

제12회 한국위험물학회 학술대회 논문집

사회와 기술의 변화에 대응하는 균형적인 리스크 관리

일시 2024.8.8(목) 12:00 ~ 9(금) 16:30

장소 부산 BEXCO 제2전시장 1층, 3층

협찬

SK이노베이션(주), GS칼텍스(주), 삼성전자(주), LG경영연구원, 한방유비스(주),
한국소방산업기술원, 한국산업안전보건공단, 한국가스안전공사, 한국가스공사 가스연구원,
산업안전보건연구원, 한화솔루션(주), 한화에어로스페이스(주), ㈜삼성글로벌리서치, (주)유티이씨,
(주)유민에쓰티, (주)새빛테크, (주)코너스, 한국소방안전원, 알파안전주식회사, 다인자문, (주)육송,
올라이트라이프(주), (주)한백에프앤씨, (주)종우앤종우소방기술단, (주)되고시스템,
한국전자통신연구원, (주)대현에스비, 소방방재연구소, (주)켄토피아, 가천대학교



Contents

A1 가스안전

- A101 ASME B31.3 기반 배관 열변위합성능력 유한요소해석 소프트웨어 개발 1
이우귀연·오정석(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A102 도시가스 배관망 수소혼입 핵심부품 비금속재료 적합성 확인을 위한 평가방법과 통합
연구시설장비 개발 2
김승환·한연우·정현선(한국가스안전공사 가스안전연구원)·조현일·정창섭(한국가스안전공사)·
서국진(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A103 준저압용 대용량 배관용 퓨즈콕 개발 및 기준 마련 3
이지희·오정석(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A104 기계실 방호문 설치에 따른 튜브 트레일러 수소 누출 사고 영향 분석 4
김부승·강승규·서국진(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A105 수소충전소 실제 운전이력 기반 압력용기 피로도 분석 5
김정환·이화영·임가희·하상준(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A106 현장제조형 암모니아 기반 수소추출설비 안전기준 개발 6
조유립·추지안·정재환(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A107 모듈형 암모니아 수소추출설비 위험항목 분석 및 안전항목 개발 7
맹주희·추지안·정재환(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A108 수소 혼입 환경에서 연소기 성능평가에 관한 고찰 8
조영광·신현국·정승균·하상준(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A109 초저온 기체 수소 제트 누출 실증 실험을 위한 기체 수소 제트 확산성 및 복사열 고찰 9
김정민·김승환·주원돈·강승규(한국가스안전공사 가스안전연구원)
- A110 LPG 소형저장탱크 안전성 향상을 위한 연구 10
박요한·하상준(한국가스안전공사 가스안전연구원)

A2 안전교육·안전정책

- A201 위험물 혼촉발화에 관한 실험사례 소고 11
현성호(경민대학교)
- A202 알코올류 함유량(wt%)에 따른 연소특성에 관한 연구 12
차정민·김인범·이용재·현성호(경민대학교)

A203	유해화학물질 분류를 위한 AI 판독 프로토타입 구축방향에 관한 연구	13
	김태훈(한국소방안전원)	
A204	위험물 분야 자격체계 개선 방안 연구	16
	김태훈(경민대학교)	
A205	리튬전지 사업장의 화재예방 교육 강화에 대한 연구	17
	김지훈·류성목(한국RMC)	
A206	XRF(X-Ray Fluorescence)를 활용한 발화지점 추정	19
	박성희(의정부소방서)	

A3

소방안전(1)_화재안전, 소방안전(2)_화재폭발

A301	디지털 트윈을 활용한 원전의 노심손상빈도 저감 요소에 관한 연구	20
	최두찬·황현수·김상일·임정삼·오수민·양현혁·고민혁(한방유비스㈜)	
A302	화재사례를 통한 플랜트 제·배연설비에 관한 연구	21
	최두찬·김상일·김희문·김석운·최한빛·고민혁(한방유비스㈜)	
A303	물류시설 화재안전 기반정보 구축지침안에 관한 연구	22
	최두찬·손은수·주유빈·고민혁(한방유비스㈜)	
A304	4족 보행 로봇 활용 순간화재 위험 장소 로봇 전술에 관한 연구	23
	손은수·김희문·김경민·최두찬(한방유비스㈜)	
A305	원전 전기캐비닛의 열방출률 DB 분석 기반의 화재위험성 평가 -1부 확률론적 심각도 추정 절차 설계 및 적용 예시	24
	윤가영·박계원·신이철(방재시험연구원)	
A306	액침 냉각 기반 리튬이온 배터리의 열 관리 최적화에 대한 연구	25
	백승현·임채완·이선희·마병철(전남대학교)	
A307	리튬배터리 화재 매커니즘 및 화재진화를 위한 소화약제 개발	26
	박신웅(리멕스㈜)·정운섭(창해건설링)·윤석준(고려대학교)·이용권(리멕스㈜)	
A308	반도체 전원 화재 현상에 관한 고찰 -리튬이온전지 화재를 중심으로-	28
	장민준·김동준(경일대학교)	
A309	리튬 배터리 화재 대책에 관한 고찰	29
	김동준(경일대학교)	
A310	점화원에 따른 이온액체의 착화온도에 미치는 영향	30
	김동준(경일대학교)	
A311	전기차 리튬배터리 열폭주 지연을 위한 내재형 소화장치의 냉각효과 실험	31
	손준우·박래웅·이권혁·신진원(스탠더드시험연구소)	

A4

하동명교수 정년기념: 화재·폭발 Material Safety Data

- A401 반도체 공정 화학물질의 인화점, LFL/UFL 예측 및 추정 32
장기원·한규진·도지석·정승호(아주대학교)
- A402 위험물안전관리법에 따른 제2와 제3석유류 Cut-off 물질의 인화점 측정 및 비교 분석 33
장유선·고은성·김동민(한빛안전기술단)·하동명(세명대학교)
- A403 연소점 예측 및 인화점의 밀폐식과 개방식 상관관계에 관한 연구 34
장유리(지엠이에스)·민성훈(지엠이엔에스)·하동명(세명대학교)
- A404 Acetylene black 분진의 폭발 특성 및 예측에 관한 연구 35
최재준·하동명(세명대학교)
- A405 리튬이온배터리 전해질 혼합물인 Ethyl Acetate와 Dimethyl Carbonate의 연소특성치 측정 및 분석 36
유승돈·최재준·하동명(세명대학교)
- A406 반도체 Clean공정의 IPA+산+알카리계의 혼합 반응에 따른 인화점 측정 및 자연발화점 예측에 관한 연구 37
신승문·김만호·최재준·하동명(세명대학교)
- A407 설비용 PVC 플렉서블 덕트의 부식율 및 물질 연소특성치에 관한 연구 38
황이태(삼성전자(주))·구재한·최재준·하동명(세명대학교)
- A408 MSDS의 화재 및 폭발 특성치의 신뢰성 39
하동명(세명대학교)

A5

특별세션(1)_ICT융복합화재·재난과학연구센터

- A501 모형실험과 FDS로 거실제연설비의 공기유입구와 배출구간 최적 직선거리 판단을 위한 연구 40
이생곤·민세홍(가천대학교)
- A502 대형공사현장의 화재위험도 평가틀을 활용한 공정계획수립에 관한 연구 42
석용구(주동화이엔씨)·민세홍(가천대학교)
- A503 TRIZ 기법을 통한 전기자동차 충전소 스프링클러 설치방안에 관한 연구 44
이현정(한백에프앤씨)·김승연(파이어버스터)·김진태(소방방재연구소)
- A504 TRIZ 기법을 활용한 화재사고 원인 분석 방법에 관한 연구 46
이현정(한백에프앤씨)
- A505 보간법을 활용한 화재 시뮬레이션의 데이터 시각화 기법 연구 47
이재호·사재천·민세홍(가천대학교)
- A506 LNG 저장탱크 적용 소방시설 안전성에 관한 연구 48
하재홍·민세홍(가천대학교)

A507	FDS를 이용한 정온식 아나로그감지기 이격거리 실용성에 관한 연구	50
	장정훈·민세홍(가천대학교)	
A508	노후된 소화설비를 대체할 신 소화설비의 시장투입 및 전역 소화설비 시스템 개발 연구	51
	김희진(☞영승이엔에스)·민세홍(가천대학교)	
A509	냉장·냉동 창고의 화재 안전성 향상을 위한 스프링클러설비 성능 평가 및 개선 방안에 관한 연구	54
	이종규·주민연·이재문·민세홍(가천대학교)	

A6

특별세션(2)_수소안전

A601	액화수소 설비 및 부품 안전관리 동향	54
	강승규·김민아·황장환·주원돈(한국가스안전공사 가스안전연구원)	
A602	액화수소 안전 저장을 위한 단열 기술	55
	김경수·김대성·임동우(☞크리오스)	
A603	수소 압력용기 안전성 향상을 위한 제작 기준	56
	오용록(덕산에테르씨티☞)	
A604	수소전기차량용 온도감응식 안전밸브 글로벌 시험기술 동향 연구	57
	조충희·은동찬·김완진(☞와이엘에너지기술)	
A605	고압수소용기 구조안전성 분석을 위한 복합재층 응력계산	58
	박건영·안용수·이호길(한국자동차연구원)	
A606	유한요소해석을 활용한 Type 4 수소저장용기 피로수명 평가	59
	김건우·강세진·김동연·김한상(가천대학교)	
A607	One-Way FSI를 통한 Type 4 수소저장용기 축소시제의 충전 상황 모사 해석	60
	정경현·김한상(가천대학교)	
A608	수소 운송·저장용 오링(O-ring)의 기밀성능 및 파손의 유한요소법적 연구	61
	박한민·Omar Dagdag·김한상(가천대학교)	

B1

석유화학

B101	암모니아 흡수시설 용량 및 설계에 관한 연구	62
	임채완·백승현·이선희·마병철(전남대학교)	
B102	반응표면법과 인공신경망을 이용한 수소 누출 및 확산 예측 모델 개발	63
	이준서·문재원·마병철(전남대학교)	
B103	반밀폐공간에서 수소 누출 시 환기효율에 대한 수치적 연구	64
	이선희·백승현·임채완·마병철(전남대학교)	
B104	수소충전소 폭발 및 화재로부터 안전성 향상을 위한 차단벽 최적 설계	65
	오세현·이선희·마병철(전남대학교)	

B105	화학공장 비일상작업 중 사고에 대한 원인조사 사례연구 및 고찰	66
	안수빈·이경수·이철규(국립재난안전연구원)	

B2 원자력안전

B201	리스크 기반 다목적 SMR EPZ 크기 결정 방법론 연구	67
	홍세인·조재현(중앙대학교)	
B202	나선형 전열관 증기 발생기의 셸 측 유동 특성에 대한 CFD 분석	68
	조범진·송민섭(한양대학교)	
B203	FAMILY 전산코드를 활용한 IFA650.2 개별효과실험 평가	69
	이윤석·김태완(인천대학교)	
B204	육상 원전 방사선 방호 규제 해양 원전 적용 가능성 분석	71
	이효은·조재현(중앙대학교)	
B205	NuScale SMR 원자로 냉각재압력경계 누설 관련 격차 분석	72
	강도희·Mugabi Jophous·정재호(가천대학교)	
B206	SMR 피동형 격납용기 열제거계통의 안전규제 사례 예비 분석	73
	이연진·김현조·정창용·유한방·나형진·문소라(세종대학교)	

B4 특별세션(4)_화학물질 누출사고 분석을 위한 3차원 CFD 소프트웨어 개발

B401	화학물질 누출유형에 따른 사고 시나리오 개발 및 누출량 산출	74
	손덕영·곽현준·이도경·이찬우·정종민·정승호(아주대학교)	
B402	화학물질 누출사고 시나리오에 대한 ALOHA, EFFECTS, PHAST, KORA 분석 결과	75
	이찬우·정종민·곽현준·이도경·정승호(아주대학교)·최청열(㈜엘솔텍)	
B403	FLACS를 활용한 화학물질 누출사고 영향성 평가	76
	민미미·정승호(아주대학교)·최청열(㈜엘솔텍)	
B404	오픈소스를 활용한 화학물질 누출사고 영향 범위 해석	77
	김현식·길재홍·박현강·유지형(㈜넥스트폼)	
B405	화학물질 누출사고 영향범위 예측 및 사고원인 분석을 위한 3차원 CFD 프로그램 개발	78
	최청열·강승훈·김민수(㈜엘솔텍)	

C1 환경안전 및 RISK 관리

C101	화학사고 분류체계 개선 연구	79
	정성경·김지윤·박춘화·김성범(화학물질안전원)	
C102	한국과 미국의 화학사고 현황 비교 분석	80
	김지윤·정성경·박춘화·김성범(화학물질안전원)	

C103	거버넌스 중심의 지역화학사고대비체계 구축 및 확산: 군산시 사례 중심으로	81
	안성용·임지영·박춘화(화학물질안전원)	
C104	D.N.A 기반 화학사고 예측 및 리스크 평가 기술개발	82
	김호현(서경대학교)·양준용(㈜키미아비전)·김민수(㈜위즈아이)·정승호(아주대학교)·이철진(중앙대학교)·손종렬(고려대학교)·주상우(승실대학교)	
C105	3D CFD 기술을 적용한 화학사고 원인규명 사례 및 개선 대책 연구	83
	김병훈·황성범·이지혜·서경석·황승윤(화학물질안전원)	
C106	석유화학계 산업단지가 위치한 지역의 발암물질 취급량 변화 추이 분석	84
	최우수·황만식·윤준현(화학물질안전원사고예방심사1과)	

C2 위험물 리스크 평가 및 사고 대응 경진대회

C201	화학물질 누출·확산 조기 감지 및 리스크 저감 위한 고정/이동식 감지기 배치 최적화	85
	김강섭·신동일(명지대학교)	
C202	폐배터리 리튬 침출 공정에서의 위험성 평가	86
	한규진·이찬우·이승준·이근원·정승호(아주대학교)	
C203	암모니아 연료추진 선박의 번커링 누출 시나리오에 대한 위험성 평가	87
	도지석·장기원·정종민·이근원·정승호(아주대학교)	
C204	중소·중견 제조업체를 위한 대책평가형 위험성 평가 방안 연구: RDPT-Rule을 중심으로 한 감소대책의 질적 향상 사례	88
	한종호·윤여송(한국기술교육대학교)	

C3 보건안전

C301	위험물 사고, 재난 시 증상을 통한 원인 도출의 국제 동향	89
	왕순주(한림대학교)	
C302	국내 대기중 미세먼지 농도가 호흡기 질환에 미치는 영향	91
	장윤덕(인제대학교)	
C303	의용소방대의 유해화학물질 인식 및 안전교육 필요성에 관한 연구	92
	피혜영(아주대학교)	
C304	크루즈 선박 안전 및 사고 대응 전략	93
	윤여현(영산대학교)	
C305	오염환경 차단용 고압산소챔버의 개발과 유용성	94
	채재익·홍수연(㈜인터오션)	
C306	극한 외부환경 차단 생존 유지용 환경 콘트롤 기기 개발과 적용	95
	채재익·홍수연(㈜인터오션)	
C307	화학사고 응급의료 교육 및 훈련	96
	강인혜(대원대학교)	

C308	소방 구조·구급대원 다수사상자 재난 대응 전문가 양성 교육	97
	최대해(차의과대학교 구미차병원)·안은규·서호성·전병주(국립중앙의료원)	
C309	HICS 시스템	98
	최대해(차의과대학교 구미차병원)·김영진(㈜케이앤엘정보시스템)	
C310	연구실 화학사고 예방을 위한 반응위험성 정보시스템 개발에 관한 연구	99
	홍미라(호서대학교)·김용필(㈜되고시스템)·조규선(호서대학교)	
C311	유독물질 누출에 따른 실험실 내 확산 거동 특성에 대한 연구 -포르말린 중심으로-	100
	유종철·조규선(호서대학교)	
C312	대학 연구실에서 흡후드 제어풍속 변화에 따른 휘발성유기화합물 누출에 관한 연구	101
	임현중·조규선(호서대학교)	
C313	재난사고 취약계층으로서의 노인의 신체 변화와 그 대응 : 고압산소요법을 중심으로	102
	왕순주(한림대학교)·한민섭·안은애(한림대학교동탄성심병원)·이동희(한림대학교)	

C4 해양오염 해양위험물

C401	국립공원 내 생분해성 소재를 활용한 친환경 해초지 복원	104
	강리운·김현교·이재성·김효정(국립공원공단)	
C402	생물검정실험을 이용한 천수만과 태안해안의 제한영양염 평가	105
	김진현·최인영(국립공원연구원)	
C403	블루투스 기반 위치추적 장치를 활용한 해양부유쓰레기 이동연구	106
	이용욱·임지인·오도일·장성건(국립공원공단)	

C5 특별세션(5)_위험물 사고예방 및 대응(소방청)

C501	대규모 방사선 사고 대응	107
	최승환(소방청)	
C502	제5류 자기반응성물질 판정기준 개정과 위험물질 데이터베이스 고도화	108
	반준화·최유진·최용석(한국소방산업기술원)	
C503	화학보호복 내용연수 연장을 위한 노화인자 연구	109
	김주석(국립소방연구원)	
C504	“특수재난” 및 “화학사고” 개념 정의 및 향후 과제	110
	조철희(국립소방연구원)	

P**포스터발표**

P01	석탄-암모니아 혼소 발전 실증 안전성 향상을 위한 암모니아 공급설비 표준모델안 도출 연구 · 111 유상윤·최영주·오정석(한국가스안전공사 가스안전연구원)	111
P02	타 연료 벙커링 방식 비교분석을 통한 TTS 방식 암모니아 벙커링 기준안 개발 연구 112 강혜민·유지수·최영주(한국가스안전공사 가스안전연구원)	112
P03	설비진단 기법을 활용한 회전기기 결함 자동분석 알고리즘 개발 114 이재용·이우귀연·오정석(한국가스안전공사 가스안전연구원)	114
P04	수소혼입에 따른 연소기 안전기준 마련을 위한 국내외 안전기준 분석 115 정승균·조영광·신현국·하상준(한국가스안전공사 가스안전연구원)	115
P05	멀티포트 기술개발 관련 수소충전소 안전기준·J2601프로토콜 분석 116 장재영·김보명·서국진(한국가스안전공사 가스안전연구원)	116
P06	비금속 재료 수소침투 국내·외 연구동향 117 정현선·김승환·서국진(한국가스안전공사 가스안전연구원)	117
P07	극저온 액화수소 저장탱크 연결 배관 누출 시나리오에 관한 위험성 연구 118 박주현·김정환(한국가스안전공사 가스안전연구원)	118
P08	석유화학산업에서의 유해화학물질 만성독성 사례에 대한 연구: 국내·외 직업성질환 통계사례를 중심으로 119 최현규·박지환·천영우(인하대학교)	119
P09	원유슬러지의 화재사고 원인 분석 121 김천동·서동현·최이락·이한희(한국산업안전보건공단)	121
P10	반도체 유기폐액 고형화 물질 용해 실험 및 용해액 연소 특성치에 관한 연구 122 박준우(삼성전자)·최재준·하동명(세명대학교)	122
P11	소듐냉각고속로(SFR) 소듐 누출의 감시 및 진단을 위한 시스템 개발 123 김범규·송근동·백승현·황정호·손영호·이재훈(☞미래와도전)	123
P12	저온 환경 내 화재대응시설 성능평가 수행을 위한 성능검증장 구축 방안 연구 124 주민연·이종규·안승민·민세홍(가천대학교)	124
P13	Python을 활용한 Type4 수소저장용기 복합소재 와인딩 패턴 최적화 연구 125 김혜원·김한상(가천대학교)	125
P14	웹크롤링을 활용한 화학물질 불법유통 온라인 감시 126 윤해운·한지혜·최민영·송기봉·윤준현(화학물질안전원)	126
P15	Bow-Tie 분석을 통한 화학물질의 안전 관리 방안 제안 127 이윤호·박이현·천영우(인하대학교)	127

Author Index	128
---------------------------	-----

ASME B31.3 기반 배관 열변위합성응력 유한요소해석 소프트웨어 개발

이우귀연·오정석[†]

한국가스안전공사 가스안전연구원

Development of Pipe Flexibility Stress Finite Element Analysis Software based on ASME B31.3

Ugwiyeon Lee·Jungseok Oh[†]

Korea Gas Safety Corporation

[†]Corresponding author: jsoh90@gmail.com

본 연구는 천연가스가 흐르는 복합 파이프 구조의 유동 및 구조적 응답을 유한 요소 해석을 통해 분석하고, ASME B31.3 유연성 응력 분석 기준에 따른 설계의 적합성을 평가하였다. 주된 목적은 복잡한 파이프 시스템에서의 유동 및 응력 분포를 정밀하게 파악하고, 이를 통해 설계의 안전성을 검증하는 것이다. 파이프 구조 모델링은 FEniCS 및 mshr 모듈을 사용하여 수행되었으며, 메인 파이프와 두 개의 분기 파이프로 구성된 기하학적 구조를 생성하였다. 배관 관련 파라미터로는 내부 반지름, 외부 반지름, 분기 파이프 반지름 비율, 메인 파이프 길이, 분기 파이프 길이 비율, 메쉬 해상도 및 내부 압력을 설정하였다. 유체 관련 파라미터로는 동점도, 밀도 및 유입 속도를, 파이프 재질 관련 파라미터로는 영률, 포아송 비, 밀도 및 중력 가속도를 고려하였다. 유동 해석은 Navier-Stokes 방정식을 사용하여 수행되었으며, 경계 조건으로는 유입 경계 조건과 무슬립 경계 조건을 적용하였다. 이를 통해 유체의 속도 및 압력 분포를 계산하였다. 고체 역학 해석은 고체의 변위 및 응력 분포를 평가하기 위해 수행되었으며, 변위 경계 조건과 중력 및 내부 압력을 고려하였다. 특히, 변형률 및 응력을 기반으로 폰 미세스 응력을 계산하여 고체의 구조적 강도를 평가하였다. 해석 결과, 메인 파이프와 두 분기 파이프 각각의 실제 응력 범위를 계산하고, 이를 ASME B31.3 기준에 따른 최대 허용 응력 범위와 비교하였다. 계산 결과, 메인 파이프와 두 분기 파이프 모두 실제 응력 범위가 최대 허용 응력 범위 내에 있음을 확인하였으며, 따라서 설계가 안전함을 검증하였다. 본 연구는 유동 및 고체 역학을 통합한 복합 파이프 구조 해석 방법을 제시함으로써, 복잡한 파이프 시스템의 설계 검증에 유용한 정보를 제공한다. 이와 같은 분석 방법은 다양한 산업 분야에서 파이프라인 설계 및 안전 평가에 광범위하게 적용될 수 있으며, 특히 석유 및 가스 산업에서의 파이프라인 시스템의 효율성 및 안전성 향상에 기여할 수 있을 것이다.

도시가스 배관망 수소혼입 핵심부품 비금속재료 적합성 확인을 위한 평가방법과 통합 연구시설장비 개발

김승환·한연우·정현선·조현일*·정창섭*·서국진†
한국가스안전공사 가스안전연구원
*한국가스안전공사

Development of Evaluation Methods and Integrated Research Facility Equipment for Confirming the Suitability of Non-Metallic Materials in Key Components for Hydrogen Blending in City Gas Pipeline Networks

Seunghwan Kim·Yeonwoo Han·Hyunseon Jung·Hyunil Cho*·Changsub Jeong*·
Kugjin Suh†

Korea Gas Safety Corporation, Gas Safety R&D Institute

*Korea Gas Safety Corporation

†Corresponding author: jin416@kgs.or.kr

‘22년 제5차 수소경제위원회의 주요 내용은 국내 수소 산업은 정부와 민간이 직접 참여하여 대규모 수소 수요 창출 및 청정 수소 공급망 구축에 대한 내용이며, 수소 시장의 제도적 기반을 마련하면 온실 가스를 약 2,800만톤 감축할 것으로 기대된다. 국내에서 온실가스 배출을 감소하기 위한 연구는 활발히 진행 중이며, 여러 연구 중 도시가스 배관망 수소혼입에 대한 안전성 연구가 ’23년부터 추진 중이다. 우리나라의 연간 천연가스 사용량은 총 4,000만톤으로 수소를 10% 혼입할 경우 연간 129만톤의 천연가스 사용량을 줄이고 이를 통해 연간 355만톤의 CO2 감축효과가 발생할 것으로 파악된다.

도시가스 배관망 수소혼입은 많은 장점에도 불구하고 크기가 작고 가벼운 수소의 특성으로 수소취성, 수소누출, 분리현상 등이 발생할 우려가 있어 핵심부품 등의 수소 호환성 및 안전성 검증이 반드시 진행되어야 한다. 혼입되는 수소의 양과 사용 환경에 따라 가스누출 및 화재·폭발 위험성이 존재하므로 기존 도시가스 배관망의 핵심부품 비금속소재(오링 등 고무류)가 활용되기 위한 실증과 이를 기반으로 한 안전기술이 필요한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 비금속재료의 수소침투 평가방법을 개발하고, 이를 통합적으로 수행할 수 있는 연구시설장비를 개발하여 수소혼입 기술의 안전성을 높이는데 중요한 기초자료를 확보할 예정이다.

** 본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업 “비금속재료 수소침투 적합성 평가 및 가스유량 오차 검증 안전기술 개발” (과제번호 RS-2023-00234839)의 지원으로 수행된 연구임

준저압용 대용량 배관용 퓨즈콕 개발 및 기준 마련

이지희[†] · 오정석

한국가스안전공사 가스안전연구원

Development of fuse cock for large capacity piping for Semi-Low Pressure and Preparation of Standards

JiHee Lee[†], JeongSeok Oh

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

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

푸드트럭의 경우 산업통상자원부고시에 따라 퓨즈콕 설치가 의무화되어 있으나, 현재 푸드 트럭 시설 및 그 밖의 고화력 연소기를 사용하는 시설에서 약 15~30kPa로 가스 공급시 그에 맞는 배관용 퓨즈콕 제품이나 기준이 없다. 퓨즈콕의 비정상적인 사용에 따른 사고가 다수 발견되고 민원이 빈번하게 발생하고 있는 실정이다. 이에 따라, 준저압용 연소기에 적용 가능한 퓨즈콕을 개발하고 시작품의 성능시험 및 실증시험 결과를 바탕으로 준저압용 퓨즈콕의 제조·검사 기준 마련을 목표로 하고 있다.

준저압용 퓨즈콕의 개발이 완료되면 푸드트럭 사용시설 등 공급압력이 약 3.3Kpa~30Kpa인 준저압 가스 사용시설에서 사용 가능한 제품으로써 지속적으로 문제가 되고 있는 시설 개조, 편법 사용에 의한 호스 파손, 누출로 인한 사고 및 그에 따른 인명, 재산 피해 등을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

국내 기준인 KS B 6029, KGS AA334 분석을 통해 준저압 적용 방향을 검토하였고 준저압용 연소기, 과류차단안전장치의 사용 실태 조사를 통해 시작품 개발 방향을 도출하였다.

현재 준저압용 연소기 사용압력에 맞는 준저압용 퓨즈콕 시작품 설계 및 제작이 완료된 상태이며, 실제 연소기에 적용 가능성 판단을 위한 성능 시험 진행 과정에 있다.

준저압용 대용량 퓨즈콕은 몸체의 볼 내경을 7.0mm로 확대 및 퓨즈콕 내 과류차단안전장치를 변경하여 준저압용 연소기에서 사용할 수 있도록 유량을 증가시키는 방식으로 제조되었다.

차후, 제작된 시작품의 시험항목별 성능시험 및 실제 준저압용 연소기의 적용 가능성 확인을 위한 실증시험과 결과 분석을 바탕으로 준저압용 퓨즈콕 검사 기준안을 마련하고자 한다.

본 연구는 마무리 단계에 있으며 준저압용 대용량 연소기에 적용 가능한 퓨즈콕 시작품 제작 완료 등의 성과를 바탕으로 지속적인 성능시험 및 결과 분석을 통해 대용량 배관용 퓨즈콕의 제조·검사 기준안을 제도화하여, 사용자의 편의증대 및 안전사각지대의 위험성 감소 등을 통해 가스사고 예방에 기여하고자 한다.

기계실 방호문 설치에 따른 튜브 트레일러 수소 누출 사고 영향 분석

김부승·강승규·서국진[†]
한국가스안전공사 가스안전연구원

Analysis of the Impact of Hydrogen Leak Accidents from Tube Trailers Due to the Installation of Protective Doors in the Machinery Room

Boo-Seung Kim·Seung-Kyu Kang·Guk-Jin Suh^{†**}
Korea Gas Safety Corporation R&D
[†]Corresponding author: jin416@kgs.or.kr

수소의 최소점화에너지(Minimum Ignition Energy, MIE)는 약 0.018 mJ로 LNG의 주 연료로 사용되는 메탄(약 0.29 mJ)과 비교했을 때 상당히 낮다. 또한 수소의 연소 속도는 수소-공기 최적 혼합비(약 29% 수소)에서 초당 2.7~3.0 m에 이르기 때문에, 다른 가연성 가스 및 연료와 비교했을 때 상당히 빠른 편이다. 연소 범위 또한 수소 농도 약 4~75%의 광범위한 농도에서 점화가 일어날 수 있기 때문에 수소에 대한 안전관리는 매우 중요하다. 현재 수소충전소에 사용되는 저장설비인 튜브 트레일러는 약 20 MPa의 압력으로, 많게는 대략 300 kg 정도의 수소를 보관하기도 한다. 이처럼 높은 압력과 많은 양의 수소가 저장되어 있는 만큼, 누출 사고가 발생하게 되었을 때의 그 피해 규모는 예측하기 힘들 수 있다.

수소충전소 기계실 내의 튜브 트레일러 연결부에서 누출에 따른 점화 사고가 발생했을 때, 기계실 튜브 트레일러 출입구에 방호문의 설치 여부에 따라 피해 영향의 크기가 어떻게 달라질 수 있는지에 대해 본 연구에서 살펴보고자 한다. 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 프로그램인 FLACS CFD를 활용하여, 대한민국 내에서 실제 운영중인 수소충전소 실물 도면을 참고하여 충전소를 모델링하고 환기 조건 또한 실제와 같이 구성하였다. 이후 튜브 트레일러 연결부에서의 누출을 가정한 뒤, 확산된 수소-공기 혼합물 상태에서 최대 층류 연소 속도 및 부피 팽창비를 고려한 연소 가능 부피(Weighted Equivalence Stoichiometric Volume, Q9)를 도출하여 폭발 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션은 기계실 출입구에 방호문의 설치 유무에 따라 각각 누출 및 확산 시뮬레이션이 선행되었으며, 이후 0.8~1.2 사이의 등가비(Equivalence Ratio)를 가지는 세 가지 점화 지점에서 폭발 시뮬레이션을 진행하였다. 이후 점화에 따른 폭발 과압의 크기가 방호문 유무에 따라 어떻게 달라질 수 있는지 분석하였다. 기계실 내 주요 설비에 모니터 포인트를 지정하여 전달받는 과압의 크기를 비교하였다. 이를 통해 수소충전소 기계실 출입구에 방호문 설치가 적절한지에 대해 논의하였다.

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

수소충전소 실제 운전이력 기반 압력용기 피로도 분석

김정환[†]·이화영·임가희·하상준
한국가스안전공사 가스안전연구원

Fatigue Analysis of Pressure Vessels Based on Actual Operational Data from Hydrogen Refueling Stations

Jeong Hwan Kim·Hwa-young Lee·Ga-Hee Im·Sang-Jun Ha
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
[†]Corresponding author: abbu2k@kgs.or.kr

수소충전소의 압력용기는 현재 기술상 90MPa의 압력을 견뎌낼 수 있게 설계된다. 압력을 견디는 동시에 수소취성을 고려해야 한다. 국내에는 현재 300여개의 수소충전소가 운영되며, 이들 압력용기는 국내의 여러 제조업체에서 제공된다. 본 연구는 이러한 환경에서 수소충전소용 압력용기의 안전성을 평가하고 압력용기의 피로도를 분석할 수 있는 방법을 제시한다. 입력 조건으로는 수소한계응력확대계수(KIH), 초기균열크기(a_0 , c_0), 균열의 성장 방향, 압력용기 스펙(두께, 내경), 그리고 운전 압력 범위(최대 압력, 최소 압력)가 고려되며, 결과물로는 한계균열깊이(a_c)와 한계사용횟수(N_c)와 허용사용횟수(Nallowed)가 계산된다. 경기도 평택의 ○○ 수소충전소의 2023년 8월부터 11월 사이의 실제 운전데이터를 이용하여 분석을 수행하였으며, Rainflow counting법으로 Max 운전압력과 min 운전압력을 도출하여 압력용기별 피로도를 계산하고 각 Max-min에서 제공되는 허용사용횟수를 종합하여 피로도를 분석하였다. 이 연구는 수소 충전소 운영자들이 안전하고 효율적인 압력용기 관리를 돕기 위한 중요한 정보를 제공할 것으로 기대된다. 추가로, 시나리오 #1과 #2를 설정하여 다양한 운영 조건 하에서의 피로도 변화를 시뮬레이션하였다. 시나리오 #1에서는 일일 1000대의 차량을 충전하는 상황을 가정하였으며, 이때 중간 압력 영역의 압력용기가 가장 많은 피로도를 경험하는 것으로 나타났다. 시나리오 #2에서는 고압과 중압 영역을 혼합하여 운영하는 방안을 시뮬레이션하였고, 이를 통해 피로도를 효과적으로 분산시키는 결과를 확인하였다. 이러한 시뮬레이션 결과는 실제 운영 환경에서의 피로도 평가와 재검사 주기를 최적화하는 데 중요한 기초 자료로 활용될 수 있다. 연구 결과를 바탕으로 수소충전소의 안전성과 운영 효율성을 향상시키기 위한 전략을 제안하였다.

