적인 사고 대응을 위하여 재난안전통신망(PS-LTE, Public Safety Long Term Evolution) 기반으로 다양한 웨어러블 장치, 실시간 현장 데이터 기반 육상 및 해상 관제, 선박 3D 공간모델 등을 활용하는 시나리오를 구성한다.

해양경찰청, 행정안전부 및 소방청 지원으로 이루어지는 ‘웨어러블 기반 해상 화재/화학 사고 대응 기술 개발’ 과제에서는 이와 같은 사고 현장에서 현장 대원을 지원하기 위한 다양한 웨어러블 장치를 개발하고 있다. 사고 현장에 투입된 현장대원이 착용한 환경센싱장치는 현장환경의 위험성 확인을 위하여 산소, 일산화탄소, 황화수소, VOC 등의 기체에 대한 농도를 센싱하여 관제센터로 전달한다. 화재·화학 사고가 발생한 열악한 환경에서 활동하는 동안 현장대원은 신체적 위험에 처할 가능성이 있는데, 이와 같은 신체적 문제를 감지하기 위하여 현장대원이 착용한 생체신호 감지장치는 대원의 체온과 심장박동 정보를 실시간으로 관제센터에 전달한다. 현장대원은 이 밖에도 영상장치를 착용하여 현장의 영상을 관제센터와 공유할 수 있다. 이와 같은 정보를 전달받은 관제센터에서는 현장 및 대원의 위험 상황을 실시간으로 확인·분석하고 위험 상황 발생 시 시의적절하게 지령을 전달할 수 있다. 관제센터에서는 현장 상황 정보를 3D 선박 모델, 대원의 위치정보 등을 이용하여 직관적으로 모니터링함으로써 효과적인 의사 결정이 가능하도록 지원받을 수 있다. 현장 위험정보나 관제센터의 지령은 대원의 임무단말을 통해서도 확인이 가능하다. 현장대원은 휴대전화 크기의 임무 단말을 통하여, 현장의 위험정보, 최적 이동 경로, 관제센터의 지령 등 대응에 필요한 정보를 확인할 수 있다.

본 고에서는 해상 위험물 사고 시 현장대원 웨어러블 장치와 관제 서비스를 이용한 대응 시나리오를 간략하게 살펴보았다. 이와 같은 ICT 활용을 통하여 극한 환경에서 사고를 수습하는 대원들의 활동을 지원하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

\*\*원고는 2023년도 정부(해양경찰청, 행정안전부, 소방청)의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구임

[RS-2022-001549812, 웨어러블 기반 해상 화재·화학사고 대응 기술 개발]

## 선박의 3차원 실내 공간정보 구축을 위한 공간정보 모델링 구축 기법 및 저작도구 개발

여옥현 · 최주현 · 박남희<sup>†</sup>

(주)유엔이

### Development of Spatial Information Modeling Construction Techniques and Authoring Tools for the Construction of Three-Dimensional Indoor Spatial Information of Ships

**WookHyun Yeo · Ju-Hyun Choi · Nam-Hee Park<sup>†</sup>**

UNE

<sup>†</sup>Corresponding author: parknh@unes.co.kr

최근 다양한 재난 상황 모니터링 시스템 내에서 3차원 공간정보 모델링에 대한 수요가 급증하고 있다. 기술이 발전하고 재난 관리의 복잡성이 더욱 명백해짐에 따라 정확하고 포괄적인 공간정보의 필요성이 점점 더 중요해지고 있으나, 다양한 공간 가운데 선박 실내공간정보 구축이 필요하다. 기존 국내 중소기업이 개발한 선박 사고 대응 시스템은 2D 기반 접근 방식에 의존해 실시간 사고 및 피해 대응 기능을 제공하지만 선박 재난 또는 긴급 상황을 적절하게 대응 가능한 시스템이 부족한 실정이다. 또한, 해양 선박 실내공간에서 발생한 재난상황에 따른 위험한 시나리오에서 선박 사고 및 손상을 효과적으로 모니터링하고 대응하는 데 어려움을 겪고 있다. 따라서 선박 사고 및 피해를 효과적으로 완화하기 위해서는 첨단 사고 감지 및 최적 탈출경로 메커니즘을 통합하고 실시간 대응성을 확보하는 혁신적인 대응 시스템 기술을 모색하는 것이 필수적이다.

본 연구는 선박의 3차원 실내 공간정보 구축을 위한 공간정보 모델링 구축 기법 및 저작도구 개발을 주 목적으로 한다. 공간정보 모델링 구축 기법 솔루션으로 실내 공간정보 모델링을 선박의 특성에 맞게 Wall, Door, Space 등 속성정보와 Topology를 구성하여 구축 프로세스를 도입하였다. 또한, 선박 내 실내 공간과 선박만의 특유의 성격을 가진 공간을 표현하고 분석하여 WebGL 기반 Viewer로 모델링을 구현할 수 있도록 구축하였다. 저작도구 같은 경우 Library 기능을 통해 선박 내 설비 또는 장비에 대한 정보들을 바로 실내공간정보 내 구축 가능하도록 구현되어 있으며 제품의 폭, 깊이, 높이 등 cm 단위별로 구축 가능하다. 또한 Anchor Node를 추가할 수 있도록 구현해 상대 좌표정보를 입력하여 측위정보를 가져올 수 있도록 구현하였다.

기존 2D 기반 시스템의 한계를 뛰어넘어 혁신적인 접근 방식을 도입하여 선박 사고 대응 시스템을 강화하고 정확한 실내 안전 정보를 제공을 위한 접근 방식으로 선박 공간에 특화된 실내공간정보 모델링과 저작도구를 통해 실시간 사고 감지, 예측, 대응 등 기능을 설계 및 구축하여 개발된 공간 정보 모델링 기술을 웨어러블 내 Viewer를 통해 효과적인 대응이 가능하다.

이 연구를 통해 실내 공간을 시각화하고 분석하기 위한 견고하고 효율적인 솔루션을 제공함으로써 선박 설계, 운영 및 유지 관리 프로세스의 발전에 기여할 뿐만 아니라 조선, 해양안전, 항법

시스템 등 다양한 영역에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

\*\*본 연구는 2023년도 정부(해양경찰청, 행정안전부, 소방청)의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행됨 [RS-2022-001549812, 웨어러블 기반 해상 화재·화학사고 대응 기술 개발]

## 해양 선박사고의 현장대응 위험요인 도출

배명남 · 이 강복

한국전자통신연구원 산업안전지능화연구실

### Deriving the Risk Factors for Field Response to Marine Ship Accidents

**Bae Myungnam · Lee Kangbok**

Industrial & Personal Safety Intelligence Research Section, ETRI

본 논문은 해양에서 운항중인 선박에 화재·폭발·유해위험물 누출 등의 사유에 의한 사고가 발생한 경우, 작전중인 대원의 주변 현장 및 신체정보를 계측하여 재난안전통신망을 통해 전달하며, 재난안전 대응기관에서 위험요인 분석 결과를 참고하여 현장대응 및 지휘통제에 활용할 수 있도록 한다.

현장 위험요인은 현장대원이 휴대·착용하는 웨어러블 안전장비가 계측할 수 있는 6종 센서(산소, 일산화탄소, 황화수소, 이산화질소, 가연성 가스, VOC)의 폭발하한 및 농도, 공기잔량, 신체정보(심박수, 움직임), 선박내 위치정보를 활용하여 도출하며, 3단계로 구성된 위험수준으로 수렴한다. 이 과정에서 IGD, MSDS 등의 산업안전기준 혹은 법규정을 선택하여 적용할 수 있다.

작전시간에 따라 현장대원에게 가중되는 위험요인들은 현장상황에 따라 현장대원에 대한 종합적인 위험도로 재수렴하여, 해상·지상통합관제를 통해 지휘관에게 제공한다. 이때, 지휘관은 사고 유형(화재, 화학) 및 작전임무(화재진압, 수색구조, 방재)에 따른 위험요인의 선별적용 및 가중 수준을 정의하고 현장대원의 종합 위험도를 도출하는 사례별 사고대응 프로파일을 활용할 수 있다.

본 논문은 현장정보 수집, 위험요인 도출, 현장대원 위험도 산출, 그리고 이에 필요한 시스템 구성에 대해 설명한다. 이를 통해 재난관리(예방, 대비, 대응, 복구) 체계 및 대응기관의 임무와 역할을 지원함으로써 해양 선박사고에 대한 재난대응능력을 제고할 수 있다.

\*\*본 원고는 2023년도 정부(해양경찰청, 행정안전부, 소방청)의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구임 [RS-2022-001549812, 웨어러블 기반 해상 화재·화학사고 대응 기술 개발]

## 입력 매개변수를 고려한 유막 이동의 수치모델 분석: 허베이 스피리트호 사고 사례를 통한 검증

하이 · 신성원<sup>†</sup> · 주수찬

한양대학교 해양융합공학과, 한양대학교

### Numerical Investigation on Oil Slick Transportation considering several input parameter sources: Validation of Hebei Spirit Accident.

**Hai Van Dang · Sungwon Shin<sup>†</sup> · Suchan Joo**

Department of Marine Science and Convergence Engineering, Hanyang University ERICA

<sup>†</sup>Corresponding author: sungwshin@hanyang.ac.kr

The Korean Peninsula represents one of the busiest maritime transport areas worldwide, posing a significant risk of oil and hazardous and noxious substances (HNS) spills to Korean communities. These spills have a profoundly adverse influence on marine ecosystems, the economy, and coastal communities. Understanding the oil and HNS slick transport is of great importance to provide helpful information for response and preparedness. Therefore, numerous previous studies have developed models capable of simulating the transport and fate of oil and HNS spills resulting from ship collisions or bunkering incidents. An innovative open-source model called OpenOil, written in the Opendrift platform, has been proposed and demonstrated successful applications in various regional coastal areas. To ensure the reliability of the model for near real-time oil and HNS transport predictions, OpenOil is typically operationally coupled with meteorological forecast and hydrodynamic ocean models. This study aims to evaluate the performance of the meteorological and ocean models in different resolutions employed in OpenOil. Specifically, this study evaluates the suitability of the Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), ERA5, and Korea Local Analysis and Prediction System (KLAPS) models as sources of wind forcing parameters. In addition, Copernicus Marine Environment Monitoring Services (CMEMS), Hybrid coordinate Ocean Model (HYCOM), and Korean Operating and Oceanographic System (KOOS) datasets, providing hydrodynamic information at global and regional scales of ocean current data, respectively, have been examined. This study proposed five combinations of input parameters based on several sources to determine the most effective model configuration for simulating oil slick trajectories. The Hebei Spirit Accident, one of the most severe incidents that occurred on December 7, 2007, in the Tean coast, was utilized to validate the predictive performance of each combination.

\*\*원고는 2023년도 정부(해양경찰청, 행정안전부, 소방청)의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구임[RS-2022-001549812, 웨어러블 기반 해상 화재·화학사고 대응 기술 개발]

## LTE-M1 네트워크에서 다중 CE 레벨에 대한 Preamble 자원 온라인 제어

차오젠유 · 장 환 · 김 호

한양대학교 ERICA

### Preamble Resource Online Control for Multi-CE Level in LTE-M1 networks

Zhenyu Cao · Huan Zhang · Hu Jin

Hanyang University ERICA

<sup>†</sup>Corresponding author: hjin@hanyang.ac.kr

Maritime emergencies, such as fires and chemical incidents, often result in a significant surge of traffic from IoT devices. Rapid device connectivity to base stations for reporting critical information is essential in such situations. The eMTC (LTE-M1) network, known for its extensive repetition to enhance communication quality in low channel conditions, is commonly used for wide-coverage machine-type communication. In the eMTC network, devices with varying channel qualities are assigned corresponding CE levels, and the number of preamble resources for base station (BS) access is evenly distributed among different CE levels. However, the quantities of devices at different CE levels often differ, leading to an imbalance in preamble resource utilization. BS, lacking knowledge of device distribution across CE levels, struggle to achieve a balanced allocation of preamble resources, significantly impacting the device access success rate, particularly when there is a significant difference in the number of devices at different CE levels.

And, it is noteworthy that eMTC networks, unlike traditional LTE networks, provide support for devices with different CE levels by employing varying PRACH periodicity and repetitions. This paper proposes an online Bayesian estimation algorithm that accurately estimates the number of devices waiting to access BS at different CE levels by estimating the count of idle preambles within each PRACH (Physical Random Access Channel) periodicity. Furthermore, BS can periodically update the preamble resource allocation in system information block 2 (SIB2) based on the estimation results to maximize the average number of accessed devices. The proposed algorithm is validated through simulations using the widely adopted Poisson distribution to model device arrivals within each PRACH periodicity. For simplicity, the simulations employ the same PRACH periodicity while varying the PRACH repetitions for different CE levels. The estimated device counts for each CE level are updated based on the idle preamble information within a single PRACH periodicity, and preamble resources are proportionally allocated to different CE levels. The simulation results demonstrate that the proposed algorithm can accommodate higher device arrival rates. Specifically, when the arrival rate of CE level 0 devices is twice that of devices at other levels, the proposed algorithm improves the maximum device access counts per PRACH periodicity for CE level 0 and the other three CE levels by 98.8% and 9.1%, respectively, compared to the scenario of evenly distributing preamble resources.

## 화학사고 현장 출동 대원들의 건강 모니터링을 위한 사물인터넷 장치 및 그 이용방법

김현석 · 이상연 · 조광수 · 신동범 · 배명남 · 박소영 · 이강복

한국전자통신연구원 산업안전지능화연구실

### IoT devices and their use methods to monitor firefighters' health conditions at chemical accident sites

H. Kim · S. Lee · K. Cho · D. Shin · M. Bae · S. Park · K. Lee

Industrial & Personal Safety Intelligence Research Section, ETRI

<sup>†</sup>Corresponding author: hyunseok@etri.re.kr

해양경찰청과 소방청에서는 국내 항구에서 발생가능한 화재 및 화학 사고에 대응하는 훈련을 해마다 주기적으로 진행하고 있다. 이런 훈련은 중앙정부 주관하에 진행될 뿐만 아니라 특히 목포, 울산 같은 특수 지역은 자체적으로 지방해양경찰서와 지방소방서에서 사고 대응 훈련을 주기적으로 실시하고 있다. 이러한 화재 및 화학 사고 진압과정도 중요하지만, 이들 과정에서 직접 출동하는 현장대원의 안전을 모니터링하려는 노력도 동시에 주목받고 있다. 이는 일반적으로 스마트 워치 기반의 심박수, 걸음수, 피부온도 등을 측정하여 대원들의 상태 변화를 감지한다. 하지만, 일부 화학복 경우의 손목부위 장치착용 제약 및 장갑착용에 따른 손목 장치 착용 제약 등으로 인해 이를 극복하기 위한 노력이 필요하다.

본 논문에서는 그 해당 착용 단계 없이 의무 착용 장비에 부착하여 동작할 수 있는 대원 건강 모니터링 장치에 관해 논하고자 한다. 항구에서의 해상 화재 및 화학 사고가 발생하는 경우에, 각각 나뉘는 이유로 해양경찰청은 1b 화학복을 소방청은 1a 화학복을 착용한다. 1a 화학복은 일체형으로써 사전에 공기호흡기를 포함하여 마스크 등 필요장비를 착용해야 한다. 본 논문에서는 공기호흡기 마스크 일체형 건강 모니터링 장치를 제안하고자 한다. 이 장치는 마스크에 거치할 수 있는 형태를 가지면서, PPG / 신체온도 / 움직임체크 모듈을 포함한다. 또다른 경우인 1b 화학복 경우에는 화학복 위로 공기호흡기 마스크가 착용되기 때문에 앞에서 언급한 장치를 착용할 수 없다. 본 논문에서는 이 경우 착용할 수 있는 귀에 착용할 수 있는 건강 모니터링 장치를 제안하고자 한다. 경우에 따라 한가지 장치가 2가지 경우 모두에 적용가능하며, 이들 장치들은 동일한 회로도 기반의 모듈 결합체이다.

이러한 건강 모니터링 장치들은 블루투스 무선통신을 지원하며, 다양한 호스트 장치와 연결이 가능하다. 장치로부터 수집된 정보는 중앙 서버에서 수집 분석되어 현장대원들의 안전을 모니터링 하는데 기여를 할 것으로 기대된다.

\*\*이 논문은 2023년도 정부(해양경찰청, 행정안전부, 소방청)의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구임 [RS-2022-001549812, 웨어러블 기반 해상 화재·화학사고 대응 기술 개발]

## 해양사고에서 선박 공간정보 및 실내 경로를 지원하는 웨어러블 재난정보 디스플레이 설계 및 연구

이성훈<sup>†</sup> · 정용안 · 변상봉 · 한동철 · 조수현

구미전자정보기술원 ICT융합연구단

### Study of Wearable Disaster Information Display Supporting Ship Space Information and Indoor Paths in Marine Accident

Lee Sung hun · Jung Yong An · Byun Sang Bong · Han Dong Cheul · Cho Soo-Hyun

GUMI ELECTRONICS & INFORMATION TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE

<sup>†</sup>Corresponding author: leesh@geri.re.kr

선박은 구조적으로 출입구 및 대피로와 비상구 등이 비좁고 접근이 어려운 구조물 등으로 인해 이동의 어려움이 있다. 더구나 긴급 상황에서 투입되는 현장 대원에게 미리 선박의 구조 등에 대한 이해가 취약하기에 신속한 대응을 어렵게 하는 구조적 문제점을 가지고 있고, 더구나 화재나 침수 발생 및 오염 물질 등으로 인한 안전 확보에도 취약하다. 응급 구조 요원들이 해양사고나 재난이 발생한 현장에서 도착하기 전에 위험상황 요소들을 사전에 파악하여 선박 진입로, 대피로, 사고지점, 요구조자 위치 등을 전달받는 재난안전통신망(PS-LTE) 기반 재난정보 디스플레이를 설계하고 개발을 해서 현장 대원들이 재난 상황에 대한 정보를 정확히 분석하고, 사고 상황을 정확하게 인지하여 최적의 대응하는 착용형 디스플레이 장비를 제안한다.

재난 및 사고 현장에서 작업자의 편의를 고려한 작업자 친화형 디스플레이는 위치(GPS 등), 가속도센서 등 현장 위험정보 측정을 통한 현장대원 안전 실시간 모니터링, 사고 및 화재 발생 위치, 요구조자 위치 3차원 식별 및 안내 기술, 선박 진입로, 대피로, 사고지점, 요구조자 및 위험 요소 위치 안내 및 표시 기술 등이 포함되어야 한다.

