

제10회 한국위험물학회 정기총회 및 학술대회 초록집

- 중대재해처벌법하에서의 선제적 위험물 안전관리 -

일시 | 2022. 8. 18(목) 12:00 ~ 19(금) 16:30

장소 | BEXCO 제2전시장 1층, 3층

주 최 (사)한국위험물학회

협 찬 SK이노베이션(주), GS칼텍스(주), 삼성전자(주), (주)한컴라이프케어,
한국산업안전보건공단, 한국가스안전공사, 한국가스공사 가스연구원,
(주)유티이씨, (주)한화, 한방유비스(주), 한국소방안전원, (주)한백에프앤씨,
알파안전(주), 산업안전보건연구원, (주)연합안전컨설팅,
되고시스템(주), (주)코너스, (주)유민에스티, (주)새빛테크,
전남대학교 공정혁신 시뮬레이션센터, 가천대학교,
한국전자통신연구원, 한국소방산업기술원



제10회 한국위험물학회 정기총회 및 학술대회 초록집

- 중대재해처벌법하에서의 선제적 위험물 안전관리-

일시 | 2022. 8. 18(목) 12:00 ~ 19(금) 16:30
장소 | BEXCO 제2전시장 1층, 3층

주 최 (사)한국위험물학회

협 찬 SK이노베이션(주), GS칼텍스(주), 삼성전자(주), ㈜한컴라이프케어,
한국산업안전보건공단, 한국가스안전공사, 한국가스공사 가스연구원,
(주)유티이씨, (주)한화, 한방유비스(주), 한국소방안전원, (주)한백에프앤씨,
알파안전(주), 산업안전보건연구원, (주)연합안전컨설팅, 되고시스템(주),
(주)코너스, (주)유민에스티, (주)새빛테크, 전남대학교 공정혁신 시뮬레이션센터,
가천대학교, 한국전자통신연구원, 한국소방산업기술원

Contents

A1 가스안전

- A101 PE배관 스퀴즈오프 작업 절차서 개발 연구 1
서호성 · 이화영 · 김성희 · 김지룡 · 이재훈(한국가스안전공사)
- A102 암모니아 물성 분석을 통한 용기 파열사고 분석과 TPRD의 유효성 검토 2
조혜진 · 이민경 · 이재훈(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A103 수소충전 계량시스템 구축을 위한 시공 및 계량성능 평가장치 위험성 분석 3
장현우 · 김민주 · 이화영 · 이재훈(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A104 PAUT 절차서 검증 체계 현황 분석 4
김민주 · 이민경 · 김정환 · 이재훈(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A105 암모니아 사고 사례 분석을 통한 선박충전 시설 적용 연구 5
전은경 · 최영주 · 김필중(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A106 LPG 자동차 셀프충전을 위한 국내·외 사례 및 기준 조사 6
윤지수 · 이경식(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A107 독성가스 검지 경보 기준 및 국내 독성가스 시설 감지기 운용 현황 분석 7
김소현 · 이경식 · 유근준(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A108 피해영향 평가 결과에 따른 안전거리 기반 작업자 안전관리 시스템 8
위재민 · 이효렬(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A109 고압가스 제조 시설에서 현장 상황 반응을 위한 유기적 사고 시나리오
선정에 관한 연구 9
이효렬 · 이경식 · 유근준(한국가스안전공사 가스안전연구원)

A2 안전교육 · 안전정책

- A201 옥외탱크저장소의 안전기준에 대한 법적 기준 검토 10
차정민 · 이용재 · 김인범 · 현성호(경민대학교) · 유재길(서울과학기술대학교) · 이택규(주위이엔지)
- A202 폴리머애자 표면에 오염된 Soot에 의한 플래시오버 특성에 관한 실험적 연구 11
김지훈(주한국RMC)
- A203 화재에 노출되었던 소방 방화복 세탁물 유해물질의 특성 13
김수진(서울특별시소방학교 소방과학연구센터) · 이준연 · 홍주희(서울특별시 보건환경연구원) ·
함승현(가천대 길병원 직업환경의학과)
- A204 국가직무능력표준(NCS) 비교를 통한 위험물안전관리자 안전교육
개선에 관한 연구 14
시상수(한국소방안전원) · 한상필(상지대학교)

A205	화학사고 대응을 위한 교육·훈련 시설 및 프로그램 현황 분석	15
	이세용·김동엽·류지성·권동욱(화학물질안전원)·유병태(한국교통대학교)· 조인우·김지원((주)비엘)	
A206	화학사고 초동대응 훈련을 통한 유해화학물질 누출 조치 교육·훈련에 관한 연구	16
	김동엽·권동욱·류지성·이세용(화학물질안전원)	
A207	피난시물레이션을 활용한 소방대의 현장대응시간 평가에 관한 연구	17
	권순범(대구소방안전본부)	
A208	자동차 ABS 모듈 발화 메커니즘에 관한 실험적 연구	18
	진용기·이영병(서울소방재난본부)·김효인·남상훈(자동차안전연구원)	

A3

소방안전(1)_화재안전, 소방안전(2)_화재폭발

A301	소방관점에서 고찰한 리튬이온전지의 위험성	19
	권경옥(전주대학교)·김영근(소방산업기술원)	
A302	단일경로 파이프를 갖는 공기흡입형 화재감지기의 화재 위치 추적에 관한 연구	20
	이영만·Ha Thien Kheu(올라이트라이프(주))	
A303	3성분계 양극재의 고온에서 가스 발생에 따른 리튬이온 배터리 스웰링 거동 특성 및 열 폭주 위험성 분석	21
	강경석(구리소방서)·임상후(한국기계전기전자시험연구원)	
A304	고층 공동주택의 승강식피난기 적응성 분석	22
	박유진·최규출((주)아세아방재 기술연구소)	
A305	도로터널 내 위험물 차량 화재시 제연설비 성능에 대한 수치적 연구	23
	하예진·전준호(부경대학교)	
A306	위험물 시설 화재 방호를 위한 단일유체노즐 미세물분무의 열복사 감쇠 성능 측정	24
	강준석·이치영(부경대학교)	
A307	화염높이의 실시간 측정을 위한 광학장치의 검증	25
	양현혁·문선여·황철홍(대전대학교)	
A308	불연속적으로 배열된 폼 블록의 길이 규모에 따른 화재확산에 관한 실험적 연구	26
	한호식·황철홍(대전대학교)	
A309	화학공장 화재·폭발사고 원인분석 및 재발방지대책에 관한 연구	27
	안수빈(국립재난안전연구원)	
A310	디퓨저의 자연발화에 관한 연구	28
	김성준·최재욱(부경대학교)	
A311	습도 발생에 따른 연기감지기 비화재보 실험에 관한 연구	29
	최수길·최유정·김시국(호서대학교)	

A4

특별세션(1)_정유·석유·화학안전(SK에너지)

A401	탄광 속 카나리아의 Digital Transformation(밀폐공간 가스감지시스템) 30 노동주 · 박혜준(SK에너지)
A402	갱신 및 유효성 확인 기법 위험성평가 사례 31 최혜민(SK에너지)
A403	중질유탈황공정 및 수소제조공정 QRA 사례 32 모진택(SK에너지) · 김기수(KS S&C)
A404	데이터의 허브, 차세대 설비관리 OCEAN-H 33 정창훈 · 김강석 · 조병호(SK에너지)
A405	SK에너지의 지역사회 Social Value 창출을 위한 Tech Consulting 활동 34 이상모 · 김석민(SK에너지)

A5

특별세션(2)_ICT융복합화재·재난과학연구센터(가천대학교)

A501	국가 R&D 연구의 성공적 수행에 관한 연구 35 민세홍 · 이재문 · 사재천 · 한봉훈(가천대학교)
A502	위험물 저장시설의 화재예방에 관한 연구 36 민세홍 · 김진석 · 황현배 · 이재문 · 사재천(가천대학교)
A503	소화수조 전용 내진 버팀대 개발 연구 37 허동필 · 한봉훈 · 민세홍(가천대학교)
A504	소화전 함의 내진설계 방법과 내진성능평가 연구 38 오홍균 · 민세홍(가천대학교)
A505	공동주택에서 화재·피난시뮬레이션 수행 시 소방설비 작동 적정성 판단에 관한 연구 39 김길중 · 민세홍(가천대학교)
A506	공동주택 대피공간 차열방화문의 내화시험방법 개선에 관한 연구 40 김민재 · 민세홍(가천대학교)
A507	풍력터빈 나셀의 화재감시와 소화설비에 관한 연구 41 정광민 · 민세홍(가천대학교)
A508	대기환경보전법에 근거한 석유류 옥외저장탱크의 대기오염 방지시설 적정성 평가 42 조태윤 · 민세홍(가천대학교)

A6

중처법 대응 위험물 안전관리

- A601 중대재해처벌법 시행에 따른 대응전략(특별강연)
합병호(한국교통대)
- A602 석유화학공장을 대상으로 한 중대재해처벌법 이행점검 사례 43
이형섭(명지대학교) · 양형규 · 이상훈(산업안전기술단)
- A603 중대 재해예방을 위한 안전관리 고도화 사례(M-PJT) 44
이윤호(LG화학)
- A604 안전사고 예방을 위한 작업자 및 조직 성과 향상 방안 45
심종호(주포스코)
- A605 AI와 디지털 기술 활용, 중처법 대응을 위한 인텔리비전 개발 및 적용사례 46
서정완 · 차소진 · 이찬호 · 김동오(주코너스)

B1

석유화학

- B101 운전원 교육 시뮬레이터(OTS)를 위한 화학사고 콘텐츠 개발 47
이준서 · 오세현 · 장은희 · 마병철(전남대학교 화학공학과)
- B102 석유화학업종에서의 비점배출원 배출특성 48
구치완(주LG화학)
- B103 정량적 위험성 평가 소프트웨어 활용 방안 연구 49
한효진 · 김동인 · 김동현(주LG화학)
- B104 중대산업사고와 공정안전관리제도 50
임지표 · 서동혁(한국산업안전보건공단)
- B105 PDCA 기반 화학사고예방관리계획 자체 이행점검 체계 51
김재영 · 최민영 · 최용혁 · 염혜성 · 신창현(화학물질안전원)
- B106 CFD를 이용한 화학사고 방재시스템 연구 52
조승범 · 류대인 · 박한옥 · 최민영 · 김승하 · 신창현(화학물질안전원)

B2

위험물운송

- B201 위험물질 수송차량의 국내 고속도로 사고요인탐색 연구:
Fault Tree Analysis의 적용 53
김강현 · 홍정열(계명대학교) · 최윤혁(한국도로공사)

B3

원자력안전

- B301 환형관 내 과냉각 비등 유동 조건에서의 계면면적밀도 상관식 개발 54
문정민 · 강진훈 · 정재준 · 윤병조(부산대학교)
- B302 가압 경수형 원전환경 크러드 침적 모사 실험 장치 구축 및 예비 성능 평가 55
김지용 · 이윤주 · 함준혁 · 김지현 · 방인철(울산과학기술원)
- B303 열수력 안전해석코드 MARS-KS의 부수로 해석성능 평가 56
이윤석 · 김태완(인천대학교)
- B304 2중 광섬유 센서를 이용한 수직 환상분무유동 액적 변수 측정과 액적 크기모델 개발 57
김태호 · 문정민 · 정재준 · 윤병조(부산대학교)
- B305 LDM과 CFD 해석을 연계한 원자력 발전소 주변의 방사성 물질 확산 모델링 방법 개발 58
박주룡 · 장시호 · 임경동 · 김용수(서울대학교) · 김주빈(중앙대학교)
- B306 적외선 열화상 및 딥러닝 기반의 원자력 발전소 진단 기술 개발 59
진익재 · 임도영 · 방인철(울산과학기술원)
- B307 원전사고 최적대응을 위한 사고시 원전주요상태변수 및 환경영향 예측 60
방영석 · 김진엽 · 이수원(주미래와도전) · 조재현 · 박진희(주한국원자력연구원)
- B308 원전 사고 시나리오 생성을 위한 강화학습 구현 및 지도학습을 통한 강화학습 환경 구축 연구 61
송석호 · 이정익(한국과학기술원)

B4

위험물 리스크 평가 및 사고대응 경진대회

- B401 사고조사 기법(Bow-Tie, Accimap, Root Cause Analysis)을 활용한 국내 화학사고 보고서 한계점 도출 및 개선사항에 관한 연구 62
김학재 · 김지현 · 박승주 · 최진우 · 천영우(인하대학교)
- B402 음성인식 기반 위험물질 취급 및 초기대응 정보 제공 다국어 AI 서비스 63
이훈기 · 신동일(명지대학교)
- B403 화재요인 및 현장 대응 특성에 따른 재산피해액 예측을 위한 회귀분석 및 기계학습 모델 비교 64
장동국 · 신동일(명지대학교)
- B404 산소공장에서 제논/크립톤 추출 공정개발을 위한 위험성 평가 65
안광재 · 손남정 · 이근원 · 정승호(아주대학교)

B5

특별세션(3)_실감형 재난관리(ETRI)

- B501 실감형 재난관리 서비스 인식 연구 66
최우철 · 김태훈(한국건설기술연구원)
- B502 자율 주행 로봇을 활용한 소방 시설물 위치 인식 67
전지훈 · 홍상기 · 이강복(한국전자통신연구원) · 오다숨(과학기술연합대학원대학교)
- B503 소방민원센터 개선을 위한 소방시설점검 서비스 기술 활용에 관한 연구 69
이두루나 · 최두찬 · 김희문 · 황현수 · 김전수(한방유비스㈜)
- B504 SOP 기반 맞춤형 재난 상황관리 정보 및 의사결정 지원 제공 방법 71
김은주 · 이해선 · 임선화 · 홍상기 · 이강복(한국전자통신연구원)
- B505 석유화학공장 질식 사고 방지를 위한 웨어러블 가스측정 시스템 72
신동범 · 조광수 · 이강복(한국전자통신연구원)
- B506 산불 조기 감지 위한 ICT 기술 활용 연구 74
김현석 · 김수철 · 박소영 · 이강복(한국전자통신연구원)
- B507 UWB 기반의 현장 대원 간의 상대 거리 측정 방법 75
이상연 · 전지훈 · 이강복(한국전자통신연구원)
- B508 스마트 시티 화재안전관리를 위한 실감형재난관리 기술개발 77
홍상기 · 임선화 · 이강복(한국전자통신연구원)

C1

환경안전 및 RISK관리

- C101 화학사고 통계분석을 통한 사고조사 대상 선정기준 마련 연구 78
박춘화 · 남근우 · 김병훈 · 황승율(화학물질안전원)
- C102 인화알루미늄 이상반응에 따른 섬광화재 원인 분석 및 개선 대책 연구 79
남근우 · 박춘화 · 김병훈 · 황승율(화학물질안전원)
- C103 화학사고 영향조사를 위한 예비조사 사례연구 80
이지호 · 조아름 · 임지영 · 황승율(화학물질안전원)
- C104 유해화학물질 운반차량 사고 안전관리 방안 연구 81
김찬식 · 조아름 · 이지호 · 임지영 · 황승율(화학물질안전원)
- C105 3D CFD 기술을 적용한 폭발사고 원인규명 사례 및 개선 대책 연구 82
김병훈 · 박춘화 · 남근우 · 김태경 · 황승율(화학물질안전원)

C2

수소안전

- C201 수소자동차 연료탱크 안전 충전조건 및 열적특성 연구 83
윤정환 · 최정주 · 전경숙 · 허다영 · 오승준(동아대학교)
- C202 수소 벤트라인에서의 화염방지기 활용 84
고성진((재)한국조선해양기자재연구원)
- C203 수소전기차용 타입IV 용기라이너의 수소투과성에 관한 연구 85
김완진 · 배민관(주식회사 대하) · 조성민 · 전호병(한국가스안전공사)
- C204 건물용 수소추출기 연계 연료전지 시스템 안전기준 개발 현황 86
김수경 · 추지안 · 염지웅 · 이정운(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- C205 이동형 연료전지 활용처별 안전기준 부합화를 위한 위험요소 분석 87
조인록 · 최재욱 · 이정운(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- C206 신기술 수소제조설비 설비 운전특성 및 안전기준 개발 방향성 도출 88
권준열 · 이재진 · 염지웅 · 추지안 · 이정운(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- C207 HAZOP과 LOPA분석을 통한 수소충전프로토콜 개선 89
박진형 · 박동하 · 허재림 · 박교식(숭실대학교) · 채충근(미래기준연구소)
- C208 광역수소충전소 테스트베드 안전성평가에 관한 연구 90
김부승 · 김혜림 · 조충희 · 오정석(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- C209 대용량 운송용 복합용기 안전기준 방향성 연구 91
정현도 · 이동현(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- C210 액화수소 운송·저장 용기 및 탱크 실증 안전기준 분석 92
이동현 · 오정석 · 유방현(한국가스안전공사 가스안전연구원)

C3

보건안전

- C301 보건계열 학생의 유해화학물질 인식 및 교육의 필요성 대한 연구 93
피혜영(대원대학교)
- C302 빅데이터를 활용한 화학물질 안전사고 손상환자의 특징 분석 94
강인혜(대원대학교) · 이강현(연세대학교)
- C303 생활 속 화학물질 노출로 인한 피해 감시 방안 96
김신범 · 최영은(노동환경건강연구소) · 김솔아 · 박주옥(한림대학교동탄병원) ·
박동욱(한국방송통신대학교) · 이미진(경북대학교의과대학) · 소병학(가톨릭대학교성빈센트병원)
- C304 중대재해의 적절한 대응을 위한 산업체 응급의료체계 관련 법률 및
지침 고찰(미국을 중심으로) 97
김은택(호남대학교) · 박시은(동강대학교)
- C305 위험물 운반사고 발생에 대한 해양원격응급의료시스템 분석 연구 98
양현모(한국교통대학교)
- C306 고압산소챔버 기반 유해가스의료대응기반지수 개발 100
왕순주 · 강푸른(한림대학교) · 한민섭(한림대학교동탄성심병원)

C4-A 반도체안전

- C401 반도체 산업 취급물질과 사업장 안전관리 101
윤영환 · 김서영 · 전효신(삼성전자(주))
- C402 반도체 사업에서의 수소 폭발 실험과 CFD 시뮬레이션 102
이광호 · 민미미 · 문균태 · 정승호(삼성전자(주))
- C403 AI와 디지털트윈 활용 반도체공장 근로자 안전관리 103
김동오 · 최장원(주코너스)

C4-B 해양위험물·해양오염

- C404 해양오염과 국립공원 해양생태계 건강성 평가 104
안중관 · 장성진(국립공원연구원 해양연구센터)
- C405 미세플라스틱 흡입기로 해양쓰레기 관리방식 전환 105
허덕경 · 신창호 · 이재성 · 송지원 · 김한진(국립공원공단)

C5 특별세션(4)_위험물 사고예방 및 대응(소방청)

- C501 위험물 사고조사 제도의 운영 및 발전 방향 106
김수희(소방청 화재예방국 위험물안전과)
- C502 전기차 배터리팩 화재 진압에 관한 실험적 연구 107
나용운(국립소방연구원 대응기술연구실)
- C503 대용량포 방사시스템 활용방안 108
박종복(중앙119구조본부 특수대응훈련과)
- C504 화학사고 대응을 위한 소방정보시스템의 연계 구축 방안 109
방남세(중앙119구조본부 충주119화학구조센터) · 이연희(화학물질안전원)
- C505 위험물 화재 시 효율적인 소화약제 선정 110
신병문(중앙119구조본부 특수대응훈련과)
- C506 질산 이동탱크저장소 누출사고 피해 영향범위 분석 연구 111
윤종찬 · 박태영 · 송병준 · 정윤철 · 한주현(중앙소방학교 교육훈련과)
- C507 사업장 소방비상대응훈련 실태 및 평가에 관한 고찰 112
정무현(한국소방안전원 안전관리부)
- C508 소방대원 『화학사고 현장대응 가이드북』 개발 및 활용법 113
조철희(국립소방연구원 소방정책연구실)

P

포스터발표

P01.	활성탄 분진의 화재·폭발 위험성에 관한 연구	114
	<u>최이락</u> · 서동현 · 이준영 · 한우섭(한국산업안전보건공단)	
P02.	비가연성 성분이 포함된 이성분계 혼합물의 인화점 예측	115
	<u>이성진</u> (세명대학교)	
P03.	SWOT 분석을 통한 호흡보호구 현장적용 사용 매뉴얼 개발	116
	<u>이재호</u> · 이재문 · 민세홍(가천대학교)	
P04.	공동구 시뮬레이션에 필요한 시나리오 생성 알고리즘 연구	117
	<u>김재엽</u> · 이상엽 · 이재문 · 민세홍(가천대학교)	
P05.	냉장·냉동 창고의 화재대응을 위한 방향성 제시에 관한 연구	118
	<u>김민석</u> · 이상범 · 민세홍(가천대학교)	
P06.	석유화학 단지 내 수소 취급 공정 신설로 인한 화재·폭발 및 취급물질 독성 영향 범위의 비교와 관리 우선순위 선정	120
	<u>최진우</u> · 천영우(인하대학교)	
P07.	증강현실 기술을 활용한 화학안전 교육 활용방안 연구	121
	<u>홍혜인</u> · 박중돈 · 류지성 · 권동욱(화학물질안전원)	
P08.	LNG 플랜트에서 가스누출로 인한 폭발시뮬레이션의 방법론 비교	122
	<u>박소민</u> · 정승호 · 민미미 · 안광재 · 이근원(아주대학교) · 방부형(경기과학기술대학교)	
P09.	IoT 기술을 활용한 고소 추락 재해 예방 솔루션	123
	<u>나동혁</u> · 신은지 · 이소희 · 김진혁 · 박명남(주모박스)	
P10.	휘발유 유증기의 폭발 특성에 관한 연구	124
	<u>김성준</u> · 최재욱(부경대학교)	
P11.	국내외 화학물질 관련 규제 내 유해성 평가 절차 비교분석에 관한 연구	125
	<u>박성수</u> · 천영우(인하대학교)	
P12.	Bow-Tie과 Accimap를 활용한 사고조사 비교 분석 및 개선사항 도출에 관한 연구	126
	<u>김학재</u> · 천영우(인하대학교)	
P13.	위험물안전관리법령과 국제적 위험물 분류체계에서의 폭발성 물질 관계에 관한 연구	127
	<u>주효진</u> · 반준화(한국소방산업기술원)	
P14.	VOCs 측정을 통한 화학물질 취급 사업장의 환기 실태 파악 및 사업장 내 환기 개선에 관한 연구	128
	<u>김민주</u> · 김민선 · 김태영 · 천영우(인하대학교)	
P15.	CFD 모델을 이용한 아세톤 풀(Pool) 증발에 관한 연구	129
	<u>김은희</u> · 이슬기 · 안승효 · 문명환 · 마병철(전남대학교)	
P16.	소방 안전자 교육용 데이터베이스 개발	130
	<u>윤형준</u> · 고정훈(주유티이씨)	
P17.	가동원전 지능형 화재방호시스템 및 유지관리체계 개발을 위한 연구	131
	<u>김학경</u> · 최두찬 · 황현수 · 김상일 · 김전수 · 고민혁 · 이두루나 · 남기태(한방유비스주)	

P18. 연구실험실 관련 사고 예방 및 법규 준수를 위한 표준 체크리스트 132
 윤성안 · 김홍관 · 천영우(인하대학교)

P19. 열매체유공정 안전성 향상 방안을 위한 사고사례 고찰 133
 권남호 · 최영택(한국산업안전보건공단) · 김동준(경일대학교)

P20. 그리드 규모의 에너지 저장 시스템(EES)에서의 위험성 평가 134
 김정동 · Meng Qi · 홍석영 · 김민수 · 오승현 · 장교진 · 문일(연세대학교)

	Author Index	135
--	---------------------------	------------

PE배관 스퀴즈오프 작업 절차서 개발 연구

서호성 · 이화영 · 길성희 · 김지룡 · 이재훈[†]

한국가스안전공사

A study on development of work procedure to squeeze-off for Polyethylene(PE) gas pipe

Ho seong Seo · Hwa young Lee · Seong hee Gil · Ji-ryong Kim · Jae-hun Lee[†]

Korea Gas Safety Corporation, Eumseong 27738, Republic of Korea

[†]Corresponding author: sasimi@kgs.or.kr

최근 도시가스 및 LPG 배관망 사업으로 인한 지하매설 폴리에틸렌(PE) 가스배관 사용의 증가에 따라 스퀴즈 오프 작업이 지속적으로 발생하고 있다. 스퀴즈오프 작업이란 폴리에틸렌 배관의 유연성을 활용하여 유압식 또는 기계식 장비를 통해 배관의 상단과 하단을 압착시켜 배관 내 가스를 일시적으로 차단하는 시공방법 중의 하나이다. 배관을 절단하지 않고 간단한 방법으로 가스를 차단할 수 있기 때문에 주로 지하에 매설된 PE배관의 연결이나 철거 작업 전에 이용되며 배관의 유지관리 및 보수, 가스 공급의 일시적인 차단을 위한 방법 등으로 다양하게 사용된다.

하지만, 시공현장의 환경 및 시공자에 따라 스퀴즈오프 작업 방법이 상이하고 명확한 작업 기준의 부재로 가스사고 발생 위험성이 증가하고 있다. 국내에서는 스퀴즈오프 작업 관련 기준이 없으며, 국제 기준으로는 ASTM F1041, F1563, F1734에서 스퀴즈오프 작업의 표준가이드, 장비기준, 장기손상 방지 등의 관한 기준을 나타내고 있다. 스퀴즈오프 작업은 현장 시공자의 수작업으로 진행되기 때문에 스퀴즈 장비의 과도한 사용 또는 배관 내 가스를 완전히 차단하지 못하는 경우가 발생할 수 있고, 이로 인한 배관의 손상 및 가스 누출 등이 발생할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 스퀴즈오프 작업자 안전을 위하여 국제 기준을 바탕으로 PE배관 스퀴즈오프 작업 절차서를 만들고자 한다.

암모니아 물성 분석을 통한 용기 파열사고 분석과 TPRD의 유효성 검토

조혜진 · 이민경 · 이재훈[†]

한국가스안전공사 가스안전연구원

Analysis of container rupture accident and effectiveness of TPRD(Thermally-Activated Pressure Relief Device) through ammonia physical property analysis

Hye-Jin Cho · Min-Kyung Lee · Jae-Hoon Lee[†]

Institute of Gas Safety, Korea Gas Safety Corporation

[†]Corresponding author: sasimi@kgs.or.kr

2010~2021.6까지 암모니아 관련 사고는 38건, 용기 파열사고는 4건이 발생하였으며, 사고의 주요 원인은 안전밸브의 작동 불능으로 분석되고 있다. 과충전·주변온도 상승 등 이상상황이 발생하는 환경에서 용기 파열사고의 예방을 위해서는 암모니아 용기에 부착된 안전밸브인 가용전식 안전밸브에 대한 다각적 분석과 안전 확보 방안이 필요하다.

본 연구에서는 암모니아 용기에 부착된 가용전식 안전밸브의 실효성 분석을 위해 용기 충전량과 내부압력, 온도의 상관관계를 도출했다. 고압가스안전관리법에 의한 암모니아 용기의 최대 충전량을 계산하고, 상평형 선도를 통해 해당 충전량에서의 포화 온도·압력을 산출했다. 해당 값을 TPRD 작동온도 및 내압시험압력, 최대충전압력과 비교해 현 기준의 적절성을 분석했다.

실증을 위한 실험으로는 가용전식 안전밸브의 용융 실험과 암모니아 용기 파열시험 두 가지를 이용했다. 용융 실험을 통해 가용전식 안전밸브의 실제 작동 온도를 도출하고, 열물성 데이터 통해 충전상태에 따른 해당 작동 온도에서의 용기 내부 압력을 산출했다. 또한 해당 압력값을 용기 파열 실험을 통한 파열 압력 측정 데이터와 비교·분석했다.

이를 바탕으로 TPRD의 적정 용융점을 도출하고 가용전식 안전밸브의 실효성을 확인하려 한다. 또한 응급상황에 대비하여 신속 작동 가능한 대체안 또는 개선안을 마련해 KGS Code 개선 근거를 확보하려 한다.

수소충전 계량시스템 구축 위한 시공 및 계량성능 평가장치 위험성 분석

장현우 · 김민주 · 이화영 · 이재훈[†]

한국가스안전공사 가스안전연구원

Risk Analysis of Structural Alteration and Performance Evaluation Device for The Establishment of Hydrogen Metering System

Hyeon-woo Jang · Min-joo Kim · Hwa-young Lee · Jae-hoon Lee[†]

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

[†]Corresponding author: sasimi@kgs.or.kr

계량성능 평가는 디스펜서에서 차량으로 충전되는 충전량의 정확성을 평가하는 것을 뜻한다. 특히 수소의 경우, 차량 충전 시 온도와 압력의 급격한 변동으로 인해 정확한 충전량 측정이 어렵다. 기존 운영 중인 수소충전소의 계량 오차는 $\pm 0.5\%$ 내외로 이는 공급량과 판매량이 불일치함을 의미한다. 따라서 수소 공급에 대한 소비자의 신뢰 확보 및 과충전으로 인한 폭발 사고 예방을 위한 계량 정확도 향상이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 계량 정확도 향상을 위한 시공 및 계량성능 평가장치의 위험성 평가를 집중적으로 다루었다.

첫째로, 구조 변경 시공을 통해 추가 유량시스템을 구성하였다. 시공은 압력 강하 및 유량 확인을 위해 기존 수소충전소의 구조 변경에 대한 것이다. 유량시스템은 Tube Trailer와 직접 연결된 Decant Panel 후단(200bar)과 차량 충전구와 직접 연결된 Dispenser 전단(700bar)에 각각 bypass하여 설치하였다. 기존 설치된 유량계와 분석을 위한 추가 유량계 간의 수치 비교를 위한 것이다.

둘째로, 수소충전소 Dispenser에 연결하여 정밀한 오차 측정을 하기 위한 평가장치를 개발하였다. 질량기반 표준모델과 질량계량법, 기준유량계법의 교차 검증을 통한 오차 도출을 목적으로 하며 Trailer 형태를 띈다.

각 추가 설치 공정 및 계량성능 평가장치에 대해 정성적 위험성 분석인 Hazard and Operability Analysis(HAZOP) 및 Job Safety Analysis(JSA)를 시행하였다. 두 가지의 Node를 설정하여 HAZOP을 수행하였으며, JSA는 작업 단계별로 분류하여 진행하였다. 정성적 위험성 분석은 방폭·과압해소·압력배출에 중점을 두고 이루어졌다. 이를 기반으로 작업의 범위, 방법, 그리고 절차에 따른 자료를 구축하였다.

이후 안전성 확인 등을 거쳐 계량성능 평가장치를 보완 후 10월 중 현장 시험을 준비 중이다. 최종적으로 국내에 적합한 최대허용오차를 제시하여 수소 이동수단과 수소충전소의 사용량 확대에 기여하고자 한다.

PAUT 절차서 검증 체계 현황 분석

김민주 · 이민경 · 김정환 · 이재훈[†]

한국가스안전공사 가스안전연구원

An Analysis of Certification System for PAUT(Phased Array Ultrasonic Testing) Work Procedure

Min-Joo Kim · Min-Kyung Lee · Jung-Hwan Kim · Jae-Hun Lee[†]

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

[†]Corresponding author: sasimi@kgs.or.kr

가스시설의 건전성 파악은 가스안전과 직접적으로 연계된 사항이다. 현재 도시가스 배관부터 석유화학플랜트까지 건전성 판단은 상세기준에 의해 일반적으로 방사선비파괴검사(RT)를 통해 이루어지고 있으며, 이는 원자력안전법의 강화로 인해 안전성, 경제성 면에서 현장 검사에 제한이 발생하고 있다. 이로 인해 방사선비파괴검사를 대체할 수 있는 시험법이 요구되고 있는 상황이다.

반면, 방사선비파괴검사와 같이 모재의 내부 결함을 탐상할 수 있는 초음파비파괴검사(UT)의 경우, 내부 결함의 위치와 제원을 판단할 수 있으며, 검사 시간과 비용이 적게 소요된다는 장점이 있으나, 방사선비파괴검사의 필름과 같은 결과물 제시가 어렵고, 검사 인력이 방사선비파괴검사에 비해 상대적으로 부족하다. 또한, 검사자의 기량과 검사 방식에 따라 지시의 검출 여부와 같이 검사 결과에 주관성이 개입할 수 있다는 문제점이 있다.

이로 인해, 2차원 영상 결과물을 제시할 수 있으며, 탐상 결과가 검사자의 기량에 상대적으로 영향이 적은 위상배열초음파검사(PAUT) 탐상이 대체시험법으로 제시되고 있다. 위상배열초음파검사는 검사자와 탐상 절차서의 검증 과정을 통한 기량 검증이 검사 결과의 신뢰성과 재현성을 확보하는데 중요하다. 최근에는 기량 검증을 통해 검증된 검사자와 절차서를 통한 LNG저장탱크와 원자력시설(냉매 배관)에 대한 건전성 판단이 이루어지고 있는 상황이다.

따라서 본 연구에서는 보다 일반적인 시설에 대한 위상배열초음파검사의 도입과 적용 범위 확대를 위해, 시험편 제작과 절차서 검증 표준 매뉴얼을 개발을 통해 위상배열초음파검사 절차서에 대한 검증시스템을 개발하고자 한다.

암모니아 사고 사례 분석을 통한 선박충전 시설 적용 연구

전은경 · 최영주 · 김필중[†]

한국가스안전공사 가스안전연구원

Research on ship charging facility application by analysis of ammonia accident cases

Eun-Gyeong Jeon · Young-Joo Choi · Pil-Jong Kim[†]

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

[†]Corresponding author: jpotato@kgs.or.kr

국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)는 해양환경 규제 강화에 따라 연간 총 온실가스 배출량을 2008년 대비 2050년까지 50% 감축하기로 결정하였다. 국제해사기구의 선박 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해선 미래 친환경 선박의 중심이 되는 수소 및 암모니아를 연료로 사용한 선박이 필요하며, 특히 무탄소 연료인 암모니아에 대한 관심이 높아지고 있다.

암모니아(NH₃)는 액화수소 대비 동일부피에서 약 1.7배의 에너지 저장 밀도를 가지며, 기존 저장·운송 노하우 및 인프라 활용이 가능한 장점이 있다. 또한 영하 33℃에서 액화를 유지할 수 있어 암모니아는 장거리 수소 유통부문에서 선박의 연료로 적합하다. 국내에서는 암모니아를 연료로 사용하기 위해서 현행 「고압가스 안전관리법」 적용을 받아야 하지만 선박 충전에 대한 법적 근거가 없어 충전시설을 구축하여 운영할 수 없다. 또한, 같은 법에서 암모니아는 ‘독성가스’, ‘가연성가스’로 지정되어있다. 독성가스는 사고 발생시 피부 및 호흡기 등에 심한 자극이 있어 각별한 주의가 필요하며, 누출할 경우 폭발분위기를 형성하기 쉽기 때문에 취급에 대한 안전관리 방안 확보가 필요하다.

본 연구에서는 국내 암모니아 제조 및 사용시설, 특정 설비 등에서 일어나는 사고 현황을 조사하고 사고 원인 및 대처방안을 분석하였다. 이러한 분석 결과를 바탕으로 암모니아 연료를 선박에 충전하기 위한 시설에 적용 가능한 안전관리 방안을 모색하여 추후 암모니아 병커링 안전기준 마련에 기여하고자 한다.

** 본 연구 내용은 중소벤처기업부 규제자유특구혁신사업의 일환으로 수행 중인 “이동형 기반 선박용 암모니아 연료 병커링 시스템 구축 및 안전성 실증(과제번호 P0020618)”의 지원으로 진행됨.

LPG 자동차 셀프충전을 위한 국내·외 사례 및 기준 조사

유지수 · 이경식[†]

한국가스안전공사 가스안전연구원

A study on Domestic and Foreign Cases for LPG Car Self-Charging

Jisu Yu · Kyong-Sik Lee[†]

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

[†]Corresponding author: urinuri@kgs.or.kr

미국 일부의 주를 제외한 대부분의 주와 호주, 영국, 독일, 폴란드 등의 유럽 국가에서 LPG 자동차 사용자가 직접 자동차에 연결된 LPG 연료 용기에 충전하는 것(셀프충전)을 허용하고 있다. 특히 LPG 자동차의 셀프충전을 금지하던 이탈리아에서도 2014년부터 LPG 자동차의 셀프충전을 허용하기 시작하면서 유럽 국가에서는 충전소에서 LPG 자동차를 운전자가 직접 충전하는 모습을 쉽게 볼 수 있다. 일본에서는 지자체로부터 허가를 받은 사람만이 충전작업을 할 수 있도록 법으로 정해져있어 LPG 자동차의 셀프충전은 불허하고 있는 상황이다. 국내 역시 일본과 마찬가지로 자동차 연료 셀프충전은 경유, 휘발유(위험물관리법 적용)에 한해 셀프형태로 주유하는 것만이 허용되고 있으며, 가스(LPG, CNG, 수소 등)를 셀프 형태로 충전하는 것은 현행법상 불가능한 상황이다.

지속적인 LPG 자동차 수요 감소에 따라 충전소 경영 악화, 휴·폐업 문제 등이 발생하면서 이에 대한 다각적인 지원 방안을 검토하여 운전자 안전교육 폐지('18.12), 충전소 부대시설(커피숍, 패스트푸드점 등 휴게음식점) 확대 허용('18.12)이 이루어졌다. 또한 액화석유가스의 안전관리 및 사업법 일부개정(2019.3.26.)에 의해 LPG 자동차 사용제한제도가 폐지되면서 일반인들도 LPG차량을 구매할 수 있게 되었다. 규제 개선에도 불구하고 LPG 자동차의 수요는 지속적으로 줄고 있으며, 대체 연료를 사용하는 자동차 보급 확대 등 외부적인 요인과 충전소 휴일·야간근무자의 인력난, 최저임금 상승으로 인한 인건비 부담으로 인해 셀프충전 제도 수용을 요구하고 있는 상황이다. 이에 따라 LPG 자동차 셀프충전 제도를 국내에서 실시하기 위해서는 충전소 및 운전자의 안전을 확보할 수 있는 방안을 도출하고 안전성 확보 방안을 마련해야 한다.

본 연구에서는 국외에서 운영 중인 LPG 자동차 셀프충전의 현황과 사례를 분석하고, 국내에 적용하기 위한 방안을 마련하고자 한다.

** 이 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임. (20021599)

독성가스 검지 경보 기준 및 국내 독성가스 시설 감지기 운용 현황 분석

김소현[†] · 이경식 · 유근준

한국가스안전공사 가스안전연구원

An Analysis of Toxic Gas Detection Alarm Standards and Detector Operation Status of Toxic Gas Facilities in Korea

So-Hyun Kim[†] · Kyong-Sik Lee · Keun Jun Lyu

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

[†]Corresponding author: ksh0529@kgs.or.kr

「산업안전보건법」에서는 유해인자의 노출기준과 허용기준에 대해 규정하고 있다. 노출기준은 유해인자로부터 근로자의 건강을 보호하기 위한 기준이며, 그 중에서 근로자에게 중대한 건강장해를 유발할 우려가 있는 유해물질을 대상으로 법적으로 허용기준을 설정하여 규제를 하고 있다. 노출기준은 미국산업위생전문가협회(ACGIH)에서 발표하는 허용기준인 TLV(Threshold Limit Value)를 참고하여 1일 8시간 또는 주40시간 근무 기준 시 평균 노출 허용 농도인 TLV-TWA(시간가중평균 노출기준), TLV-STEL(단시간 노출기준), TLV-C(최고 노출기준)으로 구분하여 규정하고 있다. 허용기준은 산업안전보건법 시행령 별표26 「유해인자 허용기준 이하 유지 대상 유해인자」에 명시된 물질을 대상으로 근로자가 매일 반복적으로 노출되는 경우에도 건강에 영향을 미치지 않는 공기 중 농도로 작업장 내 기준 값 이하의 농도로 유지해야 한다. 「고압가스안전관리법」에서는 허용농도(LC50)가 100만분의 5000 이하인 것을 독성가스로 분류하도록 규정하고 있고, 「산업안전보건법」 산업안전보건기준에 관한 규칙에서는 LD50 및 LC50에 따라 독성물질을 규정하고 있다.

「고압가스안전관리법」에 따른 고압가스 특정제조시설은 KGS FP111(고압가스 특정제조 시설·기술·검사·감리·정밀안전검진 기준) 적용을 받으며, 독성가스를 사용하는 경우 가스 누출사고에 효과적으로 대응하기 위하여 독성가스 검지경보장치를 설치하도록 규정하고 있다. 이때, 독성가스 검지경보장치의 경보농도는 설치장소 및 주위 분위기 온도에 따라 TLV-TWA 기준 농도 이하로 하도록 규정하고 있다. 반면, 「산업안전보건법」의 적용을 받는 시설에 설치하는 독성가스검지경보기는 한국산업안전보건공단의 KOSHA Guide P-166(가스누출감지경보기 설치 및 유지보수에 관한 기술지침)에 따라 허용농도(ERPG-2, AEGL-2, PAC-2, IDLH의 10% 등)로 설정하여야 한다. KGS FP111과 KOSHA Guide P-166 독성가스 검지경보장치의 허용농도에 대한 기준이 상이하여 두 기준 모두 적용받는 시설의 경우 혼란이 발생하고 있고, KGS FP111에서 규정하고 있는 TLV-TWA의 경우 근무자가 흡입해도 인체에 영향이 없는 수준의 허용농도이므로 그 값이 매우 낮아 현장에 설치하는 감지기의 허용기준으로 적용하기에 애로사항이 많이 발생하고 있다. 실제 현장에서는 미세한 주변환경 변화에도 잦은 경보가 발생하고, 오작동, 오지시 등의 오류사항이 많이 발생하고 있어 설비 신뢰도 저하로 인해 실제 경보 발생 시 정상작동 여부를 직접 확인하는 행위 자체만으로 위험성이 있어 사업장 운영에 어려움을 겪고 있는 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 KGS FP111에 따른 독성가스 검지경보장치의 경보 설정값에 대한 타당성 검토를 통해 기준 개선의견을 제시하여 독성가스 사업장 운영에 대한 안정성 확립에 기여하고자 한다.

피해영향 평가 결과에 따른 안전거리 기반 작업자 안전관리 시스템

위재민 · 이효렬

한국가스안전공사 가스안전연구원

Safety distance Based on Worker Safety management system on Damage impact assessment Result

Jaemin Wi · Hyoryeol Lee

Korea Gas Safety Corporation

가스 산업 시설 현장에는 화재, 누출, 폭발의 사고를 유발시키는 원인이 항시 존재한다. 통계적으로 작업자 부주의와, 제품 노후, 부식에 의한 사고 발생 가능성이 다수를 차지하고 있기 때문에 화재, 누출, 폭발 등의 안전사고 예방을 위한 활동이 중요하다.

본 연구에서는 안전사고 예방을 위한 활동의 일환으로 EIGA-075 기준을 도입하여 화재, 누출, 폭발, 산소 농도, 독성 등에 대한 사고 피해 영향과 사고의 빈도수를 기반으로 리스크 매트릭스를 개편하였다. 개편된 리스크 매트릭스를 통해 사고빈도와 피해영향 수준이 위험 수준인 경우, 이를 안전 수준으로 바꾸기 위한 안전계장설비의 강화를 통한 사고 빈도 저감, 안전거리의 확장으로 개인에게 가해지는 위험 경감 등의 조치로 작업자의 안전도를 높일 수 있다.

또한 현장 내 작업자가 현장업무를 수행하고 있을 경우의 인적 오류로 설비에 피해를 발생시킬 수 있는 요소를 확인하고, 인간 비신뢰도에 따른 휴먼에러의 정량적 평가를 통해 작업시 휴먼에러 발생 확률 값을 산출하여 작업에 따른 위험도를 분석하였다. 또한 사업장 내 주요 설비의 열화, 부식에 대한 위험도를 산출하기 위해 손상메커니즘에 따른 고장 발생 가능성을 적용하여 API RP 571을 기준으로 평가하였다.

해당 평가 결과를 바탕으로 현장 시설 별 안전거리의 범위를 나타내는 방법으로 리스크 그라데이션을 고안하였다. 리스크 그라데이션은 범위에 따라 위험도를 색상의 차등을 통해 높고 낮음을 표현하는 방식이며, 해당 산출 값을 기반으로 구현한 작업자 안전관리 시스템의 프로토타입은 입력된 시나리오 정보에 따라 화재, 누출, 폭발모델의 사고피해범위를 시설별 인터페이스에서 확인할 수 있으며 위험 등급에 따라 색상으로 표시되는 위험도를 통해 작업자의 위치와 위험도를 식별 할 수 있다. 향후 본 연구의 결과물을 활용하여 고압가스 제조 시설, 충전 시설 등의 안전관리 향상과 작업자 안전 확보를 위한 종합 안전관리 시스템 구축의 기초를 마련하고자 한다.

** 본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “지역혁신클러스터육성사업(P0002072_충북 공공기관연계 지능정보가속화 생태계 조성사업)”의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

고압가스 제조 시설에서 현장 상황 반영을 위한 유기적 사고 시나리오 선정에 관한 연구

이효렬[†] · 이경식 · 유근준
한국가스안전공사 가스안전연구원

A Study of Organic Accident Scenarios for Reflecting On-site Situation in Production Facility of High Pressure Gases

Hyo Ryeol Lee[†] · Kyoung Sik Lee · Geunjun Lyu

Institute of Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

[†]Corresponding author: hrlee@kgs.or.kr

최근 10년간 한국가스안전공사 사고 관리 시스템에 등록된 가스 사고는 총 1,020건이며, 그중 고압가스 사고는 130건(독성가스 50건)이 발생하여 전체 사고 대비 점유율은 12.7%를 차지하고 있다. 연평균(11년~20년) 가스 사고 증가율을 살펴보면 전체적으로는 0.2%로 나타났으나, 고압가스 사고는 5.8% 증가추세에 있다. 전체 고압 가스 사고의 46%인 60건이 고압가스 냉동제조(31건), 특정 제조(19건), 일반제조 시설(10건)에서 발생하여 고압가스 제조 시설의 가스 사고 예방 및 감축을 위한 안전관리에 각별한 노력이 요구된다. 본 연구에서는 고압가스 제조시설의 현장 상황에 따른 유기적 사고 시나리오를 제시하고, 발생 가능한 사고의 위험도에 따라 차등적으로 안전관리를 수행하는 스마트 가스안전 관리 시스템을 개발하여 안전관리를 수행하고자 한다.