현장제조형 암모니아 기반 수소추출설비 안전기준 개발

조유립·추지안·정재환[†]
한국가스안전공사 가스안전연구원

Development of Safety Codes for Ammonia-based Hydrogen Generators Manufactured on Site

Yurim Jo·Jian Choo·Jaehwan Jung[†]
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
[†]Corresponding author: jung@kgs.or.kr

정부는 '20년 수소경제 육성 및 수소안전관리에 관한 법률안(이하 '수소법')을 제정하였으며, 국내 신규출현 수소제품 안전관리를 위한 법적 근거를 마련하였다. 이에, 수소법 하위 수소용품 중 수소추출설비 대한 상세기준인 KGS Code AH171(수소추출설비 제조의 시설·기술·검사 기준)은 21년 7월 제정되어 현재 시행되고 있다.

최근 장거리 수소운송을 위한 수소캐리어로서 암모니아가 주목받고 있으며, 이에 따라 암모니아로부터 수소를 추출하는 암모니아 수소추출설비의 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재의 AH171은 적용범위가 “도시가스”, “액화석유가스”, 그 밖에 “탄화수소” 및 메탄올, 에탄올 등 “알콜류”에 한정되어 있어 암모니아를 원료로 고려하고 있지 않다. 암모니아의 합성 및 운송은 이미 성숙된 기술이지만 암모니아를 분해하여 수소를 추출하는 공정의 경우 전세계적으로 대용량 및 장기간 실증된 바가 없기 때문에 암모니아의 특성을 고려한 수소추출설비의 안전기준 개발이 필요한 실정이다.

또한, AH171은 수소추출설비의 규모에 대해 별도로 규정하고 있지 않으나 수소추출설비를 소용량의 용품으로 고려하여 제정한 기준이다. 암모니아 수소추출설비가 대용량으로 개발됨에 따라, 대용량 혹은 현장에서 제조되는 암모니아 기반 수소추출설비에 대한 안전기준의 합리화가 필요하다.

본 연구에서는 현장설치형 암모니아 수소추출설비 주요부품(개질기, PSA 등)의 분석을 통하여 위험요소를 도출하였으며, 암모니아 수소추출설비의 국내·외 기준 분석을 통해 안전기준의 적용 방향을 검토하였다. 또한, 현장제조형 암모니아 수소추출설비의 운전 특성을 고려하여 질소산화물배출량, 자동차단 밸브 등의 검사 항목에 대해서 합리화를 진행하였다. 이러한 연구 내용을 바탕으로 KGS Code의 개정 방향을 도출하여 일부 사항에 대해 개정을 진행하였다.

본 과제의 최종 목표는 현장제조형 암모니아 기반 수소추출설비에 대한 KGS Code 재정 및 개정 방향을 도출하여 수소산업의 발전과 암모니아 기반 수소추출설비의 보급 및 안전기준 향상에 기여하는 것이다.

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

모듈형 암모니아 수소추출설비 위험항목 분석 및 안전항목 개발

맹주희·추지안·정재환[†]
한국가스안전공사 가스안전연구원

Development of Safety Requirements by Analyzing Risk Items for Modular Ammonia-based Hydrogen Generators

Juhee Maeng·Jian Choo·Jaehwan Jung[†]
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
[†]Corresponding author: jung@kgs.or.kr

국내 정부는 지속 가능한 에너지 전환을 위한 핵심 전략으로서 수소경제 활성화 로드맵, 제1차 수소경제 이행 기본계획 등을 발표하며 수소의 생산과 저장, 운송 및 활용에 대한 체계적인 접근을 제시하고 있다. 또한 2023년 5월 수소 안전관리 로드맵 2.0에 따라 암모니아 수소추출설비 등 청정수소 생산설비의 안전기준 개발을 추진하고 있다.

2020년 2월 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」이 제정되면서 KGS AH171(수소추출설비 제조의 시설·기술·검사 기준) 등 5종의 수소용품 상세기준이 제정되었으나 수소추출설비는 도시가스, 액화석유가스, 그 밖에 탄화수소 및 알콜류에 적용범위가 제한되어 있다. 이로 인해 암모니아를 연료로 사용하는 수소추출설비를 사용함에 있어 부식 및 독성가스인 암모니아의 특성을 고려한 기준 마련이 필요한 실정이다. 또한 모듈형 수소추출설비 가동 시 각 설비에 대한 안전 모니터링과, 단위 설비에 이상이 발생했을 경우 해당 설비 및 주변 설비에 대한 추가적인 제어를 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 암모니아 수소추출설비의 노드별 시스템과 모듈 제품 구성에 따른 위험항목 분석 및 국내 및 국외 기준을 검토하여 그에 따른 안전항목을 개발하고 안전기준을 도출하고자 하였다. 본 연구를 통하여 단위 설비의 모듈형 설계 및 설치에 대한 특징을 반영한 암모니아 기반 수소추출설비의 안전항목 개발 및 안전기준 제도화로 수소추출설비에 대한 신뢰성과 안전성을 확보하는 것을 목표로 하며, 수소경제 활성화와 더불어 암모니아 기반 수소추출 기술의 상용화를 촉진하여 향후 청정수소 생산을 위한 수소추출설비 보급 활성화에 기여하고자 한다.

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

수소 혼입 환경에서 연소기 성능평가에 관한 고찰

조영광[†]·신현국·정승균·하상준
한국가스안전공사 가스안전연구원

Consideration on combustor performance evaluation
in a hydrogen mixed environment

YEONGGWANG JO[†]·HYUNGOOK SHJIN·SENUNGGYUN JUNG·SANGJUN HA

Korea Gas Safety Corporation, Gas Safety R&D Institute
1390 Wonjung-ro, Maengdong-myeon, Eumseong-gun, Chungcheongbuk-do, 27738, Korea
[†]Corresponding author: jyg202@kgs.or.kr

기후변화 문제 해결을 위해 온실가스 감축은 선택이 아닌 필수가 되었다. 정부는 세계 온실가스 감축 목표(2030 NDC)를 달성하려는 방법의 하나로 기존 도시가스 배관망 내의 수소를 혼입하여 발생하는 이산화탄소 발생량을 줄이려는 목표를 갖고 있다. 도시가스를 최종 소비하는 연소기의 경우 수소가 혼입될 때 연소속도 증가로 인한 역화의 가능성이 존재하고 도시가스에 비하여 상대적으로 크기가 작은 수소로 인하여 기존 연소기에서 누출 가능성도 존재한다. 따라서 국내외 수소 혼입 사례와 검사기준을 분석하여 수소로 인한 주요 성능변화를 평가할 수 있는 시험방법 및 설비의 개발이 필요하다. 본 발표에서는 국내외 수소 혼입 사례 및 검사기준 분석 결과를 공유하고 수소 혼입으로 인한 추가 시험방법을 제안하고자 한다.

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

초저온 기체 수소 제트 누출 실증 실험을 위한 기체 수소 제트 확산성 및 복사열 고찰

김정민·김승환·주원돈·강승규[†]
한국가스안전공사 가스안전연구원

Study on Gas Dispersion and Heat Radiation of Hydrogen Gas for An Experiment of Low Temperature of Gas Hydrogen Jet

Jungmin Kim·Seunghwan Kim·Weondon Joo·Seungkyu Kang[†]
Korea Gas Safety Corporation Institute of Gas Safety R&D
[†]Corresponding author: skkang@kgs.or.kr

기후 위기에 이산화탄소 배출을 감소시키기 위한 다양한 노력이 진행되고 있다. 그 방안의 일환으로 기존 탄화수소를 수소로 대체하려는 움직임이 있으며 연료 전지, 수소 혼입 등 다양한 방식으로 활용하고 그 성과가 나오고 있다. 하지만 수소 생산 지역과 사용 지역이 달라 증가하는 수요에 맞추어 효율적인 운송과 저장이 필수적이다. 도시가스과 같이 파이프라인을 활용하여 수요처에 공급하는 방식이 있을 수 있지만 수요량이 충분하지 않은 지역의 경우 경제성이 만족하지 않는다.

해결 방안으로 기체 수소가 아닌 액화수소를 수소의 운송 및 저장에 활용하는 것이 논의되어 실용화 단계로 들어서고 있다. 하지만 액화수소는 취성을 가지는 초저온의 가연성 물질로 취급과 사용에 상당한 주의와 많은 이해를 필요로 한다.

본 연구는 액화수소를 상용화하기 위한 연구 중 하나로 액화수소 제트 누출에 따른 확산 현상과 화재 발생 시 어떠한 물리적 현상을 알아보기 위한 실증 실험을 설계하고 있다. 실증 실험은 노즐 직경이 1, 2, 3, 4, 5 mm에 누출 압력이 1, 2, 3, 4, 5 bar로 설계되고 있으며 본 논문은 실험 조건에 따른 초저온 수소 가스의 제트 확산과 화염을 계산하고 이를 측정 영역의 설계에 반영하고자 한다. 계산 결과 제트 누출 확산은 LFL 4% 기준 수평 길이로 1.95 ~ 12.76 m, 수직 높이 0.12 ~ 0.85 m 까지 확산되는 것으로 계산되었다. 제트 화염의 화염 길이가 0.923 ~ 5.541 m 까지 형성이 되었으며 대부분의 화염이 누출 지점에서 수평으로 1/3 지점 이후 급격하게 상승하는 결과를 보였다. 하지만 계산 결과에서 1 ~ 2%의 농도의 경우 수평방향으로 최대 40 ~ 45 m 까지 훨씬 넓은 영역으로 확산되었다.

** 본 연구의 결과는 향후 정리되어 실증 실험의 측정 영역의 각종 측정 장비의 적절한 배치와 이를 거치하기 위한 구조물의 설계 반영에 활용될 계획이다.

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

LPG 소형저장탱크 안전성 향상을 위한 연구

박요한·하상준[†]

한국가스안전공사 가스안전연구원

Research to Improve The Safety of LPG Small Storage Tanks

YoHan Pak·SanJun Ha[†]

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

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

LPG 소형저장탱크는 액화석유가스의 안전관리 및 사업법 시행규칙 제2조에 따르면 액화석유가스를 저장하기 위하여 지상 또는 지하에 고정 설치된 탱크로서 그 저장능력이 3톤 미만인 탱크를 말한다. 별크로리를 이용하여 소형저장탱크에 LP가스를 공급하는 방법은 기존에 LPG 용기로 공급하던 방식과 비교하여 LP가스 공급 주기가 길어져 비용 등을 절감할 수 있어 경제성이 뛰어난 것으로 알려져 있다. 이러한 배경으로 최근 5년간 소형저장탱크의 수량은 2018년 약 81,000개에서 2022년 말 기준 약 170,000개로 크게 증가하여 전국에 보급되어 있는 상황이다. 수많은 양의 소형저장탱크가 보급되면서 최근 5년간 매년 0.8건의 유사한 사고가 발생하고 있다. LPG 소형저장탱크 설치 및 보급 확대에 따른 국민 생활과 밀접한 가스시설의 위험성에 대한 철저한 관리 및 문제점 개선 등 안전관리 사각지대 해소를 위한 대책이 필요하므로 본 연구를 실시 하였다.

최근 5년간 사고에 주요 원인은 크게 3가지로 나타난다. 첫 번째는 LP가스를 충전시 액체라인으로 충전을 하지않고 기체균압관으로 불법 충전하여 과충전(85% 초과)되는 현상이 발생하였다. 두 번째는 충전시, 액 분출구에서 충전되는 액이 비산되어 기체 인출관으로 직접 유입되는 현상이 발견되었다. 세 번째는 조건부 원인으로 액유동, 액팽창, 재액화 등이 나타났다. 두 번째 원인인 액 비산은 소형저장탱크 내 과충전방지장치의 액분출구 구조 개선을 통해 과충전방지장치의 성능을 개선할 수 있다고 보여진다.

소형저장탱크의 충전구는 두가지 타입인 ACME 타입과 셰이프티커플링 타입으로 나뉜다. 현재 두가지 충전구에 대한 제한은 없으므로 저장량 500kg 미만은 ACME 타입, 500kg 이상은 셰이프티커플링 타입으로 충전구로 구성되어 있다. 이로인해 서로 다른 충전구를 가진 탱크를 충전하기 위해 어댑터를 필수적으로 사용해야 한다. 규격이 상이함에 따라 충전구 일원화에 대한 고려가 필요하며, 일원화 시 소형저장탱크로 LP가스 공급시 어댑터 사용을 해결할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 소형저장탱크 충전구 일원화를 고려하여 기준(북미 UL2227, 일본 JLPA 202-3) 및 현장데이터 수집을 통해 두 규격의 장 단점을 분석하였다. 소형장탱크 보급이 증가함에 따라 충전과정에서 발생하는 사고를 방지하고, 개선안 제시하고자 한다.

위험물 혼촉발화에 관한 실험사례 소고

현성호

경민대학교 소방안전관리과

A Review of Experimental cases regarding mixed ignition of dangerous materials

SeongHo Hyun

Dept. of Fire Protection Safety Management, Kyungmin Univ

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

대학에 소방안전관리과가 처음 설치된 건 지난 1987년이었으며, 당시 소방안전관리과에서 “위험물질론”을 강의하는 교수자 입장에서 위험물이라는 교육과정은 다소 생소할 수 밖에 없었다. 교수자들의 학부시절 대학에서는 위험물질론을 강의하는 곳이 전국에 단 한군데도 없었기 때문이다. 당시 소방법에서 위험물에 대해 “대통령령이 정하는 인화성 또는 발화성등의 물품”이라고 정의하고 있었다. 위험물은 화학 또는 화공의 베이스가 있어야 학습할 수 있는 과목이다. 그럼에도 불구하고 당시 위험물을 제대로 가르치는 곳이 없었고, 교재도 많지 않아 교수자가 위험물질론을 강의해야 하는 입장에서 강의자료를 수집하는데 어려움이 많았던것도 사실이다. 1984년 당시 중앙소방학교에서 위험물교관이 소방공무원을 대상으로 유별 위험물의 혼재금지에 대해 강연도중 적정량 이상의 양을 사용하여 실험교육을 지향하던 중 사고가 발생한 이후로 일선 지방소방학교에서는 신입소방관 및 재직소방관에 대한 위험물교육을 실험중심보다는 이론중심으로 시행하게 되었다.

따라서, 본 연구에서는 위험물안전관리법에서 규정하고 있는 혼촉발화에 대한 실험 재현사례를 통해 교육 및 위험물을 취급 및 제조하는 현장에서 위험물 또는 화학물질로 인한 화재시 적절하게 대응할 수 있는 지식기반의 교육 기초자료를 얻고자 한다.

알코올류 함유량(wt%)에 따른 연소특성에 관한 연구

차정민·김인범·이용재·현성호[†]
경민대학교 소방안전관리과

A Study on the Combustion Characteristics of Alcohol Concentration

Jung-Min Cha·In-Beom Kim·Yong-Jae Lee·Seong-Ho Hyun[†]
Dept. of Fire Protection Safety Management, Kyungmin University
[†]Corresponding author: shhyun@kyungmin.ac.kr

산업 및 실생활에서 많이 사용되는 알코올류는 단일 물질의 상태로 사용될 뿐 아니라 대부분 수용액의 형태로 많이 사용되고 있다. 따라서 알코올류 함유량(wt%)에 따른 위험성을 판단하는 기준이 필요한 실정이다.

국내의 경우 위험물안전관리법령에서 제4류 위험물 알코올류로 지정수량은 400L로 규정하고 있으며 알코올류의 판정 기준은 탄소원자의 수가 1개부터 3개까지인 포화 1가 알코올 중 알코올의 함유량이 60 wt%를 초과하는 수용액으로 한정하고 있다. 또한 가연성액체량이 60 wt% 미만인 알코올류의 경우 인화점 및 연소점이 에틸알코올 60 wt% 수용액의 인화점 및 연소점을 초과하는 경우 위험물안전관리법령상 알코올류에서 제외하고 있다. 또한, 제1석유류 수용성과 지정수량이 동일함에도 불구하고 별도의 품명으로 규제하고 있는 것이다.

따라서 본 연구에서는 위험물안전관리법령상 알코올류에 해당하는 메틸알코올, 에틸알코올, 프로필알코올, 이소프로필알코올의 함유량(wt%)에 따른 실험적 연구를 통해 인화 위험성을 확인하고 인화성액체의 위험성평가 지수 중 하나인 인화점 거동변화를 검토하여 현행 위험물안전관리법령의 알코올류 판정 기준에 대한 세부 기준의 실효성 및 위험물 판정기준의 타당성 확보의 기초자료로 활용하고자 한다.

유해화학물질 분류를 위한 AI 판독 프로토타입 구축방향에 관한 연구

김태훈

한국소방안전원

Research on the direction of building an AI reading prototype for classification of hazardous chemicals

Taehoon Kim

Korea Fire Safety Institute

Corresponding author: koriarky@kfsi.or.kr

I. 서론

국내의 화학산업은 지속적으로 성장하고 있으며, 많은 종류의 상업용 화학물질이 유통 및 사용됨에 따라 화학적 사고 또한 증가하고 있다. 화학물질로 인해 발생한 사고는 누출, 폭발 또는 화재 등으로 나눌 수 있는데, 탄화칼슘과 같은 물질은 반응성질로 인해 폭발할 수 있으므로 화재진압 시 물이 아니라 석회나 염화나트륨을 사용해야 하는 등 물질별 대응방안을 달리해야 한다. 또한, 화학물질로 인한 사고는 그 피해를 줄이기 위해 사고 발생 후 물질의 확산 상황에 따른 대피경로나 대응방법 등을 결정해야 한다. 화학물질 사고에서 대피와 대응방안을 결정하기 위해서 가장 시급한 것은 사고 물질이 어떤 물질인지를 파악하는 것이 될 것이다. 특히, 유해화학물질의 누출 또는 화재가 발생하면 소방대원의 인명사고를 줄이기 위해 화재가 잦아들기를 기다리거나 원인이 되는 물질이 파악되기 까지 원거리에서 대기해야 하는 상황이 발생한다. 그러나 이로 인해 발생한 지연시간은 민간의 피해발생 가능성을 확대할 것이다.

본 연구에서는 사고발생 현장과 이격된 거리에서 영상을 확보하여 이를 통해 AI 서버에서 원인 물질을 파악하며 그 판독 결과를 웹상에 나타내는 프로토타입 시스템을 제안한다. 영상의 촬영은 앱으로 하며 결과에 대한 표출은 웹으로 작성한다. 제안할 프로토타입 시스템은 확보된 영상부분, 판독된 물질 부분, 결과 표출 부분으로 구성한다. 물질의 판독은 WAS 서버, 유해화학물질 분석 서버, 데이터베이스 서버, WEB 서버로 구성된다. 프로토타입 시스템에서는 3종류의 물질을 테스트하여, 학습된 AI 모델을 거쳐 도출된 결과가 신뢰성을 갖는지 확인하고 이를 활용하는 방안을 모색하고자 한다.

II. 본론

유해화학물질 판독을 위해서는 영상 데이터를 수집해야 하는데, 이는 화학물질 사고발생 시 쉽게 촬영이 가능한 모바일 폰을 사용한다. 모바일 폰의 앱을 통해 확보된 사고 동영상은 WAS 서버를 거쳐 유해화학물질을 분석하는 AI 서버로 전달이 된다. 촬영된 영상정보에 대한 ID는 DB서버에서 자동으로 부여

하며, 앱을 통해 전송된 정보는 영상이 촬영된 날짜, 시간 및 좌표를 포함하여 송부한다. 서버에서는 전달된 영상에서 확보된 촬영일, 시간, 장소에 대한 정보를 이용하여 이를 기상청 단기예보 API를 통해 해당 지역, 해당 시간대의 기상정보를 수집하고, 이것을 촬영된 영상정보 테이블에 함께 저장하게 된다.

저장된 영상은 해당물질에 대한 판독을 하기 위해 WAS서버에서 유해화학물질 분석서버로 요청을 하게 되며, 분석이 요구된 영상은 유해화학물질 분석서버에서 이미지로 분해된다. 유해화학물질 분석서버는 1차적으로 각 이미지를 훈련된 AI 알고리즘을 통하여 이미지 속에 있는 객체를 탐지하고, AI 학습모델은 컨볼루션 신경망(Convolution Neural Network, CNN)을 기반으로 주어진 이미지나 영상에서 객체의 클래스를 예측하고 위치를 추정하였으며, Bounding Box 기법과 Polygon 기법을 활용한 라벨링 방법으로 Object Detection을 수행하였다. 학습된 AI 모델을 이용하여 분석요청을 받은 영상 속의 물질이 어떤 물질에 가장 근접한지를 파악하며, 그 결과를 다시 회신하여 DB서버에 저장하게 된다.

유해화학물질 분석 서버에서 모든 이미지의 객체 탐지가 종료되면 물질의 판독을 결정해야 한다. 판독된 물질은 촬영된 사고영상의 각 이미지 프레임을 확인하여 특정 물질로 인식한 신뢰도를 산출하게 되며, 산출된 신뢰도에 따라 TOP3를 결정해 DB서버에 저장한다.

WAS 서버에서는 분석된 결과를 DB 서버로 요청하여 이를 WEB 서버로 전달한다. WEB 서버는 분석 결과를 최종적으로 관리자용 웹 페이지에 표출하게 된다. 분석 결과는 3개의 영역으로 구분하여 구성한다. 첫 번째 영역은 폰으로 촬영되어 전송받은 영상이 재생되면서 객체에 대한 탐지 상황도 같이 보여준다. 여기에서는 이미지의 프레임수와 각 프레임의 신뢰도 및 각 프레임에서 물질에 대한 판독 결과를 누적인식 결과로 표출한다. 영상으로부터 현 시점까지 인식된 판독물질의 분포 비율 및 물질명을 함께 출력해 준다. 두 번째 영역은 판독결과에 따라 인식된 물질의 NFPA 위험성 코드, CAS 번호, 신뢰도, 물질상태, 물질의 색상 및 냄새, 화재폭발 가능성 등의 속성 정보를 표현한다. 세 번째 영역은 사고위치 정보와 날씨 정보를 표출하며, 위치와 날씨에 따른 확산형태를 지도위에 표현한다. 소방 관계자는 이를 활용하여 상황에 맞는 대피요령과 진압방법을 확인할 수 있다.

III. 결 론

본 연구에서는 AI융합 유해화학물질 판독 시스템을 운영하기 위한 프로토타입 시스템 개발을 제안하였다. AI판독 시스템에 대한 프로토타입은 사고현장에서 촬영된 영상을 입력하고, 이를 WAS 서버를 통해 유해화학물질 분석서버에서 해당물질에 대한 판독을 수행하고 그 결과를 WEB 서버를 통해 관리자용 웹 페이지에 표출하는 시스템이다. 제안된 프로토타입 시스템에서는 3가지 물질에 대한 판독시험을 실시하였으며, 소방관과 일반인을 대상으로 국제소방안전 박람회에서 평가를 실시하여 보았다. 평가결과는 물질 판독에서 100%의 정답을 도출했으나 영상을 유해화학물질 분석 서버로 보낸 후 웹 페이지에 표출하기까지 10초 정도의 지연시간이 발생하여 느리다는 결과를 받았다.

개발된 프로토타입 시스템은 3가지 물질에 대해서만 판독결과를 표출하고 있으므로 향후 유해화학물질 종류를 추가하여 개발해야 한다. 또한, 개발된 프로토타입 시스템은 유해화학물질의 시각적 요인 중 색상에만 의존하는 시스템이므로 TOP3의 판독 결과의 신뢰도를 높이기 위한 알고리즘이 추가로 연구되어야 한다.

Keywords : Artificial Intelligence, Hazardous Chemicals, Chemical Accident

Acknowledgment

This thesis is a research conducted with the support of the National Fire Agency, funded from the National IT Industry Promotion Agency(NIPA).

위험물 분야 자격체계 개선 방안 연구

황종록

경민대학교

Research on ways to improve the qualification system in the field of dangerous goods

Jong Rok Hwang

Kyungmin University, 545 sebu-ro, Uijeongbu, KOREA

경제가 발전하고 국민소득이 높아질수록 생명과 건강한 삶에 대한 관심이 증가하고, 화학물질사고가 발생함에 따라 위험물안전관리에 대한 중요도가 증대되고 있으며, 정부에서는 지속적으로 안전관리, 환경, 보건 등에 대한 관심과 재해예방을 위해 기존의 소방법령에서 위험물관련 분야를 별도로 분리하여 「위험물안전관리법」을 제정하였다.

국내 위험물 관련 있는 산업으로는 위험물(제1~6류)의 제조, 저장, 취급 전문업, 도료제조, 고무제품 및 플라스틱제품 제조, 화장품제조 염료제조와 같은 화학물질 및 화학제품제조업 등에서 지정수량 이상의 위험물을 취급하는 산업군으로 분류하고 있으며, 전국 위험물 제조소 등의 현황(22년도 기준)은 제조소 2,523개소, 취급소 24,589개소, 저장소 82,000개소 등 총 109,112개소가 있는 것으로 조사 되었다¹⁾.

이들 위험물제조소등에 대하여 위험물안전관리 업무수행을 통한 화재, 폭발 등 재난으로부터 인명 및 재산을 보호하기 위해 관련 법령에서는 “위험물안전관리자” 선임 근거를 마련 위험물안전관리자선임자 58,595명이 선임되어 있으며, 그 중 국가기술자격 취득자는 32.3%인 반면 안전교육수료자 등 기타 자격 선임자가 67.7%를 차지하고 있다.²⁾

이와같이 위험물 관련 산업규모의 지속적인 확대, 전문인력에 수요 증대, 관련 교육기관의 확대 추세에 있으나, 위험물과 관련한 국가기술자격 체계는 1974년 국가기술자격법 제정 이래 현재까지 변화 없이 기능장, 산업기사, 기능사 등급체계를 유지하고 있어 교육 및 산업현장과 괴리, 위험물 분야 경력개발 경로 제한 등의 요인을 가지고 있으며, 가스, 산업안전 등 타 분야의 자격 종목 등급체계와도 차이 등 문제점들이 도출되고 있다.

위험물 취급, 제조, 저장과 관련한 전문인력 배출 및 안전관리 체계의 고도화를 위해서는 위험물안전관리자에 대한 직무수준의 재정립을 통해 국가기술자격 등급 체계의 세분화 등의 개선책 마련이 필요하다.

위험물 #국가기술자격

1) 2023년도 위험물통계자료(소방청) 6p 참조

2) 2023년도 위험물통계자료(소방청) 65p참조

리튬전지 사업장의 화재예방 교육 강화에 대한 연구

김지훈·류성목
한국RMC

A Study on the Reinforcement of Fire Prevention Education in Lithium Battery Workplaces

Kim Ji Hoon·Seongmok Ryu
KoreaRMC

† Corresponding author: rmcgood@krmc.kr

2024년 6월 24일, 화성시 일차 리튬 전지 업체 공장 내 3동 2층에서 발생한 화재사고로 인하여 23명의 사망자가 발생하였다. 화재 발생 원인으로서는 원통형 리튬 배터리 약 3만5천개에서 급격하게 연소가 발생하여 ‘열폭주 현상’이 시작된 것으로 조사되었다.

이러한 리튬의 경우 「위험물안전관리법」에 따라 ‘제3류 자연발화성물질 및 금수성물질’로 정의되어 있다. 하지만, 리튬이 배터리에 적재되면 금수성물질의 특성으로만 보기 어렵다. 이에 일각에서는 금속 화재에 사용하는 D급 소화기가 리튬이온 배터리의 소화에 적응성이 있는 것으로 무분별한 홍보가 되고 있는 실정이다. 허나, 리튬이온 배터리 화재의 경우 양극재와 음극재, 분리막, 전해질 등으로 구성된 배터리에 열적 또는 물리적 충격이 가해져 온도가 상승하면 분리막이 분해되면서 쇼트가 발생하는 원리이다. 배터리의 경우에는 화재라기 보다는 열폭주 현상에 가깝기 때문에 배터리의 온도를 낮추는게 중요하며, 이를 위해 물을 주수하여도 외부 케이스로 밀봉되어 있고 화재로 배터리에 틈이 발생하여도 물의 표면장력 때문에 배터리 내부로 물이 침투 되기에는 어려움이 있다. 이를 위해 특정 소화기가 아닌 일반화재에 적응성이 있는 소화기를 분사하여 1차 진압 또는 제어를 통해 주변으로의 2차 피해를 방지할 수 있다. 이러한 배터리의 특성상 초기 대응이 실패할 경우에는 배터리 내부 전해질의 열에너지로 인해 내부 전해질이 모두 소진될 때까지 지속적인 발화로 주변으로 피해가 확산될 가능성이 매우 높다.

배터리의 특성 및 적응성에 대해 근로자에게 정보 전달이나, 맞춤형 교육이 이루어지지 않다 보니, 일상에서의 주의점과 비상시 대응 방안에 대해 인지하지 못하여 근로자의 피해가 발생되고 있고, 추후 피해가 증가될수 있다. 사전에 배터리의 특성 및 적응성에 대한 근로자 교육을 통해 적재 방법과 관리 방안을 인지하고 있다면 화재 발생 빈도를 줄일 수 있고, 발생하더라도 배터리 화재의 초기 진화를 통해 주변으로 피해확대를 미연에 방지하여 근로자의 피해를 최소화 할 수 있다.

이에, 전지 업체 공장의 경우 리튬이온 배터리의 특성 및 적응성에 대한 관계 근로자 교육이 필요한 것으로 판단된다. 화재안전과 관련된 「화재의 예방 및 안전관리에 관한 법률」 제 37조(소방안전관리대상물 근무자 및 거주자 등에 대한 소방훈련 등)에 의거하여 교육을 실시하고 있지만 그 내용이 소화·통보·피난 등의 훈련으로 명시되어 있어 구체적이지 않은 실정이다.

관계법령인 「산업안전보건법」의 경우 제114조(물질안전보건자료의 게시 및 교육)에 의거해 물질안전보

건자료 16개 항목에 대한 구체적인 교육실시 조항을 명시하고 있다. 이는 공급처에서 제공하는 내용으로 물질 및 제품에 대한 이해도, 폭발·화재 시 대처방법(적절한 소화제, 화재진압 시 착용 보호구 등) 등을 명시하고 있다.

이에 따라, 전지 업체 공장에서도 물질의 특성과 그와 관계된 예방조치 교육을 필수화함으로써 근로자의 화재예방 능력 향상에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

XRF(X-Ray Fluorescence)를 활용한 발화지점 추정

박성희
의정부소방서

Determination of Ignition Point Using XRF Analyzer

Sung-Hee Park
Uijeongbu Fire Station

Ignition point means the room or area where the fire started. This means the exact physical position in which heat sources and combustibles come into contact with each other and start the fire. Ignition point in fire investigation is a very important point of investigation in deducing the cause of fire and securing evidence. The inspection of the fireplace will estimate the fire point by compiling the fire traces left by the movement of flames and smoke, such as loss of buildings, carbonation and department stores. But the reality is that building such as sandwich panel, structural steel and concrete, when fully burned, are hard to find not only the ignition point but also the direction of Combustion. Therefore, in this study, the ignition point due to the material element change was estimated by understanding the characteristics of metals and alloys of steel structures through non-destructive(XRF) analysis and analyzing the metallic elements due to combustion of steel structures. The ignition point was estimated through elemental analysis of scientific building materials instead of the subjective identification method of individuals.

As a result, the main component of sandwich panel and structural steel was iron(Fe), and main component of concrete was calcium(Ca). Observing changes of iron element, the content increased closer to the ignition point in sandwich panel and structural steel, calcium decreased closer to the ignition point. In addition, analysis of the relationship between distance and the element of the main component using the statistical program(SPSS) show that the P value is very significant.(<0.05)

**** Keywords :** Ignition Point, Element of building materials, XRF Analyzer

* E-mail : shpark10@gg.go.kr, Fire investigator, Uijeongbu Fire Station

디지털 트윈을 활용한 원전의 노심손상빈도 저감 요소에 관한 연구

최두찬·황현수·김상일·임정삼·오수민·양현혁·고민혁[†]
한방유비스(주)

A Study on Factor to Reduce Core Damage Frequency using Digital Twin in Nuclear Power Plants

Doo-Chan Choi·Hyun-Soo Hwang·Sang-Il Kim·
Jeong-Sam Lim·Su-Min Oh·Hyeon-Hyeok Yang·Min-Hyeok Ko[†]
Korea Fire Protection UBIS CO.,Ltd
[†]Corresponding author: kmh4271@kfubis.com

원자력발전소에서 발생하는 특정 화재 시나리오에 대한 위험성을 평가하기 위해, 주기적으로 화재 확률론적 안전성 평가(Fire-PSA)를 수행하게 된다. 원자력발전소의 Fire-PSA는 발전소 내부 방호구역에서 발생 가능한 특정 화재시나리오를 대상으로, 화재 심각도와 화재 진압실패확률, 조건부 노심손상빈도를 고려하여 화재사고로 인한 노심손상빈도를 정량적으로 평가하고 있다. 이는 가동 중인 원자력발전소의 화재 안전성 강화를 위한 예방 및 대응 전략을 계획하는데, 매우 중요하게 사용될 수 있다.

본 연구에서는 화재방호시스템과 화재특성정보 데이터베이스가 구축되었으며, 이는 원자력발전소의 화재 확률론적 평가에 있어 특정 화재시나리오를 대상으로 화재진압실패확률과 화재 심각도에 영향을 미칠 수 있다고 판단된다.

이에 화재진압실패확률은 화재방호시스템의 종류에 따라, 미국 EPRI의 NSAC-179에 제안된 확률 값이 존재하며, 이를 디지털 트윈을 통해 관리/제어할 경우 사전 예방/관리를 통해 0에 수렴될 수 있다고 판단된다. 그리고 화재 심각도는 원전 내부에서 가장 많이 구성된 케이블/캐비닛을 대상으로, 50여년 전부터 구축된 미국 NRC 보고서보다 더욱 발전된 소재/제조 기술을 반영하는 최신화/한국화된 DB를 적용할 경우에 화재 위험성을 대폭 감소시킬 수 있다고 판단된다.