선박내 사고지점 경로 안내를 위한 디스플레이 디바이스 기술에는 AR 가능 구현을 위한 RGB 및 IR 카메라 모듈과 현장대원 선내 위치 확인을 위한 실내측위 및 재난안전망(PS-LTE, CatM1)을 활용하여 1Mbps 데이터 전송속도 되고 방진/방수 등급 IP55 이상으로 설계되어야 한다. LTE CatM1 통신 칩은 B1(2.1G) B3(1.8G), B5(850M), B8(900M), B28(Korea PS-LTE) 대역이며 최대 다운로드 300kbps이고 업로드는 peak 375kbps을 지원한다. 또한 현장대원의 착용과 편의성을 높이기 위해 소방용 공기호흡기 연계 착용형 형태를 고려하고 있으며, 디스플레이와 카메라를 외부 충격으로 보호하도록 디자인 설계하였고 디스플레이 해상도는 1920\*1080과 30fps 이상을 만족시키며 내열소재 사용 및 상대 온도 지수는 RTI170을 달성하도록 설계하였다.

\*\*본 원고는 2023년도 정부(해양경찰청, 행정안전부, 소방청)의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(과제번호 : RS-2022-001549812, 웨어러블 기반 해상 화재·화학사고 대응 기술 개발)

## 해양 화학·화재 사고 현장에 따른 현장 대원의 임무 지원 단말기 디자인 연구

엄태완 · 윤장원 · 허다인 · 정재원 · 송정혜  
(주)아이온

### Annual Conference of the KIHM : Terminal Design Study to Support Field Personnel Tasks at Marine Chemical and Fire Incident Scenes

Eom Tae Wan · Yoon Jang Won · Hur Da In · Jung Jae Won · Song Jeong Hye  
ION CO.,LTD

<sup>†</sup>Corresponding author: kihm@kihm.org

This paper is a study on the design of mission support terminals for field crews according to marine chemical fire accident sites.

It is the design development of wearable equipment for the safety of fires from ships in the nearby sea, firefighting entering the site of a chemical accident, and the safety of the maritime police.

The developed product consists of a body signal measuring device, a chemical detection device, a camera device, and a display device.

The four wearable devices are products that incorporate service design, and the design was studied based on the opinions of field personnel, experts, and users.

## 거버넌스를 통한 화학물질관리정책 수립

김신범

노동환경건강연구소

### Chemical management policy based on stakeholder participation

**Shinbum Kim**

Wonjin Institute for Occupational & Environmental Health

†Corresponding author: wioeh@hanmail.net

이해당사자 참여에 근거한 정책수립의 중요성은 잘 알려져 있다. 하지만 이해당사자 참여에 근거한 정책수립의 모습이나 정책결과의 영향력은 국가마다 다를 수 있으며, 한 국가 내에서도 정책영역마다 다르게 나타날 수 있다. 왜냐하면 이해당사자 참여에 근거한 정책수립이란 한 사회의 참여민주주의 절차와 문화를 반영하는 것이기 때문이다. 이러한 점에서 한국사회는 이해당사자 참여에 의한 정책수립에 대한 기대가 크지 않았으며, 일방적 소통이 아닌 양방향 소통이라는 기능적인 소통강화 측면에서 이슈가 주로 형성되어 왔다.

하지만 한국사회에서도 가습기살균제 참사 이후 화학물질 정책에 대한 국민적 관심이 높아지고, 정책의 변화가 대폭적으로 추진되면서 기존의 이해당사자 참여와 다른 형태의 참여가 요구되기 시작했다. 2016년부터 시작된 화학사고지역대비체계나 2017년부터 시작된 생활화학제품 안전관리 자발적협약, 그리고 2021년에 시작된 화학안전정책포럼은 모두 새로운 형태의 참여를 모색한 결과물들이다. 본 연구는 세가지 참여적 기구들이 정책수립에 실질적으로 어떤 영향을 미쳤으며, 이로 인하여 정책의 정당성이나 신뢰성에 어떠한 변화들이 찾아오고 있는지 확인하였다.

화학사고지역대비체계는 지역사회 차원에서 화학사고로부터 안전한 사회를 만들기 위한 지자체의 새로운 정책개발에 기여하고 있으며, 생활화학제품 안전관리 자발적협약은 전성분공개, 원료안전성평가, 우수제품 등 생활화학제품의 안전성을 높이기 위한 실질적인 민산관 공동 정책과 프로그램 개발로 이어지고 있었다. 화학안전정책포럼은 유해화학물질 지정관리체계 내실화나 신규화학물질 정보 확보, 전과, 사용에 관한 제도개선안을 마련하여 국회에 제출하는 등 실질적인 제도개선을 민산관 합의의 형태로 만들어내는 성과를 내고 있었다.

본 연구에서는 한국사회에서 화학안전정책 영역이 이해당사자 참여에 기초하여 정책정당성과 정책신뢰성을 높이는 단계로 진화하고 있으며, 그 결과 화학안전의 수준을 더욱 향상시킬 수 있는 새로운 태도와 문화 구축으로 이어질 가능성이 있다는 평가에 도달하였다.

## 화관법, 화평법의 유해화학물질 지정관리체계 개편 방안

이은정<sup>1†</sup> · 현준원<sup>2</sup> · 황성익<sup>3</sup> · 성정우<sup>1</sup> · 유승희<sup>1</sup> · 김지은<sup>1</sup>

<sup>1</sup>리켄프로(주) · <sup>2</sup>한국법제연구원 · <sup>3</sup>법무법인(유) 세종

### A Legislative Research on the Hazardous chemical substances Designation Management System of Chemical Control Act, Act on Registration, Evaluation, etc. of Chemicals (AREC)

Eunjung Lee<sup>1†</sup> · Junwon Hyon<sup>2</sup> · Seong Ik Hwang<sup>3</sup> ·

Jungwoo Sung<sup>1</sup> · Seunghee You<sup>1</sup> · Jieun Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>RiChemPro.Inc · <sup>2</sup>Korea Legislation Research Institute · <sup>3</sup>SHIN & KIM LLC

<sup>†</sup>Corresponding author: ejlee@richempro.com

화평법에 따라 강화된 유해성 심사로 유독물질 지정이 지속적으로 확대되고 있다. 이는 사회적 부담을 증대시키며, 현행 유독물질 취급시 획일적인 관리 체계를 유해성을 고려한 차등화된 관리 체계로 개편 필요성이 제기되었다. 이에 화학물질 규제에 대한 근본적 목적인 화학사고 예방과 국민의 생명, 재산, 환경보호에 부합할 수 있도록 다양한 독성의 유형을 고려한 차별화된 관리체계의 개편방안을 마련하고자 하였다.

화평법과 화관법에서는 기존의 '유독물질'을 '인체급성유해성물질', '인체만성유해성물질' 및 '생태유해성물질'로 구분하였고, 화평법에서 피부 부식성 구분 1B, 1C와 특정 표적장기독성-1회노출 구분 1을 인체급성유해성 지정기준에 확대 및 추가 제안하였다.

특정 용도 또는 한계농도로의 관리가 중요한 금지물질, 제한물질 및 허가물질은 관리 목적에 따라 용도 및 농도 관리에 중점을 두고, 안전한 취급에 대한 정보제공 의무 대상과 범위를 확대하는 방향으로 개선방안을 제안하였다. 이에, 유해화학물질의 효율적 운영을 위하여 유해화학물질의 정의를 인체급성, 인체만성, 생태유해성물질과 사고대비물질로 개정이 필요하다.

화관법에서는 기존수량에 의존하던 취급시설기준을 유해·위험성별 적합한 취급시설기준으로 제안하였으며, 취급시설의 규모 및 위험도에 따라 취급시설검사 면제대상의 확대와 취급시설검사 주기를 차등화하였다. 유해화학물질 영업허가 제도는 유해화학물질별 순간최대보유량에 따른 사고 피해를 고려한 허가와 신고 제도로 이분화하여 기술인력, 관리자선임 등의 관리 수준을 차등화하는 것을 제안하였다.

본 연구는 화학안전정책포럼에서 3차에 걸친 공개토론과 열린대화 및 산업계와 시민단체 간담회를 통하여 의견을 수렴하였고 그 결과를 기반으로 화평법 및 화관법 개편 방안을 제안하였다.

앞으로 개정된 화평법 및 화관법에 따라 하위법령 마련 시 지속적인 이해관계자(정부, 산업계, 소비자단체, 전문가)의 논의를 통하여 합리적이고 효율적인 개편 방안이 마련되어야 할 것이다.

\*\*이 연구는 2022년도 환경부 화학안전과 [유독물질 지정관리체계 개편을 위한 관련 법령 개정안 마련 연구]의 연구비 지원을 받아 수행한 연구를 수정하여 작성한 것임을 밝힙니다.

## 만성유해성물질 정의와 관리방안 방향성

김기태

서울과학기술대학교 환경공학과

### Definition and Management Direction for Chronic Hazard Substances

**Kitae Kim**

Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology

<sup>†</sup>Corresponding author: ktkim@seoultech.ac.kr

시민단체와 산업계 등 모든 화학 안전 이해당사자가 환경부와 함께 화학물질로부터 안전한 지속가능 사회 실현을 위해 소통하고 협력하기 위해 구성된 화학안전정책포럼에서 만성유해성물질의 환경배출 및 인체노출을 최소화하기 위한 관리방안 마련에 대한 필요성이 제기되었다. 이는 정부가 1,100여 종에 달하는 유독물질을 특성별로 평가해 급성(인체)유해성, 만성(인체)유해성, 생태유해성 등 3단계로 나눠 유독물질 종류에 따라 인체나 환경에 미치는 영향이 달라 각각에 적합한 관리 방법을 적용하고자 하는 계획을 보다 현실적으로 그리고 효과적으로 실현시키고 제도화 안착을 위해 중요한 요소이기 때문이다. 이에 본 연구에서는, 만성유해성물질의 구체적인 관리방안을 마련하기에 앞서 만성유해성물질의 정의를 세워보고, 만성유해성 물질의 관리방안을 수립하는데 큰 틀에서의 관리원칙을 세워보고자 한다. 발암성, 변이원성, 생식독성을 유발하는 물질을 시작점으로 다양한 노출특성을 반영할 수 있는 만성유해성물질의 정의를 제안하고, 특정표적장기 독성유발물질, 내분비계 장애물질 등 향후 만성유해성물질에 포함될 수 있는 물질(군)을 포함하여 정의의 확장성을 검토하였다. 또한, 화학물질 관리체계를 수립함에 인용되었던 그간의 국내외 화학물질 관리원칙을 근간으로, 국민의 알권리와 투명성 보장, 지속가능한 화학물질 사용, 사전예방 차원의 신속한 의사결정 방식 도입, 실행가능성을 고려한 물질선정 및 규제, 저독성 대체물질 사용 그린순환체계 등의 만성유해성물질 관리 원칙들을 제시해본다. 본 연구 결과물은 화학3법을 중심으로 만성유해성물질 지정 및 평가체계 고도화, 사업장 주변 환경배출 최소화를 통한 주민 노출 최소화, 화학물질 취급으로 인한 소비자 위해도 감소 등 만성유해성물질 관리가 향후 추구하는 목표를 위한 구체적인 관리방안을 마련함에 있어 마중물이 될 것이다.

## 다차종 동시 수소충전시스템의 정량적 위험성 분석에 관한 연구

김부승 · 한규진 · 홍승택<sup>†</sup>

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on Quantitative Risk Analysis of a multiple hydrogen charging system

**BooSeung Kim · KyuJin Han · SeungTaek Hong<sup>†</sup>**

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

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

글로벌 탄소중립 실현을 위해 미국, 유럽, 일본, 호주 등 다양한 국가에서 수소경제 활성화 및 수소 인프라 구축에 대해 수많은 투자와 연구개발을 지속하고 있다. 대한민국 또한 수소경제 활성화 및 수소 선진국으로의 도약을 위해 수많은 노력을 기울이고 있다. 수소 경제 활성화 로드맵('19.1), 수소경제 표준화 로드맵('19.4), 수소안전로드맵 2.0(22.05) 발표 이후 수소의 생산·저장·운송·활용 등 전 주기에 걸쳐 기술의 고도화를 위해 다양한 종류의 연구 과업들이 진행 중이다. 국내의 여러 기관·기업들이 수소 활용기술을 매우 빠른 속도로 발전시키고 있는 가운데, 수소 활용 시의 안전에 대한 문제는 언제나 의문이 제기되어 왔다. 특히, 수소자동차 충전소의 안전에 대한 의문은 항상 대두되어 왔다. 일반 시민들의 불안감 또한 여전히 큰 문제로 여겨지고 있는 실정이다. 이에 대한 문제를 해결하기 위해 수소 및 수소자동차 충전소에 대한 위험성 분석 및 안전성 평가가 시행되고 있으며, 그 기법또한 점차 발전되어 가고 있는 상황이다.

본 연구에서는 한국자동차연구원 광주본부에 위치한 수소충전소 부지를 대상으로 한 수소충전시스템의 위험성 분석을 진행하였다. 현재 한국자동차연구원 광주본부 부지 내에 다차종 동시 충전이 가능한 수소충전소를 설치하고자 테스트베드를 구축하여 여러 실증실험을 진행 중이다. 이러한 상황들을 고려해 수소 충전소에서의 누출, 점화 및 폭발 등에 대한 시뮬레이션을 진행하였으며 그로 인한 폭발 과압발생, 복사열에 의한 영향 등을 도출 및 분석해냈다. 결과적으로 수소충전소에서 발생할 수 있는 사고 시나리오와 그에 따른 피해가 어느정도 영향이 생길 수 있는지 확인하고, 추가적으로 요구되는 안전조치 사항들을 도출하여 대한민국의 수소안전 인식 및 단계를 향상시키고자 한다.

\*\*연구는 산업통상자원부(MOTIE) 및 한국에너지기술평가원(KETEP)의 2020년 산업기술혁신사업 지원으로 수행되었습니다. (No.20203010040010, 수소전기차 다차종 동시충전을 위한 광역 수소충전소 핵심기술 개발)

## 액화수소 충전소 정량적 위험성 평가에 관한 연구

유은결 · 강승규<sup>†</sup> · 김민아 · 홍승택

한국가스안전공사 가스안전연구원

## A Study on the Quantitative Risk Assessment of LH2 Refueling Station

**Yu Eungyeol · Kang Seungkyu<sup>†</sup> · Kim Minah · Hong Seungtaek**

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

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

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

현재 상용화되어 운영 중인 기체 수소 충전소의 저장량 및 경제적 효율을 보장하기 위해 액화수소 충전소로 전환하려는 움직임이 활발히 이루어지고 있다. 새로 건설되는 수소 충전소는 물론 기존의 기체 수소 충전소도 일부를 전환하여 액체 수소 충전소로 운영하려는 목적의 연구가 다방면으로 진행 중이다.

액화수소는 대기압과 비슷한 저장 압력으로 저장이 가능해 기체수소에 비해 안정성이 우수하다. 또한 기체수소의 1/800에 해당하는 작은 부피로 운송 효율성이 뛰어나고, 설비가 차지하는 면적이 적어 부지 확보 측면에서 훨씬 유리하다. 액화 단계에 들어가는 에너지 비용과 시설 투자 비용을 고려한 전 주기 경제성 평가 결과에서도 액화 방식이 기체 방식의 경제성을 상회하는 것으로 확인된 바 있다. 이에 전 세계적으로 액화수소 인프라의 확대가 진행 중이다. 한국도 제 1차 수소경제 위원회(20.07.01.)를 통해 ‘수소 산업 생태계 경쟁력 강화 방안’을 발표하며 25년까지 액화수소 충전소 40기 구축 목표를 수립하였고 올해 연말까지 1호 액화수소 충전소를 설립하여 실증에 접어들 계획이다.

다만 액화수소는 가연성 가스이며 저장량이 많고 초저온 가스로 누출될 경우 공기보다 무거운 특성으로 인해 환기 및 개방된 공간 설계가 매우 중요하다. 원활한 상용화 단계 진행을 위해서는 위 사항을 고려한 국내 안전기준 제정을 통해 안전성 확보가 필수적이지만 현재까지 이의 바탕이 되는 액화수소 충전소의 시공, 운전/실증 및 정밀한 안전성 평가 경험이 부족한 상황이다.

본 연구에서는 안전기준의 적합성 확인 및 안전기준의 제도화를 위해 액화수소 충전소의 정량적 위험성 평가를 진행하고 그 결과를 소개하고자 한다.

\*\*본 연구는 산업통상자원부(MOTIE) 및 한국에너지기술평가원 (KETEP)의 2022년 산업기술 혁신사업 지원으로 수행되었습니다. (No.20227310100010, 액화수소 충전소 구축 연계 안전성 평가/실증 및 안전기준 개발)

## 액화수소 누출시험 최신 기술 동향 및 실증시험 기본설계

김정민 · 김승환 · 강승규<sup>†</sup>

한국가스안전공사 수소연구실 수소제품연구부

### State of the Art on Leak Test of Liquid Hydrogen and Primary Design for the Experiment

Jungmin Kim · Seunghwan Kim · Seungkyu Kang<sup>†</sup>

Hydrogen Product Research Department, Hydrogen Research Division,  
Korea Gas Safety Corporation

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

최근 기후 위기에 온실가스를 줄이기 위한 방안으로 기존 화석 연료를 수소로 대체하기 위한 많은 노력이 진행 중이다. 이에 따라 수소의 수요량은 증가하는 추세지만 현재의 고압 기체 공급 방식은 대량 수송의 한계를 가지고 있다. 이런 한계를 극복하기 위하여 액화수소를 활용하는 방안이 고려되고 있지만, 실제 액화수소를 산업에서 사용하기 위해서는 안전이 보장되어야 한다. 이러한 이유로 세계 각국의 정부와 연구단체는 다양한 조건의 액화수소 누출 실증 실험을 수행하고 여러 데이터와 노하우를 축적하고 있다.

본 논문에서는 이런 흐름에 맞추어 나아가기 위하여 최근 영국 Health and Safety Laboratory (HSL), 미국 Sandia National Laboratory(SNL), 노르웨이 Det Norske Veritas Germanischer Lloyd(DNV GL) 그리고 유럽 공동 연구 PRESLHY 프로젝트에서 수행된 액화수소 누출 실증 실험을 조사하여 분석하였다. 그리고 이를 바탕으로 Lab Scale의 액체 수소 누출 실증 실험을 수행하기 위한 기본설계를 진행하였다. 본 실험에서는 액체 수소의 경우 공기 중에 노출될 때 즉시 기화되는 점을 고려하여 액체 질소와 액체 헬륨을 기체 수소와 열교환 시켜 boiling point보다 20K 높은 약 40K으로 냉각한 초저온 상태의 기체 수소를 공기 중에 제트 누출시키는 실험을 설계하였다. 여기서 액체 질소와 헬륨의 각 냉각 단계에서 필요한 열교환 성능을 상용 해석프로그램 (Thermal Desktop)을 활용하여 7bar, 278K로 공급되는 수소가 액체질소 환경(약 80K)과 액체 헬륨 환경(약 4.5K)의 온도에서 냉각되어 나가는 조건을 모사하였다. 이를 통해 설계된 실험 장치를 통해 향후 세부적인 실제 누출 실험을 수행하여 초저온 수소가스의 누출 특성을 분석할 계획이다.