일반적으로 사고 확률과 피해 영향을 조합하여 위험을 정량적으로 분석하여 사고 가능성과 손실을 정량적으로 수치화하는 정량적인 위험성평가(Quantitative Risk Analysis:QRA)에서는 시설에서 발생 가능한 최악의 사고 시나리오 또는 대안 사고 시나리오를 기반으로 평가하기 때문에 현장 상황 변화를 즉각적으로 사고 시나리오에 반영하기 어려운 단점이 있다. 본 연구에서 개발하고자 하는 스마트 가스 안전 관리 시스템은 대상 시설 또는 설비에서 발생한 사고 통계 및 정성적인 위험성 평가를 기반으로 설비의 고장·사고 발생과 밀접한 모니터링 인자와 인자별 고장 및 사고를 유발하는 Trigger 값을 도출하고, 실시간 위험 인자 계측 결과 반영하여 사고 발생 확률 값을 현장 환경에 맞게 보정하고자 한다. 보정된 사고 확률 데이터를 기반으로 해당 시설 및 설비에서 발생 가능한 대표 사고 유형과 대응·조치 방안을 관리자에게 제공하여 안전관리를 체계화 및 편의성을 향상하고자 한다. 현장 상황에 따라 차등적으로 안전관리 서비스를 제공하는 시스템 개발을 통해 고압 가스 제조시설의 인적, 물적 피해 감소와 사고 발생률의 저감 효과가 기대된다.

** 본 연구는 산업통상자원부 및 KETEP의 다중이용 에너지시설 안전진단 및 위험예측 안전기술 개발사업(20215910100200, 고위험가스 밀집시설에서 현장상황에 따른 위험예측과 사고대응이 가능한 차등적 안전 프로세스 중심의 스마트 안전관리시스템 개발)의 연구결과로 수행되었습니다.

옥외탱크저장소의 안전기준에 대한 법적 기준 검토

차정민 · 이용재 · 김인범 · 현성호[†] · 유재길* · 이택규**

경민대학교 소방안전관리과 · *서울과학기술대학교 대학원 · ** (주) 위이엔지

Review of Legal Standards for Safety Standards of Outdoor Tank Storage

**Jeong-Min Cha · Yong-Jae Lee · In-Beom Kim · Seong-Ho Hyun[†] ·
Jae-Gil You* · Taek-Kyu Lee****

Dept. of Fire Protection Safety Management, Kyungmin Univ ·

*Seoul National University of Science And Technology Graduate School

**Wee E&G Co.

[†]Corresponding author: shhyun@kyungmin.ac.kr

지난 2018년 경기도 고양시 저유소내 휘발유 탱크에서 화재가 발생하였다. 이로 인해 약 43억 원의 재산피해를 내고 화재발생한지 17시간만에 진화가 되었다. 화재 발생 탱크의 지름은 28.4m, 높이 8.5m 원통형 roof type의 탱크로 약 4,900kL를 저장할 수 있는 지중탱크에 해당한다. 본 지중탱크의 경우 옥외탱크저장소의 특례가 적용될 수 있는 시설로서 위험물안전관리법이 시행된 2004년 이전 1992년 설치된 저장탱크이므로 당시 소방기술기준규칙에 지중탱크에 대한 설치기준이 마련되어 있지 않아 외국의 설치사례로 특례를 적용하여 설치된 시설로 볼 수 있다.

옥외탱크저장소의 경우 위험물안전관리법 시행규칙에 따라 위험물의 출입 및 직사광선등을 받을 때 생길 수 있는 내압의 변화를 안전하게 조정하기 위해 통기관을 설치토록 하고 있으며, 이와 같은 통기관은 밸브없는 통기관과 대기밸브부착 통기관등이 설치되고 있다.

한편, 산업안전보건법에 의해 화염방지기 설치 등에 관한 기술지침에서는 인화점이 60℃미만인 인화성 액체의 증기 또는 가스를 대기로 방출하는 설비와 화염의 전파 우려가 있는 배관 및 설비에는 화염방지를 설치토록 하고 있다.

본 연구에서는 고양시 저유소내에서 발생한 휘발유탱크에 대한 위험물안전관리법상 통기관과 산업안전보건법에 따른 화염방지기 설치에 대한 법적 설치기준에 대해 검토후 보완해야할 기준에 대한 기초자료를 조사하고자 한다.

폴리머애자 표면에 오염된 Soot에 의한 플래시오버 특성에 관한 실험적 연구

김지훈

(주)한국RMC

An Experimental Study on Flashover Characteristics due to Contaminated Soot on Polymer Insulator Surface

KIM JI HOON

KOREA RMC

본 논문에서는 가연물별 그리고 질량별로 폴리머 결합애자 표면에 오염시킨 연소생성물의 질량에 따라 절연체의 성능이 저하되어 플래시오버 전압 특성이 어떻게 발생하는지에 관하여 연구를 진행하였다.

실험방법은 1차, 2차 실험으로 나누어서 진행하였으며, 1차 실험시에는 시료를 질량별로 나누어서 연소시켜 폴리머 결합애자를 오염시키는 실험을 통해 콘칼로리미터 실험에서의 Soot yield와의 관계를 살펴보고, 2차 실험시에는 오염된 결합애자를 내전압시험기와 연결하여 오염된 질량에 의한 플래시오버 전압특성이 어떻게 나타나는지를 연구하였다. 이를 통해 폴리머 결합애자 표면에 오염된 Soot 질량과 플래시오버 전압 특성간에 상관관계를 실험적 연구를 통해 알아보았다.

시료는 일상적으로 많이 사용되는 폴리머 합성수지인 Polyethylene, Polystyrene, Polypropylene 3종류와 Polyethylene+Polystyrene의 합성물질로 총 4가지 시료를 가지고 연구를 진행하였다. 콘칼로리미터 시험은 ISO 규격을 기준으로 하여 폴리머 4종의 화재물성치인 Soot yield, CO₂ yield, CO yield, 열방출률, 최대열방출률, 유효연소열을 구하였다. ISO 규격에 따른 콘칼로리미터 시험 방법으로 시료의 질량을 다르게 가열하여 발생하는 연소생성물을 폴리머애자 표면에 오염시켰으며, 오염된 질량에 따라 발생하는 플래시오버 전압을 측정하여 폴리머의 Soot 질량과 통계분석을 통하여 두 변수의 상관성을 분석하였다.

Polystyrene, Polyethylene+Polystyrene는 시료의 질량이 증가할수록 결합애자의 표면을 오염시키는 Soot 질량이 많아지면서 플래시오버 전압이 낮아짐을 확인하였다. 그러나, 플래시오버 전압이 반비례적인 관계를 나타내지 않고, 플래시오버 전압이 30~31 kV 값으로 수렴하는 것을 확인하였다. Polyethylene, Polypropylene는 Polystyrene, Polyethylene+Polystyrene 와 같은 질량에서는 30~31 kV 값으로 수렴하지 않아 이를 만족하는 시료 질량이 나올 수 있도록 질량을 증가 시키면서 계속적 반복 실험을 한 결과 Polyethylene는 300g, 500g에서 Polypropylene은 150g, 200g에서 수렴함을 알 수 있다.

실험 결과 애자 표면에 오염된 Soot의 질량이 증가할수록 플래시오버 전압이 감소하는 것을 확인하였다. 이는 표면에 오염된 Soot의 질량이 증가함에 따라 폴리머애자 표면에 도전 경로 형성이 용이하여 나타나는 현상으로 파악된다. 애자표면에 오염된 Soot의 질량과 플래시오버 전압과의 관계를 통계적인 분석방법을 활용하여 회귀식을 도출하였다. 도출된 회귀식을 PE+PS 혼합물의 실험을 통해 실험값과 회귀식을 통한 예측값을 비교하여 회귀식의 유효성을 검증하였다. 다음

식이 도출된 식 중 가장 적은 차이가 나타났다.

$$V_{flashover} = e^{(3.321 + 28.690/m_{soot})}$$

회귀식과 실험값은 10.8%의 차이가 나타났다. 수식을 통해 표면에 오염된 Soot의 질량이 플래시오버 전압의 영향을 미치는 정도를 정량적으로 분석이 가능함을 의미한다. 화재의 규모가 더 커지면 다른 경향성이 도출 될 수 있으나 이는 추가적인 연구를 통해 정량적인 해석이 가능하 것으로 판단된다.

이 연구가 결합애자를 설치시 적정용량에 대한 여유율을 적용시켜야 하는 당위성과 결합애자의 절연능력 선정에 기여하고, 애자관련 규정 및 애자 오염에 관련된 안전 관리 대책, 선하지 건축물 규제를 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

화재에 노출되었던 소방 방화복 세탁물 유해물질의 특성

김수진 · 이준연* · 홍주희* · 함승헌**†

서울특별시소방학교 소방과학연구센터 · *서울특별시 보건환경연구원 ·

**가천대학교 의과대학, 가천대 길병원 직업환경의학과

Characteristics of Hazardous Substances Extracted from Laun-dry Water for Fire Protection Suit Exposed to Fire

Soo Jin Kim · Jun-Yeon Lee* · Ju-Hee Hong* · Seunghon Ham**†

Fire Science Research Center, Seoul Metropolitan Fire Academy, Graduate School of Public Health, Seoul National University · *Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and environment · **Department of Occupational and Environmental Medicine, Gil Medical Center,

College of Medicine, Gachon University

†Corresponding author: shham@gachon.ac.kr

화재현장에서는 발암물질을 포함한 다양한 독성물질이 많이 발생하는 것으로 잘 알려져 있어 소방관들의 개인보호장비의 철저한 착용이 매우 중요하다. 화재현장에 노출된 방화복을 세탁한 물에 유해물질의 종류와 양의 현황이 확인된 바 없다. 이 연구의 목적은 화재에 간접 노출된 방화복에서 추출한 세탁수에 포함된 유해물질의 특성을 평가하는 것이다. 실제 화재를 모사한 실험연구를 실시하였다. 방화복의 화재현장 간접노출 오염정도를 평가하기 위해 방화복 10벌을 4개의 그룹으로 분류하였고 다음과 같다; 신규지급, 현장사용, 1회 화재노출, 연속2회 화재노출. 실험환경은 주택화재로 방화복 3~4그룹을 조건별로 노출시킨 후 실험공간 내에서 진공비닐백에 밀봉하였다. 1그룹부터 4그룹까지 순서대로 수동세탁을 통해 방화복 세탁수를 추출하였고 24개 항목은 수질오염공정시험기준에 따라 분석하였다. 방화복 세탁물 분석결과에서 아크릴로니트릴은 1회 화재에 노출된 경우보다 연속2회 노출시킨 경우에 세탁물에 포함된 농도가 높았다. 또한, 노출에 따라 양이 증가하여 누적 독성 가중의 위험성을 보였다. 나프탈렌과 디에틸헥실프탈레이트(DEHP)는 불완전연소 화재에 노출된 3그룹 방화복 세탁수에서 높게 검출되었다. 물분석을 수행한 24개 항목 중 4개가 물환경보전법 기준에서 특정수질유해물질 폐수배출시설 적용기준을 초과하였다. 구리와 그 화합물 3.4배, 안티몬 4.8배, 아크릴로니트릴 26.0배, DEHP 4.1배 기준을 각각 초과하였다. 따라서 소방활동 후 방화복을 벗을 때, 피부가 오염되지 않도록 해야 한다. 또한, 화재현장에 노출되었던 소방 방화복을 세탁하는 시설에서는 폐수처리정화시설을 갖추어야 한다. 다만, 화재현장에서 방화복의 긴급제염을 시행한다면 세탁물에 포함된 독성물질의 농도를 낮출 수 있을 것이다. 대규모 화재가 발생한 경우 화재현장 인근 수질오염의 위험이 있어 범국가적 대책마련이 필요하다. 이 연구결과는 소방청사 건축관련 규정 개정과 수질오염 저감 및 수질환경 정책에 적용될 수 있을 것이다.

Keywords : Fire, Indirect exposure, Firefighting protection suit(FPS), Contamination, Laundry, Sewage, Water pollution, Environment

국가직무능력표준(NCS) 비교를 통한 위험물안전관리자 안전교육 개선에 관한 연구

시상수 · 한상필*

한국소방안전원 · *상지대학교 소방공학과

The improvement plan of safety education for hazardous substances safety managers through National Competency Standards(NCS) comparison

Sang-Soo Si · Sang-pil Han*

Korea Fire Safety Institute · *Dept. Fire Protection Engineering, Sangji University

†Corresponding author: timeconstant@kfsi.or.kr

「위험물안전관리법(이하 “위험물관리법”）」상 ‘위험물’은 인화성, 발화성 등으로 인하여 저장·취급 및 유지·관리를 함에 있어 전문성이 요구된다. 이에 따라 위험물을 지정수량 이상 저장·취급하고자 하는 경우는 위험물의 안전 확보를 위해 위험물취급자격자를 위험물안전관리자를 선임하도록 하고 있다. 또한 위험물관리법상 위험물안전관리자가 되고자 하는 사람은 국가기술자격법에 따라 위험물의 취급에 관한 자격을 취득한 사람과 소방공무원으로 근무한 경력이 3년 이상인 사람을 제외하고 강습교육을 받아야 하며, 선임된 위험물안전관리자는 정기적으로 8시간 이내의 실무교육을 받아야 한다.

강습 및 실무교육(이하 “안전교육”)의 내실화를 위해서는 교육내용이 산업 현장에 적합하게 활용될 수 있어야 하며, 만약 교육내용과 산업현장의 요구 간의 차이가 크면 안전교육은 형식에 지나지 않을 수 있다. 따라서 위험물관리법상 안전교육이 산업현장의 요구에 부합하는 지에 대한 논의가 요구된다.

그러나 위험물관리법 시행규칙의 경우 2004년 7월 7일 법령 제정 이후 30차례 개정되는 동안 같은 법 시행규칙 내 규정되어 있는 안전교육의 교육과목은 한 번도 개정된 바 없으며, 학계 차원에서도 피교육생을 대상으로 한 설문조사를 통해 강습교육의 개선방안에 대한 연구가 한 차례 진행되었을 뿐, 안전교육의 산업현장 적합성에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

이와 관련하여 현행 위험물관리법상 규정되어 있는 위험물안전관리자 교육과목과 교육훈련기관인 한국소방안전원의 교육 및 평가방법 등을 위험물안전관리 직무에 관한 국가직무능력표준(National Competency Standards, 이하 “NCS”)에서 요구되는 지식·기술·태도와 학습모듈을 비교한 결과는 상당한 차이를 보였다.

NCS 체계와 비교를 통해 안전교육의 개선을 위한 시사점 도출 결과는 다음과 같다. 첫째, 위험물관리법상 규정되어 있는 교육과목 등은 지식 위주로 편성되어 있어 역량(기술, 기능) 중심으로 전환이 필요하다. 둘째, 한국소방안전원의 교육과목 등은 NCS 능력단위에 일부 불일치를 보이고 능력단위별 훈련시간이 매우 짧아 교육과정의 다변화와 교육운영시간의 현실화가 필요하다. 셋째, 기술기준 이해여부를 확인하는 선다형 위주의 평가방식에서 벗어나 실무상 문제해결기술과 업무처리역량 확보여부에 대한 다양한 평가방식이 요구된다.

화학사고 대응을 위한 교육·훈련 시설 및 프로그램 현황 분석

이세용 · 김동엽 · 류지성 · 유병태* · 조인우** · 김지원** · 권동욱[†]

화학물질안전원 · *한국교통대학교 · **비엘

Analysis of the facilities and programs based on the education·training for chemical accident response

Seyong Lee · Dong Yeup Kim · Jisung Ryu · Byungtae Yoo* · Cho Inuh** ·
Kim Ji Won** · Dongwook Kwon[†]

National institute of chemical safety · *Korea national university of transportation · **Bieal Co.

[†]Corresponding author: kwondw@korea.kr

문명의 발달과 인간의 편의로 인해 화학물질 사용 증가함에 따라 발생하는 화학사고수도 지속적으로 증가해왔다. 화학사고 발생과 대응을 위한 사고대응 인력에 대한 교육훈련이 매우 중요함에도 불구하고, 코로나 19에 의한 영향으로 화학사고 대응을 위한 체험식 교육훈련 비중이 감소한 실정이다. 본 연구에서는 화학사고 대응을 위한 국·내외 훈련시설 및 교육과정을 조사·분석하여 화학사고 대응 훈련시설과 시설을 활용한 교육훈련 프로그램을 제안하고자 한다.

국내 민·관에서 화학사고 예방·대응 교육훈련을 위해 설치된 훈련시설과 국외에 훈련시설을 조사하였다. 국내에 소방학교와 민간 기업의 훈련시설은 주로 위험물 화재진압을 용도로 사용하였고, 화학물질안전원의 훈련시설은 화학물질 누출 대응을 위한 교육훈련에 활용되었다. 국외에 화학사고 대응기관에서는 화학시설 화재, 건물 붕괴, 철도 열차 탈선 등의 훈련시설을 보유하고있으며 다양한 사고를 재현·대응하도록 설계되어 있었다. 국내 화학사고 대응 전문교육과정은 주로 강의식으로 구성되어 있어 교육효과 향상을 위해 체험식 교육훈련 프로그램 개발이 요구된다. 교육 효과를 향상시키기 위해서는 화학사고 대응을 위한 교육훈련 시설 및 교보재를 활용한 다양한 교육 프로그램이 개발될 필요가 있다. 아울러 화학사고 원인과 사고사례 등을 조사·분석하여 실제 화학사고 상황을 재현한 훈련시설에서 사고대응훈련이 이루어져야 교육의 실효성이 높아질 것이다. 따라서 화학사고 대응을 위한 훈련시설을 마련하고 체험식 교육훈련 프로그램을 개발하여 화학사고 대응 인력의 역량을 강화하고 안전을 확보하여야 한다.

화학사고 초동대응 훈련을 통한 유해화학물질 누출 조치 교육·훈련에 관한 연구

김동엽 · 권동욱 · 류지성 · 이세용[†]

환경부 화학물질안전원 교육훈련혁신팀

A Study on the education–training for hazardous chemical leak measures through intermediate response training to chemical accidents

Dong Yeup Kim · Dongwook Kwon · Ji Sung Ryu · Seyong Lee[†]

Education & Training Team, National institute of Chemical Safety

[†]Corresponding author: leesy79@korea.kr

본 연구에서는 소방, 유해화학물질 민간 사업장 내 화학사고 대응 인력 230명을 대상으로 화학물질 누출 대응 교육훈련에 대해 분석하고 교육훈련 발전방향에 대해 제시하고자 한다. 교육훈련 전에 사전 설문조사를 실시하여 수요자의 업무, 경력, 희망교육 등을 조사·반영하여 화학사고 대응 훈련장을 활용한 화학물질 누출 대응 교육훈련을 실시하였다. 교육훈련은 현장 대응에 필수적인 방재장비 숙달훈련과 사고대응 상황훈련으로 구성하여 진행하였다. 화학사고 대응 방재 장비 숙달 훈련은 119특수구조단 및 소방관서를 대상으로 실시하였다.

훈련 절차는 사고 설비의 누출의 형태와 누출공의 모양·크기 등을 확인하고 적절한 방재 장비를 선정·대응하도록 구성된다. 담당 교관과 훈련생은 교육훈련과정 동안 적절한 방재 장비의 사용법 및 개선 사항에 대해 지속적으로 토론을 하여 효과적인 방재방법을 마련하게 된다. 사고대응 상황 훈련은 119특수구조단, 소방관서, 산업계 방재팀 등을 대상으로 경력, 업무 등을 고려하여 사고 대응 지휘팀, 모니터링·확산 차단팀, 방재 활동팀으로 구성하였다. 부여된 화학 사고에 대해 각 팀 간에 유기적으로 협업할 수 있도록 하며 사고가 발생된 설비에 대한 정보수집, 공유, 방재, 확산차단 등을 실시하였다. 마지막으로 교관과 교육생 간 교육훈련의 결과와 개선점에 대해 토론을 진행하였다. 교육훈련 종료 후 교육의 만족도와 건의사항을 조사하여 교육훈련의 효과를 조사하고 수요자 요구를 반영한 교육훈련 프로그램을 개발하고 있다. 그 결과, 화학사고 대응 훈련장을 활용한 화학물질 누출 대응 교육훈련의 실효성을 높여 현장의 화학사고 대응 역량을 강화하는데 기여할 것이다.

피난시뮬레이션을 활용한 소방대의 현장대응시간 평가에 관한 연구

권순범

대구소방안전본부

A study on the evaluation of on-site response time of fire and rescue service using evacuation simulation

Gwon, Sun-Beom

DEAGU FIRE DEPARTMENT

본 연구에서는 피난시뮬레이션의 장점을 활용하여 공학적 방법으로 대응시간을 평가 및 예측하기 위해 실제 재난현장에서 소방대의 현장대응 변수들을 적용하여 현장대응시간을 분석하였다.

현장대응시간을 평가하는데 필요한 설정인자는 구급이송용 장비, 승강기, 현장처치시간으로 이송장비를 계단 또는 승강기로 이동하여 환자를 현장에서 구출할 때까지의 주요 변수들을 분석하여 피난시뮬레이션 프로그램에 적용하였다. 측정된 인자 데이터를 시뮬레이션에 대입하여 결과 값을 도출하였고 각각 다른 인자 값을 적용하였을 때 실험요소의 차이를 정리하였다.

본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 프로그램 상의 결과 값의 비교 분석을 통해 Pathfinder의 장점을 활용한 대응시뮬레이션을 구현하였다. 현장에 출동한 소방대의 이동경로 상의 예상 시간을 평가하여 효과적인 대응과 방법의 연구를 수행하였고 소방대응력을 평가하는 데 있어서 피난시뮬레이션 기법의 적용이 가능함을 확인하였다.

둘째, 계단형 들것의 실제 실험 값과 시뮬레이션 값, Default 값을 비교함으로써 현장대응시간 신뢰성을 검증하였다. Pathfinder 프로그램 내 입력 인자 값의 차이가 이동속도에 영향을 주어 최종적으로 이동시간을 결정한다는 것을 알 수 있었으며 현장대응활동의 시뮬레이션이 가능함을 검증하였다.

셋째, 통계를 통한 현장대응시간을 $t_1 \sim t_4$ 구간으로 정의함으로써 각 구간별 현장대응시간 확인 및 현장처치시간을 추정하였다. 2021년 10월 대구광역시 구급출동 8,352건의 통계자료를 바탕으로 현장대응시간을 구간별로 해석하여 시뮬레이션을 활용한 결과 값의 범주를 확인하였다.

본 연구는 피난시뮬레이션의 결과를 통해 예측 가능한 현장대응시간을 분석함으로써 재난 현장의 상황변화에 선제적 대응전략 및 전술에 활용할 수 있는 대응시뮬레이션의 구현 가능성을 제시하였다.

자동차 ABS모듈 발화 메커니즘에 관한 실험적 연구

진용기[†] · 이영병* · 김효인** · 남상훈***

[†]서울소방재난본부 · **자동차안전연구원

An Experimental Study on the Ignition Mechanism of Automotive ABS Module

Jin Yong Gi[†] · Lee Yeong Byeong* · Kim Hyo In · Nam Sang Hoon*****

Seoul Fire & Disaster Headquarters · *Korea Automobile Testing & Research institute

[†]Corresponding author: rokmc@seoul.go.kr

Car fires are caused by various causes such as traffic accidents, engine overheating, and electrical devices. But what if your car, which was parked normally, caught fire while the driver was resting at home after driving safely to its destination? What if the ABS module, a braking system that is directly connected to the driver's safety, is the cause of the fire? This study attempted to investigate the firing mechanism of the ABS module through case analysis of a fire that occurred in the ABS module of an automobile, decomposition inspection of reusable ABS module and single-product experiments. As a result of the analysis of 15 automobile ABS module fires, the power supply + - copper bar inside the module was melted and electrical singularity was found in common, and the module was a part of the same manufacturer. According to about 50 reusable ABS module decomposition tests, some brake fluid was leaked inside the module, and when the temperature of the brake fluid rises, the resistance decreases and impurities gather to the electrodes. It was verified that, when a brake liquid leaks in the module, a conductive path is formed in the electric circuit of the ABS module and a mechanism that fires with local heating was identified. Based on this, automobile manufacturers recalled about 780,000 ABS modules of five models equipped with ABS modules that caused a fire.

소방관점에서 고찰한 리튬이온전지의 위험성

김영근 · 권경옥*

한국소방산업기술원 · *전주대학교

Fire Safety Evaluation on the risk of Lithium Ion Batteries

Kim, Yeongeun · Kwon, Kyungok*

Korea Fire Institute · *Department of Fire Safety Engineering, Jeonju University

†Corresponding author: kokwon@jj.ac.kr

근대 문명의 진보와 함께 다양한 기기와 시스템의 이용이 산업계와 일반사회에서 급속한 진보를 하고 있고, 이와 수반해서 전력원으로서의 전지의 고성능화의 요구가 점점 더 강해지고 있다. 한편, 환경문제는 그린에너지를 추진하고 있고 이런 개발의 관점으로부터 전력용 또는 자동차용의 새로운 타입의 전지의 출현이 기대되고 있다.

리튬이온액 화학반응의 열발생을 통한 활성화는 셀을 자발적으로 가열되게 하여 폭발에 이르게 할 수 있다는 것을 보여주고 있다. 이러한 배터리의 액이 누출되고 주위에 물 또는 가연물이 있을 경우 더욱 위험할 수 있다. 실제 전지에서는 이러한 위험압력을 낮출 수 있는 여러 가지 방법이 적용되고 있다.

리튬배터리 전해질의 반응성을 DSC와 MCPVT로 측정하였다. 리튬전해액은 열반응을 일으키며, 온도가 상승하면 압력이 상승하여 폭발에 이를 수 있음을 보여주었다. 위험성은 리튬이온전지의 주위에 다른 가연물이 있을 경우 더욱 위험할 수 있다. 압력상승은 250℃ 보다 낮은 온도에서 반응이 개시되었으며, 배터리가 충격으로 부서지거나 잘라졌을 때는 원래의 위험성 보다 크게 될 수 있다는 것을 보여주었다.

참고문헌

1. Kyungok Kwon and Yeongeun Kim, Analysis of recent accidents and regulating activities for the hazardous materials in Korea, KIGAS Vol. 15, No. 1, February, (2010)
2. 권경옥, 바이오디젤연료의 위험성 평가, 한국화재소방학회지, Vol. 22, No. 5, pp. 79-82 (2008)
3. Kyungok Kwon, Dongwon Lee, Yusaku Iwata and Hiroshi Koseki, Flash point of n-Decanol, Journal of Loss Prevention, Vol. 21, No. 4, pp. 478-480 (2008)
4. Sanyo Lithium Batteries, URL <http://sanyo.co.jp/energy>
5. R. Di Felice, The sedimentation velocity of dilute suspensions of nearly monosized spheres, Int. J. Multiphase Flow 25 pp. 559-574, (1999)
6. M. Tamura, M Arai and Y. Akutsu, Energetic Materials and Safety, (Asakusa Press, 1999)(in Japanese)
7. 리튬이온전지-Wikipedia

단일경로 파이프를 갖는 공기흡입형 화재감지기의 화재 위치 추적에 관한 연구

이영만 · Ha Thien Kheu

올라이트라이프(주) 부설 화재예방안전연구소

A Study on Fire Location Tracking of Air Sampling Fire Detector with Single Path Pipe

Lee Young Man · Ha Thien Kheu

alllifelife company R&D Center

(Fire Prevention System Institute, Alllifelife Company)

Aspirating smoke detection system is one of the most critical equipment for detecting smoke early to reduce the danger of fire as well as reduce human casualty. It could be used in extreme environments such as cold warehouse or hot aisle containment areas at which conventional smoke detection system cannot be applied. By using the pipe hole network to drawn air from protected areas to the sensing chamber, ASD is always continuous and it has a quick response. If the obscuration in the sensing chamber is greater than the setpoint, ASD will sound an alarm so that people realize there is a fire.

There are many papers regarding the air movement, transport time in the pipe and the concentration in high-rise building recently. However, there has been no research relating the changes in pressure drop and obscuration when changing the fire source location in aspirating smoke detection system. For this reason, the effect of fire source location on pressure drop and obscuration in ASD has been investigated in this study.

In this study, the numerical and experimental study have been performed. The result show that when changing the fire source location along the pipe, the pressure drop and obscuration at ASD can change accordingly. It is correlated with the location of the fire source. So, by combining the change of pressure drop and obscuration at ASD, it could be used to predict the fire source location in aspirating smoke detection system.

Keywords : Aspirating smoke detection system, Fire source location, Smoke obscuration, Pressure drop

** This work was supported by the Research and Development of Fire Safety Technology for ESS Hydrogen Facilities, 20011568, Development of Automatic Extinguishing System for ESS Fire, funded by National Fire Agency and Alllifelife Company

3성분계 양극재의 고온에서 가스 발생에 따른 리튬이온 배터리 스웰링 거동 특성 및 열 폭주 위험성 분석

강경석[†] · 임상후^{*}

구리소방서 · 서울시립대학교 재난과학과 · *한국기계전기전자시험연구원

Analysis of lithium-ion battery swelling behavior and thermal runaway risk due to gas generation at high temperature of three metal component cathode materials

KANG KYUNGSEOK[†] · LIM SANGHOO^{*}

Guri-Fire Station[†] · Department of Disaster Science[†], University of Seoul ·

^{*}Korea Testing Certification institute

[†]Corresponding author: kksfire@gg.go.kr

In this study, the NCM cathode material was analyzed mainly to analyze the fire hazard of LIB. NCM cathode materials have the characteristics of poor surface stability and structural stability at high temperatures, so after making pouch pool cells, electrochemical output characteristic evaluation was conducted to confirm that the surface temperature of the cell is increased to 60°C, and the higher the ratio of Ni in the NCM cathode electrode is, the higher the solubility of Ni in the high temperature environment by ICP-MS. In fact, the pouch pool cell was stored in an oven in a high temperature environment for a total of four weeks and measured at intervals of one week, and the internal pressure cell to check the amount of gas generated showed that the higher the ratio of Ni, the greater the amount of gas generated. To determine the correlation between the amount of these gases generated and the fire, the DC power supply was heavily applied with current and voltage. As a result, the time the cell swells and explodes and the maximum temperature of the cell was identified. In addition, the higher the ratio of Ni and the higher the number of charging and discharging, the faster the time to explode and the higher the temperature.

Keywords : Lithium ion battery, NCM, Ni-rich cathode materials, High-temperature, The internal pressure cell, Fire risk

고층 공동주택의 승강식피난기 적응성 분석

박유진 · 최규철[†]

(주)아세아방재 기술연구소

Analysis of the adaptability of elevator evacuation apparatus of high-rise communal housing

Yu Jin Park · Kyu Chool Cho[†]

Asia Disaster Prevention Co., Ltd.

[†]Corresponding author: kcc5407@daum.net

본 연구는 고층건축물 화재 발생 시 계단을 통한 피난이 어려운 경우 사용하는 승강식피난기의 적응성을 조사·분석하였다. 소방방법은 11층 이상 소방대상물에는 피난 기구 설치를 제외하고 있다. 11층 이상에서는 피난 기구의 안전성을 확보하기 어렵다는 이유다. 최근 기술의 발달로 고층에서도 안전하게 사용할 수 있는 피난 기구들이 개발되었다. 승강식피난기는 사용자 몸무게로 한 층씩 하강하는 구조의 고정식 피난 기구이다. 무동력으로 정전 시에도 사용할 수 있고, 층 단위로 내려가는 구조로 층수 제한 없이 사용할 수 있다. 본 연구에서는 33층 공동주택에 설치된 승강식피난기 탑승 시험을 통하여 유효 피난에 필요한 시간과 능력을 분석하여 그 적응성을 평가하였다.

승강식피난기가 설치된 대구 태왕아너스 아파트(33층)에서 현장 시험을 진행하여 하강·상승 속도를 측정하였다. 측정에 참여한 사용자는 20~80 kg 사이의 몸무게를 갖는 4인이 피난하는 시험으로 진행하였다. 시험 방법은 한 사람씩 탑승하여 1개 층을 피난하는 시간을 측정하였다. 시험 결과 하강시간은 평균 [8.3~10초/1인]로 나타났다. 추가로 피난기의 덮개를 열고, 안전손잡이를 펼치는 시간은 30초 정도 소요된다. 첫 번째 사용자만 덮개를 열고, 손잡이를 펼치기 때문에 4인 피난에 걸리는 시간은 70초 정도가 필요하였다.

시험 결과 고층 아파트 세대에 승강식피난기를 설치하면 건축법이 규정한 대피공간 내 대기로 발생하는 위험성을 해결할 수 있다. 특히 정전으로 승강기 사용이 제한되고, 계단이 연기로 사용하기 어려운 고층 공동주택 화재에서 승강식피난기의 사용은 매우 긍정적으로 도입을 통한 공동주택 안전확보에 적응성이 있는 것으로 확인하였다.

Keywords : Elevator evacuation apparatus, Evacuation Area, Stationary evacuation

** 이 논문은 2020년도 정부(중소벤처기업부)의 재원과 한국토지주택공사 구매조건부신제품개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 : S3035545).

도로터널 내 위험물 차량 화재시 제연설비 성능에 대한 수치적 연구

하예진 · 전준호[†]

부경대학교 소방공학과

A Numerical study on the performance of the smoke control system in hazardous vehicles fire in road tunnel

Yejin Ha · Joonho Jeon[†]

Department of Fire Protection Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

[†]Corresponding author: jeonj@pknu.ac.kr

터널은 반밀폐적인 공간적 특성으로 인해 화재가 발생하면 터널 내 화염의 급격한 전파와 연기 배출의 어려움으로 인해 많은 인명피해를 초래한다. 우리나라는 산지가 많은 지형적 특성 및 환경친화적인 고속도로망 구축과 선형개량 등으로 인해 장대터널 뿐만 아니라 많은 수의 터널이 건설되고 있다. 또한, 최근 화학기술의 발전으로 다양한 종류의 위험물 유통량이 증가하고 있다. 2015년 상주터널 사고와 같이 위험물이 탑재된 차량에서 화재가 발생하는 경우에 폭발로 이어져 대형 사고가 발생할 가능성이 크다. 따라서, 터널 내 위험물 차량의 화재 안정성 확보에 대한 연구가 이루어져야 하며 화재시 연기를 효과적으로 제어하기 위한 제연설비 성능에 대한 세부적인 검토가 필요하다.

본 연구에서는 도로터널 내 위험물 차량 화재 및 연기 거동을 예측하기 위해 FDS(Fire Dynamics Simulator)를 이용하여 길이가 1,800 m인 장대터널을 바탕으로 화재 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 화재 시 유독가스를 초기에 터널 밖으로 빼거나 차단하는 제연설비의 용량, 설치 간격의 변화가 터널 내 가시거리, 온도에 미치는 영향을 분석하여 적절한 제연설비 성능을 확보하고자 한다.

** 이 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2021R1I1A305197611).

위험물 시설 화재 방호를 위한 단일유체노즐 미세물분무의 열복사 감쇠 성능 측정

강준석 · 이치영^{*†}

부경대학교 소방공학과 · *부경대학교 소방공학과/건축·소방공학부

Thermal Radiation Attenuation Performance Measurement of Water Mist Using Single-fluid Nozzle for Fire Protection of Hazardous Material Facilities

Jun Seok Kang · Chi Young Lee^{*†}

Department of Fire Protection Engineering, Pukyong National University ·

*Department of Fire Protection Engineering/Division of Architectural and Fire Protection Engineering, Pukyong National University

†Corresponding author: cylee@pknu.ac.kr

미세물분무의 열복사 감쇠 효과는 위험물 시설의 화재 발생 시 화재 확산을 저지하는데 활용될 수 있다. 본 연구 그룹에서는 기존에 미세물분무의 열복사 감쇠 성능에 대한 연구를 수행한 바 있다. Jo와 Lee¹는 분사 면적이 다른 2유체노즐의 미세물분무 열복사 감쇠 성능에 대한 실험을 수행하였다. 실험 결과, 물과 공기의 유량 증가는 열복사 감쇠 성능을 향상시켰고, 유량이 유사한 조건에서는 분사 면적이 작은 노즐이 큰 노즐에 비해 열복사 감쇠 성능이 우수한 것으로 나타났다. Kang과 Lee²는 단일유체노즐에서 분사되는 미세물분무의 축방향 특성이 열복사 감쇠 성능에 미치는 영향을 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 축방향 위치에 따른 분무 특성 및 열복사 감쇠 성능을 측정하였고, 측정 결과를 토대로 물 공급 유량, 액적 크기, 분무폭과 열복사 감쇠 성능 간 관계에 대해 검토하였다. 그러나 위험물 시설에 화재 확산 방지를 위한 미세물분무 시설을 널리 적용하기 위해서는 미세물분무의 특성과 열복사 감쇠 성능 간 상호관계에 대한 정량화 및 최적화가 이루어져야 한다. 이를 위해서는 다양한 노즐을 통해 생성되는 미세물분무의 열복사 감쇠 성능에 대한 충분한 데이터가 확보되어야 한다.

본 연구에서는 단일유체노즐을 대상으로 다양한 유량 조건에서 미세물분무의 특성 및 열복사 감쇠 성능을 측정하였다. 본 연구 결과와 기존 연구 결과 간 비교를 통해 노즐 종류 및 미세물분무 특성과 열복사 감쇠 성능 간 상관관계에 대해 검토하였다.

** 이 성과는 정부 과학기술정보통신부 의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021R1F1A1064002).

참고문헌

- J. G. Jo and C. Y. Lee, "Experimental Study on Thermal Radiation Using Water Mist of Twin-Fluid Atomizer", Fire Science and Engineering, Vol. 35, No. 4, pp. 24-32 (2021).
- J. S. Kang and C. Y. Lee, "Investigation on Effects of Water Mist Characteristics According to Axial Position on Thermal Radiation Attenuation Performance", Fire Science and Engineering, Vol. 36, No. 3, pp. 11-18 (2022).

화염높이의 실시간 측정을 위한 광학장치의 검증

양현혁 · 문선여* · 황철홍**

대전대학교 대학원 소방방재학과 · *대전대학교 대학원 방재학과 ·
**대전대학교 소방방재학과

Verification of Optical Device for Real-time Measurement of Flame Height

Hyeon-Hyeok Yang · Sun-Yeo Mun* · Cheol-Hong Hwang**†

Department of Fire and Disaster Prevention, Graduate School, Daejeon University ·

*Department of Disaster Prevention, Graduate School, Daejeon University ·

**Department of Fire and Disaster Prevention, Daejeon University

†Corresponding author: chehwang@dju.ac.kr

화재 위험성 평가 및 화재안전의 문제점 해결을 위하여, 화재의 공학적 특성 파악은 매우 중요하다. 이 중 화염높이는 화염에 근접한 주요 설비·건축 구조물로의 화재 확산, 화재진압 및 피난 설비 등 화재안전과 직접적으로 연관되는 중요한 물리량 중 하나이다. 화염높이는 이론적으로 연료 표면에서 혼합분율을 통해 산출되는 양론혼합비(Z_{st})의 수직 높이로 볼 수 있다. 그러나 관성력과 부력의 비로 표현되는 상대적으로 낮은 프루드수(F_r)를 갖는 부력이 지배적인 화재에서의 화염은 주기적인 진동을 보인다. 부력이 지배적인 화염을 정량화하기 위하여 많은 연구자들에 의해 다양한 평균화염높이의 측정법들이 제안되었다.

화재실험에서 화염높이의 측정은 캠코더 및 초고속카메라와 같은 영상기록장치를 이용하는 직접시각화 방법이 적용되고 있다. 직접시각화 측정 방법은 눈에 보이는 화염의 지속시간과 화염의 진동 주기 시간의 비를 의미하는 간헐성(Intermittency)이 0.5가 되는 평균화염높이의 정의가 주로 적용된다. 간헐성을 이용한 평균 화염높이는 사람의 눈에 의한 평균화염높이와 거의 일치하거나 약 20% 오차를 보인다고 알려져 있다. 더불어 영상기록장치를 통해 취득한 순간 화염 이미지 분석에서 화염 강도(Luminous intensity)를 가시화하여 화염높이를 측정하지만, 화염강도의 기준이 매우 주관적이고 불명확하기 때문에 상당한 오차가 발생하며 이로 인해 물리적인 인자의 정량적인 수치와의 연관성을 찾는 것이 어렵다.

본 연구에서는 Lab-scale 화재실험에서 화염높이의 실시간 측정을 위하여 광학장치를 이용한 화염높이 측정장치를 개발하였으며, 기체(Propane) 및 액체(Heptane, Kerosene, Toluene) 연료를 이용한 확산화염 조건에서 개발된 화염높이 측정장치와 직접시각화 방법(캠코더)으로 측정된 평균화염높이를 정량적으로 비교·검토하였다. 측정 결과, 개발된 광학장치와 직접시각화 방법으로 측정된 평균화염높이는 $\pm 10\%$ 범위에서 유사하게 측정되었다.

Keywords : flame height, Real-time, optical device, measurement

** 본 연구는 소방청의 국민소방협력 초기대응 현장지원기술개발사업(20016433)의 지원을 받아 작성하였음.

불연속적으로 배열된 폼 블록의 길이 규모에 따른 화재확산에 관한 실험적 연구

한호식 · 황철홍^{**}

대전대학교 대학원 방재학과 · *대전대학교 소방방재학과

An Experimental Study on Fire Spread according to the Length Scale of Discontinuously Arranged Foam Blocks

Ho-Sik Han · Cheol-Hong Hwang^{}**

Department of Disaster Prevention, Graduate School, Daejeon University

*Department of Fire and Disaster Prevention, Daejeon University

†Corresponding author: chehwang@dju.ac.kr

일반적으로 건축물에서 화재가 발생될 때 받을 수 있는 피해를 최소화하기 위해서는 해당 화재시나리오에 적합한 화재 감지설비 및 소화설비가 설계되어야 한다. 특히 소화설비의 경우 우선적으로 건축물에서 발생될 수 있는 화재의 강도를 파악해야만 이에 상응하는 설비가 설계될 수 있다. 즉, 적절한 화재 감지 및 소화설비를 구축하기 위해서는 해당 건축물의 정확한 화재 정보가 반드시 요구된다. 그러나 국내뿐만 아니라 국외에서도 특정 건축물들을 대상으로 화재의 강도를 평가하기 위해 적용하고 있는 일반적인 방법은 화재하중(fire load)을 통한 분석방법이다. 건축물의 화재하중은 가연물의 질량과 연소열(heat of combustion)을 통해 산출될 수 있으며, 가연물의 종류가 다양할 경우 열량의 단순 합을 통해 구해질 수 있다. 그러나 이러한 가정은 공간 내부의 가연물이 동시 다발적으로 점화되며, 시간에 대한 개념이 고려되지 않기 때문에 매우 보수적인 결과를 나타낼 수 있다.

특정 건축물에서 화재가 발생될 경우 나타날 수 있는 화재의 강도를 파악하기 위한 화재하중은 가연물의 배치조건 및 이격거리에 따른 화재확산을 고려하지 않은 가연물의 단순한 열량정보를 의미한다. 그러나 실제 건축물의 공간 내부에 배열된 가연물들은 다양한 배치조건 및 이격거리를 나타낼 수 있으며, 이는 화재의 강도에 큰 영향을 미칠 수 있는 인자이다. 구체적으로 가연물의 배치조건 및 이격거리에 따라 가연물이 화염, 고온연층 그리고 측벽으로부터 받는 열적 피드백의 양이 변화될 수 있으며, 화재확산 여부 및 확산속도까지 영향을 미칠 수 있다. 또한 가연물의 종류, 형상 및 크기에 따라서도 화재확산 현상이 달라질 수 있으며, 결과적으로 화재의 강도에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 공간 내부의 화재 강도를 보다 정확하고 현실적으로 반영하기 위해서는 가연물의 종류, 형상, 크기 그리고 배치조건 및 이격거리 등 다양한 인자들에 따른 화재현상을 반드시 고려해야 한다.

본 연구에서는 불연속적으로 배열된 고체 가연물의 화재확산 현상을 분석하기 위하여 화재실험 및 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위해 선정된 가연물로는 입체적이고 단일 물질로 비교적 편차가 작을 수 있는 polyurethane 재질의 폼 블록을 이용하였다. 실험 조건으로는 폼 블록의 크기 변화 및 이격거리 변화에 따른 화재확산 현상을 관찰하였으며, 폼 블록의 화재확산 속도 및 시간에 따른 열방출률을 정량적으로 비교하여 두 가지 인자가 화재확산에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다.

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

화학공장 화재·폭발사고 원인분석 및 재발방지대책에 관한 연구

안수빈[†]

국립재난안전연구원 재난원인조사실

A study on the cause analysis and recurrence prevention of fire and explosion accidents in chemical plants

Subin An[†]

Disaster Scientific Investigation Division, National Disaster Management Research Institute

[†]Corresponding author: sb9545@korea.kr

최근 여수, 울산 등 석유화학단지에서 화재·폭발사고가 연이어 발생하고 있다. 화학공장과 같이 다량의 위험물질을 취급하고 공정·설비 등이 밀집되어 있는 곳에서 화재·폭발사고가 발생하면 재산피해뿐만 아니라 수많은 인명피해가 발생하는 대형사고로 이어질 수 있다. 산업재해 통계자료에 따르면, 제조업 분야에서 화재·폭발에 의한 재해자수가 화학물질 누출·접촉에 의한 재해자수보다 약 2배 가량 많은 것으로 나타났으며, 사망자수의 경우에는 약 5배 정도 많은 것으로 조사되었다. 이렇듯 화재·폭발사고는 다른 사고유형에 비해 인적 피해가 매우 크고 사고 발생 시 인근 설비 및 공정 등에 손상을 줄 수 있기 때문에 물적피해도 크다.

또한, 1970년대부터 조성된 석유화학단지는 약 50여 년이 경과하여 노후화가 진행되고 있으며, 이에 따른 정비·보수작업이나 공정 변경, 개선작업 등과 같은 비일상작업이 증가하고 있다. 특히, 공정·설비의 트러블 발생으로 긴급하게 진행되는 작업의 경우에는 짧은 시간에 해당 설비를 정비하므로 작업 전 잠재 위험요인을 충분히 고려하지 않은 상태로 작업을 수행할 수 있어, 자칫 대형 사고로 이어질 가능성이 크다. 실제로 최근 산업단지에서 잇달아 발생한 사고의 경우에도 정비나 공정 개선작업 중 가연성 물질이 잔류한 상태에서 작업 중 화재·폭발이 발생하였으며, 이로 인한 인명피해가 크게 발생하여 사회적 물의를 일으킨 바 있다.

이에 본 연구에서는 화학공장에서 발생한 주요 화재·폭발사고 원인분석을 통해 사고발생 및 피해확대요인을 분석하고, 이를 기반으로 예방대책 및 개선사항을 도출하여 동종·유사사고 재발방지에 기여하고자 한다.

디퓨저의 자연발화에 관한 연구

김성준 · 최재욱*†

부경대학교 건축·소방공학부(소방공학전공) · *부경대학교 소방공학과

A Study on the Autoignition of Diffuser

Seong-Jun Kim · Jae-Wook Choi*†

Division of Architectural and Fire Protection Engineering (Major of Fire Protection Engineering) ·

*Dept. of Fire Protection Engineering, Pukyong National University

†Corresponding author: jwchoi@pknu.ac.kr

생활수준의 향상에 따라 일과 휴식의 적절한 조화를 선호하며, 삶의 질을 향상시키기 위해 개인의 공간을 위한 투자도 증가하고 있다. 그 중 은은한 향을 퍼뜨릴 수 있는 디퓨저(Diffuser)는 인테리어 소품으로도 활용이 가능하여 일상생활에서 쉽게 찾을 수 있다. 디퓨저는 리드스틱(Lead stick)에서 발생하는 모세관현상을 통해 향을 확산시키며, 이를 위해 점도가 높은 향료만 사용할 수 없으므로 흔히 에탄올(Ethanol), DPM(Dipropylene glycol monomethyl ether)과 같은 용제를 첨가하여 제작한다.