본 연구에서는 현재 가동 중인 원전의 화재 안전성을 평가하기 위해 적용되는 노심손상빈도(CDF)를 저감하는 것을 목표로 하여, 디지털 트윈 기반의 화재방호시스템과 원자력발전소 가연물에 대한 화재특성정보 데이터베이스(DB)가 구축되었다. 이는 특정 화재 시나리오에서 화재진압실패확률과 화재 심각도를 저감하는데 기여될 것으로 기대된다.

^{**} 본 연구는 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (20224B10200110, 국내 원전 화재사고 저항성 강화기술).

화재사례를 통한 플랜트 제·배연설비에 관한 연구

최두찬·김상일·김희문·김석운·최한빛·고민혁[†]
한방유비스(주)

A Study on Plant Facility Smoke Ventilation Systems through Fire Case

Doo Chan Choi·Sang Il Kim·Hee Moon Kim·
Suck Un Kim·Han bit Choi·Min Hyeok Ko[†]
KF UBIS CO., Ltd

[†]Corresponding author : kmh4271@kfubis.com

최근 발생한 1차 리튬전지 공장 화재는 1차 폭발 이후 42초 만에 가시도가 확보되지 않을 정도로 화재 전파속도가 매우 빨랐다. 이로 따라 사망자 23명, 부상자 8명인 대형화재로 이어졌다. 공장의 경우 타 특정소방대상물에 비해 규모가 크고 적재물 즉, 가연물의 종류에 따라 화재의 성상이 달라질 수 있다. 따라서 공장이나 플랜트 시설물 등 대규모의 시설물들은 스프링클러나 소화기 등의 소화설비로 인해 화재를 조기에 진압하고 피난시간을 확보하기에는 역부족이다. 이에 본 연구에서는 특정소방 중 대규모 시설물이면서 타 특정소방대상물에 비해 화재확산으로 인한 피해규모가 큰 플랜트 시설물의 현황을 확인하고, 플랜트 시설물의 국내·외 화재사례를 비교·분석하여 국내 적합한 해결방안을 제시하고자 한다.

플랜트 시설물은 현행법상 별도의 규정이 없고 「건축법 시행령」과 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행령」에 따라 공장, 위험물 저장 및 처리 시설, 발전시설 등에 속한다. 국가화재통계시스템에 따르면 최근 5년간 국내 공장 및 위험물 저장 및 처리 시설, 발전시설 등의 화재 건수는 전체 화재 건수의 5% 이상을 차지하고 있으며 그중 공장시설이 96% 이상을 차지하고 있다.

지난 30여 년간 발생한 국내·외의 플랜트 시설물의 대형화재사례를 살펴보면, 소방대의 진입이 어렵거나 공정에서 사용하는 연료 등의 비점(沸點)이 낮은 경우, 또는 연쇄 작용으로 인해 증기운 폭발 및 BLEVE 등이 발생한 경우이다. 이처럼 비슷한 공정일지라도 플랜트 시설물에서 화재가 발생하는 원인은 매우 다양하다. 따라서 국내 플랜트 시설물 및 대규모 시설물에서 피난시간을 확보하기 위해서는 공장 및 플랜트 등에 대한 규제화가 요구되며, 초기소화설비를 구축하는 것에서 멈추는 것이 아닌 피난시간을 확보할 수 있는 제·배연설비를 설치하는 것이 바람직하다고 판단된다. 현재 플랜트 시설물에서 사용되고 있는 제·배연 설비는 대부분의 경우 공조덕트와 제연덕트를 동시에 사용하는 겸용방식을 사용하고 있다. 이러한 부분을 해결하고자 본 연구에서는 겸용방식에서 활용할 수 있는 제·배연 댐퍼를 개발하여 이를 해결하는 방안을 제시하고자 한다.

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

물류시설 화재안전 기반정보 구축지침안에 관한 연구

최두찬·손은수·주유빈·고민혁[†]
한방유비스(주)

A Study on the Establishment Guidelines for Fire Safety Information in Logistics Facilities

Doo Chan Choi·Eun Soo Son·Yu Bin Joo·Min Hyeok Ko[†]
KF UBIS CO., Ltd

[†]Corresponding author: kmh4271@kfubis.com

E-Commerce 시장이 성장함에 따라 물류시설이 급증하고 규모가 대형화됨으로써 내부에 적재하는 물건의 양이 많아지고 매년 1,000여 건 이상의 화재가 꾸준히 발생하고 있다. 이에 따라 물류시설에 대한 화재 안전성을 강화하기 위하여 연구 및 실험이 진행되고 있으며, 2023년 10월 창고시설의 화재안전성능기준(NFPC 609)과 2023년 12월 창고시설의 화재안전기술기준(NFTC 609)이 제정되었다.

본 연구는 물류시설의 특성을 반영하여 건축물 일반현황, 보관/적재분야, 운영현황, 건축방화 분야, 피난시설 분야, 냉장·냉동창고 분야로 6가지로 분류하여 화재안전 기반정보 체크리스트를 개발하였다. 건축물 일반현황은 건물의 연면적과 층별 용도 등 건축물의 개요를 나타내어 화재 예방 및 대응 규모를 파악할 수 있고, 보관/적재 분야는 방화구획별 랙의 크기 및 적재물품의 종류, 적재형태, 인렉스프링클러 설치여부, 메자닌의 유무 등을 나타내어 화재위험요소를 파악할 수 있도록 한다. 운영현황은 각 층별 근무인원, 소방대 및 행정기관과의 거리를 나타내어 인명구조 및 피난계획 수립이 가능하도록 하고, 건축방화 분야는 방화구획 및 방화셔터의 크기와 건물 내·외장 마감재료를 나타내어 화재확산 가능성을 파악할 수 있도록 한다. 피난시설 분야는 피난설비 설치여부를 나타내어 피난 경로 계획이 가능하도록 하고, 냉장·냉동창고 분야는 냉장·냉동창고에 설치되는 소방설비와 내부 온도 등을 나타내어 화재 대응 방안 수립이 가능하도록 한다. 이와 같이 물류시설의 특성을 반영하여 개발한 체크리스트를 통해 현재까지 국내 물류시설 61개소에 대한 현장조사를 수행하였다. 조사한 내용을 바탕으로 데이터 자동 변환 소프트웨어(S/W)를 개발하여 데이터베이스(DB)를 구축하였고, 해당 DB를 활용하여 일반 건축 평면도에 물류시설 방화구획별 적재형태 및 적재물품, 보관 랙에 대한 사양, 인렉 스프링클러 설치유무, 파렛트 종류, 소화기 배치, 피난동선, 내화구조 성능 등 전반적인 현황을 나타내어 물류시설 관계자와 소방관이 활용할 수 있도록 화재안전평면도로 나타내었다.

향후 물류시설 관계자들이 해당 체크리스트를 통해 물류시설 현장조사를 체계적으로 진행할 수 있도록 물류시설 화재안전 기반정보 구축지침안을 제안하고자 한다.

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

4족 보행 로봇 활용 순간화재 위험 장소 로봇 전술에 관한 연구

손은수·김희문*·김경민**·최두찬†***
한방유비스(주)

A Study on the Use of Quadruped Robots for Tactics in Instantaneous Fire Risk Locations

Eun Soo Son·Hee Moon Kim*·Kyeong Min Kim**·Doo Chan Choi†***

Korea Fire Protection UBIS CO., Ltd

† Corresponding author: cdc4111@kfubis.com

본 연구는 'Unitree' 사의 'Go2 Pro' 4족 보행 로봇을 활용하여 소방용 4족 보행 로봇의 전술적 기능을 향상해 순간화재 및 고위험 장소의 로봇 전술 개발에 대해 연구하였다. 소방 활동 중에 발생하는 다양한 위험 상황에 대응하기 위해 소방 로봇은 Hardware와 Software의 기능성 측면에서 높은 수준의 성능이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 실험용 4족 보행 로봇인 'Unitree Go2 Pro'를 기반으로 소방 로봇의 특성을 분석하고, 수요자의 요구사항 분석을 통해 도출한 고위험 장소인 물류창고, 대규모 지하 시설, 고층빌딩에서의 운용에 대한 방안을 제시하였다.

소방용 4족 보행 로봇의 물리적인 기능을 검토하기 위해 성동구 소재 업무시설에서 실험을 진행하였다. 계단(높이 18cm) 및 경사로(경사각 15°) 돌파, 적재물 하중(5kg, 10kg)에 따른 로봇의 성능 변화, 소방관의 출동을 돕기 위한 추종모드 등의 실험이 진행되었다. 4족 보행 로봇의 통신 기능을 검토하기 위해 최대 운용 거리, 라이다 센서상 유리 벽 및 연기 인식 실험을 진행하였다.

주요 결과로써, 물리적 기능 실험 결과 계단 승월 및 하강 성능은 현장에 투입하기에는 부족한 성능이었고, 경사로 실험 결과 4족 보행 로봇에 장비를 적재 후 TCMV의 하향식 경사로 Lift를 사용하여 현장에 출동하기 위해서는 로봇의 보행 안전성에 대한 성능이 강화되어야 한다. 추종모드 시 로봇과 대원은 후면 추종 방식의 50cm의 간격이 가장 이상적이다. 통신 기능 실험 결과 벽 1개 존재 시 최대 운용 가능 거리는 18.5m로 기존의 운용 가능 최대 거리 대비 80% 감소하였고, 벽이 2개일 경우 통신이 불가능하였다. 라이다 센서를 통한 유리 벽 및 연기 인식 실험 결과 라이다센서를 통한 인식은 불가능하였다. 이번 실험 및 연구를 통해 소방용 4족 보행 로봇의 현장 투입을 위한 로봇의 신뢰성 강화 및 기술적 솔루션 향상에 기여해 최종적으로 순간화재 및 고위험 화재 위험 현장에 효율적인 로봇 운용을 하고자 한다.

** 본 연구는 산업통상자원부/한국산업기술평가관리원 재난 및 위험작업 현장 근로자의 사고방지를 위한 안전 로봇 기술 개발 연구사업(20026194)의 연구비 지원으로 수행된 연구임

원전 전기캐비닛의 열방출률 DB 분석 기반의 화재위험성 평가 - 1부 확률론적 심각도 추정 절차 설계 및 적용 예시

윤가영·박계원^{†*}·신이철^{**}

방재시험연구원 전문위원·방재시험연구원 수석연구원·방재시험연구원 책임연구원

Evaluation of Fire Risk Based on Analysis of Heat Release Rate DB of Nuclear Power Plant Electric Cabinets -Part 1 Example of Probabilistic Severity Estimation Procedure Design and Application

Yoon, Ga-Yeong·Park, Kye-won^{†*}·Shin, Yi-Chul^{**}

Researcher, Fire Insurers Laboratories of Korea·

*Principal Researcher, Fire Insurers Laboratories of Korea·

**Senior Researcher, Fire Insurers Laboratories of Korea

[†]Corresponding author: 25hyun@daum.net

원전 화재는 원자로 정지를 유발함과 동시에 안전정지 또는 다수 기기를 손상시킬 수 있으며, 방사능 유출과 같은 심각한 사고로 발전될 위험성이 있다. 특히 케이블 및 각종 전기부품이 내장된 전기캐비닛이 원전에 대량 배치되어 있으며, 이러한 캐비닛 화재시 전체 시스템 작동에 큰 문제를 야기시킬 수 있기 때문에 전기캐비닛은 원전 화재 안전의 주요 관심사이다.

통상적으로 원전에서는, 전기캐비닛 화재시 전체 시스템의 위험성을 평가하는 ‘화재 확률론적 안전성 평가(probabilistic safety assessment, PSA)’를 수행하며, 그 위험성 평가를 위한 하나의 척도로서 ‘확률론적 화재 심각도(Severity factor)’를 추정 및 적용하는 방법론이 NUREG 2178에서 채택되고 있다. 이러한 화재 심각도는, 캐비닛 화재실험으로부터의 측정된 열방출률(Heat release rate) 데이터들을 그룹핑하여 확률론적 감마분포(gamma distribution)에 의해 추정하게 된다. 그러나 미국 NUREG 보고서로부터 도출된 화재심각도는 국내 원전 캐비닛의 데이터 특이성을 분석한 것이 아니며, 더불어 정형화된 캐비닛 화재시험방법 또한 국제적으로 정립되어 있지 않기에, 결과적으로 국내 화재안전 기술 개발에 기여하기에는 한계를 나타내고 있는 실정이다.

본 연구에서는 한국형 캐비닛의 화재특성 DB 구축 및 화재 심각도 추정을 목표로 하고 있으며, 이를 위해 1) 국내 원전 캐비닛 화재시험 방법을 신규로 설계하였으며, 2) 원전 캐비닛의 형태 특이성(체적, 개구부, 가연물 등)을 기반으로 총 27 클래스의 화재시나리오를 정립하였고, 3) 정립된 화재시나리오 및 신규 시험방법을 토대로 화재 열방출률을 측정하여 실험 DB화 시켰으며, 4) 최종적으로 확률론적 심각도 추정 절차를 개발하여 열방출률 기반의 화재 심각도를 도출하였다. 본 논문에서는 1차적으로 총 27 클래스의 화재시나리오 중 일부의 화재시나리오에 대한 화재 심각도 결과의 보고를 목표로 하였으며, 향후 연구에서는 나머지 클래스에 대한 추가 실험 및 DB구축을 통해 화재 심각도를 그룹핑하고 확률론적 통계분석을 실시할 예정이다. 본 연구를 통해 도출된 전기캐비닛의 화재특성 DB 및 화재 심각도 제시는, 한국형 원전 캐비닛 화재에 대한 안전성 평가에 기여할 것으로 확신한다.

액침 냉각 기반 리튬이온 배터리의 열 관리 최적화에 대한 연구

백승헌·임채완·이선희·마병철^{†*}

전남대학교 화학공학과 석사과정·*전남대학교 화학공학과 교수

A Study on the Optimization of Thermal Management for Lithium-Ion Batteries Based on Immersion Cooling

SeongHeon Baek·ChaeWan Lim·SeonHee Lee·Byungchol Ma^{†*}

Dept of Chemical Engineering Chonnam National University Master's degree

·*Dept of Chemical Engineering Chonnam National University professor

†Corresponding author: anjeon@jnu.ac.kr

전 세계적으로 탄소중립 정책에 따라 리튬 이온 배터리는 화석 연료의 중요한 대체재로 주목받고 있다. 리튬 이온 배터리는 뛰어난 에너지 밀도로 인해 전기 자동차 및 에너지 저장 장치(ESS) 등 다양한 분야에서 사용량이 증가하고 있다. 그러나 이에 따라 리튬 이온 배터리의 화재 및 폭발 사고도 빈번해지고 있다. 이러한 사고의 원인은 리튬 이온 배터리의 높은 에너지 밀도와 용량이 요구됨에 따라 외부의 격렬한 충격, 과충전, 고전류 충전 및 방전으로 내부에 열이 축적되어 열폭주가 발생하기 때문이다. 열폭주는 급격한 온도 상승, 제트 화염 방출, 폭발 등의 현상을 동반하며, 사용자에게 심각한 피해를 초래할 수 있다. 따라서 리튬 이온 배터리의 안전한 작동을 위해 적절한 온도 제어가 필수적이다. 리튬 이온 배터리는 고온에서 작동 시 내부 분리막 분해로 인해 열폭주가 발생할 수 있으므로 15~35℃의 적정 온도 범위에서 작동해야 하며, 배터리 팩의 온도 차는 5℃ 이하로 유지해야 한다. 기존의 온도 제어 방식으로는 공냉식과 수냉식이 존재하지만, 고출력 배터리의 경우 더 정밀한 온도 제어가 필요하다.

본 연구에서는 고출력 리튬 이온 배터리 팩의 온도 제어를 최적화하기 위해 비전도성 액체에 담그는 액침 냉각 방식을 사용하였다. ANSYS FLUENT 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 온도 제어 최적화 연구를 수행하였다. 배터리 모듈의 비전도성 액체 입구 온도와 유속을 변수로 설정하여 배터리의 최대 온도, 셀 내 온도 차, 셀 간 온도 차를 반응표면법(RSM)으로 분석하였으며, 중심합성계획법(Central Composite Design, CCD)을 활용하여 13개의 시뮬레이션을 수행하였다. 분석 결과, 배터리의 최대 온도는 비전도성 유체의 입구 온도에 주로 영향을 받았고, 셀 내 및 셀 간 온도 차는 입구 유속에 주로 영향을 받는 것으로 확인되었다. 최적의 온도 범위에서 작동하기 위한 조건은 입구 온도 24℃와 유속 34 LPM으로 계산되었으며, 시뮬레이션 검증을 통해 5% 이내의 오차를 확인하였다. 이러한 배터리 온도 제어 방식은 배터리 수명과 성능 향상에 효과적이며, 열폭주를 방지하여 사용자 안전성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

리튬배터리 화재 메커니즘 및 화재진화를 위한 소화약제 개발

박신웅·정윤섭*·윤석준**·이용권†***
리멕스(주)*·창해컨설팅**·고려대학교***·리멕스(주)

Lithium Battery Fire Mechanisms and Development of Extinguishing Agents for Fire Evolution

Sinung Park·Yoonsub Chung*·Seok J. Yoon**·Kris Lee†***
LiMEX Corp.·Changhae Consulting^{2*}·KOREA University^{3**}·LiMEX Corp^{4***}
†Corresponding author: snnit@daum.net

최근 들어 리튬배터리 폭발로 인한 화재가 사회적으로 큰 이슈가 되고 있다. 특히 다수의 인명피해가 발생한 ‘중대재해’인 아리셀 공장 화재는 리튬배터리 화재의 메커니즘과 대응 방법에 대해 큰 관심을 불러일으켰다. 리튬이나 리튬 혼합물을 양극으로 사용하는 리튬배터리는 외부 충격이나 과충전 등의 원인에 의해 화재가 발생하게 되면, 내부 온도가 급격히 올라가고 이후 열폭주(Thermal Runaway)가 진행되는 특성이 있다. 열폭주가 진행되면 배터리 내부 화학 반응이 통제 불능 상태가 되고, 또다시 열이 급격히 증가하면서 다량의 흰색 증기(Vapor Cloud)와 화염 및 폭발을 동반한다. 이러한 열폭주 전후에 발생하는 흰색 증기는 배터리 내부의 전해질이 증발하면서 생성되는 가연성 가스와 유해 증기로서, 밀폐된 공간에서 축적될 수 있으며 커다란 폭발로 이어질 수 있다는 치명적 위험성을 가진다. 그러나 이제까지 리튬배터리 화재 시에 사용되어 온 소화기는 배터리 내부의 용융 금속에 대한 ‘금속 화재 소화 기능’과 1,000°C를 웃도는 높은 온도를 빠른 시간 내에 방출시켜 줄 수 있는 ‘냉각 기능’에만 집중하고 있다. 리튬배터리 화재의 독특한 특성을 이해한다면 이러한 기능 외에도 다량으로 발생하는 흰색 증기에 대한 대응이 필요한 것이다. 이에 본 연구는 리튬배터리 화재의 특성과 메커니즘에 대한 이해를 기반으로 리튬배터리 화재 시 금속 화재 소화 및 냉각 외에 흰색 증기에 효과적으로 대응이 가능한 소화약제의 개발 방안을 도출하고자 수행되었다. 금속 소화기의 기술기준에 따른 소화약제 중 염화나트륨, 구리 및 흑연을 비롯한 각종 무기물 소화약제에 촉매 반응 및 건식 흡착 기능을 추가하는 성분을 첨가하고 실용화하는 방법을 채택하였다. NFPA를 비롯하여 KOSHA Guide에서 명시되어 있듯 기존의 소화약제 중 가스계와 수계는 금속 화재 진압에 적응성이 없어 실험에서 제외하였다. 리튬이온 배터리에 사용되는 전해액은 일반적으로 LiPF₆이며, 화재 발생 시 분리막 파괴와 급격한 온도 상승, 그리고 이로 인한 전해액의 화학 반응 및 흰색 증기 발생을 유발한다. 흰색 증기에는 수소(H₂)와 같은 폭발성 가연성 가스 외에도 불화수소(HF), 염화수소 및 사이안화수소와 같은 인체에 치명적인 유독가스와 이산화탄소(CO₂), 이산화황, 산화질소 등의 혼합가스가 다량 포함되어 있다. 흰색 증기의 안전대피농도(IDLH:Immediately dangerous to life or health)는 폭발한계농도(LEL:Lower Explosive Limit) 보다 훨씬 낮으며 화염이 없는 흰색 증기도 위험하므로 신속하고 안전한 대응이 필요하다. 이러한 흰색 증기는 1) 흡착 미디어 물리적 도포와 유지, 2) 유독가스 중화가 가능한 미디어 도포와 유지, 3) 흰색 증기를 안전하게 태우는 확산 방지 차단막 형성 등의 방법을 통해서 효과적으로 대응할 수 있다. 특히 흰색 증기에 포함된 불화수

소를 중화하고 탄산가스 등의 혼합가스를 흡착하는 건식 흡수제 기능은 흰색 증기 대응에 매우 효과적인 것으로 나타났다.

Key Words : 리튬배터리 화재, 열폭주, 흰색 증기, Thermal Runaway, Vapor Cloud,

반도체 전원 화재 현상에 관한 고찰 - 리튬이온전지 화재를 중심으로 -

장민준·김동준^{†*}

경일대학교 G-반도체공정설비학과·*경일대학교 소방방재학부

The study on fire phenomenon of semiconductor power supply -Focusing on lithium-ion battery fire

Min June Chang·Dongjoon Kim^{†*}

Kyungil University

[†]Corresponding author: djkim@kiu.kr

반도체를 활용하는 많은 전자기구들은 리튬이온 배터리를 활용하는 휴대용 전자장비들이다. 이러한 리튬이온 배터리는 최근 전기자동차 수요증가와 다양한 휴대용 전자장비들이 급격히 보급되면서 그 위험성에 관한 관심이 높아지고 있다. 최근 전기차는 2020년 134,962대에서 2023년 543,900대까지 3년 만에 4배 이상 증가하고 있으며, 이에 따라 화재사고 또한 2020년 11대에서 2023년 72대까지 약 6배 이상 증가하고 있다. 이러한 위험성은 증가하고 있으나, 그에 따른 안전성 확보를 위한 노력은 충분하다고 생각되지 않는다.

본 연구에서는 리튬 이차전지에 대한 화재 사고를 예방하고 피해를 줄이기 위하여 기존의 연구 보고서를 분석하여, 위험요소의 발굴 및 대책을 검토하였다.

먼저, 리튬이온전지의 화재위험을 차단하기 위한 현실적인 방법으로는 연소의 3요소 가연물, 산소(산화물), 점화원 중에 점화원을 차단하는 것이 가장 효율성이 높다고 판단하였다.

본 연구에서는 리튬이온전지 화재의 점화원이 될 수 있는 직접적인 원인을 크게 4가지로 구분하였다. 4가지 종류는 기계적 요인, 전기적 요인, 열적 요인, 그리고 내부단락으로 구분하였다.

본 연구는 4가지 관점에서 화재 사례를 조사한 결과를 분석하여 화재원인 및 대책에 대해 정리하였다. 이상의 사례 분석 결과와 동시에 그에 따른 대책을 조사하였다. 본 연구결과는 반도체 산업의 안전적 발전에 도움이 될 것으로 생각한다.

리튬 배터리 화재 대책에 관한 고찰

김동준
경일대학교

Fire loss prevention of lithium battery

Dong Joon Kim

Kyungil University

†Corresponding author: djkim@kiu.kr

최근 리튬 배터리 화재에 관한 사회적 관심이 매우 높아지고 있다. 리튬 배터리는 에너지 밀도가 높고 자가방전이 작기 때문에, 다양한 기기에서 폭넓게 사용되고 있다. 따라서, 매년 리튬 배터리 사용량은 증가하고 있으나, 이와 더불어 불행히도 배터리 화재사고 또한 증가하고 있다. 안전안심 사회구현을 위해 여러분야의 전문가들이 끝없이 노력하고 있지만, 대형 재해를 발생만이 아니라, 작은 화재는 끝없이 지속되고 있는 것이 현실이다.

리튬 배터리는 1970년대에 처음으로 제안되어, 1990년대에 상업적 리튬 전지가 탄생하였다. 지난 30년간 리튬 배터리 산업은 화석연료의 고갈 및 온실가스 배출량 감소라는 사회적 분위기에 발맞추어 급속히 성장되어 왔다. 하지만, 지난 시간동안 급속한 발전에 비해, 그 위험성 파악 및 안전성 확보에 대한 노력은 부족한 것이 현실이다.

기존에 많은 연구가 실시되어 온 것에 비해 지금 현재 안전관리 수준은 그리 높다. 이에 본 연구는 일반 산업 현장에서 다량의 배터리를 사용 시 어떻게 피해를 감소해야할지를 조사하였다.

조사는 국내 문헌과 함께 일본 문헌을 중심으로 조사하였다. 배터리가 열폭주시에 피해 확산을 방지하기 위해, 스프링클러를 활용하는 방안과 열 차단 막을 통한 대책을 소개하고자 한다. 산업현장에서의 위험요소를 인식은 그 무엇보다 중요하다. 그 위험성을 감소하기 위한 대처방안을 정리함으로써, 추후의 리튬 배터리 화재시 피해 감소 대책 확립에 도움이 되기를 기원한다.

점화원에 따른 이온액체의 착화온도에 미치는 영향

김동준
경일대학교

Effect of ignition source on Ignition temperatures of the energetic ionic liquids

Dong Joon Kim

Kyungil University

†Corresponding author: djkim@kiu.kr

최근 세계적으로 우주개발산업에 사회적 관심이 높아지고 있다. 그로 인해, 새로운 소형우주선 개발이 활발히 진행되고 있다. 이와 더불어 최근 새로운 로켓 추진체의 후보물질 중에 하나인 이온액체에 관심이 높아지고 있다.

본 연구는 에너지 이온 액체의 연소특성을 조사하기 위한 기초연구로 로켓 추진체 후보물질인 Ammonium dinitramide & 2-hydroxyethylhydrazinium nitrate 혼합물 (ADN/HENH)과 ammonium dinitramide, monomethyl amine nitrate, urea 혼합물(ADN/MMAN)에 대한 착화온도를 조사하였다. 특히, 점화원에 따른 착화온도변화를 조사하기 위하여, 점화원으로는 전기적 전극과 전기로에 의한 가열을 사용하였다. 이온액체의 온도변화는 열전대로 측정하였다.

실험결과, 점화원의 종류에 따라, 착화온도가 변화하는 것이 확인되었다. 전기 전극에 의한 ADN/HENH와 ADN/MMAN의 착화온도는 155도와 150도로 나타났다. 그에 비해 전기로에 의해서는 195도와 182도로 약 30도 이상의 온도차이가 나타났다.

본 연구에서는 이런 온도차이의 원인을 조사하기 위해, 열분석 실험을 실시하였다. 그 결과, 점화원에 따라, 반응 메카니즘이 변화한 것이 착화온도에 영향을 미친다고 판단된다.

이러한 결과는 로켓 추진체 개발 및 안전관리에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

전기차 리튬배터리 열폭주 지연을 위한 내재형 소화장치의 냉각효과 실험

손준우[†]·박래웅·이권혁·신진원

(주)스탠더드시험연구소

Experimental Study on the Cooling Effect of Built-in Fire Suppression System for Delaying Thermal Runaway of Electric Vehicle Lithium Batteries

John Woo Son[†]·Rae Woong Park·Kwon Heock Lee·Jin Won Shin

Standard Testing & Engineering Inc.

[†]Corresponding author: sonjw@stdte.co.kr

최근 지속적인 전기차 보급 확대와 함께 화재로 인한 손실 및 인명피해에 대한 우려 또한 심화되고 있다. 특히 사고 직후 수 초 이내로 열폭주가 발생할 수 있는 배터리 화재의 경우, 발생 시 외부 진압이 어려우며, 사람이 현장에서 곧바로 대피하기에 시간적 여유가 부족한 치명적인 문제점이 존재한다.

배터리 열폭주 현상은 주로 전극의 내부 단락에 의해 발생하는데, 외부 충격 등에 의한 분리막의 물리적 손상으로 양극과 음극의 직접 대면 시 일어나는 강한 화학 반응열에 기인한다. 이러한 발열 반응이 시작되면 산소 발생으로 인해 발화하게 되고, 주변 셀들의 발화를 일으키는 열폭주로 이어지게 된다. 에너지밀도로 인한 공간적 제약이 큰 전기차 분야에서는 특히 이러한 연쇄 반응에 취약할 수 밖에 없는 실정이며, 현재 학계 및 산업계 전반에 걸쳐 다양한 방식의 해결책이 활발하게 연구되고 있는 상황이다. 그 중 초기 발화를 지연하기 위한 배터리 모듈 내부의 직접 냉각 방식의 높은 효율성이 주목을 받고 있다.

본 연구에서는 전기차 화재로 시 인명피해를 최소화 하고자, 가스계 소화용구가 적용된 리튬 폴리머 배터리의 열폭주 지연 양상을 분석하였다. 전기차 팩에서 모듈 간 난연소재로 구역화 된 모듈을 모사하여 내부의 발화 및 셀 간 열전이를 관찰할 수 있도록 설계하였다. UL 9540A를 준용하여 과충전 방식을 적용했으며 챔버 내 100% 충전된 파우치형 리튬폴리머배터리 셀을 대상으로 수행한 열폭주 실험에서, 가스계 소공간소화용구를 적용한 경우 소화용구를 사용하지 않은 대조군 대비, 방출구 주위 수 초 동안의 높은 냉각효과가 유지됨을 관찰하였다. 또한 챔버 내부의 최고 온도 또한 대조군 대비 약 200 °C 낮음이 확인되었다. 이러한 열전이 속도 저하와 발열량 감소를 통해 열폭주가 지연되어 피해 규모를 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

해당 연구를 통해 전기차 모듈 내부의 협소한 부피에서 소량의 소화약제로도 냉각 효율을 최적화 시킨 소화용구를 개발하고자 하며, 향후 방염약제를 코팅한 외피의 내열강도 평가를 수행하여 열전이 지연에 대한 효과를 추가로 검증할 계획이다.

Keywords : Lithium Battery, Fire test, EV Thermal runaway, Smal space fire extinguisher

** 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원(KEIT) 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20024923)

반도체 공정 화학물질의 인화점, LFL/UFL 예측 및 추정

장기원·한규진·도지석·정승호^{†*}

아주대학교 대학원 환경공학과·*아주대학교 환경안전공학과

Predicting and Estimating the Flashpoint, LFL/UFL
of Chemical Substances used in Semiconductor ProcessesKiwon Jang·Gyujin Han·Jiseok Do·Seungho Jung^{†*}

Department of Environmental Engineering, Graduate school of Ajou University

^{*}Department of Environmental and safety Engineering, Ajou University[†]Corresponding author : processsafety@ajou.ac.kr

세계적으로 새로 제조되거나 유통되는 화학물질의 수는 매년 늘어나고 있는 추세이다. 특히 반도체 산업은 다양한 화학물질을 사용하는 대표적인 분야로, 이 산업의 지속적인 성장에 따라 관련 화학물질의 종류와 양도 증가하고 있다. 그러나 이들 물질의 실험적으로 확인된 인화점, LFL, UFL 데이터가 부족한 실정이다. 화평법 제 13조 3항에 따르면 제조·수입하려는 화학물질이 연간 10톤 미만인 경우에 한하여 구조 활성관계 예측 프로그램(QSAR: qualitative or quantitative structure activity relationship models)으로부터 얻어진 결과를 확보한 경우에는 해당 화학물질에 대한 시험자료를 생략할 수 있도록 정하고 있다.

본 연구에서는 QSAR 접근법을 활용하여 반도체 제조 공정에서 사용되거나 생성되는 화학물질의 인화점, LFL, UFL을 예측하고자 한다. 인화점은 Jones 방정식을 이용한 화학양론농도(Cst)를 구하여 추정할 수 있다. 또한 단일물질에 대한 폭발하한(LFL) 추정식(ASTM E 680-04, 폭발하계 시험규격)에서 인화점에서의 증기압으로 LFL을 추정할 수 있으며, 이 추정식에 필요한 인화점에서의 증기압은 Clausius-Clapeyron 방정식으로 계산할 수 있다. 혼합물질의 LFL과 UFL은 라울 법칙과 Le Chatelier의 혼합 규칙을 적용하여 계산할 수 있다.

위험물안전관리법에 따른 제2와 제3석유류 Cut-off 물질의 인화점 측정 및 비교 분석

장유선¹·고은성^{2*}·김동민^{3**}·하동명^{4†***}

한빛안전기술단 기업부설 연구소 연구원·*한빛안전기술단 기업부설연구소 연구실장·

한빛안전기술단 기업부설연구소 연구소장·*세명대학교 보건안전학과 교수

The Measurement and Comparative Analysis of Flash Point of Cut-Off Materials for Class 2 and 3 Petroleum of According to Dangerous Substances Act

Yu Seon Jang¹·Eun Seong Go^{2*}·Dong Min Kim^{3**}·Dong Myeong Ha^{4†***}

Hanbit Safety Technology Group Corporate R&D Center Researcher·

*Hanbit Safety Technology Group Corporate R&D Center Director·

**Hanbit Safety Technology Group Corporate R&D Center CTO·

***Department of Health and Safety, Semyung University

†Corresponding author: hadm@semyung.ac.kr

화학 산업의 발전으로 화학물질 사용량이 증가하면서 화학사고의 발생 위험도 커지고 있다. 이러한 사고의 주요 원인은 위험물에 대한 정보 부족, 부적절한 저장 및 취급 방법, 운반 중 부주의 등 인적 요인에서 비롯되며, 따라서 신뢰할 수 있는 데이터와 적절한 관리 방안이 필수적이다.