## High-Mn 적용 액화수소 저장탱크 안전성 평가 방법 연구

이동현 · 강승규 · 홍승택

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on Safety Evaluation Method for High-Mn Liquefied Hydrogen Storage Tanks

**Dong-Hyun Lee · Seung-Kyu Kang · Seung-Taek Hong**

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

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

전 세계적으로 급격한 기후변화로 예측하지 못하는 피해가 속출하고 있다. 탄소중립 목표 달성 추진과 별개로 온실가스 감축은 시급히 각국의 최우선 정책으로 신속히 시행이 요구된다. 액화수소는 수소 경제 활성화를 가속화시킬 수 있는 유일한 대체에너지로 각광받고 있다. 액화수소는 기체 수소보다 부피가 약 1/800로 고압 기체 수소 대비 약 4~5배의 저장밀도가 높아 효율적인 운송·저장이 가능하다. 액화수소는  $-253^{\circ}\text{C}$  온도 이하의 극저온 상태로 보관되기 때문에 직접 맞는 부분의 재료는 안전성을 인증받은 재료로 한정된다. 오스테나이트 계 스테인리스 STS304L, STS316L 재료 등이 해당된다. 하지만, 스테인리스강에 함유된 Ni, Cr 등은 매우 고가로 대용량 저장탱크를 제작할 경우 비용 면에서 상당한 부담을 준다. 최근 이러한 문제를 해결하기 위해 고망간강 소재가 주목받고 있다. 본 연구는 극저온용 고망간강 소재를 활용한 저장탱크 제작 시 소재의 안전성 평가 방법에 대하여 연구하였다.

\*\*본 연구는 산업통상자원부(MOTIE) 및 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행되었습니다.(과제번호 20019513)

## 고압 수전해 스택 안전기준 개발

이정훈 · 정재환 · 이정운<sup>†</sup>

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Development of Safety Standards for High Pressure Water Electrolysis Stack

JeongHoon Lee · JaeHwan Junge · JungWoon Lee<sup>†</sup>

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

<sup>†</sup>Corresponding author: 01084226060@kgs.or.kr

수소 경제 발전에 맞춰 수소 생산 기술도 점점 다양화되어가고 있다. 그 중 수전해 분야에서 수소를 대량 생산할 수 있는 시스템을 구축하기 위해 고압을 적용하는 방식이 개발되었다.

수전해 설비를 고압으로 사용하게 된다면 「수소 경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법」뿐만 아니라 「고압가스 안전관리법」도 같이 적용받게 된다. 수전해 설비의 핵심 부품인 스택은 고압 적용 시, 현재 법률상 압력용기로 분류되어 압력용기에 대한 검사도 진행해야 하므로 스택의 특성상 검사가 어려운 상황이다.

또한 국내에는 KGS Code가 제정되어 수전해 설비에 대한 안전기준이 정립되었지만, 해외에는 여전히 제조에 대한 표준만 존재할 뿐 안전에 대한 의무적인 규정이 없다. 이에 따라 해외에서 제조되는 수전해 시스템을 국내에 수입해 올 때는 KGS Code를 만족하도록 추가 제조과정을 거쳐야 하기 때문에 해외 제품을 국내 적용하기 위한 합리적인 방안을 고려해야 한다.

본 연구를 통해 고압의 수전해 시스템을 검사하기 위한 안전기준을 개발하고, 현재의 안전기준을 분석하여 안전성은 유지하면서 현실적인 제조 및 검사가 가능하도록 안전기준을 합리화하고자 한다. 특히 수전해설비의 핵심부품 중 스택에 대한 안전기준을 우선적으로 개발하고자 한다. 국내 안전기준을 개선함으로써 고압 수전해 시스템의 안전기준이 개정되면 국내 수소 경제 활성화에 더욱 도움이 될 것으로 기대한다.

\*\*본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 “수전해 스택 성능인증 안전기준 개발” 연구 과제입니다. (RS-2023-00232657)

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

## 수소추출설비 성능평가 및 안전기준 개발 현황

김수경 · 추지안 · 정재환<sup>†</sup> · 이정운

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Performance Evaluation and Development Current Situation of Safety Standardization For Hydrogen Extraction Facility

Suekyung Kim · Jian Choo · Jaehwan Jung<sup>†</sup> · Jungwoon Lee

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

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

지난 5월, 수소안전관리 로드맵 2.0이 발표됨에 따라 안전과 산업 균형 발전을 위한 수소 안전 관리 중요성이 증대되고 있다. 활용처를 다양하게 넓히고 있는 수소 산업의 육성을 위해서는 안정적인 수소 수요량 충족이 필수적이다. 현재 국내 여건상 추출 수소가 중요한 역할을 하고 있다. 따라서 수소추출설비의 선제적 안전관리를 위한 안전기준 개발과 동시에 수소 공급가격 안정화를 위해 수소추출기에 연료전지가 연계된 수소추출설비 안전기준 개발을 진행하고자 한다.

수소추출설비의 안전 성능 평가항목을 도출하기 위해 소용량(1Nm<sup>3</sup>/hr) 수소추출기 시작품을 구축하였다. 시험 항목으로는 연료 및 원료 가스의 공급 온도 변화에 따른 추출기 온도 및 공급열 분포, Steam to carbon ratio 변화에 따른 온도 분포, Furnace 온도 변화에 따른 온도 분포 등을 선정하였다. 따라서 본 시작품 실증 평가를 통해 수소추출기의 안전 프로토콜을 도출하고, 이를 수소추출설비 기준 개정안 개발에 활용하고자 한다.

결과적으로 본 연구에서는 수소추출설비 제조의 시설·기술·검사 기준(KGS AH 171)과 고정형 연료전지의 시설·기술·검사 기준(KGS AH 371)의 안전기준 개발을 진행할 것이다. 이를 위해 ISO 16110, NFPA 2 등의 추출수소 관련 해외 기준을 분석하고, 수소추출설비 및 연료전지의 위험성 평가를 통해 도출한 위험 요소를 대비하기 위한 항목을 기준안에 적용하였다.

최종적으로 본 안전기준 개발 및 안전프로토콜 도출을 통해 수소추출설비의 국내 안전기준 합리화를 진행하고자 한다.

\*\*본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업(No.20203040030110) 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

## 수전해설비 안전기준 분석 및 개발

윤문상 · 이정훈 · 정재환 · 이정운<sup>†</sup>

한국가스안전공사 가스안전연구원

## Analysis and Developments of Safety Standard in Water Electrolysis

Moonsang Yun · Jeonghoon Lee · Jaehwan Jung · Jungwoon Lee<sup>†</sup>

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

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

수전해 설비는 물(H<sub>2</sub>O)에 대한 전기화학적 반응을 통하여 수소(H<sub>2</sub>)와 산소(O<sub>2</sub>)로 분해하여 수소를 발생시키는 방법으로, 탄소를 배출하지 않아 가장 친환경적인 수소 제조 기술이다. 특히 재생에너지 연계를 통해 잉여전력을 수소 형태로 변환하여 에너지를 저장할 수 있다는 장점이 있다. 수전해 설비는 연구를 통해 다양한 운전 방법과 시스템이 개발되고 있으며, 대표적으로 알칼라인 수전해(AKLEC), 고분자전해질 수전해(PEMEC), 음이온 교환막 수전해(AEMEC), 고체산화물 수전해(SOEC)가 있다. 또한, 수소 제조 목적과 수소 발생 용량에 따라 소형 수전해 시스템과 대용량 현장 제조형 수전해 설비 구축이 진행되고 있다.

이처럼 수전해 설비의 다양한 운전 방법과 시스템 설치 방법이 개발되면서 안전에 대한 관심이 급증하고 있다. 현재 국내에서는 KGS Code AH271(수전해 설비 제조의 시설·기술·검사 기준)에 따라 수전해 설비 및 그 부대설비에 대하여 안전기준을 적용하고 있다. KGS Code AH271은 2021년 8월 9일 제정 및 2022년 2월 5일 시행되었으며, 제정 이후 수전해 설비의 안전을 우선으로 하는 동시에 기술 발전에 저해하지 않도록 지속적으로 개정되고 있다. 최근 수전해 설비에서 이슈가 되는 위험 요소는 “부하 변동”, “전력변환장치”, “압력”, “재료”, “수소 중 산소 농도”, “산소 중 수소 농도”, “비상정지 제어 부품” 등 있으며, 수전해 설비를 포함한 수소 용품의 기술 발전과 관련하여 새로운 위험 요소에 대응하기 위해 안전 관련 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

본 연구를 통해 도출된 위험 요소에 대하여 수전해 설비에 미치는 영향을 분석하고, 국내·외 수전해 설비 안전기준을 비교 및 분석하였다. 또한, 수전해 설비의 부품별 안전과 관련된 특성과 성능을 확인하고 안전기준에서 요구하는 안전 성능에 대하여 합리화를 진행하였다. 이를 통해 수전해 설비의 안전성을 향상시키고 KGS Code AH271 안전기준 개정 방향성을 도출하고자 한다.

\*\*본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업(No.20203030040030) 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

## 암모니아 수소추출설비 관련 국내외 기준 분석을 통한 안전항목 도출

맹주희 · 추지안 · 정재환<sup>†</sup>

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Derivation of Safety Items through Analysis of Domestic and International Standards related to Hydrogen Generator based on Ammonia

Juhee Maeng · Jian Choo · Jaehwan Jung<sup>†</sup>

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

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

금년도 5월 발표된 국내 수소 안전관리 로드맵 2.0은 청정수소 생산을 위해 수소추출설비, 암모니아 분해 등 다양한 수소생산설비 개발·실증 및 상용화에 필요한 선제적인 안전기준 개발 및 안전관리가 필요함을 강조했다. 탄소중립 사회실현을 위해 다양한 수소 캐리어가 폭넓게 연구되고 있으며, 그중에서도 암모니아는 단위 부피당 높은 수소 밀도와 에너지밀도, 낮은 에너지 사용률을 가져 타 수소 캐리어 대비 경쟁력이 우수하다. 그러나 독성가스로 취급되어 사용 시 주의가 요구되고 있는 상황이다.

『수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률』(수소법)이 시행됨에 따라, KGS AH171 등 수소추출설비와 같은 수소용품의 상세기준이 제정되었으나, 도시가스, 액화석유가스, 탄화수소 및 알코올류 등 원료에 기반한 수소추출설비에 국한되어 있다는 점에 있어 KGS Code 등 상세기준 마련이 필요한 상태이다. 암모니아 수소추출설비 발생 가능한 위험요소에 대해 파악하고 이에 관한 예방대책 및 대응 방안 수립 등 안전을 확보하기 위한 기준 마련이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 암모니아 수소추출설비 관련 국내외 안전기준을 분석하여 경향성을 파악하였으며, 시스템의 노드별 위험항목 분석과 이에 상응하는 안전항목을 도출하였다. 본 연구를 통해 향후 국내 암모니아 기반 수소추출설비의 안전기준(안)을 도출하여 암모니아 기반 수소추출 상용시스템에 대한 안전성 확보 및 국산화를 통한 국내 시장 확립을 활성화할 것이며, 암모니아를 활용한 수소 시장확대에 따른 그린 수소산업 생태계 확산에 기여하고자 한다.

\*\*본 연구는 암모니아 기반 수소추출설비(모듈형) 안전기준 개발 연구 과제의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

## 동물용 고압산소챔버의 산소분압 신속증가 달성방법의 개발

왕순주 · 박정은

한림대학교

### Development of a methodology for rapidly oxygen partial pressure increase in veterinary hyperbaric chambers

Soon-Joo Wang · Jeong-Eun Park

Hallym University

†Corresponding author: erwsj@chol.com

#### 1. 서론

고압산소치료는 2기압 이상의 압력이 가해진 챔버 안에서 100%에 가까운 산소를 인체에 공급하는 치료법으로 헤모글로빈이 아닌 혈장과 조직체액의 산소량을 증가시켜 조직 내 산소부족으로 유발되는 문제를 개선하고 2차적으로 신생혈관 생성, 염증반응 및 면역능력 조절, 부종 감소 등 다양한 기전을 통하여 의학적 문제를 개선하는 치료법이다. 국내에서는 현재 의료보험 상 16가지의 고압산소치료의 적응증이 있고, 학술적으로는 그 이외에도 다양한 질환과 상황에 효과가 있는 것으로 알려지고 있으나 그 기전과 효과에 대하여 연구되지 않은 많은 분야가 남아있어 그 효과를 규명하기 위한 활동들이 국내외에서 진행중이다. 이러한 연구는 가설단계, 세포나 조직 단계, 사람에게 적용할 임상시험 단계 등 단계별 연구가 필요하며, 사람에게 적용되기 전 동물에게 먼저 실험 적용을 하는 것이 보통이다. 고압산소치료는 사람에게는 원칙적으로 공기를 통하여 가압하고 산소는 마스크를 착용하여 공급하는 것이 보통이고, 이론적으로도 산소로 챔버 전체를 가압하는 것보다 안전성, 효율성이 더 좋다. 그러나 동물실험에서는 다양한 동물을 위한 마스크가 개발되지도 않았으며, 동물이 마스크를 착용하고 협조를 기대하는 것도 비현실적이어서 산소가압을 시행한다. 이러한 산소가압은 이미 있는 공기를 제거하고 산소로 대체시키는데 효율성이 떨어져서 100%에 가까운 산소분압을 구현하는데 어려움이 있고, 그 방법도 표준화되지 않았다. 따라서 어떠한 방식의 산소가압이 신속하고 효율적으로 100%에 가까운 산소분압을 구현할 수 있는지에 대한 방안을 개발하고 표준화할 필요가 있다.

#### 2. 연구방법

우선 고압산소치료를 적용한 동물실험 선행연구를 조사하였다. 해당 연구에서는 동물용 고압산소챔버의 산소분압 신속증가 달성을 위한 방법론을 제시하지 못했으며, 개별 연구마다 각기 다른 방법으로 고압산소치료를 적용한 동물실험을 시행하였다. 보통 선행연구 내에서는 동물용 챔버가 사람 대상 일인용 고압산소챔버와 동일한 형태를 갖고 있었으며, 이미 챔버 내에 존재하는 공기를 제거하고 산소로 대체하는데 우선적으로 산소를 채우는 방법을 많이 사용하였고 그 외의 다른 방

법은 제안되지 못했다. 본 연구에서는 동물용 챔버를 닫고 외부와 통하지 않게 한 다음 가압 과정에서 1분 가압과 10초 혼합 공기 배출을 반복하여 2.5기압까지 가압하였다. 이후 목표 압력에 다다랐을 때의 산소분압을 측정하였다.

### 3. 연구결과

고압산소치료를 적용한 동물실험 선행연구 문헌 조사 상 고압산소치료 전 일정 기간동안 산소로 챔버 내를 환기시키고 공기는 자연적으로 빠져나가게 하는 방법을 택했으며 그 시간과 양은 정해지지 않았다. 이 경우 완전히 챔버 내가 폐쇄되지 않으면 그 효과와 분압의 수치의 정확성을 담보할 수 없으나 그 결과를 제시한 연구는 없었다. 특별한 조작 없이 15분이 되면 87.9%의 산소 분압에 다다르며, 55분에 이르러 99%에 다다른다. 가압 과정에서 1분 가압과 10초 혼합 공기 배출을 반복 시 가압이 완료되는 12분 이후 99% 산소 분압에 다다랐다. 따라서 초기 산소 환기 후 가압보다는 가압 시 간헐적 환기 방법이 더 신속하게 99% 이상의 산소 분압에 다다랐다.

### 5. 결론

고압산소치료를 활용한 동물실험에서 가압 시 간헐적 환기 방법이 더 신속하게 100%에 가까운 산소 분압을 보이기 때문에 향후 동물실험 시 표준적 방안을 위한 중요 제안으로 활용 가능할 것이다.

#### [감사의 글]

1. 본 연구는 정부(과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 보건복지부, 식품의약품안전처)의 재원으로 범부처전주기의료기기연구개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제고유번호: KMDF\_PR\_20200901\_0230)
2. 본 연구는 한림대학교의료원의 MH 4.0 및 디지털 헬스케어 신규 추진과제로서 한림대학교의료원의 지원을 받아 수행된 연구임

## 부산 사상 황화수소 유출 사망 환자 사례를 통한 산업체 사고 유형

장윤덕

인제대학교 부산백병원 응급의학과

### Types of industrial accidents through the case of hydrogen sulfide spill deaths in Busan

Yun Deok Jang

Department of emergency medicine, Inje University Busan Paik Hospital

†Corresponding author: jangyundeok@naver.com

#### Objective

This study examined the clinical manifestations, treatment, and prognostic factors of hydrogen sulfide intoxication.

#### Methods

Twelve cases of hydrogen sulfide leaking from a waste water treatment company in Sasang-gu, Busan were reviewed. The demographic characteristics, initial symptoms, treatment, complications, and long-term prognosis were reviewed. The Life Science Ethics Review Committee approved this study.

#### Results

The majority of the 12 cases were male (83%) with an average age of 38 years. Three of the 12 cases, who had been exposed to hydrogen sulfide, died (25%), and four had poor outcomes (33%). The incidence of pulmonary edema was significantly higher in the poor prognosis group, but the incidence of conjunctivitis and pre-hospital cardiac arrest was similar. The lactic acid concentration in the poor prognosis group was higher than the good prognosis group. In the poor prognosis group, the Glasgow coma scale was lower than that in the good prognosis group.

#### Conclusion

A poor outcome occurred in 33% of the 12 people exposed to hydrogen sulfide in Busan 2018. In the poor outcome group, the initial Glasgow Coma Scale was lower, the pulmonary edema rate and the initial serum lactate level were higher than in the good outcome group.

**Keywords:** Hydrogen sulfide, Glasgow Coma Scale, Intoxication, Emergency medicine.

## 유해화학물질 취급종사자를 위한 안전의식 및 안전교육 필요성에 관한 연구

피혜영

아주대학교 일반대학원

### A Study on the Necessity of Safety Awareness and Safety Education for Hazardous Chemical substance handlers

Hye Young Pi

Graduate School of Ajou University

†Corresponding author: trinity-phy@hanmail.net

유해화학물질은 종류별 고유의 특성이 있으며, 국내 화학물질 유통량 및 수요량은 지속적으로 증가하고 있고 이에 따라 화학물질 취급사업장에서의 화학사고 발생 가능성 또한 증가하고 있다. 유해성이 높은 화학물질의 사용 빈도가 높아짐에 따라, 유해화학물질에 의한 직업성 질환, 화재·폭발 사고 등 산업재해 발생빈도 역시 증가하고 있으며, 정부는 화학물질로부터 안전을 확보하고 사업장에서 취급하는 화학물질에 대한 정보를 제공하기 위해 물질안전보건자료 제도를 시행하고 있다. 사업주는 취급자가 잘 볼 수 있는 곳에 MSDS를 게시 또는 비치하고 정기 또는 수시로 점검·관리해야 하며 관련 내용을 근로자에게 교육하도록 의무화하고 있으나 적용되는 것이 미흡한 부분이 있다.