디퓨저는 향료와 용제의 비율을 2:8 또는 3:7로 맞추어 사용하는 것이 발향의 효율에 좋아 시중에서 많이 사용하고 있으나, 『생활화학제품 및 살생물제의 안전관리에 관한 법률』에 의해 비분사형 방향제로 분류되고 있어 법적으로 함량 기준이 분사형에 비해 많거나 없는 실정이다.

또한 디퓨저의 용제로 주로 사용되는 에탄올과 DPM은 제 4류 위험물에 속하며, 에탄올은 인화점이 13℃로 알코올류이며, DPM은 인화점이 75℃로 제 3 석유류로 화재로 이어질 가능성이 크다.

디퓨저는 장소의 제약을 받지 않아 어디든지 배치할 수 있다는 장점이 있지만, 여름철 약 90℃까지 상승하는 차량의 내부에 위치한 디퓨저처럼 온도가 높아 유증기의 발생이 쉬운 곳에 위치할 경우에는 자연발화로 인한 화재로 이어질 가능성이 크다.

본 연구에서는 향료, 에탄올, DPM을 이용하여 직접 제조한 디퓨저를 통해 최소자연발화온도와 발화지연시간을 측정하여 디퓨저의 발화특성을 제공하고자 한다.

디퓨저는 OO업체에서 판매하는 향료와 순도 99.99% 에탄올과 DPM을 사용하였으며, 향료 20wt%, 에탄올 20wt%, DPM 60wt%로 제작하였다.

실험 방법은 ASTM E 659에 따른 장치를 사용하였으며, 일정 온도로 가열한 용기에 시료를 떨어뜨려 발화온도를 측정하였다. 시료는 최대 250 μ l인 Hamilton사의 실린지를 이용하여 떨어뜨렸으며 이와 동시에 타이머로 발화지연시간을 측정하였고 1회의 실험이 종료되면 에어건을 통하여 잔여 증기를 제거해 주었다. 반사판을 통하여 확인되는 불꽃과 발화시 발생하는 소리를 통해 발화를 판단하였으며, 10분이 지나도 아무런 반응이 관찰되지 않으면 10회 반복하여 모두 반응이 없을 경우에는 비발화로 판단하였다.

실험결과로는 350 ℃에서 시료가 10 μ l 이상일 경우 발화하였으며, 300 ℃에서는 55 μ l 이상, 250 μ l 이하의 범위에서 발화하였다. 발화지연시간의 경우 온도가 하강할수록 길게 측정되었으며 최소자연발화온도 부근에서는 약 1분의 발화지연시간이 나타났다. 디퓨저의 경우 발화 가능성이 있음에도 이를 보완하기 위한 선행연구가 없는 실정으로 다양한 연구를 통해 화재를 사전에 예방하기 위한 기초자료를 마련해야 할 것으로 사료된다.

습도 발생에 따른 연기감지기 비화재보 실험에 관한 연구

최수길 · 최유정* · 김시국[†]

호서대학교 소방방재학과 · *호서대학교 안전공학과

A study on the smoke detector Unwanted Fire Alarms experiment according to the occurrence of humidity

Su-Gil Choi · Yoo-Jeong Choi* · Si-Kuk Kim[†]

Department of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo University

*Department of Safety Engineering, Hoseo University

[†]Corresponding author: kimsikuk@hoseo.edu

비화재보의 원인으로는 여러 가지 요인이 있지만 가장 발생빈도가 높은 요인은 습도 및 수증기로 나타나고 있다. 이러한 요인은 여름철 국내 장마 기간에 높은 습도에 의해 지속적으로 연기감지기에 비화재보를 발생시키고 있으며 또한 커피포트에 의한 수증기, 샤워 후 발생하는 스팀 현상에 의해서도 비화재보가 발생하는 문제점이 있다. 이에 따라 비화재보 원인개선을 위한 다각적인 기초연구가 진행되어야 하지만 국내에서는 아직까지 습도에 의한 비화재보의 실증실험과 연기농도 특성분석이 진행되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 “감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준”을 토대로 연기감지기 작동 시험을 진행하였고, 추가적으로 감지기 시험챔버 내부에 가습기를 설치하여 습도를 발생시키고 이에 따라 시험챔버 내부의 습도를 조절하여 습도농도에 따른 연기감지기의 작동시험 특성을 분석하고자 하였다.

주요 결과로서 연기감지기 시험 챔버 습도실험 결과 상대습도 80%이상 광원모듈 기준 5 %/m 감광률이 측정되는 동일 질량 동양호지 투입 결과 평시상태보다 고습도(습도80%RH)의 경우 동일한 질량의 가연물을 투입하였음에도 연기감지기 2중 작동농도 15 %/m 이상의 연기농도가 측정된 것을 확인할 수 있었다. 또한 광원모듈 기준 15 %/m 감광률이 측정되는 동일 질량 동양호지 투입 결과 평시상태보다 고습도(습도80%RH)의 경우 아날로그 연기감지기 최대 측정 농도인 21 %/m 이상 측정되어 습도에 의해 기존의 연기농도 값보다 더욱 높은 연기농도 특성이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 현재 연기감지기의 형식승인 기준은 동양호지를 사용하여 작동시험 농도에 정해진 시간 내 작동하고 부 작동시험 농도에 작동하지 않는다면 연기감지기의 형식승인을 받을 수 있다. 이 경우 습도에 의한 비화재보를 방지하기가 어렵기 때문에 이를 방지하기 위해선 다각적인 시험기준이 필요하고 습도에 의한 작동시험과 부작동 시험이 추가되어 추후 개발되는 연기감지기의 비화재보 방지 성능을 높여야 될 것으로 생각된다.

Keywords : humidity, steam, smoke detector, Smoke Chamber, unwanted alarm

** 본 논문은 소방청의 “재난현장 긴급대응 기술개발사업(20016764)”의 지원을 받았음.

탄광 속 카나리아의 Digital Transformation (밀폐공간 가스감지 시스템, S-CANARY)

노동주[†] · 박혜준*

SK에너지 · *SK에너지

Digital transformation of canary in a coal mine (Confined space alert system, S-CANARY)

Dong-Joo, Noh[†] · Hye-Jun, Park*

SKenergy · *SKenergy

[†]Corresponding author: cromdj@sk.com

산업현장에서는 밀폐공간 내 산소결핍, 유해가스로 인한 질식 재해가 매년 지속적으로 발생하고 있으며, 밀폐공간 질식 재해의 사망률은 76%에 달할 만큼 치명적인 재해로 구분된다. 이를 예방하기 위해 산업안전보건기준에 관한 규칙 619조의 2(산소 및 유해가스 농도의 측정)에 의거 사업주는 질식 재해 예방을 위해 밀폐공간의 산소 및 유해가스 농도를 측정하여 적정공기가 유지되고 있는지 평가하여야 한다. 또한, 사업주는 밀폐공간의 질식 재해 예방을 위해 감독관이 2시간 또는 4시간 간격으로 산소 및 유해가스 농도를 측정하고 있는데, 2시간 간격으로 측정하다보니 작업도중 유해가스 누출 시 신속한 조치가 이루어지지 않아 질식 재해가 발생할 수 있는 환경에 노출되어 있는 실정이다.

과거 탄광에서 작업하는 광부들은 탄광 내부의 위험을 사전에 감지하기 위해 유해가스에 민감한 카나리아 새를 탄광에 놓아두고 카나리아의 이상행동을 탈출 경고로 삼았었다. 본 시스템은 카나리아 새처럼 밀폐공간 내 작업자들의 안전을 확보하기 위한 무인 가스감지 시스템으로 무선 통신이 가능한 가스감지기를 밀폐공간 내에 설치하여 실시간으로 산소 및 유해가스 농도를 측정하고 측정값들을 중앙 관제실 또는 감독관 PC에서 밀폐공간의 현황을 모니터링할 수 있는 시스템이다.

밀폐공간 내 작업 중 산소결핍이나 유해가스가 누출된 경우, 가스감지기에서 발생하는 알람으로 인해 작업자는 즉시 대피가 가능하고, 중앙 관제실 및 감독관이 감시하고 있는 시스템에서도 실시간으로 인지함으로써 작업 중지 및 인근 작업자에게 상황을 전파하여 2차 피해를 방지할 수 있다. 아울러 감독관은 최초 가스감지기 설치 후 추가로 밀폐공간 내 가스를 측정할 필요가 없기 때문에 감독관 및 작업자의 업무 효율성 향상에도 기여할 수 있다.

갱신 및 유효성 확인 기법 위험성평가 사례

최혜민

SK에너지

Introduction of Update & Revalidation Risk Assessment Case

CHOI HYE MIN

SK Energy

[†]Corresponding author: hmchoi@sk.com

위험성평가(Risk Assessment)는 다량의 인화성물질을 취급하는 정유, 석유화학업계에서 위험산업안전보건법, 고압가스안전관리법, 중대재해처벌법 등에서 사업주의 의무로 제시되고 있는 주요 안전관리 기법 중 하나이다. 통상 공정등이 처음 설계되고 지어질 때 위험성평가 최초평가를 수행하고 기존에 평가한 위험성평가 내용이 일정기간이 경과함에 따른 사업장 내부 및 외부의 변화요인 등으로 현 시점에서 유효한지를 확인하고 그에 따른 개선 방안 검토를 수행하는 주기적 정기평가를 필요로 한다. 이러한 주기적 정기평가로서의 위험성평가 수행시 보다 효과적이고 위험요소 발굴의 최적화를 위한 갱신 및 유효성 확인 기법을 적용한 위험성평가 사례를 소개하고자 한다.

SK에너지에서 수행한 갱신 및 유효성 확인 기법은 크게 2가지로 구분되어 진행된다. 이전 공정 위험성평가에 대한 평가와 4년간의 변화사항 리뷰가 그것이다. 우선 이전 공정위험성평가에 대한 평가는 이전 공정위험성평가의 허점 또는 결점이 없었는지에 대한 질적 수준을 평가한다. 이는 평가팀 구성/분석기법/평가내용/보고서/이행성 항목의 리뷰를 통해 이루어진다. 이후 이전 위험성평가 이후 발생한 변경사항에 대한 평가를 수행한다. 이는 사업장마다 특성을 반영하여 변경사항 평가 방법을 도입하면 되며, SK에너지에서는 변경사항을 리뷰할수 있는 항목으로 변경관리/P&ID/작업표준/사고사례/Reliability Study/현장인터뷰등을 선정하여 각각의 변화사항 및 이행성 점검을 수행하였다.

갱신 및 유효성 확인 기법은 기존의 HAZOP, K-PSR 등 도면 위주의 설계적관점 뿐만아니라 실질적으로 사업장의 Risk가 될 수 있는 변경사항에 대한 위험성을 Check해볼 수 있는 기법으로 현장에서 활용가능하며, 사업장의 특성에 맞게 Review 항목들은 매번 최적화해 나갈 수 있다는 점이 다양한 사업장에서 활용 시 장점으로 생각된다.

중질유탈황공정 및 수소제조공정 QRA 사례

JINTAEK MO[†] · KYSOO KIM^{*}

SK Energy · *KS S&C

QRA Study of Heavy Oil Desulfurization Process and Hydrogen Production Process

JINTAEK MO[†] · KYSOO KIM^{**†}

SK Energy · *KS S&C

[†]Corresponding author: moeng@sk.com

위험성평가 고도화의 일환으로 운전공정 Risk 관리 강화를 위해 정성적 위험성평가(HAZOP)에서 도출된 MAH(Major Accident Hazard)에 대해 정량적 위험성평가(Consequence Analysis)을 진행하고 있으나, 종합적 사고시나리오 분석 및 위험도 분석의 한계로 실제적인 활용이 이뤄지지 못하고 있었다.

이에 따라, Global 수준의 정량적 위험성평가(Quantitative Risk Assessment)를 위해 기술용역을 추진하여 평가수준을 Up-grade하여 활용성을 제고하고자 했다. 본 QRA Study는 KS S&C 용역을 통해 중질유탈황공정과 수소제조공정을 대상으로 약 3.5개월 간 수행하였으며, QRA 용역 추진 통해 ① 종합적 피해범위(화재·폭발·독성)도출로 비상대피계획 및 시설물 적절성, ② 사업장 내부 뿐만 아닌 사업장 외부에 대한 위험 수준 평가 및 위험도 순위 산정, ③ 안전대책별 정량적 Risk 감소효과 평가로 안전투자 우선 순위 선정 등이 검토를 수행 하였다.

QRA Study는 수행과정에서 다양한 기준정보에 대한 Global Reference 축적 및 수행능력을 키울수 있었고, HAZOP과의 연계를 통해 HAZOP에서 도출된 개선권고사항들의 정량적 효과(Risk Contour, Individual Risk, Social Risk 측면)를 직접 확인할 수 있었다. 앞으로 API 등 글로벌 Code에서는 설비간 이격 거리, 조정동 위치 선정시 정해진 거리를 일률적으로 정해 놓지 않고, QRA를 통해 피해 결과를 예측하고, 그 결과를 토대로 공정 설계 반영하도록 권고하고 있음에 따라, SK 자체기준을 지속 보완하며 설계시에도 반영되도록 지속발전이 필요하다 판단된다.

데이터의 허브, 차세대 설비관리 시스템 오션허브

정창훈 · 김강석 · 조병호

SK에너지

Data Hub, The All-New EAM Solution OCEAN-H

Chang Hoon, Jeong · Kang Seok, Kim · Byeong Ho, Cho

SK Energy

[†]Corresponding author: kihm@kihm.org

Plant 안정운전을 위해 공정설비관리는 핵심적인 사항이다. 최근에는 Digital Transformation (이하 DT)를 다양한 기법을 적용하여 안전과 설비 신뢰도를 제고하고자 다양한 기업에서 노력하고 있다. 설비관리 DT의 궁극적인 모습은 Digital Twin을 구현하여, 현장에 가지 않고도 설비의 고장/이상 상태를 AI가 분석하여 알려주고, 작업 계획을 사전에 시뮬레이션 할 뿐만 아니라, 실행 과정에서의 안전/품질관리 및 사후 분석을 통해 Lessons Learned까지 제공해 주는 것이다. 많은 국내 기업에서는 수많은 예산과 시간을 DT 솔루션 도입 사업에 투입하고 있지만, 대부분의 DT 프로젝트는 실패로 끝나고 만다. 왜 그런 것일까? 수십, 수백억을 들여서 개발한 3D 모델에는 데이터가 없고, 예지정비 시스템은 엉뚱한 메시지만 전달한다. DT의 핵심 중의 핵심은 데이터이다. 데이터가 없는 3D 모델은 잘 그려 놓은 공장 풍경화일 뿐이고 데이터가 지속적으로 축적되지 않는 AI는 스스로 성장하지 못한다.

그렇다면 왜 데이터가 없을까? 데이터의 수집과정에서의 문화적 차이 때문이다. 같은 Planner의 직무를 가졌음에도 서양의 Planner는 하루 종일 PC앞에서 일하는 반면, 동양, 한국에서는 조 직관리, 현장관리, 회의 참석 등 다양한 업무를 수행하고 있으며, 이는 책임감과 사명의식이라는 문화가 자리 잡고 있기 때문이다. 그래서 동양 문화에 적합한 효율적인 시스템이 필요하다는 판단을 하였고, 다음과 같은 특징을 가지는 OCEAN-H 시스템을 직접 설계하고 개발하게 되었다.

① 기준정보의 지속적 관리 체계의 구성 ② 하나의 시스템 플랫폼에서 모든 업무 프로세스를 유기적으로 연계 ③ 일괄 업무처리 방식의 시스템 구현 ④ 협력사와의 협업 프로세스 등

OCEAN-H는 DT의 완성품이라고 하기 보다는 시작점이며, 미래의 가치가 더욱 크다. 데이터를 모으고 공유하는 기간 시스템 EAM(Enterprise Asset Management)으로써, 이제는 DT의 기반이 되는 데이터가 지속적으로 쌓이고 있기 때문에, 이를 바탕으로 제대로 된 DT를 추진할 수 있게 되었다. 한편, 본 시스템은 SK만을 위해 만든 것은 아니다. 국내 업체에서 개발한 시스템들이 솔루션화 되어 확산된 사례는 극히 드물지만, 다른 회사, 다른 산업분야에도 활용 가능하도록 문을 열어 놓고 있으며, 현재 확산, 솔루션화 사업도 추진 중이다.

디지털 세상에서는 공유할 때 그 가치를 더욱 키울 수 있다. 동일한 기준정보, 동일한 데이터 수집체계가 되어 있을 때만이 상호간의 경쟁력 분석/비교, 주요 데이터의 교류, 빅데이터 분석, DT 영역의 확장 등이 효과적으로 이루어질 수 있다. OCEAN-H의 확산을 통해 이러한 디지털 생태계를 구성하는 것을 VISION으로 미래의 모습을 그려본다.

SK에너지의 지역사회 Social Value 창출을 위한 Tech Consulting 활동

이상모 · 김석민

SK에너지

국내 최초(1964년)의 정유공장으로 세계적 규모의 석유/석유화학 Complex를 보유한 SK에너지의 사회적 가치 창출활동 중 하나인 Tech Consulting Service 활동을 소개하고자 함.

약 40년간 정유 및 석유화학 공장을 운영하면서 축적된 SK에너지의 Know-How를 기반으로 한 Tech Consulting Service(*)를 수행 중임.

(*) 지원 가능한 분야는 국내 석유화학업계 및 관련업종의 공정의 안정운전, 설비(기계/장치/계기/전기/검사)의 Reliability 확보 방안 및 Up-grade, 사고원인 RCA(Root Cause Analysis), SHE(Safety, Health, Environment) 진단, 최근 Trend인 Smart Plant 기술, 최신 설비관리 시스템, 최신 Standard 및 교육프로그램 등

상기 기술을 지원함으로써 자체 Engineering Resource를 충분히 보유하지 않은 국내 중소 관련업계의 안정 조업 확보에 기여하고자 하며, 또한 석유화학 분야의 Tech Center로서의 입지구축 목표를 달성하고자 함.

국가 R&D 연구의 성공적 수행에 관한 연구

민세홍 · 이재문 · 사재천 · 한봉훈

가천대학교

A Study on the Successful Performance of National R&D Research

SeHong Min[†] · JaeMoon Lee · JaeChun Sa · BongHoon Han

Gachon University

연구자는 본연의 임무인 연구수행을 계획해서 실천하며, 연구결과에 대한 연구평가를 받게 된다. 연구결과란 기관별로 평가항목과 기준 등이 상이하지만, 공통적으로 연구의 질을 높이기 위한 척도로 활용된다. 대학교수의 평가로 건전한 경쟁을 유도하는 수단이라고 생각된다. 일반적으로 교수의 평가 항목으로는 논문실적, 지식재산권, 강의평가, 대내외활동 등 많은 지표가 있으나, 그 중 상대적으로 큰 Gap이 발생하는 지표는 국가R&D와 용역 수주 지표이다. 이번 연구에서는 연구자로서 국가R&D의 성공적 수행을 위한 전략적 접근방법에 대해 정립함으로써 국가R&D 제고를 원하거나, 참여를 갈구하고 있는 연구자에게 그 방법을 제시하고자 한다. 연구에 참여하게 되더라도 공동연구자로서의 참여의 의미는 미미하고, 총괄책임연구자로 연구수행이 중요하다. 하지만, 연구 의욕이 충만한 이제 막 시작하는 젊은 연구자로서는 의욕만으로 실질적인 국가연구 수행에 연구책임자로 연구의 기회를 잡기란 그리 만만치 않은 일이다. 관련 산업체에서 엔지니어를 경험은 산업체의 현장경험이 없는 연구자와 비교하여 상대적으로 연구수행하는 데 큰 장점이 있는 것이 사실이다. 산업체의 경험은 곧 연구 수행에 근간이 될 수 있다. 산업체의 경험이 없는 연구자도 연구자로서의 임무수행에 관련 산업체와의 연구 네트워크 구성에 노력해야 할 것이다. 결과적으로 사회나 산업체에 활용될 수 없는 연구소 내에서 벗어날 수 없는 연구는 통련할 수 없다.

연구의 기획단계에서 중요한 것은 융복합적인 연구영역으로의 확대이다. 본인이 전공한 순수학문 세부 전공만으로 국가R&D를 찾는 연구자에게 꼭 전해주고 싶은 말은 시대적 키워드를 활용하라는 조언 전해준다. ICT, IoT, Platform, AI 등의 키워드를 넘어서 Digital Twin, Metaverse 등의 새로운 키워드를 본인의 키워드와 접목시킬 융복합적인 창의적 사고의 접근이 요구된다.

연구의 기획단계 다음은 연구 경쟁을 위한 연구 컨소시엄의 구성이다. 연구 컨소시엄의 구성은 연구 수주여부에 가장 큰 영향을 미치는 인자이다. 첫째 관련 산업체의 동향과 특성을 잘 파악해야 한다. 연구책임자로서 이를 게을리하면 연구를 앞장서 이끌어가지 못하고 이끌려 다니게 된다. 둘째는 컨소시엄 구성에 사적인 마음을 배제해야 한다. 사적인 컨소시엄의 구성은 그들의 일이 전부 본인의 일이 될 수 있음을 꼭 기억해야겠다.

마지막으로 성공적인 연구결과 마무리를 위한 조언이다. 연구를 마친 후 논문게재, 지식재산권 등록, 인증 등을 수행하는 것은 그만큼 시간과 노력이 더 필요하며, 특히, 비용이 발생할 때는 이미 과제가 종료된 시점이므로 집행할 예산이 없는 경우도 있다. 가능하면 연구 시작직후에, 논문, 지적재산권, 인증 등 과제 평가항목을 기준으로 계획을 수립하여 과제진행 중 함께 진행하며, 이 결과를 종합하면 최종 보고서가 되도록 계획적 진행이 요구된다. 본인이 가장 잘할 수 있는 연구영역에 전략적 접근으로 진일보된 연구자로서의 역할을 기대하는 바이다. 이러한 방법에 대한 방향을 30여 년간의 수많은 크고 작은 국가R&D연구의 성공적인 연구수행 경험을 바탕으로 본 연구에 정리하도록 한다.

위험물 저장시설의 화재예방에 관한 연구

민세홍[†] · 김진석 · 황현배 · 이재문 · 사재천

가천대학교

A Study on Fire Prevention in Hazardous Materials Storage Facilities

SeHong Min[†] · JinSunk Kim · HyunBae Hwang · JaeMoon Lee · JaeChun Sa

Gachon University

2018년 10월 7일 발생한 고양시 저유소 폭발화재와 관련하여, 사고 발생 원인과 분석을 통해 유사 사고에 대한 예방대책에 대해 리마인드 하도록 한다.

사고 원인 추정 결과를 요약에 직접원인에 따른 근본 원인과 근본원인별 주요 재발 방지 대책에 대해 정리해 본다. 자체적 분석을 통한 결과로 안전계획에 대한 검토내용을 정리하였다.

기존의 위험물시설에 설치된 대부분의 시설에 적용된 약제혼합방식인 포소화시스템 개선의 제안과 더불어 친환경 포소화약제 교체 제안 등에 대해 요약 설명한다.

또한, 포방출구(Form Chamber)의 추가설치, 냉각용 Water Spray System 추가설치에 대해서도 의견을 제시한다. 최초 저유소 위험물시설 설치 후, 감시를 위한 기능 개선에 따른 CCTV의 수차례 공사로 설치된 CCTV의 통합적 관리 운영방안에 대한 제안도 한 바 있다.

더불어, 위험물시설을 감시하는 감지기의 오동작을 개선하고자 하는 방안도 제시하였다. 대부분 대책으로 제시하고 있는 감지기의 적응성 검토로 근원적인 오작동에 대해 대응할 만한 선진국의 시스템을 제안하였으나, 기능적으로는 충분히 설득되나 가격적으로 대응하기에는 아직 숙제가 남아있기는 하다. 그래서 국가적인 개발의 노력이 절실하다.

이에 대해서 현재까지 각 부처의 대응은 오동작을 개선한 현재의 감지기로 대응하는 의견을 제시하였으나 감지기가 설치되는 외부의 환경적 영향(햇빛, 바람, 먼지 등)을 배제하기에는 역부족이라고 판단된다.

또한, 의사 결정 단계에 대한 정립, 자체 안전자문위원회 역할 정립, 사고조사 원인 파악기법의 정립, 자체 소방대 운영방안에 대한 검토도 진행되었으며, 통합관제 플랫폼 구축도 검토 진행된 바 있다. 설치된 각각의 시스템을 통합적 시스템으로 총괄하는 시스템적 개선만이 대응에 객관성을 확보하고 대응시간을 최소화하고 또 대응 반응 행동을 단순화 시킬 수 있을 것이라 확신한다.

여러 부처와의 이해관계로 본 사고와 관련된 중요하다고 판단하고 의견 게시를 한 내용도 많이 있었으나, 이에 대한 결론은 아직도 진행되지 못하고 있다. 예를 들어, 저유소 위험물시설에 대한 산림 정지작업, 풍등 금지와 같은 사안 등이다.

본 주제를 2005년 12월 11일에 발생한 영국 번스필드 폭발화재사건과 더불어 위험물시설에 대한 미래지향적 대응 방안에 대해 논의하고자 한다.

소화수조 전용 내진 버팀대 개발 연구

허동필 · 한봉훈 · 민세홍[†]

가천대학교

Research on the development of seismic braces for fire extinguishing tanks

DongPil Hee · BongHoon Han · SeHong Min[†]

Gachon University

[†]Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

국내에서 내진설계 기준 적용 후, 소방시설의 주요 구성요소가 지진으로부터 안전성을 확보함으로써 전체 소방시설의 내진 안정성은 많이 개선되었다. 하지만 물성이 취약한 소화수조들은 물성(Material properties)의 취약성 때문에 구조 안전성을 보장할 수 없으므로 구조 안전성 검토가 가능한 콘크리트 소화수조나 Carbon Steel Tank에 밀려서 실제 현장에서는 설계·시공되는 사례가 점점 줄어들고 있는 실정이다. 이번 연구에서 이러한 문제점을 쉽게 해결하기 위해 내진버팀대를 개발한 연구이다. 소화수조에 독립적인 외부 보강 내진 버팀대를 설치함으로써 소화수조의 설치 높이나 형상비에 따라서 지진하중이 어떻게 달라지는지 확인하고, 다양한 소화수조의 높이에 따라 그에 상응하는 맞춤형 Model을 개발함으로써, 소화수조 내진 안전성을 확보하고자 한다. 소화수조의 대상은 용량 80 ton 기준으로 (L × W × H)인 (8 m × 5 m × 2 m)와 (7 m × 4 m × 3 m)를 대표적인 Model로 선정하였다. 구조해석 프로그램은 SOLIDWORKS 2019 SP 2.0으로 해석하였고, 구조해석에서 나타내는 도출값은 인장응력과 변위량을 확인하고, 전단응력 한계치를 확인하는데, 소화수조의 형상비에 따라 지진하중이 어떤 차이를 보이는지와 버팀대를 적용하지 않은 것과, 적용한 것에 대한 4가지 시나리오에 의한 시물레이션을 진행하여 다음과 같이 비교 분석하였다.

- 1) FRP 소화수조 외부 보강 내진 버팀대 개발
- 2) 국가 공인 인증기관의 성능 TEST 통해 안정적 버팀대 검증 및 선정
- 3) 구조해석을 통한, 내진 버팀대의 내진 안정성 평가
- 4) FRP 소화수조에 대해 버팀대 설치 시와 미설치 시 내진 성능 확인
5. 개발된 버팀대로 범용적 활용이 가능함을 확인하였다.

다양한 소화수조마다 내진 안전성을 증명하기 위하여 구조해석을 개별적으로 하기에는 많은 시간과 고비용 등의 어려움이 있으므로 이번 연구의 결과물을 토대로 다음과 같이 표준화할 수 있는 방법을 제시한다. 등가정적해석설계법에서 산출된 수평지진하중을 구조해석 시물레이션의 인자값으로 반영하여 내진 안전성을 확인하게 되면, 내진 안전성이 확인된 당시의 해석 결과값을 근거로 해석 당시의 수평지진하중보다 작은 소화수조는 당연히 내진 안전성을 확보할 수 있다고 추론할 수 있다. 소화수조의 높이와 형상비가 다른 다양한 소화수조를 각각의 소화수조마다 구조해석을 해야 하는 어려움이 있으므로 소화수조를 크게 몇 가지 종류의 표준 Model로 분리한 후, 내진성능이 인정된 버팀대를 소화수조의 높이에 맞게 설치한다.

이 경우 구조해석으로 안전성이 확인된 소화수조의 수평지진하중보다 작은 소화수조는 별도의 구조해석 없이도 내진 안전성이 당연히 보장받을 수 있다는 결론을 얻을 수 있다.

소화전 함의 내진설계 방법과 내진성능평가 연구

오홍규 · 민세홍[†]

가천대학교

A Study on Seismic Design Method and Performance Evaluation of Fire Hydrants

HeungGyoo Oh · SeHong Min[†]

Gachon University

[†]Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

근래 포항(2017) 지진 등 전세계적으로 지진 발생 증가와 더불어 건축물의 대형화, 고도화 및 밀집화가 되고 있는 추세이다. 지진발생은 건축물과 도로 등의 붕괴 및 손상인 1차 피해가 발생하여 소방시설의 파손 및 소방력을 저하시키고, 가스(유류) 누출과 전기 스파크 등 점화원으로 인해 발생한 2차 화재피해는 건축물의 고도화 등에 따라 화재확대 등의 화재 위험성이 증대됨을 예측할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 지진 2차 피해인 건축물 화재에서 소방시설 중 소화전이 정상 작동하도록 현행 내진설계와 내진성능확인 문제점을 통해 신뢰성을 높일 수 있는 현실적인 대안을 제시하고자 한다. 연구대상 소화전 함은 대표적인 바닥 및 벽체 노출형을 선정하여 수행하였으며, 현재 현장에서 설치운영 중인 소화전 함의 내진설계 안전성 및 내진성능의 유효성에 대하여 검토하였다. 먼저 우리나라 소화전 함의 내진설계 현황조사를 통하여 현장 설치현황, 기준, 설계 및 성능확인 방법을 조사하였으며, 내진용 소화전 함의 설치형태에 따른 바닥형, 벽체(기둥 포함)형 형식의 특성분석을 통하여 구조안전성의 상관관계와 성능확인의 필요성에 대하여 명확히 하였다. 또한, 최근에 개정된 소방시설의 내진설계 기준과 해설서의 요구사항인 성능기준을 정량적으로 제시하였고, 내진설계 방법과 시뮬레이션과 시험을 통한 내진성능확인을 할 수 있는 가이드 라인을 제안하였으며, 최적화 내진설계를 할 수 있도록 특성별 항목을 분석하여 제안하였다. 결과적으로 본 연구를 통해 소화전 함에 성능 항목과 기준치를 공학적으로 가이드라인을 설정하여 과학적이고 합리적인 내진설계와 성능확인에 기여하고자 본 연구를 진행하였다. 현재까지 내진설계는 지진하중과 소화전 함을 강성체로 보고 구조체와 앵커링하는 것으로 형상정보가 포함된 본체의 강성, 커넥터(볼트, 용접)의 파손과 변형을 추가하여 안전성 확보를 위해 가이드 라인에 제안한 연구 결과, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다. 소화전 함은 지역 및 설치 특성을 고려한 지진하중(Fpw), 형상정보(크기, 두께, 모양, 재질, 기기배치 등), 중량, 연결방법, 설치형태 등 구성요소 포함된 3D모델링과 정적해석 시뮬레이션으로 성능 특성을 항목별로 특성을 분석 및 비교하여 구조안전성, 최적화 설계 및 동적진동대를 이용한 시험으로 성능을 확인해 결론을 얻었다. 본 논문에서는 이러한 내진설계의 안전성을 설계방법, 성능확인을 통해 현행 기준과 해설서에 가이드로 제안하였다. 결론을 요약하면, 다양한 제품에 형상정보로 내진설계 성능항목과 기준치를 제시 구성요소의 문제점을 도출·보완해 소화전 함의 구조안전성과 성능을 확인하여 최적화 설계가 이루어지도록 제안하였다. 향후 이와 유사한 제어반등, 분전반, 및 MCC판넬, 합류 등이 지진으로부터 정상 작동할 수 있는 기준과 성능의 기준치를 정량적으로 나타내는 설계방법과 성능확인의 가이드 라인 제시로 큰 의미를 갖는 것으로 판단된다.

공동주택에서 화재·피난시뮬레이션 수행 시 소방설비 작동 적정성 판단에 관한 연구

김길중 · 민세홍*

지케이엔지니어링 · *가천대학교

A Study on Determination of Appropriate Operation of Firefighting Facility when Fire and Evacuation Simulation is Performed in the Apartment

Kim, Kil-Joong · Min, Se-Hong*

GK Engineering · *Gachon University

†Corresponding author: ok25eo@naver.com

근래 소방시설 등의 성능위주설계는 건축물 및 소방시설의 성능향상을 위한 건축 및 설비적 제한으로 사람을 보호할 수 있도록 안전하고 신뢰성 있는 건축물을 설계하는데 많은 기여를 하고 있다. 소방 성능위주설계에서 화재·피난시뮬레이션을 통하여 건축적인 면을 추가 및 수정하거나 CCTV 설치로 피난안전성을 확보하는 경우가 많으며, Active System을 이용한 피난 안전성의 확보는 소방 성능위주설계의 시 인정받는 경우가 드물다.

특히, 공동주택의 경우 화재실 현관문의 개방상태에서 화재·피난시뮬레이션을 수행 시 Active System을 이용하지 않으면, 피난안전성을 확보하기는 매우 어렵다. “건축물은 Passive System이 근간을 이루고 Active System이 건축물에 적합하게 설치되는 상호보완적인 관계를 이루어 안전을 추구한다.”¹⁾라는 대전제를 기본으로 Passive System과 Active System의 조합으로 안전을 확보해야한다고 판단된다. 그리고 국내 피난지연시간에 대한 규정은 SFPE의 논문에서 가져왔지만, SFPE에서는 삭제되어 자료에 대한 신뢰성이 부족하다.

이에 본 연구에서는 공동주택을 예로 화재·피난시뮬레이션 수행 시 여러 가지 경우의 소방시설의 작동을 계획하여 “소방설비 작동을 어디까지 했을 때 안전성을 확보할 수 있는지”를 분석하고, 소방 성능위주설계 시 화재·피난시뮬레이션에 Active System을 적용하여 피난안전성을 확보할 수 있는 기준을 마련하는데 초석이 되고자한다.

공동주택 대피공간 차열방화문의 내화시험방법 개선에 관한 연구

김민재 · 민세홍^{*†}

한국건설생활환경시험연구원 · *가천대학교

Study on the Improvement of Fire Resistance Test Method for Insulated Fire Steel Door

Min Jae Kim · Se hong Min^{*†}

Korea Conformity Laboratories · *Gachon University

[†]Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

국내 법규에서는 건축법에 따라 4층 이상인 층의 각 세대가 2개 이상의 직통계단을 사용할 수 없는 경우에는 발코니에 인접 세대와 공동으로 또는 각 세대별로 대피공간을 설치하도록 하고 있고, 대피공간으로 통하는 출입문에는 고시에서 정한 60분+ 방화문을 설치하도록 하고 있다. 60분+ 방화문이란, 70분의 비차열 성능에 35분의 차열성능을 확보한 방화문으로, 재실자가 화재를 피하여 대피공간에 체류할 시 대피공간 내부로의 열 전달을 막아주어 복사열에 의한 화상 피해 등을 막아주는 역할을 한다. 해당 법령은 2015년 4월 6일 개정되어 1년의 유예기간을 두고 건축허가 시점이 2016년 4월 6일 이후인 대상 건축물에 적용되고 있다. 시험방법은 국토교통부 고시에 따라 KS F2268-1(방화문의 내화시험 방법), KS F 2846 (방화문의 차열시험 방법) 및 KS F 3109(문세트)이 적용되며, 시험은 건축법 시행령 제63조에 따라 한국건설기술연구원, 품질검사전문기관 또는 국가표준기본법에 따른 공인 시험기관에서 수행할 수 있다.

차열 방화문의 차열성능 기준은 문짝의 평균 상승온도가 140K 이상, 최고 상승온도가 180K 이상, 그리고 문틀의 최고 상승온도는 360K 이상이 되지 않도록 하고 있다. 차열방화문과 비차열방화문의 차이점은 강판과 강판 사이의 내부충진재 소재에 있다. 비차열 방화문의 경우 열 전달을 막아 줄 필요가 없어 소재에 큰 제약이 없으나, 차열 방화문은 열전달을 충분히 막아줄 수 있는 소재를 사용해야 하며, 현재까지는 대부분 미네랄울을 내부충진재로 사용하고 있으며, 그 사양은 제조업체별로 상이하다.

본 연구에서는 기(既) 수행된 다수의 차열방화문의 사양을 분석하여 내부충진재로 사용된 미네랄울의 두께 및 밀도의 차이에 따른 온도 상승 경향성을 도출하였다. 분석 결과 내부충진재의 두께가 두꺼워 질수록 차열성능이 증가하는 것으로 나타났으며, 밀도의 경우에도 증가할수록 차열성능이 향상되기는 하지만 그 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 즉, 일정 밀도 이상의 미네랄울을 사용한다면 두께에 따른 차이만을 고려해도 무방한 것으로 나타났다. 또한, 현재 양면에 대하여 수행하고 있는 내화성능 시험에 대해 차열방화문의 경우에는 ‘당기는 문’ 방향으로 2회 성능시험 하는 것을 제안하여 차열방화문 성능 확보의 실효성을 재고하고자 한다.

풍력터빈 나셀의 화재감시와 소화설비에 관한 연구

정광민 · 민세홍^{*†}

가천대학교

A Study on the Fire Monitoring and Fire Extinguishing Facilities of the Wind Turbine Nacell

KwangMin Jung · SeHong Min^{}**

Gachon University

[†]Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

최근 지구 온난화로 인한 화석연료의 대체로 신재생에너지의 사용 비율이 높아지고 있으며, 신재생에너지는 신에너지와 재생에너지를 합한 복합적 의미를 내포하고 있다.

신에너지는 연료전지, 석탄액화가스, 수소에너지 등이 있고, 재생에너지는 태양광, 태양열, 바이오매스, 풍력, 수력, 해양, 폐기물, 지열 등이 있다.

우리나라의 풍력발전기 설치 현황은 해상과 해양으로 크게 2가지 유형으로 설치되어 있으며, 풍력발전기에 대한 수요는 늘어나는 추세이다.

우리나라에 설치된 풍력발전기는 750기, 106단지이며, 2010년 기준 설치된 226기 풍력발전기는 소방시설이 설치되어 있지 않고, 2011년~2015년 사이에 설치된 206기는 제조사별로 법적인 규정 없이 자체적으로 설치하였다.

2016년 이후에 설치된 318기는 산업통산자원부 공고 전기설비기준의 판단기준을 근거로 제21조 “500 KW 이상의 풍력터빈의 나셀 내부의 화재 발생 시 이를 감지하고 소화할 수 있는 화재방호설비를 시설하여야 한다.” 라고만 표기되어 있는 실정이다.

본 연구는 풍력터빈 나셀에 적합한 소방시설에는 어떠한 것이 있는지 분석하였으며 먼저 풍력발전기의 기본원리와 구성에 대한 이해, 화재에 취약한 설비가 집중되어 있는 나셀의 구조, 기존에 설치된 풍력발전기 나셀의 소방시설 설치사례, 풍력발전기의 화재사례에 대한 조사하였다.

이에 분석한 결과를 토대로 국내 법적인 기준 및 해외 설치기준 조사, 풍력발전기 나셀 내부에 적합한 소화약제, 제어부, 감지기, 통합관리시스템 제안, 설치된 소방시설에 대한 운영 매뉴얼 정립을 제안하였다.

이를 통하여 풍력발전기 나셀에 적합한 최적의 소방시설로 소화약제로는 고체에어로졸소화약제, 감지기는 나셀내부의 환경이 기류의 영향과 온도차가 심한 것을 감안하여 공기흡입형감지기, 카메라일체형 불꽃감지기를 적용하였으며, 통합관리실에서는 영상을 통한 실시간 감시를 통한 통합관리시스템을 제안하였다.

풍력발전기를 소방법에 적용시켜 적합한 최적의 소방시설을 설치 후 유지관리를 철저히 함으로써 화재사고를 미연에 방지하여야 함을 법과 제도의 보완적인 측면에서 정리하였다.

대기환경보전법에 근거한 석유류 옥외저장탱크의 대기오염 방지시설 적정성 평가

조태윤 · 민세홍^{*†}

가천대학교

Assessment of the Adequacy of Air Pollution Prevention Facility for Outdoor Oil Storage Tanks Based on the Clean Air Conservation Act

TaeYoun Cho · SeHong Min^{*†}

Gachon University

[†]Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

미세먼지에 대한 관심이 증가하면서 미세먼지 저감을 위한 규제가 증가되고 있는 추세이며, 이 중 대기환경보전법에 따라 석유류 옥외저장탱크에 대기오염 방지시설 설치 규제가 신설되었다. 그러나 규제의 추진 과정 중 관계부처, 이해기관, 전문가 의견 등을 포함한 종합적인 안전성 검토 과정이 누락되었다.

지난 2018년 10월 17일 발생한 고양저유소 화재 사고는 풍등에서 시작된 작은 불씨에 의해 휘발유 탱크가 폭발하였으며, 화염열 영향으로 인접탱크까지 연쇄 폭발을 일으킨 대형 사고였다. 이와 같이 석유류 옥외저장탱크는 인화성, 발화성의 위험성이 강한 물질을 대규모로 저장하는 시설로 화재·폭발의 개연성이 높고, 화재 발생 시 소화가 상당히 곤란하여 대규모 연쇄 폭발로 이어질 가능성이 높다. 이와 같이 석유류 옥외저장탱크는 설치와 운영, 정기점검, 구조 변경 등 운영 상 모든 과정의 안전성 확보는 필수적인 요소이다.

이에 본 연구는 석유류 옥외저장탱크의 대기오염 방지시설을 설치하는 경우 발생할 수 있는 위험성을 분석하고, 이에 대한 안전성 확보 방안을 제시하였다. 석유류 옥외저장탱크의 대기오염 방지시설 설치 제도화의 문제점을 다음과 같이 분석하였다.

1. 석유류 옥외저장탱크의 대기오염 방지시설 안전성 확보 여부
2. 대기오염 방지시설 설치기준의 정밀성
3. 대기오염 방지시설 운영의 타당성
4. 비상대응 체계화

또한, 연구된 결과를 토대로 다음과 같이 안전성 확보 방안을 제안하였다.

1. 규제의 합리화 방안
2. 안전사고 예방을 위한 기준 강화 및 표준 매뉴얼 제정
3. 대기오염 방지시설 법정 유지관리 기준 신설
4. 비상시 대응 매뉴얼 정립

독립적으로 운영되던 석유류 옥외저장탱크를 하나의 시스템으로 연결하는 대기오염 방지시설은 고양저유소 화재규모와 비교할 수 없을 만큼의 대형 화재·폭발을 야기할 수 있는 대단히 우려스러운 설비로 판단된다. 이에 따라 대기오염 방지시설 설치 시에는 강화된 안전대책 및 규제의 합리화가 필요할 것이며 이에 요구되는 대책 수립 시 본 연구가 크게 활용될 것으로 기대한다.

석유화학공장을 대상으로 한 중대재해처벌법 이행점검 사례

양형규 · 이상훈 · 이형섭^{*†}

한국산업안전기술단 · *명지대학교

A Case of Performance Check for “Serious Disaster Punishment Law” with Petrochemical Company

HyoungKyu Yang · SangHun Lee · HyungSub Lee^{*†}

Korea Industrial Safety&Engineer Corp. · *MyongJi University

[†]Corresponding author: leehyung1960@naver.com

중대재해처벌에 관한 법률(이하 “중대재해처벌법”이라 한다)이 2022년 1월 27일 시행 후 6개월이 지난 시점에서 50인 이상 사업장에서는 첫 번째 본 법률에서 요구하는 7가지 주요 조항에 대하여 이행점검을 본사 안전보건전담조직 주관으로 실시하도록 규정되어 있다.

많은 사업장에서는 자체적으로 이행점검을 수행한경우도 있지만 일부 사업장에서는 첫 번째 이행점검이므로 어떤 세부항목과 내용으로 점검을 수행할지 모르고, 시행착오를 방지하기 위하여 안전보건 전문기관이나 전문가에 위탁하여 실시한 경우도 있다.

7가지 주요 이행점검의 항목은 ①유해·위험요인의 확인 및 개선조치 확인 ②안전보건관리책임자, 관리감독자 등의 업무평가 및 관리 ③안전·보건에 관한 종사자의 의견 청취, ④급박한 위험에 대한 비상대응 매뉴얼 마련 및 훈련 ⑤협력업체의 선정 및 안전보건 확보 등의 적정 평가 ⑥안전·보건관계 법령에 따른 의무이행 여부 확인 ⑦안전보건에 관한 교육 실시여부 확인 등이다.

본 사례연구에서는 석유화학공장을 위주로 상기 7가지와 더불어 안전보건리더십과 안전보건 확보를 위한 활동을 추가하였으며, 이를 50가지 세부항목으로 나누어 서류확인, 현장확인 및 안전보건관리책임자 등의 면담을 통하여 실제 적정하게 이행하는지를 확인하였다.

대부분 석유화학공장은 이미 공정안전관리(PSM)제도를 운영하고 있으며, ISO 45001 등 안전보건경영시스템을 도입하여 경영시스템적으로 위험관리를 하고 있어, 중대재해처벌법 각 조항에서 요구하는 사항을 적정하게 준수하고 있는 것으로 나타났다.

다만 결론에서는 사업장에서 보다 더 안전한 사업장을 조성하기 위하여 일부 보완할 내용 위주로 작성하고자 한다.

Keywords : 중대재해처벌법, 이행점검, 공정안전관리제도, 안전보건경영시스템

중대 재해예방을 위한 안전관리 고도화 사례 (M-PJT)

이윤호[†]

LG화학 여수 환경안전부문

EHS(Environment, Health & Safety) Best Practice of LG Chem. for preventing Serious Accidents in M-Project

Yun-Ho Lee[†]

LG Chem Yeosu EHS

[†]Corresponding author: yunholee2020@lgchem.com

LG화학은 2020년 인도 SM 누출사고 등의 일련의 중대재해를 기점으로 ‘승고한’의 꽃말을 가진 목련(Magnolia)의 M을 인용하여 사망, 화재·폭발, 유·누출과 같은 중대 사고의 재발을 방지하기 위해 전 임직원이 참여하는 프로젝트를 구성하였고, 이를 통해 환경안전 관리역량을 글로벌 수준으로 상향 평준화하고 있음. 이를 위해 전 사업장에 대해서 2020년 긴급안전진단과 정밀안전진단을 내·외부 전문가들을 구성하여 실시하여 현장에 상존하는 중대사고 Risk를 발굴하였고, 유사시 피해최소화 대응 체계를 최적으로 구축하였음. 또한 이를 위한 LGC Standard 확립을 위한 5대 실행 과제를 선정하여 환경안전 기술지침 제·개정, Mother Factory 운영, 사고예방 체계 개선, 비상대응 체계 개선, DX 활용 위험 조기 감지를 중점적으로 실행하고 있음. 또한 환경안전 Level별 교육강화를 체계화하였고, 안전 리더쉽 과정, 위험성평가 리더 양성 과정을 신설하여 환경안전 역량을 지속적으로 개발하고 있음.