위험물은 물리적 성질에 따라 제1류부터 제6류까지 분류된다. 특히 산업현장에서 널리 사용되는 제4류인 인화성 액체는 제1석유류부터 제4석유류로 나뉘며, 인화점에 따라 세분화된다. 제2석유류는 인화점이 21℃ 이상 70℃ 미만이고, 제3석유류는 70℃ 이상 200℃ 미만이며 위험물안전관리법에 따라 일부 물질은 올바르게 분류되어 있으나, 기준에 부합하지 않게 분류된 경우도 존재한다.

본 연구는 제2석유류(21℃ 이상 70℃ 미만)와 제3석유류(70℃ 이상 200℃ 미만) 중 인화성액체의 Cut-off 물질에 대한 기존 문헌값과 실험값을 비교 분석하며 이를 통해 위험물 취급 사업장에서의 저장, 취급 및 운반 과정에서의 안전 관리 방안을 마련하고자 한다.

Key Words : Class 3 Petroleum, Flash point, Chemical substances, Class 2 Petroleum, Safety control of dangerous substances act

Acknowledgement : This research was supported by the Thchnology Innovation Program (RS-2024-00408270, Fire Hazard Analysis and Fire Safety Standards Development for Transportation and Storage Stage of Reuse Battery) funded by National Fire Agency.

연소점 예측 및 인화점의 밀폐식과 개방식 상관관계에 관한 연구

장유리·민성훈*·하동명^{†**}

지엠이에스·*지엠이엔에스·**세명대학교 보건안전학과

A Study on the Fire Point and the Relationship between Closed-cup and Open Cup Flash Point

Yu Ri Jang·Soung Hun Min*·Dong Myeong Ha^{†**}

GM Engineering Solution CO., LTD.·*GM Engineering & Solution CO., LTD.·

**Department of Health and Safety, Semyung University

[†]Corresponding author: hadm@semyung.ac.kr

최근 화학물질 취급 업체의 증가와 더불어 위험물의 안전한 취급에 대한 관심이 증가하고 있다. 화학물질 종합 정보 시스템의 조사 결과에 따르면 화학물질 사고의 64%가 안전 기준 미준수로 발생하고 있으며, 이러한 화학물질 사고 및 위험을 예측할 수 있는 인화점과 연소점의 파악을 통해 사업장의 안전을 확보하여야 한다.

본 연구는 인화성 액체의 밀폐식(Closed-cup) 인화점과 개방식(Open Cup) 인화점 간의 상관관계를 분석하고, 연소점 예측 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다. 인화점은 액체 표면 근처의 공기와 점화 가능한 혼합물을 형성하기 위해 액체가 충분한 증기를 발산하는 최저온도이며, 이는 화재 위험성을 나타내는 중요한 지표이다. 연소점은 불꽃이 액체에 노출되었을 때 액체가 지속적으로 연소되는 최저온도를 의미한다. 본 연구에서는 다양한 인화성 액체의 밀폐식 및 개방식 인화점 데이터를 수집하고, 이를 바탕으로 두 방식 간의 상관관계를 규명하였다. 또한, 수집된 데이터를 활용하여 연소점을 예측할 수 있는 모델을 개발하였다.

이러한 연구 결과는 인화성 액체를 다루는 공정에서 안전 관리 기준을 강화하고, 잠재적인 화재 및 폭발 사고를 예방하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : Flash point, Fire point, Closed-cup, Open Cup, dangerous substances

Acetylene black 분진의 폭발 특성 및 예측에 관한 연구

최재준¹·하동명^{2*}

세명대학교 소방방재공학과 대학원·*세명대학교 보건안전학과 석좌교수

A Study on the Explosion Characteristics and Prediction of Acetylene black Dust

Jae Jun Choi¹·Dong Myeong Ha^{2*}

Department of Fire and Disaster Prevention Engineering, Graduate School Semyung University·

*Department of Occupational Health and Safety, Semyung University

†Corresponding author: hadm@semyung.ac.kr

최근 이차전지의 수요가 증가함에 따라 생산량이 증가하고 있다. 그중에서 리튬이온배터리(LIB)는 에너지 밀도가 높기 때문에 적은 무게로 많은 용량의 전지를 만들 수 있어 사용량이 많다. 이차전지는 양극, 음극, 전해질, 분리막의 4가지 구성요소로 구성되어 있습니다. 일반적으로 이차전지의 양극재와 음극재는 활물질, 바인더 및 도전재로 구성되어 있습니다. 아세틸렌 블랙(AB)은 활물질 입자 또는 금속 집진기 간의 전도성을 향상시키고 바인더가 절연체 역할을 하는 것을 방지하기 위한 도전재로 사용되고 있습니다. 2차전지 제조 및 재활용 과정에 있어 “아세틸렌 블랙” 분진의 특성을 정확히 파악하지 못해 화재 및 폭발 사고의 위험이 존재한다.

본 연구에서는 Hartmann 방식의 분진폭발 시험 장치를 이용하여 평균 입자 크기 0.042 μm 아세틸렌 블랙 분진의 폭발하한계 및 전극간극에 따른 폭발 지연시간을 측정하였다. 폭발하한값은 153.64 mg/L로 확인되었다. 방폭설계 자료확보를 위해 전극 간극에 따른 폭발 지연시간을 확인하였으며, 폭발 지연시간이 3 mm로 가장 낮았다. 간극 거리가 4 mm 이상일 때 폭발 지연시간이 증가하는 경향을 보였다. 기존의 문헌들의 폭발하한값 예측 식을 통하여 신뢰성 확보 후 폭발하한값 및 폭발 지연시간 예측 모델을 통해 아세틸렌 블랙 및 혼합물을 취급하는 공정의 안전 확보, 방폭구조 설계에 활용되기를 기대한다.

리튬이온배터리 전해질 혼합물인 Ethyl Acetate와 Dimethyl Carbonate의 연소특성치 측정 및 분석

유승돈¹·최재준^{2*}·하동명^{3†**}

세명대학교 소방방재공학과 대학원·^{*}세명대학교 소방방재공학과 대학원·^{**}세명대학교 보건안전학과 석좌교수

Measurement and Analysis of Combustion Characteristics of Ethyl Acetate and Dimethyl Carbonate System Used in the Electrolyte of Lithium-ion Battery Annual

Seung Don You¹·Jae Jun Choi^{2*}·Dong Myeong Ha^{3†**}

Department of Fire and Disaster Prevention Engineering, Graduate School Semyung University·

^{*}Department of Fire and Disaster Prevention Engineering, Graduate School Semyung University·

^{**}Department of Occupational Health and Safety, Semyung University

[†]Corresponding author: hadm@semyung.ac.kr

리튬이온배터리는 가벼운 무게와 고에너지 밀도, 장기 사용 가능성, 높은 충전 효율, 짧은 충전 시간 등의 특성으로 여러 분야에 에너지 저장 기술로 사용되고 있다. 그러나 리튬이온배터리는 화재에 대한 낮은 안전성으로 인해 사용 시 많은 위험요소가 존재한다. 리튬이온배터리는 과열되거나 물리적 손상을 입을 경우 화재나 폭발을 일으킬 수 있으며, 이것은 구조와 관련된 문제로, 리튬 이온이 배터리 내부에서 빠르게 이동하면서 발생한다. 리튬이온배터리 화재사고를 해결하기 위해 많은 연구가 필요하며, 그중 화재 위험이 높은 전해질에 대하여 알아볼 필요가 있다. 본 연구에서는 리튬이온배터리 전해질의 혼합물로 사용되는 EA(Ethyl Acetate)와 DMC(Dimethyl Carbonate)에 대한 각각의 순수물질과 혼합물의 9개 조성에 대한 연소특성치를 연구하기 위해 STANHOPE-SETA사의 Setafash Series 8 Active Cool 장치를 사용하여 인화점을 측정하였고, ASTM E659(Koehler사) 장치를 사용하여 자연발화온도와 발화지연시간을 측정하였다. 또한, AND사의 진동식점도계 장치인 SV-10 장치를 사용하여 점도를 측정하였다.

단일물질의 특성을 비교 분석하기 위해 인화점, 폭발한계, 자연발화온도, 점도에 대한 문헌을 수집하였다. 또한, 혼합물질의 각 조성 변화에 따른 폭발한계와 활성화에너지를 계산하고, 측정된 인화점, 자연발화온도, 점도를 통하여 조성 변화에 따른 인화점, 자연발화온도, 점도 예측 모델을 제시하였다. 제시된 실험자료와 예측 모델은 이를 취급하는 공정에서 화학물질의 안전한 처리 및 저장 또는 화재·폭발 위험을 평가하고 예방하기 위한 자료로 제시하고자 한다.

반도체 Clean공정의 IPA+산+알카리계의 혼합 반응에 따른 인화점 측정 및 자연발화점 예측에 관한 연구

신승문¹·김만호^{2*}·최재준^{3**}·하동명^{4†***}

세명대학교 소방방재공학과 대학원·세명대학교 소방방재공학과 대학원·세명대학교 보건안전학과 석좌교수

A study on the Measurement and Prediction of Flash Point and Autoignition temperature of IPA + Acid + Alkali System in Semiconductor Cleaning Process

Seung Moon Shin¹·Man Ho Kim^{2*}·Jae Jun Choi^{3*}·Dong Myeong Ha^{4†***}

Department of Fire and Disaster Prevention Engineering, Graduate School Semyung University·

*Department of Fire and Disaster Prevention Engineering, Graduate School Semyung University·

**Department of Fire and Disaster Prevention Engineering, Graduate School Semyung University·

***Department of Occupational Health and Safety, Semyung University

†Corresponding author: hadm@semyung.ac.kr

반도체 제조 공정에서 사용되는 화학 물질인 IPA(Isopropyl Alcohol), SC1(NH₄OH+H₂O₂), DSP(H₂SO₄+H₂O₂+HF)은 높은 위험성을 가지고 있다. 이러한 물질들은 반도체 Clean 공정에서 필수적으로 사용되지만, 그들의 화학적 특성으로 인해 안전 문제가 발생할 수 있다. IPA, SC1, DSP등의 화학 물질은 높은 인화성, 부식성과 독성을 가지고 있다. 노출 시 피부, 눈, 호흡기 등에 심각한 손상을 줄 수 있다. 특히, IPA는 높은 인화성을 가지고 있어 화재의 위험이 있고 쉽게 증발하여 유증기로 인한 공기중에서 폭발할 수 있다. 또한, SC1과 DSP의 혼합은 NH₄OH와 HF의 존재로 인해 반응성이 높아지며, 여러 성분의 물질 혼합은 인화점과 폭발 상, 하한 그리고 자연발화온도에도 영향을 주고 있다. 이러한 영향은 혼합물의 불안정성이 증가하며 화재 및 폭발 위험이 증가할 수 있다. 또한, 혼합반응에 따른 최악의 시나리오는 폭발, 독성 가스 누출 등의 재앙적인 사건으로 이어질 수 있다. 이러한 시나리오를 예측하고 예방하기 위해 실험과 분석이 필요하다.

본 연구에서는 IPA, SC1, DSP등의 위험성과 그에 따른 안전 대책에 대해 실험적인 연구를 통해 조사하고 문서화하는 것이 목적이다. 각 물질에 대한 혼합비율에 따른 인화점, 자연발화점 실험 결과를 통해 각 물질 및 혼합물의 위험성을 평가하고, 적절한 안전 절차와 관리 방법을 제안하고자 한다. 또한, 혼합반응에 따른 최악의 시나리오를 고려하여 안전 대책을 개발하고 반도체 산업에서의 화학 물질 사용에 따른 안전성을 높이는데 기여할 것으로 기대된다.

설비용 PVC 플렉서블 덕트의 부식율 및 물질 연소특성치에 관한 연구

황이태¹·구재한^{2*}·최재준^{2*}·하동명^{3†**}

삼성전자(주)¹·삼성전자(주)^{2*}·세명대학교 소방방재공학과 대학원³·세명대학교 보건안전학과 석좌교수

A Study on Corrosion Rate and Material Combustion Characteristics of PVC Flexible Duct for Facilities

Lee Tae Hwang¹·Jae Han Koo^{2*}·Jae Jun Choi^{2*}·Dong Myeong Ha^{3†**}

Samsung Electronics Co.¹·Samsung Electronics Co.^{2*}

³Department of Fire and Disaster Prevention Engineering, Graduate School Semyung University·

^{**}Department of Occupational Health and Safety, Semyung University

[†]Corresponding author: hadm@semyung.ac.kr

반도체 공정의 설비에 사용되는 4대 물질(IPA, 황산, 질산, 염산)의 Fume은 덕트를 통하여 배출하여 옥상 Scrubber 정화 장치에서 중성화를 통해서 유해 가스를 제거하고 대기로 청정하게 배출되고 있다. 배출 Fume의 이송 과정에서 PVC 플렉서블 덕트는 반도체 사용 설비와 메인 덕트를 중간에서 연결하는 목적으로 사용되며, 특히 반도체 FAB 내부에 공간이 협소하거나 신속한 설치가 필요한 경우에 반드시 설치가 필요한 시공 방식이다. 신제품을 생산하기 위해서 신규 설비 및 업그레이드 목적으로 설비 버전 전환시 매우 많이 사용되고 있으며 반도체 라인별 생산 규모 및 환경에 따라 다르지만 많은 PVC 플렉서블 덕트가 설치되어 있다. 플렉서블 덕트는 3가지 재료를 구분되며 PVC, 유리섬유, 테프론을 사용하는데, 그중에 PVC 플렉서블 덕트가 약 95% 사용되며 최근에는 유리섬유 및 테프론 재료의 플렉서블 덕트를 일부 설치하여 평가 및 설치를 확대하고 있다. 현재 설치된 PVC 플렉서블 덕트의 장기 사용에 따른 재료 부식으로 Pin hole 또는 Crack이 발생하여 화학물질 응축액 Leak가 발생할 수 있으며, 이로 인해 주변에 작업을 중지하거나 생산 설비 가동을 멈추고 Leak를 조치하는 상황이 발생할 수 있다. 또한 Fume에 의한 품질 영향을 검증하기 위해서 주변의 많은 설비를 함께 멈추는 현상과 자칫 인적사고로 이어질 우려성까지 있어 있어서 기업에 경영 손실이 우려되며, 플렉서블 덕트를 사용하는 모든 산업 시설에서 신제품 변경 및 Retrofit 작업 시 이런 문제점이 빈번히 발생할 수 있어서 안전관리 대책이 필요하다. 본 연구에서 문제 해결 방법은 PDCA방식을 활용하여 Plan(계획 수립), Do(실험 및 연구), Check(대책방안 수립), Act(개선적용 및 횡전개)을 위한 단계로 진행하였으며, 먼저 4대 물질에 대한 연소 특성치를 분석하기 위해서 각 물질에 대한 인화점과 점도를 측정하여 유기성 물질 IPA(Isopropyl alcohol, CAS No. 67-63-0)와 혼합에 따른 위험성을 검증하고, PVC 플렉서블 덕트의 재료는 사용 기간이 축적됨에 따른 부식성이 심화되고, 특히 4대 물질(황산, 질산, 염산, IPA)과 반응에 의한 부식 우려로 실험을 통해 플렉서블 안전 기준을 수립하고자 한다. SOP에 반영하여 관련 작업을 수행하는 협력사 및 작업자의 작업시 위험점을 인지하는게 중요하며, 화학물질과 PVC 플렉서블 덕트의 인화점, 마모성 실험연구 결과를 활용하여 덕트 안전재료, 표준 수명을 설정하여 안전관리가 가능하도록 필요한 데이터를 제공하고자 한다.

MSDS의 화재 및 폭발 특성치의 신뢰성

하동명

세명대학교 보건안전학과 석좌교수

The Reliability of Fire and Explosion Characteristics of MSDS

Dong Myeong Ha

Department of Occupational Health and Safety, Semyung University

[†]Corresponding author: hadm@semyung.ac.kr

우리나라 비롯해 대부분의 국가는 근로자의 건강과 안전을 위해 사업장에 MSDS를 제공하고 있다. 사업장에서 취급하는 중대물질 안전사고를 예방하기 위해서는 정확하고 신뢰성있는 정보전달의 도구로 MSDS(Material Safety Data Sheet)가 많이 이용되고 있다. 그러나 그러나 충분한 검증을 거치지 않고 제시된 사례가 많기 때문에 사용하는 MSDS 신뢰성 확보에 대한 체계적인 노력이 미흡한 실정이다. 위의 위험물질은 위험물안전관리법, 산업안전보건법, 화학물질안전관리법 등을 이용하여 안전관리를 하고 있다. 제공된 MSDS가 부정확하여 문헌들마다 연소특성치의 차이가 있다. 혼합물의 MSDS같은 경우 정보가 없는 경우도 존재하여 보다 정확한 자료가 필요하다.

사업장에서 사용하는 물질의 취급 부주의, 충분한 교육의 부족 등으로 인해 화재 및 폭발 그리고 누출 사고가 발생된다. 특히 화학물질의 사고 발생 빈도는 많으며, 결과는 중대 재해로 전이되는 경우가 대부분이다. 이러한 사고의 피해를 최소화하기 위해서는 체계적인 위험물 안전관리 체계 구축이 이루어져야 한다. 중요한 것은 취급 물질의 정확한 위험성 평가이다. 화학공정의 본질적 방화 및 방폭설계를 위해서는 물질의 연소특성치인 인화점, 연소점, 폭발한계, 자연발화온도 등에 대한 신뢰성 있는 자료를 확보해야 한다. 공정에서 안전을 확보하는데 활용될 것으로 보며, 다른 위험성물질에 대한 타당성 평가와 현재 사용되고 있는 MSDS의 개선하는 데에 목적이 있다.

모형실험과 FDS로 거실제연설비의 공기유입구와 배출구간 최적 직선거리 판단을 위한 연구

이생곤·민세홍[†]
가천대학교

A Study on the Determination of the Optimal Straight Distance between Air Inlet and Outlet in the Living Room Smoke Installation by Model Experiment and FDS

SaengGon Lee·SeHong Min[†]

Gachon University

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

다수 인명피해를 발생한 화재 사례를 보면, 인명피해의 가장 큰 원인이 연기와 유독가스이다. 화재 시 발생한 연기를 제어할 수 있는 제연설비의 보다 정확한 법규 정립이 필요하다. 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501)에서 바닥면적 400 m² 미만의 예상제연구역에 대해서는 공기유입구와 배출구간의 직선거리는 5 m 이상으로 하라고 규정하고 있다. 그렇지만, NFSC 501의 2.5.2.1에서 기존의 화재안전기준에 구획된 실의 장변의 이분의 일 이상으로 할 것 이라고 추가 내용이 나왔다. 실제 많은 소방대상물을 점검하기 위하여 공기유입구와 배출구간의 직선거리를 실측해보면 직선거리 5 m 이상 떨어진 현장을 찾아보는 것이 어렵다. 우리나라 건설 현장여건에 맞지 않기에 추가가 된 것으로 판단된다. 소방점검 업무를 수행하는 경우 동일 바닥면적 400 m² 미만의 거실에서 각기 다른 공기유입구와 배출구간의 직선거리를 가지는데, 거리 규정을 5 m 이상으로 하게 된 이유가 궁금하여 이 연구를 수행 하게 되었다. 모형실험과 FDS를 통하여 법규 내용의 정당성을 뒷받침하기 위해 이 논문을 작성하게 되었다.

연구방법: 소방대상물의 실제 제연구역에서 제연설비 동작 후 Smoke test를 한 결과와 아크릴 모형을 제작하여 동일 smoke test를 하여 얻은 결과를 비교·분석하였다. 그리고, FDS 시뮬레이션 실험을 하여 실제 실험한 결과와 비교를 통해 화재안전기술 기준의 내용을 검증하였다.

연구결과: 소규모 바닥면적 400 m² 미만일 경우 공기유입구와 배출구 간의 직선거리 5 m 이상 또는 구획된 실의 장변의 2분의 1 이상으로 할 것으로 법규에 규정되어 있지만 실제 조사해본 결과 직선거리를 지키지 못하는 소방대상물들이 다수 있었다. 또한 5 m 이상의 직선거리에 관한 해외 소방법규 논문을 고찰해 봤을 때 직선거리에 관한 내용은 찾아볼 수 없었다. 모형실험 한 결과 공기유입구와 배출구간의 직선거리가 5 m 이상일 때가 5 m 미만일 때보다 연기의 배출시간과 속도에서 확연한 차이를 확인하였다. 실제 제연구역에서 실험한 결과도 모형제작과 동일하였다. FDS(Fire Dynamic Simulator)를 기반으로 만들어진 PyroSim시뮬레이션 실험결과, 화재 발생에 따른, 가시성, 가시거리, 독성가스 농도,

속도 및 온도의 특성을 분석·재확인 하였다.

제연구역 내에서 실험을 하고 FDS 시뮬레이션 실험을 통해 직선거리가 5 m 이상일 경우 5 m 미만보다 제연설비의 성능이 향상되게 나타났으나, 확연한 효과를 얻기 위해서는 8 m 이상의 직선거리에서 5 m 보다 0.8배 가시성과 가시거리가 우수하다는 것을 FDS를 통해 검증하였다.

결론: NFTC 501의 2.5.2.1의 공기유입구와 배출구간의 직선거리 5 m 이상 또는 구획된 실의 장변의 2분의 1 이상 이격해야 한다는 법규를 뒷받침하는 근거를 마련한 연구이다. 앞으로 설계 단계에서 이를 반영하여 소방감리의 책임과 부담을 줄여줄 수 있는 토대가 마련되길 바란다.

대형공사현장의 화재위험도 평가툴을 활용한 공정계획수립에 관한 연구

서용구·민세홍^{†*}
 (주)동화이엔씨·*가천대학교

A Study on Process Plan Establishment Using Fire Risk Assessment Tools at Large Construction Sites

Seo, Yong Goo·Min, Se Hong^{†*}
 Donghwa E&C·*Gachon University
[†]Corresponding author: Se-Hong Min. shmin@gachon.ac.kr

건설현장에서 발생하는 재해의 종류는 다양하며 특히 화재는 다른 재해에 비하여 인명피해의 발생비율이 높다. 건설현장에서 발생하는 화재의 경우 Passive(건축)적인 요소의 기능을 확보할 수 없고 Active(소방설비)적인 요소의 지원이 제한적이기 때문에 피해의 규모가 일반화재에 비하여 크다. 국내에서는 건설사업관리 업무지침에 따라 PERT/CPM 이론을 기본으로 하여 공사 기간을 산정한다. 공사 기간의 산정은 건설비용에도 많은 영향을 주게되어 기간을 산정함에 있어 단축하기 위한 노력은 끊임없이 연구되고 있다.

건설현장에 적용되는 화재예방 대책은 공사 일정을 고려하지 못하고 공정중에 시행되는 화기 작업을 중점으로 하여 적용하고 있으며, 최근 강화된 소방법에 따라 일정규모 이상의 건설현장에는 소방안전관리자를 선임하여 시행하고 있다.

본 연구에서는 전체 건축공정에서 화재발생 방지대책을 수립하기 위하여 화재위험도를 공정의 진행순서별로 정량화할 수 있는 도구(TOOL)를 제시하고, 이를 적용한 공정계획수립을 제안하고자 한다.

화재위험도 평가도구의 개발을 위하여 화재예방에 대한 국내 및 해외사례와 규정을 살펴보고, 위험성 평가의 종류와 건설현장에서 화재위험도를 평가하기 위한 도구로 이상도 위험분석법(FMEA)을 활용하여 제안하였다.

정량적 평가를 위한 화재위험요소는 연소의 3요소와 여기에 화재확산 속도를 고려한 화재성장속도를 적용하였다. 또한 피난 안전성을 공간적 특성과 피난가능시간으로 나누어 평가값을 보다 더 정량화하도록 제시하였다.

개발된 평가도구(TOOL)를 이용하여 각 공정에서의 단위작업에 대한 화재위험도 평가와 공정 중 단위작업이 중첩되었을 때의 화재위험도를 평가하여 정량적인 값으로 위험도를 제공하였다.

본 연구에서는 건설현장에서 진행되는 다수의 공종과 작업의 화재위험도 평가를 개발한 도구(TOOL)를 통해 평가가 가능해졌으며, 대규모 건설현장의 공정 수립 시 계획단계에서 화재로부터 안전한 공정계획수립 가능하도록 정량적 자료 및 정보의 제공이 가능해졌다.

핵심 용어 : 건설공사현장, 공정관리, 위험성평가, 정량화, 화재위험도, FMEA, 평가도구(Tool)

** 본 연구는 2023년도 정부(중소벤처기업부)의 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임.(NO00219137, DNA기반의 공사현장 임시가설용 화재안전모듈 및 관리운영플랫폼 개발)

TRIZ 기법을 통한 전기자동차 충전소 스프링클러 설치방안에 관한 연구

이현정[†]·김승연^{*}·김진태^{**}
 한백에프앤씨·^{*}파이어버스터·^{**}소방방재연구소

A Study on the Sprinkler Installation Plan in Electric Vehicle Charging Station through TRIZ Analysis

Hyun Jung Lee[†]·Seung Yun Kim^{*}·Jin Tae Kim^{**}
 Hanbeak F&C·^{*}Fire Buster·^{**}Fire Disaster Research Institute
[†]namukun74@hanmail.net

최근 지구 온난화로 인한 환경문제가 심각해지면서 전 세계적으로 친환경 자동차의 사용이 정책적으로 장려되어 전기자동차 수요가 급증하고 있다.

소방청 통계조사에 따르면 전기자동차 화재 사고도 매년 증가하여 2018년 3건에 불과했던 전기 자동차 화재사고는 2023년에는 72건으로 급속히 늘어났다. 특히, 2023년 발생한 전기차 화재는 72건 중 9건은 충전 중에 27건은 주차된 상태에서 화재가 발생한 것으로 집계되었다.

국내에서 전기자동차가 주차, 충전되는 지하 주차장은 공간 특성상 밀폐된 구조이나 별도의 방화구획은 되지 않은 상태로 다수의 차량이 밀집되어 있다. 전기 자동차 화재는 내장된 리튬이온배터리의 열 폭주로 인한 연쇄 폭발, 인접 차량으로 급격한 연소 확대, 높은 열방출률, 다량의 가연성 가스 방출 및 재발화로 인하여 화재진압이 매우 어려워 인명·재산 피해가 더 커질 수 있다.

이에 지하 주차장의 전기 자동차 충전소에 대한 스프링클러 설계 지침들도 강화되어 성능위주설계 심의, 국내 지역소방본부 지침 등에서는 k-factor 115 이상의 헤드 설치 또는 살수 밀도 18.4 lpm/m² 이상의 방수량을 확보하라는 의견들이 제안되어 다수의 건축물 설계에 반영되고 있다.

스프링클러 헤드 설치 개수가 많을수록 살수 밀도, 방수량의 증가로 효과적인 화재진압이 가능할 것으로 판단되나, 오히려 헤드 개수가 많을수록 먼저 작동된 헤드에서 분사된 물이 인접한 헤드를 냉각시켜 헤드 작동에 방해되는 스킵핑(Skipping) 문제가 발생되어 초기화재진압에 실패할 우려가 있으므로, UL 및 FM 기준에서는 스킵핑(Skipping) 방지를 위하여 스프링클러 헤드 상호 거리는 최소 1.8m 및 2.1m 이상으로 제한하고 있다.

또한 FM 기준에서는 큰 화원의 열방출율은 높은 부력 유동을 야기하기 때문에 상부에 미립화된 물방울이 부력 유동을 따라 비산되어 주변의 스프링클러 헤드를 냉각시키는 문제점이 있으므로 화원이 충분히 커지기 전에 화재 전파를 효과적으로 제어하여야 하다고 하였다.

본 연구에서는 창의적 문제 해결 방법론인 TRIZ 기법을 활용하여 전기자동차 충전소에서 화재 발생 시 스프링클러의 스킵핑(Skipping)이 발생할 수 있는 원인을 분석하고, 시스템 요소 간의 기능 작용이 도식화된 스킵핑(Skipping) 발생 메커니즘을 통하여 해결 방안을 도출하였다. 또한 메인 폐쇄형 헤드가

개방되면 종속 개방형 헤드가 동시에 개방될 수 있는 연결구를 이용하여 전기자동차 충전소에 적합한 스프링클러 설치방안을 제안하고, 살수 밀도가 높은 다량의 물을 방사하여도 스킵핑(Skipping) 발생 우려 없이 수막커튼을 안정적으로 형성시켜 인접 구역으로의 화재 확산 방지를 효과적으로 수행하고자 한다.

TRIZ 기법을 활용한 화재사고 원인 분석 방법에 관한 연구

이현정
한백에프앤씨

A Study on the Cause Analysis Technique for Fire Accidents using TRIZ Method

Hyun Jung Lee

Hanbeak F&C

*namukun74@hanmail.net

최근 산업발전의 영향으로 전기, 가스, 유류 등의 사용량이 많아짐에 따라 화재 사고가 증가하고 있으며, 건물이 초고층화, 심층화됨에 따라 화재 사고가 대형화되고 있다.

이러한 대형 화재를 겪으면서 그 원인을 정확하게 분석함으로써, 추후 이와 유사한 대형화재가 발생하지 않도록 예방대책을 세워 철저한 대비에 임하는 것이 중요하다.

화재 사고 발생 시 관할 소방관서에서 작성되는 화재발생종합보고서는 화재조사의 기초자료로서 중요한 역할을 하고 있으며, 이를 토대로 화재 원인 분석, 통계 및 예방대책이 수립되고 있다. 그러나 화재발생종합보고서의 화재 원인 분류는 기본 원인에 해당되는 전기적, 기계적, 화학적 원인 등과 기본 원인의 세부 원인으로 불안정한 상태, 불안정한 행동으로 이들의 세부 원인으로 다시 분류되어야 하는 가스누출, 제품결함, 부주의, 방화 등의 원인들이 동등 순위로 단순나열식으로 체크하도록 되어 있다.

특히, 이러한 단순나열식의 체크 방식은 원인들 간의 인과관계를 알 수가 없고 세부 원인으로 분류되어야 하는 부주의가 과반수이상으로 체크되어 다수의 원인이 복합적인 실제 화재사고를 입체적으로 분석하는데 한계가 있고, 그를 기반으로 통계가 이루어지다보니 예방대책을 세우는데도 한계가 있다.

본 연구에서는 화재 사고의 원인 분석에 TRIZ 기법의 근본원인 분석(Root Cause Analysis)을 활용하여 화재 원인을 기본 원인, 세부 원인, 세부 원인의 마지막 단계인 근본 원인 등의 인과관계 사슬로 단계적으로 세분화하고, 각 단계의 원인들도 'and'와 'or'의 관계로 도식화하는 화재원인 분석 모델을 제시하고자 한다.

근본원인 분석(Root Cause Analysis)을 활용한 화재원인 분석 모델은 화재 원인의 세분화된 제일 말단의 근본원인을 제거하면 인과관계 사슬에 위치하고 있는 상위의 문제들이 순차적으로 해결되는 방식이며, 'and'로 연결된 근본 원인들은 원인들을 모두 제거해야하고, 'or'로 연결된 근본 원인들은 하나만 제거하여도 문제를 해결하는 방식으로, 도식화된 화재 원인 분석 모델만 보아도 입체적인 원인 분석과 예방대책을 용이하게 제시할 수 있다.

또한 TRIZ 기법의 기능분석(Function Analysis)을 활용하여 화재 사고 발생의 직접적인 원인이 되는 시스템 요소 간의 기능 작용을 유익한 기능, 부족한 기능, 과도한 기능, 유해한 기능의 화살표로 도식화하여서 화재 사고 발생의 메커니즘을 한 눈에 볼 수 있으며 부족한 기능은 보완, 과도한 기능은 일부 차단 또는 축소, 유해한 기능은 완전 차단 또는 제거하는 방향으로 예방 대책을 세울 수 있다.

보간법을 활용한 화재 시뮬레이션의 데이터 시각화 기법 연구

이재호·사재천·민세홍[†]
가천대학교

A Study on the Data Visualization Techniques of Fire Simulation Using Interpolation

JaeHo Lee·JaeChun Sa·SeHong Min[†]

Gachon University

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

지하공동구는 4차 산업혁명에 맞추어 도시가 점차 스마트화 되어감에 따라 다양한 시설물들이 복잡하게 결합되어 있는 대표적인 복합시설로서 그 영향력이 점차 증대되고 있다. 이에 따라 지하공동구 화재 시 여러 가지 재난이 얽힌 복합재난이 발생 가능하며, 국가화재정보센터(NFDS)의 최근 10년간(2013~2022) 화재발생현황 분석 결과에 의하면, 일반건축물에 비해 약 20배 이상의 재산피해가 발생하고 있다. 복합재난으로 인한 간접피해 고려 시 더욱 클 것으로 예상된다. 그러나 지하공동구는 구조적 특성으로 인해 화재 진압이 매우 어려운 실정이다. 따라서 화재의 예방 및 선제적 대응이 가장 중요하며, 이에 대한 화재예방기술로서 디지털트윈과 화재 시뮬레이션을 결합하여 지하공동구의 화재안전성을 확보하기 위한 연구를 진행하였다.

그러나 디지털트윈에 활용할 DB를 시뮬레이션을 통해 구축하는 것은 막대한 컴퓨팅 자원을 요구한다. 따라서 데이터 추정 기법 중 하나인 보간법을 적용하여, 증강현실을 구현하기 위해 데이터베이스 설계 연구를 진행하였다.

보간법을 통해 추출한 지하공동구 화재 시뮬레이션(FDS)의 데이터가 신뢰성이 있는지 확인하기 위하여, 상관계수 비교를 통한 적합성 분석을 진행하였다. 검증 결과 화재의 크기와 확산 정도와 관계없이 모두 상관계수 0.7 이상으로 높은 신뢰성을 보였다. 또한 모든 Case에서 오차율 5% 이내로 유의미한 데이터 예측 정확성을 보였다. 이를 통해 지하공동구 화재 시뮬레이션에 보간법의 적용이 타당함을 확인하였다. 타당성이 검증된 보간 프로그램을 1D Linear, Bilinear, Trilinear 순서로 순차적으로 활용하여, 정확하고 세밀한 화재 확산 예측을 가능하게 하였다. 이때 1D Linear, Bilinear 단계에서는 VBA(Visual Basic for Applications)를 사용하고, Trilinear는 Python을 사용하여 각 단계에 적절한 개발 도구를 통해 효율적으로 프로그램을 운용할 수 있도록 하였다. 이러한 기술 개발을 기반으로 지하공동구 화재 시뮬레이션 위험도 분석 결과를 증강현실(AR)을 구현을 통하여 통합플랫폼에 탑재하였다.