본 연구는 유해화학물질을 취급하는 일부 사업장을 중심으로 취급종사자의 유해화학물질 인식도를 알아보고 관련 교육 현황을 조사하여 안전한 사업장 근무 환경을 위한 개선을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 유해화학물질 인식도 조사 결과 전체적으로 인식은 높은 편으로 나타났다. 이는 근로자들이 자신이 취급하는 화학물질에 대해서 잘 알고 있는 것으로 볼 수 있지만 그렇지 않은 근로자도 다수 존재하는 것으로 나타났다. 이러한 근로자의 존재는 향후 안전사고 발생 시 커다란 인적·경제적 손실을 가져오기 때문에 사전 교육이 필요할 것으로 판단된다. 또한 교육은 형식상의 교육이 아닌 근로자가 자발적으로 참여할 수 있도록 세심한 배려를 해야 할 것이다.

둘째, 화학물질 노출 시 응급처치 방법에 대한 인식에서 응답자 대다수가 응급처치에 대해 대략 알고 있으며 의도치 않은 사고 발생 시 신속하고 정확하게 후속 조치를 취해서 추가 피해가 발생하지 않도록 관련 교육의 필요성을 나타내고 있다. ‘상황별 응급조치 지침서’를 마련하여 화학물질 노출에 의한 응급상황 발생 시 바로 활용할 수 있도록 평상시에 교육이 필요한 것으로 나타났다. 더불어 안전교육을 통하여 인명피해를 최소화하고 초기 대응 시간을 단축하여 추가적인 2차 피해가 발생하지 않도록 노력이 필요하다고 나타났다.

셋째, 유해화학물질 내용이 전문적이며 기술적인 용어로 구성되어 있어 유해화학물질의 유해성 정보를 전달하는 데 어려움이 많다. 이를 해결하기 위해 안전교육 강화 및 효율성 있는 교육이 시행되어야 하는 필요성이 있다. 기존 MSDS 자료보다 근로자가 이해하기 쉽고 단순하게 만들어진 유해화학물질 요약정보를 추가로 수정 및 개발하여 근로자들이 적극적으로 활용할 수 있도록 홍

보가 필요할 것으로 나타났다.

결론적으로 유해화학물질 교육을 받은 근로자들은 교육 경험이 없는 근로자에 비해 유해화학물질 인식도가 높은 것으로 나타났다. 유해화학물질로 인한 손상 경험 조사 결과 교육을 받은 경험이 있는 근로자보다 그렇지 않은 근로자가 상대적으로 손상 경험이 많은 것으로 나타났고 사고 예방 경험 조사 결과에서는 유해화학물질 교육은 화학물질로 인한 사고 예방에 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 교육을 통한 유해화학물질 인식 향상은 화학물질로 인한 산업 재해율을 낮추는데 효과가 있다는 것을 나타낸다. 하지만 유해화학물질 교육의 필요성 조사에서 대부분 근로자가 교육이 필요하다고 인식하고는 있으나 유해화학물질 교육도 조사에서 교육을 한 번도 받은 적이 없는 근로자가 41.2%로 높게 나타났다. 이유는 사업장의 규모에 따라 특성이 다르므로 나타나는 문제점이라고 사료 된다. 관련기관의 점검과 지도가 부족한 부분도 있지만 해당 사업장에 교육을 담당하는 안전관리자가 산업안전보건법 41조에 명시한 MSDS 교육의 의무를 미흡하게 지키지 못하고 있음을 의미한다. 유해화학물질로 인한 사고는 해당 사업장 및 지역사회, 더 나가 환경에도 막대한 피해를 줄 수 있으므로 사업주가 적극적으로 나서 안전에 대한 의식을 향상하는 방법을 연구하여야 할 것이다.

**Keywords:** 유해화학물질, 취급종사자, 안전의식, 안전교육

## 크루즈선사의 ESG경영과 보건안전

윤여현

영산대학교 호텔경영학과

### ESG management, health and safety of cruise lines

Yoon, Yeohyun

Department of Hotel Management, Youngsan University

†Corresponding author: clarayoon@ysu.ac.kr

EST(Environmental, Social, Governance)는 환경과 사회, 지배구조라는 단어의 조합으로, 기업의 지속가능성과 더불어 비재무적인 성과를 측정하는 지표 중 하나다. 전세계적으로 나타나는 기후변화 위기와 함께, 엔데믹을 맞이하면서 최근 ESG와 같은 비재무적인 성과지표의 중요성이 더욱 커지고 있다. 기업의 중장기적 생존과 번영에 직결되는 핵심 가치로서 ESG는 크루즈선사에서도 경영 일반에 도입하고 있다. 코로나 팬데믹으로 큰 타격을 입은 크루즈 선사들은 위기상황 극복을 위해 안전 및 위생과 관련한 프로토콜을 개발하여 실천하고 공신력 있는 기관의 인증을 받아 크루즈 관광이 전염병에 안전하다는 신뢰를 확보하고자 노력했으며, 코로나 팬데믹이 안정기에 들어오면서 각국의 보건당국과의 긴밀한 협의를 통해 유럽, 미국, 싱가포르등 세계 주요 나라들부터 운항을 재개하였다. 그 결과 2023년말까지 코로나 이전의 수준을 상회하는 정도로 크루즈 산업이 회복될 것이며, 향후 산업의 규모는 더욱 확대될 것으로 전망된다. 이처럼 ‘엔데믹’이라는 새로운 돌파구를 통해 크루즈 산업의 회복을 꾀하는데 있어서 크루즈선사의 ESG경영은 필수 불가결한 전략이었다. 해운, 관광, 조선 등 크루즈 연관산업 이해관계자들 뿐만 아니라 기항국가 또는 기항지의 ESG에 대한 요구에 부응하고 동반성장하기 위한 크루즈 선사들의 ESG경영 사례를 검토해봄으로써 크루즈 연관기업들의 ESG경영 필요성과 당면과제, 과제 해결을 위한 지원정책 및 전략 방향을 살펴보고자 한다. 또한 UN2030 의제를 충족하기 위해 SDG17(Sustainable Development Goal17) “Partnership for the Goals”를 어떻게 다루고 있는지 조사함으로써 크루즈선사의 파트너십 및 협업 거버넌스를 분석하여 지속가능성에 대한 통찰을 제공하고자 한다.

## 엔데믹 시대의 디지털 보건안전교육 - 모바일 콘텐츠를 중심으로

모효정

뉴베이스

### Digital Health and Safety Education in the Endemic Era - Focusing on Mobile Contents

Hyojung Mo

NEWBASE Inc.

†Corresponding author: mosco1@naver.com

COVID-19로 인해 보건안전 교육의 디지털 전환이 가속화되었고, 의료 역량 강화를 위한 디지털 교육 도입 사례가 증가하였다. 이에 국내 교육기관에서도 디지털을 활용한 교육 콘텐츠 개발을 위해 많은 연구가 진행되었지만, 실제 상용화된 사례는 많지 않다.

통상적인 보건안전 교육 콘텐츠는 현장에서의 사건 및 사고 발생 예방을 주목적으로 하고 있다. 따라서 사고 발생 이후 대응법에 대한 교육 콘텐츠 개발 요구는 꾸준히 제기되고 있다. 디지털 교육 콘텐츠 개발 과정에서 사용자들의 다양한 요구를 반영하고 현장의 실재감을 재현하기에는 여러 한계가 있다. 이러한 디지털 콘텐츠는 이론 학습이나 시뮬레이션 교육의 대체적인 교육 도구가기 때문에 개발 시 교육 목적에 적합한 플레이 방법과 시나리오 기획이 필요하다. 이에 본 연구진은 임상 경험을 지닌 기획자와 게임 개발 경력이 있는 개발자들이 협업으로 모바일을 활용한 보건안전교육 콘텐츠 3종을 2020년부터 개발하여 상용화하였다.

현장이나 교육기관에서 상시 훈련이 어려운, 교통사고나 화재 발생 시의 대량 환자 대응을 위한 중증도 분류, 의료기관 내 심정지 환자 대응을 위한 전문심폐소생술과 COVID-19 와 같이 호흡기 감염병 대응을 위한 콘텐츠를 개발하였고, 공개 앱스토어에서 서비스가 제공된 이후 의료기관 및 교육기관의 정규 교육과정으로 그리고 실습 대체로 활용되고 있다.

모바일콘텐츠는 가상현실(VR) 또는 증강현실(AR) 콘텐츠와 다르게 언제 어디서든지 본인의 모바일폰으로 이용 가능하고 쉽게 플레이가 가능하다는 장점이 있지만, 핸드링에 제한이 있고, 몰입감이 떨어진다는 단점이 있다. 그러나 많은 사용자가 이용 가능하고, 교육 여건이나 환경에 구애 받지 않고 자유롭게 반복학습이 가능하다는 장점은 디지털 교육 콘텐츠 개발에서 주목해야 할 부분이다. 다만 현장이나 교육 수준에 따른 수요에 대응하고, 지속적인 시스템 관리 및 콘텐츠 업데이트 등이 이루어지기 위해서는 기관 또는 학회 차원의 콘텐츠 공동 개발 및 이용에 관한 논의가 필요할 것이다.

## 산업 재난 현장에서의 1급 응급구조사의 역량과 역할

김민찬

주한미군 의무사령부 Camp Carroll SCMH

## Competence and Role of a Paramedic at an Industrial Disaster Site

Minchan Kim

USFK 65th Medical Brigade MEDDAC-K Camp Carroll SCMH

Paramedics in South Korea were established in response to the lack of specialized professionals during disasters. They are trained to provide rapid and effective response in various emergency situations, such as fires, explosions, building collapses, and hazardous material spills. Currently, there are 25,713 paramedics in the country, including those employed by firefighting agencies, government institutions, medical facilities, and emergency patient transportation companies. In industries, they play a crucial role in addressing accidents and emergencies, conducting rescues, offering expert medical support, and implementing safety measures. Continuous training and collaboration with other teams enhance their capabilities in ensuring workplace safety and safeguarding lives.

## 최근 산업안전사고(건설업) 경향과 정책적 대응방안 모색

박시은

동강대학교

## Recent Trends in Industrial(construction) Accidents and Exploring Policy Responses

**Si Eun Park**

Department of Paramedicine, Donggang University<sup>1</sup>

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

The significance of an effective workplace safety and health program cannot be overstated, as it offers numerous advantages, such as enhanced productivity, improved employee morale, reduced absenteeism, and lower workers' compensation rates. Despite proactive measures, workplace accidents and illnesses may still occur, underscoring the criticality of proper emergency planning. Over the period from 2021 to 2023, the number of practical disasters, including falls and accidents in the construction industry, decreased by approximately 6,000 cases, attributed to the successful implementation of The Serious Accidents Punishment Act. To foster industrial growth while safeguarding workers' well-being, it is imperative to mandate construction employers to establish on-site emergency medical response systems, adhering to pertinent laws. By doing so, provisions for leniency in cases of force majeure accidents can be introduced, creating a comprehensive approach to address unavoidable incidents. Accordingly, Article 4, Paragraph 1 of the Act on the Punishment of Severe Accidents, etc., should be amended to include measures for the establishment and implementation of a safety, health, and emergency medical management system, including necessary manpower and budget for disaster prevention. In addition, it is necessary to introduce a new provision for mitigating measures that can be applied in response to the penalty clause of Article 6 of the Act, based on the degree of compliance with the obligation to ensure the safety and health of business owners and managers.

## 병원전단계 구조구급대원 재난 및 다수사상자대응 도상 교육훈련 과정 개발

최대해<sup>1\*</sup> · 최옥진<sup>2</sup> · 문성배<sup>3</sup> · 이상훈<sup>4</sup> · 정남기<sup>5</sup> · 안은규<sup>6</sup> · 서호성<sup>6</sup> · 전병주<sup>6</sup>

<sup>1</sup>차의과학대학교의학전문대학원 · <sup>2</sup>울산대학교병원 · <sup>3</sup>경북대학교병원 ·

<sup>4</sup>계명대학교동산병원 · <sup>5</sup>구미강동병원 · <sup>6</sup>경북응급의료지원센터

### Development of Prehospital Mass Casualty Incident Response Training Program for Rescue Team

Daihai Choi<sup>1\*</sup> · Wookjin Choi<sup>2</sup> · Sungbae Moon<sup>3</sup> · Sanghoon Lee<sup>4</sup> · Namgi Jung<sup>5</sup> · Eunkyu Ahn<sup>6</sup> · Hosung Seo<sup>6</sup> · Byeongju Jun<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Cha university graduate school of medicine, <sup>2</sup>Ulsan university hospital,

<sup>3</sup>Kyungpook National University Hospital, <sup>4</sup>Keimyung University Dongsan Medical Center,

<sup>5</sup>Gumi Gangdong Hospital, <sup>6</sup>Kyungpook Emergency Medical Center

\*Corresponding author: ermdchoi@naver.com

경상북도는 대부분의 지역이 산지로 둘러싸여 있으며, 보건복지부에서 설정한 생활권 중심 응급 의료권역은 4개 권역으로 북부권, 서부권, 동부권, 대구권으로 구성되어 있다. 16개 시군이 응급 의료취약지역으로 신속한 응급의료제공이 곤란한 상황이다. 소방서가 없는 지역이 군위군, 영양군, 울릉군 등 3개 시군으로 병원전단계 재난 및 다수사상자 대응에 취약한 구조를 가지고 있다.

실제로 청도 온천 다중 이용시설 화재 사고시 생활권역 응급의료·재난의료 대응을 위한 체계 구성 미비로 인해 대구지역과의 공동대응이 이루어지지 않아 현장대응에 많은 어려움이 있었다. 또한 안동 포르말린 누출 사고시 소방-보건-권역DMAT 협업 부재로 사고전과, 현장공동 의료대응, 현장응급의료소 설치 등이 이루어지지 않아 현장대응에 많은 어려움이 있었다. 화학 다수사상자 사고나 화학재난 대응에 대한 재고 필요성이 제기되었다. 2009-10년 신종플루, 2015년 메르스, 2016년 경주지진, 2017년 포항지진 등 대형사고 및 지진발생, 최근 코로나19 등 신종감염병 증가로 인해 다수사상자 발생 대비 효과적으로 대응하기 위한 역량 제고가 필요하였다. 특히 경북에서는 구조구급대원에 의한 임시의료소 설치 운영이 타지역에 비해 부족하여 역량 강화를 위한 교육 프로그램 마련이 필요하다.

현장대응능력 강화를 위해 재난 및 다수사상사 사고 발생시 초기에 강력한 의료대응체계 마련을 위해 상설 교육프로그램 및 자체 교육프로그램 개발을 네 개의 기관이 합의하였고, 2월 20일 1차회의를 시작으로 10차례 회의를 진행하였다. 구조구급대원에게 시행된 설문조사를 토대로 3일 24시간 교육과정이 마련되었고 이후 2일 16시간으로 최종 조정되었다. 소방청에서 발간한 다수사상자 대응매뉴얼과 보건복지부에서 발간한 재난응급의료비상대응매뉴얼을 중심으로 관련 법률과 규정을 검토하여 현장구조구급대원에게 반드시 필요한 규정과 내용을 정리하였다. 주요내용으로는 재난응급의료체계, 재난현장지휘체계, ICS구축, 임시의료소운영, 다수사상자관리시스템(MCMS),중증도분류,화생방재난,교육학이론,성범죄예방,재난안전통신망,사례 등 25개 주제로 구성하였다.

구급지도관 및 선임구급대원을 중심으로 총 3차 교육을 계획하였으나 7월 초 국지성폭우로 인해 3차시 교육은 잠정 중단되었고 총 64명의 대원을 대상으로 교육이 진행되었다. 간호사 30명, 1급응급구조사 28명, 구조대원 2명 이었다. 이전의 재난교육경험자는 10명이었고, 현재의 업무 연관성은 없었다. 교육의 만족도는 8.8점이었고, 소방본부에서 진행하고 있는 기존의 대량환자 구조 및 구급대응훈련에 접목해야한다는 의견이 89.3%였다, 구조대원 및 다른 구급대원이 본 교육 과정을 수강해야 한다는 의견은 89.2%였다.

\*\*본 연구는 대한재난의학회 교육위원회, 대한구급지도의사협회 경북지회, 경북응급의료지원센터, 경상북도소방본부 공동으로 수행되었으며, 연구비 지원은 없었다.

## 군중놀림사고의 이해와 접근 : 이태원 참사 인명피해 중심으로

왕순주<sup>1</sup> · 양필승<sup>2</sup> · David Wagner<sup>3†</sup>

<sup>1</sup>한림대학교 · <sup>2</sup>MAILab · <sup>3</sup>한양대학교

### Understanding and Approach of Crowd Crush : Focusing on the Itaewon tragedy

Soon-Joo Wang<sup>1</sup> · Philseung Yang<sup>2\*</sup> · David Wagner<sup>3†</sup>

<sup>1</sup>Hallym University · <sup>2</sup>MAILab · <sup>3</sup>Hanyang University

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

#### 1. 서론

군중압박 혹은 놀림 사고 형태의 재난은 국내에서 경험과 연구가 부족한 재난의 형태이지만 세계적으로는 선진국이나 후진국을 가리지 않고 꾸준히 발생중이며, 2022년 10월 29일의 이태원 참사에서처럼 국가사회에 엄청난 파급력과 영향을 주는 재난이다. 따라서 이는 시급히 군중놀림 사고를 이해하고 선진적 학술 접근법을 적용하여 최소한의 예방, 대비 수준에 다다라야 함을 의미한다. 군중놀림 사고는 그 본질 상 얼마 안 되는 짧은 골든 타임 내에 해결이 되지 않으면 대처 시간이 거의 없어 인명피해 대처가 매우 어렵다. 즉 질식으로 의식이 저하되는 피해자가 신고되어도 현장 도착 구급대원이 밀집된 군중을 뚫고 피해자에게 신속히 접근하기란 매우 어려워, 선진국 들조차도 많은 인명피해를 내지만 뚜렷한 한 가지 해결책을 제시 못하고 있는 형편이다. 이는 하나의 확실한 해결방안보다 군중놀림 사고를 둘러싼 여러 분야의 협력적 접근이 요구되는 이유이기도 하다. 여기에서는 군중압박 사고 관련 정립되지 않은 용어를 관련 개념과 같이 정리하고, 과거 있었던 대표적 군중집회의 분류, 특성 등을 알아보며, 기술적으로 이러한 군중압박 사고를 어떻게 접근, 평가해야 하는지 알아보았다.