사업장 내 실행 상세 사항으로 환경안전 최우선 문화 정착을 위해 5분 멈춤 제도, 절대준수 환경안전 수칙 10대, 절대준수 안전 7대 수칙을 운영하고, 기본지킴이 캠페인을 지속적으로 실시하고 있음. 또한, 중대재해 가능사고 (Serious Injury & Fatality, SIF)를 발굴 및 개선, 사업장 환경안전 교육을 규정 기준으로 개편, 배관 개방 (Line Break)작업 절차 도입, 지게차 운행 안전성 확보 방안 도입, 압력·누설 검사 규정 도입, 전사 산업보건체계 확립, 부속위원 신규 구축 및 운영, LG화학 Engineering Spec. 및 사내 기술지침 제·개정, 글로벌 기준의 Project 가동전안점검 절차 도입, 소방 TFT(Test Forced Team) 운영을 통한 소방 역량 강화를 수행하여 기본적인 법규 준수 외에 중대재해를 방지하기 위한 많은 시스템을 도입 및 적용하여 현장 안전보건 역량을 높이고 있음.

안전사고 예방을 위한 작업자 및 조직 성과 향상 방안

심중호[†]

(주)포스코

Improvement of Human and Organizational Performance to Prevent the Incidents in Work Place

Jong-Ho Sim[†]

POSCO

[†]Corresponding author: jhsim@posco.com

DEKRA Insight 자료(2016)에 따르면, 미국의 경우 지난 15년 동안 일반 재해의 감소는 51% 이나, 중대재해의 감소율은 25.5%의 감소에 그치고 있다. 이러한 현상은 비단 미국만이 아니고, 대부분 많은 국가에서 일어나는 현상이다. 재해를 예방하기 위해서는 1단계 법적·규제적 (Compliance) 측면에서 절차·표준 준수와 법령 준수를 기하고, 2단계 리스크 관리 (Risk Management)를 위해 인적요소(Human Factor), 공정안전(Process Safety), 표준화된 시스템 (Standardized System)에 대해 관리를 하나, 중대재해는 예측되기 어려운 곳에서 발생한다. 재해의 통계에서 나타나듯이 방호장치와 안전시스템의 체계를 갖추었다고 하더라도 사고의 90%정도는 휴먼에러에 기인한다. 이러한 휴먼에러 예방을 위해 최근에는 안전에 대한 개념을 바꾸어 안전 II(Safety II)라는 개념으로 Hollnagel, Dekker, Conklin 등에 의해 ‘사람은 누구나 실수할 수 있다’는 점에서 작업자 성과(Human Performance) 향상과 고신뢰조직(HRO: High Reliability Organization)을 제시하고 있다. 기존의 안전의 개념인 ‘Safety in not th absence of accidents’의 개념이 아닌 ‘Safety in the presence of capacity’로 정의하고 있다. 이를 위해 Traditional Safety가 아닌 Safety Differently를 제시하며, Todd Conklin박사는 다섯가지 요소를 제안하고 있다. 1) Human error is normal, 2) Blame fixes nothing, 3) Learning is vital, 4)Context drives behavior, 5) How you respond to failure matters. 이를 위해 기존의 ‘Blame and Punish’에서 ‘Learn and Improve’로 개념을 바꾸어, 중대재해를 예방하라고 제시하고 있다. 중대 재해처벌법이 2022년 1월 27일 시행되고 나서도, 좀처럼 줄지 않는 중대재해가 우리가 안전사고에 대응하는 개념을 바꾸어 줄일 수 있을 것으로 기대해 본다.

AI와 디지털 기술 활용, 중처법 대응을 위한 인텔리비전 개발 및 적용사례

서정완 · 차소진 · 이찬호 · 김동오[†]

코너스

Development of IntelVision using AI and Digital Twin technology, and its field use cases to respond to the Serious Accidents Punishment Act

Jeongwan Seo · Sojin Cha · Chanho Lee · Tony Kim[†]

Corners

[†]Corresponding author: tonykim@corners.co.kr

디지털 전환이 산업계 화두로 떠오르는 최근에도 안전분야에서는 산업중대재해가 발생하거나 피해가 확산하는 것을 방지하기 어려운 문제들이 산적해 있다. 건설현장과 제조공장 등 다양한 산업현장에서 안전사고는 끊이지 않고 발생하고 있으며, 안전 사각지대가 많아 재해 발생 시 근로자나 안전관리자가 정상적 판단이 어려운 상황에 직면할 경우 재래식 안전관리 방식으로는 실시간 대응에 한계가 존재한다.

AI와 디지털 트윈 기술을 결합한 AI비전과 실시간 자동안내 기술은 예상치 못한 위기 상황에서 어떠한 안전사고가 발생했는지 감지하고, 위험상황에 적합한 대응요령을 도출하여 실시간 자동 안내함으로써 인명피해 예방을 가능하게 한다. 다수의 CCTV들을 분할 관제하는 종래의 관제방식을 디지털로 전환하고, AI와 3D 기반 디지털 트윈(Digital twin) 관제 기술을 결합하여 현장 실무자의 안전지능을 증강(Intelligence Augmentation: IA)시키는 효과가 있다.

중대재해처벌법 시행에 따라 다양한 산업현장에서 안전사고 발생 시 재해상황에 적합한 의사결정 요구사항을 실시간 지원하고, 현장 근로자와 안전관리자의 대응 능력을 강화하는 것이 시급하다. 인텔리비전은 AI영상분석을 수행하는 신개념의 AI비전, 3D관제플랫폼, 지능형 안내장치로 구성되어 재난상황을 감지(Detect)하고, 대응방안을 산출하여 의사결정(Determin)을 돕고, 주요 위치마다 상황을 전파하고 대처요령을 안내(Direct)하는 3D Intelligence를 제공한다. 인텔리비전 시스템은 AI비전을 활용한 위험상황 모니터링, 산업현장의 안전관리 요구사항을 쉽게 반영하도록 지원하는 지능형 운영절차, 현장 위치에 따라 상황에 적합한 가변식 위치안내 기능을 포함한다.

본 논문에서는 종래 CCTV를 이용한 안전관제 방식의 한계와 대비하여 옛지 컴퓨팅과 클라우드 컴퓨팅을 이원화하여 활용하는 신개념의 인텔리비전 기술이 지닌 특징점을 제시한다. 또한 인텔리비전이 지닌 우수한 가성비 특성을 짚어보고, 물류터미널과 제조공장 등 산업현장에서 인텔리비전 기술 적용을 통해 확인된 성과와 함께 산업안전 디지털 전환에 기여하기 위한 향후 발전방향을 제시하고자 한다.

운전원 교육 시뮬레이터(OTS)를 위한 화학사고 콘텐츠 개발

이준서 · 오세현 · 장은희 · 마병철[†]

전남대학교 화학공학과

Development of Chemical Accident Content for Operator Training Simulator(OTS)

Jun Seo Lee · Se Hyeon Oh · Eun Hui Jang · Byung Chol Ma^{*†}

Department of Chemical Engineering, Cheonnam National University

[†]Corresponding author: anjeon@jnu.ac.kr

Ai, Big Data 등 4차 산업기술의 발달로 현재 화학산업은 디지털 전환의 과도기에 있으며, 특히, 화학사고 발생 시 대응 절차를 교육하는 운전원 교육 시뮬레이터(Operator Training Simulator, 이하 OTS)에 AR/VR 등 첨단기술을 도입한 연구 사례가 증가하고 있다. 다만, 이러한 차세대 OTS는 AVEVA 등 국외 공정 시뮬레이션 기업들을 중심으로 발전하고 있어, 국내 원천기술 확보가 필요하다. 이에 따라, 국내 교육기관에서는 AR 기술을 활용한 몰입형 OTS에 대해 연구하고 있으며, 본 연구진은 OTS로 구현할 화학사고 콘텐츠를 개발하였다.

우선, 국내 교육기관의 교육용 공정을 바탕으로, Aspen을 활용하여 설비별 운전조건을 도출하였으며, 화학사고 발생현황을 분석하여 사고 발생빈도가 높은 사고사례를 교육 콘텐츠로 선정하였다. 이후, 탱크에서의 액체 누출 및 배관에서의 기체 누출 등 누출원모델링을 진행하였으며, 누출에 따른 설비의 변화를 시간 변수로 나타내었다. 또한, 시간에 따른 누출량을 바탕으로 FLACS를 구동하였으며, 훈련장 내에서 누출 시, 누출·확산되는 화학물질의 거동을 시각화하였다.

그 결과, 반응기를 중심으로 반응기와 연결된 배관에서의 기체 누출, 반응기 하부에서의 액체 누출, 플랜지에서의 누출 총 3가지의 화학사고 교육 콘텐츠를 개발하였으며, 각 누출 사고에 따른 반응기의 온도, 액위, 압력 변화를 도출하였다. 또한, 화학물질의 누출·확산 거동을 시각화하여 향후, AR 장비에서 구현할 이미지를 도출하였다.

본 연구를 통해, 국내 교육기관에서는 범용성 높은 화학사고 대응이 가능할 것으로 판단되며, FLACS 등 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 통한 현장감있는 누출·확산 이미지를 통해 몰입도 높은 교육이 가능할 것으로 예상된다. 나아가 중소·영세 기업 등 고가의 국외 OTS를 도입할 수 없는 사업장에서는 본 연구의 결과를 활용하여 각 사업장의 특성을 고려한 OTS 프로그램을 적은 비용으로 구축할 수 있을 것으로 예상되며, 운전원 교육에 활용하여 높은 교육효과를 낼 수 있을 것으로 판단된다.

석유화학업종에서의 비점배출원 배출특성

구치완[†]

(주)LG화학 및 전남대학교 대학원 화학공학과

Non-Point Source Emission Characteristics in Petrochemical Business

Chiwan Ku[†]

LG Chem & Department of Chemical Engineering, Cheonnam National University

[†]Corresponding author: chiwanku@lgchem.com

석유화학업종은 매년 화학물질관리법에 따라 조사기준 이상 농도의 I 그룹, II 그룹 물질을 각각 1톤 이상, 10톤 이상 취급하는 경우 사업장 스스로 배출량을 산정하고 지속적으로 저감하도록 규정하고 있다. 배출원은 일반적으로 점 배출원과 비점 배출원으로 구분되는데, 점 배출원은 고정된 배출원에서 많은 양의 오염물질이 배출되므로, 이를 포집 및 처리하는 기술이 꾸준히 개발되고 있다. 반면에, 비점 배출원의 경우에는 배출원이 일정하지 않아 설비의 유지관리 외에는 배출저감기술의 발전에 많은 제약이 있다. 최근 환경부는 비점 배출원 관리를 위해 비산배출시설 관리제도(hazardous air pollutants, HAPs)를 제정하는 등 여러 대책 등을 마련하고 있으며 기업 자율적으로 배출을 저감할 수 있는 활동 등을 촉구하고 있다. 정유 및 석유화학업종에 속한 대부분의 사업장은 비점 배출원 관리를 위하여 LDAR(leak detection and repair) 등 직접측정 시스템을 도입 및 운영하면서 측정을 통하여 배출원의 배출 여부를 확인하고 플렌지 볼팅 조임 등 즉시 보수와 정비기간을 활용한 개스킷 교체 등의 계획 보수를 통한 배출량을 산정한 결과 배출량 조사지침에 따른 배출계수법보다 더 낮은 수치의 배출량이 산정되는 것을 확인할 수 있었다. 그렇지만 직접측정법에 사용되는 배출계수 역시 정유업종과 그 외로만 분류되어 있어 석유화학업종은 정유업종과 장치 및 설비와 그 관리방법이 유사한 업종특성이 있음에도 그보다는 상대적으로 높은 배출계수를 적용받고 있는 것이 현실이다. 본 연구에서는 다년간 00화학에서 실제측정을 통해 축적된 비점 배출원의 배출 데이터를 장치 종류, 유체 종류, 장치 제조사 등에 따라 분석해보고자 한다. 이를 통해 석유화학업종에 적용 중인 정유업종 외로 분류되어 있는 배출계수의 현실화 방안을 제시하고 더 나아가 비점 배출원의 사전관리를 위한 설비보전전략에 활용하는 방안을 제시하고자 한다. 본 연구는 석유화학업종에서 직면한 비점 배출원의 저감 한계 및 관리방안 개선에 크게 기여할 것으로 기대한다.

정량적 위험성 평가 소프트웨어 활용 방안 연구

한효진 · 김동인 · 김동현[†]

(주)LG화학

A Study on the Application of Quantitative Risk Assessment Software

Hyo-jin Han · Dong-in Kim · Dong-hyeon Kim[†]

(주)LG화학

[†]Corresponding author: nickhan@lgchem.com

중대재해 기업처벌법의 시행에 따라 기업 경영책임자의 안전보건 이슈와 관련된 적극적 의사결정이 요구되고 있다. 정유 및 석유화학 업종에서의 화학사고는 발생 시 많은 인명피해 및 경영손실을 야기하는 특성으로 특히 경영책임자가 관심을 두는 이슈 중 하나이다. 정량적 위험성 평가는 화학사고에 대한 영향력을 수치 또는 도식화 하여 제공함으로써 경영책임자의 의사결정을 위한 수단으로 제공될 수 있으나 국내에서는 공정안전보고서 또는 화학사고 예방관리 계획서 내의 최악, 대안시나리오의 수립을 위한 피해규모 예측 외에는 적극적으로 사용되는 분야와 사례가 많지 않다.

본 연구는 (주)LG 화학에서 DNV GL사의 PHAST, SAFETI와 그 외 정량적 위험성 평가 소프트웨어를 활용하여 수행한 분석 결과가 경영층의 의사 결정에 활용된 사례를 조사하여 기업체에 대한 기존의 활용 방안 외의 새로운 용도를 제시 하고자 한다.

조사된 각 사례는 1) 설계 검토 또는 안전 기준의 수립에 활용된 사례, 2) 화학사고의 발생 우려에 따른 영향 분석으로 공정의 지속 가동 여부를 결정한 사례, 3)비상 대응 또는 사고 조사 시 그 규모 및 누출량을 규명하는데 활용된 사례의 3가지로 구분하였다. 각 사례에 대한 발생 배경, 시뮬레이션 조건 및 방법, 최종 의사결정 된 내용에 대해 조사하였으며, 유사한 사례에 대한 벤치마킹사례가 될 수 있을 것으로 기대 된다.

중대산업사고와 공정안전관리제도

임지표[†] · 서동혁^{*}

안전보건공단 · *안전보건공단, 전남대학교 화학공학과 석사과정

Major Industrial Accident & Process Safety Management

Yim Ji Pyo[†] · Seo Dong Hyuk^{*}

KOSHA · *KOSHA, Dept. of Chemical Engineering Chonnam National Univ.

[†]Corresponding author: jpyim@kosha.or.kr

화재, 폭발 및 독성물질 누출과 같은 중대산업사고를 예방하기 위하여 PSM 제도를 시행하고 있다. PSM 도입 초기에 비해 사업장은 대폭 증가하였지만 중대산업사고와 그로 인한 사망자는 상당히 감소한 것을 보아 PSM은 사고 예방에 많은 기여를 한 부분이 있다. 하지만 최근 들어 다수의 사상자를 동반한 중대산업사고가 연이어 발생하고 있으며 PSM 대상 사업장의 비대상 설비에서의 사고도 빈번하게 발생하고 있다. 특히 대부분의 사고는 정비보수 작업 중 발생하여 작업 중인 근로자의 피해가 컸다. 중대산업사고 발생을 지금보다 줄이기 위해서는 정비보수 작업 중 사고를 예방하여야 하며 사업장 위험도에 따라 ‘선택과 집중’이 필요하다. 즉, 위험도에 따른 차등관리를 통해 PSM 이행력을 높여야 한다. 아울러, 정비보수 작업 중 사고를 예방하기 위해서는 밀폐 공간작업, 화기작업 등과 같은 유해위험작업에 대한 작업위험성평가의 내실화가 필요하며 안전작업허가제도의 현장 작동성을 강화하여야 한다.

PDCA 기반 화학사고예방관리계획 자체 이행점검 체계

김재영 · 최민영 · 최용혁 · 염혜성 · 신창현[†]

환경부 화학물질안전원

Internal Inspection System of Risk Management Plan through PDCA Cycle

Jae-Young Kim · Minyoung Choi · Yonghyuk Choi · Hyesung Yeom · Changhyun Shin[†]

National Institute of Chemical Safety, Ministry of Environment

[†]Corresponding author: yjoy122@korea.kr

화학사고예방관리계획은 중전 장외영향평가와 위해관리계획을 통합하여 설계된 제도로 크게 유해화학물질 규정 수량을 조정하여 사업장의 작성 수준을 차등화하였고, 사업장 스스로 이행 여부를 자율적으로 관리하고 스스로 진단할 수 있도록 자체 이행점검 체계를 도입하였다.

자체 이행점검은 계획(Plan)→이행(Do)→결과보고→개선(Check)→이행(Action)의 PDCA cycle로 사업장이 수립한 화학사고예방관리계획 자체 이행점검 계획에 따라 매년 그 이행 여부를 점검하고, 개선·환류계획을 수립하여 반영하는 전 주기적 자율 안전관리 체계로 운영된다. 다만, 유해화학물질을 상위 규정 수량 이상 취급하는 1군 사업장은 그 위험성에 준하여 자체 이행점검 결과를 화학물질안전원에 매년 제출하여 정기 이행점검(서면점검)을 받아야 할 의무가 있으며, 그 외 2군 사업장은 매년 자체적으로 관리 운영하는 방식으로 진행된다.

하지만 제도 초기 자체 이행점검에 대한 사업장의 낮은 인지도와 관련 실무자료 등의 부족으로 제도 이행에 어려움을 호소하고 있어, 제도의 안정적 정착과 사업장 스스로 안전문화를 형성할 수 있도록 화학물질안전원은 세부 운영지침 마련, 사업장 맞춤형 교육, 1:1 컨설팅, 홍보 등 다양한 사업장 기술지원을 추진하고 있다.

앞으로 정부는 중전 관 중심의 점검 방식을 사업장 주도의 자체 이행점검 방식으로 전환·발전시켜 '사업장이 끌고 정부가 지원하는' 화학사고 예방 관리 체계를 구축하여 국민의 안전은 지키면서 사업장 부담을 경감하는 체계로 발전시켜나갈 계획이다.

CFD를 이용한 화학사고 방재시스템 연구

조승범 · 류태인 · 박한옥 · 최민영 · 김승하 · 신창현[†]

화학물질안전원

A case study on mitigation system for chemical accidents using CFD simulations

Seungbum Jo · Tae In Ryu · Hanok Park · Minyoung Choi ·
Seungha Kim · Chang Hyun Shin[†]

National Institute of Chemical Safety

[†]Corresponding author: yjoy122@korea.kr

화학사고 관리 4단계는 ‘예방-대비-대응-복구’로 이루어져 있으며, 대비 단계 중 피해 저감을 위한 기술은 유해화학물질 누출 전 대비와 누출 후 대비 두 가지로 구분되어 질 수 있다. 누출 전 대비 시설로는 플레어스택, 스크러버, 녹아웃드럼 등이 있으며, 누출 후 대비 시설은 방류벽, 차단벽, 수막설비 등이 있다. 본 연구는 유해화학물질 누출 시 방류벽, 수막설비와 같은 피해확산 저감 시설의 효과를 3차원 CFD 해석을 통해 분석하였고, 추가적으로 신개념 방재시스템인 에어커튼 개발을 통해 가스상 물질에 대한 확산 저감 효과를 확인하였다.

액상 물질에 유효한 방류벽의 경우, 감지 시간 비교를 통해 감지기 설치 위치에 대한 가이드라인을 제시하고, 누액감지기 대안으로 레벨 트랜스미터 적용 가능성에 대해서도 분석하였다. 워터커튼의 경우, 사업화규소와 같은 물반응성 물질 누출 시 화학반응을 통해 영향범위가 크게 감소되는 것을 확인할 수 있었으며, 워터커튼 작동시간, 워터커튼 설비 단 수, 풍속 변화에 대한 변화도 확인하였다. 마지막으로 에어커튼 방재 시스템은 독성 가스 물질을 방류벽 내 차단하거나 확산 범위와 확산 속도를 줄이는데 커다란 효과가 있음을 확인하였고, 이는 영향 범위 내 주민들의 대피 시간을 확보하는 효과를 가져다 줄 수 있다. 또한 에어커튼 방재시스템의 차단 효과는 노즐 분출 속도와 각도에 따라 달라지는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 향후 유해화학물질을 취급하는 사업장의 현장 맞춤형 방재시스템 구축과 독성 가스 누출의 방재시스템 개발 및 연구에 많은 도움을 줄 것이라 판단된다.

위험물질 수송차량의 국내 고속도로 사고요인탐색 연구: Fault Tree Analysis의 적용

김강현 · 홍정열[†] · 최윤혁^{*}

계명대학교 · *한국도로공사 도로교통연구원

Discovering Crash Factors for the Hazardous Material Transporting Vehicles on Expressway using Fault Tree Analysis

Kanghyun Kim · Jungyeol Hong[†] · Yoonhyuk Choi^{*}

Keimyung University · *Korea Expressway Corporation Research Institution

[†]Corresponding author: jyhong9868@kmu.ac.kr

급속도로 국내 산업이 성장됨에 따라 위험물질을 수송하는 차량들이 증가하고 있다. 특히 이러한 위험물질 수송차량들은 지역내 이동보다는 지역간을 이동하는 장거리 통행이 주를 이루고 있으며, 고속도로는 위험물질을 안전하고 효율적으로 수송하기 위하여 이용분담율이 높은 편으로 나타나고 있으나 위험물질 수송차량의 교통사고 발생건수는 매년 20건 이상으로 보고되고 있다. 사고건수 통계로만 살펴보았을 때 승용차, 버스, 화물차 등 타 차종들의 교통사고건수 보다 매우 적다고 생각할 수 있으나 위험물질 수송차량 사고로 인한 사회경제적 피해, 파급력 등을 고려한다면 사고발생건수로만 그 위험성이 낮다고 평가할 수 없다. 외국의 사례를 통해 위험물질 수송차량 사고가 대규모 피해를 양성하는 위험요인이라는 것을 인지하고 국내에서 이러한 재난형의 사고가 발생하지 않도록 위험물질 수송차량의 안전한 운행에 대한 사회적 관심이 더욱 높아져야 할 것이다. 따라서 본 연구수행의 주요 목적은 위험물질 수송차량의 사고위험 감소를 위하여 국내 고속도로 기하구조, 도로환경, 차량 및 운전자요인 간의 관계를 분석, 도출하고 이러한 결과를 기반으로 사전 사고예방을 위한 전략을 제시하는 데 있다. 본 연구는 2012년부터 2021년까지 10년간 국내 고속도로 사고속보자료를 수집하였다. 데이터에서 위험물질 수송차량의 사고들을 추출하였고 각 사고발생 당시 도로요인, 차량요인, 운전자요인, 기타환경요인들을 매칭하였다. 위험물질사고발생과 각 요인들의 관계를 분석하기 위하여 결함수 기법(Fault Tree Analysis)을 적용하였으며 사고에 높은 영향을 미치는 요인들을 도출하였다. 결함수 기법은 고속도로 위험물질 수송차량 사고의 원인과 사고 당시 수집된 항목들 상호 간의 관계를 도식화하고, 사고 발생을 연역적으로 분석함으로써 요인들 사이의 계층 관계를 설명하는 시스템 공학적 방법으로 본 연구의 목적을 달성하기 위하여 매우 효과적인 기법임을 알 수 있었다. 위험물질 수송 사고요인들의 집합을 구성하는 부분 집합들의 합집합을 사용하여 이들의 확률을 산정함으로써 사고의 발생 가능성을 예측하였다.

환형관 내 과냉각 비등 유동 조건에서의 계면면적밀도 상관식 개발

문정민 · 강진훈 · 정재준 · 윤병조[†]

부산대학교 기계공학부

Development of correlation for the Interfacial Area Concentration in the Subcooled Boiling Flow in an Annulus

Jeongmin Moon · Jinhoon Kang · Jae Jun Jeong · Byongjo Yun[†]

School of Mechanical Engineering, Pusan National University

[†]Corresponding author: bgyun@pusan.ac.kr

과냉각 비등 유동은 원자력 발전소의 정상 및 사고 상황에서 발생하는 주요 열수력 현상 중 하나이다. 이러한 비등 현상을 예측하기 위해 1차원 계통 해석 시스템 코드(One-dimensional nuclear analysis system codes)에서는 2-유체 모델(Two-fluid model)이 널리 사용되어왔다. 2-유체 모델에서 액체상과 기체상은 질량, 운동량, 에너지 보존 방정식들로 각각 모델링되고, 각 상(Phase)의 계면에서는 질량, 운동량, 에너지 전달량 계산을 위한 보조 방정식이 필요하다. 이때 계면면적밀도(Interfacial area concentration)는 계면 간 질량, 운동량, 에너지 전달량을 결정하는 주요 변수로서, 과냉각 비등 현상을 예측하기 위해서는 정밀한 계면면적밀도 예측이 필요하다. 그러나 계면면적밀도는 유동양식, 기포군(Bubble-group), 시험부 형상 등의 여러 변수들에 의해 복합적으로 영향을 받는다. 본 연구에서는 계면면적밀도의 물리적인 생성(Source) 및 소멸(Sink) 항들을 고려한 기포개수밀도 방정식(Bubble number density equation)에서 관련 변수들을 고려하는 무차원수를 도출하고 이를 기반으로 계면면적밀도를 예측하는 상관식을 개발하였다. 본 상관식의 계수들은 압력 101-922 kPa, 질량유속 209-2,109 kg/m²s, 입구과냉도 3.8-32.3 K, 열유속 56-377 kW/m²의 넓은 유동 범위에서 수행된 실험데이터를 활용하여 회귀 분석(Regression analysis)을 통해 결정하였다. 추가적으로 해당 상관식은 히터 부근에 집중적으로 분포하는 기포층 두께를 고려하여 1군 기포군의 기포류뿐만 아니라 2군 기포군의 슬러그류에서도 범용적으로 적용할 수 있다. 실험데이터와 본 상관식의 예측결과를 비교 평가한 결과, 본 상관식은 $Re_b=348-5,485$, $Ja=0.06-47.26$, $Bo=3.3 \times 10^{-5}-2.48 \times 10^{-4}$, $Pe=1.0 \times 10^{-5}-0.158$ 의 범위에서 35%의 오차를 보였다.

가압 경수형 원전환경 크러드 침적 모사 실험 장치 구축 및 예비 성능 평가

김지용 · 이윤주 · 함준혁 · 김지현 · 방인철[†]

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 울산과학기술원 원자력공학과

Establishment and Preliminary Performance Evaluation of CRUD Deposition Simulation Experimental Facility under PWR Normal Operating Conditions

Ji Yong Kim · Yunju Lee · Junhyuk Ham · Ji Hyun Kim · In Cheol Bang[†]

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

[†]Corresponding author: icbang@unist.ac.kr

가압 경수로(PWR; Pressurized Water Reactor)의 정상운전 환경에서 핵연료 피복재 표면에 형성되는 금속산화물 다공성 파울링 크러드(CRUD; Chalk River Unidentified Deposit)는 PWR형 원전의 1차 계통 구조재료의 부식생성물이 핵연료 피복재 표면에서 발생하는 미포화 비등과정에서 표면에 증착되어 주로 형성됨이 알려져 있다. PWR 환경에서 성장하는 크러드는 니켈 및 철 금속산화물(NiO, NiFe₂O₄)로 구성되어 있으며, 수십에서 수백 나노미터 규모의 기공을 가지는 다공성 매질에 수 마이크로 규모의 지름을 가지는 증기 굴뚝(Steam chimney)을 가지는 것으로 특성 지어진다.

핵연료 피복재 상단의 크러드 침적은 발전소의 운전과정에서 운영 효율성과 안전성과 관련된 문제들을 야기한다. 크러드가 침적된 표면에서의 미포화 핵비등의 발생은 다공성 크러드 매질 내부의 붕소의 농도를 상승시켜 핵연료 집합체의 축 방향 출력 분포를 왜곡(AOA; Axial Offset Anomaly)을 일으킬 수 있으며, 이는 발전소의 정지 여유도 감소를 야기한다. 또한, 크러드 침적층 자체가 핵연료 피복관의 열전달 특성을 저해하는 추가적 열저항으로 작용하여 피복재 온도를 상승시켜 국부적 부식 거동을 가속하는 문제를 (CILC; Crud Induced Localized Corrosion) 일으킬 수 있음이 알려져 있다.

최근, 미국과 한국을 중심으로 PWR형 원전의 비상노심냉각계통(ECCS; Emergency Core Cooling System)의 허용기준을 강화하고자 하는 노력이 이루어지고 있으며, 핵연료의 고연소 사용에 의한 물리 화학적 물성 열화의 효과를 안전해석과정에 반영할 것이 요구되고 있다. 안전 허용기준 강화의 일환으로서, 피복재 표면에 증착된 크러드의 추가적인 열저항 효과가 반영될 것이 요구되고 있으나, 이를 모델링하기 위한 실험적 평가 데이터가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 PWR 정상운전환경에서의 크러드 침적 특성 분석 및 크러드가 침적된 표면의 단상-이상 유동 열전달 특성 평가를 위해 구축된 실험장치의 특성을 소개하고, 이를 활용하여 수행된 예비실험 결과 및 향후 활용계획을 다루고자 한다.

열수력 안전해석코드 MARS-KS의 부수로 해석성능 평가

이윤석 · 김태완[†]

인천대학교

Assessment of subchannel analysis performance of thermal-hydraulic safety analysis code MARS-KS

Yunseok Lee · Taewan Kim[†]

Incheon National University (INU)

[†]Corresponding author: taewan.kim@inu.ac.kr

핵연료의 인허가 연소도의 증가와 함께 고연소도 조건 하 핵연료 취성에 관한 관심과 우려가 집중되었고, 현재 적용 중인 ECCS (Emergency Core Cooling System) 허용기준에서 제시되고 있는 취성한계가 열화조건에서는 적합하지 않음이 밝혀지면서 관련 고시의 개정으로 이어졌다. 공포된 개정안에서는 열화조건을 기반으로 한 산화도 제한치와 이에 적용된 피복재 온도 등을 반영함으로써 기존 제한치에 대한 개정이 이루어졌고, 이외에도 크러드 침적에 따른 열저항 영향 및 피복관 파손 시 소결체 재배치와 분산 그리고 이로 인한 유로변형 등의 영향을 고려해야 하는 새로운 요건들이 신설되었다. 이러한 개정요건들을 고려하기 위해서는 안전해석코드의 상세 핵연료 해석성능이 필수적으로 요구되는 것은 물론이고, 단일 고온봉만을 해석의 중점으로 두는 기존의 해석방법론을 개선해야 할 필요가 있다. 단일 봉이 아닌 다수봉에 대한 상세해석을 기반으로 봉 간 상호작용을 고려해주는 것이 타당하며, 이를 위해서는 관심대상 봉과 그 주변에 대한 영역을 별도로 모사하는 것이 필요하다. 이 경우 관심영역은 부수로 스케일의 모델링이 요구되며, 이를 고려하려면 열수력 안전해석코드의 부수로 수준 해석능력이 필수적으로 뒷받침되어야 한다. 따라서 본 연구는 국내 규제검증용 열수력 안전해석코드인 MARS-KS의 부수로 해석성능을 개선하는 것으로 목표로, 그중에서도 교차유동 모델에 대한 개선을 수행하였다. 부수로 수준에서 고려되는 교차유동은 크게 세 가지로 구분되는데, 첫 번째는 채널 간에 압력 차이에 의해 형성되는 diversion crossflow가 있고, 두 번째로는 부수로 사이 영역에서 형성되는 와류(eddy)에 의한 난류혼합, 마지막은 유로 저항이 적은 채널로 증기가 집중되는 void drift 현상이 있다. 위 세 종류의 교차유동 중 MARS-KS에서 구현할 수 있는 교차유동은 오직 diversion crossflow만이며, 난류혼합 및 void drift 현상에 대한 별도의 모델은 현재 고려되지 않고 있다. 일반적으로 부수로 해석에서 활용되는 전산코드들은 모두 공통된 난류혼합모델을 적용하고 있는데, 이들 모델의 영향이 상당한 것으로 잘 알려져 있다. 따라서 본 연구는 MARS-KS의 교차유동 모델을 개선하기 위해 부수로 해석에서 일반적으로 적용되는 난류혼합모델을 도입하였고, 개선모델을 적용하기 위해 기존 지배방정식도 수정하였다. 개선모델의 성능에 관한 평가는 부수로 스케일의 개별효과 실험 데이터들을 활용해 수행하였고, 평가결과 본 개선모델을 적용함으로써 MARS-KS의 부수로 해석성능을 상당히 개선할 수 있는 것을 확인하였다.

2중 광섬유 센서를 이용한 수직 환상분무유동 액적 변수 측정과 액적 크기모델 개발

김태호 · 문정민 · 정재준 · 윤병조[†]

부산대학교 기계공학부

Measurement of Droplet Parameters in Vertical Annular Mist Flow Using 2-Sensor Optical Fiber Probe and Development of a Droplet Size Model

Taeho Kim · Jeongmin Moon · Jae Jun Jeong · Byongjo Yun[†]

School of Mechanical Engineering, Pusan National University

[†]Corresponding author: bjun@pusan.ac.kr

2상유동에서 액상과 기상의 거동을 예측하기 위해 상경계면에서의 질량, 운동량, 열에너지 전달량 계산이 필요하다. 특히, 환상분무유동 조건에서 액막으로부터 이탈된 액적은 액막과 비교해 단위 체적당 계면 면적이 크고 속도가 빠르므로 사실적인 유동 해석을 위해 액적과 액막을 개별적으로 고려해야 한다. 그러나, 마이크로미터 단위의 다양한 크기를 갖는 액적은 유동 단면적 전체에 분포해있으며, 유로 벽면에 형성된 액막 유동으로 인해 영상 촬영을 통한 액적 거동의 관측이 어렵다. 본 연구에서는 2상유동에서 매질의 굴절률 차이로 각 상을 구분할 수 있는 국소 광섬유 센서를 이용하여 2중 광섬유 센서를 제작하고, 물-공기 수직 환상분무유동 조건에서 유로 축 방향을 따라가며 국소 액적 분율, 액적 속도, 액적 크기 등의 변수들을 측정하였다. 실험 결과 액적 속도는 유로 중심에서 최댓값을 가지며, 측정지점이 시험 유로 벽면에 가까워질수록 감소한다. 반면, 액적 분율과 액적 측정 빈도 그리고 액적 평균 직경은 유로 중심에서 최솟값을 가지며, 측정지점이 시험 유로 벽면에 가까워질수록 증가한다. 물-공기 혼합물 유동이 유로 축 방향으로 발달되면서 유로 중심부 영역의 액적 분율은 증가하고, 액적 측정 빈도수는 유동 단면적 전체에서 증가하였다. 국소 측정 결과에 기반한 단면적 평균 계산을 통해 액체 걸보기 속도와 기체 걸보기 속도 변화가 액적변수에 미치는 영향을 파악하였다. 평균 액적 분율은 액체 걸보기 속도가 증가하거나 기체 걸보기 속도가 감소하는 경우 증가하였으며, 액적 크기는 기체 걸보기 속도가 증가할수록 감소하였다. 최종적으로 본 실험과 이전 연구자들이 측정한 액적 크기 실험데이터를 기반으로 환상분무유동 액적 크기 모델을 개발하였다. 이를 위해 고속의 공기 유동과 액막 유동의 상대속도 차이로 인해 액막 상부의 교란 과도에서 얇은 액체 줄기인 ligament가 생성되는 과정을 힘 평형식으로 모델링하여 액적 직경 상관식의 함수 형태를 도출하였다. 도출된 상관식에는 기체와 액적의 상대속도 차이로 인해 발생하는 에너지 소산항과 액체 점성 영향이 고려되었다. 개발된 상관식을 실험데이터로 평가한 결과, 상관식이 기존 실험 데이터베이스에서 측정된 액적 크기보다 크게 예측하는 것으로 나타났다. 이는 각각의 실험에서 액적 크기 측정에 사용하고 있는 측정기법의 불확실성에 기인한 것으로 판단되었다. 반면, 본 연구에서 얻은 실험데이터는 최대 오차 -20%에서 +40% 범위에서 예측되었다.

LDM과 CFD 해석을 연계한 원자력 발전소 주변의 방사성 물질 확산 모델링 방법 개발

박주룡 · 장시호 · 김주빈* · 임경동 · 김웅수[†]

08826 서울 관악구 관악로 1 서울대학교 공과대학 원자핵공학과 ·

*06974 서울 동작구 흑석동 221 중앙대학교 공과대학 에너지시스템공학부

Development of a Method for Dispersion of Radioactive materials in the vicinity of Nuclear Power Plants using LDM coupled with CFD

Ju Ryong Park · Siho Jang · Ju Bin Kim* · Kyung Dong Lim · Eung Soo Kim[†]

Department of Nuclear Engineering, Seoul National University, 1, Gwanak-ro,
Gwanak-gu, Seoul, 08826, Korea ·

*Department of Energy System Engineering, Chung-Ang University, 84, Heukseok-ro,
Dongjak-gu, Seoul, 06974, Korea

[†]Corresponding author: kes7741@snu.ac.kr

체르노빌 및 후쿠시마와 같은 원자력 발전소의 중대사고는 그 영향이 한 지역에 국한되지 않고 국가 전체 및 국제적으로도 그 영향이 미칠 수 있기 때문에 매우 중요하다. 특히 이로 인해 야기 되는 방사성 물질의 누출 및 확산은 높은 신뢰도를 가지고 예측 및 평가가 이루어져야 하는 중요한 현상 중의 하나라고 할 수 있다.

원자력 발전소에서 중대사고가 발생하고 설계기준을 초과하는 천재지변으로 심층방어의 기능이 상실되어 다중방벽을 구성하는 노심과 격납건물이 파손된다면 방사성 물질이 원자력 발전소 주변 환경에 확산될 것이다. 그에 따른 피해를 예측하는 것은 중요한 일이며 확산으로 인한 위험성을 정량화할 수 있는 정밀한 계산 수단이 필요하다. 이에 본 연구에서는 라그랑지안 방법론을 기반으로 입자들의 확산 현상을 계산하는 LDM(Lagrangian Dispersion Model)과 CFD(ANSYS-Fluent)로 해석한 원자력 발전소 주변의 평균 유동을 연계하여 원자력 발전소 주변의 방사성 물질의 확산을 사실적으로 모의하는 방법을 제시한다.

LDM의 입자 기반의 메커니즘은 기존의 격자 기반의 방법론과는 달리 계산에 활용되는 단위 입자에 방사성 물질을 대응한 일련의 확산 전개과정을 모델링하기 용이하고, 확산 입자들의 시간에 따른 이동경로를 파악할 수 있다. 또한, 입자들이 할당된 메모리는 독립적으로 계산을 처리하기 때문에 효율적인 병렬 연산체계를 도입할 수 있어 대규모 해석을 빠른 속도로 수행할 수 있고 이를 통해 해상도의 한계를 극복하고 계산 정밀도를 향상시킬 수 있다. ANSYS-Fluent는 공학 분야에서 널리 쓰이는 CFD 프로그램 중 하나로, 시뮬레이션 배경에 경계조건과 입체 형상을 자유롭게 입력하여 체적 내의 유체의 흐름을 계산하고 출력할 수 있다. 이 연구에서는 ANSYS-Fluent를 활용하여 원자력 발전소 주변의 가상 대기환경에 대한 동역학적 상태를 조성하고 주어진 경계조건으로 계산된 결과를 LDM에 연계하여 방사성 물질의 확산을 구체적으로 모사하여 주변 환경의 방사성 물질의 농도 분포와 시간에 따른 확산 전개 양상을 해석할 수 있는 연계 방법론을 제안한다.

적외선 열화상 및 딥러닝 기반의 원자력 발전소 진단 기술 개발

진익재 · 임도영 · 방인철[†]

울산과학기술원

Development of diagnostic technology for nuclear power plants based on infrared thermal images and deep learning

Ik Jae Jin · Do Yeong Lim · In Cheol Bang[†]

Department of Nuclear Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

[†]Corresponding author: icbang@unist.ac.kr

결함 감지를 통한 여러 구성 요소의 진단은 발전소를 비롯한 다양한 산업의 안전과 관련이 있다. 원자력 발전소는 다른 발전소보다 상당한 규모의 수많은 부품으로 구성된다. 따라서 안전을 강화하기 위해, 여러 산업 분야에서 다양한 부품 검사 방법이 제안되었다. 최근에는 기존의 방식과 비교하여 직관적이며 비접촉인 검사로 높은 성능을 보인 딥러닝 기반의 적외선(IR) 검사 방식과 관련한 관심이 증가하고 있다. 그러나 기존에 제안된 고해상도 적외선 카메라를 사용하는 딥러닝 기반의 적외선 부품 검사 방법은 복잡한 설치와 높은 비용을 요구하는 한계가 있었다. 그러한 한계로 인하여 이 기술의 실질적인 적용은 단일 구성 요소 적용에 머무르며 진단 규모의 확장이 어려웠다. 본 연구에서는 설치가 간단하고 비용 효율성이 높은 소형 적외선 열화상 센서와 다중 제어가 가능한 라즈베리 파이를 활용하는 방법을 활용하여 효율적으로 구성 요소의 상태를 진단할 수 있는 딥러닝 기반의 적외선 검사 방법을 제안한다. 본 연구는 국내 가동 원전인 APR-1400을 기반으로 높이 비 1/8 직경 비 1/12로 축소된 종합효과 실험장치인 UNIST 원자로혁신루프(URI-LO)를 활용하여 데이터베이스화가 진행되었다. 고성능의 진단 방법 제안을 위하여 합성곱 신경망(CNN) 기반의 분류 알고리즘들이 비교가 진행되었다. GoogLeNet의 전반적인 성능은 다른 알고리즘보다 우수함을 보여줬다. GoogLeNet는 1초 이내에 98~100%의 정확도로 다중 구성 요소 검사를 수행할 수 있었다. 이러한 IR 기반의 다성분 검사 방식은 비용과 인적오류의 저감으로 원자력 발전소를 비롯한 다양한 산업 분야의 안전성을 높일 것으로 판단된다.

원전사고 최적대응을 위한 사고시 원전주요상태변수 및 환경영향 예측

방영석[†] · 김건엽 · 이수원 · 조재현* · 박진희*

(주)미래와도전 · *한국원자력연구원

Estimation of Plant Condition and Environmental Impact for Optimized Accident Mitigation

Young Suk Bang[†] · Keon Yeop Kim · Su Won Lee · Jae Hyun Cho* · Jin Hee Park*

FNC Technology Co., Ltd. · *Korea Atomic Energy Research Institute

[†]Corresponding author: ysbang00@fnctech.com

원자력발전소의 중대사고는 설계 기준을 초과하여 노심 손상을 수반하는 사고를 의미한다. 중대사고의 발생 가능성은 매우 희박하나 발생하는 경우 노심이 손상되어 핵분열생성물이 원자로건물 내부로 누출되며, 원자로건물의 건전성이 손상되는 경우에는 핵분열생성물이 대기로 방출되어 막대한 피해가 발생할 수 있다. 따라서 국내에서는 설계 단계에서부터 중대사고를 중요하게 고려하고 있으며, 가상의 중대사고에 대하여 사고관리지침 등을 수립하고, 공학적안전설비 등의 안전설비를 다중으로 설치하여 중대사고에 적극적으로 대응하고 있다. 특히, 최근에는 혁신적으로 안전성을 증진하고자 4차산업혁명 기술을 적용하는 방안에 대한 연구가 수행되고 있다. 사고시 운전원 및 대응조직은 해당 절차에 따라 발전소 계측기로부터 측정신호를 파악 및 보고하고, 대응조치에 따른 긍정적/부정적 영향 분석을 통해 최적의 조치방안을 도출하여야 하고, 대응조치를 직접 수행하여 성공여부를 확인하여야 하는 등의 급박한 상황에서 다양한 판단 및 조치를 수행하여야 함에 따라 기계학습 및 인공지능을 활용하여 사고시 발전소상태 및 거동에 대한 정보를 운전원에게 제공하고, 사고진행 및 환경영향에 대한 예측을 통해 최적의 대응방안을 도출하기 위한 지원도구를 개발하고 있다.

본 연구에서는 원전 주요변수를 입력으로 하여 사고시 원전거동 및 환경영향을 고속으로 예측할 수 있는 기계학습 모델을 개발하고 있다. 즉, 원전에서 발생가능한 사고경위를 도출하고, 중대사고 전용해석틀을 사용한 분석을 통해 방대한 데이터베이스를 구축하고 있다. 사고경위 도출을 위하여 확률론적안전성평가(Probabilistic Safety Assessment, PSA)에서 고려되는 사고시나리오를 활용하였으며, 군집화 기법을 통해 대표사고시나리오를 도출하는 방식의 기존PSA과 다르게 모든 사고시나리오를 도출하여 사고해석을 수행하였다. 이를 위하여 Level 1 PSA 결과와 Level 2 PSA 결과를 읽어들이 중대사고 전용해석틀 MAAP(Modular Accident Analysis Program)의 입력을 생성하고 이후에 계산결과물의 후처리가 가능한 자동화틀 MESSAGE(Module for Exhaustive Scenarios based Severe Accident input Generation)를 개발하였다. 분석결과 데이터베이스를 훈련데이터(Training Set)로 활용하여 LSTM(Long-Term Short Memory) 모델을 구축하고 검증하였다. 개발된 LSTM 모델을 통하여 다양한 운전원조치에 따른 영향을 고속으로 예측할 수 있으며, 이중 최적의 조치를 도출하여 운전원 및 대응조직에 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 개발 및 구축된 데이터베이스 및 모델은 향후 해당조치의 성공여부판단, 소외비상 대응계획과의 연계, 디지털트윈 개발, 운전자동화 등에도 활용이 가능할 것으로 기대된다.