이는 디지털트윈 기반으로 지하공동구에서의 화재 확산 예측 기술을 구현하는 데 성공적으로 활용된다. 이를 통해 지하공동구 화재 예방 및 대응에 있어서 보다 효율적이고 효과적인 시스템을 구축할 수 있게 되었다. 본 연구를 통해 4차 산업혁명의 핵심 기술인 디지털트윈을 활용하여 대규모 화재 예방 및 대응 수준을 제고함으로써 보다 안전한 미래 사회를 구축하는 데에 기여할 수 있을 것으로 확신하는 바이다.

** 본 연구는 2024년도 정부(행정안전부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임.
(No. 2020-0-00061-004, 디지털트윈 기반의 지하공동구 화재·재난 지원 통합플랫폼 기술 개발)

LNG 저장탱크 적용 소방시설 안전성에 관한 연구

하재홍·민세홍[†]
가천대학교

A Study on the Safety of Fire Fighting Facilities in the Application of LNG Storage Tanks

JaeHong Ha·SeHong Min[†]

Gachon University

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

에너지는 고체에서 액체 그리고 기체연료로 변화하고 있으며 본 연구는 LNG를 활용한 거제 S LNG 병커링 실증현장과 부산 D LNG 병커링 실증현장에 적용된 LNG 저장탱크 온도상승 방지를 위한 소방시설이 국내 「고압가스 안전관리법」이나 「소방 관계법」적용에 따라 각 현장마다 소방시설 종류 및 규모가 다르게 설치하였다. 이에 국내법을 비교 분석하고 적용된 소방시설에 대한 문제점을 파악하여 해결책을 제시하고자 하며, LNG 실증현장에서 화재 발생 시 복사열을 계산하고 안전거리 등을 제시하여 법에서 허용하고 있는 소방시설 적응성을 제고하는데 그 목적이 있다. LNG 실증현장은 LNG 연료 선박 보급 및 도입이 확대되면서 선박 내에 설치되는 각종 LNG 플랜트 장치의 성능 Test를 위하여 육상공간에 LNG 병커링 실증 Test Bed를 설치한 현장이다.

본 연구는 소방시설의 안전성 및 적응성에 대하여 다음과 같이 제고하게 되었다.

첫째, LNG 병커링 실증설비 현장 내에 설치 적용하는 LNG 저장탱크의 온도상승 방지를 위한 소방시설이 국내에서 적용하는 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」과 「고압가스 안전관리법」에서 요구하는 바가 서로 달라 혼선이 발생하므로 국내법을 비교 검토하여 문제점을 파악하고 그 개선에 대하여 제시하였다.

둘째, LNG 실증현장 저장탱크 주변에서 화재에 따른 복사열 발생 시 설치되어 있는 소방시설의 적응성을 검토하고 대책을 제시하였다. 제시된 내용으로는 실증현장에 설치된 LNG 저장탱크의 용량 및 PSV 방출구를 바탕으로 저장탱크 표면적과 PSV 방출면적을 계산하고, 국내 Kosha 기준에서 제시하는 복사열과 IP 9에 의한 복사열을 계산하여 요구되는 수원의 양을 산출하며, API 591에서 제시하는 기준으로 실증현장 내 LNG 저장탱크 화재 시 저장탱크 PSV 방출구에서 실제 발생하는 복사열을 계산하여 적용 안전거리에 따른 안전성 및 적응성 있는 소방시설을 제시했다.

셋째, LNG와 NG가 PSV에서 방출될때 문제점을 파악하여 대안을 제시하였으며, LNG 병커링 실증현장과 유사한 현장에 온도상승 방지를 위한 소방시설을 설치한 사례를 조사·분석하여 적응성 있는 소방시설을 제시하였다.

본 연구에서 제시하는 바와 같이, LNG 실증현장 저장탱크에 적용하는 소방시설이 국내 「고압가스 안전관리법」과 소방 관계법의 상호 다른 부분에 대하여 관련 기관 관계자들이 이를 직시하고, 상호 협의

등을 통하여 일관성 있는 전면적 법 개정이 필요하며, 정량적인 위험성 평가 등을 통하여 적응성 있는 소방시설이 설치되도록 적극 반영되어야 한다.

또한, 향후 건설하고자 하는 유사 LNG 플랜트 현장이나 이전에 설치·운영하고 있는 LNG 플랜트 현장에도 적응성 있는 소방시설이 제고되어 적용 확대되길 바라며, 본 연구가 조금이나마 도움이 될 것으로 기대한다.

FDS를 이용한 정온식 아나로그감지기 이격거리 실용성에 관한 연구

장정훈·민세홍[†]
가천대학교

A Study on the Practicality of Separation Distance for Constant Temperature Analog Sensors Using FDS

JeongHun Jang·SeHong Min[†]

Gachon University

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

본 논문을 진행하게된 계기는 소방설계 업무를 진행하면서 열감지기의 설치위치에 대한 의문점을 가지게 되었다. 시공 시 전등, 시스템에어컨, 천장의 구조물, 인테리어 요소들에 의하여 열감지기의 설치위치가 이동하는 사실을 알게 되었다. 열감지기의 설치위치가 이동하더라도 현재 국내법상 문제가 되지 않는다. 하지만 열감지기 설치위치를 이동하게 되면 열감지기 감지밀도가 변화하게 된다. 국내법은 층고높이에 따른 바닥면적으로 감지기 개수를 산정하기 때문에 감지밀도에 대한 내용이 없다. 열감지기의 감지밀도를 고려하지 않은 설계 및 시공은 화재 시 열감지기의 성능저하로 동작시간을 지연시키는 주된 원인이 된다. 따라서, 본 논문에서는 정온식 아나로그감지기 이격거리를 도출하여 성능위주설계 시 적용할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

해당 내용은 국내법과 NFPA 72 National Fire Alarm and Signaling Code를 각 각 비교, 분석하여 국내법 기준인 층고 높이별 바닥면적에 따른 감지기 개수 산정의 문제점을 확인할 수 있었다.

그러므로 해당 문제점을 보완하기 위해 FDS를 이용하여 층고 높이별 정온식 아나로그감지기의 이격거리를 도출하였다. 이격거리 도출 방식은 화재 발생 후 스프링클러헤드 감열부보다 먼저 동작한 감지기까지의 거리를 측정하여 최소거리를 이격거리로 산정하였다. 국내법인 화재안전기술기준 설계 방식과 정온식 아나로그감지기 이격거리 결과값을 층고높이 3.9 m, 7.9 m 현장에 적용하였다. 그 결과 정온식 아나로그감지기 이격거리로 설계한 시뮬레이션이 화재안전기술기준으로 설계한 방식보다 층고높이 3.9 m일 때 정온식 아나로그감지기 동작시간이 54.17s, 층고높이 7.9 m일 때는 80.09s 빠른 동작을 하였다. 본 연구 내용을 바탕으로 추후 감지기의 이격거리에 대한 연구가 진전되어 정책적 및 기술적으로 더욱이 향상하여 화재 시 초기대응 및 피난시간감소 확보에 긍정적인 영향을 끼칠 것으로 기대한다.

노후된 소화설비를 대체할 신 소화설비의 시장투입 및 전역 소화설비 시스템 개발 연구

김희진·민세홍^{†*}
(주)영승이엔에스·*가천대학교

Research on the Market Introduction of New Fire Extinguishing Equipment to Replace Aging Extinguishing Equipment and the Development of a Whole Area Fire Extinguishing System

KIM HEE KEON·MIN SE HONG^{†*}
YOUNGSEUNG ENGINEERING & SYSTEM·*GACHON UNIVERSITY
Corresponding author: shmin@gachon.ac.kr

현재 소방 소화설비에는 다양한 시설이 존재하며, 발전하는 현대에 맞춰 이러한 소화설비와 소방법령은 보완되었다. 하지만 시간이 경과하며 기존 설치된 소화설비는 점차 노후화되어 제때 역할을 수행하지 못하는 현상이 발생하기 시작했으며, 이로 인한 보완책으로 새로운 소화설비의 개발과 대체방안을 추구하여 왔다. 시간이 지나고 신 소화 작용제로 고체애어로졸이 떠올랐으며, 이를 이용한 고체애어로졸소화설비가 개발되며 기존 소화설비의 문제점을 보완할 수 있는 방향성을 가진 획기적인 아이템으로 각광을 받고 있다.

본 연구에서는 고체애어로졸 소화약제를 사용하여, 합리적이고 획기적인 소화설비 시스템으로 개발 및 보완하고자 하였다. 이 설비에 해당하는 특징으로는 실시간으로 화재를 모니터링하고, 기존에 설치되어 있던 감지기와 연동하여 이중 감지를 통한 비화재보의 문제점을 보완하고자 한다. 더 나아가 전체적으로 전국 화재 컨트롤 센터를 구축해 전국적 화재보를 실시간 모니터링 할 수 있는 체계를 만들고자 한다.

본 연구는 사람이 드나들기 힘든 곳이나, 노후된 소화설비의 대체방안, 기존 설비들과 비교적 소공간 제약의 자유로움, 인체에 무해하다는 특성을 앞세워 차량 엔진룸, 차량용 통신셀터, 선박 엔진룸 등과 같은 소공간에 특화되게끔 개발하고자 연구하였다. 또한 최대 100개의 다수 연동을 통해 전역설비 시스템을 구축하여, 대형 공간에도 소화설비로 투입될 수 있게 하였다.

선행연구를 통하여, 제약에 맞춘 고체애어로졸자동소화장치를 선박 엔진룸에 시범 설치를 완료했고, 고체애어로졸이 약제로써의 타당성과 실현 가능성을 입증했다.

본 연구의 소화설비는 타 소화설비보다 소화 약제의 관리 및 모니터링이 비교적 편하다. 물과 분말, 가스는 일정 기간이 지난 후, 약제를 교체하거나 실시간 관리가 필요한 반면, 고체애어로졸은 약제 관리를 주기적으로 할 필요가 없을 정도이다. 그에 따른 인력 투입 감소 효과와 동시에 관리비용도 줄일 수 있어 가치가 충분하다.

본 연구가 본격 상용화되기 시작하면 시설 관리에 따른 비용과 실시간 화재 감지, 빠른 기동성의 소화 동작 대응으로 기존 설비보다 안전하고 확실한 성능으로 우리나라 소방업계에 큰 발전을 크게 기여할 것으로 판단한다. 본 연구로 하여금 국내와 해외 소방시장의 활성화를 실현할 수 있기를 기대한다.

냉장·냉동 창고의 화재 안전성 향상을 위한 스프링클러설비 성능 평가 및 개선 방안에 관한 연구

이종규·주민언·이재문·민세홍[†]
가천대학교

A Study on Performance Evaluation and Improvement Strategies for Sprinkler Systems to Enhance Fire Safety in Cold Storage Warehouses

JongGyu Lee·MinEon Ju·JaeMoon Lee·SeHong Min[†]

Gachon University

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

최근 소방청 자료(2017~2023)에 따르면 냉장·냉동 창고 화재는 연평균 90건 이상 발생하며, 이로 인해 연평균 150억 원 이상의 재산 피해가 발생한다. 지속적인 피해 발생에도 불구하고, 스프링클러설비의 화재안전기술기준(NFPA 103) 규정에 따르면 배관 동결 우려로 스프링클러 헤드 설치가 제한되고 있다. 2024년 1월 1일부터 시행된 창고시설의 화재안전기술기준(NFPA 609)에서는 건식 스프링클러설비를 냉장·냉동 창고에 설치할 수 있다고 명시되어 있지만, 냉장·냉동 공간의 스프링클러의 적응성은 아직 검증되지 않았으며, 설치 여부는 법적 의무가 아닌 관할 소방서와의 협의를 통해 결정되고 있다.

본 연구는 이러한 문제점을 해결하고자 냉장·냉동 창고에 스프링클러를 설치할 경우 발생할 수 있는 문제점을 분석하고, 효과적인 대책을 마련하고자 한다. 이를 위해 세 가지 성능 평가 시나리오를 선정하였으며, 한국건설기술연구원 화재안전연구소에 설치된 실제 냉장·냉동 창고(7m×7m×5m)에 관련 설비를 설치하여 실험을 진행하고 있다. 선정된 시나리오에 대한 설명은 다음과 같다.

첫 번째, 싱글 인터락 방식의 준비작동식 스프링클러 시스템에서는 감지기 작동 후 스프링클러 헤드의 작동 지연으로 2차 측 배관 내 물이 동결될 가능성이 존재한다. 이를 검토하기 위해 -20℃ 환경에서 물의 동결 시간을 확인하고, 표준 방사 데이터와 2차 측 배관 내 소화수가 동결되었을 때의 방사 데이터를 비교하고자 한다. 이를 통해 준비작동식 스프링클러 방식에서 발생할 수 있는 문제점을 분석하고 대처 방법 및 기준을 마련하고자 한다.

두 번째, 여름철 고온 및 장마철 습기로 인해 냉동창고 내·외부 온도 차이로 벽체 관통부 배관 내부에 결로가 발생할 수 있다. 이 결로는 응축수 형태로 우수검지장치 내부에 축적되어 화재 발생 시 클래퍼 작동을 방해할 우려가 있다. 따라서 응축수 발생 원인을 분석하고, 저감대책을 마련함으로써 수계 소화설비의 적응성을 높이고자 한다.

세 번째, 동절기 빙점 이하 환경에서 널리 사용되는 드라이펜던트 또는 오토드립 배수 방식은 오작동이나 잔수 배수 동결에 관한 검증된 자료가 부족하며, 냉동 공간 내 적용 가능성에 대한 선행 연구가 미비하다. 따라서, 냉동 공간 내 드라이펜던트의 길이별 동결 방지 성능과 오토드립의 효과성을 검토하고자 하였다.

본 시나리오의 실험 결과는 냉장·냉동 창고에서의 화재 방지 및 소화 시스템 개선을 위한 기초 자료로서, 냉장·냉동 창고 내 화재 대응 시스템 개선의 필요성을 강조하며, 후속 연구 개발에 대한 방향성을 제시하였다.

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

액화수소 설비 및 부품 안전관리 동향

강승규·김민아·황장환·주원돈
한국가스안전공사 가스안전연구원

Safety management trends for liquefied hydrogen facilities and components

Seungkyu Kang·Minah Kim·Janghwan Hwang·Weondon Joo
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
†Corresponding author: skkang@kgs.or.kr

액화수소 관련 국내 산업은 액화수소 생산, 저장, 수송, 드론, 선박, 상용차 등의 다양한 분야에서 사업이 진행되고 있지만 핵심설비/부품에 대한 평가 기술은 부재한 상황이다. 액화수소 핵심부품은 고압수소 부품과는 달리, 상대적으로 낮은 내압성능이 요구되며 (0.5 ~ 1.0 MPa), 영하 253도의 낮은 온도에서 소재 강도나 인성, 열수축율이 적은 극저온용 특수강을 사용하여 제작되고 있다. 또한, 해외에서 개발된 액화수소 충전소 적용 극저온·초고압(-253℃이하, 90MPa 이상) 펌프 및 기화기는 높은 압력을 요구하여 특수한 비금속 및 금속 소재를 활용하여 제작된 것으로 확인된다. 이러한 구조적 특징은 액화천연가스 (LNG) 핵심부품과 유사한 것으로 볼 수 있으나, 액화수소 핵심부품은 LNG 대비 약 100도 수준의 더 낮은 사용온도를 가지므로, 높은 수준의 단열성능이 요구되며, 일부 부품의 경우 진공단열층이 포함된 밸브 등이 개발되어야 한다.

본 연구개발 과제는 액화수소 핵심부품의 안전성 확보와 기준 개발을 위해 극저온·초고압 액화수소 부품 검사·평가 기술 및 장치 개발을 목표로 하며 실증을 통해 확보된 기술을 활용하여 액화수소 핵심부품 신뢰성 향상 및 부품 국산화 개발에 이바지하고자 한다. 본 발표에서는 현재 운영 중인 액화수소 설비 및 부품관련 기준 운영 현황과 향후 시험·평가 운영방안을 소개하고자 한다.

** 본 연구는 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(과제번호: 20227310100090, 액화수소 핵심부품 성능검사 기술 및 안전 기준 개발)

액화수소 안전 저장을 위한 단열 기술

김경수·김대성·임동우
(주)크리오스

Insulation Technology for Safe Storage of Liquefied Hydrogen

Kyungsoo Kim·Daeseong Kim·Dongwoo Lim
Cryos Co.,Ltd.

2050년 탄소중립 달성의 핵심인 수소는 기후 변화 대응과 에너지자립 등의 문제를 해결할 수 있는 친환경 에너지원으로 주목받고 있다. 세계적으로도 수소를 핵심 에너지원으로 활용하기 위한 노력이 진행되고 있으며, 우리나라도 2019년 ‘수소경제 활성화 로드맵’ 구축을 시작으로 수소의 생산·저장·유통 및 활용 등 여러 분야에서 연구개발이 활발히 이뤄지고 있다.

수소는 우주 질량의 75%를 차지할 정도로 풍부한 원소로서 자연 상태에서는 여러 가지 원소와 결합한 화합물 형태로 존재하고 있으며, 에너지원으로서 수소를 활용하기 위해서는 전기분해, 개질 등과 같이 다른 화합물에서 수소를 분리하는 과정이 선행되어야 한다. 생산된 수소는 고압으로 압축하여 기체수소로서 저장하는 방법과 -253°C 의 끓는점 이하로 낮춰 액화수소로서 저장할 수 있다. 특히 액화수소는 기체수소 대비 부피를 1:800으로 낮출 수 있기 때문에 같은 공간에 더 많은 수소를 저장할 수 있고, 낮은 압력으로 인해 안전성 확보가 가능함에 따라 소규모 장거리 수송 등에서 수소경제 활성화에 이바지할 것으로 예상된다. 다만 끓는점 이하의 온도를 유지하기 위한 단열기술의 연구가 선행되지 않는다면 BOG(Boil Off Gas) 발생량이 많아 손실량이 많아지고 상대적 위험성도 높아진다.

따라서, 본 연구에서는 액화수소를 안전하게 저장하고 활용하기 위해 고려해야 하는 핵심 요소를 도출하고 위험 요소를 사전에 제거하기 위해 적용되는 기술과 함께 그중 핵심 성능으로서의 단열 기술을 향상 시키기 위한 연구 과정을 소개하고자 한다.

** 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2022730000005A, 1톤급 액화수소 저장탱크 및 충전·공급 기술개발)

수소 압력용기 안전성 향상을 위한 제작 기준

오용록

덕산에테르씨티(주)

Manufacturing Code/Standards for Improving Safety of Hydrogen Pressure Vessel

Yongrok Oh

DUKSAN AETHER CT CO., LTD.

† Corresponding author: yroh@oneduksan.com

글로벌 기후변화 대응을 위한 탄소중립 계획에서 수소가 미래 에너지로서의 중요도가 증가함에 따라, 수소 에너지의 저장과 운송을 위한 수소 압력용기의 안전성 확보가 중요한 문제로 대두되고 있다.

수소 압력용기의 안전성 확보를 위해서는 수소 사용에 적합한 압력용기의 제작 표준이 필요하고, 특히 금속 재료로 만들어진 (Type1)수소 압력용기의 경우, 수소취화 현상에 대한 검증과 이를 평가하기 위한 기준이 필수적이다.

본 연구는 금속 재료를 사용하여 만들어진 (Type1)수소 압력용기의 제작 표준에 대해 조사 하였고, 주요 국제 표준과 국가별 표준을 비교하여, 각 표준의 기술적 요구 사항, 안전성 평가 기준 등을 분석하였다.

수소 압력용기의 제작 표준에 대한 조사를 통해 현재 사용되고 있는 표준의 현황과 개선 방향을 제시하여 수소에너지 상용화 및 안전성 확보에 기여하고자 한다.

수소전기차량용 온도감응식 안전밸브 글로벌 시험기술 동향 연구

조충희¹·은동찬²·김완진^{3*}

(주)와이엘에너지기술

A Study of Global Test Certification for FCEV's TPRD

Choong-Hee Joe¹·Dong-Chan Eun²·Wan-Jin Kim^{3*}

YL Energy Co., Ltd

* Corresponding author: wanjin@ylenergy.co.kr

정부는 세계 1등 수소산업 육성을 위한 현장중심의 규제혁신 방안 중 하나로 수소 모빌리티에 대한 규제 발굴과 제도 개선을 통한 규제 혁신을 통해 세계 1등 수소 산업을 육성하기 위한 방안을 발표하였다. 특히, 수소모빌리티 등 활용기술 분야는 세계 1위를 공고화하고 있는 상황이다. 이러한 시점에서 수소승용차 및 상용차 등 관련 모빌리티의 빠른 보급을 진행하고 있으며, 주행거리 및 충전속도, 안전성 향상을 위해 새로운 기술들이 도입되고 있다. 수소차량에 적용되는 고압수소저장시스템은 차량 안전을 위해 70MPa 이상의 초고압 인증평가를 반드시 수행하여야 한다. 이러한 평가와 관련된 국제 인증기준이 있으나, 실제 차량에서 사용되는 가스인 수소를 사용하지 않고 질소를 사용하여 평가를 진행하고 있어 실효성에 있어 많은 의문이 제기 되고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하고자 최근 ISO TC197 (수소기술분야)에서 모빌리티용 고압수소 부품들에 대한 기준을 재정립하고 있다. 특히, 고압수소저장시스템 중 화재 시 용기 파열을 방지하기 위해 반드시 적용되는 온도감응식 안전밸브(TPRD)의 경우 기존 EC79 및 국토부고시에 의거하여 질소로 인증 시험이 진행되어 왔으나 GTR No13에서는 실 사용가스인 수소를 적용한 시험방법을 제시하고 있고 기존 보다 더욱 가혹하고 실 차량 운행 환경에 적합한 다이나믹한 시험방법을 제시하고 있다. 한국을 제외한 다수의 선진국에서 GTR No13 시험기준을 준용하고 있으며 국내에서도 본 기준을 채택하고자 국토부에서 부합화 작업을 진행중에 있다. 이에 따라 관련 부품시장에서는 새로운 제품 또는 기존의 제품을 GTR No13 기준으로 인증받기 위해 다양한준비를 진행하고 있으나 현재까지 국내 시험기관의 경우, 관련된 모든 평가장치의 개발이 이루어지지 않아 해외 시험기관에서 인증 받아야만 하는 걸림돌이 있다.

** 본 연구에서는 온도감응식 안전밸브 관련 GTR No13에 대한 시험방법 소개를 통해 기존 고도화 구축되어 있는 국내장비를 개조 활용하여 인증시험 할 수 있는 범위와 신규로 반드시 구축되어야 하는 장비에 대해 소개하고자 한다.

고압수소용기 구조안전성 분석을 위한 복합재층 응력계산

박건영·안용수·이호길[†]
한국자동차연구원

Stress Calculation of Composite layer for Structure Safety Analysis of High-Pressure Hydrogen Vessel

Gunyoung Park·Yongsoo An·Hokil Lee[†]
Korea Automotive Technology Institute
[†]Corresponding author: Hklee@katech.re.kr

최근 화석연료 사용으로 인한 환경오염 문제가 심각하고 대두됨에 따라 이에 대한 대안으로 수소연료 전지 차량의 상용화가 이루어지고 있다. 수소연료전지 차량은 크게 배터리, 연료탱크, 모터 등으로 시스템이 구성되며, 이중 연료탱크는 연료전지에 수소를 공급하여 차량 구동을 위한 전기를 생산할 수 있도록 한다. 현재 국내에서 보급되고 있는 수소연료전지차량에는 Type 4 수소압력용기 (700 bar)가 적용된다. Type 4 수소압력용기는 플라스틱 라이너에 탄소섬유 복합재를 보강한 형태이며, 압력에 의해 발생하는 대부분의 하중을 탄소섬유 복합재로 지탱한다. Type 4 수소압력용기의 에너지효율을 증가시키기 위해서는 설계 패턴의 최적화가 필요하며, 이를 위한 주요 설계 변수는 복합재층의 두께, 각도, 배열 등이 될 수 있다. 현재 복합재층의 설계를 위해서는 상용 유한요소해석 소프트웨어가 사용되고 있지만 설계변수의 다양성 및 복잡성 때문에 설계 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. Netting 이론을 이용한 복합재층의 두께 계산 방법이 있지만 적층각도와 두께 변화를 구현할 수 없으므로 설계에 한계가 있다. 또한, 복합재층의 두께를 계산하더라도 추가적인 해석을 이용하여 구조안전성 검토 및 재설계가 필요하기 때문에 설계에 긴 시간이 소요될 수 있다. 본 연구에서는 고전적층판이론 (CLT)을 이용하여 Type 4 수소압력용기의 복합재층에 발생하는 응력을 계산방법을 제안하고자 한다. 매트랩 코딩을 통해 Type 4 수소압력용기 복합재층의 다양한 패턴 (적층각도, 두께, 배열) 변화를 구현하였으며, 반복계산 과정을 통해 각 Ply에 발생하는 응력을 계산하였다. 이를 유한요소해석 결과와 비교하여 CLT를 이용한 계산 방법의 타당성을 검증하였다.

** 이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술기획평가원 (KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (No.20017843)

유한요소해석을 활용한 Type 4 수소저장용기 피로수명 평가

김건우¹·강세진¹·김동연²·김한상^{1*}
가천대학교 기계공학과, 가천대학교 물리학과

Development of fatigue life evaluation process of Type 4 hydrogen storage vessel using FEA and analysis by internal pressure

Gunwoo Kim¹·Sejin Kang¹·Dongeon Kim²·Hansang Kim^{1*}

¹Department of Mechanical Engineering, Gachon University, 1342 Seongnam-dearo, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

²Department of Physics, Gachon University, 1342 Seongnam-dearo, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

*Corresponding author: hskim70@gachon.ac.kr

최근 화석 사용에 따른 환경 문제가 지속됨에 따라 친환경에너지에 대한 국민적 관심이 증가하고 있다. 또한, 주요국의 환경 규제에 따른 전기 및 수소 산업의 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 그중 수소에너지를 활용하기 위한 저장 및 운송용 수소저장용기의 안전성 평가 연구가 대두되고 있다. 이에 따라, 내압에 따른 수소저장용기의 구조적 안전성 분석 등 단일 하중 조건에서의 안전성 평가 연구가 수행되고 있으나 반복 하중 조건에서의 수소저장용기 복합재료의 피로수명을 평가하는 연구는 많지 않다. 본 연구에서는 수소저장용기의 라이너, 보스, 복합재료의 피로수명을 평가할 수 있는 유한요소해석 프로세스를 개발함으로써 향후 내압, 온도 등과 같은 환경과 이에 대한 반복 하중 조건에서의 노화 및 손상, 균열의 영향 및 안전성을 평가할 수 있는 토대를 마련하고자 하였다. 수소저장용기의 반복 하중을 구성하기에 앞서 상용 구조해석용 소프트웨어인 ABAQUS를 활용하여 수소저장용기의 비금속 소재인 PA 재질의 라이너 AL 재질의 보스의 유한요소해석 모델을 구성하였고 와인딩 패턴 설계 및 모델링 소프트웨어인 WoundSim을 통해 수소저장용기의 탄소섬유 재질의 복합재료를 구성하였으며 이를 활용하여 사용 압력, 시험 압력, 파열 압력 조건에서의 수소저장용기의 구조적 성능을 평가하였다. 또한, 파이썬 코딩을 통해 수소저장용기의 구조해석용 유한요소해석 모델을 피로해석용 모델로 재구성하였고 구조해석 결과를 통해 재구성한 모델과 기존 모델의 동등성을 평가하였다. 이후 피로해석 소프트웨어인 FEMFAT을 활용하여 앞서 수행된 내압별 응력 결과를 기반으로 반복 하중 조건을 구성하였고 해당 조건을 기반으로 수소저장용기의 라이너, 보스, 복합재료의 피로수명과 안전성을 평가하였다. 본 연구에서는 이와 같은 일련의 프로세스를 개발함으로써 수소저장용기의 소재별 피로 수명을 평가할 수 있는 기반을 마련하였고, 향후 개발 시의 시간적 효율성 및 경제성을 향상시킬 수 있는 결과를 도출하였다.

** 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원의 “자동차산업기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (NO. 20015346)

** 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원의 “소재부품기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (NO. 20022511)

One-Way FSI를 통한 Type 4 수소저장용기 축소시제의 충전 상황 모사 해석

정경현·김한상[†]
가천대학교 기계공학과

Simulation Analysis of Charging a Scaled-Down Type 4 Hydrogen Vessel Using One-Way FSI

Kyung Hyun Chung·Han Sang Kim[†]
School of Mechanical Engineering, Gachon Univ.
[†]Corresponding author: hskim70@gachon.ac.kr

현재 수소전기차가 상용화되었고, 상용차용 수소저장용기가 개발 중인 가운데, 고압 가스 수소저장용기의 수요는 크게 증가하였다. 고압 수소저장용기의 인증을 위한 수소 충·방전 반복 시험 시험을 수행하는 데에는 큰 시간과 비용이 필요하게 된다. 이에 따라 가스 반복 시험 시의 비용과 시간, 고가의 탄소 섬유를 대량으로 소모하는 상용차용 대형 수소저장용기의 제작 비용을 절감하고자 축소 시제를 활용한 시험 평가 방법이 요구되고 있는 상황이다. 본 연구에서는 Ansys-CFX를 활용하여 축소 및 원 시제 수소저장용기의 충전 상황 모사 해석을 수행하였고, 유동 해석 결과 최대 온도 크기, 발생 위치, 용기 내부 가스 온도 분포의 유사성을 확인하였다. 해당 유동 해석 결과로부터 용기 내부 표면 노드 별 온도 데이터를 추출하였다. 이후 PA6, AL6061-T6, T700S/Epoxy 재료의 물성을 부여, ABAQUS Plug-in S/W인 WCM을 활용하여 축소 및 원 시제 수소저장용기를 설계하였다. 유동 해석 결과를 통해 추출한 충전 과정에서의 용기 내부 표면 온도 데이터를 Mapping 하여 열전달 해석을 수행하였다. 열 전달 해석을 통하여 충전 과정 중 PA6 라이너 및 CFRP 복합재 Layer의 온도 분포를 파악하였으며, 해당 온도 데이터를 다시 활용하여 ABAQUS를 활용한 열 응력 및 내압 해석을 수행하였다. 해당 최종 결과를 통해 충전 과정에서 두 모델 모두 안전성을 확인하였고, 구조 해석 결과에서 최대 응력 크기 및 발생 위치의 유사성을 확인하였다. 유동 해석과 구조 해석을 통하여 충전 과정에서의 수소 가스의 온도 분포 및 충전 압력이 용기에 미치는 영향의 유사성을 확인하였고, 이에 따라, 축소 시제를 통한 가속화 시험 평가의 신뢰성을 검증하였으며, Ansys와 ABAQUS를 통한 One-Way FSI 방법론을 제시하였다.

Key words : Hydrogen(수소), ANSYS-CFX(유동 해석 소프트웨어), ABAQUS(구조 해석 소프트웨어), FSI-Analysis Method(유동-구조 연성 해석), Scaled-Down Model(축소 시제)

** 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원의 “자동차산업기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (NO. 20015346)

** 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국 에너지 기술 평가원(KETEP)의 “에너지기술개발사업” 지원을 받아 연구한 과제입니다. (NO. 20203010040010)

수소 운송·저장용 오링 (O-ring) 의 기밀성능 및 파손의 유한요소법적 연구

박한민·Omar Dagdag·김한상[†]
가천대학교 기계공학과

Finite Element Analysis Study on the Sealing Performance and Failure of O-rings for Hydrogen Transportation and Storage

Hanmin Park·Omar DagDag·Hansang kim[†]
Department of Mechanical Engineering, Gachon University
[†]Corresponding author: hskim70@gachon.ac.kr

수소 압력 용기에 설치된 고무 재질의 O-링은 고압 수소 가스에 노출된다. 고압과 온도의 영향, 그리고 수소 가스의 침투 및 확산으로 인해 고무 O-링은 Swelling 현상이 발생함에 따라 내부에 기포가 형성되고 이러한 기포는 수소가스의 감압 이후에 탈착되는 과정에서 응력 집중을 일으키고 블리스터 파손같은 기계적 손상을 발생시킨다. 이러한 기계적 손상은 수소 가스 누출을 발생시키고 제품의 기밀 성능 및 성능 저하를 일으킨다. O-Ring과 같은 씰링 장치는 제품 내부에 위치하여 사용 시 내부에 발생하는 거동을 육안으로 확인하기 어려우며, 분해하여 관측하더라도 수소가스의 특성상 파손원인을 명확히 규명하기 어렵기에 상용 유한 요소 해석 소프트웨어인 ABAQUS를 사용하여 재료 적합성 분석을 수행하였다. 고무 물성의 경우 Simple Tension, Equi-Biaxial Tension, Pure Shear Test를 세 경우의 온도조건(-40℃, 23℃, 95℃)에서 수행한 데이터를 사용하였으며, 10MPa, 70MPa, 96.3MPa 환경에서 고무에 충전한 수소에 대한 수소 확산 물성을 사용하였다. 해석의 순서는 열전달 해석을 통하여 충전 및 방전 중 주변 온도 분포를 확인하였고, 질량 확산 해석을 수행한 후 수소 가스의 침투 및 확산 효과에 의한 변형 및 내부 응력을 확인하였다. 열 전달 해석, 질량 확산 해석, 응력해석을 연계하는 멀티피직스 해석을 통하여 작동 환경에 따른 O-링의 전반적인 거동을 검토하기 위해 열-수소 확산 및 구조 해석을 결합한 분석을 개발하였다. 이후 고무 소재의 내구 성능 평가를 위하여 고무 소재의 균열 성장 속도 측정 시험을 통하여 미세 균열에 의한 손상을 피로해석 소프트웨어인 FE-SAFE/RUBBER를 통하여 손상 누적에 의한 파손 위치 도출, 점진적 내구수명을 예측할 예정이다.