#### 2. 용어 및 개념

10.29 이태원 참사의 원인으로 언론에 ‘군중 관리(crowd management)의 미비’가 언급되었고, 외신 중 일부는 ‘크라우드 크러시(crowd crush)’를 언급하였는데, 관련된 용어의 이해와 개념의 혼돈이 있어 적절한 지침과 계획을 작성하기 위해서는 용어정리부터 할 필요가 있는 상황이다. 여기서는 군중집회로 인한 손상이 발생하는 상황과 관련된 용어를 정리해보았다.

#### 3. 역사 및 현황

10.29 이태원 사고 이전의 국내에서의 군중놀림 형태의 사고는 2005년 10월 3일에 발생한 상주 시민 운동장 압사 사고가 대표적이다. 국내에서는 1959년부터 관련 사고의 기록이 있으며, 세

계적으로는 1800년대부터 구체적 기록이 있으며 꾸준히 다양한 국가에서 비슷한 형태의 사고가 최근까지도 발생하고 있다.

#### 4. 접근 방법

군중눌림사고를 조사분석하기 위해서는 다음과 같은 다양한 방안이 존재한다.

##### 가. 사회적 시스템 분석

관련 주체들의 역할과 관계, 의사소통 및 업무의 흐름을 조사 분석하는 방법이다.

##### 나. 피해자, 종사자 및 전문가 등 설문 및 인터뷰

실제 상황을 가장 잘 반영하는 방법이나 조사 대상자의 주관과 경험에 의존하다 보니 전체적인 상황과 다른 내용이 조사되기도 한다. 피해자의 심리적 트라우마 치유를 위해 조심스러운 접근이 요구되며, 채팅이나 아바타의 사용등으로 효율성, 안전성을 보장하기도 한다.

##### 다. 언론자료 및 2차 자료 조사 분석

현실적으로 원하는 대상자에 대한 직접 조사를 광범위하게 하기 쉽지 않고, 사회적 현황의 반영과 객관성을 확인해야 하는 상황이 된다. 이 경우 언론보도와 공청회, 학술발표 등의 2차적인 자료를 종합하여 조사 분석하게 된다.

##### 라. 의무기록 및 이송기록 분석

재난 시 발생한 환자들의 이송 및 진료기록을 추적하여 분류, 분석하고 이는 현장의 사고 기록 및 영상과 하나의 프로세스로 연결될 때 더 정확한 재난 상황을 파악할 수 있게 된다.

##### 마. 현장 영상 분석

CCTV 영상의 수집이 일반적이며, 개인들이 촬영한 영상을 눈, 기타 인터넷 플랫폼 상에서 수집하여 분석하는 방법이 있다. 과거에는 영상의 해상도가 떨어져 한계가 명확하였으나 지속적인 영상 화질의 향상 및 최근에는 인공지능의 적용을 통하여 다양한 현장의 분석이 가능해지고 있다.

##### 바. 생체 역학적 분석

지원자 참여 실험을 통한 생체 징후 자료 습득과 시뮬레이션 모델 개발을 통하여 피해자 개인별 Crowd Crush 모델의 개발이 가능하며, 가해진 힘의 예측과 그 의학적 결과의 기전을 알아내는 데 도움이 된다.

##### 사. Crowd Impact 실험

자원자를 모집하여 실제 인파 밀집 상황을 구현하고 기본 및 개별 장소와 상황에 맞는 군중압박 실험을 시행할 수 있다. 단 참가자의 안전을 위한 실험의 기획과 한계가 명확해야 한다.

##### 아. 시뮬레이션

자원자를 통한 실제 실험은 시뮬레이션을 통하여 시행할 수 있으며 안전 상 불가능한 실험은 시뮬레이션을 통해 가능하다. 또한 영상분석은 시뮬레이션을 통해 검증 및 재구현할 수 있다.

##### 자. 밀도분석과 군중 수 계산

밀도분석은 보통 영상분석을 통해 2차적으로 진행되며, 시뮬레이션을 통해 인체에 미치는 영향과 밀도의 단계가 해당 상황에 맞게 규명될 수 있다. 이는 밀도분석 과정에서 군중 수가 계산될 수 있으며, 최근에는 영상에서 인공지능을 통해서도 실시간 군중 수 계산이 시도되고 있다.

##### 차. 유체역학 모델링

시뮬레이션의 한 방법이기도 하지만, 군중압박 상황에서 개개인을 하나의 개별 물체로 보고 흐름을 계산하고 2D 및 3D의 시각적으로 구현하는 기법이다. 인파의 탈출이나 병목현상, 군중흐름, 군중와류 등의 설명에 적합하다. 그러나 다양 한 사람 특성 구현이 불가하고, 주위 환경 영향의

구현이 어렵고, 사람의 심리에 따른 행동 양식 반영이 되지 않는 문제들이 존재한다.

## 5. 결론

군중밀집으로 인한 군중놀림으로 야기되는 인명피해 발생에 대한 용어와 개념이 정립되지 않은 상태라 제안된 우리말 용어에 대한 추가적 논의, 정리가 필요하다. 국내외의 대표적 Crowd Crush의 사례를 통해 세계적으로 Crowd Crush 시 인명피해가 선후진국의 구별없이 다양하게 발생하고 있는 것을 알 수 있고, 이를 기반으로 데이터베이스화와 연구, 분석이 필요하다. Crowd Crush를 예방, 대응할 하나의 명확한 방안은 존재하지 않으나 사실과 기전의 파악을 위한 다양한 분석, 평가 방안이 존재하고 있음을 알 수 있었다. 이를 통해 국내에서도 Crowd Crush 시 예방, 대응을 위한 용어, 업무 표준화와 개념 정립, 평가 및 접근법의 체계화가 이루어져야 한다.

\*\*This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. NRF-2023R1A2C1002938)

## 국립공원 내 도서지역 해중쓰레기 관리방식 전환

허덕경<sup>†</sup> · 신창호 · 이재성 · 송지원 · 김한진

국립공원공단

## Transformation of Underwater Waste Management Methods in National Park Island Area

Deok-gyeong Heo<sup>†</sup> · Chang-ho Shin · Jae-seong Lee · Ji-won Song-Han-jin Kim

Korea National Park Service

<sup>†</sup>Corresponding author: heo7901@knps.or.kr

2023년 해양경찰청의 해중쓰레기 조사 결과에 따르면 국내 해중쓰레기(침적쓰레기)로 인한 국내 피해는 약 3,800억원으로 추산되고 있다. 한려해상국립공원 통영·거제지구에서는 최근 2년간 해양쓰레기 총 665.9톤이 수거되었고, 이 중 바다 속 쓰레기는 40톤에 달했다. 최근 낚시, 스쿠버다이빙 등 다양한 해양 레저활동과 편의위주 어업형태 증가로 해양쓰레기의 발생빈도는 지속적으로 증가하는 추세이며, 이는 해양생태계 교란 및 훼손의 원인으로 작용하고 있다. 해양쓰레기의 관리 주체는 해당 지자체 및 해수부 등 관련 기관이 관리를 하여야 하나 생태우수지역으로 지정되어 있는 국립공원 지역은 우수지역 보호 관리를 위해 국립공원공단에서 도 관리를 하고 있다. 현재 국립공원공단은 매년 육지 및 해안가를 중심으로 해양쓰레기 수거가 이루어지고 있으나 부족한 장비, 전문성 결여, 현장 접근성 제한으로 해중쓰레기의 수시 수거는 현실적으로 어려움을 겪고 있다. 특히 해안가의 쓰레기의 경우 도서지역 주민자율관리사업, 해양쓰레기 위탁수거사업, 반려해변제도, 플로깅 캠페인 등 다양한 수거활동을 하고 있으나 해중쓰레기의 경우 앞에서 열거한 사업, 제도, 캠페인의 방법으로 관리하기에는 어려운 실정에 직면하고 있다. 이러한 한계 극복을 위해 해중쓰레기 관리 협업체를 구성하고 해중쓰레기의 현황을 파악하기 위한 기초조사 및 분석이 필요하다. 그 일환으로 국립공원공단에서 보유한 선박, 다방향 수중 카메라, 수중드론을 활용하여 해중쓰레기 현황조사를 자체적으로 수행하고 있으며, 도서지역 근무 경험 직원, 지역주민, 전문업체 등의 청문조사를 통한 자료수집과 유관기관에서 보유한 해중쓰레기 관련 자료를 확보하고 있다. 이를 통해 해중쓰레기 분포지도를 작성하여 우선 관리 대상지를 선정하여 체계적인 관리를 계획하고 있다. 또한 바다라는 관리현장의 특성을 고려, 인력양성 프로그램을 통해 현장관리 직원의 잠수자격 보유율을 24.5%에서 34%로 상향시켜 전문성 확보에 노력을 기울였으며, 부족한 전문인력은 해양경찰청, 한국해양구조협회, 환경단체, 지역 дай버샵의 협력·지원을 받고 있고 특히 국립공원에서는 시민과학자, 해중생태계정화단을 구성하여 무인도서 주변해역에 있는 낚시, 어업쓰레기 등 오염된 해중쓰레기를 집중수거하고, 나팔고둥·상팽이·산호류 등 해양생태계 모니터링을 실시하여 변화하는 해양환경에 대응하기 위한 기초자료를 확보하고 있다. 한편, 해중쓰레기는 여러 기관에서 다양한 방법으로 관리하고 있으나 노력대비 성과는 미비하고 분산되는 경향이 있어 전문화된 역량을 한 곳으로 집중 시킬 필요가 있다. 이에 국립공원공단에서 해중쓰레기 관리 네트워크를 형성하여 각 기관별 역할을 재정립하고 있다.

국립공원공단에서는 친환경 어구 지원사업을 통해 친환경 양식으로의 전환을 유도할 예정이며, 현재 국민 의식 제고를 위해 다이빙샵과 레저활동하는 탐방객을 대상으로海中쓰레기 수거 활동을 유도하는 프로그램을 운영하고 있다. 또한 가상공간에서는 신체가 자유롭지 않은 탐방객을 포함 누구나 참여 가능한 메타버스 플랫폼(수중 국립공원)을 활용, 가상 사진전과 같은 다양한 이벤트를 통해 해양생태계,海中쓰레기 심각성을 알리는 계몽사업을 실시할 예정이다. 추가적으로海中쓰레기 수거 후 거머리말 이식·복원사업(약4.1ha) 시행함으로써 해양생태계 복원 및 서식지 안정화에 힘쓸 계획이다.

## 친환경연료 등 해상환경 변화에 따른 해상화학사고 대응 개선에 관한 연구

김백제 · 송영구 · 정재현<sup>†</sup>  
해양경찰청

Study on the Improvement of Response to Maritime Chemical  
Accident due to Changes in the Maritime Environment  
such as Eco-fuel

Baek Jae Kim · Young Goo Song · Jae Heon Jeong<sup>†</sup>

Korea Coast Guard

<sup>†</sup>Corresponding author: jpllove002@korea.kr

OPRC-HNS Protocol 2000 및 해양환경관리법 시행규칙 제 26조에 따르면 위험·유해물질(HNS : Hazardous and Noxious Substance)이란 유출될 경우 해양자원이나 생명체에 중대한 위해를 미치거나 해양의 쾌적성 또는 적법한 이용에 중대한 장애를 일으키는 물질로서 유해액체물질 및 포장유해물질과 산적으로 운송되며, 화재·폭발 등의 위험이 있는 물질을 말한다. 위험·유해물질(HNS)은 종류가 매우 다양하고 소비량이 증가함에 따라 해상물동량도 크게 증가하고 있다. 또한 국제해사기구(IMO)는 2018년 온실가스 감축 초기전략을 채택하여 해운분야에서 배추하는 온실가스를 제로로 하는 탈탄소 목표를 세우고 2050년까지 2008년대비 100%를 감축하는 목표를 세웠다. 이러한 해상환경 변화에 따라 2030년 전후로 LNG, 암모니아 등 친환경연료 사용 선택으로 빠르게 전환될 예정으로 해상화학사고 위험성은 더욱 커질 것으로 예상된다.

우리나라 해상화학사고는 연평균 2~3건으로 발생빈도는 높지 않으나 그간 화재·폭발을 동반한 사회적 이슈가 지속적으로 발생함에 따라 국민들의 안전문제에 대한 인식이 높아지고 있다. 2022년 기준 HNS 해상물동량은 315백만톤으로 최근 10년간 매년 평균 2.1%(6백만톤) 증가하였고 향후, 지속적으로 증가할 전망이다.

위험·유해물질(HNS) 사고가 발생 할 경우 심각한 인적·물적 피해의 가능성이 있고, 물질별 대응 방안도 달라 초동대응 및 후속조치 등의 어려움이 따른다.

따라서 본 연구는 지난 우리나라에서 발생한 대표적인 해상화학사고인 마리타임 메이지호('13)와 스톨트 그로이란드호('19) 사고 대응 사례를 중심으로 그간의 개선방안 이행수준을 진단하고, 그 평가 결과를 통해 해상화학사고 대비·대응 체계의 개선방안 제시를 목적으로 한다. 이를 위해서는 제도 정비, 사고대응 전문성 강화, 장비·기술 분야에 개선이 필요한 것으로 조사되었다.

제도개선으로는 국가긴급방재계획에 포함하는 위험유해물질 중점관리대상(68종) 관리방안, 포장위험물 반입제도 신고 개선, 친환경 연료 추진선택 사고대응 가이드 마련을 제시했다. 전문성 강화 부분에서는 HNS 사고대응 가이드 개선, 현장대응요원의 교육 프로그램과 시스템 개발, 범정부 화학재난합동방재센터에 해경 방제인력 배치 방안을 제시했다. 장비·기술 분야는 화학사고 대응 전문 장비 도입, 사고대응장비 사용자 매뉴얼 제작, 지방관서에 배치된 사고대응 장비의 효율적 배치 등을 제시했다.

## 탱크터미널 및 항만 HNS 액체위험물 안전관리

길용찬

오드펠터미널코리아(주) QHSE 팀장

### Safety control for HNS Liquid hazardous substance at Tank Terminal and Port

Yong-Chan Gill

Odfjell Terminals Korea

Corresponding author : Yong-Chan.Gill@odfjell.com

화학산업의 발전과 더불어 해상을 이용한 HNS(Hazard & Noxious Substance)의 운송량은 크게 증가하고 있고 더불어 선박으로 운송된 액체 화물을 저장·보관하는 탱크터미널도 함께 증가하고 있다.

울산항만공사의 연도별운영통계에 따르면 2022년도 울산항에서 처리한 액체화물량은 1억5682만4000t으로 전국 항만에서 울산항이 처리한 액체화물의 비중은 30.7%를 차지하고 있다. 그 뒤를 잇는 여수광양항의 경우 1억3147만3000t을 처리하여 여수광양항이 처리한 액체화물의 비중은 25.8%로 두 항만간 비중 차이는 4.9%p다.

울산항만공사는 액체화물의 적극적인 유치와 울산항 상업용 탱크터미널의 활성화를 위해 적극적으로 투자 유치에 나서면서 액체화물의 물동량이 크게 증가하는 추세이다.

액체화물의 물동량이 증가함에 따라 액체화물을 저장·보관하는 탱크터미널의 안전관리의 중요성은 더욱 부각되고 있는 상황이다.

액체화물이 선박으로부터 저장탱크로 입출하되고 탱크로리 출하장 및 지하배관을 통해 다시 출하되는 과정에서 작업자 부주의 또는 설비 결함 등으로 인해 화재·폭발 또는 누출과 같은 화학사고 발생 가능성이 매우 높다.

탱크터미널은 특성상 해상과 인접하여 설치되어 있어 이러한 화학사고는 곧바로 해양 환경에 매우 부정적 영향을 미칠 수 있다.

따라서 액체 위험물 및 화학적 특성을 고려한 저장탱크 등 시설에 대한 재질 적합성, 운전자 및 취급자의 안전 절차, 사고 발생시 응급조치방법 및 보호구 선택, 화재·폭발에 따른 적정 소화시설 및 소화약제 선택 방법과 대기처리설비 및 IMO 및 해양환경보전법에 X,Y,Z의 분류기준 등에 대해 고찰해 보고자 한다.

## 선박에서의 훈증제 사용과 안전관리

황승율<sup>†</sup> · 남근우 · 천광수 · 박춘화 · 박봉균

화학물질안전원 화학사고조사팀

## Use of Fumigants and Safety Management on Ships

Hwang Seung Ryul<sup>†</sup> · Nam Gun · Chun Kwangsu · Park Choonhwa · Park Pong Gyun

National Institute of Chemical Safety

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

인화알루미늄(AIP, aluminium phosphide)은 담배 및 곡물의 저장 시 훈증제로 사용되고 있으며 상온에서 공기 중 물과 반응하면 가연성, 폭발성, 독성을 가지는 무색의 인화수소(PH<sub>3</sub>, phosphin) 기체가 만들어진다. 인화수소는 공기보다 무겁고 중추신경계에 대한 독성을 가지고 있기 때문에 취급 시 주의가 필요하다.



최근 선박에 의한 곡물 수송 시 훈증제로 사용되는 인화알루미늄의 처리과정에서 발생한 화재 및 인화수소 유출사고가 지속적으로 보고되고 있으며('20년 이후 인화알루미늄 화재·폭발사고 총 10건으로 선박 7건, 육상 3건) 훈증제로 사용하는 경우 안전관리에 대한 관심도 증가하고 있다. 인화알루미늄과 함께 기존에 훈증제로 사용되었던 시안화수소(HCN), 메틸브로마이드(CH<sub>3</sub>Br)의 경우, 치명적인 독성 때문에 선진국을 중심으로 사용을 금지 또는 제한하고 있으며 상대적으로 인화알루미늄의 중요성이 높아지고 있는 실정이다. 그러나 인화알루미늄도 잠재적으로 가연성, 폭발성, 독성을 가지고 있으므로 취급 시 주의가 필요하며 특히 선박을 이용한 대량의 곡물 수송에 사용되는 경우 취급과 폐기처리 과정의 안전관리에 대한 연구가 필요하다. 해양수산부는 선박안전법에서 선박에서 훈증제 사용 시 “훈증소독 잔류물 소각 및 육상 펌기 시 지침”을 규정하고 있으며 인화알루미늄 폐기물은 환경부 폐기물관리법에서 알루미늄 포함 폐기물(지정폐기물)로 구분되므로 다른 폐기물과 혼합 및 물 접촉을 금지하고 있다. 국제해사기구도 곡물을 포함한 고체 건화물 적재 선박을 위한 규정에서 훈증소독에 사용되는 선내 소독약의 안전한 사용에 관한 권고지침을 제시하고 있다.

일반적으로 사용되는 인화알루미늄 훈증제는 주요 성분인 인화알루미늄 외에도 가연성, 폭발성을 완화하고 저농도의 인화수소를 지속적이고 안정적으로 만들기 위해 첨가제를 사용하고 있다. 또한 인화알루미늄의 가연성, 폭발성 때문에 훈증제로 기체 상태의 인화수소를 직접 사용하는 경우도 증가하고 있으나 인화수소의 독성을 감안하면 취급 시 안전관리에 대한 경각심이 요구된다. 인화알루미늄 훈증제는 사용 후 폐기물 처리과정에 대해 국내 제조사와 해양경찰청에서 폐훈증제를 세제로 수처리하는 안전수칙을 제공하고 있으나 보고된 연구결과에 따르면 수처리 이후에도 9~20%의 인화알루미늄이 그대로 잔류하는 것으로 밝혀져 향후 처리방법에 대한 개선이 필요할 것으로 생각된다.