원전 사고 시나리오 생성을 위한 강화학습 구현 및 지도학습을 통한 강화학습 환경 구축 연구

송석호 · 이정익[†]

한국과학기술원 원자력 및 양자 공학과

A study of Reinforcement Learning Implementation and Building Reinforcement Learning Environment Using Supervised Learning for Generating Nuclear Power Plant Accidents Scenario

Seok Ho Song · Jeong Ik Lee[†]

Department of Nuclear and Quantum Engineering KAIST

[†]Corresponding author: jeongiklee@kaist.ac.kr

Accident scenarios to evaluate safety of a nuclear power plant are selected conservatively from probabilistic safety analysis (PSA). Although it is possible to determine the sequence of failures in components and sub-systems, it is still challenging to assess the effect of component failure time on the progression of accident as well as the change in severity of the accident. MAAP, which is the existing nuclear severe accident analysis code can also evaluate and predict the progress of the severe accident by specifying the malfunctioning component and the time of failure in the input. In order to identify the effect of high-risk device failure time on the accident progression, it is necessary pre-determine failure time of all components before the analysis and then interpret the analysis results. In this study a new process is proposed that can replace this process with reinforcement learning. By comparing whether the most serious accident scenario obtained via MAAP simulation is the same as the accident determined by the reinforcement learning agent, the potential of generating a new nuclear accident scenario with the reinforcement learning can be demonstrated. However, because it is difficult to apply the reinforcement learning methodology to the existing MAAP code directly due to long code execution time. Thus, a surrogate model was created from supervised learning, and reinforcement learning was trained from an interaction with the MAAP surrogate model. After evaluating how accurately the MAAP code can be represented with the surrogate model, the reinforcement learning agent was used to determine most severe accident scenario. Various reward settings were tested to observe how reward setting affects the reinforcement learning.

사고조사 기법(Bow-Tie, Accimap, Root Cause Analysis)을 활용한 국내 화학사고 보고서 한계점 도출 및 개선사항에 관한 연구

김학재 · 김지현 · 박승주 · 최진우 · 천영우[†]

인하대학교 환경안전융합전공

A Study on Limitations and Improvements in Domestic Chemical Accident Reports using Accident Investigation Methods (Bow-Tie, Accimap, Root Cause Analysis)

Hakjae Kim · Jihyeon Kim · Seungju Park · Jinwoo Choi · Youngwoo Chon[†]

Dept. of ET & ST Convergence, Inha University

[†]Corresponding author: ponychon@inha.ac.kr

2018년 태안 화력발전 사고 전후로 꾸준히 발의되던 「중대재해 처벌 등에 관한 법률(이하 “중처법”)」이 2022년 1월부터 개정 및 시행되며 사회적으로 많은 이목을 끌었다. 하지만 중처법 시행 이래로 고용노동부의 ‘2022년 1분기 재해조사 대상 사망사고 현황’ 조사에 따르면 작년 2021년 1분기 대비 제조업 작업 중에 발생한 사망사고(명)는 5.8% 증가한 51명의 발생한 것으로 보고되었다.

2010년 이후 대중들의 안전에 관한 관심과 정부의 꾸준한 관리로 실제 화학공장에서의 화재, 폭발 및 누출로 인한 중대 산업사고 건수는 꾸준히 감소하고 있지만 중대 화학 사고가 발생할 경우 사업장과 주변 시민에 대한 피해는 오히려 증가하고 있다. 크고 작은 화학사고를 경험과 중처법을 비롯한 「화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률」, 「화학물질관리법」, 「산업안전보건법」의 지속되는 개정에도 여전히 안타까운 부분이다. 사고가 발생하지 않도록 적절한 위험성 평가를 통해 사전에 위험원을 제거하여 사고를 예방하는 것 또한 중요하지만, 과거의 사고보고서를 통해 지목되는 문제점 피드백을 적극적으로 수용도 필요한 부분이다.

본 연구에서는 사고조사기법 선택의 기준과 기법의 한계점을 제시함과 기존의 사고조사보고서를 동시에 복수적인 분석기법을 사용하여 재분석 함으로서 개선된 사고조사 보고서는 작성하기 위함이다. 직접적인 원인, 간접적인 원인으로 나누어 예방, 대비, 대응이 필요한 부분으로 사고의 흐름을 확인할 수 있는 기법인 Bow-Tie, Top Event로부터 근로자의 실수, 기업의 실수, 정부의 실수를 체계적으로 확인할 수 있는 기법인 Acci-Map, 사고의 직접적인 원인을 시간 순서로 정리하여 직접적인 원인별 결함을 확인할 수 있는 사고조사기법인 RCA(Root cause Analysis) 3가지를 활용하여 기존 보고서의 한계점과 제한점을 도출한다. 또한 근원적인 원인분석을 실시하였을 경우 근로자 및 사업자가 화학사고를 예방 방법을 고안하고 제안하고자 한다.

음성인식 기반 위험물질 취급 및 초기대응 정보 제공 다국어 AI 서비스

이훈기* · 신동일*,**†

*명지대학교 재난안전학과 · **명지대학교 화학공학과

Multilingual AI Service that Provides Information on Handling and Initial Response of Hazardous Substances Based on Voice Recognition

Hunggi Lee* · Dongil Shin*,**†

*Department of Disaster and Safety, Myongji University ·

**Department of Chemical Engineering, Myongji University

†Corresponding author: dongil@mju.ac.kr

본 연구에서는 외국인 노동자가 가장 많이 근무하는 제조업 현장에서 다루는 위험물질에 대한 정보 제공과 외국인 노동자의 능동적 지식습득을 위한 MSDS 탑재 정보 기반의 다국어 대화형 AI를 개발하였다. 이를 통해 현장에 문서 형태로 비치된 기존 MSDS 보다 적시에 현장에서 접근 및 활용할 수 있도록 개발하였으며, 외국인 근로자의 모국어 기반의 정보 전달이 이루어지게 하여, 외국이 근로자가 능동적으로 지식을 습득하여, 안전지식 학습과 교육의 효율성을 높이고자 하였다. 개발 시스템은 웹 프레임워크인 Python Flask를 활용하여, DB와 연동되는 자체 웹서버를 구축하였고, webhook을 통해 Google Dialogflow와 연동하여, AI 스피커 등 스마트기기와 연동한 대화형 AI를 제안하였다. 현장에서 개발 시스템을 사용하는 경우, 사용자가 AI 스피커 등의 스마트 기기를 통해 위험물질 관련 질문을 텍스트 혹은 음성으로 입력하면, 입력된 문장에서 해당 물질 이름을 추출하고, Flask로 자체 구축한 서버에서 해당 물질을 검색하여, 취급 시 주의사항, 사고 발생 시 초기대응 등 사용자가 질의한 내용의 의도를 파악하고, 의도에 해당하는 정보를 텍스트와 음성 및 이미지의 형태로 출력한다. 또한 위험물질을 다루는 현장에서 신체가 해당 특정 물질에 의해 증상이 발생하였으나, 어떤 물질인지 파악하지 못한 경우를 가정하여, 해당 위험물질을 판별하기 위하여, 발생한 증상들을 입력하여, 특정 물질 후보를 추론하는 기능을 지원한다. 기존 방식인은 지식그래프 기반으로 증상지식추론을 진행하여 노출 물질을 판별한 것에 비해 현재 시스템은 음성 또는 텍스트로 스마트 기기를 통해 비교적 간단한 질의과정을 제안하였으며, SPARQL 등 지식그래프 query 관련 전문지식 없이 지식그래프 탐색이 이루어지도록 개발하여 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 하였다. 번역 시스템은 구축된 서버 내에서 입력된 문장의 언어를 감지하여 해당 언어를 DB의 default인 한국어로 번역 후 일련의 과정을 거쳐 처음 입력된 언어로 재번역하는 방식으로 질의응답 전과정을 외국인 노동자의 모국어로 진행할 수 있도록 설계하였다. 현재 버전에서는 외국인 노동자가 자주 사용하는 언어 위주로 영어, 중국어 등의 음성 서비스를 지원하며, 베트남어 등 기타 언어의 텍스트 기반 서비스를 지원한다. 제안 시스템은 노동자에게 지식을 문서 또는 강의 형식으로 전달하는 기존의 안전교육방식과 달리 외국인 노동자의 모국어 기반의 질의응답을 통한 스마트 기기와의 상호작용을 통해, 보다 효율적이고, 능동적인 학습을 외국인 노동자에게 제공할 수 있기에, 외국인 근로자 대상의 안전교육 방식을 개선시킬 수 있을 것으로 기대된다.

화재요인 및 현장 대응 특성에 따른 재산피해액 예측을 위한 회귀분석 및 기계학습 모델 비교

장동국* · 신동일**†

*명지대학교 재난안전학과 · **명지대학교 화학공학과

Regression analysis and machine learning models for predicting property damage based on fire factors and on-site response characteristics

Dongkuk Jang* · **Dongil Shin**†**

*Department of Disaster & Safety, Myongji University ·

**Department of Chemical Engineering, Myongji University

†Corresponding author: dongil@mju.ac.kr

현대사회는 인구증가에 따른 도시화로 인구밀집도가 높은 도시에서, 주거시설, 산업시설, 다중이용시설 등 건축물의 용도와 건물구조, 건물크기 등에 따라 다양한 화재 발생 특성을 보인다. 또한 과학기술의 발전과 더불어 전기적, 기계적, 화학적인 요인 및 가스 누출, 폭발 등 다양한 기술적인 요인들의 복합적인 관계속에서 화재가 발생하고 있다. 이러한 이유로 매년 화재 건수는 감소하고 있지만, 화재로 인한 인명피해 및 재산피해는 점차적으로 증가하고 있다. 화재 발생 데이터는 소방청의 국가화재정보시스템(NFDS)에 의해 수집되고, 화재통계연감, 화재백서 등 화재에 대한 통계적인 관리가 이루어지고 있지만, 때로는 측정이 어려운 다양한 요인들간의 복잡한 관계를 통해 발생하는 화재로 인한 인명피해와 재산피해 예측과 예측에 기반한 대응전략 수립에는 많은 어려움이 있다. 따라서 통상적인 통계분석이 아닌 다양한 화재 발생 요인을 분석하고 4차 산업혁명 기술이 제공하는 예측기술을 활용한 신개념의 화재연구가 필요하다.

재산피해액은 신고접수 후 화재현장 도착시간, 화재진압 소요시간, 소방서 거리 등과 같은 화재진압요인과 발화열원, 발화요인 등과 같은 연소속도요인, 장소와 같은 내부요인에 의해 결정된다. 본 연구에서는 회귀분석과 기계학습을 모델링 방법으로 사용해, 이들 화재요인 및 현장 대응 특성에 따른 재산피해액 예측의 가능성을 탐색하였다. 2009-2020년 국가화재정보시스템(NFDS) 데이터를 이용하여 피어슨 상관관계 분석 결과, 재산피해액에 영향을 미치는 주요 변수는 동원장비, 동원인력, 화재진압 소요시간, 장소, 최초착화물, 발화요인, 발화열원, 화재유형, 소방서 거리, 신고접수 후 화재현장 도착시간, 습도, 온도의 순으로 나타났다. 전통적인 통계기반의 회귀분석은 단순선형 회귀분석과 다중선형 회귀분석을 진행하였으며, 인과관계를 갖는 변수 중 화재진압 소요시간 기반 회귀모델이 $R^2 = 0.178$ 로 가장 큰 설명력을 보였다. 모든 주요 변수를 포함하는 다중선형 회귀모델의 R^2 값은 0.300을 얻을 수 있었다. 기계학습으로는 XGBoost, FNN, CatBoost 모델을 사용하였으며, 각각 0.246, 0.269, 0.369의 R^2 값을 얻었다.

산소공장에서 제논/크립톤 추출 공정개발을 위한 위험성 평가

손남정 · 안광재 · 이근원* · 정승호*

아주대학교 환경공학과 · *아주대학교 환경안전공학과

Risk Assessment of Extraction Process for Xe/Kr in Oxygen Plant

Namjeong Son · Gwangjae Ahn · Keunwon Lee* · Seungho Jung**

Department of Environmental Engineering, Ajou University ·

*Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University

†Corresponding author: processsafety@ajou.ac.kr

Xe/Kr은 공기분리시설(ASU)에서 극저온 공정인 초저온과 고압 등을 거쳐 생산한다. 이 공정은 가혹한 운전조건으로 인해 잠재 위험성이 높아 예상치 못하는 위험을 야기시킬 수 있다. 사고 가능성을 살펴보면 물리적 폭발, 화학적 폭발 뿐만 아니라, 작업자가 극저온 물질에 노출시 동상(cold burns), 질소 같은 불활성 기체의 누출 시 산소결핍 위험성, 산소의 누출 시 고농도의 산소는 화염전과 속도가 매우 빠른 것으로 알려져 있어 위험성을 가지고 있다. 극저온공정과 관련된 공정 및 플랜트를 설계할 때, 공정안전에 대한 고려는 매우 중요하며 상업생산의 연구 개발 단계에서 위험성 평가 연구가 함께 이루어져야 한다.

본 연구는 산소 공장에서 Xe/Kr 추출 공정개발에 따른 사고 예방과 발생할 수 있는 사고 시나리오에 대한 결과분석을 수행하고자 한다. 정성적 위험성 평가를 HAZOP Analysis를 이용하였고 정량적 위험성 평가를 Phast(Process Hazard Analysis Software Tool)를 이용하여 LOX(Liquid Oxygen)배관 손상으로 인한 산소 누출을 영향 평가하였다. 액체산소 배관에서 누출된 초과 산소는 공기 중의 산소와 함께 산소 농도를 높여 화재가 매우 쉽게 발생한다. 국내 KOSHA의 밀폐공간 재해 예방 가이드라인과 미국 OSHA에서는 전체 산소 농도 23.5%를 밀폐공간의 출입제한 기준으로 삼도록 하고 있다. 초과 산소 및 전체 산소와의 관계식과 시나리오를 활용하여 시뮬레이션을 실시하여 3.23%의 산소가 도달하는 안전거리를 구하였다. 그리고 리보일러의 폭발이 발생할 수 있는 위험성에 대한 안전거리를 확보하기 위해 영향 평가 하였다. 폭발 영향력을 폭발 과압과 임펄스에 의한 100% 사망 거리와 인체에 영향이 없는 거리를 각각 계산하였다.

** 본 연구는 2022년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0012787, 산업혁신인재성장지원사업).

** 본 연구는 2021년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구임(20010487, 소재부품기술개발사업).

실감형 재난관리 서비스 인식 연구

최우철 · 김태훈[†]

한국건설기술연구원

A Study on the Perception of Realistic Disaster Management Service

Choi, Woo-Chul · Kim, Tae-Hoon[†]

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT)

[†]Corresponding author: kth@kict.re.kr

본 논문은 중소형 다중이용시설을 대상으로 BIM/GIS, 디지털트윈 등 고도화된 실감형 기술에 기반한 재난관리 서비스 인식에 관한 연구이다. 이를 위해 실감형재난관리연구단에서 개발한 주요 연구성과를 토대로 평시, 재난발생 상황에 따른 서비스모델을 도출하였다. 평시의 경우 안전점검 서비스로서 소방시설 점검 모니터링, 가상 재난훈련 서비스가 설정되었고, 안전정보 서비스로서 3차원 공간정보 제공, 공간별 센서정보 제공, 공간별 안전상태정보 제공, 재실자 현황정보 제공, 모바일 원격 모니터링 서비스가 도출되었다. 재난발생 상황의 경우 상황전파 서비스로서 관리자 실시간 재난상황정보 확인, 건물 내 실시간 재난상황정보 전파, 유관기관 긴급 재난상황정보 전파, 구역별 최적 동적대피경로 제공 서비스가 도출되었으며, 현장 대응 서비스로서 모바일 기반 대응팀별 최적 대응방안 제공, 유관기관 실시간 재난상황정보 갱신 서비스가 최종 도출되었다. 이를 기반으로 소방기관 근무자 총 50명을 대상으로 서비스 요소별 중요도-만족도 분석(Importance-Performance Analysis, 이하 IPA분석)을 수행하였다. 그 결과, 전체 만족도와 중요도는 전반적으로 정적관계의 선형 분포를 보였으며, 그 중 '건물 내 실시간 재난상황정보 전파'와 '유관기관 긴급 재난상황정보 전파'가 각각 중요도 4.28점, 만족도 4.14점으로 가장 높게 나타났다. 한편 '모바일 기반 대응팀별 최적 대응방안 제공'은 중요도 4.16점에 비하여 만족도가 3.84점으로 낮게 나타나, 중점적인 개선이 필요할 것으로 보인다. '모바일 원격 모니터링'의 경우 중요도 3.80점, 만족도 3.76점으로 모두 낮게 나타남에 따라 개선방안을 모색해야 될 것으로 판단된다. 본 분석결과를 토대로 향후 실감형 재난관리 서비스를 실제 운영하기 위한 개선방안 연구가 지속적으로 진행되어 안전한 재난대응 체제가 강화되기를 기대한다.

자율 주행 로봇을 활용한 소방 시설물 위치 인식

전지훈 · 오다솜* · 홍상기 · 이강복†

한국전자통신연구원 · *과학기술연합대학원대학교

Identifying the location of fire fighting facilities using autonomous driving robots

Ji Hun Jeon · Da Som Oh* · Sang Gi Hong · Kang Bok Lee†

Electronics and Telecommunications Research Institute · *University of Science and Technology

†Corresponding author: kblee@etri.re.kr

제천 스포츠센터 화재와 밀양 세종병원 화재, 이천 물류센터 화재 등 최근 건물에서의 대형화재 발생으로 인해, 화재 발생 초기 진압에 도움을 줄 수 있는 소방 시설물과 이에 대한 점검의 중요성이 높아지고 있다. 소방 시설 점검은 크게 두 가지 방식으로 나눌 수 있는데, 화재안전기준에 적합하게 설계된 소방 도면의 소방 시설물 위치와 실제 소방 시설물의 위치가 같은지 확인하는 위치 점검과 소방 시설물이 제대로 동작하는지 판단하는 동작 점검이다. 이러한 소방 시설 점검에는 자격증을 보유한 소방안전관리자가 건물을 방문하여 연 1회 이상 실시하는 종합정밀점검과 건물의 소방 관계인이 월 1회 이상 실시하는 외관 점검이 있는데, 인력 및 시간 부족으로 인해 소방 시설 점검이 월 1회보다 자주 이루어지기는 어려운 실정이다.

본 논문에서는 소방 시설물 점검에서의 인력 및 시간 부족을 해결하며 소방 도면에서 지정된 소방 시설물의 위치가 유지되고 있는지를 주기적으로 파악하고 데이터화 할 수 있는 자율 주행 로봇을 활용한 실내 소방 시설물 점검 시스템을 제안한다. 자율 주행 로봇은 가정에 많이 보급된 로봇 청소기와 유사한 형태로, 2개의 전동 휠과 보조 휠을 통해 평면상에서 전후 이동과 회전이 가능한 irobot사의 Create3 모델을 사용하였다. 여기에 NVIDIA의 Jetson Xavier NX 보드를 제어 보드로 탑재하고 로봇 상부에 2D LiDAR를 장착하여 실내공간에 대한 맵 작성 및 현재 자율 주행 로봇의 위치파악이 가능하도록 하였다. 또한 상부에 RGB-D 카메라를 장착하여 소방 시설물 객체 인식과 깊이 측정이 가능하도록 하였다. 객체인식은 Faster R-CNN 모델을 활용하여 소화기, 옥내소화전, 화재 감지기, 유도등과 같은 소방 시설물들을 인식할 수 있게 하였다.

동작 순서에 대해 설명하면, 먼저 Xavier NX에서 ROS를 통해 2D LiDAR와 RGB-D 카메라 동작을 명령한다. 2D LiDAR를 통해 주변 환경에 대한 포인트 클라우드 데이터가 모이면, 이를 통해 맵 작성을 하는 동시에 포인트 클라우드 간 비교를 통해 자율 주행 로봇의 위치를 획득하는 SLAM 과정을 거친 후 장애물이 없는 공간을 향해 이동을 한다. RGB-D 카메라에서는 주변 환경에 대해 계속 RGB 이미지를 촬영하여 객체인식 모델에 전송을 하는데, RGB 이미지에서 기 학습된 소방 시설물을 인식할 경우 RGB 이미지에서 객체인식한 bounding box 위치를 RGB 이미지와 동일하게 정렬된 Depth 이미지에 겹친 후 bounding box 내의 평균 Depth 값을 구한다. 이렇게 획득한 Depth 값과 RGB 카메라 파라미터를 통해서 RGB 이미지 상의 소방 시설물과 자율 주행 로봇 간의 상대적인 위치를 획득한다. 획득한 소방 시설물의 상대적인 위치를 자율 주행 로봇의

2D LiDAR를 통해 작성하고 있던 맵 상에 표시한다.

이러한 자율 주행 로봇을 활용한 소방 시설물의 위치 인식을 통해, 소방시설 점검에서의 인력 및 시간 부족을 해결하고 소방시설 점검 기간 이외의 평상시에도 실제 화재 발생 시 비상 대피 안내도에 표시된 소화기를 찾지 못해 화재 초기 진화에 실패하는 사고 등을 예방할 수 있을 것이라 기대한다.

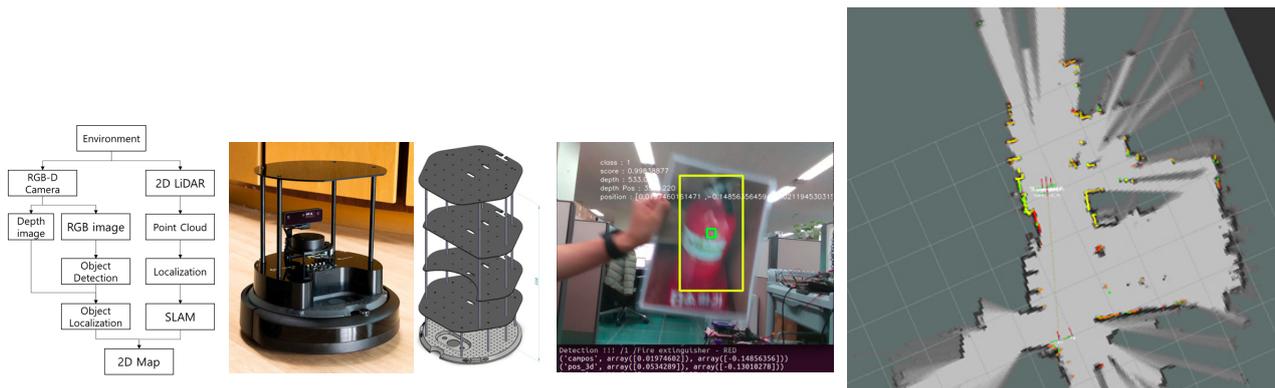


그림 1. 동작 순서도 그림 2. irobot Create 3 그림 3. 소방시설물 객체인식 그림 4. 2D 맵 작성

** 본 연구는 행정안전부 공간정보 기반 실감 재난관리 맞춤형 콘텐츠 제공 기술개발사업의 연구비지원(과제번호 22DRMS-B146826-05)에 의해 수행되었습니다.

소방민원센터 개선을 위한 소방시설점검 서비스 기술 활용에 관한 연구

이두루나[†] · 최두찬 · 김희문 · 황현수 · 김전수
한방유비스(주)

A Study on the Use of Firefighting Facility Inspection Service
Technology for Improvement of Firefighting Civil Service Center

Du Ru Na Lee[†] · Doo Chan Choi · Hee Moon Kim ·
Hyeon Su Hwang · Jeon Su Kim
KFUBIS CO., Ltd.

[†]Corresponding author: ldrn@kfubis.com

최근 소방청은 2022년부터 국가단위 재난대응체계 강화를 목적으로 각종 현장활동시스템의 통합·고도화 등에 중점적으로 투자할 것이며, 특히 “소방예방정보시스템”이라는 중앙 플랫폼을 구축하여 소방시설점검 정보를 포함한 소방 관련 정보를 수집 및 관리할 계획을 밝혔다. 본 연구는 공간정보 기반 맞춤형 재난상황 서비스 구축을 목표로, 소방대상물에 대한 소방시설점검 및 관리를 지원하기 위한 소방시설점검 서비스 기술을 개발하였다. 현재 운영되고 있는 소방시설점검 관련 시스템의 현실태를 조사하고, 효과적인 소방시설점검 정보의 확보 및 관리를 위해 소방시설점검 서비스 기술의 활용을 제안하고자 한다.

국내 소방시설점검 관련 시스템은 소방안전관리자를 선임신고하고 소방시설점검 결과를 제출 및 처리하는 소방민원센터가 있다. 그러나 소방시설점검 현장 업무수행 후 결과를 수작업으로 입력하여 데이터 오류 및 누락이 빈번하고 현장에서의 활용에 한계점이 있다.

연구를 통해 개발한 소방시설점검 서비스 기술은 소방대상물과 소방시설의 공간정보를 기반으로 소방시설점검 현장 수행을 지원하고 이전 점검결과 조회, 현장 사진 촬영 및 첨부, 점검결과 자동 생성 등으로 소방시설점검 업무의 효율성을 높일 뿐 아니라 점검결과 데이터의 오류 및 누락을 방지하고 데이터 수집 및 관리를 원활하게 한다. 이러한 소방시설점검 서비스 기술을 활용한다면, 소방민원센터의 개선점을 보완하고 소방청에서 구축 예정인 소방예방정보시스템의 소방시설점검 정보연계 및 지원이 가능할 것으로 사료된다.

향후 소방특별조사 및 안전점검, 다중업소 및 위험물 등 소방 인허가 지원 서비스로 기술을 확장한다면 다양한 소방예방 정보를 수집·관리할 수 있는 서비스로서의 활용이 기대된다.



<소방시설점검 단말 프로그램>



<소방시설점검 앱>

** 이 논문은 행정안전부 공간정보기반 실감형콘텐츠융복합 및 혼합현실제공 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(22DRMS-C146826-05).

SOP 기반 맞춤형 재난 상황관리 정보 및 의사결정 지원 제공 방법

김은주* · 이혜선 · 임선화 · 홍상기[†] · 이강복

한국전자통신연구원

A method for providing customized disaster situation management information and decision support based on SOP

Eun Joo Kim* · Hyesun Lee · Sun hwa Lim · Sang Gi Hong[†] · Kang Bok Lee

Electronics telecommunications Research Institute

[†]Corresponding author: sghong@etri.re.kr

2022년 3월 4일 경북 울진에서 발화한 ‘산불’은 강풍을 타고 강원도 삼척까지 빠르게 확산되면서 큰 피해가 예측되자, 행정안전부는 중앙재난안전대책본부를 가동하고 효과적인 산불 대응을 위해 강원과 경북에 재난사태를 선포하였다. 재난 상황은 재난 유형, 피해 예상 범위 등에 따라 국지적 또는 광역적 상황관리가 필요하게 되는데 울진 산불의 경우 광역 재난 상황에 해당하며, 각 부처 기관들의 상호 협력 지원이 요구되었다. 한편 세계적 확산으로 대규모 피해를 발생시킨 ‘코로나19’가 아직 종식되지 않은 상황 속에서 2022년 5월 새로운 위협으로 나타난 ‘원숭이두창’에 대해 질병관리청은 제2급 감염병으로 지정하였고, 비상체제에 돌입하였다. 산업화·도시화·세계화에 따른 환경파괴 및 기후변화로 인해 발생빈도가 증가하고 있는 신규재난은 사전에 예측하기가 쉽지 않아 피해 규모가 더욱 커지고 있다.

재난 상황관리란 산불, 감염병, 대형화재와 같은 각종 재난 발생 시 인명 및 재산피해를 최소화하거나 사전에 방지하기 위하여 재난안전상황실에서 업무를 수행하기 위한 모든 활동을 의미하며, 효과적으로 예방·대비하고 대응·복구하기 위해서는 국가 차원의 통합적 관리 체계가 구축되고, 각 부처 기관들의 관리 업무가 조정되어야 한다. 특히 재난 상황관리 업무를 체계적으로 관리하고 활용성을 높이기 위해서는 재난 유형 및 상황관리 조직별로 작성된 SOP(표준행동절차, Standard Operating Procedure)를 시스템화하고, 이를 기반으로 맞춤형 업무가 제공될 필요가 있다.

본 연구는 재난 유형 및 상황관리 조직에 따른 상황관리 담당자에게 특화된 상황관리 정보를 제공하고, SOP기반의 상황관리 업무 프로세스에 따라 체계적인 상황관리 의사결정을 지원하는 방법에 대하여 제안한다. 상황관리 담당자는 신고 접수된 재난에 대하여 프로젝트 생성 시 상황관리 정보를 받을 수 있으며, 생성된 프로젝트로부터 상황관리 업무 프로세스 단계별 업무 목록, 고려사항, 단계전환정보, 의사결정 지원정보 등을 받을 수 있다. 그리고 같은 재난에 대해 조직별 상황관리 담당자는 인명 피해 정보와 같은 변경되는 상황 정보와 재난 상황에 따라 변경되는 위기경보 단계 정보를 실시간 공유할 수 있다.

** 본 연구는 행정안전부 지능형 상황관리 기술 개발사업의 연구비지원(과제번호 2021-MOI-S37-001)에 의해 수행되었습니다.

석유화학공장 질식 사고 방지를 위한 웨어러블 가스측정 시스템

신동범[†] · 조광수 · 이강복

한국전자통신연구원(ETRI) 산업안전지능화연구실

Wearable Gas Measurement System to Prevent Asphyxiation in Petrochemical Plant

Dong-Beom Shin[†] · Kwang-Soo Cho · Kang Bok Lee

Industrial & Personal Safety AI Research Section, ETRI

[†]Corresponding author: sdb@etri.re.kr

최근 석유화학공장에서 가스사고가 빈번하게 발생하고 있다. 본 논문에서는 석유화학공장 대형 혼합물 챔버 작업장의 질식사고를 예방하기 위한 웨어러블 가스측정 시스템의 테스트베드 구축 및 현장 실증시험에 대하여 기술한다.

석유화학공장에는 아래 그림과 같이 수백개의 대형 혼합물 챔버가 있으며, 주기적으로 클리닝 작업을 수행한다. 이러한 대형 혼합물 챔버에는 유독성 가스가 있으며, 밀폐된 작업장으로 작업자들의 가스 안전사고가 발생한다. 본 논문에서 제안하는 석유화학공장 밀폐공간 질식사고 방지를 위한 웨어러블 가스측정 시스템은 웨어러블 형태의 가스측정 장치, 이동형 중계장치, 그리고 모니터링 서버 시스템으로 구성된다. 작업자가 휴대하는 웨어러블 가스측정 장치는 실시간으로 작업자 주변의 가스 농도를 측정하고, 측정된 데이터는 저전력 장거리 무선통신망을 통하여 이동형 중계장치에 전달된다. 웨어러블 가스측정 장치는 측정값이 위험 기준치를 넘으면, 자체적으로 알람 신호를 발생시켜 작업자가 위험한 환경에서 신속하게 대피하는 기능도 제공한다. 이동형 중계장치는 작업자들의 웨어러블 가스측정 장치로부터 센싱 데이터를 수신하고, 수신한 데이터를 무선통신망을 통하여 모니터링 서버에 전송한다. 본 논문에서는 석유화학공장 가스 사고 예방을 위하여, 웨어러블 가스측정 시스템을 이용한 테스트베드를 구축하고, 산업현장 실증시험을 통하여 웨어러블 가스측정 장치의 현장적용 가능성을 검증하였다.

[석유화학공장 질식사고 방지를 위한 웨어러블 가스측정 장치]

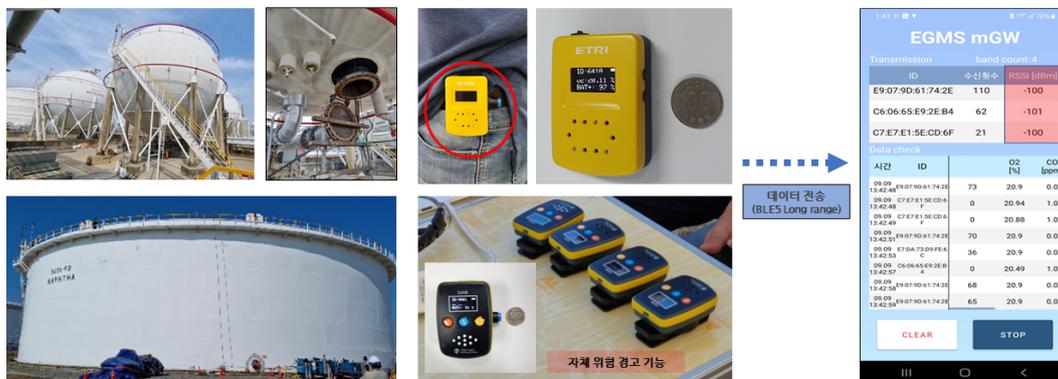


그림 1. 석유화학공장 질식사고 방지를 위한 웨어러블 가스측정 시스템 실증시험

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

산불 조기 감지 위한 ICT 기술 활용 연구

김현석[†] · 김수철 · 박소영 · 이강복

한국전자통신연구원 (ETRI) 산업안전지능화연구실

A Study on Application of ICT Technology for Early Detection of Wild-fire

Hyunseok Kim[†] · Soocheol Kim · Soyoung Park · Kang Bok Lee

Industrial & Personal Safety AI Research Section, ETRI

[†]Corresponding author: hyunseok@etri.re.kr

우리나라는 최근 10년간 총 22건의 대형 산불이 발생하였고, 총 30.233ha의 산림 손실이 발생하였다. 특히 겨울이 지나고 국토 전체에 건조함이 만연한 봄철에 대부분의 산불이 발생하기에, 이 시기를 중심으로 산불 예방을 대대적으로 홍보하고 있다. 이러한 큰 국가적 손실인 산불을 예방하기 위해 행정안전부, 산림청, 소방청 등은 행정적 및 기술적인 많은 노력을 하고 있다. 하지만, 업무의 효율성을 극대화하기 위한 ICT기술 활용이 좀더 확대되어야 하기에 이제까지 적용된 노력들과 향후 노력에 대해 논하고자 한다.

산불 감시를 위한 ICT기술의 적용 방법으로 CCTV 카메라를 주로 사용하고 있으며, 선택적으로 열화상 카메라를 통한 야간 감시, 지능형 영상 처리 통한 산불 인지 자동화가 시범 적용되고 있다.

최근 10년간 많이 발전되었던 드론 기술, IoT 기술도 산불 조기 감지에 적용되었다. 드론에 감시 카메라(일반, 열화상, 센서) 장비들을 장착하여 산불 감시에 적용하는 시도가 있었고, 화재 관련 정보인 온도, 습도를 감지하는 센서를 부착한 무선 IoT 장치를 활용하는 시범이 있었다.

해외에서는 이들 기술들 외에도 인공위성과 라이다 기술 적용 사례가 주목받는다. 지상이 아닌 높은 하늘에서 산불을 감시하는 인공위성은 개발 초기 각종 센서로 인한 우월한 감지 능력이 주목받았으나, 감시 주기가 발목을 잡았으나, 최근 캘리포니아에서는 정지 위성을 통해 실시간 산불 조기 감지능력 적용을 눈앞에 두고 있다. 또한 자율주행 자동차 및 실내 지도의 자동 구성으로 주목을 받고 있는 라이다 기술이 산불 조기 감지에도 적용 가능하다. 레이저의 반사되는 시간을 기반으로 하여 거리만을 측정하는 라이다 기술은 복잡도가 가장 낮고, 좀더 우월한 기술 축적이 뒷받침된다면 원거리에서의 입자 및 바람 감지가 가능하다. 이를 통해 산불로 인한 연기 입자 및 화학 성분의 감지가 가능하고, 바람의 방향 및 세기를 감지할 수 있다.

** 이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임.[No. 2020-0-00012, 연기입자 스펙트럼 분석 기반 지능형 화재감지 장비 개발]

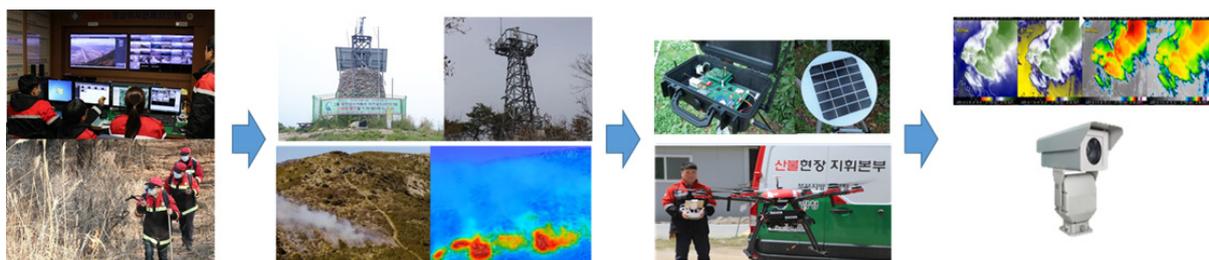


그림 1. 산불 조기 감지 기술의 발전 과정

UWB 기반의 현장 대원 간의 상대 거리 측정 방법

이상연[†] · 전지훈 · 이강복

한국전자통신연구원

How to measure the relative distance between field crews based on UWB

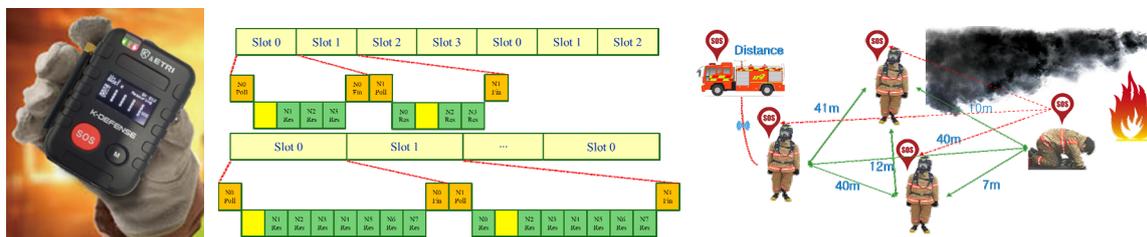
Sang Yeoun Lee[†] · Ji Hun Jeon · Kang Bok Lee

Electronics and Telecommunications Research Institute

[†]Corresponding author: lsyoun@etri.re.kr

화재 및 재난 상황 속에서 소방대원 또는 안전관리자가 한 팀으로 소방 활동을 수행하면서 연기 등으로 인한 시야 확보가 어려운 상황에서 다른 대원들과의 상대 거리 정보를 제공할 수 있는 장비가 현재 미흡하고 현장 대원이 위급상황 시에 다른 현장 대원들에게 SOS 구조 신호를 다른 대원들에게 공유할 수 있는 정보 제공이 필요하다. 현재 시중에 개발되고 있는 현장 대원 위치추적기 기술은 실외에서는 GPS 기반의 위치추적 기술을 적용하여 완성도가 높은 수준이지만 실내에서는 현장 대원이 무선 신호 발생기를 착용하고 위급상황 시에 무선 신호 발신기를 장착한 구조 대원들이 무선 신호로 위급 대원 찾는 부정확한 수준이며 위급상황 알람도 SOS 경보음 및 무선 발신기를 동작하는 수준이다. 따라서 본 논문에서는 UWB 기술의 TWR(Two-Way Ranging) 기술을 활용하여 앵커와 태그의 개념을 모두 갖는 노드 개념을 개발하여 자유로운 움직임 가능한 노드 간에 상대 거리를 측정하고 또한 자신이 측정한 노드 간의 거리 정보를 다른 노드에게 전송하여 동작하는 모든 노드가 전체 노드 간의 거리 정보를 공유하도록 개발하였다.

현장 대원이 위치 추적기(노드)는 동작하는 노드 수만큼의 시간슬롯을 사전에 설정하고 자신의 ID에 해당하는 슬롯 시간에만 태그 모드로 동작하고 다른 슬롯에서는 앵커 모드로 동작하도록 구성하였다. 슬롯의 타임 동기화는 노드들이 초기 일정 시간은 데이터 모니터링을 수행하여 ID가 가장 낮은 노드에 시간을 동기화하도록 동작하며 일정한 시간마다 시간 동기화 노드를 갱신하도록 하였다. 이는 특정한 노드에 기준을 정하지 않으므로 기준 시간 노드가 고장이나 손실이 발생하여도 전체 노드의 동작 강건성을 높일 수 있는 이점이 있다. 또한, 노드가 측정한 노드 간의 거리 및 SOS 정보를 공유하기 위해서 TWR 프로토콜에 거리 및 SOS 정보를 전송할 수 있는 프로토콜을 추가하여 위급상황 시에 SOS 버튼을 누르면 주위에 있는 모든 대원에게 SOS 정보를 공유하도록 개발하였다. 이러한 위치 추적기 개발로 실내외 화재 및 재난 상황 속에서 현장 대원 간에 상대 거리 정보 제공 및 SOS 정보 공유 기능을 제공해줌으로써 대원의 위급상황 시에 다른 대원들에 의한 구조가 가능한 안전관리 체계를 제시하여 현장 대원의 안전과 생명을 보장하는 데 도움을 줄 것으로 기대한다.



(그림) UWB 위치 추적기와 현장 대원 간의 상대 거리 측정

** 본 연구 논문은 한국전자통신연구원 연구운영지원사업의 일환으로 수행되었음. [22ZR1100, 자율적으로 연결·제어·진화하는 초연결 지능화 기술 연구]

스마트 시티 화재안전관리를 위한 실감형재난관리 기술개발

홍상기 · 임선화 · 이강복[†]

한국전자통신연구원

Development of Realistic Disaster Management System for Managing Fire Safety in Smart Cities

Sang Gi Hong · Sunwha Lim · Kang Bok Lee[†]

Electronics Telecommunications Research Institute

[†]Corresponding author: kblee@etri.re.kr

스마트 시티는 주거시설 및 도시 인프라에 지능형 센서, 인공지능, 디지털 트윈 기술 등의 ICT 기술을 결합하여, 도시에 거주하는 시민들에게 똑똑하고 편리한 생활을 제공하는 것을 목적으로 한다. 도에서 생성되는 다양한 도메인의 데이터를 수집, 저장, 처리, 분석하는 스마트 시티 플랫폼을 통하여, 발생하는 문제점들에 대한 상황인식 및 의사결정을 지원하여 교통, 환경, 시설관리 등의 다양한 서비스를 제공하고 있다. 이외에도 재난 데이터와 디지털 트윈 공간정보의 융·복합을 통하여 스마트 재난관리 서비스를 제공하는 사례가 증가하고 있다.

본 논문에서는 스마트 시티 화재안전 서비스를 목적으로, 건물의 소방시설로부터 수집되는 소방시설의 실시간 센싱 및 화재 이벤트 정보(이하 ‘화재안전정보’)를 수집하여, 실감형 화재안전관리 시스템을 개발 및 검증하는 것을 목적으로 한다. 전체 시스템은 자동화재탐지시설, 소방활동융합정보플랫폼, 스마트 시티 플랫폼 및 통합관제 시스템으로 구성되며 주요 기능은 다음과 같다.

1. 자동화재탐지시설 : 건물 화재 발생 여부를 실시간으로 탐지하는 열·연기 복합식 화재 감지기, 감지기 신호를 전달하는 중계기 그리고, 건물 내 감지기 정보를 수집하여 화재 발생 여부를 탐지하는 화재 수신기로 구성된다. 수신기에서 수집되는 화재안전정보는 소방활동융합정보플랫폼의 실시간 수집 및 변환시스템으로 전송한다.

2. 소방활동융합정보 플랫폼 : 소방활동융합정보 플랫폼은 건물의 자동화재탐지시설로부터 OpenAPI 형태의 공통규격으로 정보를 수집/변환/저장하기 위한 플랫폼으로, 화재안전정보는 건물의 공간정보, 소방시설 정보, 화재감지 구역정보와의 융복합을 통하여, 데이터의 분석 및 타 시스템으로의 배포 기능을 지원한다.

3. 스마트 시티 플랫폼 및 통합관제시스템 : 스마트 시티 서비스 연계를 위하여, 건물 화재안전정보는 스마트 시티 통합 플랫폼인 Brightics IoT 플랫폼으로 전송되며, 전송된 화재안전정보는 통합관제 시스템에 가시화된다.

본 논문에서 제안한 실감형 화재안전관리 시스템은 스마트 시티 국가 시범도시 부산 에코델타 시티의 커뮤니티센터에 적용하여 시범서비스를 제공하고 있으며, 실증 결과를 분석 및 보완하여 스마트 도시 화재안전관리를 위한 표준 시스템으로 확장할 계획이다.

** 본 연구는 행정안전부 공간정보 기반 실감 재난관리 맞춤형 콘텐츠 제공 기술개발사업의 연구비 지원(과제번호 22DRMS-C146826-05)에 의해 수행되었습니다.

화학사고 통계분석을 통한 사고조사 대상 선정기준 마련 연구

박춘화 · 남근우 · 김병훈 · 황승율

화학물질안전원

A Study on the Selection Criteria for Accident Investigation through Statistical Analysis of Chemical Accidents

Choonhwa Park · Gnu Nam · Byunghoon Kim · Seunryul Hwang

National Institute of Chemical Safety

매년 수십여건의 화학사고 발생으로 원인규명을 통한 재발방지 대책 마련이 필요하나, 원인조사 시 최소 3~4개월이 소요됨에 따라 우선순위를 고려한 조사대상 선정이 필요한 실정이다. 이에, 원인조사 우선대상 선정기준을 마련하여 화학사고 발생 시 조사대상 여부를 신속히 판단하여 사고조사를 실시할 수 있는 체계마련이 필요하다. 본 연구에서는 화학사고 세부유형, 사고다발 여부, 중·소규모 취약사고 등을 검토하여 우선 조사대상 선정기준을 마련하고자 한다. 대상 선정 시 사고원인이 명확한 단순 누출사고 등은 제외하되, 예방대책 및 제도개선 사항 도출이 필요한 사고 유형 위주로 선정대상 기준을 검토하였다. 화학사고 통계자료를 활용하여 과거 8년('14~'21년)간 총 676건의 화학사고에 대해 사고유형, 사고원인, 월별분석, 물질분석, 사고설비에 대한 분석을 실시하였다. 먼저, 유형별 분석결과 유·누출 사고가 518건(77%), 화재·폭발 87건(13%), 반응 39건(6%), 복합사고 31건(4%) 등으로 발생하였다. 원인별 분석 결과 시설관리 미흡 271건(40%), 안전기준 미준수 259건(38%), 운송차량 사고 138건(20%)이 발생하였으며, 시설관리 미흡으로 인한 이상반응 사고(15%)는 화재·폭발·누출사고를 동반하며 대부분 원인미상 사고로 처리(74%) 되어 사고재발 위험이 상존하는 바, 재발방지를 위한 조사가 필요한 유형으로 판단된다. 월별 분석 결과 해빙기(2~3월, 9%~)이후부터 점차 상승하여 7~8월(26%) 화학사고 발생이 급증하고 9월(7%~) 이후 저하되는 추세를 나타내고 있다. 고온·다습한 7~8월 사고의 원인 분석 시 시설관리 미흡이 사고증가의 핵심으로 기여하였으며, 특히 파손, 부식/균열이 주요 원인으로 확인되었다. 화학사고 676건 중 염산(염화수소) 90건(13%), 암모니아 73건(11%), 질산 74건(11%), 황산 67건(10%), 포르말린 22건(3%) 순으로 발생하였다. 21년에 발생한 화학사고 92건에 대한 세부 사고설비 분석결과 배관(16건, 17%), 탱크로리(13건, 16%), 밸브·플랜지(12건, 14%) 순으로 발생하였다. 이러한 화학사고 통계조사를 바탕으로 사고조사를 통해 재발방지 대책 마련이 시급한 범주를 ①부식성 물질로 인한 밸프스 누출, 부식/균열사고 등 반복사고, ②혼합, 교반 등으로 인해 발생한 이상반응 사고, ③화재·폭발, 누출·화재·폭발이 동반된 복합사고 유형으로 선정하되 사고상황·사고규모·피해현황·현장의견 등이 종합적으로 검토하여야 한다.