** 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원의 “자동차산업기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (NO. 20015346)

** 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원의 “소재부품기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (NO. 20022511)

암모니아 흡수시설 용량 및 설계에 관한 연구

임채완·백승헌·이선희·마병철^{†*}

전남대학교 화학공학과 석사과정·*전남대학교 화학공학과 교수

A Study on the Capacity and Design of Ammonia Absorption Facilities

Chae-wan Lim·Seong-heon Baek·Seon-hee Lee·Byung-Chol Ma^{†*}

Dept of Chemical Engineering Chonnam National University Master's degree

·*Dept of Chemical Engineering Chonnam National University professor

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

암모니아는 비료생산, 냉각제, 정제 공정 등 산업계 전반에 필수적인 화학 물질로써 사용되고 있다. 암모니아를 취급하는 시설은 대기환경보전법에 따라 암모니아 가스가 일정 농도이상으로 누출되지 않도록 관리해야 하며 이를 위해 많은 사업장에서 습식 흡수시설을 설치하고 있다. 이러한 흡수시설의 설계에 문제가 있을 경우 유해가스가 대기로 노출되어 근로자 및 인근 주민의 건강과 환경에 위해를 끼칠 수 있기 때문에 설계에 대한 연구가 반드시 필요하다.

본 연구에서는 암모니아 가스 누출이 발생할 때 사용되는 흡수처리시설 중 수조형의 흡수가능 용량을 ASPEN PLUS V14를 통하여 계산하였고 사업장에서 일반적으로 사용할 수 있도록 간단한 수지식을 도출하였다. 수지식의 해는 상온에서 ASPEN PLUS V14를 사용하여 얻어낸 포화시간과 1% 이내의 오차를 보였으며 온도 거동을 90% 유사하게 모사하였다. 또한 스크리버형 흡수시설의 흡수용량 평가를 추가로 진행하여 수조형 흡수시설에 비해 설치용량이 감소하는 비율을 확인하였다. 본 연구를 통하여 사업장에서 상용 프로그램을 사용하지 않고 암모니아 흡수시설 설계 용량의 확인이 가능하게 해 설치 형식에 대하여 결정할 수 있는 방법을 제시하고 이를 통해 암모니아 가스의 안전한 처리와 사업장 경제성 향상에 기여하고자 한다.

반응표면법과 인공지능망을 이용한 수소 누출 및 확산 예측 모델 개발

이준서·문재원*·마병철**

전남대학교 공정혁신시뮬레이션센터·*전남대학교 화학공학과

Development of a prediction model for hydrogen leakage and dispersion with Response Surface Methodology(RSM) and Artificial Neural Networks(ANN)

Junseo Lee·Jaewon Moon*·Byungchol Ma**

Center for Process Innovation Simulation, Chonnam National University·

*Department of Chemical Engineering, Chonnam National University

†Corresponding author: anjeon@jnu.ac.kr

석유연료의 대표적인 대체 물질인 수소는 누출 시 인화성 증기운을 형성할 수 있다. 또한, 미지의 점화원으로 인해 화재 또는 증기운 폭발까지 이어질 수 있어 수소 누출에 따른 확산 거동을 예측하는 것이 중요하다. 본 연구는 RSM(Response surface method)과 ANN(Artificial neural network)을 이용하여 누출로 인한 수소의 확산거동을 예측하는 정량적 특성-결과 관계 (QPCR, Quantitative property consequence relationship) 모델을 개발하는데 목적이 있다. 먼저 누출원 모델과 대기 확산 모델을 참고하여 수소의 누출과 확산에 기여하는 입력변수 8가지를 선정하였으며, LEL 100%와 25%의 끝점을 출력변수로 정하였다. 그 다음 8가지의 입력변수를 3수준으로 나누어 모델의 내삽범위를 선정하였다. 이 때, 내삽범위는 일반적인 수소 취급시설의 운전조건이 모두 고려될 수 있도록 하였다. 3수준으로 나누는 8가지의 변수로 조합 가능한 모든 경우의 수, 즉 $3^8(6,561)$ 개의 누출 사고 시나리오를 대상으로 PHAST 시뮬레이션을 통해 LEL 100%와 25%의 끝점을 계산하였으며 총 13,122개의 데이터 포인트를 수집하였다. 그 다음, BBD(Box-Behnken design) 실험설계법을 적용한 RSM 모델, 역전파신경망 (Back propagation neural network, BPNN) 알고리즘을 적용한 BPNN 모델, 그리고 RSM의 결과를 분산분석(ANOVA)하여 출력변수에 미치는 영향이 적은 4가지의 입력변수를 제외한 후, BPNN을 적용한 하이브리드 모델을 개발하였다. 세 가지 모델의 성능 비교는 R^2 과 MSE(Mean squared error)를 통해 수행되었다. 비교 결과, 개발된 QPCR 모델들 모두 R^2 이 99%이상이었으며 특히, 하이브리드 모델에 필요한 데이터량은 BPNN 모델 구축에 요구되는 데이터량의 3%임에도 불구하고 현저히 낮은 MSE를 나타내었다. 이 연구의 성과를 통해 적은 수의 데이터 포인트만으로도 만족스러운 예측력을 지닌 QPCR 모델을 얻을 수 있음을 제시하였다. 나아가, 본 연구의 방법론은 수소 이외의 다른 물질로의 확장성을 지니고 있으며, 신속하고 정확한 사고 결과 데이터 확보 및 효과적인 비상대응계획 수립을 위한 기초자료로서의 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

반밀폐공간에서 수소 누출 시 환기효율에 대한 수치적 연구

이선희·백승헌·임채완·마병철[†]
 전남대학교 화학공학과

A Numerical Study of Ventilation Efficiency in case of Hydrogen Leakage in a Semi-enclosed Space

Seon Hee Lee·Seung Heon Beak·Chae Wan Lim·Byung Chol Ma[†]
 Department of Chemical Engineering, Cheonnam National University
[†]Corresponding author: anjeon@jnu.ac.kr

전 세계적으로 온실가스 배출을 줄이고 지속 가능한 에너지로 전환을 가속화하기 위해, 국내에서는 수소경제 활성화 로드맵을 발표하였으며, 수소 산업생태계를 구축하기 위해 2040년까지 1,200기의 수소충전소 확충을 목표로 하고 있다. 그러나 일반 수소충전소의 공간적 제약 및 초기 구축 비용 문제로 용·복합 패키지형 관련 특례기준에 따라 충전설비가 모듈화된 패키지형 수소충전소 도입을 가속화하고 있다. 패키지형 수소충전소의 경우 고압 저장설비가 밀집된 공간에 배치되므로 수소 누출 시 화재 및 폭발 위험성이 높다. 이러한 밀집된 반밀폐공간에서 고압의 수소를 취급하는 경우 적절한 환기구를 배치하여 수소 누출 시 공간 내에 수소가 체류하지 않도록 최소한의 환기방침을 적용하고 있으며, 가스감지기 설치를 통해 조기에 수소를 감지하여 비상대피 및 안전하게 수소를 배출할 수 있도록 유지 관리하고 있다. 그러나, 이러한 조치만으로는 수소 누출 시 충분하지 않으며, 추가적인 안전성을 확보하기 위해서는 효율적인 환기 방안이 중요하다. 따라서, 반밀폐공간에서 수소 누출 시 폭발 위험을 방지하기 위해 배기시 필요한 환기용량을 효율적으로 분석하고자 한다.

이를 위해 우선, 가스감지기 관련 기술 기준을 분석하여 반밀폐공간 내 배기 적용시간을 결정하였으며, 고압 저장설비에서 수소가 누출되는 경우 누출공 크기에 따른 누출량을 산정하기 위해 오픈소스 프로그램인 HyRAM을 활용하여 누출량을 도출하였다. 이후 FLUENT를 활용하여 배기 시, 누출공 크기별로 환기용량(Air Change per Hour, ACH)을 일정하게 늘려 기준의 환기용량과 비교하여 반밀폐공간 내 수소농도 변화를 시각화하였다. 그 결과, 반밀폐공간에서 수소 누출 시 누출공의 크기와 배기량 적용에 따른 시간별 수소농도를 도출하였으며, ACH, 환기속도, 누출공 크기의 변수 조합에 따른 환기효율을 도출하였다. 본 연구를 통해 수소충전소의 안전성을 향상시키고 효과적인 환기 전략을 수립하여 수소 누출 시 화재 및 폭발 위험을 최소화하는데 기여할 수 있을 것으로 전망된다.

수소충전소 폭발 및 화재로부터 안전성 향상을 위한 차단벽 최적 설계

오세현·이선희·마병철^{†*}

전남대학교 화학공학과·*전남대학교 공정혁신시뮬레이션센터

Optimization of barrier design to improve safety from explosions and fires at HRS

Sehyeon Oh·Seonhee Lee·Byungchol Ma^{†*}Chonnam National University, Department of Chemical Engineering¹·^{*}Center for Process Innovation Simulation, Chonnam National University²[†]Corresponding author: anjeon@jnu.ac.kr

최근 수소는 탄소중립을 위한 화석 연료를 대체할 수 있는 지속 가능하고 재생 가능한 에너지원으로 주목받고 있다. 국내에서도 수소 모빌리티(수소자동차, 수소충전소) 상용화에 따라 수소충전소를 지속적으로 확충하고 있다. 수소는 높은 확산성, 넓은 가연성 범위, 낮은 전기적 에너지에도 쉽게 점화되어 최소한 마찰로도 화재 및 폭발로 이어져 큰 사고를 야기할 수 있다. 이에 수소충전소에 효과적인 차단벽 설치를 통해 수소의 확산을 제한하고 지연 점화에 의한 폭발 과압을 줄일 수 있고, 즉시 점화에 의한 제트 화재로 발생한 복사열 피해를 차단벽 설치를 통해 안전성을 향상시킬 수 있다. 따라서, 수소충전소에 차단벽 설치 조건 최적화를 위해 차단벽과 누출원의 거리, 차단벽 높이, 차단벽 폭을 입력변수로 반응표면법(Response surface method, RSM), 인공신경망(artificial neural network, ANN)을 사용하여 폭발 과압과 복사열이 미치는 거리를 최소화하기 위한 차단벽 최적 설계 조건을 도출한다. 이를 위해 첫째, 시뮬레이션을 통해 차단벽 설계 조건을 분석하고, 최적화를 위한 설계 범위를 설정한다. 둘째, 설정한 범위에서의 RSM과 ANN을 통해 차단벽 설치 조건을 최적화하고, 시뮬레이션을 통해 검증하여 제시한 모델식의 신뢰성이 있음을 확인한다. 셋째, 폭발에 의한 과압이 차단벽에 미치는 영향을 구조해석을 통해 확인하여 방호벽 설계 기준에 대해 검증한다. 따라서, 본 연구를 통해 폭발 과압과 복사열에 의한 피해를 최소화할 수 있는 수소충전소의 차단벽 설치 방법을 제시하였고, 구조해석을 통해 방호벽 설계 기준에 대해 검증하였다. 이는 수소충전소 안전성 향상을 위한 자료로 활용될 것으로 생각한다.

화학공장 비일상작업 중 사고에 대한 원인조사 사례연구 및 고찰

안수빈[†]·이경수·이철규
국립재난안전연구원 재난원인조사실

A Case Study on Accidents during Unusual Work in a Chemical Plant and Review of Safety Measures

Subin An[†]·Kyungsu Lee·Cheolgyu Lee
Disaster Scientific Investigation Division, National Disaster Management Research Institute
[†]Corresponding author: sb9545@korea.kr

국내 주요 화학산업단지는 조성된 지 약 5~60년이 경과하여 노후화되고 있어, 정비·보수 작업 등 비일상작업이 다수 이뤄지고 있다. 이러한 비일상작업 중 대상 설비·장치 등의 잔류물질을 제거하지 않은 상태에서 작업실시로 인해 화학물질 누출이나 폭발분위기를 형성하여 화재·폭발 등이 발생한 사고가 지속적으로 발생하고 있다.

고용노동부의 한 자료에 따르면, 2005년부터 2022년까지 약 149건의 중대산업사고로 인해 사망 89명, 부상 455명의 인명피해가 발생하였으며, 사망자는 정비·보수 작업 중 가장 많이 발생한 것으로 나타났다. 그 이유는 비일상작업 중 돌발적인 상황을 예측하기 어려우며, 대정비 작업 같은 경우에는 단시간에 동시다발적인 작업이 진행되는 경우가 많고 외부 근로자의 참여와 화기작업 등으로 인하여 사고 발생 위험성이 높은 것으로 사료된다.

이에, 본 연구에서는 최근 발생한 화학공장에서의 비일상작업 중 화재·폭발사고에 대한 사고조사를 통해 그 원인에 대해 분석하였으며, 이를 기반으로 이러한 동종·유사사고 재발방지를 위한 안전대책에 대해 고찰하였다.

이에, 본 연구에서는 최근 발생한 화학공장에서의 비일상작업 중 화재·폭발사고에 대해 사고조사를 수행하고 그 과정에서 도출된 사고의 원인과 피해확대요인을 분석하였으며, 이를 기반으로 이와 같은 동종·유사사고의 재발방지를 위하여 비일상작업 시 안전대책에 대해 고찰하였다.

리스크 기반 다목적 SMR EPZ 크기 결정 방법론 연구

홍세인·조재현[†]
중앙대학교

A Study on Risk-based Multi-purpose SMR EPZ Sizing Determination Methodology

Sein Hong·Jaehyun Cho[†]
Chung-Ang University
[†]Corresponding author: jcho@cau.ac.kr

소형모듈원자로(Small Modular Reactor, SMR)는 전력 생산뿐만 아니라 수소 생산, 해양 원전 등의 다목적 활용이 가능한 에너지원으로 주목받고 있다. 이러한 다목적성을 살려 SMR을 전력 수요지 인근에 설치하기 위해서는 안전성을 충분히 보장할 수 있어야 하는데, 그러한 안전성의 지표 중 하나로 방사선비상계획구역(Emergency Planning Zone, EPZ)을 들 수 있다. EPZ는 3~5km의 예방적보호조치구역(PAZ)과 20~30km의 긴급보호조치계획구역(UPZ)로 나뉘며, 현재 국내 모든 발전용 원자로는 별도의 크기 평가 없이 이 크기를 고정하여 사용하고 있다. 그러나 SMR은 대형 원전에 비해 사고 발생 가능성 및 방사성물질의 방출량이 적기 때문에 이에 적합한 새로운 EPZ 크기 결정이 필요한 상황이다. 국내 개발 중인 i-SMR은 원자력 발전소가 충분히 안전함을 보임으로써 부지경계 내에 EPZ를 설정하는 것을 최상위 설계 요건 중 하나로 채택하고 있으며, 이외에도 원자력 선박 등 SMR의 다양한 어플리케이션을 위해 EPZ Zero를 추구하고 있다. 2021년, U.S.NRC에서 Reg. Guide 1.242를 통해 기존의 결정론적 EPZ 평가 방법론이 아닌 합리적인 수준의 Risk-informed EPZ 평가 방법론을 제시한 바 있으며, 이를 바탕으로 2022년 미국의 NuScale이 Topical Report를 통해 EPZ가 부지경계 내에 설정됨을 주장하였고, U.S.NRC에서 해당 방법론을 승인하였다. 또한, 우리나라에서는 NuScale의 방법론을 SMART-100에 적용시켜 EPZ의 크기를 평가한 사례가 있다. 이러한 기존의 방법론을 바탕으로 한계점을 파악 및 개선시키고, 리스크 정보를 활용한 EPZ Profile을 구축하여 다양한 노형 및 출력에 적용시킬 수 있는 체계적인 EPZ 크기 결정 프레임워크를 개발하고자 한다. 해당 연구에서는 노형별/출력별로 데이터베이스를 구축하여 리스크 모델을 개발하고, 선원항 방출 거동을 분석하여 사고 시 환경에서의 방사선 맵을 분석한다. 이때, 선원항 및 선량 평가를 수행하기 위해 사고를 설계기준사고(DBA), 덜 심각한 중대사고(Less Severe Accident), 더 심각한 중대사고(More Severe Accident)로 분류하였으며, 사고의 분류에 따라 기준 선량을 다르게 정의하여 해당 선량을 초과하는 거리를 비교하여 EPZ 크기를 결정한다. 또한, 부지 조건과 평균 기상 데이터를 고려하며, 각 단계별로 존재하는 불확실성에 대해 종합적인 불확실성 분석을 수행한다. 개발한 프레임워크를 바탕으로 SMR의 EPZ가 부지경계 내에 설정되며, 이에 따라 원자력 발전소의 안전성이 보장됨을 보이는 것을 목표로 한다.

나선형 전열관 증기 발생기의 셸 측 유동 특성에 대한 CFD 분석

조범진·송민섭[†]

한양대학교

CFD Analysis of Flow Characteristics on the Shell Side of a Helical Tube Steam Generator

Bumjin Cho·Minseop Song[†]

Department of Nuclear Engineering, Hanyang University, 222,
Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, South Korea

[†]Corresponding author: hysms@hanyang.ac.kr

The SMART (System-integrated Modular Advanced ReacTor) developed in Korea is a modular reactor that integrates the core and steam generator. The steam generator is located at the module's periphery and consists of 12 cassettes, each containing 324 helical tubes arranged in 17 layers. During reactor operation, these tubes interact with shell-side fluid, potentially causing Flow-Induced Vibration (FIV). It can lead to system fatigue and damage, thus impacting reactor safety. Helical tubes are particularly susceptible to turbulence and vortex-induced vibrations due to cross-flow, making preliminary analysis essential.

This study utilizes the commercial Computational Fluid Dynamics (CFD) code FLUENT to analyze the steady-state flow distribution of the shell-side flow within the SMART steam generator cassette. The analysis focuses on a partial flow region within the midsection of the 7th to 9th layers. The analysis compares two arrangements, square and staggered (triangular), to assess external force by flow, fluid velocity distribution, pressure distribution, and pressure drop. The helical tubes are assumed to be fixed with no vibration.

The results evaluate vibration potential based on pressure and stress on the tubes and predict the impact of the helical tube inclination on vibration. This research aims to understand the shell-side flow characteristics of helical tubes and provide foundational data to improve the design and safety of the SMART. Ultimately, it will contribute to enhanced reactor safety through optimized tube arrangement and design.

FAMILY 전산코드를 활용한 IFA650.2 개별효과실험 평가

이윤석·김태완[†]
인천대학교

Assessment of IFA650.2 separate effect test using FAMILY

Yunseok Lee·Taewan Kim[†]
Incheon National University (INU)
[†]Corresponding author: taewan.kim@inu.ac.kr

핵연료 방출 연소도 증가와 함께 고연소도 핵연료 장전 관련 이슈가 대두되었고, 고연소도 조건 하 핵연료의 열기계적 특성을 파악하기 위한 관련 선행연구들이 이루어졌다. 고연소도 조건의 핵연료는 열화 현상으로 인한 성능 저하와 더불어 피복재 내부 수소 흡수에 따른 취성한계의 저하가 발생하는데, 이러한 특성으로 인하여 산화도 17% 미만의 조건에서도 취성파단 발생이 가능하다. 이에 따라 냉각재상실사고에 관한 현행 허용기준의 강화를 위한 개정이 추진중이고, 한국원자력안전기술원에서는 관련 규제검증 평가기술 개발연구의 일환으로 핵연료-열수력 통합전산해석코드 FAMILY(FRAPTRAN and MARS-KS integrated for safety analysis)를 개발하였다. FAMILY는 핵연료 성능해석코드인 FRAPTRAN을 열수력 규제검증코드인 MARS-KS의 독립된 핵연료 해석 모듈로 통합한 통합전산해석코드이며, 핵연료 해석과 열수력 해석의 실시간 상호작용을 바탕으로 연계해석을 수행하는 것이 특징이다. MARS-KS는 열구조체 모델에 일부 핵연료 상관식을 적용하는 등의 단순확장 방식으로 핵연료를 모사하는데, 적용된 모델들이 오래된 상관식에 기초하기 때문에 핵연료의 상세 거동을 반영하기에는 한계가 존재한다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 개발된 FAMILY는 FRAPTRAN을 MARS-KS의 내부 핵연료 모듈로 통합시키고, 각 코드의 고유 특성을 최대한 보존하기 위해 실시간 변수교환을 기반으로 연계해석체계를 구축하였다. 한편, 냉각재상실사고와 같은 고온증기환경에 핵연료가 노출될 경우 냉각성능이 저하됨에 따라 연료봉 온도와 봉내압이 상승하게 되며, 이로 인해 피복관의 대변형이 발생하게 된다. 이에 따라 국부적으로 유로가 축소되거나 심할 경우 막히는 현상이 발생하게 되고, 이는 냉각성능의 저하를 야기할 수 있다. 그러나 FAMILY의 전신인 MARS-KS의 경우 제어체적이 고정된 것을 전제로 지배방정식을 구성하고 있기 때문에 연계된 FRAPTRAN에서 대변형을 계산하더라도 이에 따른 유로변형 현상을 구현할 수 없는 문제가 있다. 이에 FAMILY는 유로변형 현상을 고려하기 위해 제어체적의 변화를 동반할 수 있도록 MARS-KS의 지배방정식을 개선한 체적변화 모델을 적용하고 있다. 본 연구는 FAMILY의 체적변화 모델의 적용에 따른 영향성을 평가하기 위해 IFA650.2 개별효과실험을 대상으로 평가를 수행하였다. 평가결과, 체적변화 모델을 반영함으로써 유로변형에 기인한 압력강하 증가와 함께 상부 스프레이 유량이 감소하고, 이에 상대적으로 높은 피복재 온도 거동이 나타나게 되는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구는 체적변화 모델을 적용함으로써 실제 대변형이 발생한 실험의 거동을 보다 사실적으로 예측할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Nuclear Safety Research Program through the Regulatory Research Management for SMRs (RMAS) and the Nuclear Safety and Security Commission (NSSC) of the Republic of Korea (No. 1500-1501-409).

육상 원전 방사선 방호 규제의 해양 원전 적용 가능성 분석

이효은·조재현[†]
중앙대학교

Analysis of the Applicability of Radiation Protection Regulations for Land-Based Nuclear Power Plants to Marine Nuclear Power Plants

Hyoeun LEE·Jaehyun CHO[†]

Chung-Ang University

[†]Corresponding author: jcho@cau.ac.kr

국제해사기구(IMO)는 2050년까지 탄소중립을 실현하겠다는 목표를 내세웠다. 현재 해양에서 발생하는 이산화탄소는 전 세계 이산화탄소 배출량의 3%를 차지하며, 이를 해결하기 위한 대안으로 원자력 추진 선박이 주목받고 있다. 그러나 원자력 추진 선박의 안전한 설계는 필수적이며, 과거 미국과 러시아 중심으로 개발된 원자력 추진 선박은 체계적인 규제 없이 운영되어 왔다. 원자력 추진 선박의 수요가 증가하는 현 시점에서, 구체적이고 합리적인 규제 체계의 마련이 시급하다. 현재 원자력 선박에 대한 거의 유일한 규정은 IMO에서 1981년 발행한 A.491 문서이다. 이 문서는 작성된 지 오래되어 최신 기술 발전과 안전 철학이 반영되지 않았기에, 현대 원자력 선박에 적용하기에는 무리가 있다. 해양 원전에 대한 방사선방호 규정을 개선하기 위해, 우선 육상 원전에 적용된 설계 특성을 파악하고, 국제적으로 통용되는 방사선량 제한을 조사하여 해양 원전에 적용 가능한지를 분석하였다. 육상 원전과 달리 해양 원전은 진동과 움직임에 견딜 수 있어야 하고, 선원들과 가까운 거리에 위치하는 특성이 있다. 또한, 원자로가 한정된 공간에 배치되기 때문에 차폐 설계 시 하중과 부피를 최소화해야 한다. 이를 위해, 육상 원전의 최종 안전성 분석 보고서(FSAR) 12장을 검토하여 방사선원과 차폐 설계, 차폐 계산 방법 등을 분석하였다. 이렇게 수집한 정보를 바탕으로, 해양 원전에 적용 가능한 설계와 보완이 필요한 설계를 구분하였다. 육상 원전의 방사선방호는 방사선량 제한치를 기준으로 구역을 나누고, 각 구역의 제한치를 만족하도록 설계되었음을 확인하였다. 이는 국제방사선방호위원회(ICRP)에서 제시한 방사선 작업 종사자의 연간 20mSv 기준을 만족한다. 선박의 경우 방사선 구역이 나누어지지 않는 않았지만, 방사선 제한치가 설정되어 있는 구역이 있었으며, 이는 ICRP에서 일반인을 기준으로 설정한 연간 1mSv 이하를 만족하도록 설정된 것으로 추정한다. 육상 원전 규정의 분석을 통해 해양 원전에 대한 방사선방호 규정을 마련함으로써, 원자력 추진 선박의 운영을 위한 인허가 과정에서 설계자와 규제자 간의 효과적인 소통 방안을 기대할 수 있다.

NuScale SMR 원자로냉각재압력경계 누설 관련 격차 분석

강도희·Mugabi Jophous·정재호[†]

경기 성남시 수정구 성남대로 1342 가천대학교 기계공학과

Gap Analysis for NuScale SMR Reactor Coolant Pressure Boundary Leakage

DoHee Kang·Mugabi Jophous^{*}·Jae-Ho Jeong^{†**}

Mechanical Engineering, Gachon University, Seongnam-si, 1342, Republic of Korea

[†]Corresponding author: jaeho.jeong@gachon.ac.kr

본 연구에서는 NuScale SMR의 원자로냉각재압력경계(RCPB)에서 발생할 수 있는 누설 관련 격차를 분석한다. 이를 통해 i-SMR의 인허가 심사를 지원하는 것을 목적으로 한다. NuScale SMR은 원자로 압력용기와 격납용기 설계가 통합되어 있고, 비상 노심 냉각 시스템의 피동형 설계를 특징으로 하여 원자로냉각재압력경계에서 파단이 발생해도 노심이 노출되지 않고 누설된 냉각재를 격납용기 내에서 관리한다. 자연 순환을 통해 원자로 용기로 돌아가게 하여 적절한 노심 냉각이 유지된다. 이는 냉각재 펌프를 사용하지 않으므로 전력 공급이 중단되더라도 원자로를 안정적으로 냉각할 수 있어 시스템의 안전성을 향상시킨다. 또한 NuScale SMR은 단일 냉각재 루프를 채택하여 복잡한 냉각재 배관 시스템을 제거함으로써 대형 파단 사고(LB-LOCA)의 가능성을 제거하였고 증기 발생기 튜브 누설 시, 누출된 물이 해당 증기 발생기 내에 격리되도록 설계되었다. 이와 같이 NuScale SMR은 전통적인 대형 경수로와는 다른 독특한 설계특성을 지니고 있다. 이러한 설계 차이는 기존의 대형원자로와는 다른 규제 및 검토 기준이 적용되어야 함을 시사한다. 본 연구를 통해 NuScale의 설계 특성을 면밀히 분석하고, NuScale SMR의 원자로냉각재압력경계 누설 탐지 기술의 적합성을 평가해 이를 바탕으로 i-SMR의 안전성 평가 및 검증 방법론을 개발하여, 향후 SMR의 안전한 운영을 위한 기술적 기반을 마련하고자 한다. i-SMR의 인허가 심사에 필요한 새로운 방법론을 개발을 위해 NuScale의 설계 격차를 분석하고, 이를 i-SMR에 적용할 수 있는지 평가할 것이다. 최종적으로 i-SMR의 안전성과 신뢰성을 높이는 데 기여하고, 규제 기관의 심사 과정을 지원하기 위한 데이터 베이스를 제공하는 것을 목표로 한다.

SMR 피동형 격납용기 열제거계통의 안전규제 사례 예비 분석

이연건[†] · 김현조 · 정창용 · 유한방 · 나형진 · 문소라
 세종대학교 양자원자력공학과

Preliminary Analysis of Safety Regulation Cases for the Passive Containment Cooling System in SMR

Yeon-Gun Lee[†] · Hyeonjo Kim · Chang Yong Jung · Hanbang Yoo · Hyoungjin Na · Sora Moon
 Department of Quantum and Nuclear Engineering, Sejong University
[†]Corresponding author: yglee@sejong.ac.kr

대부분의 경수형 SMR은 일체형 원자로 설계를 채택하고 있으며, 대형 콘크리트 격납건물을 대신하여 철제 격납용기를 도입함으로써 핵증기공급계통의 격납 시스템을 소형화하고 있다. 미국에서 개발한 SMR인 NuScale에서는 격납용기가 대형 냉각수조에 침수된 상태로 유지되며, 사고 시 원자로용기에서 방출된 증기를 격납용기 내벽면에서 응축시킴으로써 철제 격납용기의 열제거를 수행한다. 국내에서 개발 중인 혁신형 SMR 역시 격납용기 내에 증기를 응축시킬 피동 냉각계통을 배치하여 냉각재를 재순환할 수 있는 설계를 도입하고 있다. 그러나 격납건물 열제거계통에 대한 기존의 규제기준은 피동 냉각계통을 기반으로 철제 격납용기의 열제거를 수행하는 SMR에 적용할 수 없어, 인허가 심사 시 쟁점이 예상된다. 예컨대, 기존 대형원전에서는 격납건물 열제거계통의 건전성 및 능력을 보장하기 위하여 주요기기들에 대한 주기적인 검사가 가능하도록 설계하고, 계통의 운전 성능을 확인할 수 있도록 정기적인 시험을 요구하고 있다. 그러나 혁신형 SMR의 피동격납용기냉각계통은 열교환기와 배관만으로 구성되어 있어 정상운전이나 사고 시에도 별도로 구동되는 능동 설비가 없으며, 살수펌프와 같이 주기적인 성능 시험을 요하는 설비가 없다. 경수형 SMR에서 피동형 격납용기 열제거계통을 도입함으로써 발생할 수 있는 잠재적인 규제 문제를 조기에 식별하고, 이르면 '26년 경에 착수할 수 있는 혁신형 SMR의 표준설계인가 신청에 적기에 대응하기 위해서는 안전성 평가 체계의 구축이 시급히 필요하다. 본 연구에서는 격납용기 열제거계통 시험 관련 규제 현안에 대비하기 위한 노력의 일환으로 피동형 격납용기 열제거계통에 대한 해외 규제 및 면제 사례에 대한 예비 분석을 수행하였다. NuScale Power가 인허가 과정에서 발행한 격차분석 보고서, 면제신청 보고서와 더불어 미국 원자력규제위원회의 특정심사지침서, 안전성평가보고서 등을 검토하여 격납용기 열제거계통 시험 면제 승인에 대한 기술적 근거를 확인하고, 이를 향후 규제기준 면제에 대한 가이드라인을 수립에 활용하고자 한다.

화학물질 누출유형에 따른 사고 시나리오 개발 및 누출량 산출

손덕영·곽현준·이도경·이찬우·정종민·정승호^{†}
아주대학교 대학원 환경공학과·*아주대학교 환경안전공학과

Development of Accident Scenarios and Calculations of Leakage Based on the Types of Chemical Leaks

Deokyoung Son¹·hyunjun Gwak¹·Dokyung Lee¹·Chanwoo Lee¹·Jongmin Jung¹·
Seungho Jung^{†*}

Department of Enviromental Engineering, Ajou University·

*Department of Enviromental and Safety Engineering, Ajou University

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

최근 화학물질 생산과 사용이 증가함에 따라 관련 사고의 발생 빈도가 높아지고 있으며, 특히 화재나 폭발과 같은 형태의 사고에 비해 화학물질 누출사고의 발생 빈도가 현저하게 높기 때문에 이에 대한 체계적인 대응 방안이 요구되고 있다. 이러한 누출사고 대응 방법 중 하나는 화학사고에 특화된 3차원 CFD 프로그램을 통해 실제 상황을 정확히 반영하여 누출사고의 영향 범위를 예측하는 것이다. 본 연구는 화학물질의 누출 유형을 분류하고, 모든 유형의 누출사고를 모사해 볼 수 있는 사고 시나리오들을 개발한다. 또한, 각 시나리오에 적용할 수 있는 누출량 산출 방법을 제시하고 이에 대한 계산 결과를 보여 준다. 모든 시나리오는 실제 사고 DB를 바탕으로 개발되었으며, 각 시나리오가 목표하는 누출형태 및 해석 조건을 가정하여 재구성되었다.

본 연구에서는 사고 시나리오 개발을 위해, 화학물질안전원의 화학사고 DB 및 각종 문헌에서 활용된 화학사고 시나리오를 조사하고, 사고물질, 사고장치, 사고유형에 따라 이를 분류하고 그 빈도를 파악하는 등의 분석 작업을 수행하였다. 화학물질 누출사고의 유형은 크게 가스 누출, 액체 누출, 2상 누출이 나타나는 액화가스 누출의 3가지 유형으로 분류할 수 있으며, 사고장치에는 탱크, 탱크로리, 반응기, 배관, 밸브 등 여러가지가 있으나, 이러한 장치들은 누출량 산정식에 따라 용기와 배관 중 하나로 분류될 수 있다.

각 시나리오에 사용되는 누출량 산정식은 IEC, KOSHA guide 및 각종 문헌과 누출 관련 상용 프로그램에서 사용되고 있는 이론식을 조사하여 결정하였으며, 10분 전량 누출, 초기 누출률 고정, 누출률이 시간에 따라 감소하는 실제 상황에 대한 가정을 모두 적용하여 각 시나리오의 누출률을 계산하였다.