## 친환경선박 확산에 따른 위험관리 및 방제 방안

강희진<sup>†</sup>

선박해양플랜트연구소

### Annual Conference of the KIHM : Risk Management and Countermeasures for the Expansion of Eco-Friendly Ships

**Kang, Hee Jin**

Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering

<sup>†</sup>Corresponding author: hjkang@kriso.re.kr

2023년 7월 첫주에 개최된 UN산하 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization) 해사환경보호위원회(MEPC, Marine Environment Protection Committee)에서 2050 해양탄소중립(Net Zero) 실현이 공식적으로 선언되었다. 2018년에 채택된 초기전략(Initial Strategy) 채택 시 목표로 설정된 50%에서 100% 선박배출 온실가스 감축 목표가 크게 상향된 것이다. IMO의 2050 Net Zero 달성은 선진국, 개도국, 군소도서국의 입장 차이로 세부적인 기술적, 경제적 조치가 선정되지 못한 상황에서도 올해부터 도입되는 운용 중인 선박에 대한 에너지효율지수(EEXI, Energy Efficiency eXisting ship Index)와 탄소집약도지수(CII, Carbon Intensity Indicator)는 기준을 충족하지 못하는 선박의 운항 제한과 탄소세 부과로 이어지게 되어 해운선사의 메탄올, 암모니아와 같은 무탄소, 탄소중립 연료 활용과 배터리를 내연기관과 함께 활용하는 선박의 전동화가 가속화될 전망이다. 이러한 친환경선박 확산에 따른 사고시 인명, 환경, 재산 피해 최소화를 위해서는 선박 연료 및 화물의 변화 추세에 대한 고찰과 선제적인 준비가 필요한 상황이다. 메탄올은 메틸알코올이라고도 하며 선박연료로서 어는 점  $-97.87^{\circ}\text{C}$ , 끓는 점  $64.65^{\circ}\text{C}$ 로 상온 보관이 가능한 장점이 있는 반면 소량 섭취에 의해서도 시력장애나 중독 시신경 병증이 발생할 수 있으며 과량 섭취시 사망에 이를 수 있는 위험이 있다. 암모니아 유출시 공기중 농도가 5ppm 이상일 때 특유의 자극적인 냄새가 나며, 6~20ppm 이상에서는 눈 자극과 호흡기 문제를 일으키고 1700ppm 이상에서 호흡 곤란, 2500ppm 이상에서는 생명을 잃을 위험이 급격히 커지게 된다. 선박용 대용량 리튬이온 배터리시스템은 화재시 1,000도 이상의 고온이 인접 셀을 연속적으로 발화하며 소화하기 어려운 문제가 있다. 본 프로시딩에서는 선박용 연료, 화물로 사용되는 메탄올, 암모니아, 배터리의 특성을 살펴보고 선박사고로 대량 유출, 화재 및 폭발 사고가 나는 경우를 가정하여 위험관리를 위한 고려요소와 방제 방안을 위한 연구를 진행한 내용을 소개하고자 한다. 우리나라가 허베이스피릿호 원유유출사고(2007), 스톨트그로이안호 폭발사고(2023) 등 선박기인 오염, 폭발 사고 등을 겪으면서 해양경찰을 중심으로 세계 수준의 방제 능력을 갖추어 온 상황을 살펴보고 선박의 친환경화에 대응하기 위해 요구되는 방제 선박, 장비 및 전문인력 확보시 고려사항을 살펴보고 해상 사고 발생시 친환경 선박의 특성을 고려한 사고대응 기술 개발 및 활용 방안에 대한 연구결과를 소개하고자 한다.

## 항만 위험물 컨테이너 관리 한계점 및 관리방안

최나영환 · 박상원\*

한국해양수산개발원 · \*한국해양수산개발원

### Study Management of Dangerous Containers in the Port

Na Young Hwan Choi · Sang Won Park\*

Korea Maritime Institute · \*Korea Maritime Institute

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

우리나라는 1970년대부터 중화학공업을 장려해 정유 및 석유화학 관련 산업이 성장했다. 최근에는 전자제품, 반도체 소재, 이차전지 등 화학제품의 다양화와 함께 위험물 및 화학물질의 수입량도 급증했다. 위험물과 화학물질은 국가 산업경쟁력 강화에 큰 기여를 했으나, 위험물 수입이 확대되어 모든 물류 과정에서 위험관리의 어려움이 발생했다. 그리고 위험물 사고가 발생할 경우 심각한 인적·물적 피해의 가능성이 있고, 물질별 대응방안도 달라 초동대응 및 후속조치 등의 어려움이 따른다.

수·출입 거점인 항만은 선박의 입출항, 화물의 적하역·이송·적치 등이 이루어지는 공간이다. 최근 항만의 위험물 및 화학물질의 물동량이 증가하고 있다. 실질적으로 부산항의 위험물 컨테이너 물동량은 2022년 기준 10년간 연평균 6.5%가 증가했으며, 향후 지속적으로 증가할 전망이다. 그러나 항만에서의 위험물 컨테이너 관리 체계는 인적, 시설, 거버넌스, 정보시스템 등의 다양한 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 연구는 항만 위험물 컨테이너 위험물의 관리 체계 한계점을 조사하고, 이러한 한계점 개선을 위한 관리방안 제시를 목적으로 한다.

항만에서의 관리 체계 한계점을 살펴보면, 인적 요인에서는 안전관리자 및 위험물 취급자의 자격, 교육, 훈련 등이 있다. 시설 부분에서는 장치장의 안전성과 효율성 문제가 있으며, 정보시스템에서는 위험물 정보 분산 등이 지적되었다. 그리고 위험물 컨테이너 관리 주체 및 법·제도 정비도 필요한 것으로 조사되었다.

이러한 한계점을 해결하기 위해 인적 요인에서는 안전관리자의 자격 요건 개선, 안전관리자 및 위험물 취급자의 교육 및 훈련 개선 방안을 제시했다. 시설 부분에서는 국제규정에 의거한 전용장치장을 제안했으며, 통합정보시스템 구축 등을 제안했다. 그리고 위험물 컨테이너 관리의 실효성을 확보하기 위한 정부 부처 등의 이해관계자 협력 방안 및 행정기관위원회 설립 등을 제안했다.

## 화학물질 운반선 화재에 대한 소방대응

박정호

울산소방본부 특수재난훈련센터 건립단 소방위 박정호

### Fire Fighting Response for Chemical Carrier Fire

Park, jung ho

Ulsan Fire Headquarters Special Disaster Training Center  
Corresponding author : www.jojojo@korea.kr

동북아 오일 가스허브의 사업의 성공적 진행에 따른 액체 위험물 취급량이 연간 1억6천만톤으로 전국에서 상위에 속하는 울산항은 총부두 116선석 중 위험물질 취급부두는 74선석 (63.8%)이며, 21년도 총 접안척수 23,722척 중 위험물질운반선 입항선박 17,806척 (75%)으로 대량의 위험물 저장·취급 과정에서 화재·폭발로 인한 대형재난 발생 가능성이 점점 높아지고 있다.

지난 2019년 9월 28일에 발생한 울산 염포부두 위험물운반선화재는 액체화물의 증기 폭발로 203m 높이의 울산대교 주탑보다 높은 위치까지 화염이 솟아오르고 유독가스는 대기중으로 확산되어 시민의 안전을 위협했던 사고였다.

이사고로 인해 소방·해경·환경부 등 유관기관 726명이 동원되었고, 소방특수차·해경경비구난암 등 총 117대의 장비를 동원해 현장대응을 하였으며 유관기관 공동대응활동으로 요구조자 51명 전원구조와 재난규모 대비 인명피해(중상 1명, 경상 17명)가 적었다.

액체화물이 선박으로부터 저장탱크로 입출하 되고 환적하는 과정에서 작업자 부주의 또는 설비 결함 등 이와 유사한 사고발생 가능성이 매우 높다

현시점에서 효과적인 현장대응을 위한 긴밀한 유관기관 공동대응활동이 절실히 필요하고 긴급한 사고현장에서 긴급구조통제단을 활용한 합동대응체계 개선방안에 대해 고찰해 보고자한다.

## 위험물 데이터베이스 활용 및 관리와 GHS제도의 국제적 이행상태

반준화<sup>†</sup> · 한지훈  
한국소방산업기술원

### Utilization and management of hazardous substances database and international implementation status of GHS

**Ban Junhwa<sup>†</sup> · Han Jihoon**

Korea Fire Institute

<sup>†</sup>Corresponding author: 2240@kfi.or.kr

According to the National Fire Information System, from 2012 to 2022, the number of fires caused by hazardous materials increased from 276 to 686, and the number of casualties increased significantly from 20 to 81. Despite of institutional support, accidents due to hazardous substances continue to increase according to economic and industrial development, and the need for accurate information-based safety management is rising. The National Hazardous Substances Information System, which is operated by the Korea Fire Institute, continues its efforts to provide advanced information on hazardous substances. More than 300,000 citizens and safety managers use this information annually, and its utilization is increasing as a result of continuous unification and advancement projects. Through this presentation, I would like to share the achievements of cooperation with the Seoul Metropolitan Government and the Korea Centers for Disease Control and Prevention and discuss plans for sustainable development.

The results of the 40th GHS meeting to the 43rd GHS meeting from 2021 to 2022, I would like to share about the major changes of the 10th GHS revision published in 2023 and 「Integrated standard for chemical classification and labeling」 which is the standard for domestic GHS application. In particular, ongoing agendas that may add to the GHS, such as ‘Endocrine disruptors’ and ‘Hazardous by contributing to global warming’ will be covered in this special session.

In addition, sharing the current status of GHS implementation in major trade partners such as Canada and Russia to guide the latest information on the hazard communication elements of hazardous substances will be presented.

## 화학사고 대응을 위한 염기성 위험물질 중화 실험

김주석<sup>†</sup> · 최아영 · 엄수현 · 박제섭 · 박민영

국립소방연구원 대응기술연구실

### An Experimental Study on the Neutralization of Basic Hazardous Substances for the Response of Chemical Accidents

Joo-seok Kim<sup>†</sup> · A-Young Choi · Su Hyun Eom · Je-Seop Park · Min-Young Park

Research Official, Fire Technology Research Division, National Fire Research Institute

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

화학물질의 취급과정에서 발생하는 누출사고를 대비하기 위해서 염기성 물질의 중화제 선정과 중화제 사용량 및 반응성을 확인하였다. 실험에 선정된 염기성 위험물질은 암모니아, 수산화나트륨으로 선정하였다. 암모니아는 2019년 기준으로 총 578개 사업장에서 2천 톤을 보유, 최근 3년 기준으로 화학사고가 11회가 발생하였다. 수산화나트륨은 총 3,301개 사업장에서 18,258천톤 보유하고 있다. 사고가 빈번하고 취급량이 많은 두 가지 염기성 물질에 중화제(유기산 3종 및 제품) 사용하여 중화 시 효과성, 용이성, 경제성 등 실험을 통한 중화제 성능을 확인하였다. 중화 성능을 실험한 결과 시트르산(고체, 용액)이 반응성이 좋고, 낮은 온도상승과 반응 후 생성되는 잔류물 적음, 중화제(시판품)는 중화 온도가 낮고 흡착에 의한 반응성은 좋으나 고가의 비용으로 경제성이 떨어짐, 옥살산은 중화반응 과정에서 온도가 급격상승하고 다량의 잔류물이 발생, 황산알루미늄은 물에 녹지 않아 중화반응이 일어나지 않았다.

시트르산은 50% 수산화나트륨 수용액과 반응온도가 100 °C 이상으로 증기 발생 및 끓어 넘침 현상확인, 옥살산은 중화 반응 시 단시간에 온도가 급격히 상승으로 증기와 흡의 발생, 황산알루미늄(=명반)은 결정 형태로 수용액에 쉽게 용해 않는다. SPill-X-C은 반응성 좋고, 액상 물질의 흡수력이 좋아 중화 및 제거 효율이 좋은 것으로 확인되었다. 중화 반응성과 경제성을 고려하면 시트르산 수용액, 시트르산(고상), SPill-X-C, 옥살산, 황산알루미늄의 순으로 염기성 물질 누출사고 대응을 위한 최적의 중화제는 시트르산으로 확인된다.

\*\*이 논문은 소방청 소방현장 활동지원 기술개발사업(1761002660)의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임

## ESS화재 폭발에 의한 소방대원 안전 위협에 관한 조사

나용운<sup>†</sup>

국립소방연구원

### An Investigation on the Safety Risk of Fire fighters in Explosion of ESSs fires

Yong Un Na<sup>†</sup>

National Fire Research Institute of Korea

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

ESS(Energy Storage System)는 에너지를 저장하는 시스템으로써, 에너지 저장 효율을 높이기 위해 주로 리튬이온배터리를 사용하고 있으며 태양광 및 풍력발전과 연계하여 사용되는 경우와 전력의 품질을 높이기 위해서 피크 부하 및 주파수 보정 등으로 활용되고 있다. 이는 국가적인 재생에너지 활성화 및 글로벌 RE100 정책과 밀접한 관계는 있는 시설로 대두되고 있다. 왜냐하면 재생에너지를 활용할 경우 발전량이 일정하지 않은 단점을 극복할 수 있는 최적의 솔루션이 ESS를 연계하는 것이기 때문이다.

그러나 ESS의 장점에도 불구하고 최근 ESS 시설 도입 확대와 비례하여 화재 증가로 인해 ESS 도입의 가장 큰 문제점이 되고 있어 이에 대한 화재 예방뿐만 아니라 화재 대응적인 측면에서도 근본적인 대책 마련이 시급한 실정이다.

다만, ESS는 전기차와 달리 대용량의 배터리가 밀집되어 설치된 형태로 적게는 1MW급부터 크게는 수십MW급까지 용량이 다양하며, 밀집된 대용량 배터리로 인해 ESS 화재 진압은 사실상 불가능에 가까우며, 실질적인 대응은 주변으로 화재 확산 방지가 가장 현실적인 방안이다. 화재현장에서 현실적인 요건을 고려하여 ESS 화재 진압 및 대응하는 과정에서 매우 심각한 문제가 발생되었는데 이 문제는 현장의 소방대원 안전을 심각하게 위협하는 폭발 위험성이다.

본 조사에서는 국내 ESS 화재에서 발생된 폭발 및 붕괴 현상 및 국외 ESS 화재 시 발생하는 소방대원 안전 위협에 관해서 분석하였다.

## 화학사고 현장에 적용 가능한 실시간 시야 개선방안 연구

신영민 · 임유리 · 한동훈\* · 강동구\*\*

국립소방연구원 대응기술연구실 · \*국립소방연구원 소방정책연구실 ·  
\*\*한국전기연구원 의료기기연구단

### An Application of Real-time Vision Enhancement System to Chemical Accident Sites

Young Min Shin · You Ri Lim · Dong Hun Han\* · Dong Goo Kang\*\*

Fire Technology Research Division, National Fire Research Institute ·

\*Fire Policy Research Division, National Fire Research Institute ·

\*\*Electro-Medical Equipment Research Division, Korea Electrotechnology Research Institute

†Corresponding author: hdongh1@korea.kr

화학사고 시 발생하는 연기는 다량의 유독성 가스를 포함하고 있어 신속·정확하게 대응하는 것이 중요하다. 그러나 자욱한 연기로 인해 시야가 확보되지 않아 대응 활동에 많은 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 화재·재난 현장에서 소방대원의 시야 확보를 목적으로, 한국전기연구원이 보유하고 있는 영상처리 기술 및 카메라 시스템을 활용하여 프로토타입(Prototype)의 실시간 시야 개선 장비를 제작하여 효과성을 검토하였다.

장비 제작 시 현장 상황을 고려하여 장비의 내구성을 확보하고자 하였으며, 소방대원이 기존에 사용하는 열화상카메라와 유사한 형태를 유지하여 익숙한 사용성을 보장하였다. 또한, 소방대원의 의견을 반영해 조작이 간편하도록 기능을 최소화하고, 버튼의 크기를 직관적으로 배치하여 현장에서 장갑을 착용한 상태에서도 조작이 편리하도록 디자인 및 기구를 설계하였다.

현장에서의 장비 효과성 검토를 위해 화재실험을 반복하여 진행하였으며, 가연물의 양에 따라 3단계로 구분하여 실험하였다. 가연물은 검은색 연기를 다량으로 배출하는 폴리우레탄 폼(Polyurethane foam)과 고분자 화학물질인 고무(Rubber), 스티로폼(Styrofoam), 헵탄(Heptane)으로 구성하였다. 실험 결과, 1~3단계 모두 육안으로는 파악하기 어려웠던 사람, 사물, 구조물 식별이 장비를 통해 가능해지는 것을 확인할 수 있었다. 기존 근적외선 영상 및 열화상 영상보다 영상처리 기술을 적용한 영상에서 실험장소의 출입구, 벽, 바닥 등 실험장소 구조물의 위치 구별에서도 확연한 차이를 보였다. 즉, 영상처리 기술을 적용한 실시간 시야 개선 장비를 화재 현장에 적용할 경우 시인성 개선에 효과적인 것을 확인할 수 있었다.

본 연구결과를 바탕으로 화학사고 등 화재·재난 현장에서 사용하기 위한 시야 개선 장비 개발 연구를 지속적으로 추진하여 연기로 가득 찬 위험한 현장에서 소방대원의 시야를 확보하여 안전한 소방활동에 도움이 되고자 한다.

\*\*이 논문은 소방청 소방현장 활동지원 기술개발사업(1761002660)의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임

## 소방드론을 활용한 Hazmat 재난현장 적용기술

김영래 · 김정남 · 이 덕\*

중앙소방학교, \*서울 강북소방서

### A Application Technology of Hazmat Disaster Site Using Firefighting Drones

**Yeong Rae Kim · Kyeong Nam Kim · Deok Lee\*\***

National Fire Service Academy · \*Seoul Kangbuk Fire Station

†Corresponding author: realld@seoul.go.kr

최근 산업 분야에서 사용되는 화학물질 등의 양이 폭증함에 따라 화학물질 유출사고의 위험성도 크게 증가하고 있다. 특히, 2012년 구미 불화수소 누출사고를 계기로 소방청과 관련 기관들은 울산, 익산, 구미, 서산, 여수, 울산, 시흥, 충주 등 주요 산업 지역에 화학재난 합동 방재센터를 설치하여 화학사고에 대비하고 있다.