인화알루미늄 이상반응에 따른 섬광화재 원인 분석 및 개선 대책 연구

남근우 · 박춘화 · 김병훈 · 황승율[†]

화학물질안전원 사고대응총괄과

An Analysis on Flash Fire Caused by Aluminium Phosphide and Their Countermeasure

Gnu Nam · Choonhwa Park · Byunghoon Kim · Seunryul Hwang[†]

National Institute of Chemical Safety, Accident response coordination division

[†]Corresponding author: komelong@korea.kr

유·누출, 화재·폭발 등 화학사고는 매년 수십 건 발생한다. 그 중에서도 폐기물 업체에서 화재·폭발로 인한 사고는 매년 발생하고 있으며, 폐기물의 경우 물질의 성분확인이 어려워 사고 발생 원인을 정확히 규명하고 사고 재발방지를 위한 개선 대책 연구가 매우 중요한 상황이다.

본 연구는 최근 훈증제의 한 종류인 인화알루미늄으로부터 발생한 섬광화재 사고의 위험성을 확인하고 해당 위험성을 개선하기 위한 가이드를 제시하였다. 인화알루미늄은 물과의 급격한 반응성을 띄는 물질로써 본 연구에서는 인화알루미늄의 물리화학적 특성, 폭발 가능한 조건, 폭발 원인 등에 대해 조사하였다. 또한, 화학반응식을 통해 물과의 반응에서 발생할 수 있는 부산물 및 그 위험성에 대하여 분석하였다. 뿐만 아니라 이러한 인화알루미늄 폐기물로부터 발생하는 화학사고의 재발방지를 위한 기술적, 관리적 및 제도적 관점에서 인화알루미늄의 보관 및 관리, 사용후 남은 잔량의 처리 방법 등에 대하여 연구하였다.

Dozens of Chemical accidents have been occurred annually by the spill, leak, fire, explosion, etc. Among them, chemical accidents such as fire and explosion from waste companies have been took placed every year. Since it is difficult for wastes to find the chemical components, studies for the countermeasure aimed for preventing the recurrence and to find the accurate cause are very important.

This study showed the danger of flash fire caused by aluminium phosphide, one of the fumigant and provided the guide to improve the riskiness. This study also investigated the Physical-chemical features, conditions for the explosion, etc of the aluminium phosphide, which shows dynamic reaction with water. In addition, byproducts from a reaction with water and their dangers were discussed. Futhermore, for preventing recurrence of the chemical accident generated from aluminium phosphide wastes, it has been studied for the methods to handle and manage the residues on technical, administrative and institutional viewpoints.

화학사고 영향조사를 위한 예비조사 사례연구

이지호[†] · 조아름 · 임지영 · 황승울

환경부 화학물질안전원 사고대응총괄과

Case study for preliminary investigation after chemical accidents

Ji-Ho Lee[†] · Areum Jo · Ji-young Im · Seung-Ryul Hwang

Accident Response Coordination Division, National Institute of Chemical Safety

[†]Corresponding author: jhlee76@korea.kr

최근 90여건의 화학사고가 지속적으로 발생하고 있다. 최근 5년간 화학사고 영향조사는 2건에 불과하였다. 하지만 사고 피해저감을 위해서는 대규모 사고 외에 환경 및 인명피해가 발생한 중·소규모 사고에 대한 과학적·체계적인 환경 및 건강영향조사 실시에 대한 관심이 증가되었다. 따라서 본 연구에서는 화학사고 영향조사를 위해 실시했던 예비조사 사례를 분석하고 이를 통해 본 화학사고 조사제도 개선점을 제시하고자 한다.

예비조사 내용은 사업장 내 및 운송차량 사고에 대한 환경 및 건강영향조사를 실시하였다. 화학물질안전원·지자체·합동방재센터 등 기관협업을 통해 사고 상황을 협의해나가면서 영향조사를 실시하였다. 환경영향조사는 사고발생 지점으로부터 주변 환경영향범위를 예측하고, 드론을 활용한 주거시설분포 및 영향면적을 산정하였다. 또한 농작물·식생 오염도 분석을 병행하여 실시하였다. 건강영향조사는 사고규모를 고려하여 사고물질 노출로 인한 대기관 자극증상 설문조사를 실시하였다.

중·소규모 사고이지만 전문가 의견수렴결과, 사고물질 노출에 따른 농작물·식생 피해영향을 확인할 수 있었고, 환경매체 및 식생·농작물의 오염도 또한 대조군에 비해 높은 농도로 조사되었다. 아울러, 사고물질 노출에 따른 병원진료를 받은 피해주민은 눈 시림, 피부 등 자극증상이 설문조사를 통해 확인되었다.

본 연구결과를 통해 사고규모·물질 등을 고려한 급성 영향 뿐만 아니라 만성영향을 모니터링하는 체계를 마련하여 지역주민의 건강권 확보와 인명피해 최소화를 위해 영향조사 실시를 확대·강화할 필요성이 있음을 제안한다. 추가적으로 영향조사 실시기준을 구체화하고, 조사의 전문성과 기술성을 반영한 기관별 임무 등의 화학사고 조사제도 개선이 필요할 것으로 판단된다.

유해화학물질 운반차량 사고 안전관리 방안 연구

김찬식 · 조아름 · 이지호 · 임지영 · 황승율[†]

환경부 화학물질안전원 사고대응총괄과

Investigation on accident safety management plan of hazardous chemical transport vehicles

Chansik Kim · Areum Jo · Ji-ho Lee · Ji-young Im · Seung-Ryul Hwang[†]

Accident Response Coordination Division, National Institute of Chemical Safety

[†]Corresponding author: komelong@korea.kr

코로나19 확산 이후 현장점검의 한계 등으로 인하여 운송·운반차량에 의한 화학사고는 지속 증가하는 추세('14~'19년 연평균 3.8건 → '21년 6건)를 보이고 있다. 전체 화학사고 중 운반·운송차량에 의한 화학사고는 20% 내외로 발생하고 있고, 운반·운송차량 사고의 97%는 사업장 외 도로변에서 발생하고 있다. 운반·운송차량에 의한 사고는 대규모 사고로 확대될 경우 농작물·식생 등의 환경피해와 불특정 다수의 건강에 영향을 미칠 수 있기 때문에 이러한 사고에 대한 전체 화학사고 발생 원인을 세부적으로 분석하고 유사사고 발생을 줄일 수 있는 재발방지 대책을 마련하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 2014년 1월부터 2021년 9월까지 발생한 화학사고 134건의 세부원인을 분석하였고, 운반·운송차량의 화학사고 방지대책(안)을 마련하였다. 세부원인 분석 결과 사고원인은 코로나19 이후 정비 불량에 의한 사고가 증가하는 경향을 보였고, 사고 원인물질로는 염산, 황산, 질산 등의 산류에 의한 사고가 주로 발생하였다. 운반·운송차량에 의한 화학사고 127건을 분석한 결과 사고가 주로 발생하는 장소와 원인은 일반도로에서 적재불량으로 인한 사고가 다수(전체사고 중 일반도로 68%, 적재불량 26%)임을 확인할 수 있었다. 이러한 결과들을 토대로 본 연구로부터 제안한 화학사고 재발방지대책은 첫째, 염산 탱크로리의 특별관리 방안 마련, 둘째, 유해화학물질 운반·운송시설 관련 규정 정비 및 점검 강화, 셋째, 유해화학물질 운반자 교육 관리강화 및 사고사례 전파, 마지막으로 도로변 화학사고 관리강화를 위한 운반·운송 경로관리 시스템 구축 검토이다.

본 연구에서 도출된 화학사고의 세부적인 원인분석 및 재발방지대책은 유사 화학사고발생을 줄이고 관련 정책을 마련하는 데 있어 활용될 수 있을 것이다.

3D CFD 기술을 적용한 폭발사고 원인규명 사례 및 개선 대책 연구

김병훈 · 박춘화 · 남근우 · 김태경 · 황승율[†]

화학물질안전원

Investigation Case of Cause of a VCE Accident using FLACS CFD

Byounghoon Kim · Chunhwa Park · Gnu Nam · Taegyong Kim · Seung-Ryul Hwang[†]

National Institute of Chemical Safety

[†]Corresponding author: komelong@korea.kr

최근 세계적인 반도체 수요 증가로 반도체 원료물질 제조 사업장이 증가함에 따라 반도체 및 LCD 등 첨단산업에 원료물질을 공급하는 사업장에서 화학물질 누출 후 폭발·화재를 동반하는 복합사고가 지속적으로 발생하고 있다. 화학물질에 의한 복합사고는 인명구조를 할 여유가 없이 독성 흡입, 폭발 과압 및 화재 복사열로 인해 즉각적인 인명피해를 초래하기 때문에 화학공장 설계 단계에서부터 본질적으로 더 안전한 설계(ISD: Inherently safer design)가 이루어져야 한다. 이를 위해 화학사고 발생 시 사고발생 원인을 명확하게 규명하고 장·단기적인 동종사고 예방대책을 수립하여 동종 플랜트 FEED(Front End Engineering Design) 단계에서부터 반영되도록 하여야 한다. 화학물질에 의한 복합사고는 사고현장이 파손·전소되어 현장증거 및 공정해석에 의존한 기존 사고조사 방법으로 사고발생 원인을 명확하게 규명하는데 한계가 있다. 본 사례 연구에서는 실제 화학사고가 발생한 공정의 동일 물질·조건에서의 반응실험과 사고시설 공정해석을 통해 사고물질이 반응기에서 Overflow(월류)된 원인을 추정하였고 사고발생 사업장 및 주변지역을 역설계(3D 스캔)하여 3D 모델링 형태로 사고 이전 현장을 재현하였다. RANS(Reynolds-averaged navier-stokes) 솔버를 활용한 유한체적해석 프로그램인 FLACS 시뮬레이터를 활용하여 Overflow된 물질의 폭발 증기운 형성량 및 형성 과정, 증기운 폭발로 인한 폭발 과압 전과과정을 도출하였고 FLACS 시뮬레이션 결과와 사고현장 및 인접지역의 피해결과에 대한 비교·분석을 통해 누출·폭발사고의 단계적인 사고매커니즘 및 발생원인을 규명하였다. 본 사례에서 적용한 FLACS 3D 시뮬레이션 활용 기법과 개선 대책 도출 과정은 유사 화학사고의 발생원인을 조사하고 사고예방 대책을 도출하는데 활용 할 수 있을 것이다.

수소자동차 연료탱크 안전 충전조건 및 열적특성 연구

윤정환 · 최정주* · 전경숙** · 허다영** · 오승준**†

동아대학교 고기능성밸브 기술지원센터 · *동아대학교 기계공학과 ·

**동아대학교 고기능성밸브 기술지원센터

A Study on the Thermal Characteristics and Safe Filling Conditions of Hydrogen Fuel Tank used in Hydrogen Vehicle

Jeong Hwan Yoon · Jeong Ju Choi* · Kyung Sook Jeon** ·

Hur Da Young** · Seung Jun Oh**†

Technical Center for High-Performance Valve, Dong-A University ·

*Dept. of Mechanical Engineering, Dong-A University ·

**Technical Center for High-Performance Valve, Dong-A University

†Corresponding author: osj07@dau.ac.kr

최근 환경오염 문제로 인해 신재생에너지에 대한 연구 및 정부적 차원의 신에너지로의 도약이 진행되고 있다. 한국 정부는 탄소중립 추진전략을 제도화하여 현재 산업현장의 주에너지원인 화석연료에서 신재생에너지로 변화를 도모하고 있다. 특히, 신에너지인 수소는 기존의 화석연료와 비교하여 온실가스 배출이 없고 물, 유기물 등의 화합물로부터 제조할 수 있다. 또한 수소의 경우 지역적 편중이 없어 화석연료의 지정학적 문제점을 해결할 수 있다. 화석연료의 주된 사용처인 발전소, 운송 등의 영역 중 운송부분에서 수소에너지는 수소전기차로 내연기관을 대체할 수 있으며, 배터리 전기차와 비교하여 상대적으로 에너지밀도가 높고 충전 시간이 적은 등의 장점이 있다. 따라서, 수소 운송, 수소차 등에서 수소를 보관하기 위한 저장용기가 중요하며 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 수소를 수송 및 보관하기 위한 저장기술로는 탱크에 고압 수소기체를 저장하는 방법, 액체 수소 저장, 수소저장합금, 화학흡착물질 이용 등의 기술이 있으며 상온 보관이 가능한 고압의 기체 수소의 경우, 저장용기는 용기 구성 성분등을 기준으로 type I, II, III 및 IV으로 총 4가지로 구분되어지며 수송용 튜브트레일러와 수소충전소용, 수소전기차 탑재용 등으로 사용되어지고 있다. 가연성 기체인 고압의 수소가스 충전에 있어 최대 문제점은 안전이다. 안전한 수소 충전을 위해서 미국의 SAE(Society of Automotive Engineers, 미국 자동차공학회)는 2010년 세계 최초로 TIR(Technical Information Report) J2601(Fueling Protocols for light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles) 프로토콜을 제정하고 2014년에는 STD(Standard, 기준) J2601로 개정하여 충전 조건에 대하여 충전 전 연료 탱크 내부의 상태, 수소가스의 유입온도 및 압력 그리고 수소 탱크의 부피 등에 관한 매개변수를 규정하고 있다. 따라서 본 논문에서는 고압수소 기체 저장 조건에 따른 충전 SAE J2601 프로토콜 조건을 고려하여 충전 시에 안전성을 수치해석 및 이론적 분석으로 검토하였다.

** 본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(P0020989, 스마트특성화기반구축사업)

수소 벤트라인에서의 화염방지기 활용

고성진[†]

(재)한국조선해양기자재연구원

Use of flame arresters in hydrogen vent lines

SeongJin Ko[†]

Korea Marine Equipment Research Institute

[†]Corresponding author: lannesky@komeri.re.kr

지구온난화와 미세먼지의 이슈에 따라, 탄소 Zero-Emission이란 목표는 점점 구체화 되고 있다. 이에 친환경 연료로 각광받는 수소는 미래에 가장 많이 활용될 에너지원으로 주목받고 있다. 이에 따라 수소 가스 및 위험 물질 사용량은 증가하고 있으며, 이를 저장하기 위한 위험물 저장시설의 화재·폭발·유해 위험 물질 누출과 같은 중대 재해 사례가 꾸준히 증가하는 추세이다. 이를 예방하기 위하여 안전 관련 전문기관 및 기업 등에서 사고 예방을 위해 크게 노력하고 있다. 위험물 저장시설에서 주로 사용되는 벤트라인에는 화재 및 폭발 사고를 예방하고, 만일의 사고에 대하여 연쇄 폭발을 막고, 피해를 최소화하기 위하여 화염방지기(Flame arrester)와 같은 안전장치를 설치할 것을 권고한다. 특히, 국제방폭규격(IECEX)에서 2016년 9월 화염방지기(Flame arrester)를 안전 필수 요건으로 추가하며, 국제적으로 화염방지기(Flame arrester)에 대한 중요성은 점점 커지고 있음에 주목할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 수소 벤트라인에서 사용되는 화염방지기의 필요성에 대해 고찰해보았으며, 화염방지기(Flame arrester)를 비롯하여 위험물 저장시설에 적용되는 안전장치(인화방지망, 버드스크린)의 물리적 소염 컨셉과 관련 규격에서 성능 확보를 위한 테스트 방법에 대하여 소개하고, 국내에서 사용되는 위험물 저장시설 기준을 검토하였다. 마지막으로 저장 탱크 폭발 사고에 대한 안전성 관련 유사 연구사례를 통해, 화염방지기(Flame arrester)의 필요성을 고찰하고, 기존에 없던 수소 인프라 사고와 관련하여 안전성 확보 방법을 제시하여, 안전한 수소 경제 실현에 도움이 되고자 한다.

수소전기차용 타입IV 용기라이너의 수소투과성에 관한 연구

김완진[†] · 조성민* · 전호병* · 배민관

주식회사 대하 · *한국가스안전공사

Experimental Study on Hydrogen Permeability of Type IV Container Liner for Hydrogen Electric Vehicles

Wanjin Kim[†] · Sungmin Cho* · Hobeong Jeon* · Minkwan Bae

Deaha Co. Ltd. · *Korea Gas Safety Corporation

[†]Corresponding author: kosacarn@naver.com

본 연구는 수소전기차에 사용되는 타입IV 용기라이너에 대한 수소투과안전성 평가를 위해 실제 사용 중인 수소전기차용 용기라이너에서 PA6 시료를 채취하여 CSA/ANSI CHMC2의 시험방법인 Hydrogen diffusion and Permeability의 시험방법에 따라 실시하였다. 시험압력은 10MPa / 20MPa / 40 MPa의 압력과 온도조건은 상온(20℃ ± 2℃)에서 시험을 실시하였다. 수소투과율은 시험압력별 질량측정법으로 측정하여 결과를 도출하였으며, 최종 결과는 단위시간·면적당 투과율 (cm³mm/m²hr)을 제시하였다.

In this study, PA6 specimen were collected from cylinder liners for hydrogen electric vehicles in use to evaluate the safety of hydrogen permeation for Type IV container liners used in hydrogen electric vehicles, and the test method of Hydrogen diffusion and permeability, which is a CSA/ANSI CHMC2 test method, was investigated. It was carried out according to The test pressure was 10 MPa / 20 MPa / 40 MPa, and the test was conducted at room temperature (20 °C ± 2 °C). Hydrogen permeability was measured by mass measurement method for each test pressure and the results were derived, and the final result presented the permeability per unit time and area (cm³mm/m²hr).

Keywords : Hydrogen cylinder, Cylinder liner, Diffusion and Permeability

건물용 수소추출기 연계 연료전지 시스템 안전기준 개발 현황

김수경 · 추지안 · 염지웅[†] · 이정운

한국가스안전공사, 가스안전연구원

Building's Safety Standardization For Fuel cell System Linked to Hydrogen Extractor

SUE-KYUNG KIM · JI-AN CHOO · JI-WOONG YEOM[†] · JUNG-WOON LEE

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

[†]Corresponding author: zwoonge@kgs.or.kr

2050 탄소 중립의 글로벌 의제화를 시작하며 탈탄소경제로의 에너지 패러다임이 전환되었다. 이는 곧 신재생에너지의 한계점을 보완할 수 있는 수소경제의 부상을 이끌었다. 이러한 수소경제는 크게 수소생산, 저장운송, 활용으로 구성되는데, 본 연구에서는 수소 생산과 활용 단계에 중점을 두었다. 수증기 개질을 통해 고순도의 수소를 추출하는 수소추출기의 수소 생산 시스템과 기저 부하를 담당하는 고체산화물 연료전지와 부하변동 전력을 담당하는 고분자 전해질 연료전지로 구성된 연료전지 활용 시스템으로 구성하였다. 본 연구에서는 이러한 시스템을 수소 추출기 연계 연료전지라고 정의하고, 실증 운전할 예정이다.

기존 대부분 수소추출설비의 경우, 1MPa 이상 운전으로 고압가스 안전관리법을 준용하여 운영되어 왔지만, 수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률이 시행됨에 따라 이에 적합한 기준이 제정되었다. 본 수소 추출기 연계 시스템과 관련된 기준으로, 수소추출설비 제조의 시설, 기술, 검사 기준(KGS AH171)과 고정형 연료전지 제조의 시설, 기술, 검사 기준(KGS AH371)이 21년 7월 제정되었다.

따라서 본 연구에서는 연료 공정을 이용한 수소 추출기 국제 표준인 ISO 16110 등과 고정형 연료전지 관련 국제 표준인 EN 50465, ISO 62282-3, NFPA 853 등의 기준을 분석하였다. 이를 통해 수소추출기 연계형 연료전지 시스템을 노드별로 구분하고, 위험요소 도출 및 분석을 실시하였다. 최종적으로 본 결과를 KGS AH171과 KGS AH371의 개정안 도출에 활용하여 향후 수소추출기 연계 연료전지 시스템 안정적인 보급에 기여하고자 한다.

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

이동형 연료전지 활용처별 안전기준 부합화를 위한 위험요소 분석

조인록 · 최재욱 · 이정운[†]

한국가스안전공사 가스안전연구원

Analysis of Risk for meeting Safety Codes of Portable Fuel Cells

Inrok-Cho · Jae-Uk CHOI · Jung-Woon LEE[†]

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

[†]Corresponding author: ljw@kgs.or.kr

최근 급격한 산업발전으로 미세먼지와 지구온난화가 가속되면서, 정부는 혁신성장전략 투자방향에서 수소경제를 3대 투자 분야로 선정하였으며, 수소 경제 활성화 로드맵을 발표하면서 국내 수소경제는 활성화되고 있다. 미래 성장 동력원으로 꼽히고 있는 수소용품은 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」이 시행되면서 제44조에 의해 수소용품을 제조하거나 수입한자는 그 수소용품을 판매 또는 사용하기 전 검사를 받아야 하며, 이는 KGS Code를 바탕으로 시행된다. 수소용품 중 이동형 연료전지는 작년과 올해 2차례에 걸쳐 KGS AH372(지게차용, '21.8 제정)과 KGS AH373(드론용, '22.1 제정) 안전기준이 제정되었다. 이외에도 현재 선박, 트랙터, 굴착기 등 여러 활용처별 안전기준 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

이에 본 연구에서는 각 활용처를 육상용, 해상용, 항공용 같은 카테고리 크게 구분하고 유사한 활용처에 대한 안전기준을 부합화 하고자 한다. 먼저 국내외 이동형 연료전지의 제품기준 현황 분석을 진행하였고, IEC 62282 series 등 이동형 연료전지와 관련된 국제표준과 활용처별 국내외 안전기준을 분석하며 적용범위에 따라 성능 및 안전항목이 상이함을 알 수 있었다. 이외에도 활용처별 운전특성 분석 및 실제사고사례 분석으로 부합화 연구수행을 위한 기초자료를 도출하였다. 이를 통해 이동형 연료전지 산업의 발전을 원활히 도모하고 수소산업의 경제 부흥에 기여하고자 한다.

신기술 수소제조설비 설비 운전특성 및 안전기준 개발 방향성 도출

권준엽 · 이재진 · 염지용 · 추지안 · 이정운[†]

한국가스안전공사 가스안전연구원

Derivation of Next Generation Water Electrolysis operation characteristics and safety standards development direction

JUNYEOP-KWON · JAEJIN-LEE · JIWOONG YEOM · JIAN CHOO · JUNGWOON LEE[†]

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

[†]Corresponding author: ljw@kgs.or.kr

지구 평균 온도상승 폭을 1.5℃ 이내로 제한하는 파리기후협약 체결에 따라 전 세계가 온실가스 배출을 줄이기 위해 노력하고 있다. 국내에서도 2030 온실가스 감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution)를 26.3%에서 40% 감축으로 대폭 상향 조정하고, 온실가스 배출을 줄이기 위해 수소경제 전환을 시행하는 등 온실가스 배출을 줄이기 위해 노력하고 있다. 온실가스 배출이 없는 수소에너지의 활용과 더불어, 수소연료생산에 관한 연구 및 개발도 활발하게 이루어지고 있다. 수소연료는 생산방법 및 원료에 따라 10가지 색상으로 구분되는데, 크게 탄화수소계열 연료를 개질하는 수소 추출설비와 물을 전기분해 하는 수전해 설비로 나뉜다. 수소추출설비는 주로 메탄(CH₄)을 주성분으로 하는 천연가스를 개질하는 방식이다. 수소 추출설비는 80년 이상 지속된 기술로 신뢰성이 높으나, 이산화탄소(CO₂)를 배출한다는 단점이 있다. 수소 추출설비의 새로운 기술은 천연가스를 열분해 하는 청록(Turquoise) 수소, 암모니아 분해 등이 연구개발 중이며, 이러한 기술은 이산화탄소 배출이 없다는 장점이 있다. 수전해 설비는 물을 분해하여 수소를 생산하는 방식으로, 온실가스 배출이 없다는 장점이 있으나, 물을 전기 전기분해 하기 위한 에너지가 필요하다는 단점이 있다. 수전해 설비를 이용하는 수소생산 방식은 옐로우(Yellow) 수소, 그린(Green)수소가 있는데, 최근 원자력 발전과 연계된 퍼플(Purple) 수소, 핑크(Pink) 수소, 레드(Red) 수소가 추가되어 연구 개발되고 있다. 이러한 신기술 수전해 설비는 기존 수전해 설비의 운전특성만 바꾸어 운영하는 것도 있으나, 고온형 수전해(SOEC, Solid Oxide Electrolysis)등 새로운 기술의 수전해 설비도 있다.

본 연구를 통해 현재 개발되고 있거나, 실증단계에 있는 신기술 수소제조설비에 대하여 운전 특성 분석 및 위험요소를 분석하고 이에 따른 안전기준 개발 방향성을 도출하였다. 천연가스 열분해 기술인 청록 수소, 암모니아(NH₃) 분해 및 고온형 수전해(SOEC)설비, 압축 전력을 줄여 효율을 높인 고분자전해질 수전해(PEMEC) 고압운전(30bar 이상)방식 등 신기술 수소제조설비의 최신 기술 트렌드를 분석하고 이에 따른 위험요소를 분석하였으며 향후 개발될 안전기준 방향성을 제시하였다. 신기술 수소제조설비 안전기준 방향성 도출을 통해 선제적 안전대응을 위한 기반을 구축하여 향후 안전개발을 통해 수전해 설비의 안전성을 확보하고자 한다.

HAZOP과 LOPA분석을 통한 수소충전프로토콜 개선

박진형[†] · 박동하 · 채충근* · 허재림 · 박교식
송실대학교 안전보건융합공학과 · *미래기준연구소

Improvement of Hydrogen Fueling Protocol by HAZOP and LOPA

Jinhyung Park[†] · Dongha Park · Chungkeun Chae* · Jaelim Heo · Kyoshik Park

Safety & Health Convergence Dept of Soongsil University ·

*Mirae Energy Code Research Institute

[†]Corresponding author: jinhyung.park@yokogawa.com

The international standards about hydrogen fueling protocol are SAE J2799, ISO 19885 and ISO/TC 197 WG 24. SAE J2799 is the first international standard about hydrogen fueling protocol in the world and ISO 19885 and ISO/TC 197 WG 24 are the upgraded international standard of SAE J2799. Three standards are applied in the hydrogen fuel cell vehicle market, but unfortunately there is no criteria about safety of hydrogen fueling protocol. From near future, Korea government will permit the high speed hydrogen fueling for the competition with gasoline vehicle or diesel vehicle. The hydrogen tank in hydrogen fuel cell vehicle can be exploded when the temperature of hydrogen increase over the certain temperature during high speed fueling. More quantitative process hazard analysis is necessary to prevent this kind of explosion. So the HAZOP and LOPA are executed for process hazard analysis of hydrogen fueling protocol and the instrument design was developed by applying the result of HAZOP and LOPA. HAZOP is qualitative analysis and LOPA is semi-quantitative analysis. For the efficient hazard and risk analysis, PHA Pro was used for HAZOP and LOPA report. Considering the normal criteria of HAZOP and LOPA, SIL3 needs to be applied to design the instrument system of hydrogen fueling protocol. The instrument system configuration and design criteria are modified and proposed as a the result of LOPA.

광역수소충전소 테스트베드 안전성평가에 관한 연구

김부승 · 김혜림 · 조충희[†] · 오정석

한국가스안전공사 가스안전연구원

A Study on Quantitative Risk Assessment of the Multiple Hydrogen Charging Testbed

Boo-Seung Kim · Hye-Lim Kim · Choong-Hee Cho[†] · Jeong-Seok Oh

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

[†]Corresponding author: jch1128@kgs.or.kr

우리나라에서 수소가스는 고압가스안전관리법과 수소법에 의해 규제되고 관리되어지고 있다.

정부의 수소경제 활성화 로드맵(19.1), 수소경제표준화 로드맵(19.4) 등의 발표 후 국내의 수소 경제가 속도감있게 활성화 되어가고 있으며, 2040년까지 1200기 이상의 수소충전소 구축을 목표로 삼고 있다. 하지만 부지확보의 어려움, 수소차량 충전시간 확보 등의 애로사항이 발생함에 따라 고속충전과 다차종 동시충전이 이루어질 수 있는 광역수소충전소 기술개발에 착수하게 되었다. 이러한 기술개발을 위해 광주 한국자동차연구원 부지 내에 테스트베드를 설치하여 개발내용에 대한 선적용 및 안전성 확보를 진행중이다. 따라서 본 연구에서는 정량적 위험성 평가에 범용적으로 사용되는 SAFETI(ver 8.61) Software를 이용하여 테스트베드에 대한 안전성평가를 진행하고자 한다. 초고압이 저장되고 흐르는 기계실 내 혹은 디스펜서 등에서 발생할 수 있는 수소가스 누출에 대한 확산, 화재발생 및 폭발, 그리고 그에 따른 복사열이 미치는 피해범위를 2D 그래프 및 GIS 그래프 등으로 확인하고자 한다. 또한 그에 따른 개인적/사회적 위험도를 도출하여 위험의 허용여부를 결정하고자 한다.

** 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE) 및 한국에너지기술평가원(KETEP)의 2020년 산업기술 혁신사업 지원으로 수행되었습니다.

(No. 20203010040010, 수소전기차 다차종 동시충전을 위한 광역수소충전소 핵심기술 개발)

대용량 운송용 복합용기 안전기준 방향성 연구

정현도 · 이동현[†]

한국가스안전공사 가스안전연구원

A Study on the direction of Safety Standard for large-capacity Composite Cylinders

Jeong Hyeon Do · Lee Dong Hyun[†]

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

[†]Corresponding author: jimmylee@kgs.or.kr

국내 현행기준 'KGS AC 419'에 따르면 수소가스운송용 복합재료 용기는 사용압력이 450bar까지이며, 수소저장용기 1개의 내용적이 450리터를 초과하지 않는 것으로 규정되어있다. 위와 같은 기준이 있음에도 불구하고 현재 대부분의 수소 운송용 튜브트레일러는 Type1 용기를 이용해 운영되고 있다. Type1 용기는 이음매 없는 금속재용기로 제작이 쉬우나 저장 효율이 낮아 1회 운송량은 약 300kg인데 반해 차체 총 중량은 40ton에 달한다. 이를 고분자 라이너에 복합재료를 감아 만든 Type4 용기로 대체하면 운송량 및 저장효율의 증대를 이룰 수 있다.

그러나 현재 출시되어 450bar 압력으로 운용되는 Type4 트레일러조차 1회 운송량이 약 500kg으로 Type1 트레일러와 그 차이가 적다. 튜브트레일러는 더 높은 압력과 부피로 운영될수록 운송량이 증가해 사업성 확보에 유리하다. 수소 운송 산업에 대한 기업의 투자를 유치하고 대용량 운송용 튜브트레일러를 상용화해 수소 경제 규모의 확충을 이루기 위해서는 현행 복합재료용기 안전 기준 적용 범위의 개정이 필요하다.

본 연구는 국내 현행기준과 국외 기준과의 비교분석을 기초로 하여 대용량 운송용 복합용기 기준안 개발에 대한 방향성을 제시하고자 한다.

** 본 연구는 산업통상자원부 자동차산업핵심기술개발사업(NO. 20007892, 토우프레그 적용 압력용기(700Bar 1400L급)를 활용한 1회 수소운송량 1ton 이상 총중량 20ton 이하의 튜브스키드 개발) 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

액화수소 운송·저장 용기 및 탱크 실증 안전기준 분석

이동현 · 오정석 · 유방현

한국가스안전공사 가스안전연구원

Analysis of Empirical Safety Standards for Liquid Hydrogen Transportation·Storage Cylinder and Tank

Dong-Hyun Lee · Jeong-Seok Oh · Bang-Hyun Yu

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

[†]Corresponding author: jimmylee@kgs.or.kr

수소 경제 활성화를 위해서는 수소 공급 확대가 필수적이다. 현재 국내 수소공급은 고압기체 수소를 통해서 운반·저장되고 있지만, 장거리·대용량 운송에 필요한 저장기술은 액화·액상수소 저장 방식이다. 액화수소는 기체수소보다 부피가 약 1/800로 고압 기체수소 대비 약 4배의 저장밀도가 높아 효율적인 운송·저장이 가능하다. 국내 액화수소 저장기술은 아직 초기 개발 단계로 이미 상용화된 기술을 확보한 국외 저장기술에 비해 경쟁력이 떨어진다. 하지만, 중장기적으로 수소공급을 대량 공급을 위해서는 액화수소 저장탱크 및 탱크로리 저장기술개발에 국가적인 지원이 요구된다. 한국가스안전공사는 액화수소 공급 원활화를 위해 관련 안전 기술 및 안전기준을 마련하였다. 안전기준은 법제화하기까지 많은 시간이 소요되므로 규제특구(규제특구, 규제샌드박스 등)에 적용가능한 총 27종의 실증기준안을 제정하였다. 그중에서 액화수소 운송·저장 용기 및 탱크에 대한 실증기준의 안전성평가 방법을 분석하였다.

** 본 연구는 한국산업기술평가관리원 수소연료전지 기술 국제표준화 기반구축(20011745) 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

보건계열 학생의 유해 화학 물질 인식 및 교육 필요성에 관한 연구 -응급구조(학)과 학생 대상으로-

피혜영[†]

대원대학교

A Study on the Recognition and Education Requirements of Health students -EMT Students-

Hye young, Pi[†]

Daewon University College

[†]Corresponding author: trinity-phy@hanmail.net

본 연구에서는 보건계열 학생(응급구조과 학생)의 유해 화학 물질에 대한 인식과 교육의 필요성을 조사하였다. 유해 화학 물질에 대하여 병원에서는 방사선, 병원 전 단계에서는 다양한 유해 화학 물질 들을 접하게 되나 해당 물질들에 대한 지식, 사용 등에 대해서 많은 교육과 정보가 알아야 관련 사고 시 적절하게 대처할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 유해 화학 물질에 대한 지식과 인식의 전반적인 내용을 파악하고자 설문 조사를 시행하였다. 연구대상은 22년 6월부터 7월까지 응급구조(학)과 학생 70명을 대상으로 온라인 설문 조사를 시행했으며, SPSS 18.0 프로그램으로 분석하였다. 연구결과 유해 화학 물질 인식 ($r=.250$, $p<.01$), 교육 요구도 조사 결과 유해 화학 물질 교육 경험은 22.2%를 나타냈으며 교육 필요 인식은 93.1%로 높게 나타났다. 교육에 대한 방법으로는 비대면 교육인 온라인을 활용한 교육으로 45.2%, 교육받기 위한 시간으로는 1시간이었다. 유해 화학 물질 지식의 차이는 없었으며, 성별의 차이도 없는 것으로 나타났다. 그러나 인식의 차이에서는 남학생에서 높게 나타났다.

응급구조과 학생들이 졸업 이후 사회 활동 즉, 병원과 다양한 산업체인 소방, 대기업, 군대 등으로 진출하게 되는데 유해 화학 물질에 대한 올바른 이해가 필요하다. 또한, 안전한 작업환경과 유해 화학 물질의 안전성을 확보하기 위해서는 대학 교육과정과 보수교육 등에서 교육받을 기회를 제공하고 비대면 교육인 원격 교육을 활용하여 해당 교육에 대한 접근성을 높일 필요 할 것이다. 추가적인 연구로 현재 임상현장에서 근무하고 있는 응급구조사들 대상으로 인식과 교육의 필요성을 조사하여 향후 응급구조과 교육과정에 좀 더 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각한다.

Keywords : 인식, 교육, 유해 화학 물질

빅데이터를 활용한 화학물질 안전사고 손상환자의 특징 분석

강인혜[†] · 이강현*

대원대학교 · *연세대학교

Analysis of Characteristics of Patients Injured in
Chemical Accidents using Big DataInhye Kang[†] · Kanghyen Lee*

Daewon University College · *Yonsei University

[†]Corresponding author: emtkih@hanmail.net

화학물질은 산업에 사용될 뿐 아니라 일상생활에서도 흔히 발견할 수 있다. 이에 따라 화학물질 관련 사고도 다양한 형태로 나타나 장애와 손상 및 사망의 위험에 노출되어 있다. 화학물질안전원의 발표에 의하면 화학물질 사고는 2014년부터 발생건수가 감소 추세이다가 2019년부터 다시 증가하고 있다. 2019년 58건, 2020년 75건이었고, 2021년 93건으로 나타났다.

본 연구는 질병관리본부의 [응급실손상환자표본심층조사] 데이터를 통해 위험물에 해당하는 화학물질 손상환자의 특징을 분석하고자 하였다.

2011년에서 2019년까지 전국 23개 병원 응급실에 내원한 2,393,411명의 손상환자 중 화학물질에 의한 손상환자 8,070명을 분석하였다. 환자의 기본정보와 해부·생리학적 손상의 특성, 진료 결과 등을 분석하였다. 통계 분석을 위해 카이 제곱 테스트 및 분산 계산의 일원 분석을 사용하여 통계적 유의 수준을 $p < 0.05$ 로 설정하여 손상그룹을 기반으로 손상주진단명과 손상환자의 중증도 점수(EMR-ISS, Excess Mortality Ratio-adjusted Injury Severity Score)를 비교·분석하였다.

화학물질 손상은 2016년까지 700~800명대의 수치로 머물렀으나, 2017년 이후로 1,000명 이상의 환자가 내원하였으며, 남자가 4,675명(57.9%)으로 여성보다 조금 높게 나타났고, 평균 연령은 37.50 ± 19.24 이었다. 일차적 손상유발물질에서 기타 명시된 비약물성 화학 물질(code 21.98.98, 예를 들어 염산)이 1,719명으로 가장 많았고, 락스와 옥시크린 같은 표백제/흡수제(code 21.05.05)에 의한 손상 환자가 747명, 접촉제(code 21.01.01) 손상환자 617명 순으로 나타났다. 손상시활동에서 업무 중 3,273(40.6%), 기본 일상생활 시 2,397명(29.7%), 무보수 업무(예 봉사활동, 청소, 요리 등) 시 1,175명(14.6%)으로 나타났으며, 손상방생장소는 집 3,619명(44.8%), 공장·산업·건설시설 2,028명(25.1%), 상업시설 966명(12.0%), 학교·교육시설 373명(4.6%), 의료시설 300명(3.7%) 등으로 나타났다. 응급진료결과, 증상이 호전 되어 귀가가 7,300명(90.5%)으로 가장 많았으나 중환자실 입원 94명(1.2%), 일반병실 입원 309명(3.8%), 13명(0.2%)이 현장이나 응급실에서 사망하였다. EMR-ISS 점수는 1에서 75까지 다양하며 경미 1~8, 중등 9~24, 중증은 25~74, 그리고 75점 이상은 사망의 단계로 중증도를 나눈다. 화학물질 손상의 EMR-ISS 평균은 6.16 ± 8.14 점으로 경미한 손상에 해당했지만, 점수 누락환자 1,155명을 제외한 9~24점의 중등 환자가 1,023명(14.8%), 25점 이상의 중증 환자가 741명(10.7%)으로 적지 않게 나타났다. 주진단명(KOICD 한국표준질병사인분류표)과 EMR-ISS 비교분석한 결과 중증에

해당하는 25점 이상에서 머리 및 목의 화상 및 부식이 66점으로 가장 높게 나타났고, 몸통의 화상 및 부식(T21) 51점, 유기용제의 독성효과(T52) 41점, 비노생식관의 상세불명 부분의 이물(T19.9)이 34점, 비노생식관의 상세불명 부분의 이물기타 무기물질의 독성효과(T57) 33점으로 화상 및 부식에 의한 손상이 대부분 높은 점수를 차지했다.

화학물질의 유형에 따른 손상의 종류와 심각성에 따라 현장대응 응급의료 시스템 구축을 고려하고, 현장에서의 평가 및 처치 자료의 기반을 마련하여 전문가 응급의료대응체계 확보 및 일반인 응급처치교육 프로그램 운영에 사용할 수 있을 것이다. 더 나아가 화학물질에 의해 발생하는 피해를 최소화하고, 선제적 대응 방안 마련을 위한 대응계획 수립에 기초자료로 사용할 수 있다.

생활 속 화학물질 노출로 인한 피해 감시 방안

김신범[†] · 김솔아^{*} · 박동욱^{**} · 박주옥^{*} · 소병학^{***} · 이미진^{****} · 최영은

노동환경건강연구소 · *한림대학교동탄병원 · **한국방송통신대학교 ·

가톨릭대학교성빈센트병원 · *경북대학교의과대학

Trend-based Toxicovigilance system for Household Product Exposure

Shinbum Kim[†] · Sola Kim^{*} · Dong-Uk Park^{**} · Ju Ok Park^{*} · Byung Hak So^{***} ·

Mi Jin Lee^{****} · Youngeun Choi

Wonjin Institute for Occupational & Environmental Health · *Department of Emergency Medicine, Hallym University Dongtan Sacred Heart Hospital · **Department of Environmental Health, Korea National Open University · ***Emergency Department, The Catholic University of Korea St. Vincent's Hospital · ****Department of Emergency Medicine, Kyungpook National University

[†]Corresponding author: wioeh@hanmail.net

전세계적으로 중독감시의 변화가 진행 중이다. 기존 중독관리센터(Poison Center)에 IT가 접목되면서 국가적 감시체계가 사례감시로부터 신드롬감시로 나아가고 있으며, 신드롬감시를 위한 방법으로 트렌드분석이 사용되고 있다. 미국 국가중독정보시스템(NPDS)은 9.11 테러 이후 상담콜에 대한 트렌드기반 전산적 감시를 수행하고 있으며, 캐나다는 2018년 중독감시캐나다(Toxicovigilance Canada)가 등장하고 보건부 내 중독감시과를 두어 전산감시체계를 가동하기 시작했다. 독일 위해성평가연구소(BfR)도 중증사례기반 감시로부터 트렌드기반 전산감시체계 전환을 모색하고 있는 중이다.

우리나라에서도 가습기살균제 참사 이후 유사한 사고에 대한 조기발견과 대응시스템을 마련해야 한다는 요구가 계속 제기되었다. 기존 감시시스템 중 소비자위해감시시스템은 질병과 사고에 대한 포괄적 감시체계라서 생활 속 화학물질 노출 피해에 대한 민감성을 확보하기 어렵고, 의약품 이상사례보고시스템은 의약품에 특화된 감시로서 화학제품까지 감시를 확장하는 것은 바람직한 대안이 아니었다. 그런데 「화학제품안전법」 시행('19.1.1.)에 따라 생활화학제품신고에 기반한 제품데이터베이스가 환경부에 구축되면서 이 정보를 활용한 감시체계 구축 방안을 검토하게 되었다. 생활 속 화학제품 노출은 비의도적으로 발생하며 증상이 없거나 경미한 증상에 그치는 경우가 대부분이므로, 의사의 신고나 119를 통한 사례 수집 보다는 노출자와 보호자 및 의료진의 상담요청을 통해 사례를 수집하고 데이터베이스를 구축하여 전산적 분석을 통한 감시를 수행하는 것이 적절하다.

중대재해의 적절한 대응을 위한 산업체 응급의료체계 관련 법률 및 지침 고찰(미국을 중심으로)

김은택 · 박시은*

62399 광주광역시 광산구 호남대길 120, 호남대학교 대학원 응급구조학과 ·
*61200 광주광역시 북구 동문대로 50, 동강대학교 응급구조학과 교수

Review of laws and guidelines on the industrial emergency medical system for serious disasters (focused on the United States)

Eun-Taek Kim · Si-Eun Park**

Department of Paramedicine, Honam University Graduate School, Korea ·
*Professor, Department of Paramedicine, Donggang University, Korea
†Corresponding author: emtpse@naver.com

우리나라는 2022년 1월 중대재해 처벌 등에 관한 법률 시행이후 노동자의 사망 및 부상발생 시 사업주 또는 경영책임자등은 1년 이상의 징역 또는 10억원 이하의 벌금에 처하게 함은 물론, 업주와 경영책임자등의 안전 및 보건 확보의무를 부과하고 있다. 다만 동법 시행령 제4조 5, 6항에서 안전확보를 위한 종사인력을 구체적으로 규정하고 있으나, 여기서 규정하는 안전관리자등은, 중대재해 등 급박한 응급상황시 현장에서 즉각, 대응하는 인력의 성격과는 상당한 괴리가 있는 것이 사실이다.

반면 조사된 미국의 경우 미국연방재난관리청(Federal Emergency Management Agency : FEMA) 주도하에, 1993년 기업 및 산업을 위한 비상관리가이드라인(Emergency Management Guide for Business and Industry)을 개발 및 배포 하여, 큰 방향성을 제시하고 있으며, 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration : OSHA)에서는 전미 연방규정(29 CFR § 1910.151 - Medical services and first aid)에 근거해, 노동자에게 즉각적인 응급처치를 제공할 수 있어야 한다는 규정을 두고 있다.

텍사스(남부지역)의 경우 긴급차량의 차량법률 내(Article 4447o, Vernon's Texas Civil Statutes)에, 산업용 구급차의 운용과 인력 기준등을 명하고 있는데, 산업체 비상상황에 대비하기 위해, 기본 생명 유지(BLS) 및 고급 생명 유지(ALS)술의 제공이 가능한, 구급차 및 응급구조사를 두도록 하고 있으며, 오리건(서북부)은 직업안전보건행정규정(Oregon Occupational Safety And Health Standards) OAR, 437-002-0161(Medical Services and First Aid)을 근거로, 전반적 산업체 응급대응에 필요한 정의와 기준을 규정하면서, 심각한 질병 및 부상이 발생한 직원에게 즉시 제공 가능한 구급차 및 응급구조사등을 두도록 하고 있다.

펜실베이니아(북동부)는 건강과 안전법(35 P.A.C.S.2009), section-8137에서 기업의 응급처치와 기타 안전서비스에 대한 기준을 마련하고 있으며, 구급차의 보유기준은 특별한 경우가 아닌 경우 면제하면서도, 인력기준에서 응급구조사 최소 1인을 두도록 명시하고 있다.

따라서 국내 또한, 산업재해현장에서 발생하는 응급처치 및 재난관리를 통념적 산업보건안전영역으로 획일화하는 것이 아닌, 세분·전문 영역으로 분리하여 정책의 정밀함을 향상시킬 필요가 있는 것이다.