** 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 화학사고 예측·예방 고도화 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(RS-2023-00218759, 1485019604)

화학물질 누출사고 시나리오에 대한 ALOHA, EFFECTS, PHAST, KORA 분석 결과

이찬우·정종민·곽현준·이도경·정승호^{†*}·최청렬^{**}
 아주대학교 대학원 환경공학과·*아주대학교 환경안전공학과·** (주)엘솔텍

Analysis Results of Chemical Leakage Scenarios Using ALOHA, EFFECTS, PHAST, and KORA

Chanwoo Lee¹·Jongmin Jung¹·hyunjun Gwak¹·Dokyung Lee¹·Seungho Jung^{†*}·
 Choengryul Choi^{**}

Department of Enviromental Engineering, Ajou University·

^{*}Department of Enviromental and Safety Engineering, Ajou University·^{**} Elsoltec

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

화학물질 안전원의 데이터에 따르면 누출, 화재, 폭발과 같은 화학사고 유형 중 누출 사고가 유해화학 물질 사고의 대부분을 차지한다. 이러한 누출 사고의 빈도는 매년 증가하는 추세이며 유해화학물질 누출 사고는 환경 오염을 유발하고 인체에 피해를 입히므로 누출 사고에 대한 영향 범위를 사전에 예측하고 이에 대비하는 것이 필요하다. 유해화학물질의 영향 범위 예측 프로그램은 대표적으로 화학물질 안전원의 KORA, EPA의 ALOHA, DNV사 PHAST, Gexcon사 EFFECTS가 존재하며 각 프로그램들 모두 유해화학물질의 누출 확산 범위를 계산하는 것이 가능하다. KORA, ALOHA, PHAST 및 EFFECTS 프로그램들의 확산 모델은 Gaussian Model, SLAB Model, Degadis Model, UDM Model 등을 사용한다.

본 연구에서는 유해화학물질 중 암모니아의 기체 누출 사고와 2상 누출 사고에 대한 가상의 시나리오를 구성하였고, 이를 KORA, ALOHA, PHAST 및 EFFECTS 프로그램들을 이용하여 누출에 따른 유해물질의 확산 범위를 계산하였다. 각 시나리오의 해석을 위해서는 누출률의 계산이 필수인데, 여기에는 10분 전량 누출, 초기 누출률 고정, blowdown의 총 3가지의 가정이 사용되었다. blowdown 누출은 실제상황과 유사하게 누출률이 시간에 따라 변화하는 것을 말한다. 각 프로그램을 통해 얻어진 계산 결과는 2차원의 암모니아 농도 분포 그래프로 표현되었고, 암모니아의 끝점 농도에 따른 끝점 거리 역시 각각의 경우에 대하여 계산되었다. 끝점 거리의 경우 미국 산업위생학회(AIHA)에서 발표한 ERPG-1, ERPG-2, ERPG-3 기준으로 끝점 거리를 계산하였다. 본 연구의 결과를 통해 여러가지 가정하의 누출률이 적용되는 경우, 각각의 프로그램을 이용한 누출 확산 범위의 유사성 및 차이점을 확인해 볼 수 있었다.

^{**} 본 결과물은 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 산업혁신 인재성장 지원사업의 지원(P0012787, 1415189271)과 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 화학사고 예측·예방 고도화 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(RS-2023-00218759, 1485019604)

FLACS를 활용한 화학물질 누출사고 영향성 평가

민미미·정승호[†]·최청열^{*}
아주대학교 환경안전공학과·^(*)엘솔텍

Risk Assessment of Chemical Leakage Accidents Using FLACS

Mimi Min·Seungho Jung[†]·Choengryul Choi^{*}
Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University·^{*}Elsoltec
[†]Corresponding author: processsafety@ajou.ac.kr

국제연합환경계획(UNEP)에 따르면, 우리나라의 화학물질 생산량과 사용량은 지속적으로 증가하고 있으며, 화학산업 분야의 성장속도 또한 다른 분야에 비해 빠르게 이루어지고 있다. 그러나 이러한 유해 화학물질 사고에 대한 안전 의식 및 대책 방안은 그 성장속도에 미치지 못하고 있어 크고 작은 화학물질 사고가 매년 증가하고 있는 추세이다. 이러한 화학물질 사고는 사고가 발생하는 순간 주변으로 확산되어 인명과 재산 피해뿐만 아니라 주변환경을 오염시키는 등 많은 피해를 초래한다. 따라서 화학물질을 취급하는 사업장에서는 사업장에 맞는 사고 시나리오를 만들고 피해 영향 범위를 예측하여 사고 초기에 빠른 대응이 가능하도록 피해를 최소화할 수 있는 방안을 마련하는 것이 중요하다.

현재 우리나라에서는 사고 피해 영향 범위 평가를 위해 화학물질안전원의 CARIS, KORA와 미국 EPA의 ALOHA, DNV사의 PHAST 등 2차원 모델을 주로 사용하고 있다. 그러나 화학물질 사고 영향성 평가 관련 선행연구에 따르면 2차원 모델을 이용한 사고 영향 평가 결과와 실제 건물 및 지형지물을 반영한 3차원 시뮬레이션의 사고 영향 범위 평가 결과는 크게 달라질 수 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 보다 정확한 유해 화학물질 사고 예방 및 대응을 위해서는 3D 시뮬레이션을 통한 사고 영향 평가가 필요하다.

본 연구에서는 경부고속도로 동탄 직선화 구간에서의 탱크로리 전복에 의한 암모니아 누출 사고 시나리오를 가정하여 Gexcon사의 FLACS 22.2를 활용한 사고 영향 범위 계산을 수행하였다. 계산에 사용된 시나리오는 누출형태에 따라 가스 누출과 액화가스 누출로 구분됨과 동시에, 누출률은 10분 전량 방출, 초기 누출률 고정, 실제상황과 유사하도록 누출률이 시간에 따라 감소하는 경우를 모두 고려하였다.

** 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 화학사고 예측·예방 고도화 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(RS-2023-00218759, 1485019604)

오픈소스를 활용한 화학물질 누출사고 영향 범위 해석

김현식[†] · 길재홍 · 박현강 · 유지형
(주)넥스트폼

Numerical Study of the Impact Range of Chemical Release Accidents Using Open Source

H.S. Kim[†] · J.H. Gill · H.K. Park · J.H. Yoo
NEXTfoam

[†]Corresponding author: hskim@nextfoam.co.kr

화학물질 누출사고는 산업 현장뿐만 아니라 일상생활에서도 발생할 수 있는 재난이다. 화학물질의 사용은 화학 산업의 발달에 의해서 나날이 성장하는 만큼, 화학물질 누출사고를 접할 가능성 역시 증가하고 있다. 유해 화학물질이 누출될 경우 그 확산 범위를 예측하는 것이 사고 대응에 있어 매우 중요하며, 이를 위해 3차원 CFD 해석을 통한 전문적인 대응 기법에 대한 기술 개발이 요구된다.

최근 화학물질 누출사고 영향 범위 해석은 화학물질의 누출 상황을 단순하게 가정하여 사고 영향 범위를 예측하였지만 다양한 사고 요인들을 고려하는 기술 개발이 수반되어야 한다. 따라서 기능 확장이 용이한 오픈소스 CFD 해석 프로그램인 OpenFOAM을 사용하여 기존의 현상학적모델(SLAB), 기상데이터 그리고 3D 지도데이터 등을 활용하여 화학물질 누출사고 영향 범위를 예측하였다.

본 연구를 위해 먼저 동탄신도시에서 암모니아 누출사고가 일어났다고 가정하여 시나리오를 작성하였다. 실제 동탄신도시 주변의 지형 및 건물 정보를 바탕으로 격자를 생성하였고, 이를 통해 실제 지형을 최대한 반영한 시뮬레이션을 구축하였다. 암모니아 누출에 대해서는 기체 누출과 기체-액체 2상 누출을 모두 고려하였고, 누출 방식은 10분 전량 누출, 누출률 고정 등으로 시나리오를 구분하여 해석을 진행하였다.

시뮬레이션 결과, 누출 1시간 이후 암모니아가 확산되어 인근 지역에 영향을 미칠 가능성을 확인하였다. 또한 10분 전량 누출, 누출률 고정 시나리오 등의 시나리오에 따라 확산 범위의 차이가 보였으며 확산 범위를 비교 분석하였다.

본 연구를 통해 오픈소스 소프트웨어인 OpenFOAM을 사용하여 화학물질 누출사고의 확산 범위를 해석할 수 있음을 확인하였다. 앞으로는 다양한 화학물질과 누출 조건을 포함한 추가적인 시뮬레이션을 진행하고자 한다.

** 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 화학사고 예측·예방 고도화 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(RS-2023-00218759, 1485019604)

화학물질 누출사고 영향범위 예측 및 사고원인 분석을 위한 3차원 CFD 프로그램 개발

최청열[†]·강승훈·김민수
(주)엘솔텍

3D CFD Program for Predicting the Impact Range of Chemical Leak Accidents and Analysis of Causes of Accidents

Choengryul Choi[†]·Seunghoon Kang·Minsu Kim
Elsoltec Co.

[†]Corresponding author: crchoi@elsoltec.com

화학물질의 누출에 의한 사고 영향범위 예측 및 사고원인 분석에 사용되는 2차원 모델은 실제 지형, 건물 등의 영향 요인을 고려하지 못하고 있으며, 제한된 기상정보만을 사용할 수 있어 그 한계가 명확하다. 이러한 시공간상의 영향요인을 고려한 상세 분석을 위해서는 3차원 정밀 모사를 지원하는 CFD 기술의 적용이 필요하지만, 국산 관련 기술의 한계로 인해 해외에서 개발된 고가의 상용 프로그램(FLACS, Fluents 등)의 의존하고 있다. 본 연구에서는 3차원 CFD 해석을 지원하는 오픈소스 기술을 이용하여 화학물질의 누출 및 확산 현상을 해석하는 소프트웨어(CESARE: Chemical Substance Accident Response)를 개발한다. CESARE는 검증된 CFD 해석 기술을 기반으로 하고 있으며, 기존의 복잡한 CFD 해석 환경 설정을 위한 전문가 지식의 필요성을 최소화할 수 있게 지원한다. CESARE는 주요 유해화학물질의 정보를 데이터베이스로 내장하고 있으며, 화학물질 사고가 발생한 위치 및 그 주변의 지형 및 건축물 3차원 정보의 자동 생성, 기상청의 실제 기상 정보 연동, 사용자의 간단한 정보 입력만으로 사고 장치 형상 생성 등의 기능을 지원한다. 또한, 사용자가 쉽게 해석 결과를 분석, 비교 및 평가가 가능하도록 화학물질별 비상대응계획수립지침(ERPG, Emergency Response Planning Guideline) 기준에 맞는 자동화된 분석 스크립트를 통한 분석 정보 및 보고서 생성을 지원하도록 설계되었다.

본 연구에서는 CESARE에 대한 소개 및 설명과 함께 동일한 화학물질 누출/확산 사고 시나리오를 기반으로 한 2차원 모델의 해석과 3차원 모델의 해석의 결과를 비교 평가하고, 해석 결과의 차이에 대한 원인을 분석한다.

** 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 화학사고 예측·예방 고도화 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(RS-2023-00218759,1485019604)

화학사고 분류체계 개선 연구

정성경·김지윤·박춘화·김성범[†]
화학물질안전원

A Study on the Improvement of Chemical Accident Classification System

Jeong Seong Kyeong·Ji Yoon Kim·Choon Hwa Park·Sung Bum Kim[†]

National Institute of Chemical Safety

[†]Corresponding author: bumking@korea.kr

화학사고의 증가 원인은 산업화, 도시화, 정보화 등 급속한 사회의 발전으로 인해 그 유형이나 원인이 복잡·다양성에서 기인하며 이는 복합적인 사고와 피해를 유발한다. 또한, 한번의 화학사고는 대형 인명 피해뿐만 아니라 환경·생태 피해까지 국가차원의 재난으로 확대될 수 있는 위험성이 존재하기 때문에 유사사고 예방 및 대책 마련을 위한 구체적인 사고분석이 필요한 실정이다. 이에 따라, 본 연구는 화학사고를 예방하고 피해 저감 방안 마련을 위해 과학적이고 활용도 높은 화학사고 분류체계로 개선하였다. 이를 위해 국내(고용노동부, 산업통상자원부, 소방청 법령)·외(미국, 유럽연합, 일본)에서 발생한 재난 등 각종 안전사고의 분류현황을 조사하고 화학사고와 관련한 분류 항목과 방법을 적용했다. 또한, 국내에서 발생한 화학사고 사례를 바탕으로 재분석하여 분류체계의 활용성을 검증했다. 개선된 분류체계는 현재의 단편적인 분류체계에서 벗어나 한가지 화학사고를 다각도로 분류하고 심층적으로 분석하기 위해 형태, 원인, 장소, 피해, 시간, 화학물질, 사고설비, 작업내용, 위반사항에 대한 9가지 항목으로 구분했다. 또한, 9개의 대분류 항목을 64개의 중분류로 구분하고, 중분류를 60개의 소분류로 분류하여 세부원인 파악이 가능하도록 구성했다. 분류를 통해 화학물질 취급시설과 취급관리 강화 등 제도 개선 추진을 위한 기초데이터 확보에 기여하고자 기존의 단편적인 화학사고 분류체계(년·월, 지역, 원인, 물질, 유형)을 개선하였다. 본 연구의 결과물을 개선된 분류체계를 기반으로 수집된 화학사고 통계 자료를 활용하여 환류체계를 구축하면 현장 안전관리 강화 및 실질적인 안전사고 예방책이 개발되어 체계적인 대책수립까지 폭넓게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

한국과 미국의 화학사고 현황 비교 분석

김지윤·정성경·박춘화·김성범[†]
화학물질안전원

Comparative Analysis of Chemical Accident Trends in South Korea and the United States

Ji Yoon Kim·Jeong Seong Kyeong·Choon Hwa Park·Sung Bum Kim[†]

National Institute of Chemical Safety

[†]Corresponding author: bumking@korea.kr

산업의 발전에 따라 화학물질의 유통·사용량이 증가함에 따라 화학사고의 위험성 또한 높아지고 있다. 이러한 위험은 한국에만 국한되지 않으며, 화학산업의 경제적 비중을 차지하는 여러 국가에서도 화학사고의 위험성이 증가하고 있다. 특히, 미국에서는 화학물질과 관련된 사고 및 재난을 예방하고 국민의 건강과 환경을 보호하기 위해 지속적인 규제 강화의 필요성을 강조하고 있다. 이에 따라, 화학사고의 빈도와 규모를 줄이기 위한 각 국가에서 발생한 화학사고의 체계적인 비교 분석을 통해 실효성 있는 사고 예방 및 안전관리 방안이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 2023년 한국과 미국에서 발생한 화학사고를 다각도로 비교 분석하였다. 2023년에 한국에서 발생한 115건의 화학사고와 미국에서 발생한 323건의 화학사고의 발생 현황, 형태, 원인, 피해 등을 종합적으로 분석하였다. 이를 통해 양국의 화학사고 세부원인을 파악하고 사고 발생의 패턴 및 특성을 도출함으로써 한국과 미국의 화학사고 예방 대책 차이를 고찰하고자 한다.

본 연구의 결과물은 단순히 양국에서 발생한 과거의 화학사고를 되짚어 보는 것을 넘어서 각 국가 간의 화학물질 관리 규정, 교육 및 훈련 프로그램 등을 참고하여 국가의 특성을 반영한 제도개선, 화학사고 예방 대책 수립 등의 강화를 위한 중요한 재료를 제공할 수 있을 것이다. 또한, 이를 바탕으로 한국과 미국의 화학사고 예방 및 대응 체계의 상호 보완적 발전을 도모하며, 각 국가의 국민이 신뢰할 수 있는 안전한 화학산업 환경 구축에 기여할 것으로 기대된다.

거버넌스 중심의 지역화학사고대비체계 구축 및 확산: 군산시 사례 중심으로

안성용¹·임지영^{2*}·박춘화^{3†**}
 화학물질안전원¹·*화학물질안전원²·**화학물질안전원³

Establishing and disseminating a governance-driven regional chemical incident preparedness system: Gunsan City case study

Ahn, seongyong¹·Im, jiyong^{2*}·Park, choonhwa^{4†**}
 National Institute of Chemical Safety^{1,*2,**3}
 †Corresponding author: ch51245@me.go.kr

현대사회에서 화학물질의 사용이 증가함에 따라 화학사고의 위험성 또한 높아지고 있다. 이러한 위험에 효과적으로 대응하기 위해서는 중앙정부 주도의 화학사고 대응체계를 강화하는 시스템을 만드는 것 뿐만 아니라 지방정부 주축으로 지역사회 차원의 대응체계 구축이 필수적이라고 할 수 있다. 본 연구는 군산시를 사례를 토대로 화학안전 거버넌스(화학물질안전관리 위원회 및 소위원회) 중심으로 지역화학사고대비체계의 구축 및 확산 방안을 모색하고 이를 위해, 지역사회의 일반주민, 중앙정부, 지방정부, 기업, 비영리기관 등 다양한 이해당사자 간의 상호존중을 바탕으로 소통, 협력 등을 강화하는 화학안전 거버넌스 모델을 제안하고 그 실효성을 검토하고자 한다. 연구는 군산시의 화학사고에 대응하고 대비하는 현황과 문제점을 분석한 후, 다양한 이해관계자가 참여하는 협력적 네트워크 구축, 정보 공유 및 의사소통 강화, 교육 및 훈련 프로그램 개발 등의 구체적인 전략을 제안하고, 특히, 군산시의 사례를 통해 이러한 전략의 적용 가능성을 평가하고, 실제 적용 시 나타나는 효과를 분석하였다.

본 연구의 결과는 군산시에서 거버넌스 중심의 화학사고대비체계가 신속하고 효율적인 대응과 일반주민 알권리 확대를 가능하게 함을 보여주었다. 이는 향후 다른 지역에서도 유사한 체계를 구축하는데 있어 유용한 방법론과 접근법이 갖는 유효성을 제공할 것으로 기대된다. 본 연구는 지역사회 중심의 화학사고 대비 및 대응체계의 중요성을 강조하며, 중앙정부와 지방정부 정책 담당자 및 실무자들에게 화학물질 안전정책 방향에 실질적인 대안과 방안을 제시함으로써 화학사고로부터 안전한 지역사회 구현을 통해 화학재난으로 인한 주민의 생명과 환경의 피해를 최소화하고자 한다.

키워드: 거버넌스, 화학사고, 군산시, 화학사고대비체계, 협력적 네트워크

D.N.A 기반 화학사고 예측 및 리스크 평가 기술개발

김호현^{1,2†} · 양준용^{3*} · 김민수^{4**} · 정승호^{5***} · 이철진^{6****} · 손종렬^{7*****} · 주상우^{8*****}
 서경대학교 나노화학생명공학과¹ · 서경대학교 생활 및 산업환경연구소² · * (주)키미아비전³ ·
 ** (주)위즈아이⁴ · *** 아주대학교 환경안전공학과⁵ · **** 중앙대학교 화학공학과⁶ ·
 ***** 고려대학교 보건과학연구소⁷ · ***** 숭실대학교 화학과⁸

D.N.A-based development of chemical accident prediction and risk assessment technology

Ho-Hyun Kim^{1,2} · JunYong Yang^{3*} · Minsoo Kim^{4**} · Seungho Jung^{5***} ·
 Chul-Jin Lee^{6****} · Jong-Ryeul Shon^{7*****} · Sang-woo Joo^{8*****}

Seokyeong University, Department of Nano-Chemical, Biological and Environmental Engineering¹ ·
 Industry-Academy Cooperation Foundation² · * ChimiaVision³ · ** Wizai⁴ ·
 *** Ajou University, Department of Environmental and safety Engineering⁵ ·
 **** Chung-Ang University, Department of Chemical Engineering and Department of Intelligent Energy
 and Industry(BK)⁶ ·
 ***** Institute of Health Sciences, Korea University⁷ · ***** Soongsil University, Department of Chemistry⁸
 † Corresponding author: ho04sh@skuniv.ac.kr

2015년 화학물질관리법이 시행됨에 따라 화학사고 발생 건수가 감소하고 있음에도 화학사고 에 의한 인명 피해는 꾸준히 발생하고 있다. 2022년 소방청 조사에 따르면 국내 화학사고 발생 건수는 총 218 건이며, 인명 피해는 241명(사망 13명, 부상 228명)으로 전년 대비 인명 피해 건수가 증가하였다. 국내 화학물질 취급 업체는 울산, 여수 등 대규모 산업단지부터 전국 곳곳의 중소 산업단지 및 농공단지에 위치하므로 전국 어디에서나 화학사고 발생 우려는 존재한다. 특히 화학사고는 화학물질 특성에 따라 인체, 환경에 치명적인 영향을 미칠 수 있고, 복합적으로 작용하면 더 큰 피해를 일으킬 수 있다. 국내 화학산업은 빠르게 성장하고 있지만 화학물질에 대한 안전의식 및 대책 마련은 미흡한 실정이므로 화학사고 신속한 초기 대응 강화와 체계적인 예방 체계 마련이 필요하다. 본 연구는 2022년 4월부터 2026년 12월까지 진행되며, 워크숍, 기업 설명회, 지자체 MOU 체결(수원시, 군산시), 기업 방문 등을 통해 화학사고 예방 플랫폼 구축을 위한 빅데이터 수집 및 운영시스템을 설계하고 있다. 이에 플랫폼 내 DB 구축을 위해 화학물질안전원, 지자체 등의 협조를 받고 있다. 그러나, 기업 정보의 경우, 기업 기밀 유출 우려로 기업 동의서 없이 제공받기 어려운 상황이다. 현재 구축된 DB를 통해 2개의 모델(화학사고 예측 모델, 화학사고 위험성 평가 모델)을 개발하였다. 화학사고 예측 모델의 학습 데이터는 경기도 고용 산재보험 가입현황, 경기도 유해화학물질 취급사업장 현황, 경기도 유해화학물질 사고 현황 등의 데이터를 활용하였다. 화학사고 위험성 평가 모델은 화학물질안전원 제공 데이터, 기상 데이터, NFPA 704 위험성 코드 등을 활용하였다. 또한, 플랫폼 고도화를 위해 추가 데이터 분석 및 전처리 과정을 진행하고 있으며 2024년 10월 중으로 군산시 일부 기업에 적용하여 실효성을 검증할 예정이다.

본 연구에서 개발된 화학사고 예측 플랫폼은 추후 관련분야 정책 수립의 기초자료 활용이 가능하며, 지자체, 기업의 선제적 화학사고 예방 활동이 가능할 것이다.

** 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 화학사고 예측·예방 고도화 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (과제번호: 2022003620003)

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

김병훈·황성범·이지혜·서경석·황승율[†]
화학물질안전원

Investigation Case of Cause of a Chemical Accident using FLACS CFD

Byounghoon Kim, Sungbeum Hwang, Jihye Lee, Gyeongseok Seo, Seung-Ryul Hwang[†]
National Institute of Chemical Safety
[†]Corresponding author: komelong@korea.kr

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 장단기적인 동종사고 예방대책을 수립하여 동종 플랜트 FEED(Front End Engineering Design) 단계에서부터 안전설계가 반영되도록 하여야 한다. 화학물질에 의한 복합사고는 사고현장이 파손·전소·오염되어 물질분석 및 공정해석에 의존한 기존 사고조사 방법으로 사고발생 원인을 명확하게 규명하는데 한계가 있다. 본 사례 연구에서는 실제 화학사고가 발생한 공정의 동일 물질·조건에서의 물질 분석과 사고시설 공정해석을 통해 사고물질이 반응기 하부에서 드럼으로 이송 중 대량의 유증기가 발생하며 폭발이 전개된 원인을 추정하였고 사고발생 사업장 및 주변지역을 역설계(3D 스캔)하여 3D 모델링 형태로 사고 이전 현장을 재현하여 사고원인을 검증하였다. RANS(Reynolds-averaged navier-stokes) 솔버를 활용한 유한체적해석 프로그램인 FLACS(FLame ACceleration Simulator) 시뮬레이터를 활용하여 누출된 물질의 증기운 형성 과정을 도출하여 현장 CCTV와 사고당사자의 증언을 토대로 비교·분석을 하였고 증기운 폭발로 인한 폭발 과압과 현장 구조물의 파손 상태를 비교·분석하여 누출확산·점화·폭발사고의 단계적인 사고메커니즘 및 발생원인을 규명하였다. 본 사례에서 적용한 FLACS 3D 시뮬레이션 활용 기법과 개선 대책 도출 과정은 유사 화학사고의 발생원인을 조사하고 사고예방대책을 도출하는데 활용 할 수 있을 것이다.

석유화학계 산업단지가 위치한 지역의 발암물질 취급량 변화 추이 분석

최우수·황만식·윤준현[†]
 화학물질안전원사고예방심사1과

Analysis of changes in the amount of carcinogens handled in the
 regions where petrochemical industrial complexes are located

WooSoo Choi·ManSik Hwang·Junheon Yoon^{†**}

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

[†]Correspondingauthor:soiljh@korea.kr

화학물질관리법에 따른 화학물질 통계조사 자료를 분석하여 우리나라 석유화학계 산업단지가 위치한 지역의 주요 발암물질의 취급량 변화를 분석하였다. 제3차(2018년)부터 제5차(2022년)까지의 발암물질(1급, 2A급, 2B급)취급량을 분석해 본 결과, 발암물질을 제조(합성)한 양은 '18년도 41.4백만톤이고 '22년도 31.8백만톤으로 '18년도 대비 '22년도 30.2% 감소하였다. 해당 사업장의 수는 '18년도는 439개소이고 '22년도는 426개소로 '18년도 대비 '22년도에 3.1%로 감소하였다.

석유화학계 기초 화학물질 제조업에서 발암물질을 제조합성한 양은 '18년도 19.7백만톤이고 '22년도는 20.2백만톤으로 '18년도 대비 '22년도에 2.5% 증가하였고, 사업장의 수는 '18년도에 40개소에서 '22년에는 39개소로 '18년도 대비 '22년도에 2.6% 감소하였다.

'18년, '20년, '22년 보고된 화학물질 통계조사 결과에 따르면, 국내 발암물질 제조(합성)량의 평균 88%는 여수, 울산, 서산, 경남이 차지하며, 석유화학계 기초 화학물질 제조업에서 발암물질을 제조(합성)하는 양의 평균 54%는 여수로 확인되었다.

화학물질 누출·확산 조기 감지 및 리스크 저감 위한 고정/이동식 감지기 배치 최적화

김강섭·신동일[†]
명지대학교 화학공학과

Mathematical Modeling and Optimization of Sensor Placements for Detection and Risk Reduction of Chemical Leak and Dispersions

Kangseop Kim·Dongil Shin[†]

Department of Chemical Engineering, Myongji University

[†] Corresponding author: dongil@mju.ac.kr

화학물질의 누출 및 확산은 화재, 폭발, 유독성 물질 확산과 같은 대규모 산업 재해로 이어질 수 있다. 이에 대비한 설계 단계의 안전과 더불어 누출 발생이후의 손실 저감 대응의 첫단계는 누출 위치, 물질, 크기 등의 정확하고 신속한 감지를 요구하며, 따라서 리스크의 3번째 축으로 조기 감지 수준을 포함하기도 한다. 누출 감지를 위한 센서 배치는 규정에 따라 정해진 간격으로 배치하는 것이 통상적인 방법이나, 예상 또는 미예상 등 다양한 누출 시나리오의 관점과 센서의 신뢰성 등을 고려할 때 이런 배치가 최적의 감지와 리스크 저감을 보장하는 것은 아니다.

본 연구에서는 센서 배치에서 고려될 수 있는 다양한 목적함수와 제약조건들을 분류하고 이들을 수식화하였다. 리스크 최소화, 감지 시간 최소화, 감지 범위 최대화, 여러 시나리오 감지 최대화, 비용 최소화, 미고려 시나리오에 대한 강건성 최대화 등 목적함수들과 감지기 배치 예산 한계, 감지 보장 시간, 특정 임계값, 구조물이나 장애물 등 산업 현장의 물리적 배치 제약, 복수 센서에 의한 감지 보장 등 다양한 제약조건들을 제안하였으며, 사용자는 공정 특성과 위험 정책에 따라 가장 적절한 목적함수와 제약조건을 선택하고 이에 기반한 최적 배치 결과를 확인할 수 있다. 최적화 단계에서 요구되는 시뮬레이션 데이터와의 interface를 포함해 구현한 화학물질 누출·확산 고정/이동식 감지기 배치 최적화 시스템은 또한 open-source로 공개하였다.

개발 시스템은 MINLP 최적화 문제를 Pyomo 및 Chama package를 이용하여 풀이한다. 현재 버전은 구조물이나 장애물 등을 고려한 배치 후보 지점들을 사용자에게서 입력받아 플랜트의 물리적 제약을 회피하는 형태이며, 사용자는 감지가 요구되는 누출 시나리오들에 대해 CFD 확산 시뮬레이션 결과를 준비해 연결하거나 시스템이 제공하는 간단한 확산 함수를 이용해 데이터를 생성할 수도 있다. 제안된 시스템은 공정의 잠재적 위험에 맞춘 더 정확하고 효과적인 고정식/이동식 센서 배치 및 검증을 가능하게 하고, 미고려 누출 시나리오에 대해서도 강건성을 보장하여, 화학물질 누출의 조기 감지와 리스크 저감에 크게 기여할 것으로 예상된다.

폐배터리 리튬 침출 공정에서의 위험성 평가

한규진·이찬우·이승준·이근원^{†*}·정승호^{†*}

아주대학교 대학원 환경공학과·*아주대학교 환경안전공학과

Risk Assessment in the Lithium Leaching
Process of Waste BatteriesGyu-jin Han¹·Chan-woo Lee·Seung-jun Lee·Keun-won Lee^{†*}·Seung-ho Jung^{†*}

Department of Environmental Engineering, Ajou University·

*Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University

†Corresponding author: leekw0@ajou.ac.kr

국내 공정에 사용되는 무기산 물질의 사용량이 증가하면서, 무기산 물질 누출 사고가 지속적으로 발생하고 있다. 화학물질안전원 화학사고 데이터에 따르면 무기산 누출 사고 물질 중 염산과 황산의 사고 비율이 전체 물질 중 두, 세 번째로 많은 것으로 보고되고 있으며 국내 2023년 전북 군산에 위치한 한 공장에서는 반응기 하부 천공이 발생해 황산이 930kg 누출된 사고 사례가 있는 만큼 무기산 누출 사고는 매년 지속적으로 발생하고 있는 상황이다. 이차전지 제조 공정, 석유 정제 공정 등 많은 산업에서 사용되고 있는 무기산은 부식성이 있어 취급설비를 부식시킬 수 있으며 독성물질로서 환경 및 사람에게 피해를 입힐 수 있다. 이러한 위험성을 가진 무기산이 사용되는 공정 중 이차전지 재활용 공정 과정에서의 침출공정에 대한 위험성평가를 수행하였다.

본 연구는 HAZOP을 통해 침출 공정에 존재하는 위험요인 및 운전상의 문제점을 찾아냈고 위험도 대조표를 통해 위험 요인에 관한 위험도를 산정했다. 위험요인들은 LOPA를 통해 사고 발생확률을 방호계층(Protection Layer)의 실패 등의 영향을 고려해 계산한 후 발생 빈도가 높은 위험요인을 선정했다. 이후 선정된 위험요인에 대한 사고 시나리오 영향평가를 EFFECTS 등 프로그램을 통해 진행해 무기산 독성 물질 영향범위를 확인하였다. 이후 무기산 독성 범위 내에서 Probit 함수를 통해 계산된 피해 영향과 위험요인 사고 시나리오의 사고 빈도와 함께 F-N Curve를 작성했다. 작성된 F-N Curve를 통해 이차전지 침출공정에서의 위험 요인이 허용 가능한 범위에 있는지 확인하였고 허용 가능하지 않은 범위에 있는 경우 피해 영향 및 빈도를 완화시킬 수 있는 방호 조치를 제시하였다.

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

암모니아 연료추진 선박의 병커링 누출 시나리오에 대한 위험성 평가

도지석·장기원·정종민·이근원^{†*}·정승호^{†*}
 아주대학교 대학원 환경공학과·*아주대학교 환경안전공학과

Risk Assessment of Leakage Scenarios during Bunkering of Ammonia-Fueled Ships

Jiseok Do·Kiwon Jang·Jongmin Jeong·Keunwon Lee·Seungho Jung^{†*}
 Department of Environmental Engineering, Graduate school of Ajou University
^{*}Department of Environmental and safety Engineering, Ajou University
[†]Corresponding author : processsafety@ajou.ac.kr

글로벌 무역 물류에서 약 90%는 해운업계가 차지하며 이는 전세계 탄소 배출량의 약 3%를 차지한다. 국제해사기구(IMO)는 2050년까지 2008년 배출 수준의 50%로 배출 감축 목표를 설정해놓은 상태이므로 친환경 선박 도입이 시급한 상황이다. 친환경 연료에는 LNG, 수소, 메탄올, 바이오매스, 암모니아 등이 있으며 이 중 암모니아는 연소 시 탄소가 배출되지 않는다는 장점이 있다. 국내에서는 조선 3사가 올해 전 세계 암모니아 운반선 발주 물량 15척을 모두 수주하였고 울산항에서는 2030년까지 암모니아 병커링 인프라를 구축할 계획이다. 병커링은 선박에 연료를 주입하는 과정이며 소형 선박을 통한 해상 공급이나 항만에서의 공급으로 이루어진다. 이 과정에서 고압이나 저온으로 액화된 암모니아가 작업자의 실수나 부품 결함으로 누출 시 독성으로 인한 해양 생태계에 대한 큰 피해를 줄 수 있고 인체 흡입 시 호흡기 질환 등 극심한 인명 피해를 초래할 수 있다.