화학물질 유출 사고 현장은 폭발이나 대형 화재와 같은 위험성, 그리고 독성 물질 누출로 인한 인명 및 재산 피해의 위험성이 도사리고 있어 초기 대응 단계에서는 사고 현장의 신속한 파악, 경계 구역 설정, 그리고 누출 물질의 정확한 식별이 중요하다. 그러나 대원들의 안전도 동시에 고려해야 하는 이러한 상황에서 드론은 가장 효과적으로 활용될 수 있는 장비다. 그럼에도 불구하고 현재까지 화학사고 대응 절차에 드론 활용에 대한 명확한 규정이 없는 상태다.

드론을 이용한 CBRNE(화학, 생물학, 방사능, 핵, 폭발물) 대응은 대원들의 접근이 어려운 장소에서도 위험물질의 현재 상태를 지속적으로 관찰하고, 풍향 및 풍속을 측정하여 대원들의 이동 동선과 경계 구역 설정을 도와준다. 또한 드론은 위험물질의 오염 확산 방향 정보를 실시간으로 수집하여 지휘관 및 대원들에게 제공함으로써 사고현장의 상황을 파악하고 신속한 대응 조치를 가능하게 한다. 더불어 드론은 유출물질의 측정과 확인을 수행하여 위험 구역을 조정하는 데에도 도움을 주며, 이에 대한 영상 자료를 전문가에게 송출하여 직접적이고 정확한 조연과 자문을 구할 수 있다.

이 연구는 HAZMAT 재난현장에서 드론의 활용을 중점적으로 다루며, 사고 대응 절차의 중요성과 잠재적 이점을 탐구하고 있다. 목표는 실제 현장에서 이런 방식을 적용함으로써, 화학물질 유출 사고로 인한 피해를 최소화하고, 구조대원들의 안전 확인을 통해 2차적인 피해 예방에 기여하는 것이다. 이 연구는 첨단 기술의 적극적 활용과 화학사고에 대비한 규정 및 연구의 지속적 발전이 필수적이라는 점을 강조한다. 이를 통해 안전하고 효과적인 대응체계를 구축하며, 결국은 화학사고로 인한 피해를 최소화하는 방향으로 나아갈 것을 희망한다.

## 화학사고 시 특수화학구조대의 역할 및 대응

홍승목

울산소방본부 119재난대응과 특수화학구조대

### Role and Response of Special Chemical Rescue Team in Case of Chemical Accident

**Hong Seung Mok**

Ulsan fire department Special Chemical Rescue Team

†Corresponding author: mogy0211@korea.kr

울산은 석유화학공업의 메카로서 화학물질 취급량이 전국 최대이며 화학사고가 발생하면 일반 화재보다 더 큰 위험성을 내재하고 있다. 울산의 경우 2개의 국가산업단지를 보유하고 있으며, 한 곳은 남구 및 동구 일대에 조성된 울산·미포국가산업단지이고, 다른 한 곳은 울주군 일대에 조성된 온산국가산업단지이다. 2021년 사고통계를 보면 한 해 동안 발생한 총 323건의 유해화학물질 사고 중 122건의 사고가 국가산업단지에서 발생하였다. 이는 전체 사고건수의 약 38%를 차지한다. 그 중 울산·미포 국가산업단지에서 76건의 사고가 발생하였고, 온산국가산업단지에서 46건의 사고가 발생하였다. 특이한 점은 국가산업단지에서 누출·폭발사고의 발생이 많았는데 이는 석유화학단지의 집중화 및 노후화로 인하여 사고발생이 많은 것으로 추정되며, 기타 지역에서는 화재·가스측정 출동이 많았던 것으로 분석된다. 그리고 주요 누출사고 물질로는 질소, 수산화나트륨, 불산(55%), 메틸아크릴레이트, 염화술포산, 황산원유, 하론가스, 수은, 메탄올 등의 물질이었으며, 화재 및 폭발사고 물질로는 마그네슘, 프로판가스, 경유, 핵산, 과산화수소 등의 물질이었다. 이런 물질들의 대부분의 특징은 독성·부식성 등의 유해성을 가지므로 접촉·호흡기를 통한 흡입으로 인체에 심각한 결과를 초래할 수 있다. 또한 풍향·풍속·기온에 따라 대기환경에서 확산성이 강하기에 대기를 순환하면서 주변시설물, 자연환경 등 2차적인 피해를 유발시킨다. 이런 1·2차적 피해를 줄이기 위해 특수화학구조대의 역할과 대응에 대해 알아보도록 하겠다.

특수화학구조대에서는 화학사고 발생 시 현장대응을 기본적으로 하고 있으며, 그 중 ①현장 활동대원의 개인 신변안전 확보 및 요구조자의 신속한 구조, ②초기현장에서의 분석기를 활용한 위험성 확인, ③누출지점 확인 및 누출지점 차단 작업, ④방재활동 중 이차적 유해물질 생성 억제대응, ⑤누출통제 작업완료 후 장비제독 및 인체제독, ⑥오염물질 수거 및 담당기관에 인수·인계 등의 현장업무를 중점적으로 담당하고 있다.

특히 울산에서는 화학 사고를 대비하여 특수화학구조대의 역할로는 국가산업단지 등에서 발생하는 화학사고 뿐만 아니라 생물·방사능사고 등 특수재난을 전담한다. 또한 날로 커지는 테러 위험에 대비, 테러 대응 구조대의 임무도 병행하고 있다. 그리고 사고대응과 예방활동 뿐만 아니라, 연구·개발 및 교육에도 노력을 하고 있다. 그 중 대형 유류저장탱크 화재 진압 실험, 유해화학사고 대응기법 향상을 위한 훈련프로그램을 개발을 통한 자체훈련을 충실히 하고 있다. 또한 소방공무원은 물론 산업체 관계자를 위한 교육프로그램과 훈련시설을 개발해 유해물질사고 대응 교육의 표준을 선도하고 있다. 또한 선착드론을 활용한 수색 및 위험지역확인, 계류형장비를 활용한 화재현장 실시간 확인, 로봇개를 활용한 위험지역 분석 등 최첨단 장비를 현장에 사용하기 위해 추진 중에 있다. 이에 특수화학구조대에서는 국민 모두가 특수재난 사고로부터 안심할 수 있도록 국민안전 지킴이 역할을 충실히 수행하고 있다.

## 최근 국내 화학사고 동향 분석: 소방청 기초자료 중심으로

조철희<sup>†</sup>

국립소방연구원

## A Review of Statistical Analysis of Recent Domestic Chemical Accidents: Focus on Raw Data of the National Fire Agency(NFA)

**Chul-Hee Cho**<sup>†</sup>

Fire Research Institute

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

According to National Fire Agency statistics for the last 3 years (2020–2022) in Korea, 693 large and small chemical accidents occurred. By province, Gyeonggi-do showed the most accidents. And then, accidents were shown in order of Incheon, Jeonnam, Ulsan, Seoul, Chungnam, Busan, Jeonbuk, Gyeongbuk, Gyeongnam, Chungbuk, and Daegu. By month, the most accidents occurred in August, and many accidents occurred in summer when the temperature was high in June, July and September. In this study, recent chemical accident statistics are used to provide basic data for accident prevention, preparation, and response strategies.

## 공사현장 임시가설용 화재안전모듈 개발 필요성에 관한 연구

이종규 · 이재문 · 이수행 · 민세홍<sup>†</sup>

가천대학교

### A Study on the Need for Development of Fire Safety Module for Construction Site

JongGyu Lee · JaeMoon Lee · SuHaeng Lee · SeHong Min<sup>†</sup>

Gachon University

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

최근 국토교통부에서 공개한 자료에 따르면 2015년부터 전국 건설 착공 현황은 감소하고 있는 반면에 건축물의 평균 연면적 및 층수는 증가하는 추세이다. 이는 규모가 큰 대형공사 현장이 차지하는 비중이 많아진다는 것을 의미하며, 사고 발생 시 대형 인명피해 및 재산피해로 이어질 위험이 현저하다.

2023년 7월 1일부터 '건설 현장 화재안전성능 기준'이 강화되고 방화포, 가스누설경보기, 비상조명등 등 3종의 시설이 추가되었다. 하지만 이러한 설치 의무 설비 강화 기준은 화재 발생 이후의 화재 확산 차단 및 피난 유도를 통한 화재 피해 최소화를 위한 방안으로, 화재 감지가 가능한 감지기에 대한 관련 규정은 포함되지 않는다.

이에 대한 해결 방안으로 본 연구에서는 공사현장의 화재 징후를 조기에 감지하여 화재를 예방하고 화재 발생 시 신속한 화재 진압과 대피가 가능할 수 있는 무선형 이동식 화재 위험 감지 장치를 개발하고자 한다. 개발 내용은 다음과 같다.

첫째, 소방용 무선주파수(447MHz와 2.4GHz)의 응답성을 확인 후 건축물 내부 또는 공사현장 환경을 고려하여 주파수 응답 특성 및 여러 벽체에 화재 감지 신호 및 영상신호 전송이 가능한 주파수 특성을 분석하여 센서·시스템 통신 기술을 개발한다.

둘째, 공사 현황, 위험상황 및 대피안내 등의 정보를 공사장 근로자와 주변 주민들에게 위험상황과 대피안내 등의 정보를 전달할 수 있는 장애물 극복 Mesh Wireless(FSL+)를 이용한 화재 위험정보 전파 기술을 개발한다.

셋째, 열화상 카메라를 이용하여 화재 징후 인식 및 화재 발생 전 위험 상황을 예지하고, 360° 감지가 가능한 4개의 불꽃 감지기를 통해 초기의 화재를 인식하여 열 영상 데이터 및 영상 데이터를 중앙 서버에 전송하여 원격으로도 화재의 위치, 온도, 크기, 방향, 거리 등을 분석할 수 있으며 오동작의 여부까지 확인 가능한 복합형 화재 위험 감지 장치를 개발한다.

넷째, 영상 모니터링 플랫폼을 활용하여 관리자가 쉽게 위험 상황과 화재 상황을 파악하고 대처할 수 있는 모바일 관리 운영 플랫폼을 개발한다.

본 연구에서는 공사현장 화재 발생 위험성 및 현재 법규의 문제점을 분석하여 현장 내 임시가설용 화재안전 모듈 장치 개발의 필요성에 대하여 강조하였다. 위 장치를 통해 공사현장 내 화재의

예방과 화재의 신속한 감지를 통해 빠르고 안전하게 대피할 수 있는 안전 관리 기술을 모색할 수 있을 것이라 기대되며 화재에 의한 인명피해 및 재산피해가 감소할 것이라고 확신한다.

\*\*본 연구는 2023년도 정부(중소벤처기업부)의 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 00219137, DNA기반의 공사현장 임시가설용 화재안전모듈 및 관리운영 플랫폼 개발)

## 도금조 FRP 적층작업 중 발생한 화재사고 원인 분석

최이락<sup>†</sup> · 김천동

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

### Cause Analysis on Fire Accident during lamination Process with FRP in Plating Bath

Yi-rac Choi<sup>†</sup> · Chun-Dong Kim

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

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

2022년 6월 부산 소재 사업장 내에서 도금조 내부 FRP(Fiber Reinforced Plastics) 적층 작업 중 작업발판에 놓여있던 경화제가 바닥에 떨어지면서 화재사고가 발생하였다. 경화제의 반응성 성분인 MEKPO(Methyl Ethyl Ketone Peroxide)는 케톤 계열의 유기과산화물로서, 불포화폴리에스테르수지의 상온 경화를 위해 사용되는 촉매이며 중합반응의 개시제로도 사용된다. 충격과 열에 민감하고 금속이온, 강산, 강알칼리, 산화제, 환원제 등과 반응에 의해 분해 및 폭발을 일으킬 수 있으며 이러한 이물질과의 혼촉에 의한 사고가 꾸준히 발생하고 있다.

현장 확인 결과, 도금조 내부에서 이동식 비계를 사용하여 FRP가 손상된 부분의 면을 다듬는 작업으로 인해 가연성 분진이 다량 발생하여 바닥에 분산된 상태였으며, 여기에 경화제와의 반응으로 반응열이 축적되어 온도가 상승하면서 발화되고, 불포화폴리에스테르수지 내 스티렌 모노머 증기에 착화되면서 화재가 확대된 것으로 추정되었다. 본 연구에서는 시차주사열량계를 이용하여 FRP 성분의 가연성 분진과 경화제와의 혼합에 따른 열적 위험성을 평가하였다. 분진과 경화제의 혼합비 및 승온속도를 달리하여 발열개시온도, 발열최대온도, 반응열 등을 측정하고 이들 결과를 이용하여 활성화에너지를 계산하였다. 또한 최대발열속도에 도달하는 온도 및 시간 등 분해반응의 폭주 가능성을 평가하여 분해거동을 예측함으로써 MEKPO 경화제를 사용한 FRP 적층과 관련된 사고를 예방하기 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## Bow-Tie, 고장형태 영향 분석을 활용한 공정 유해·위험요인 분석

양유호 · 천영우<sup>†</sup>

인하대학교 환경안전융합전공

## A Study on the Analysis of Risk Factors in Process using Bow-Tie and Failure Mode Effectiveness Analysis

Yuho Yang · Youngwoo Chon<sup>†</sup>

Dept. of ET &amp; ST Convergence, Inha University

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

2013년 「산업안전보건법」을 통한 위험성 평가 제도의 도입 이후 현재까지 위험성 평가 실시율 33.8%로 사업장의 인지도가 낮고 형식적으로 실시되는 등 본래 취지를 살리지 못함에 따라 2023년 사업장 위험성 평가에 관한 지침이 재개정되었다. 이에 따라 위험성 평가의 목적을 재정 의함과 동시에 평가시기를 구체화하는 등 기존 위험성 평가 제도의 교정이 이루어졌다. 그 중에서 중소기업에서 위험성 평가를 쉽게 할 수 있도록 방법들을 제안하고 근로자의 참여 또한 보장할 수 있도록 하는 사항들이 이목을 끌고 있다.

2023년 「산업안전보건법」의 개정으로 발간된 위험성 평가 안내서에서 권장하는 위험성 평가 방법은 근로자의 참여를 독려하고 업종 불문하고 위험성 평가의 접근성을 높이는 것을 목적으로 하고 있다. 그 외 위험성 평가 방법에 관련하여 「산업안전보건법 시행규칙」 제50조(공정안전보 고서의 세부 내용 등)에서 다양한 기술적 평가기법의 활용을 인정하고 있고, 고장형태 영향 분석 과 Bow-Tie 모델이 포함된다.

본 연구에서는 공정에서 적용할 수 있는 고장형태 영향 분석 기법을 활용하여 공정 내에 존재하 는 유해·위험요인을 설비에 따라 분석하고자 한다. 해당 분석의 효용성을 판단하기 위해 설비 결 함이 원인이 되는 사고사례에 대한 조사보고서를 참고하였고, 분석한 유해·위험요인을 수치화하기 위해 위험우선순위의 평가 지표인 심각도, 발생도, 검출도를 5점법으로 평가하였다. 평가 지표를 통해 Bow-Tie 기법을 통해 사고를 흐름에 따라 나열할 수 있는데 직접적인 원인과 간접적인 원 인으로 나누어 예방, 대비, 대응이 필요한 사항들을 확인할 수 있다. 이를 통해 설비별 유해·위험 요인을 설비라는 기준에 따라 사고 원인과 결과를 흐름에 맞게 가시화할 수 있다.

## 냉동창고에 설치되는 공기흡입형 연기감지기 파이프 결로현상에 대한 실험적 연구

최수길 · 김민욱 · 이건호<sup>†</sup>

(주)태산전자

### An experimental study on the condensation phenomenon of the air suction type smoke detector pipe installed in a refrigerated warehouse

**Su-Gil Choi · Min-Wook Kim · Gun-Ho Lee<sup>†</sup>**

Tae San Electronics Co., Ltd

<sup>†</sup>Corresponding author: Trans7625@naver.com

현재 우리나라는 산업 발달 및 식품 조달 수요 증가로 인해 냉동창고의 크기와 시설이 증가하고 있다. 하지만 냉동창고의 특성상 실내온도가 영하로 조성되어 있기 때문에 화재발생 가능성이 미미해 보일 수 있지만, 식품 산업과 동반한 냉동·냉장 보관 시설에는 화재에 취약한 종이박스, 팔레트, 포장재와 같은 가연성물질이 다수 있다. 냉동창고 내부 환경은 영하의 온도에 의해 습도가 낮고 공기 중에 있는 수분포화도 또한 낮게 나타나기 때문에 빠른 화재 확산 위험이 내포되어 있다. 또한, 냉동창고 특성상 랙 형태로 다량의 가연물이 적재되어 있어 화재 시 발생하는 연기와 열량은 다른 화재와 달리 매우 높게 나타난다. 이에 따라 화재 초기에 감지하여 냉동창고 내에 보관되어있는 물품 및 재산을 보호하기 위해 화재감지기 중 감지 반응성이 가장 빠른 공기흡입형 연기감지기를 사용하고 있다. 하지만, 공기흡입형 연기감지기의 감지부와 같은 공기흡입 Pipe의 경우 냉동창고 천장에 배치되어 있고 냉동창고의 특성상 제상기능 또는 외기와 접하는 부분에 지속적으로 결로 현상이 발생되어 공기흡입형 Pipe 흡입 구멍이 막히는 현상이 발생되고 있다. 또한 지게차엔진열과 같은 물리적인 상황에 의해 열이 냉동창고로 노출되면서 결로를 생성하게 되는 문제점이 나타난다.

이에 따라 공기흡입형 Pipe에 결로현상 발생 기간과 결로 환경들을 파악하기 위해 소형 냉동창고를 설치하여 공기흡입형 연기감지기 Pipe를 창고 내부에 설치 후 31일간 -20℃를 유지할 수 있도록 전원을 인가하였다. 또한 냉동창고 기능상 내부 송풍팬에 결빙이 되지 않도록 하는 제상기능과 함께 31일간 매일 동일한 시간에 여름철 출입문을 10 min간 개방하고 외기가 냉동창고 내부로 혼입될 수 있도록 조성하였다. 실험결과 실험 시작 후 약 14일 만에 Pipe에 결로가 형성되었고, 실험체 전체에 조성되지는 않았지만, 외기와 접하는 출입문과 송풍팬 풍편이 직접적으로 노출되는 Pipe에 결로현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 공기흡입형 연기감지기 Pipe의 결로현상을 방지할 수 있는 이중형 배관 구조로 하여 홀막힘 등을 방지하는 공기흡입형 연기감지기를 개발하고자 한다.

**Keywords:** Cold Storage, Fire detector, Pipe, frozen warehouses, condensation

\*\*본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(RS-2022-00156237).