위험물 운반사고 발생에 대한 해양원격응급의료시스템 분석 연구

양현모[†]

한국교통대학교 응급구조학과

Analysis of korea coastguard emergency medical system on the occurrence of hazardous materials transport accidents

Yang Hyunmo[†]

Department of Paramedic Science, Korea National University of Transportation 1

[†]Corresponding author: emtyang@ut.ac.kr

1. 연구목적

위험물 운반선박에 의한 대형사고는 꾸준히 발생하고 있으며 그 중 2019년 8월 케미칼운반 선 스카이미르호와 여수케미호의 화물창 폭발사고가 발생하여 3명이 중상을 입었고 그해 9월에는 스톨트 크로이란드호가 위험화물을 싣는 작업 중 대규모 폭발사고를 일으켜 8명의 부상자와 항만 시설에 피해가 발생하였다. 해상과 관련된 의료지도는 해상 선박에서 선원이나 승객에게 질병이나 외상 등이 생겼을 때 육지에 있는 의료진이 전화나 무선을 이용하여 원격으로 환자의 상태를 파악하고 지도하는 것을 말한다. 해상에서는 환자가 발생했을 경우 선박 내에 의료진이 없고 즉시 인근으로 회항할 항구나 육지가 없다면 원격의료지도만으로 환자처치를 해야 하는 상황이다. 그래서 해양경찰청에서는 2007년도부터 시작하여 응급구조사를 전문인력으로 채용하기 시작하였고, 2017년도부터 응급구조사의 채용 인원수가 증가하였다. 또한, 일반 해양경찰 구급대원을 위해 2008년부터 해양 경비함정에 해양원격응급의료시스템이 설치되었으며 현재까지 사용 중이지만 여러가지 이유로 인해 해양원격응급의료시스템의 사용 실적은 매년 꾸준히 감소하고 있는 상황이다. 그리고 해양원격응급의료시스템의 노후화로 시스템 고장이 빈번히 발생하여 유지보수 비용이 지속적으로 발생하고 있으며 구급함정 내 처치인력 및 시스템 설치 부족 문제로 해양에서의 원격응급의료시스템은 적절하게 사용하기 어려운 실정이다. 육상과 비교하여 해양 응급환자의 경우 상대적으로 높은 중증도 및 사망률과 장시간의 이송 시간이 특징을 가지고 있어 응급의료 지도 의사에 의한 신속한 환자 상태 파악 및 의료지도, 중증도 분류 및 그에 맞는 적절한 응급처치 후 이송병원 결정에 이르는 최적의 해양원격응급의료지도가 필수적이다. 그래서 본 연구자는 해양원격응급의료시스템 분석을 통한 해양경찰 구급대원의 발전 방안을 연구하고 개선 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구를 위해 전국에 있는 해양경찰 구급대원을 대상으로 해양원격응급의료시스템을 사용한 경험이 있는 해양경찰 공무원으로 한정하여 해양원격응급의료시스템과 관련된 설문조사를 실시하였다. 조사 기간은 2021년 11월 5일부터 11월 11일까지 총 7일간 진행하였으며 해양원격응급의료시스템 관련하여 기능성, 활용성, 편리성을 일반적 특성인 구급경력과 임상경력, 자격현황에 따라

분석하였다. 통계는 Window SPSS Statistics ver. 21.0(IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용했으며 명목변수는 평균과 표준편차로 표기하였다. 구급경력과 임상경력, 자격현황에 따른 결과 비교를 위해 일원분산분석을 실시하였다.

3. 연구결과

해양원격응급의료시스템의 기능성과 관련된 조사항목은 평균 38.97점으로 매우 낮은 결과를 보였다. “시스템은 구급대원이 입력한 환자 생체정보를 병원으로 원활하게 전송합니까?” 문항이 46.80점으로 상대적으로 높은 결과를 보였으며, “함정 내 시스템 음향의 울림은 업무 시 방해가 됩니까?” 문항이 31.26점으로 가장 낮은 결과를 보였고 임상경력에 따라 분석한 결과에서는 “함정 내 해양원격응급의료시스템 음향의 울림은 업무 시 방해가 됩니까?”($F=3.33, p=.011$) 및 “함정 내 해양원격응급의료시스템 음향의 잡음은 업무 시 방해가 됩니까?”($F=3.85, p=.005$)로 통계적으로 유의하게 나타났다. 또한, 자격현황에 따라 분석한 결과에서 “함정 내 해양원격응급의료시스템은 해당 파일을 원활히 전송합니까?”($F=2.79, p=.041$)와 “함정 내 해양원격응급의료시스템 음향의 울림은 업무 시 방해가 됩니까?”($F=3.96, p=.009$) 및 “함정 내 해양원격응급의료시스템 음향의 잡음은 업무 시 방해가 됩니까?”($F=4.19, p=.007$)로 통계적으로 유의하게 나타났다.

해양원격응급의료시스템의 활용성과 관련된 조사항목은 평균 43.90점으로 낮은 결과를 보였고 “구급대원들이 업무를 수행할 때 시스템을 자주 이용합니까?” 문항이 51.82점으로 가장 높은 점수를 보였으며, “시스템의 활용으로 구급대원의 업무 부담이 줄어들었습니까?” 문항이 33.19점으로 가장 낮은 점수를 보였으나 구급경력과 임상경력, 자격현황에 따른 통계적 유의성은 없었다.

해양원격응급의료시스템의 편리성과 관련된 조사항목은 평균 38.27점으로 매우 낮은 결과를 보였다. “시스템의 유지 및 보수는 지속적으로 지원됩니까?” 문항이 43.45점으로 가장 높은 점수를 보였으며, “시스템 개선이 필요할 때마다 요구 사항이 잘 반영됩니까?” 문항이 31.82점으로 가장 낮은 점수를 보였고 자격현황에 따라 분석한 결과에서 “해양원격응급의료시스템이 설치된 장소로 도착한 후부터 의료지도 연결되는 시간이 적절합니까?”($F=3.12, p=.027$)와 “해양원격응급의료시스템의 정보 입력 방법이 편리합니까?”($F=2.75, p=.043$), “해양원격응급의료시스템 개선이 필요할 때마다 요구사항이 잘 반영됩니까?”($F=2.73, p=.045$)로 통계적으로 유의하게 나타났다.

4. 결론

본 연구를 통해 새로운 해양원격응급의료시스템의 개발 필요성의 확보, 해양경찰 구급대원에 대한 교육 필요성 확산, 해양 구급단계 질적 향상을 위한 노력, 현장단계 구급 질 향상의 필요성을 확인하고 이를 통해 구체적인 개선을 위한 여러 사업과 프로그램 개발이 효과적으로 진행될 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 해양경찰 구급대원의 구급 관련 자격 유무와 직무능력을 파악함으로써 향후 해양에서 발생하는 구급상황에 대한 구조, 평가, 처치를 위한 방안을 마련할 수 있었다. 이러한 노력들을 통해 해양에서 발생하는 구급상황 대응 능력이 향상되고 보다 양질의 현장대응이 제공될 수 있을 것으로 기대한다.

고압산소챔버 기반 유해가스의료대응기반지수 개발

강푸른 · 한민섭* · 왕순주[†]

한림대학교 · *한림대학교동탄성심병원

Development of Hazard Gas Medical Response Index Based on Hyperbaric Oxygen Chamber

Pooreun Kang · Minsub Han* · Soon-Joo Wang[†]

Hallym University · *Hallym University Dongtan Sacred Hospital

[†]Corresponding author: erwsj@chol.com

국내에서 지속적으로 유해가스로 인한 사고가 발생하고 있고 이로 인한 의학적 문제도 지속적으로 발생하고 있다. 대표적으로 2018년 12월 강릉의 펜션에서 고등학생들이 일산화탄소 중독으로 인한 사고로 다수가 사망 혹은 의식불명이 되었으나, 당시 다인용 고압산소치료기를 보유하고 있는 기관이 부족해 적절한 치료를 제 때 받지 못하여 고압산소치료기의 중요성을 인식하는 계기가 되었고 고압산소치료기는 실제 유해가스로 인한 인체 손상의 주요 의학적 대응 기반이다. 국내에서는 2020년 기준으로 한해 38,659 건의 화재가 발생하고 365명이 화재로 사망하며, 화재로 인한 손상은 1,917건이었는데, 화재 시 여러 유독가스를 흡입하게 되고, 이에 따라 고압산소치료가 필수적으로 진행되어야 한다. 또한 유해화학물질 사고, 대규모 오염, 다양한 교통수단에서의 대형 사고, 건축물 붕괴 사고 및 대규모 지진, 화산폭발 같은 자연재해 시에도 가스 중독이 발생하며, 이는 고압산소치료가 필요한 경우로 이어지게 된다. 따라서 다양한 종류의 재난에서 발생하는 피해자에게 고압산소치료가 필수적이거나 국내에는 2021년말 기준으로 다인용 고압산소치료기가 34개로 주로 부산, 경남 지역에 집중되어 있는 상황이다. 따라서 지역에서의 유해가스로 인한 사고 발생 시 필요한 고압산소치료기와 고압산소치료가 가능한 환자수를 산출하여 이를 기반으로 하는 유해가스의료대응기반지수 개발하였다. 이를 통해 전국적으로 고압산소챔버의 현황과 배치 상황 정보를 비교하고 이를 통하여 고압산소기가 필요한 재난에 대비할 수 있도록 해야 하겠다.

Keywords : Hyperbaric Oxygen, Hyperbaric Oxygen Chamber, Hazard Gas

** 본 연구는 정부(과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 보건복지부, 식품의약품안전처)의 재원으로 범부처전주기의료기기연구개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임.

(과제고유번호 : KMDF_PR_20200901_0000) (NTIS, KMDF-RnD 202014X24)

반도체 산업 취급물질과 사업장 안전관리

윤영환[†] · 김서영 · 전효신

삼성전자 DS부문 소방방재팀

Materials used in Semiconductor Industry and safety management

Young-Hwan Yoon[†] · Seo-Young Kim · hyo-shin Jon

Samsung Electronics Device Solution Fire & Disaster Prevention Team

[†]Corresponding author: young.yoon@samsung.com

삼성전자 파운드리가 게이트올라운드(GAA) 기반 3나노 칩 생산라인 가동을 시작하는 등 최근 반도체 산업은 고밀도화와 더불어 반도체 회로의 집적도를 높이거나 수율을 높이기 위하여 다양한 화학제품을 사용하고 새로운 합성방법을 개발하거나 기존 사용하던 물질 간 혼합을 통해 신규물질을 개발하는 연구가 급속도로 증가하고 있다.

반도체 산업에서는 산(Acid)류, 염기(Base)류, 과산화수소, 알코올류 그리고 신너(Thinner)를 비롯한 다양한 화학물질을 각 공정에서 취급하고 있으며, 대부분의 화학물질은 화재폭발 위험성 또는 흡입 시 인체에 유해한 독성 위험성을 가지고 있기 때문에 누출 시 사업장뿐만 아니라 주변 지역 사회에 및 환경에 큰 영향을 끼칠 수 있다.

본 연구에서는 반도체 산업의 전반적인 계통도와 대표적 취급물질, 위험물 공급체계에 대해서 설명하고, 취급설비에 대한 안전, 작업자에 대한 안전, 화재 시 비상대응 방법 등 다양한 화학물질을 취급하는 반도체 산업에서의 안전 경영 방법에 대하여 소개하고자 한다.

반도체 산업에서의 수소 폭발 실험과 CFD 시뮬레이션

이광호 · 민미미 · 문균태 · 정승호
삼성전자(주)

Hydrogen explosion experiments and CFD simulations in the semiconductor industry

Kwangho Lee · Mimi Min · Moon Kyoon Tae · Seungho Jung

Samsung Electronics Device Solution Environment Safety Center

[†]Department of Environmental Engineering, Ajou University, Suwon, 16499, Republic of Korea

In semiconductor industry, hydrogen is used with many other hazardous and dangerous substances with flammable, toxic, and corrosive properties. In order to safely handle them, gas cabinets are often used. As known well, hydrogen is highly flammable and explosive and risk analysis needs to safely use the gas in gas cabinets. .

In this study, the effects of the supply facilities were analyzed for different leak sizes in a gas cabinet and explosions were experimented to measure overpressure and impulse using realistic leak scenarios. It is proved that risks are dependent on the concentrations of leaked gas as well as the leak sizes. Furthermore CFD simulations were performed to match the results and to be expanded for other accident scenarios.

AI와 디지털 트윈 활용 반도체공장 근로자 안전관리

최장원 · 김동오[†]

코너스

Safety Management Cases of Semi-conductor Manufacturing Fab. using AI and Digital Twin technology

Jangwon Choi · Tony Kim[†]

Corners

[†]Corresponding author: tonykim@corners.co.kr

반도체 산업이 국내 경제 전반에 미치는 효과가 막대한 만큼 반도체공장에서 발생하는 크고 작은 안전사고에 관해서는 산업계는 물론 국민들의 관심이 집중된다. 반도체 공장에서는 정밀한 공정 특성상 다양한 종류의 유해가스 및 케미컬 화합물이 사용되고 있어 누출사고 발생 시 일반재해보다는 중대재해로 직결될 가능성이 높고 골든타임도 매우 짧기에 근로자 안전관리에 대한 요구 사항과 보건환경안전 기준이 타 산업 대비 월등히 높은 편이다.

반도체 제조공장 Fab. 내부에서는 공정흐름 상 극도로 미세한 파티클조차 반도체 표면에 부착될 경우 불량을 일으킬 수 있기에 이를 방지하고자 일정한 하강기류로 공기를 순환시키는 장치들을 가동한다. 일반적인 제조공장이나 실외 환경과 달리 Fab. 내부에 흐르는 일정한 기류에 유체역학모델을 적용할 경우 3차원 실내기류 데이터를 산출하고, 육면체 격자변환 과정을 통해 풍속, 풍향, 압력, 난류량을 포함하는 실내기류환경 DB를 구축할 수 있다. 유해가스 및 케미컬 화합물의 누출량 DB와 실내기류환경DB를 조합하게 되면 Fab.내부 농도분포를 계산할 수 있다. 본 논문에서는 S사 반도체 제조공장 Fab.을 대상으로 라그랑지안 입자 모델(Lagrangian particle model)을 적용하여 케미컬 화합물의 확산모델을 구성하고, 농도분포도를 3차원 디지털트윈 모델에 고속가시화한 결과를 제시하고자 한다. 확산모델에서 산출된 농도에 위험 레벨을 적용하여 Fab. 내부구역마다 종합 위험범위를 산출하였으며, 동시에 2곳 이상에서 다른 유해가스 또는 케미컬 화합물질 누출 시 위험 범위의 합집합으로 위험지역을 평가하고, 디지털 트윈 상에 확산모델 구축 결과를 표출하였다.

반도체 공장 내부에서는 다양한 유형의 공정장비들이 가동되고 있기에 사람의 육성이 잘 들리지 않을 정도의 소음이 존재한다. 따라서 유해가스 누출 시 AI를 활용한 자동안내 장치들은 이러한 소음보다 최소 10db 이상 큰 출력으로 대처요령 및 대피경로를 안내할 수 있어야 한다. Fab.에 설치된 AI 안내장치들은 유형에 따라 일반형, 산업형 벽부형, 산업형 바닥형으로 구분되며 바닥형의 경우 카트 운반 시 이동속도가 일정하게 유지될 수 있도록 Fab. 액세스 플로어와 마찰계수가 동일하게 설정되도록 한다. 본 논문에서는 반도체 공장에 설치된 AI 안내장치들이 평시와 비상 시 수행하는 세부 기능들을 제시하고, 유해가스 또는 케미컬 화합물 누출 상황과 화재발생 상황별로 Bay를 선택할 수 있는 기준에 따라 AI 안내장치를 작동시키는 기준을 제공한다. 또한, 위험물질 확산 모델과 비상대응 시나리오 사례를 기반으로 반도체 Fab.내 근로자 안전을 위한 AI 디지털 트윈 안전관리시스템의 효과성에 관한 테스트 결과를 나타내고, 시스템을 확대 적용하기 위해 필요한 향후 발전방향을 제시하고자 한다.

해양오염과 국립공원 해양생태계 건강성 평가

안중관[†] · 장성건

국립공원연구원 해양연구센터

Marine Pollution and Marine Ecosystem Health Assessment at Korean National Parks

Jung-kwan Ahn[†] · Seong-geon Jang

National Park Research Institute

[†]Corresponding author: jkahn@knps.or.kr

오염(汚染)은 ‘더럽게 물듦’이라는 사전적 의미가 있다. 따라서, 해양오염은 바다가 더럽게 물드는 현상으로 이해되며, 여기에는 우리가 알고 있는 생활하수, 산업폐수, 중금속, 유류 등의 오염이 해당한다. 다양한 해양오염은 생태계에 부정적인 영향을 끼치게 되며, 오염에 의한 생태계 영향을 파악하기 위해서 다각적인 평가 방법을 개발하여 현장에 적용하고 있다. 미국에서는 National Coastal Condition Report를 통해 수질, 퇴적물, 저서생물, 연안서식환경, 어류조직 오염도 등을 평가지표로 연안과 하구역에 대한 생태계 건강성 평가를 수행하고 있으며, 호주에서는 하구생태계 건강성 평가에 수질환경에 대한 생태계 건강 지수와 생물에 대한 생물학적 건강 지수를 산출하고 평가한다. 국내에서도 진해만을 대상으로 수질, 퇴적물, 부유생물 저서생물 등의 지수를 개발하여 평가하였다. 생태계 건강성 평가는 환경과 생물의 상호작용을 반영한 생태계기반 접근이 필요하고 평가지표의 과학성과 효율성도 수반되어야 한다. 국립공원에서도 해양환경 변화에 따른 해양생태계 건강성 평가를 시행하고자 하였다.

국립공원 해양생태계 건강성 평가지표는 생태기반 해수수질 기준의 수질평가지수(WQI)와 해양환경관리법 제8조에 따른 해저퇴적물 기준을 환경지표로 사용하였다. 생물학적 지표로는 식물플랑크톤의 종다양성, 적조생물 생물량, 유해적조생물 출현비율의 부유생물지수와 저서무척추동물의 종다양성, 저서오염지수(BPI) 그리고 AMBI를 이용하였다. 해양생태계의 위해성을 가늠할 수 있는 위험요인 지표는 국립공원 내에 허가어업(마을어업, 양식어업, 정치망어업) 면적 비율로 산정하였다. 건강성 평가는 5등급 체제로 평가하였으며, 국립공원 해양생태축 기본조사 자료를 활용하여 지표별 등급을 산정하였다.

2016년 국립공원 해양생태계의 건강성 평가를 실시한 결과 평균 II등급의 건강한 상태로 나타났으며, 수질지표는 II등급, 퇴적환경은 I등급의 매우 건강한 상태이었고, 생물학적 지표인 저서생물과 부유생물 지표는 II등급의 건강한 상태였으나, 위험요인 지표는 IV등급의 관리필요 상태로 낮았다. 공원별로는 한려해상, 다도해해상 그리고 태안해안국립공원에서 II등급의 건강한 상태지만, 변산반도국립공원에서는 얕고 좁은 해역 그리고 인근 새만금의 영향 등으로 III등급 보통으로 나타났다.

미세플라스틱 흡입기로 해양쓰레기 관리방식 전환

허덕경[†] · 신창호 · 이재성 · 송지원 · 김한진

국립공원공단

Transition of Marine Waste Management Method with Microplastic Inhaler

Deok-Gyeong Heo[†] · Chang-ho Sin · Jae-seong Lee · Ji-won Song · Han-jin Kim

Korea National Park Service

[†]Corresponding author: heo7901@knps.or.kr

2022년 통계청의 어류양식동향조사 결과에 따르면 우리나라 양식장 면적의 35%가 한려해상국립공원동부사무소 관할지역인 통영과 거제지역에 분포하고 있다. 천혜의 조건으로 양식업에 유리한 환경을 가지고 있으나 양식의 밀집도가 높아 다량의 해양쓰레기가 발생하고 있으며, 그 중 스티로폼 부이에 의한 미세플라스틱은 해양공원의 생태계를 위협하는 요인으로 부상하고 있다. 해양 생태계 내에서 미세플라스틱은 어·패류의 먹이 활동을 통해 체내로 흡수되고, 먹이사슬과정을 거쳐 상위 포식자에서 전이되고 이는 결국 인간에게도 위협을 줄 수 있다. 해양쓰레기의 80%는 양식으로 발생한 폐어구와 스티로폼 부이가 대부분을 차지하고 있는데 특히, 스티로폼 부이가 파쇄되어 생기는 미세 스티로폼은 연안을 따라 대규모로 산재되어 있는 실정이다. 수 작업으로 수거를 했을 시 자갈, 모래와 혼재되어 수거에 어려움을 느꼈으며 삽, 채반을 이용한 인력 위주로 수거하다보니 낮은 효율성도 단점으로 들어났다. 따라서 효과적으로 미세플라스틱을 수거하기 위해 낙엽흡입기를 도입하여 수거를 실시해보았다. 낙엽흡입기는 이동과 조작이 간편하고 수거 인력 및 시간이 50%나 단축되었다. 그 결과 2021년 낙엽흡입기를 활용하여 미세플라스틱을 7.8ton을 수거하였다. 하지만 낙엽흡입기를 활용하여 해양미세플라스틱 수거 시 해수 및 모래의 인입 발생하였고, 대부분의 미세플라스틱이 해수에 젖은 상태라 기계 부식, 모터 고장 등이 자주 발생하였다. 또한 연안에 서식하는 일부 생물들까지 제거되는 문제가 발생하였다. 이러한 문제 해결을 위해 중소기업 기술개발 협력을 진행, 2020년 한려해상국립공원동부사무소는 ‘해안가 미세플라스틱 제거 장비 개발’을 목표로 선박엔진 제작, 플랜트 사업을 수행하는 4개 중소기업과 컨소시엄을 결성하여 2024년 상용화를 목표로 모래해변 미세플라스틱 수거장비와 휴대형 해안가 미세플라스틱 수거장비 기술개발 업무협약을 체결하였다. 현재 국립공원 맞춤형 장비를 개발하고 있으며 흡입 시 불순물 비율과 고장율을 낮추기 위해 테스트 및 개발을 하고 있으며 전 해상공원에 확대 시킬 수 있도록 계획하고 있다.

위험물 사고조사 제도의 운영 및 발전 방향

김수희[†]

소방청 화재예방국 위험물안전과

Operation and Development Direction of Dangerous Goods Accident Investigation System

Su-Hee Kim[†]

Dangerous Goods Safety Division, Korea National Fire Agency 119

[†]Corresponding author: bebops9@korea.kr

위험물 사고조사위원회의 구성과 운영에 관한 근거가 신설되었으며, 2021년 하반기에 소방청 위험물 사고조사위원회가 최초로 구성되어 운영 중에 있다. 최근 발생한 위험물사고 통계자료와 위험물사고의 예비조사 결과를 분석하고, 위험물 사고조사위원회의 운영 등을 살펴 볼 것이다. 이를 통해 향후 소방청 위험물 사고조사위원회의 발전 방향 등을 제시하고자 한다.

전기차 배터리팩 화재진압에 관한 실험적 연구

나용운[†]

국립소방연구원 대응기술연구실

A study of fire suppression of the electric vehicle battery pack fire

Yong Un NA[†]

National Fire Research Institute of Korea

[†]Corresponding author: zerokira@korea.kr

사회가 급격하게 발전할수록 환경 파괴 및 오염도 급속하게 증가 되고 있는데 특히, 이산화탄소 발생에 따른 온실효과로 해수면 상승 등 인류의 생존을 위협하는 재난을 예방하기 위해서 세계적으로 이산화탄소 발생을 억제하는 노력을 기울이고 있는데, 그 중 중요한 역할을 담당하는 부분이 내연기관 자동차를 전기차로 전환하는 정책이다. 물론 지구의 모든 내연기관 자동차를 전기차로 전환한다면 이산화탄소 발생을 상당히 억제할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 최근에 발생되고 있는 전기차 화재는 전기차로 전환하는 흐름에 큰 장애물이 되고 있으며, 소방의 입장에서는 전기차 화재가 대형화재로 발전될 가능성이 높기 때문에 이에 대한 대책 마련도 시급한 실정이다. 그래서 본 연구에서는 전기차 배터리팩에서 화재가 발생되었을 때, 현재 기술 수준 및 현실적인 요건을 고려한 최적의 화재진압 방법에 대한 실증실험 연구로써 기존 내연기관 자동차 화재에 사용되는 질식소화덮개와 분말소화기, 주수소화에 대한 효과성을 비교 분석하여 최적의 전기차 배터리팩 화재 진압기법을 도출하는 연구로써, 특정 배터리에서 열폭주가 발생되었을 때, 주변 배터리로 화재가 전이되는 현상 및 속도와 배터리 온도 및 전압을 측정하여 실제 화재 진압의 성공 여부를 분석하였다.

대용량포방사시스템 활용방안 - 대형 위험물저장탱크 화재 대응을 위한 -

박중복

중앙119구조본부 특수대응훈련과

대용량포방사시스템은 대형 위험물저장탱크 화재 시, 최악의 화재진압 케이스로 가정된 상황에 대응하여, 2세트에서는 75,000LPM 이상을 방사하여, 대형화재에 대응할 수 있는 시스템으로 구성되어 있습니다.

이는 대용량 물 공급을 위한 펌프 장치 및 장치 수송을 위한 이송 차량, 호스 및 호스 이송차량, 호스보관컨테이너 및 트레일러, 방수포장치 및 방수포 장치 이송차량, 포소화약제, 포 소화약제 탱크차 및 시스템 작동을 위해 필요한 부속장비로 구성되어 있습니다.

대용량포방사시스템은 정유/화학 공장 및 원자력 발전소 등 전세계주요 화재 사고 및 홍수, 지진에 대응하고, 화재 대응 예상 지점, 화재의 크기 등을 예상하여, 필요한 방사량과 펌프 장치의 동력을 계산하여, 최적의 시스템으로 구성되어 있습니다.

화학사고 대응을 위한 소방정보시스템의 연계 구축 방안

방남세[†] · 이연희^{*}

소방청 중앙119구조본부 · *화학물질안전원

Firefighting Information System Integration and Construction Plan for Chemical Incident Response

Nam Se Bang[†], Yeon-Hee Lee^{*}

National Fire Agency, National 119 Rescue Headquarters ·

*National Institute of Chemical Safety

[†]Corresponding author: bangnamse@korea.kr

현대사회가 발전함에 따라 화학물질 사용량과 유통량은 날로 증가하고 있다. 그에 따라 높아지는 화학사고의 위험에 효과적으로 대응을 할 수 있도록 재난대응기관은 정보시스템을 고도화하거나 신규 구축하고 있다. 소방청은 화학사고 대응을 위한 ‘화학재난통합대응시스템’을 구축 중에 있으며 현장대응 부분에 최적하여 구축하고 있다. 대응 단계에서는 물리적 시간 단축과 사고 해결 방안이 중요한 목표가 된다. 따라서 소방에서의 화학사고 대응 시스템은 1차적인 사고 물질 파악보다 대응방법의 결정에 우선적인 중요성을 부여할 수 있다. 화학사고 주관부처인 환경부 소속 대응기관인 화학물질안전원에서 구축한 화학사고대응정보시스템(CARIS)과 소방청의 화학사고 대응 시스템을 비교하고 부처 간 시스템 연계를 통하여 효과적인 화학사고 대응을 위한 상승효과 요소가 무엇인지 함께 논의해 보고자 한다.

위험물 화재 시 효율적인 소화 약제 선정

신병문[†]

중앙119구조본부 특수대응훈련과

Selecting an Efficient Fire Extinguishing Agent Againsts HAZMAT Fire

BYUNG-MOON SHIN[†]

National 119 Rescue Headquarters, Special Rescue Training Division

[†]Corresponding author: blackcik@korea.kr

인간과 불은 불가분의 관계로 지구가 종말이 될 때까지 지속될 것이다. 매우 잘 사용하면 유익할 것인데 “사람의 의도에 반하거나 고의에 의해 발생하는 연소현상으로 소화시설 등을 사용하여 소화할 필요가 있거나 또는 화학적이 폭발현상”을 화재로 정하고 있다. 특히 B급 화재인 유류화재 시에서 가장 널리 사용되는 소화약제인 물을 사용하기에는 제한적이다.

물보다 비중이 작은 유류 화재에서 물을 주수하면 유류입자가 물의 표면에 부유함으로써 화재면을 확대시킬 수 있다. 물에 약간의 포 소화약제를 첨가하여 혼합한 후 공기를 주입하면 폼이 형성된다. 생성된 포가 유류보다 가벼워 미세한 기포의 집합체로 연소물 표면에 덮어 공기와의 접촉을 차단하여 질식하는 효과와 물이 갖고 있는 냉각하는 효과로 효율적으로 화재를 진압할 수 있다.

포가 유류의 표면을 덮어서 질식시키기 때문에 위험물 유류화재에 가장 효과적이다. 일반화재에도 질식 효과를 더하여 포를 적용하면 적은 량의 물로 화재진압을 할 수 있다. 이에 적용 가능한 것이 CAPS(압축공기포시스템)이다. 물론 위험물의 화재에도 적응성을 갖는 장비로 보다 효과적으로 화재진압을 할 수 있다.

질산 이동탱크저장소 누출사고 피해 영향범위 분석 연구

윤중찬[†] · 박대영 · 송병준 · 정윤철 · 한주현

중앙소방학교 교육훈련과

A Study on the Analysis of the Impact Range of a Nitric Acid Mobile Tank Storage Leak Accident

Jong Chan Yun[†] · Tae Young Park · Byung Jun Song · Yun Chul Jung · Ju Hyun Han

National Fire Service Academy

[†]Corresponding author: yjchann@gmail.com

질산(HNO_3)은 위험물안전관리법에서 규제하는 산화성액체인 제6류 위험물이며, 화학물질관리법에서는 사고대비물질 및 유독물질로 분류하고 있다. 즉 사고 시 화재를 확대 시키거나 인체 및 환경에 유해한 물질로 분류 한다. 최근 8년간 786건의 화학물질 사고 중 질산 사고는 약 8%인 62건 이며, 상위 5위 물질(암모니아, 염산, 질산, 황산, 과산화수소) 278건 기준으로는 약 22%이며, 발생순위로는 3번째로 비교적 사고가 많은 물질이다. 이러한 질산을 지정수량 이상 운송하기 위해서는 허가된 위험물이동탱크저장소에 저장하여 운송하며, 이에 따른 사고는 질산 사고 총 62건 중 약 19%인 12건이다. 하지만 대부분 사상자수는 질산 전체사고 81명 중 약 60%인 49명이다. 즉 이동탱크저장소 운송 시 사고 빈도는 낮으나 강도는 상대적으로 강하다. 또한 사고 유형으로는 누출 11건, 화재 1건으로 누출이 사고의 대부분을 차지하고 있으며, 사고 장소 역시 화학단지 아닌 전국에서 다양하게 발생한다.

따라서 본 연구에서는 질산 이동탱크저장소 누출에 관한 피해 영향범위를 통한 적절한 대응 방안을 알아보고자 피해예측 프로그램인 ALOHA(Areal Location of Hazardous Atmospheres)를 활용하여 시나리오별(Worst-Alternative Case) 영향범위를 분석하였다. 피해 원인 변수로는 대기안정도 등급(Stability Class)을 선택하여 연구 하였고 그 결과 해당 등급에 따라 피해영향 범위가 차이가 있는 것으로 분석 되었다. 따라서 사고 시 대응기관은 대기안정도에 영향을 주는 인자인 누출시간(밤, 낮), 기상(Wind Speed, Ground Roughness, Cloud Cover) 변수에 따른 피해 영향범위와의 관계를 이해하여 적절한 대응을 해야 할 것으로 사료된다.

사업장 소방비상대응훈련 실태 및 평가에 대한 고찰

정무현[†]

한국소방안전원

A Study on the Actual Conditions and Evaluation of Fire-fighting Emergency Response Training in Workplace

Muheon Joeng[†]

Korea Fire Safety Institute

[†]Corresponding author: majmh@hanmail.net

본 연구의 목적은 첫째 사업장에서 이뤄지는 소방비상대응훈련의 실태와 훈련에 대한 인식, 취약점 및 개선사항 등을 파악하는 것이다. 이를 위해 사업장 안전관리자를 대상으로 소방비상대응훈련의 주기적 실시여부, 훈련에 대한 자체 평가, 경영진과 동료의 협조 수준, 훈련방식, 훈련내용 등을 조사하였다. 그리고 사업장 소방비상대응훈련에 참여 또는 참관하였던 경험이 풍부한 소방공무원을 대상으로 훈련의 실태, 필요성, 수행방식, 재난대응능력과의 관계 등을 설문조사하였다. 분석방법으로는 안전관리자의 설문분석은 빈도분석과 교차분석, 순위절차분석을 활용하였고, 소방공무원의 설문조사는 빈도분석과 순위절차분석을 진행하여 안전관리자 설문분석 결과와 비교하여 시사점을 도출하였다.

본 연구의 두 번째 목적은 앞서 소방비상대응훈련의 실태분석에서 도출된 취약점을 개선하고 소방비상대응훈련의 이론적 기반을 다지기 위해, 교육훈련평가 모형을 적용하여 훈련평가 분야와 평가항목을 개발하는 것이다. 이를 위해 여러 학자의 교육훈련평가 모형을 검토하여 소방비상대응훈련에 가장 적합하다고 판단한 Kirkpatrick의 4단계 모형[반응(Reaction)평가, 학습(Learning)평가, 행동(Behavior)평가, 결과(Result)평가]를 적용하였다. 4단계 모형에서는 반응(Reaction)평가에는 소방훈련 참여자의 만족도에 대한 내용을, 학습(Learning)평가에는 참여자의 지식, 기술, 태도에 대한 내용을, 행동(Behavior)평가에는 기존에 학습한 것을 행동으로 실천하는지 여부에 대한 내용으로, 결과(Result)평가에는 소방비상대응훈련의 결과로서 이뤄지는 경영진의 안전리더십(Safety Leadership), 조직의 안전분위기(Safety Climate) 등을 평가할 수 있도록 구성하였다. 훈련평가분야는 총 13개 분야로 구성되었으며 평가항목은 300여개를 개발하였다. 연구의 결론에서는 최근 중대재해처벌법이 시행되고 있는 상황에서 소방비상대응훈련이 가지는 중요성과 향후 발전방향을 제시하였다.

소방대원 『화학사고 현장대응 가이드북』 개발 및 활용법

조철희[†]

국립소방연구원 소방정책연구실

Development and Implementation of
『Chemical Incident Response Guide』 for FirefightersChul-Hee Cho[†]

Fire Policy Research Division, Fire Research Institute

[†]Corresponding author: chcho119@korea.kr

최근 7년간(2014년~2020년) 국내에서 발생한 크고 작은 화학사고 이력물질(138종) 대응 정보 등을 분석하고 소방대원 중심으로 신속하고 효율적인 화학재난 대응을 안전하게 수행할 수 있도록 “현장 대응” 위주로 구성·제작한 소방청 『화학사고 현장대응 가이드북』 개발 및 활용도를 높이고자 소방조직 전 직원에게 “소방청 SOP 조회시스템(119 e-book)” 보급, 재난 현장에서 스마트폰 앱(App)으로 물질정보를 바로 검색 활용할 수 있는 발판을 마련하였다. 기존 타 부처에서 제공되는 화학재난 관련 지침서의 경우에는 재난현장 대응자 뿐만 아니라 근로자, 일반인에게도 정보제공 목적으로 구성되어 있어 소방대원이 현장대응 정보로 활용하기에는 다소 시간이 소요되는 등 어려움이 있었다. 본 연구에서는 국내 화학재난 대응 지침서인 소방청 『화학사고 현장대응 가이드북』을 소개하고자 한다.

활성탄 분진의 화재·폭발 위험성에 관한 연구

최이락[†] · 서동현 · 이준영 · 한우섭

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

A Study of Fire and Explosion Hazards of Activated Carbon

Yi-rac Choi[†] · Dong-Hyun Seo · Jun-Young Lee · Ou-Sup Han

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

[†]Corresponding author: yirac@kosha.or.kr

활성탄은 최근 환경 및 에너지 이슈와 함께 다양한 산업 분야에서 수요가 점점 증가할 것으로 예측되고 있으며, 소재산업의 주요 제품 중 하나로써 목재, 야자껍질, 석탄류 등을 원료로 제조하는 탄소질 재료이다. 활성탄의 특성상 미세 세공이 형성되어 기체나 액체상의 흡착제로 주로 사용되는데 취급 및 저장 과정에서 지속적인 흡착열 축적 및 산화 등에 의한 자연발화로 인해 화재가 꾸준히 발생하고 있으며 분말 활성탄의 경우 입자크기가 작고 가연성이 있기 때문에 분진폭발의 위험성도 존재한다.

본 연구에서는 야자껍질과 석탄을 원료로 하는 입상 및 분말 상태의 활성탄을 대상으로 열량계 및 분진폭발시험장치를 이용하여 물리적 위험성을 시험적으로 평가하였다. 열중량분석 커브를 통해 발화온도를 추정한 결과, 야자계 분말활성탄은 608℃, 야자계 입상활성탄은 475℃, 석탄계 분말활성탄은 542℃, 석탄계 입상활성탄은 620℃을 나타내었다. 레이저 회절방식을 이용한 입도분석 결과 야자계 및 석탄계 분말활성탄 각각 1.65 μm 및 1.73 μm의 평균입경(부피기준)을 가지는 것으로 측정되었다. 20 L 구형의 분진폭발시험장비를 이용한 부유분진에 대한 폭발위험성을 평가한 결과, 야자계 및 석탄계 분말활성탄 각각 최대폭발압력 9.5 bar, 8.5 bar 이며, 최대폭발압력 상승속도는 320 bar/s, 251 bar/s로 두 시료 모두 St1 등급에 해당되어 폭발에 의한 위험성이 약한/보통 분진으로 분류된다. 농도를 변화시키면서 측정된 폭발하한농도의 경우 야자계 및 석탄계 각각 50 g/m³, 100 g/m³의 결과를 얻었다. 이상의 결과로부터 본 연구에서 사용된 분말활성탄은 충분한 에너지가 주어지면 8.5 bar 이상의 폭발압력을 동반하는 분진폭발이 발생할 수 있으며, St1에 해당하는 폭발등급을 가지기 때문에 가연성 분진운 형성 가능성을 고려하여 피해를 최소화할 수 대책을 수립하는 것이 바람직하다.

비가연성 성분이 포함된 이성분계 혼합물의 인화점 예측

이성진[†]

세명대학교 임상병리학과

Prediction of Flash Point for Binary Mixture Containing Non-flammable Component

Sungjin Lee[†]

Department of Clinical Laboratory Science, Semyung University

[†]Corresponding author: pappi68@naver.com

매년 산업 현장에서는 가연성 액체를 생산하고, 수송하고, 저장할 때 부주의로 인해 수많은 화재 및 폭발 사고가 발생하고 있다. 그것을 방지하기 위해서, 가연성 액체의 화재와 폭발 위험도를 결정하는 중요한 연소 특성치인 인화점을 취급자에게 제공하는 것이 반드시 필요하다.

인화점은 가연성 액체의 표면 위에 불꽃을 가했을 때 인화가 발생하는 최저 온도로 정의할 수 있다. 인화점은 하부인화점과 상부인화점으로 분류할 수 있으며, 본 연구에서 언급하는 인화점은 하부인화점을 의미한다.

인화점을 측정하는 방법은 크게 개방식과 밀폐식 방법으로 나눌 수 있다. 또한 측정 장치로 Tag 개방식, Cleveland 개방식, Tag 밀폐식, Pensky-Marten 밀폐식, Seta flash 밀폐식 장치 등이 있다.

어떤 장치에 의해 측정되는가에 따라 같은 가연성 물질의 인화점은 서로 다른 값을 나타낼 수 있다. 이는 인화점에 영향을 미치는 다양한 인자들이 있기 때문이다. 그 인자들은 가연성 액체 표면 위에 가하는 불꽃의 크기, 가연성 액체 표면 위와 불꽃 간의 거리, 가연성 액체 표면 위에 발생한 증기량, 가연성 액체 표면 위의 산소량 등이다. 그 인자들은 인화점 측정 장치의 종류에 따라 다르기에, 같은 가연성 물질의 인화점은 서로 다를 수 있다.

실험을 통해 인화점을 측정하는 것은 적지 않은 비용과 시간이 소모되며, 연구자에게 위해를 가할 수 있는 독성 물질의 인화점을 측정할 때 안전 측면에서 많은 제약이 발생한다. 이에 따라 실험의 대안으로서, 인화점을 효과적으로 예측하는 방법이 대두되었으며 수많은 연구자들에 의해 다양한 인화점 예측 방법들이 제안되었다.

본 연구에서는, 이미 발표된 논문(Ha et al.)에 제시된 water+n-propanol 계의 인화점을 예측하였다. 이 시스템은 비가연성인 water와 가연성인 n-propanol이 다양한 몰비로 혼합된 이성분계 액체 혼합물이다. 활동도 계수 모델의 이성분계 파라미터를 최적화시키는 방법을 통해 인화점을 예측하였다. 또한 이 예측값과 라울의 법칙에 의한 예측값을 비교하였으며, 최적화법의 모사성이 매우 뛰어난 것을 확인하였다.

SWOT 분석을 통한 호흡보호구 현장적용 사용 매뉴얼 개발

이재호 · 이재문 · 민세홍[†]

가천대학교

Development of Manual for Field Application of Respirator through SWOT Analysis

JaeHo Lee · JaeMoon Lee · SeHong Min[†]

Gachon University

[†]Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

소방청 통계연보에 따르면 소방공무원 공상자의 수가 2012년(285명)에 비해 2019년(697명)으로 2.44배 증가하였다. 그 중에서도 직업성 질환자가 매년 4~5%씩 증가하는 추세를 보이며 화재 시 발생하는 분진이나 유독가스에 의해 건강이상자의 비중이 높아지고 있다. 따라서 직업성 질환자 수의 감소를 위해 현장지휘관 및 화재조사관을 대상으로 업무분석 및 설문조사를 진행하였고, 이를 바탕으로 호흡보호구를 개발하였다. 본 연구는 개발한 호흡보호구의 원활한 현장적용을 위하여 SWOT 분석을 통하여 사용 매뉴얼을 개발한 연구이다.

본 연구는 기존의 문제를 개선한 화재조사현장 유해가스 흡입방지를 위한 통신겸용 마스크의 원활한 적용을 위하여 SWOT 분석을 통해 매뉴얼을 작성하였다. 현장지휘관 및 화재조사관의 의견을 반영하여 도출한 제품의 강점은 얇은 프레임과 통신기기 및 정화통의 연결부를 제외한 전면부를 렌즈로 하여 시야를 최대한 확보하고, 인서트 성형 방식을 사용하여 효과적으로 경량화 하였다. 또한 기기작동 시, 별도의 조작이 필요 없는 양방향 통신 및 관리, 하드웨어와 소프트웨어를 구축하여 통신의 편의성을 높였다. 제품의 약점으로는 화재조사현장에서 노출될 수 있는 유해물질은 화재요인 및 현장에 따라 종류나 농도가 매우 다양하기 때문에 완벽한 차단에 있어 어려움을 겪을 수 있다는 점이다. 제품의 기회로는 기존에 사용 중이던 소방무전기 및 호흡보호구의 노후화, 소방공무원 및 화재조사관의 직업성 질병 관련 문제의식이 대두되는 추세라는 점이 있다. 마지막으로 분석한 제품의 위협으로는 타 기업들의 우수한 마케팅 및 기존 시장 선점 기업들의 노하우가 있다.

따라서 이와 같은 제품의 SWOT 분석을 바탕으로 제품의 사용 매뉴얼을 작성하였고, 매뉴얼의 구성은 경고 및 주의사항, 일반사항, 장비성능, 사용 전 점검사항, 사용방법, 점검 및 세척방법 등 안내사항 순으로 구성하였다. 매뉴얼 작성 프로세스는 첫째, 원활한 현장적용을 위하여 사용자 관점에서 매뉴얼을 작성하였다. 둘째, 사용방법 및 유지관리 위주로 실용적인 매뉴얼을 작성하였다. 셋째, SWOT 분석법을 활용하여 제품의 객관적인 분석을 바탕으로 매뉴얼을 작성하였다. 넷째, 사진과 그림 형식을 적극적으로 활용하여 사용자가 제품에 대한 정보를 보다 쉽게 인식할 수 있도록 구성하였다.

본 연구는 기존의 문제를 개선한 화재조사현장 유해가스 흡입방지를 위한 통신겸용 마스크의 원활한 현장적용을 위해 진행되었다. 신규 개발한 마스크의 접근성을 높이는 것을 목적으로 SWOT 분석을 통해 제품의 객관적인 분석을 바탕으로 사용자 위주의 매뉴얼을 작성하였다. 본 연구를 통해 사용자들의 신규 마스크에 대한 접근성과 활용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

** 본 연구는 소방청의 재난현장 긴급대응 기술개발사업의 지원에 의한 연구임. (20007975)

공동구 시뮬레이션에 필요한 시나리오 생성 알고리즘 연구

김재엽 · 이상엽 · 이재문 · 민세홍[†]

가천대학교

A Study on the Algorithm for Creating Fire Simulation Scenarios

JaeYeop Kim · Sangyup Lee · JaeMoon Lee · SeHong Min[†]

Gachon University

[†]Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

대한민국은 인구의 증가와 도시의 팽창으로 인해 건축물은 날로 대형화와 고층화가 되어 가고 있고, 그로 인해 각종 건축물에 기반 시설의 필요성이 증가하고 있다. 그래서 이러한 문제를 해결하기 위해 도시에 필요한 전력, 통신, 가스, 에너지, 급·배수 등을 지하 공동구를 통하여 효과적으로 공급하려는 추세이다. 지하 공동구는 지하공간을 사용한다는 점에서 시간과 장소에 크게 영향을 받지 않고 증설 및 유지관리에 용이하다. 하지만 이러한 지하 공동구는 방재 측면에서는 지하 화재의 특이성 때문에 지상 공간보다 화재 위험이 더 크다. 하지만 국내의 경우 지하 공동구의 중요성에 비해 체계적인 연구와 실험이 부족하여 지하 공동구의 방재대책이 매우 미흡하여 화재가 발생하면 대형화재로 될 가능성이 크다. 대응 방안으로 화재 예방과 재난 대응을 수립하기 위해 화재 시뮬레이션에 적용할 화재 시나리오 생성이 필요하다고 판단된다.

본 연구는 화재 시나리오를 작성하기 위해 케이블 화재의 위험성을 정량적으로 분석할 수 있도록 실제 공동구에서 사용 중인 통신과 전력 케이블을 콘칼로리미터 실험을 진행하였다. 또한, 지하 공동구의 화재위험 요소를 조사하기 위해 실제 공동구를 방문하여 현장 조사를 통해 위험 및 취약 요소를 도출하여 가장 문제가 되는 장소인 습도가 높은 구역, 접속부, 수직구, 수직구, 분전반 및 제어반, 환기구를 발췌하였다. 그리고 지하 공동구의 수용시설인 통신구, 전력구, 상수도구, 혼합구로 구역을 나누고 수용시설마다 구성요소를 작성하고 수용시설 별 화재 위험 순위를 정해 화재 시나리오 우선 순위 42개를 작성했다. 화재 시나리오 우선 순위 42개 중 변수가 같아서 유사 결과가 나오는 시나리오는 제외하여 지하 공동구 화재 시뮬레이션에 적용할 수 있는 23개의 시나리오로 정립하였다.

본 연구를 통해 지하 공동구 화재 위험성 평가 시 시나리오 작성 가이드 라인을 제시할 수 있기를 기대한다.