## 이성분계 혼합물인 n-Hexanol+Butyric acid 계의 인화점 계산

이성진<sup>†</sup>

세명대학교 임상병리학과

### Calculation of Flash Point for Binary Mixture, n-Hexanol+Butyric acid System

Sungjin Lee<sup>†</sup>

Department of Clinical Laboratory Science, Semyung University

<sup>†</sup>Corresponding author: pappi68@naver.com

산업체에서 취급하는 다양한 물질들 중 가연성 액체 혼합물도 있다. 이들 가연성 액체 혼합물을 저장하고, 수송하고, 상품 생산에 이용할 때 인간에 의한 부주의가 발생하면 화재 및 폭발 사고가 발생할 수 있다. 이와 같은 사고 사례는 수없이 보고되고 있다. 가연성 액체 혼합물을 안전하게 취급하기 위해서는 인화점에 대한 정보가 반드시 확보되어 취급자에게 전달되어야 한다.

인화점은 인화성 액체 표면 위에 점화원을 가할 때 인화가 발생하는 가장 낮은 온도로 정의할 수 있으며, 인화점은 하부인화점과 상부인화점으로 분류할 수 있다. 이 논문에서의 인화점은 하부인화점을 뜻한다.

인화점을 실험에 의해 직접 측정하는 것은 많은 시간과 비용이 소비된다. 또한 독성 물질의 인화점을 측정하는 것은 실험자의 안전을 위협할 수도 있다. 이에 따라 실험을 대신하여 인화점을 효율적으로 계산하는 방법에 대한 수많은 연구들이 수행되어 왔다.

Wickey 등은 탄화수소 액체 혼합물의 인화점을 계산하기 위한 경험식을 제안하였으며, 이 식은 액체상을 이상용액으로 가정하여 유도된 식이다. Affens 등은 휘발유와 경유의 인화점을 계산하는 식을 개발하였으며, 이 식은 기체상은 이상기체로 가정하고 액체상은 이상용액으로 가정하여 유도되었다. Liaw 등은 활동도 계수식을 이용하여 일반적인 가연성 액체 혼합물의 인화점을 계산하는 방법을 개발하였다. 이들은 기체상은 이상기체로 가정하였고, 액체상은 활동도 계수식을 이용하여 설명하는 방법을 사용하였다. 또한 Catoire 등은 가연성 액체 혼합물의 인화점을 계산하는 경험식을 제안하였다. 그들의 방법은 혼합물의 표준증발엔탈피, 평균탄소수와 증기압을 독립변수로 설정하고 인화점 실험값을 종속변수로 설정하였으며, 독립변수와 종속변수의 상관성을 이용해 인화점을 계산하는 방법이었다.

이 논문에서는, 기존에 발표된 논문(Ha et al., J. of the Korean Society of Safety, Vol. 29, No. 6, 2014, pp. 76-80)에 제시된 n-hexanol+butyric acid 계의 하부 인화점을 계산하였다. 이 계는 가연성인 n-hexanol과 가연성인 butyric acid가 여러 가지 물분율로 혼합된 이성분계 액체 혼합물이다. 그룹기여모델인 unifac 식과 본 논문에서 제시한 다중회귀분석법을 이용하여 인화점을 계산하였다. 그리고 두 방법에 의한 계산값을 기존에 발표된 측정값과 각각 비교하였다.

## Water+Ethanol 계의 인화점 측정값을 이용한 기포점 예측

이성진<sup>†</sup>

세명대학교 임상병리학과

## Bubble Point Prediction Using Measured Flash Point of Water+Ethanol System

Sungjin Lee<sup>†</sup>

Department of Clinical Laboratory Science, Semyung University

<sup>†</sup>Corresponding author: pappi68@naver.com

인화점은 불꽃을 액체 용액의 표면에 접근시켰을 때, 인화가 발생하는 최저 온도를 의미한다. 또한 액체 용액의 화재와 폭발의 위험성을 결정짓는 매우 중요한 성질이다. 인화점 정보가 확보되어야만 가연성 액체를 보관하고 수송할 때 안전성을 담보할 수 있다. 즉 보관 용기의 온도와 수송 용기의 온도 조건을 결정하는 데 매우 중요한 정보이다.

인화점을 얻기 위한 방법은 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 하나는 실험을 통해 측정하는 방법이고 다른 하나는 이론적인 모델로 계산하는 방법이다.

인화점을 측정하는 장치로는 Tag 개방식, Cleveland 개방식, Tag 밀폐식, Pensky-Martens 밀폐식, Setaflash 밀폐식 장치 등이 있다. 인화점을 계산하는 모델을 제시한 연구자들로는 Catoire, Affens, Liaw, Ha, Gmehling 등이 있다.

기포점은 기/액 상평형 상태에서 액체상이 기체상으로 변화할 때 기포가 발생하기 시작하는 지점을 의미한다. 또한 기포점은 화학공정을 설계할 때 필요로 하는 중요한 물리적 성질이다.

기포점을 계산하는 다양한 방법이 있다. 첫째는 상태방정식을 사용하여 계산하는 방법이다. 둘째는 기체상은 상태방정식을 사용해 설명하고 액체상은 활동도계수 모델을 이용해 설명하는 방법이다. 셋째는 시스템의 상태가 낮은 압력 조건인 경우에 수정된 라울의 법칙을 적용하는 방법이며, 이 방법에서 기체상은 이상기체로 가정하며 액체상은 활동도 계수식으로 계산하는 방법이다.

액체 혼합물의 기포점을 계산하기 위해서는 이성분계 파라미터가 반드시 필요하며, 이것을 얻기 위한 다양한 방법들이 있다. 그 중 가장 일반적인 방법은, 실험을 통해 확보한 기-액 또는 액-액 상평형 데이터를 상태방정식 혹은 활동도 계수식의 이성분계 파라미터와 상관시켜 최적화된 이성분계 파라미터를 계산하는 방법이다.

반면에 본 연구에서는 기존 방법과는 달리 기포점을 계산하기 위한 이성분계 파라미터를 인화점 측정값을 사용해 계산하였다. 이미 발표된 논문(Ha et al., Fire Sci. Eng., Vol. 29, No. 2, pp 39-43)에 제시된 water+ethanol 계의 인화점 측정값을 사용하였다. 기존의 인화점 측정값을 사용하여 최적화 기법에 의해 Wilson 식의 이성분계 파라미터를 구하였고, 이 파라미터를 이용하여 water+ethanol 계의 기포점을 계산하였다.

## 유해화학물질 취급시설의 사고원인분석 표준화에 관한 연구

이수훈 · 김세윤 · 이민수 · 김의수<sup>†</sup>

한국교통대학교 안전공학과

## A Study on the Standardization of Accident Cause Analysis of Hazardous Chemicals Handling Facilities

Su-Hun Lee · Se-Yoon Kim · Min-Su Lee · Eui-Soo Kim<sup>†</sup>

Department of safety Engineering, Korea National University of Transportation

<sup>†</sup>Corresponding author: es92kim@ut.ac.kr

화학산업은 기술 발전과 관련된 모든 사업에 직·간접적으로 관련되어 있을 뿐만 아니라 산업 규모 측면에서도 매우 큰 비중을 차지하고 있어 국가 국제 성장에 핵심적인 역할을 하고 있다. 화학물질은 폭발성, 인화성 등을 가지고 있어 제조, 운반, 저장, 사용 과정 중에 각종 사고를 일으키기 때문에 주의가 요구된다. 2012년 화학 사고의 발생 건수가 연평균 15건 이하에서 2013년 이후 연평균 80건 이상으로 급증하게 되면서 화학물질에 대한 체계적인 관리와 사고 예방을 위한 필요성이 대두되었고 2012년 구미 불산누출사고를 계기로 2007년 개정된 유해 화학물질 관리법을 세분화하여 화학물질 등록·평가법과 화학물질관리법으로 안전관리가 시행되고 있다. 화학물질관리법에서는 사고 예방을 위해 유해화학물질 취급시설을 일반 취급시설과 소량 취급시설로 나누어 분류하였고 일반 취급설비와 소량 취급설비를 각각 제조·사용시설, 저장·보관시설, 운반시설 등으로 분류하여 자체검사, 설치검사, 정기·수시검사 등 세분화된 검사 체계를 구축했으나, 현재까지 화학사고의 발생 건수는 큰 변화를 나타내지 않고 있다. 사고 예방에 있어서는 사고조사를 통해 정확하고 객관적인 원인을 규명하고 이를 제거하는 것이 매우 중요하나 현재 국내 화학물질관리법은 이러한 표준화된 사고조사 체계가 구축되어 있지 않기 때문에 실제적인 사고 예방 활동에 어려움이 있다. 사고조사체계는 유해화학물질 사고의 특성상 다양하고 복합적인 피해 유형이 수반되기 때문에 체계적이고 전문화된 원인조사를 위해서는 현장에서 사고원인 규명에 기본이 되는 사고조사 체크리스트는 사고조사체계를 구축하는 기본적인 요소로 반드시 필요하다. 취급시설에 있어 사고원인 조사는 취급시설의 설치 및 점검에 오류가 있을 경우 대부분 발생함으로 본 연구에서는 유해화학물질 일반취급시설의 설치·정기·수시 검사표와 소량 취급시설의 기준과 항목을 비교·분석한 후 누설, 화재폭발, 시설결함 등 사고시나리오에 맞게 각 설비별(제조·사용시설, 저장시설, 보관시설, 차량 운송시설, 차량 운반시설, 배관 이송시설) 조사항목과 조사 방법을 추가함으로써 현장에서 직접 적용할 수 있는 유해화학물질 취급시설의 사고원인분석 표준화 체계를 제시하고자 한다.

## 폐황산 재사용 공정의 안전성 향상 대책

이진우 · 김우태 · 임세훈 · 권남호<sup>†</sup>

한국산업안전보건공단 경북지역본부

### Safety Improvement Plan for Waste Sulfuric Acid Reuse Process

Lee Jin Woo · Kim Woo Tae · Yim Sae Hoon · Kwon Nam Ho<sup>†</sup>

KOSHA

<sup>†</sup>Corresponding author: 9205792@kosha.or.kr

황산은 다양한 화학공정(Chemical process)에서 생성되는 화학물질로 염산, 질산 등과 함께 대표적인 강산(Strong acid)으로 분류되는 물질이다. 국내에서는 주로 황이나 황화 철광 등을 태울 때 발생하는 이산화황(SO<sub>2</sub>)을 삼산화황(SO<sub>3</sub>)으로 전환(Convert)하여 물에 용해시켜 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)을 제조하는 접촉 공정법을 사용하여 대량으로 제조된다. 황산은 다양한 산업 분야에서 수소이온 농도(pH)조절제, 반응공정의 원료, 산세용액, 전해용액, 양이온교환수지, 도금공정의 속도 조절제 등으로 사용되어 비료, 농약, 반도체, 도금제품, 화학약품, 염료, 섬유, 접착제와 혼산(Mixed acid) 등을 생산하는데 이용된다.

이러한 유용성에 반하여 황산은 물과 혼합될 경우 급격히 이온화되면서 다량의 희석열이 발생되고 부식성과 반응성 및 독성이 강하여 위험성이 큰 화학물질이므로 취급에 상당한 주의가 필요하다. 특히 질산이나 불산 등 다른 산성 물질과 혼합될 경우 산화력과 부식성 등이 강해지고 금속 등과 반응할 경우 부가적인 독성물질을 발생시키는 것으로 알려져 있어 취급에 더욱 주의가 필요하다.

하지만 황산사용공정에서 취급 및 관리 소홀에 의한 누출사고가 지속적으로 발생하여 경제적 손실과 인명피해를 발생시키고 있다. 특히 최근에 산세공정 등에서 이미 사용되어 폐기된 황산을 수거하여 폐수처리장의 수소이온농도(pH)조절제로 재활용하다가 이상반응에 의해 과열과 함께 독성가스가 발생하여 외부로 누출된 사고가 발생하였다. 이 사고는 다행히 인명피해는 발생하지 않았지만 인근 지역 사회에 큰 불안을 초래하였다. 사업장에서는 환경적, 경제적 이유로 폐황산을 재활용하는 사례가 증가됨에 따라 안전성 향상에 대한 요구가 증대되고 있다.

따라서 본 연구에서는 위의 폐수처리장 누출 사고를 분석하고 기술적, 관리적 대책을 도출함으로써 폐황산 재활용 공정의 안전성 향상대책을 제시하고자 하였다. 그 결과로 폐황산 저장탱크에 온도감지기 및 이상상태 경보장치 설치 등의 공학적 대책과 폐황산 공급처 등록과 성분확인절차 및 입고 절차 확립 등과 같은 관리적 대책이 도출되었다.

\*\*본 과제(결과물)은 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2021RIS-001(1345356234))

## 수소취급시설의 누출특성에 따른 폭발위험범위 산정에 관한 연구

안승효 · 문명환 · 마병철<sup>†</sup>

전남대학교 화학공학과

## A Study on the Evaluation of the Hazardous Distances by Release Characteristics of Hydrogen Handling Facilities

Seunghyo An · Myeonghwan Moon · Byunghol Ma<sup>†</sup>

Chonnam National University, Department of Chemical Engineering

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

국내·외 화학사고가 지속적으로 발생함에 따라, 국내 화학물질 취급시설에서는 이러한 화재 및 폭발사고를 예방하기 위해 KS C IEC 60079-10-1을 준용하여 폭발위험장소를 구분하고 있다. 이러한 폭발위험장소는 과대 및 과소 평가 시 경제적 또는 안전상의 문제를 야기할 수 있으므로 정확하게 폭발위험범위를 산정하는 것이 중요하다. 이를 위해, IEC 기준에서는 누출률과 가스밀도, 인화성하한(LFL)을 기준으로 누출특성 값을 도출하여 획일적인 차트로부터 폭발위험범위를 결정하는 방법을 제시하고 있다. 다만, 차트의 정확한 수식 및 값, 계산 방법 등이 제시되어 있지 않고, 환기 조건이 이러한 폭발위험범위 산정에 영향을 미치지 않아 실효성과 타당성에 대한 의문이 제기되었다. 따라서, 본 연구에서는 수소를 대상으로 누출특성에 따른 폭발위험범위 산정 결과를 차트로 제시하였으며, 현행 IEC 기준과 비교·분석하였다. 이를 위해, 동일한 누출특성 값에 도달하도록 누출원 면적과 압력을 변수로 설정하였으며, IEC 기준에 따른 폭발위험장소 구분 프로그램 KOSHA e-HAC 과 시뮬레이션 프로그램 PHAST, HyRAM을 활용하여 폭발위험범위(LFL)를 도출하고 이를 회귀식으로 제시하였다. 또한, 실외 대기조건에 따른 폭발위험범위 영향 평가를 위해 PHAST를 기반으로 KOSHA Guide 최악 및 대안의 사고 시나리오 대기조건을 적용하였다. 그 결과, 시뮬레이션 프로그램이 IEC 기준 보다 보수적인 값을 산정하였으며, 수소 누출 시 풍속 및 대기안정도가 폭발위험범위에 지배적인 영향을 미치는 것을 확인하였다. 이처럼, 폭발위험장소 구분 시 시뮬레이션을 기반으로 물질의 물리화학적 특성을 고려하여 상세하게 누출원 모델링이 수행되어야 하며 이는 과학적이고 정확한 폭발위험범위를 산정할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구를 통해, 기존 폭발위험범위 차트 해석에 대한 어려움을 해결하고, 제한된 범위에서 발생가능한 안전사고 사각지대를 해소함으로써 안전성을 확보하고 화학사고를 예방할수 있을 것으로 기대된다.

# Author Index



강경석 A306  
 강서일 B110  
 강희진 C405  
 권남호 P08  
 권혁화 B402  
 권형용 A503  
 길용찬 C403  
 김강현 B201  
 김기태 C103  
 김길중 A302  
 김민지 A403, B401  
 김민찬 C306  
 김백제 C402  
 김부승 C201  
 김상현 B102  
 김수경 C206  
 김신범 C101  
 김영래 C506  
 김용진 B111  
 김은희 B101  
 김인범 A201  
 김재엽 A507  
 김정민 C203  
 김정환 A109  
 김종민 A103  
 김주석 C503  
 김태훈 A203  
 김현석 B506  
 김형석 A601



나용운 C504



맹주희 C208  
 모진택 B106  
 모효정 C305  
 민세홍 A501



박성인 A105  
 박성진 A108  
 박소영 B501  
 박시은 C307  
 박정호 C407  
 박주현 A110  
 박준범 B305  
 박진형 B203  
 반준화 C502  
 배명남 B503  
 배반석 B309  
 배상집 A207



서동균 B308  
 선우건의 B405  
 신영민 C505  
 심종호 A205



안승호 P09  
 안정운 A404  
 양유호 A402, P03  
 엄태완 B508

여옥현 B502  
 오유라 A502  
 왕순주 C301, C309  
 원종운 B202  
 유은결 C202  
 유재길 A204  
 유현철 B105  
 윤문상 C207  
 윤여현 C304  
 윤태균 A509  
 이기준 C501  
 이동윤 B108  
 이동현 C204  
 이명애 A504  
 이병호 A304  
 이성진 P05, P06  
 이성훈 B507  
 이수훈 P07  
 이승훈 B104  
 이연건 B304  
 이연하 B302  
 이용재 A206  
 이우귀연 A106  
 이윤호 B109  
 이은정 C102  
 이재웅 A102  
 이재호 A508  
 이정훈 C205  
 이종규 A506, P01  
 이준서 B107  
 이종표 A305  
 이진백 B406  
 이항준 A301  
 이형기 A303  
 이화영 A101  
 임근영 B404

ㄱ

|     |      |
|-----|------|
| 장시호 | B303 |
| 장윤덕 | C302 |
| 장 환 | B505 |
| 정영민 | A401 |
| 조영광 | A104 |
| 조철희 | C508 |
| 주민언 | A505 |
| 주세민 | B301 |

ㄴ

|      |                          |
|------|--------------------------|
| 최경식  | B403                     |
| 최나영환 | C406                     |
| 최대해  | C308                     |
| 최동권  | A407                     |
| 최두찬  | A307, A308<br>A309, A310 |
| 최수길  | P04                      |
| 최영주  | A107                     |
| 최이락  | P02                      |
| 최진영  | B103                     |
| 최태수  | B306                     |

ㄷ

|     |      |
|-----|------|
| 피혜영 | C303 |
|-----|------|

ㄹ

|     |      |
|-----|------|
| 허덕경 | C401 |
| 허민희 | A208 |
| 홍승목 | C507 |
| 황승울 | C404 |
| 황종록 | A202 |

F-H

|              |      |
|--------------|------|
| Faruk Celik  | B307 |
| Hai Van Dang | B504 |

이 발표논문집은 산업안전보건연구원의 지원을 받아 발간되었음.

This conference proceedings was supported by the Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI).

# 제11회 한국위험물학회 정기총회 및 학술대회 초록집

2023. 8. 23(수) 12:00 ~ 25(금) 11:00 / BEXCO 제2전시장 1층, 3층



**(사)한국위험물학회**  
Korean Institute of Hazardous Materials

서울 서대문구 연세로 50 연세대학교 공학원 416B (사)한국위험물학회  
Tel: 02-313-9375, E-mail: master@kihm.or.kr