** 이 논문은 2022년도 정부(행정안전부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2020-0-00061, 디지털트윈 기반의 지하공동구 화재·재난 지원 통합플랫폼 기술개발)

냉장·냉동 창고의 화재대응을 위한 방향성 제시에 관한 연구

김민석 · 이상범 · 민세홍[†]

가천대학교

A Study on the Suggestion of Direction for Fire Response in cold and frozen Warehouses

MinSeok Kim · Sangbum Lee · SeHong Min[†]

Gachon University

[†]Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

냉장·냉동 창고는 일반적으로 수산물이나 육류제품 등의 식품류가 상온에서 급속히 변질, 부패하는 것을 막고, 신선하게 보관하기 위한 목적으로 냉동설비를 갖춘 창고로서 냉동기에 의해 냉동 창고는 -18°C , 냉장창고는 10°C 이하의 저온을 유지하는 창고를 말한다. 2022년 07월 기준 소방청이 공개한 ‘최근 5년간(2017~2022) 냉장·냉동창고 화재 발생 및 인명 재산 피해현황에 따르면 현재 국내에는 약 1,900여 개의 냉장·냉동창고가 있으며, 2017년부터 2022년 현재까지 5년간 냉장·냉동창고에서 발생한 화재 건수는 460건으로 냉장·냉동창고에서 화재는 매년 약 50건 이상의 지속적인 화재양상을 보이고 있음을 알 수 있다.

냉장·냉동창고의 화재는 건축물의 특성상 설계부터 연면적의 85%에 해당하는 밀폐된 냉동창고로서 출입구를 제외하고는 창문이 없는 것이 특징이므로 화재가 발생할 위험성이 높을 뿐 아니라 화재가 발생하였을 경우 보냉 효과를 높이기 위해 사용하는 가연성 물질인 폴리우레탄폼 등을 내부에 도포시키고 있고 내부의 칸막이 재료는 대부분 샌드위치 패널을 사용하여 다량의 유독가스의 발생으로 인하여 많은 인명피해가 발생한다.

또한 국내 냉장창고 중 온도가 영하인 냉장·냉동창고의 냉동실에는 동결로 인해 스프링클러헤드 및 옥내소화전 방수구에 영향을 미칠 수 있어 설치가 힘든 환경이다. 감지기 또한 저온으로 인하여 화재감지기의 기능이 정지되거나 수증기로 인한 비화재보로 신뢰성을 잃어 대부분 냉장·냉동 창고는 국가 화재 표준 NFPA 72의 화재감지기 설치할 필요가 없다는 규정에 의거해서 설치를 제외하고 있다. 사실상 냉장·냉동창고의 화재 발생 시 화재에 대응할 수 있는 방법이 달리 존재하지 않는다는 것이다.

국외의 경우 지속적인 냉장·냉동창고 화재를 방지하기 위해 저산소 화재예방시스템(ORS)과 압축공기포를 설치하여 방호하고 있다. ORS란 화재의 3요소중 산소분율을 대기 중 15% 이하로 낮추어 화재 발생 불가능한 환경을 조성하는 개념이며 압축공기포란 물과 포원액을 가압된 공기 또는 질소와 조합하여 균일한 포를 형성하는 것을 말한다. 아직 국내에는 정식도입이 되지 않고 화재대응시설로서 인정을 받지 않고 있으며 관련 연구도 진행되지 않고 있다. 또한 냉장·냉동창고에 적응성 있는 감지기로 배관에 있는 여러개의 흡입구를 통해서 보호 구역의 공기를 능동적으로 흡입함으로써 극저온 환경에서 예방적 감지능력을 제공할 수 있는 공기흡입형 감지기가 대두되고 있다.

본 연구에서는 냉장·냉동 창고의 화재 특성과 적응성 있는 소화 및 감지 화재대응 설비를 조사하고, 국내 냉장·냉동 창고의 화재대응의 방향성에 관하여 연구했다.

** 이 논문은 2022년도 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. RS-2022-00156237, 물류시설 화재 안전성 및 위험도 관리 기술 개발)

석유화학 단지 내 수소 취급 공정 신설로 인한 화재·폭발 및 취급물질 독성 영향 범위의 비교와 관리 우선순위 선정

최진우 · 천영우[†]

인하대학원 환경·안전융합전공

Comparison of The Range of Fire and Explosion Damage and Toxicity Impact Range of Handling Materials and Management Prioritization due to New Hydrogen Handling Process in Petrochemical Complex

JinWoo Choi · YoungWoo Chon[†]

A Department of Environmental Safety Convergence, Inha University

[†]Corresponding author: ponychon@inha.ac.kr

2019년 정부는 수소경제 활성화 로드맵을 통해 수소 경제 인프라를 구축하고 2040년, 526만톤 이상의 수소를 공급할 것으로 발표했다. 이러한 상황에서 기존 정유·석유화학 공정에서 부수적으로 발생하는 부생 수소는 부산물을 활용한다는 점에서 생산량에 한계는 있으나, 수소 생산을 위한 추가 설비나 투자 비용 등이 적어 수소 경제 활성화의 초기 핵심 수소 공급원으로 활용하도록 하고 있다. 지금까지 부생수소는 내부에서 수소첨가 탈황 공정 및 수소첨가 분해 공정 등에 직접 사용하였지만 수소 인프라 확대에 인하여 이를 액화하여 판매하는 방향으로 확대되고 있는 현황이다. 일부 정유·석유화학 공장에서는 단지 내부에 PSA(Pressure Swing Adsorption) 공정과 액화 수소 플랜트를 신설하고 있으며 민간인 거주지역과 매우 인접해 있기 때문에 사고 발생 시 기존 공정 취급물질의 독성 영향 평가 및 수소의 화재·폭발 영향 평가가 요구된다.

본 연구에서는 정유·석유화학 공정 일부와 PSA 공정 및 수소액화플랜트 일부를 대상으로 Phast 6.7 프로그램을 통해 사고 발생 시 기존 취급하고 있던 물질의 독성 영향 범위와 수소로 인한 화재·폭발 영향 범위를 비교하였다. Phast의 경우 가스, 유류, 화학물질 등 위험물 및 독성 물질을 취급하고 보관하는 업체에 대한 정량적인 위험평가를 제공하는 프로그램으로 독성, 화재, 폭발 피해 영향 범위를 시각적으로 표현할 수 있다.

따라서, 신설 공정 설치 전과 후의 독성 및 화재·폭발 영향 범위 비교를 통해 추가된 공정으로 인하여 독성 및 화재·폭발 피해 영향 범위가 어떻게 변화하였는지 산출하였다. 이를 바탕으로 신설 공정 설치 후 독성과 화재·폭발에 대하여 우선적 관리가 요구되는 물질 및 공정에 대한 정보를 제공함으로써 이후 추가적인 방호장치 설치 시 효과적인 방호장치 선정에 대한 근거로 사용될 것으로 기대된다.

증강현실 기술을 활용한 화학안전 교육 활용방안 연구

홍혜인 · 박중돈 · 류지성 · 권동욱[†]

환경부 화학물질안전원 교육훈련혁신팀

A Study on the Application Plans Of Chemical Safety Education Using Augmented Reality Technology

HyeIn Hong · JoongDon Park · JiSung Ryu · Dongwook Kwon[†]

Education & Training Team, National institute of chemical safety

[†]Corresponding author: kwondw@korea.kr

증강현실(AR) 기술의 발전으로 이를 활용한 교육훈련에 대한 관심이 증가하고 있다. 증강현실 기술은 현실과 가상정보의 융합으로 보다 향상된 몰입감과 현실감을 제공하는 3차원 디지털 기술로써, 이를 활용한 교육은 기존의 일방적 주입교육을 벗어나 사용자의 시각, 청각 등을 활용한 실감형 교육 및 양방향 소통 교육을 가능하게 한다.

한편, 화학 산업 현장에서는 화학물질로 인한 사고가 꾸준히 발생하고 있으며, 이러한 화학사고는 누출·화재·폭발 등으로 이어져 심각한 인명피해 및 재산피해, 나아가 환경오염을 유발하게 된다. 화학사고의 발생은 인적오류에서 기인한 원인이 상당부분을 차지하는데, 인적오류는 ‘인간이 명시된 정확도, 순서, 혹은 시간 한계 내에서 지정된 행위를 하지 못하는 것’으로, 이는 훈련을 통한 기술 습득에 의해서 통제할 수 있으며, 화학사고에 대한 지속적인 교육이 필요하다.

따라서, 화학물질 취급 현장에서 이루어지는 정상·비정상·비상 상황 등의 다양한 운전조건을 구현한 훈련 방법이 요구되며, 이를 가상의 조건이나 증강현실로 구현한 새로운 형태의 화학사고 예방 및 대응용 훈련 프로그램을 개발하였다.

이에 본 연구에서는 증강현실 기술의 장점을 살려, 운전자들이 화학 공정과 설비 및 부속품들을 이해도를 높일 수 있는 교육 방안을 제시하고, 화학설비 모형 및 증강현실 훈련시설을 기반으로 다양한 운전 변수들을 직접 제어함으로써, 운전자들의 예방·대응 능력을 배양할 수 있도록 하며, 나아가 현장 및 제어실의 연동 교육을 개발해 해당 공정에 대하여 화학사고 예방·대비·대응 훈련이 가능하도록 훈련 콘텐츠를 개발하였다. 또한, 제어실 운전자, 팀장 및 현장 작업자 간의 상호협력력을 통해 발생 가능한 비상상황을 대처하는 다중협업 훈련이 가능하며, 다양한 위험요인 도출을 통해, 현장 작업자와 제어실 운전자 간 위험요인을 사전에 제거 또는 제어할 수 있는 역량 강화에 기여할 것으로 판단된다.

LNG 플랜트에서 가스누출로 인한 폭발시뮬레이션의 방법론 비교

박소민 · 이근원* · 정승호* · 방부형** · 민미미 · 안광재

아주대학교 환경공학과 · *아주대학교 환경안전공학과 · **경기과학기술대학교 에너지시스템과

Comparison of Explosion Simulation Methodology from H Gas leakage in LNG Plants

Somin Park · Keunwon Lee^{*†} · Seungho Jung^{*} · Boohyoung Bang^{} · Mimi Min · Gwangjae Ahn**

Department of Environmental Engineering, Ajou University ·

*Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University ·

**Department of Science and Technology, Gyeonggi University

[†]Corresponding author: leekw0@ajou.ac.kr

우리나라에는 전국에 걸쳐 제철, 화력, 석유 가스 등 다양한 플랜트 시설물들이 있다. 이러한 플랜트 시설물은 화재, 폭발, 지진으로부터 노출되어있고 본 연구에서는 그중에서도 메탄가스누출 및 폭발의 정량적 예측에 관하여 연구를 진행하였다. 액화 천연가스 즉 LNG는 메탄을 주성분으로 하는 가스를 냉각시켜 액화한 것으로 발열량이 매우 높고 비중이 공기보다 낮아 일상적으로는 폭발이 일어나기 어려운 것으로 알려져 있다. 그러나, 누출이 발생해 공기와 혼합하게 되면 화재나 폭발이 일어나기 쉬우므로 안전에 주의해야 한다. 연구 대상으로는 LNG 저장/기화 송출설비를 대상으로 수행하였으며 해당 터미널은 200,000 LNG Tank 3 Sets와 450,000ton LPG Tank 1 Set의 저장 설비와 490 Ton/h 기화 송출설비 크기를 갖는 것으로 가정하였다. LNG 플랜트에서 가스 누출로 인해 발생이 될 수 있는 다양한 폭발영향을 방법론에 따라 어떠한 차이가 있는지 분석하였으며, 폭발 시뮬레이션 방법론에 따른 폭발 영향의 차이를 관찰하기 위해 가상의 폭발 시나리오를 가정하였고 시뮬레이션을 위해 DNV사의 Phast를 사용하여 결과값을 분석·고찰하였다.

** 본 연구는 2022년도 산업통산자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0012787, 산업혁신인재성장지원사업) 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 22RMPP-C163162-02).

IoT 기술을 활용한 고소 추락 재해 예방 솔루션

나동혁 · 신은지 · 이소희 · 김진혁 · 박명남[†]

(주)모박스

High Falling Disaster Prevention Solution Using IoT Technology

Dong-Hyuk Na · Eunji Shin · So-Hee Lee · Jin-Hyuck Kim · Myeongnam Park[†]

MOVEX, CO. Ltd

[†]Corresponding author: tech_01@movex.co.kr

빈번한 산업재해에 의한 인적, 물적 손실은 기업의 손실뿐만 아니라, 사회·경제적인 손실로 이어질 가능성이 크다. 최근 발생하는 재해 형태를 살펴보면, 떨어짐(추락)과 물체에 맞음(낙하, 비레) 등으로 인해 403명의 사망자가 발생하여, 전체 사망자의 약 48.7%를 차지하는 것을 살펴볼 수 있다. 이는 공중 작업이 동시에 이뤄지는 건설업 이외에도, 경상정비 등에 의한 유지보수 및 비계작업 등 특정 산업현장에 국한된 것이 아닌, 전체 산업현장에서 발생하는 것으로 조사되었다. ('21년 기준 산업안전보건공단 산업재해 발생현황) 따라서, 재해형태의 떨어짐과 물체에 맞음에 대한 고소작업의 재해요인을 제거한다면, 산업재해의 경감에 따른 사회적 손실 또한 줄어들 것으로 판단된다.

본 연구에서는 산업재해요인에 많은 부분을 차지하고 있는 추락재해요인을 분석하여, 인적·물적 요인에 의한 안전 시설물 미설치 및 미활용에 대한 대안과 앵커포인트의 유무에 따른 추락 재해를 경감하는 방안을 통해, 산업현장에서 적용 가능한 고소 작업장에서의 구조적, 환경적 특성에 부합한 추락재해 예방 솔루션을 제시하였다. 기존 고소 작업장은 산업안전보건기준에 관한 규칙 제 13조(안전난간의 구조 및 설치요건)에 따라, 안전난간(Handrail)을 설치하고 있으나, 상부와 중간 난간 사이의 공간에 의한 추락, 낙하 사고가 발생함에 착안하여, '고소용 안전펜스'를 개발하였다. 기존의 안전펜스에 비해, 1/6 수준의 무게로 용접 등의 화기 사용 없이, 쉽게 설치가 가능하고, 반영구적으로 사용할 수 있도록 하였다. 이는 추락 뿐만 아니라, 기인물의 낙하를 방지도 가능하다. 또한, 고소 작업자의 앵커포인트 부재로 인한 추락 재해사고를 방지하기 위해, 안전지지대 개발을 통해 추락재해 예방을 실현하고자 하였다. 체결 여부와 부실한 앵커포인트에 대한 대안으로 슬라이드 라체팅과 이중 클램프를 적용, 육각형 모양의 접지를 통해, 다양한 기구물에 체결이 가능하도록 하였으며, 신뢰성(인장강도, 낙하시험) 테스트를 통한 0.15t의 무게를 견딜 수 있도록 하였다. 또한, IoT 센서 모듈을 적용하여 체결 감지가 가능하도록 하여, 작업자의 인적오류에 의한 추락재해를 방지하고자 하였다. 이를 통해, 산업재해에 약 50%를 차지하고 있는 재래형 재해사고를 방지하고, 작업자의 실수를 줄임으로써 추락재해에 따른 사회·경제적 손실을 줄이는 추락재해예방 안전 솔루션으로 활용될 것으로 판단된다.

** 본 연구는 중소벤처기업부 창업성장기술개발사업 전략형(S3214844)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

휘발유 유증기의 폭발 특성에 관한 연구

김성준 · 최재욱*†

부경대학교 건축·소방공학부(소방공학전공) · *부경대학교 소방공학과

A Study on Explosive Characteristics of Gasoline Vapors

Seong-Jun Kim · Jae-Wook Choi**

Division of Architectural and Fire Protection Engineering (Major of Fire Protection Engineering) ·

*Dept. of Fire Protection Engineering, Pukyong National University

†Corresponding author: jwchoi@pknu.ac.kr

산업의 발달로 인하여 새로운 화학물질의 제조, 취급이 증가하였다. 많은 화학물질이 가연성 물질로서 가연성 물질과 공기가 혼합하여 가연성 혼합기를 형성하고 이때 점화원이 존재하면 화재나 폭발 사고로 이어져 피해가 막대하게 된다.

휘발유는 자동차, 항공, 선박 등의 에너지원으로 사용되며, 옥탄가에 따라 보통 휘발유, 고급 휘발유로 구분된다. 또한 위험물안전관리법 시행령에 따르면 제 4류 위험물 중 제 1석유류에 속하여 인화성 액체에 해당하며, 인화점이 약 -40°C 로서 발화될 수 있는 온도가 매우 낮고 누출 시 유증기를 형성하기 쉬워서 화재 및 폭발에 매우 취약하다. 또한 물질안전보건자료에 따르면 폭발한계는 1.2~7.6%로 나타나 있으며, 그 값이 실험에 의한 값인지 예측식을 통한 값인지 명확하지 않다. 따라서 본 연구는 보통 휘발유와 고급 휘발유의 폭발한계를 측정하였으며, 최소산소농도를 구하여 휘발유에 대한 위험성을 예측하여 휘발유를 사용하는 사업장에 대한 화재 및 폭발 사고를 예방할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

실험장치는 폭발용기의 내부 용적이 1.1 l로서 모델 Kyowa제 PGM 100KD 압력센서와 외경이 1.0 mm인 Chromel-Alumel Thermocouple의 열전대 온도계를 사용하였다.

실험에 사용된 가솔린은 (주)○○오일에서 제공한 시료를 사용하였으며, 폭발한계를 측정하기 위하여 ASTM E 918-83을 기반으로 실험을 진행하였다.

실험방법은 폭발용기 내부를 진공펌프를 이용하여 게이지압력 -0.1 MPa 으로 만든 후 돌턴의 분압 법칙으로 계산된 압력만큼 가솔린, 산소, 질소를 주입한다. 그 후 고전압 장치를 이용하여 점화시킨 후 Amplifier를 통해 Oscilloscope에 나타난 파형을 통해 폭발의 발생 유무를 확인하였다. 이때 10회 이상 반복 실험을 하여 1회라도 폭발 시 폭발로 간주하였으며, 가솔린의 최소농도를 폭발 하한계, 가솔린의 최대농도를 폭발 상한계로 정의하였다.

가솔린에 대한 폭발한계를 측정한 결과 산소농도가 21%일 때 보통 휘발유의 경우 폭발 하한계는 1.3%로 나타났으며, 폭발 상한계는 7.6%로 나타났다. 고급 휘발유의 경우 폭발 하한계는 1.5%였으며, 폭발 상한계는 8.5%로 측정되었다. 또한 화재나 폭발을 일으키기 위해서는 최소한의 산소농도가 필요하며, 이때의 최소산소농도는 화재나 폭발을 방지하기 위한 기준이 된다. 최소산소농도를 측정한 결과 보통 휘발유와 고급 휘발유는 동일하게 10.9%로 측정되었으며, 최소산소농도에서 측정한 폭발한계는 보통 휘발유의 경우 폭발 하한계와 폭발 상한계가 각각 1.3%~2.1%로 측정되었으며, 고급 휘발유의 경우 2.0%~2.1%에서 폭발되는 것을 확인하였다. 이는 산소농도가 줄어들수록 폭발한계의 범위는 좁아지며, 최소산소농도에서는 가연물과 점화원이 존재하더라도 폭발이 발생되지 않는 것을 확인하였다.

국내외 화학물질 관련 규제 내 유해성 평가 절차 비교분석에 관한 연구

박성수 · 천영우[†]

인하대학원 환경안전융합 전공

A Comparative Analysis of Hazard Assessment Procedures in Domestic and Foreign Chemicals Regulations

SeongSu Park · YoungWoo Chon[†]

A Department of Environmental Safety Convergence, Inha University

[†]Corresponding author: ponychon@inha.ac.kr

현재 국내의 유해화학물질 관리체계는 「화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률(이하 “화평법”)」에 근거하여 유해성심사 결과로 유해성이 확인된 화학물질은 유독물질로 구분, 위해성심사 결과 위해성이 우려되는 물질은 위해정도에 따라 허가물질, 제한물질, 금지물질로 구분 및 지정하고 있다. 위 「화평법」으로 분류된 유해화학물질은 3주 미만의 짧은 행정예고기간을 거친 후 고시하여, 화학물질관리법(이하 “화관법”)」에 의해 관리되고 있다. 이와 대조적으로 일본의 「화학물질의 심사 및 제조 등의 규제에 관한 법률(化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律, 이하 “화심법”)」과 미국의 「Clean Air Act, “대기청정법”」에서는 각각 5년의 유예기간, 18개월의 청원 심사 기간을 갖는다. 이에 상대적으로 국내에서는 3주 미만의 상대적으로 다소 짧은 행정예고 기간이 주어지기 때문에 유해성 및 위해성 평가에 대한 신뢰성이 우려된다.

본 연구는 국내 「화평법」의 화학물질 유해성 평가 지정체계를 일본 「화심법」, 미국 「독성물질 관리법(Toxic Substances Control Act)」과 「대기청정법」, 유럽연합 「Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals, (이하 “REACH”)」의 유해성 평가절차를 비교분석하여 국내에 적합한 구분체계를 제안하고자 한다.

이에 따라 국내의 상황을 고려하여 개선된 유해화학물질관리체계를 구축 및 제안함으로써 유해화학물질 취급사업장의 효율적인 관리에 기여할 것이다.

Bow-Tie과 Accimap를 활용한 사고조사 비교 분석 및 개선사항 도출에 관한 연구

김학재 · 천영우[†]

인하대학교 환경·안전융합전공

A Comparative Analysis and Improvement of Accident Investigation Using Bow-Tie and Accimap

Hakjae Kim · Youngwoo Chon[†]

A Department of Environmental Safety Convergence, Inha University

[†]Corresponding author: ponychon@inha.ac.kr

2022년 1월에 국내에 처음으로 「중대재해 처벌 등에 관한 법률(이하 ‘중대재해 처벌 법’)」이 시행되었다. 중대재해 처벌 법에 따르면 기업 처벌에 초점이 맞추어져 있는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 기업에 책임을 묻기 위해서는 정부에서 사고를 줄일 수 있는 정보들을 제공해야 하지만 국내에 공개된 사고조사 보고서를 살펴보면 사고의 근본적인 원인이 부족한 것을 알 수 있다. 또한, 원인 조사가 이루어졌다 해도 해외 보고서에 비해 근원적 원인, 즉 사고가 발생하기 전 위 반사항이 많이 생략되어 있다. 이에 따라 사고 관련 뉴스와 사고조사 논문 등에 비해 정보전달이 제한적인 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 사고조사기법을 활용하여 사고의 근본적인 원인을 찾고자 한다. 사고조사 기법을 활용하면 근본적인 원인을 찾기 용이하며, 사고 진행사항을 한눈에 확인할 수 있다. 본 연구에서 사용한 사고조사기법은 Bow-Tie와 Accimap이며, 한국산업안전보건공단과 화학물질안전원에서 제공하는 사고보고서를 활용하였다. Accimap은 정부, 기업, 근로자로 나누어 사고를 조사하여 근본적인 원인을 분석할 수 있다. 그리고 Bow-Tie는 간접적인 원인과 직접적인 원인으로 분석한 후 예방, 대응, 대비 부분으로 나누어 확인이 가능하다. 분석된 사고조사기법의 장단점을 파악하고, 이를 비교 분석을 진행하였다. 분석한 결과 Bow-Tie가 Accimap에 비해 사고 전반의 과정을 예방, 대응, 대비, 결과순서로 분류하여 근본적인 원인을 찾기 용이하다는 결과를 도출했다.

사고조사보고서를 분석한 결과 Accimap에서 나타나지 않았던 근본적인 원인이 Bow-Tie를 활용했을 때 도출되었다. Bow-Tie를 활용했을 때 간접적인 원인 및 근본적인 원인이 확인되었으며, 사고의 결과에서 사망, 부상, 붕괴에 연계된 원인을 확인할 수 있었다. 사고조사보고서를 작성할 때 Bow-Tie를 사용을 제안하고자 하며, 추후 연구에서 다량의 화학사고보고서를 Bow-Tie로 조사하여 사고의 근본적인 원인에 대한 분석이 필요하다.

위험물안전관리법령과 국제적 위험물 분류체계에서의 폭발성 물질 관계에 관한 연구

주효진 · 반준화
한국소방산업기술원

A Study on the Relationship between Act on the safety control of
hazardous substances and the International dangerous goods
classification system of Explosives

JOO HYOJIN · BAN JUNHWA

Korea Fire Institute

†Corresponding author: 2240@kfi.or.kr

소방청 소관의 위험물안전관리법령 체계에서의 폭발성 물질과 UN유럽경제사회이사회(UNECE) 산하 소위원회(Sub-committee)에서 정하고 있는 국제위험물운송규칙(Transport of Dangerous Goods, 이하 TDG) 및 화학물질의 분류 및 표지에 관한 국제조화시스템(Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, 이하 GHS)에서의 폭발성 물질의 분류 시스템은 그 범위와 구분에 큰 차이가 있어 위험물 안전관리에 어려움이 있다. 인화성 및 산화성 등 다른 위험성과는 다르게 폭발성 물질은 다단계의 복잡한 논리 결정 구조를 가지고 있는 국제적 위험물 분류체계의 특성으로 인하여 이를 법령에 반영하고 있는 화학물질관리법 및 산업안전보건법과 관련한 산업계의 애로사항 또한 크다. 특히 경찰청 소관의 총포·도검·화약류 등의 안전관리에 관한 법률에서도 화약류를 별도 관리하고 있어 ‘제5류 자기반응성물질’로 분류되어 있는 위험물안전관리법령에는 관리대상이 아닌 것으로 오인하는 경우가 있어 위험물 안전관리에 공백이 우려되는 부분이다.

이번 연구를 통하여 UN TDG Class 1(Explosives) 및 2021년 9차 개정판을 통해 전면 개편된 GHS 2.1장(Explosives)에서 정하고 있는 폭발성 물질의 분류체계를 분석하여 Test Series 1부터 Test Series 8까지에서 정하고 있는 약 30여 개의 시험방법 분류 기준과 목적, 논리결정구조를 명확히 하고자 한다. 이를 바탕으로 국제적 위험물 분류체계에 따른 폭발성 물질과 위험물안전관리법령에 해당하는 제5류 자기반응성 물질을 비교 결과를 제시하여 폭발성 물질의 안전관리에 기여하고, 현재 실질적으로 폭발성 물질에 대한 국제적 위험물 분류체계에 따른 폭발성 물질을 분류할 수 있는 실험기관이 국내에 없는 실정에서 해당 연구를 통해 향후 국제 위험물 분류체계와의 통합 및 폭발성 물질에 대한 실험역량을 발전시킬 수 있는 기반을 마련하고자 한다.

Keywords : 폭발성 물질, 화약류, 위험물안전관리법, TDG, GHS

VOCs 측정을 통한 화학물질 취급 사업장의 환기 실태 파악 및 사업장 내 환기 개선에 관한 연구

김민주 · 김민선 · 김태영 · 천영우[†]

인하대학교 환경안전융합전공

A Study on the Ventilation Status of Chemical Substances Handling Workplaces and Improvement of Ventilation in Workplaces through VOCs Measurement

MinJu Kim · MinSeon Kim · TaeYeong Kim · YoungWoo Chon[†]

Environmental&Safety convergence, Inha University

[†]Corresponding author: ponychon@inha.ac.kr

본 연구를 진행하고자 하는 기타 화학물질 제조업 사업장에서는 ‘안전확인대상생활화학제품 및 안전표시기준’상 기준이 지정되어 있는 물질을 취급하고 있다. 이 물질들은 대부분 인체 유해성을 가지고 있으며, 물리·화학적 특성상 인화성 물질 등으로 분류되어있는 물질이 다수 포함되어 있어 사업장에서 취급 시 주의가 요구된다. 특히 배관과 플랜지 연결부위 등에서 저농도로 비정상 누출되어 가스상으로 존재하는 화학물질의 경우 근로자가 인지하지 못하여 만성 독성에 의한 피해가 나타날 수 있으며, 인화성 물질의 경우 화재나 폭발 등의 2차 사고를 유발할 가능성이 있다.

국내 휘발성유기화합물(VOCs)로 분류되는 포름알데히드, 벤젠류 등 37종의 물질은 특정대기유해물질로 분류되어 장기적으로 사람의 건강에 위해를 미칠 수 있는 성질을 가지고 있는 물질이 다수 포함되어 있으며, 증기압이 높아 대부분 가스상으로 존재하기에 육안상으로 누출을 확인하기에 쉽지 않다. 하지만 국내 법령상 VOCs의 농도 기준은 다중이용시설의 유지 및 권고사항으로만 다루어지고 있어 사업장 내부에서 근무하는 작업자에게 장기적으로 미칠 영향에 대한 고려가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 VOCs 측정기를 활용하여 모 화학물질 제조업 사업장의 공정별 누출 예상 지점별 VOCs 농도와 근로자 작업 위치에서의 배경농도를 측정한 후, 해당 사업장 특성에 따라 측정된 물질을 추정하였다. 이후 국내 법령과 KOSHA 가이드 상의 산업환기 기술지침에 따라 환기가 적절하게 이루어지고 있는지 판단하였다. 이를 근거로, CFD(전산유체역학) 프로그램을 활용하여 사업장의 환기 방식별 case를 구성한 뒤, 추정한 물질을 고려하여 가장 적절한 환기 방식을 제안하였다.

CFD 모델을 이용한 아세톤 풀(Pool) 증발에 관한 연구

김은희 · 이슬기 · 안승효 · 문명환 · 마병철[†]

전남대학교 화학공학과

A Study on Acetone Pool Evaporation Using CFD Model

Eunhee Kim · Seulgi Lee · Seunghyo An · Myeonghwan Moon · Byungchol Ma[†]

Chonnam National University, Department of Chemical Engineering

[†]Corresponding author: anjeon@jnu.ac.kr

유해화학물질을 취급하는 사업장에서 액상물질이 누출되어 풀(Pool)을 형성하면, 이때 발생한 증기로 인하여 화재·폭발 및 독성물질 누출 등의 화학사고로 연결될 수 있다. 이러한 사고를 예방하고 사고 시 신속하게 대응하기 위해서는 액면에서의 증발속도 및 확산범위 등을 정확하게 예측할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 아세톤을 대상물질로 선정하여, 풀 증발과 관련된 여러 문헌에서 제시한 이론식을 적용하고 시뮬레이션 및 실증 실험을 통하여 동일조건에서의 결과값을 비교 분석하였다.

이를 위해 아세톤의 액면을 약 $1\text{ m}^2 \sim 4\text{ m}^2$ 로 가정하고, 액면에서 발생하는 증발속도를 도출하였다. 이때 물질전달계수(K)를 구하는 방법에 따라 풀의 증발속도가 달라지는데, 첫 번째는 풍속과 기체확산도(D)를 이용하여 계산하였고, 두 번째는 기준물질(H_2O)의 물질전달계수 값을 이용하여 계산하였다. 또한 액면을 포함하는 공간의 농도를 계산하는 이론식으로 아세톤 증기의 농도를 계산할 수 있었다.

또한, 계산시 가정한 풍속 등의 대기조건 및 지표면의 거칠기 등의 환경조건을 동일하게 하여 ALOHA, PHAST 및 FLACS 등의 시뮬레이션을 구동하였고, 동일한 조건으로 실증 실험을 수행하여 위의 결과값과 어느정도 차이가 나타나는지 비교하였다. 그 결과 결과값이 큰 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었고, 이러한 차이를 발생시키는 원인을 심층적으로 분석하였다.

본 연구결과를 바탕으로 사업장 및 대응기관에서 액상 유해화학물질의 누출로 인한 액체 풀 형성시 발생하는 화학사고에 대비할 수 있으며, 안전교육 및 사고대응 등에 활용할 수 있다. 또한 액면에서 발생하는 증발량을 정확하게 파악하고 있음으로써 동종 사고의 예방 및 피해 최소화에 기여할 것으로 기대된다.

소방 안전자 교육용 데이터베이스 개발

고정훈 · 윤형준[†]

한국 서울특별시 영등포구 양평로 129, 5층 (양평동5가, 파워랜드) (주)유티이씨

Database Development for Fire-Fighting Administrator

JungHoon Ko · Hyungjoon Yoon[†]

5th floor, 129, Yangpyeong-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul UTEC Co., Ltd.

[†]Corresponding author: hjyoon@utec.kr

화재 발생 시, 화재 진압 및 대응 업무를 담당하는 소방대원과 소방안전관리자, 그리고 실제 화재 상황에 처한 국민 모두에게 있어 신속한 의사결정은 매우 중요하다. 최근 수년간 화재발생 건수와 재산 그리고 인명피해를 분석 자료를 보면 매년 4만 건 이상 화재재가 발생하고 인명피해 또한 매년 1,500명 이상의 사상자가 나타나 화재의 위험성은 나날이 증가하고 있는 것으로 나타나고 있다.

그 중 화재대응 실패 사례인 밀양 세종병원의 경우, 비상 발전기 미작동, 방화문 자동 폐쇄 미작동 등 화재 발생에 따른 소방설비 및 제연설비의 미작동으로 인해 큰 인명피해가 발생하였고, 성공사례인 울산의 삼환아르누보 아파트 화재의 경우, 스프링클러를 통한 화재 진압에는 실패하였으나 피난계단, 피난층 등을 통해 안전하게 대피하였고 많은 사람이 부상하였지만 사망자는 없었다.

이런 사례들을 통하여 소방대가 도착하기 전 초기대응을 통한 골든타임 확보에 결정적 역할을 하는 소방안전관리자의 화재대응 인지능력의 확보가 중요하다고 할 수 있다. 이에 따라 소방안전관리자를 대상으로 하는 훈련을 통하여 대응력을 향상할 수 있고 향상된 대응 능력을 기반으로 소방안전관리자의 능동적이고 재빠른 대처를 통해 피해 규모를 최소화해야 하는 부분이 절실히 필요하다.

이에 본 연구에서는 소방안전관리자의 화재대응 훈련 프로그램에 적용할 데이터베이스를 개발하고, 훈련 시나리오를 저작하는 사용자가 수 많은 조건의 시나리오를 쉽게 저작할 수 있도록 시나리오 크리에이터를 개발하고자 한다. 시나리오 크리에이터는 크게 synopsis와 event 입력부, object/등장인물/배경/화재정보 등의 데이터를 데이터베이스로 입력하고 관리할 수 있다. 2021년에는 대상물 1종에 한하여 시나리오 관리데이터베이스 설계 및 구축을 진행하였고, 크리에이터의 프로토타입을 구현하였다. 그리고 실제 본 소방 시나리오 크리에이터를 활용하면, 더 빠르고 쉽게 소방안전관리자의 소방훈련 시나리오를 생성하여 훈련 프로그램 저작에 활용할 수 있다.

Keywords : 화재 상황 대응(Fire Situation Response), 훈련 시나리오 생성(Training scenarios creation), 시나리오 크리에이터 개발(Scenario creator development), 화재 시뮬레이션(Fire simulation)

** 본 논문은 과학기술정보통신부의 “XR플래그십(D0318-21-1008)” 사업과 소방청의 “국민소방협력 초기대응 현장지원 기술개발사업(20017102)”의 지원을 받았음.

가동원전 지능형 화재방호시스템 및 유지관리체계 개발을 위한 연구

김학경[†] · 최두찬 · 황현수 · 김상일 · 김전수 · 고민혁 · 이두루나 · 남기태
한방유비스(주)

A Study on the Development of Intelligent Fire Protection System and Maintenance System in Operating Nuclear Power Plant

Hak Gyeong Kim[†] · Doo Chan Choi · Hyeon Su Hwang · Sang Il Kim · Jeon Su Kim ·
Min Hyeok Ko · Du Ru Na Lee · Gi Tae Nam

KFUBIS CO., Ltd.

[†]Corresponding author: khk4214@kfubis.com

‘글로벌 에너지 공급망 현안 점검(2022년 2월)’ 회의에서 “원전이 지속 운영되는 향후 60여 년 동안은 원전을 주력 기저 전원으로서 충분히 활용해야 한다.”라는 내용이 언급됨과 동시에 신한울 1·2호기와 신고리 5·6호기도 이른 시간 안에 정상 가동 필요성이 대두되며, 원자력발전소의 안전성에 대한 관심도 높아지고 있다.

한국수력원자력에 의하면 2050 탄소중립 달성을 위해서는 반드시 원전이 필요한 상황이나 현재 타 원전 선진국에 비해 기술력 및 성장동력이 정체된 상황으로 안전성·경제성 등의 다양한 문제점들이 대두되어, 원자력발전소의 안전성을 향상시킬 기술과 유지관리 체계가 필요한 시점이다.

원자력발전소의 지진, 화재 등 위험 중 화재 위험도가 전체 위험도의 70%를 차지하며, 최근 5년 내 국내 화재 관련 사건이 11건이 발생하였다. 이처럼 지속적으로 발생하고 있는 원전 화재 사고 확대 예방을 위한 혁신 기술개발, 화재 저항성 강화를 위하여 가동원전 특성을 반영한 화재 감지 및 진압설비와 효율적인 유지관리 체계를 구축하기 위하여 본 연구를 진행하게 되었다.



<최종 연구개발 성과를 개념도(현재 연구개발 중)>

** 이 논문은 2022년도 산업자원통상부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (20224B10200110, 국내 원전 화재사고 저항성 강화기술)

연구실험실 관련 사고 예방 및 법규 준수를 위한 표준 체크리스트

윤성아 · 김홍관 · 천영우[†]

인하대학교 환경안전융합전공

Standard Checklist for Prevention of Lab Accidents and Compliance with the Law

Sung Ah Yoon · Hong Kwan Kim · Young Woo Chon[†]

Dept. of ET & ST Convergence, Inha University

[†]Corresponding author: ponychon@inha.ac.kr

중대재해처벌법 시행으로 산업 현장뿐만 아니라 기업 및 대학 내 연구실까지 영향이 확대되어 관리 강화되고 있다. 지속적인 법 강화로 인하여 연구실험실 안전환경 관리자는 사고 예방에서 나아가 다양한 규제들을 준수하기 위해 많은 공수가 필요하며 부담감 또한 더해질 것으로 보여진다.

전담 책임자를 통해 관리되는 대규모 사업장에 비해 인프라가 취약한 대학 연구실 및 소규모 사업장 내 연구실험실은 중점적으로 관리할 전문 인력이 부족한 상황으로 화재·폭발 및 인명 사고에 대한 대비가 미흡하며 사고 발생 위험이 높은 실정이다. 실제로 수년간 발생했던 실험실 내 사고 통계상 대학 연구실이 대부분을 차지하였으며 관리 미흡, 체계 부재 및 취급자 부주의 등 여러 발생 원인이 존재했다. 다양한 유해인자가 존재하는 공간에서 적절한 예방 조치 없이는 사고 발생 예측이 어려운 상황이며 사전에 체계적으로 관리하지 않을 시 관계법령 의무 불이행으로 인한 처벌 적용 우려 및 일촉즉발의 사고에 노출될 수 있는 환경에 놓여 있다고 볼 수 있다.

이에 연구실 내 주요 사고 예방책 및 국내법 규제 항목을 종합한 자료를 통해 누구나 쉽게 활용 가능할 수 있도록 연구실험실 표준 체크리스트를 제작하였다. 국내 연구실 내 발생 재해 사례를 분석하고 근본 원인 제거 방안과 국내법 규제 항목(연구실 안전환경 조성에 관한 법률, 위험물안전관리법 및 폐기물관리법 등) 내 이행 항목을 종합하여 사전에 안전 조치를 시행할 수 있게 함을 목표로 두었다. 복잡하고 헷갈리는 다양한 규제 사항이 간결하고 명확한 기준에 따라 취합된 표준 체크리스트를 통하여, 효율적이고 구체적인 정기 및 수시, 일상 점검 등에 적용 및 수행이 가능할 것으로 보인다.

관련법 준수와 더불어 사고 예방 목적으로 제작된 표준 체크리스트를 활용하여 중점적인 안전 관리가 미흡한 연구실험실 내 유사 사고를 예방하여 안전 관리에 기여하고 사고 없는 연구 환경을 조성함으로써 수준 높은 연구 활동을 기대하는 바 있다.

열매체유공정 안전성 향상 방안을 위한 사고사례 고찰

권남호[†] · 최영택* · 김동준**

한국산업안전보건공단 · *한국산업안전보건공단 · **경일대학교 소방방재학과

A Study on Accident Cases for Deduction of Safety Improvement for Heat Transfer Fluid Process

Nam-Ho Kwon[†] · Young-Taek Choi* · Dong-Joon Kim**

KOSHA · *KOSHA · **Kyoungil University, Department of Fire Safety

[†]Corresponding author: 9205792@hanmail.net

열매체유(Heat transfer fluid)는 공정 물질을 가열하거나 냉각하기 위한 열이동의 매개체로 다양한 산업현장에서 사용하고 있다. 열매체유는 사용목적에 따라서 염화칼슘 등 무기물질 수용액, 글리콜계 수용액 등 다양한 물질을 적용할 수 있으나 산업현장에서는 대부분 광유(Mineral oil)를 사용한다.

열매체유는 인화점이 높아 상온에서는 비교적 안전한 상태이지만, 공정에서는 인화점 이상에서 운전하고 상압이상의 상태로서 외부 누출시 화재·폭발로 이어지는 경우가 많다. 그리고 열매체유가 원인이 되는 사고사례를 살펴보면 열매체유가 누출되어 화재·폭발이 발생하고 이로 인해 생산 설비와 공장건물 등이 소손되는 재산상의 피해뿐 아니라 근로자가 사망하거나 화상 등의 인명 피해를 유발하는 사고가 발생하고 있다.

이에 여러 연구에서는 열매체유의 열분해, 산화분해 등 경년열화에 의한 물질특성의 변화나 펌프씰(Seal), 배관 연결부의 플랜지 가스켓(Gasket) 파손 등을 주요 사고원인으로 분석하고 대책을 제시하였다. 이러한 연구결과는 외부 물질이 열매체유 시스템에 유입되었을 경우에 발생할 수 있는 위험성을 간과하고 있다.

열매체유 순환공정은 대체로 폐쇄계(Closed system)로 구성되어 외부물질의 유입이 차단되도록 운전하는 경우가 많으나, 운전 방법 또는 설비의 예기치 못한 결함이 발생할 경우 이물질이 내부로 유입되어 사고의 원인이 되는 경우가 있다. 이에 열매체유에 이물질이 유입되어 발생한 사고 사례를 고찰함으로써 열매체유 공정의 안전성 향상 방안을 도출하고자 한다.

그리드 규모 에너지 저장 시스템(EES)에서의 위험성 평가

김정동 · Meng Qi · 홍석영 · 김민수 · 오승현 · 장교진 · 문일**†

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

†Corresponding author: ilmoon@yonsei.ac.kr

Electrical energy storage (EES) 시스템은 여러 개의 공정구성 요소로 이루어져 있으며, 에너지 집약적인 운전으로 인해 높은 운영 위험성이 있다. 본 연구에서는 그리드 규모의 적용을 목적으로 하는 100MWh의 EES 시스템의 위험성 평가를 진행하였다. 위험성 평가를 위해 고려한 EES 공정은 다음과 같다; 압축 공정, 액화 공기 기반 중간 에너지 저장 공정(liquid air energy storage), CO₂ 기반 중간 에너지 저장 공정(CO₂ energy storage), 태양열 기반 열에너지 저장 공정, Power-to-Gas 공정. 위험성 평가는 에너지 저장, 공정 운전 측면에서의 잠재적 위험성을 고려하여 진행되었다. 동일한 에너지 저장 규모하에서, EES 종류에 따른 위험성 평가를 진행하였으며, 에너지 저장 및 공정 운전 측면에서의 결과는 각각 다음과 같다. 첫째, 극저온 기반 EES (액화 공기 및 CO₂ 기반 에너지 저장 공정) 대비, 열에너지 기반 EES의 사고영향력(sever accident consequences)가 높게 평가되었다. 열에너지 저장물질인 합성유의 사용이 해당 사고 영향평가에 가장 크게 기인한 것으로 평가된다. 두 번째, 공정 운전측면의 경우, 다음과 같은 공정 특성을 만족하는 EES의 사고 영향력이 높게 평가되었다; 고온, 고압 운전조건, 가연성 작동유체 기반 다중 열교환망, 시스템 운전 간헐성. 위험성 평가 결과를 기반으로, EES의 위험성 완화를 위한 네 가지의 공정설계 및 운전조건 설립 전략을 수립하였다. 최종적으로는 해당 결과를 바탕으로, 본 연구에서는 EES의 안전설계, 운전조건 수립, 회복탄력성 분석(resilience analysis), 에너지장벽 설계(energy barrier design), 및 생애주기별 분석에 대한 결과를 도출하였다.

Author Index



강경석 A303
 강인혜 C302
 강준석 A306
 고성진 C202
 구치완 B102
 권경옥 A301
 권남호 P19
 권순범 A207
 권준엽 C206
 김강현 B201
 김길중 A505
 김동엽 A206
 김동오 C403
 김민석 P05
 김민재 A506
 김민주1 A104
 김민주2 P14
 김병훈 C105
 김부승 C208
 김성준 A310,P10
 김소현 A107
 김수경 C204
 김수진 A203
 김수희 C501
 김신범 C303
 김완진 C203
 김은주 B504
 김은택 C304
 김은희 P15
 김재엽 P04
 김재영 B105
 김정동 P20
 김지용 B302

김지훈 A202
 김찬식 C104
 김태호 B304
 김학경 P17
 김학재 B401,P12
 김현석 B506



나동혁 P09
 나용운 C502
 남근우 C102
 노동주 A401



모진택 A403
 문정민 B301
 민세홍 A501,A502



박성수 P11
 박소민 P08
 박유진 A304
 박종복 C503
 박주룡 B305
 박진형 C207
 박춘화 C101
 방남세 C504
 방영석 B307



서정완 A605
 서호성 A101
 송석호 B308
 시상수 A204
 신동범 B505
 신병문 C505
 심종호 A604



안광재 B404
 안수빈 A309
 안중관 C404
 양현모 C305
 양현혁 A307
 오흥규 A504
 왕순주 C306
 위재민 A108
 유지수 A106
 윤성아 P18
 윤영환 C401
 윤정환 C201
 윤종찬 C506
 윤형준 P16
 이광호 C402
 이동현 C210
 이두루나 B503
 이상모 A405
 이상연 B507
 이성진 P02
 이세용 A205
 이영만 A302
 이윤석 B303

Author Index

이운호	A603	최진우	P06
이재호	P03	최혜민	A402
이준서	B101	 卍	
이지호	C103	피혜영	C301
이형섭	A602		
이효렬	A109	 ㅎ	
이훈기	B402		
임지표	B104		

 ㄸ

장동국	B403	하예진	A305
장현우	A103	한호식	A308
전은경	A105	한호진	B103
전지훈	B502	함병호	A601
정광민	A507	허덕경	C405
정무현	C507	허동필	A503
정창훈	A404	홍상기	B508
정현도	C209	홍혜인	P07
조승범	B106		
조인록	C205		
조철희	C508		
조태운	A508		
조혜진	A102		
주효진	P13		
진용기	A208		
진익재	B306		

 大

차정민	A201
최수길	A311
최우철	B501
최이락	P01

이 발표논문집은 산업안전보건연구원의 지원을 받아 발간되었음.
This work was supported by the Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI).

제10회 한국위험물학회 정기총회 및 학술대회 초록집

2022. 8. 18(목) 12:00 ~ 19(금) 16:30 / 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