본 연구에서는 병커링 작업 중 발생 가능한 암모니아 사고에 관하여 1회 충전시 용량이 소용량인 경우 트럭-선박, 대용량인 경우 탱크-선박으로 구분한 시나리오에 대해 위험성 평가를 진행하고자 하였다. HAZOP을 통해 잠재적 위험요인을 선정한 결과, 암모니아 주입 호스 파손, 배관 균열, 탱크 파열 등의 요인으로 인한 누출 사고가 주요 위험 요인으로 나타났다. 정량적 위험성 평가에서는 Gexcon社の Effects 프로그램을 통해, 암모니아 누출량, 누출 위치, 기상 조건 등을 입력하여 독성 농도 기준 ERPG-2를 위주로 사고 시나리오별 위험도를 산출하였다. 이를 바탕으로 암모니아 운반선 병커링 작업 시 발생할 수 있는 누출 사고에 대한 관리 방안을 제안하였다.

^{**} 본 연구는 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0012787, 2024년 산업혁신인재성장지원사업)

중소·중견 제조업체를 위한 대책평가형 위험성 평가 방안 연구 : RDPT-Rule을 중심으로 한 감소대책의 질적 향상 사례

한종호·윤여송[†]

한국기술교육대학교 산업안전공학과

Study on Countermeasure Evaluation-Based Risk Assessment Methods for Small and Medium-Sized Manufacturing Enterprises : Case Studies on Qualitative Improvement of Safety Measures Using the RDPT Method

Han Jongho·Yoon Yeo Song[†]

Korea University of Technology and Education

[†]Corresponding author: ysyoon@koreatech.ac.kr

산업안전 선진국으로의 도약을 위해 정부가 발표한 「중대재해 감축 로드맵」에 따르면 '26년까지 사망 사고 만인율을 OECD 평균수준(0.29‰)으로 감축하기 위한 목표를 세우고, '자기규율 예방체계 구축', '중소기업 및 취약분야 집중지원'의 핵심전략을 구사하고 있으며, 주된 실현방안으로 위험성평가를 제시하고 있는데, 기존의 빈도×강도에 따른 위험도 평가의 틀에서 벗어나 고/중/저 방식의 직관적인 위험도 평가방식을 수정 제시하여 현장실행력을 높이려 하고 있다.

위험성평가를 통해 안전한 상태를 확보하기 위해서는 평가된 유해·위험요인에 따라 반드시 적절한 감소대책의 수립과 실행이 수반되어야 하지만 위험도를 평가하는 방법론에 대해서는 많은 연구와 새로운 기법기술이 개발되는 반면, 감소대책의 수립방법에 대해서는 이론적 방향 외에는 위험성평가 실행자료에 적용 가능한 연구결과가 부족하여 평가자의 수준과 기업의 역량에 따라 감소대책의 질적 수준에서 높은 편차를 보이는 한계를 지니고 있다. 특히, 전체의 99.9%를 중소기업이 차지하고 있는 국내 산업구조와 기타 업종에 비해 작업방법이 상대적으로 다양한 제조업종에서는 그 한계가 더욱 분명하다.

본 논문은 기존 위험성평가의 감소대책 수립에 관한 편차 한계를 극복하고 질적 향상을 이루기 위한 연구를 목적으로 하였으며, 제한된 인력과 안전관리 수준에서도 표준화가 가능하도록 NIOSH에서 제공한 재해방지 이론을 좀 더 쉽게 체계화하여 제거(R), 방호(D), 보호(P), 교육(T)의 4가지 대책 유형에 따라 위험도를 감소시키는 RDPT-Rule을 개발하고 사례연구를 통해 감소대책의 질적 향상을 위한 방법으로써 제안하고자 한다.

사례연구는 500인 미만 규모의 제조업체를 우선 대상으로 하였으며, 위험성평가는 KRAS, JSA 기법을 기본으로 실시하였다. 확장성 확인을 위해 HAZOP, Check List 등 기타 통용화 된 기법에도 확대 적용하였고, 각각 RDPT-Rule에 따라 수립된 감소대책 유형에 관한 효과를 확인하였다.

위험물 사고, 재난 시 증상을 통한 원인 도출의 국제 동향

왕순주
한림대학교

International Trends of Symptomatic Causation in Hazardous Material Accidents and Disasters

Soon-Joo Wang

Hallym University

† Corresponding author: erwsj@chol.com

1. Introduction

In Korea, human casualties caused by chemicals are constantly occurring, but it is not easy to respond quickly when the substance is unclear. In this case, it is estimated through the information, documents, or labeling of the substances handled by the company, but this is limited to chemical accidents that occurred in the company or in transportation vehicles labeled with chemical substances, and is useless for terrorism, illegal chemical handling activities, chemical warfare, etc. caused by unknown substances, and it is difficult to identify the substance in real time during urgent field activities. In developed countries, many chemical accident data that cause symptoms of chemical accident victims have been accumulated, and the relationship between symptoms and substances has been organized and algorithmized, and a system that suggests substances in priority order by looking at symptoms is in place, and this is being continuously supplemented through big data and artificial intelligence. There are many chemicals in Korea, and despite the existence of a chemical accident database in Korea, it does not play a role in estimating the substance through the victim's symptoms. Therefore, there is a need for a symptom-based chemical accident causative agent estimation system that fits the Korean context.

2. Method

Based on the need for such a symptom-based chemical accident causative agent estimation system, this study investigated the current international status and development

direction of symptom-based chemical accident causative agent estimation systems. Based on the research on the existing symptom-based chemical accident causative agent estimation system, we investigated the development status of the existing symptom-based chemical accident causative agent estimation system and the international development status of a new system utilizing advanced technology through data survey and search.

3. Results and Conclusions

Representative systems are Chemical Companion in the United States and the Poisoning Information Center in Japan. Although the detailed algorithms for recommending the causative agent of a chemical accident are different from each other and are not publicly available, they can be used to understand how to conduct a rapid response to a chemical accident when the substance is unclear. As there is already a database of emergency medical information on the damage caused by chemical accidents in Korea, and contents including emergency medical information and response scenarios have been produced, it is expected that it will be possible to secure the basis for the causative substance estimation system by utilizing existing contents and using technologies such as artificial intelligence in the future.

[Acknowledgments]

1. This subject is supported by Korea Ministry of Environment(MOE) as "the Chemical Accident Prevention Technology Development Project."
2. This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. NRF-2023R1A2C1002938)

국내 대기중 미세먼지 농도가 호흡기 질환에 미치는 영향

장윤덕

인제대학교 부산백병원

Effect of PM2.5 and PM10 concentration in air on respiratory diseases in Korea

Yun Deok Jang

Inje university busan paik hospital

*Corresponding author: jangyundeok@naver.com

전 세계적으로 탄소 사용량의 증가와 대기 오염으로 인한 오존층의 파괴로 인한 미세먼지의 확산은 인체에 악영향을 미치는 것으로 널리 알려져 있다. 세계보건기구(WHO)는 대기 오염을 인간 건강에 대한 글로벌 환경 위협으로 인식합니다. 수많은 연구에서 대기 오염과 심장마비, 뇌졸중, 불규칙한 심장 박동을 포함한 심혈관 질환 간의 연관성이 입증된 바 있다. 더욱이 주변 대기 오염은 만성 폐쇄성 폐질환(COPD), 천식, 폐암과 같은 다양한 호흡기 질환의 중요한 원인자이자 악화 요인으로 검증되었다. 특히 대기 오염과 관련된 조기 사망의 25% 이상이 호흡기 질환인 것으로 나타났다. 이러한 전세계의 흐름 속에서 대한민국의 6개 광역시에서 대기 오염 물질과 호흡기 및 비호흡기 질환으로 인한 입원 사이의 관계에 미치는 영향을 알아보기 위해 연구를 진행하였다.

이 연구에서는 분산 지연 비선형 모델을 사용하여 미세먼지(PM 10 및 PM 2.5)와 호흡기 및 비호흡기 질환으로 인한 입원 사이의 연관성을 비교하였다. 연구기간내에는 PM 10 과 천식 및 COPD 입원 위험 사이의 연관성이 역 U자 모양의 패턴을 보였다. PM 2.5 의 경우 천식과 COPD에서 각각 S자 모양과 역 U자 모양의 변화가 관찰되었습니다. 매우 높거나 낮은 수준의 PM 10 과 매우 낮은 수준의 PM 2.5 는 천식과 COPD로 인한 입원 위험을 상당히 감소시켰습니다. COVID-19 발병 이후 기간에는 PM 10 과 PM 2.5 와 호흡기 질환 간의 전반적인 누적 관계 와 PM 10 과 PM 2.5 의 극심한 수준이 호흡기 질환에 미치는 영향이 완전히 바뀌었다. 호흡기 질환이 아닌 질환의 경우, 두 기간 모두 입원 위험에 대해 PM 10 과 PM 2.5 는 통계적으로 유의한 변화는 보이지 않았다. 본연구는 국내 PM 10 과 PM 2.5 노출을 줄이는 것이 환경 기반 호흡기 질환으로 인한 입원을 줄이는 데 기여했다는 증거를 제공할 수 있습니다.

의용소방대의 유해화학물질 인식 및 안전교육 필요성에 관한 연구

피혜영

아주대학교 일반대학원

A Study on the need for Awareness of Hazardous Chemical Substance and Safety Education of Volunteer Fire Brigades

Hye Young Pi

Graduate School of Ajou University

*Corresponding author: trinity-phy@hanmail.net

유해화학물질은 종류별 고유의 특성이 있으며, 국내 화학물질 유통량 및 수요량은 지속적인 산업의 발전과 지속적인 신기술 개발로 인해 유해화학물질에 대한 수요가 눈에 띄게 증가하고 있다. 2020년 국내 유해화학물질 취급사업장은 총 37,107개소, 총 유통량은 1,623.8백만 톤에 이르게 된다. 이러한 사업장에서 취급하는 유해화학물질 외에도 일상생활에서 사용되는 화학물질의 양도 증가하면서 유해화학물질 사고 건수도 지속적 증가하고 있다. 화학사고 발생 시 대규모 인명피해 및 재산 피해가 발생할 수 있으며, 일반인들은 유해화학물질의 유해성을 인지하지 못한 채 위험에 노출되어 있다. 본 연구에 연구대상으로 의용소방대를 선정하였으며 의용소방대는 화재진압, 구조, 구급 등의 소방업무를 수행하거나 보조하는 지역 주민들로 구성된 민간 봉사 단체다. 현재 의용소방대는 전국 3천968개대, 총 9만4천717명의 대원이 활동하고 있으며, 각 지방단체의 필요에 의하여 조직·운영되고 있다. 이러한 소방업무를 보조하는 일원으로서 유해화학물질에 대한 유해성에 대한 인식을 조사하고 교육에 대한 필요성에 대한 조사를 하여 소방의 업무 보조와 지역주민의 교육활동을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

S도시의 342명 의용소방대를 선정하였으며 설문에 응답한 300명을 대상으로 유해화학물질 인식도와 교육필요성에 대해 설문조사를 실시하였다. 유해화학물질 인식($r=.280$, $p<.01$), 실천($r=.303$, $p<.01$) 나타났다으며, 교육 필요성은 96.1%로 높게 조사되었다. 교육희망 방법은 온라인 교육이 49.5%, 교육 희망 시간은 1시간이었다.

유해화학물질의 인식에 대한 교육을 위해서는 온라인 교육을 통한 접근성을 높일 필요가 있으며, 필요시 현장체험학습 등 다양한 방법을 도입할 필요가 있다. 의용소방대의 연령대가 다양하게 구성되어 있으므로 유해화학물질에 대한 정보를 이해하기 쉽게 전달할 수 있어야 하며 이후 지역 주민들에게 교육 시 활용할 수 있는 기초자료들이 필요하다고 사료된다.

Keywords : 유해화학물질, 의용소방대, 인식, 안전교육

크루즈 선박 안전 및 사고 대응 전략

윤여현

영산대학교 호텔경영학과

Cruise Ship Safety and Accident Response Strategies

Yoon, Yeohyun

Youngsan University Department of Hotel Management

[†]Corresponding author: yeohyun.yoon@gmail.com

본 논문은 크루즈 선박 사고의 다양한 사례를 소개하고, 이러한 사고의 예방 및 대응을 위한 프로토콜을 제시한다. 최근 몇 년간 크루즈 선박 사고는 큰 주목을 받아왔으며, 많은 인명 피해와 재산 손실을 초래하였다. 본 연구에서는 주요 크루즈 선박 사고 사례를 분석하고, 사고 발생 원인을 규명하여 예방을 위한 구체적인 방안을 모색한다. 특히 해운법에 따른 안전 규정 준수와 승무원의 근로 조건, 환경 보호 등의 법적 과제를 다루며, 이와 관련된 문제들을 해결하기 위한 정부와 기업의 협력 방안을 제안한다. 또한, 빅데이터 분석을 통해 선박 사고에 대한 대중들의 인식을 분석하고, 이를 바탕으로 인식 개선의 필요성을 강조한다. 사고 발생 시 신속하고 효율적인 대응을 위한 프로토콜을 제시하며, 이러한 프로토콜이 실제로 어떻게 적용될 수 있는지를 논의한다. 결론에서는 크루즈 선박 재난에 대한 소비자의 인식 개선의 필요성을 강조하며, 선박 사고를 줄이고 효과적으로 대응하기 위한 캠페인의 중요성을 제안한다. 이를 통해 크루즈 관광에 대한 두려움을 완화하고, 안전한 여행 환경을 조성하는 데 기여하고자 한다.

This paper introduces various cases of cruise ship accidents and presents protocols for their prevention and response. In recent years, cruise ship accidents have garnered significant attention, resulting in substantial human and property losses. This study analyzes major cases of cruise ship accidents, identifies the causes of these accidents, and seeks specific measures for their prevention. It addresses legal challenges related to maritime law, such as compliance with safety regulations, crew working conditions, and environmental protection, and proposes cooperative measures between the government and companies to solve these issues. Additionally, it utilizes big data analysis to assess public perceptions of ship accidents and emphasize the improvement of perceptions based on the findings. The paper also proposes protocols for rapid and efficient response in the event of an accident, discussing how these protocols can be practically applied. The conclusion emphasizes the need to improve consumer perceptions regarding cruise ship disasters and suggests the importance of campaigns aimed at reducing ship accidents and responding effectively. This approach aims to alleviate fears associated with cruise tourism and contribute to creating a safer travel environment.

오염환경 차단용 고압산소챔버의 개발과 유용성

채재익·홍수연[†]

(주)인터오션

Development and utility of a Hyperbaric Oxygen Chamber that Blocks Polluted Environments

Jae-Ik Chae·Su-Yeon Hong[†]

INTEROCEAN Co., Ltd.

[†]Su-Yeon, Hong: lab@interocean.co.kr

오염환경의 일반적인 정의는 자연환경이 물리적, 화학적, 생물학적으로 변형되어 건강이나 생태계에 부정적인 영향을 미치는 상태이다. 현대 사회에서는 산업화와 도시화의 영향으로 다양한 오염환경이 조성되고 있으며, 이는 대기, 수질, 토양 오염 등 다양한 형태로 나타나 유해 물질의 축적이나 생태계의 불균형을 초래한다. 특히, 재난이나 전쟁, 중대한 오염사고, 전염병 확산과 같은 인체에 유해한 환경들이 최근 들어 더욱 빈번히 발생되고 있는데, 이를 차단하는 도구로 고압산소챔버(Hyperbaric Oxygen Chamber)를 활용할 수 있다.

기존의 고압산소치료챔버(Hyperbaric Oxygen Therapy Chamber)는 압력을 증가시킨 환경에서 순수한 산소를 공급하는 장치로써 단순히 치료 목적으로 사용되었지만, 본 연구에서는 기존 고압산소챔버의 밀폐성과 공기정화 시스템을 바탕으로 챔버 내부의 공기 질 유지, 안전성 강화, 사용자 편의성 개선을 통해 오염환경을 차단할 수 있는 챔버 개발을 시도하였다. 구체적으로, 오염된 환경으로부터 안전한 환경을 만들기 위하여 CO₂ 스크리버와 HEPA 필터를 포함한 공기 정화 시스템을 개발하여 적용하였고, 내부 공기질 모니터링으로 유지 관리할 수 있도록 산소 농도, CO₂ 농도, 온습도 등을 실시간으로 모니터링이 가능하도록 하였다. 또한 안전성 확보를 위하여 챔버 내부 호흡기와 공기 중 산소농도를 조절할 수 있도록 하였으며, 편의성 향상을 위하여 내부 온도와 습도 조절 시스템, 환기 및 공기 순환 시스템, 통신 시스템을 구축하였다.

본 오염환경 차단용 챔버의 개발로 다양한 오염환경에서 안전한 피난처를 제공하여 챔버 내부의 공기 질이 유지되고, 안전성과 편의성이 향상되어, 사용자가 쾌적하고 안전하게 생활할 수 있는 환경을 조성할 수 있을 것으로 기대된다. 다만 금번 연구는 특정 환경 조건에 맞추어져 있으므로, 모든 상황에서 일반화하여 적용하기 위해서는 지속적인 연구와 개발, 사용자 피드백 수집 및 개선이 필요하다.

극한 외부환경 차단 생존 유지용 환경 콘트롤 기기 개발과 적용

채재익·홍수연[†]

(주)인터오션

Development and Application of Life Support Systems to block Extreme External Environments and Maintain Survival

Jae-Ik Chae·Su-Yeon Hong[†]

INTEROCEAN Co., Ltd.

[†]Su-Yeon, Hong: lab@interocean.co.kr

최근 급격한 외부 환경 변화로부터 생존을 보장하기 위해, 환경오염 물질을 격리하거나 처리할 수 있는 병커와 같은 시설의 필요성이 커지고 있다. 특히, 기후 변화로 인한 극한 기후 현상, 대기 오염, 자연 재해, 팬데믹 등의 문제는 인간의 생명과 안전에 심각한 영향을 미치고 있으며, 이러한 위협으로부터 개인과 공동체의 생존을 보장하기 위해 극한 외부환경 차단 생존 유지용 환경 제어 기기의 개발과 적용이 필수적이다.

본 연구는 극한 외부환경을 차단하고 생존을 유지하기 위한 생존 유지용 환경 콘트롤 기기(Life Support Environments Control Systems)의 개발에 대한 것이다. 이 연구를 진행하기 위하여 기본적으로 고강도 재료와 밀폐 설계를 통해 방사선, 화학 물질, 폭발 등 다양한 위협에 대응할 수 있으며, 압력과 환경을 제어할 수 있는 챔버를 제작하였고, 여기에 다양한 생명유지장치(Life Support Systems)의 기술들을 적용하였다. 생명유지장치에서 가장 중요한 공기정화 시스템은 내부 공기를 안전하게 유지하고, 산소 공급과 이산화탄소 제거가 원활하도록 CO2 스크리버와 HEPA 필터와 같은 고성능 장치를 사용하여 공기질을 안정적으로 유지할 수 있도록 개발하였으며, 특히, 내부 공기질 모니터링으로 유지 관리할 수 있도록 산소 농도, CO2 농도, 온습도 등을 실시간으로 모니터링이 가능하고 긴급상황 시 제어가 가능하도록 개발하였다. 또한 안전성 확보를 위하여 챔버 내부 호흡기와 공기 중 산소농도를 조절할 수 있도록 하였으며, 내부 온도와 습도 조절 시스템, 환기 및 공기 순환 시스템, 통신 시스템 등을 적용하여 편의성을 향상시켰다.

본 연구는 극한 외부 환경을 차단하고 생존을 유지하기 위한 생명유지장치의 개발 및 적용으로 그에 대한 연구결과로 공기 정화 시스템, 기체공급 시스템, 자동 제어 시스템으로 통합된 시스템이 극한 상황에서도 효과적으로 생명을 유지하는데 적용이 가능하다는 것을 볼 수 있었다. 이러한 장치의 개발은 재난, 환경오염, 전염병, 기후 변화 등 다양한 위협에 대비하는 데 중요한 역할을 할 것으로 보이며, 생명유지장치의 발전에 중요한 기여를 할 것으로 기대된다.

화학사고 응급의료 교육 및 훈련

강인혜

대원대학교 응급구조과

Emergency Medical Education and Training for Chemical Accidents

Kang InHye

Daewon University College

† Corresponding author: emtkih@hanmail.net

우리나라 4차 산업의 발달에 따른 다양한 사고가 증가하는 가운데, 화학물질의 사고현황을 살펴본 결과 [화학물질종합정보시스템]의 통계에서 2021년 58건, 2020년 75건, 2021년 93건, 2022년 67건, 2023년 115건으로 매년 증가 추세에서 2022년 하강하는 듯하였으나 2023년 두 배 가까이 증가하였다.

우리나라에서는 국립중앙의료원에서 재난응급의료 비상대응매뉴얼을 개발하여 교육하고 있고, 화학사고로 인한 대규모의 피해를 막기 위해 전국 지자체에서는 화학사고 대비체계 구축 마련과 지역화학사고 대응계획 유형별 사례집 발간 등 체계적인 지원이 이루어지고 있으며, 화학물질안전원에서는 화학사고 대응 물질정보를 97종에서 150종으로 늘려 현장대응 역량을 높이는데 노력하고 있다. 이렇듯 다양한 방면에서의 개발이 이루어지고 있으나 재난상황에서의 응급의료인력에 대한 재난의학의 교육 및 훈련의 검토와 그에 따른 체계 확립이 필요해 보인다. 이에 본 연구는 우리나라의 화학사고 응급의료 교육 및 훈련 과정을 파악하고, 적극적인 과정 개발과 정립에 기초 자료를 마련하고자 한다.

화학재난에 관련한 규정을 검토한 결과 [화학사고예방관리계획서 작성 등에 관한 규정] 제3조(화학사고예방관리계획서 작성원칙 등), [화학물질관리법 시행규칙 별표 4]에서 제시한 내용과 같이 화학사고에 대비한 교육 및 훈련, 응급조치계획, 응급의료 및 환자수송 등 계획을 철저히 작성하게 규정하고 있다.

정부 또는 여러 기관에서 시행하고 있는 화학사고 응급의료 교육 및 훈련의 종류와 운용방법에 대해 검토한 결과 한림성심대학교에서는 화학사고 발생 시 응급의료에 대한 정보를 효과적으로 전달하여 인명피해 저감을 목표로 응급의료교육을 시행 중에 있으며, 국립중앙의료원에서는 보건복지부에서 주관하는 재난현장에서 응급의료 지원에 필요한 이론, 실습, 훈련 등에 대한 교육과정으로 재난응급의료 비상대응매뉴얼에 기반 한 한국형 재난의료지원 교육을 운영하고 있다. 명지병원 공공보건의료사업단에서는 재난대응과 재난의료교육센터를 운영하고 있다. 2022년에는 재난응급의료 종합훈련대회를 개최했다. 전국 보건소, 응급의료기관, 소방 등 260명이 참석하여 대응능력을 점검하였다.

화학재난 시 응급의료 관련 업무를 담당하는 부서나 개인은 다양한 교육과 훈련에 참여할 필요가 있으며 전문적인 교육문화가 일반적으로 정착될 수 있도록 정규 교육 및 훈련 과정을 재정립해야 할 필요가 있다. 자주 발생하지 않는 재난이지만 한 번의 사고로 큰 규모의 인적·물적 피해가 발생할 수 있으니 언제 어디서 누구든 적절한 대처방법을 통해 현장에서 적용할 수 있도록 매년 교육 및 훈련에 적극 참여할 수 있는 프로그램이 운영되어야 할 것이다.

소방 구조·구급대원 다수사상자 재난 대응 전문가 양성 교육

최대해^{1,2}·안은규²·서호성²·전병주²

¹차의과학대학교 부속 구미차병원·²국립중앙의료원 중앙응급의료센터

Education of disaster response experts for mass casualty incidents of rescue and paramedics

Daihai Choi^{1,2}·Eungyu An²·Hosung Seo²·Byeongju Jeon²

¹Department of Emergency Medicine, CHA University Gumi Medical Center·

²National Medical Center, National Emergency Medical Center

Objective: This study evaluated the perception of rescue workers before and after education and the appropriateness of the curriculum through training of disaster response experts for fire rescue workers.

Methods: Ninety rescue and paramedics workers from the Gyeongbuk Fire Department participated in this educational program. Before and after the training, I wrote an awareness of the response to the disaster of mass casualty incidents. Satisfaction and reactions to the educational experience were also collected.

Results: After training, the perception of response procedures in the event of a mass casualty incidents disaster changed systematically. They had little experience in responding to mass casualty incidents disasters and were satisfied with this professional education. In addition, I felt the importance of expertise and educational necessity beyond this topic.

Conclusion: Participants in the training had little field experience in the occurrence of mass casualty incidents disasters, and their awareness of procedures necessary for field response improved while learning. This study provided an opportunity to recognize the role of rescue and paramedics workers in responding to mass casualty incidents disasters and the importance of cooperation between work and related organizations.

Keyword: Mass casualty incidents, Education, Training, Disaster

HICS 시스템

최대해·김영진*

차의과대학교구미차병원·(주)케이앤엘정보시스템*

Annual Conference of the KIHM : System of HICS

미국을 포함한 유럽 주요 국가에서는 각종 유형의 재난에서 의료기관은 24시간 가동할 수 있도록 별도의 안전 기준과 운영계획을 갖추도록 명시 되어 있으나 국내같은경우는 의료기관에 발생할 수 있는 재난의 유형은 다양하나, 화재안전에 관한 매뉴얼만 존재하여 각종 재난을 대비하고, 대응하기 위한 매뉴얼이 부재한 상황이다.

따라서 병원 시설에 대한 안전 기준은 의료법, 건축법 등 관련 법령에서 규정하고 있으나 별도의 기능 유지를 위한 기준은 마련되어 있지 않아 이를 보강하는 관련 지침이 필요로 하여

대한재난의학회에서 미국으로 부터 HICS(Hospital Incident Command System, 병원사고지휘체계) 시스템을 도입하여 국내 환경에 맞게 변경하여 KHICS를 적용하고 있다.

HICS 훈련은 병원 내에서 계층적 사고 지휘 구조를 확립하여 대응에 참여하는 각 직원의 명확한 역할과 책임을 보장하고, 표준화된 지휘 구조를 따르면 병원은 신속하고 효과적으로 대응하여 혼란을 최소화하고 사용 가능한 리소스의 사용을 극대화할 수 있다.

HICS 훈련은 자연 재해, 대량 사상자 사건, 전염병 발병 및 테러 행위를 포함한 광범위한 비상 사태에 대비하여 병원을 준비시키고 정기적인 훈련 연습과 시뮬레이션을 수행함으로써 의료 서비스 제공자는 각 유형의 비상 사태에 대한 프로토콜과 절차에 익숙해지고 대비를 통해 병원은 신속하고 효율적으로 대응하여 생명을 구하고 비상 사태의 영향을 줄일 수 있다.

HICS 시스템의 필요성

HICS 교육은 일회성 이벤트가 아니라 지속적인 프로세스임에도 현 KHICS는 페이퍼 형태의 운영환경으로 실시간 데이터 수집 및 모니터링이 불가능하여 운영의 한계점이 대두되어 전산화를 진행하게 되었다. 이를 통해 병원 누적된 데이터를 기준으로 개선 영역을 파악하고 과거 경험에서 배울 수 있다. 각 비상 대응 후 병원은 성과를 평가하고 강점과 약점을 파악하며 필요한 변경 사항을 구현하기 위해 브리핑과 평가를 실시할 수 있다.

전산화를 통해 사건 발생부터 종료시까지 실시간 데이터 수집이 진행이 되고 사건별, 부서별, 개인별, 시간별 이벤트 상황을 확인 할수가 있어 사건발행시 효과적인 업무 대응 및 원인파악이 가능할것으로 예상된다.

실시간 의사소통 및 피드백(실시간으로 메시지를 주고받을 수 있어 정보 전달이 신속하고 정확하게 이루어짐), 데이터관리 및 분석, 다양한 학습자료로 접근이 용이하며, 언제 어디서나 학습이 가능한 모바일 앱을 통해 사용자 친화적 인터페이스로 쉽게 학습을 할 수 있다.

이러한 전산화 프로그램으로 현장교육의 효과를 극대화 하고 교육의 질을 높이며, 개선 주기를 통해 병원은 향후 비상 상황에 더 잘 대비하고 대응 역량을 지속적으로 강화할 수 있다.

연구실 화학사고 예방을 위한 반응위험성 정보시스템 개발에 관한 연구

홍미라·김용필*·조규선†

*㈜되고시스템·호서대학교

A Study on the Development of a Reactivity Hazard Information System for the Prevention of Laboratory Chemical Accidents

Mira Hong·Yongpil Kim*·Guy-Sun Cho†

*Duegosystem·Hoseo University

†Corresponding author: mlhong@duegosystem.com

Chemical accidents not only threaten the lives of researchers, but often lead to large explosions due to chemical chain reactions. In addition, the chemicals used in research laboratories are often handled in small quantities, mixed with various types of chemicals, and used in various convergence experiments, so the potential risk of accidents is very high. The number of laboratories continues to increase, and the number of accidents is increasing, despite the efforts of countries and their respective organizations through laws and systems. Chemicals in research institutes are brought in through various routes, and it is difficult to identify the storage and amount of chemicals remaining after research, and there is no systematic management, which increases the possibility of accidents.

Therefore, this study aimed to contribute to the creation of a safe research environment by reviewing the reaction hazards between chemicals mainly handled in laboratories that use chemicals using CRW (Chemical Reactivity Worksheet) and CAMEO, and developing a reaction hazard information system that provides information on separation storage and mixing reaction hazards by specifying the color of each group to prevent laboratory accidents caused by chemicals by creating separation groups by phase such as organic acids and inorganic acids.

** 본 연구는 2024년도 환경부의 지원을 받아 수행되었습니다.

유독물질 누출에 따른 실험실 내 확산 거동 특성에 대한 연구
- 포르말린 중심으로 -

유종철·조규선[†]
호서대학교

A study on the characteristic of diffusion behavior in the laboratory
when a toxic substance is spilled
-Focused on formalin exposure accidents-

Jongcheol Yoo·Guy-Sun Cho[†]
Hoseo university

[†]Corresponding author: jcyoo@lottechem.com

Formalin, which is used in research laboratories in various concentrations as a reducing agent and disinfectant, poses a fatal risk to research workers in the event of a leak as a toxic substance and an accident preparation material. Depending on the amount of formalin leaked, the time to reach the Immediately Dangerous Health Concentration (IDLH) of 20 ppm, which poses an immediate risk to life and health, announced by the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) was calculated. In a 150 m³ laboratory, the IDLH is reached in 8.6 seconds for a 250 ml leak of formalin, 2.2 seconds for a 1000 ml leak, and 0.5 seconds for a 4000 ml leak. It was confirmed that toxic substances remain in laboratories where local exhaust systems are in operation due to various factors. A air conditioning supply port is located at the top of the fume hood and the exhaust port is located at the top of the worktable, so if toxic substances flowing into the local exhaust device leak out, the toxic substances are spread by the supply airflow. In addition, because the exhaust port is located in the center, the airflow inside the laboratory stagnates around the central laboratory table, increasing the perceived level of pollution. In conclusion, when an accidental leak occurred while using formalin in the laboratory, the diffusion behavior characteristics of formaldehyde in the air were confirmed and standards for safe use were presented.

대학 연구실에서 흡후드 제어풍속 변화에 따른 휘발성유기화합물 노출에 관한 연구

임현중·조규선[†]
호서대학교

A study on exposure to volatile organic compounds according to changes in fume hood controlled wind speed in a university laboratory

Hyunjong Yim·Guy-sun Cho[†]
Hoseo University

[†]Corresponding author: cho1395@hoseo.edu

This study presents standards for the use of fume hoods through chemical exposure evaluation according to changes in the surface speed of the fume hood used in the laboratory to minimize chemical exposure. When using a fume hood in a laboratory, changes in surface velocity were measured by measuring the surface velocity depending on the presence or absence of research workers and the presence or absence of obstacles inside the fume hood, and chemical exposure was measured using acetone, which is typically used in the laboratory. It was confirmed that the air flow obstruction caused by external research workers was greater than the obstructions inside the fume hood. Internal obstacles and external research workers disrupted the air flow and generated vortices, which pulled the air inside the fume hood out and into the fume hood. It was confirmed that exposure to chemicals can occur even when using chemicals. Even if the surface speed was similar, it was confirmed that when the vortex generated from the outside enters the inside of the fume hood, more fume hood air is drawn out and more exposed to chemicals. Through this study, we aim to contribute to establishing standards for the use of fume hoods in the laboratory and minimizing exposure to chemicals by identifying surface velocity characteristics and chemical exposure characteristics for obstacles inside and outside the fume hood used in the laboratory.

재난사고 취약계층으로서의 노인의 신체 변화와 그 대응 : 고압산소요법을 중심으로

왕순주·한민섭*·안은애*·이동희
한림대학교·*한림대학교동탄성심병원

Physical Changes and Responses in the Elderly as a Vulnerable Group in Accident and Disasters: Focusing on Hyperbaric Oxygen Treatment

Soon-Joo Wang*·Minsub Han*·Eunae Ahn*·Donghee Lee
Hallym University*·Hallym University Dongtan Sacred Heart Hospital
*Corresponding author: erwsj@chol.com

1. Introduction

The elderly are generally categorized as a vulnerable group in disasters and accidents, along with children, people with disabilities, and pregnant women. This is because there are certain characteristics of the elderly that make them vulnerable to disasters and accidents, and based on the findings of this study, the characteristics of the elderly that make them vulnerable to various disasters can be summarized into the following seven categories: (1) health conditions (2) functional limitations (3) social isolation (4) economic vulnerability (5) mobility difficulties (6) communication difficulties (7) living environment vulnerability. On the other hand, since harmful toxic substances are often generated in the form of gases during disasters or accidents, hyperbaric oxygen therapy is known to be one of the key medical responses to reduce casualties and prevent after-effects, and separate studies have shown that hyperbaric oxygen therapy has anti-aging and even reverse aging effects.

2. Method

Therefore, it would be interesting to see if the characteristics of the elderly that make them vulnerable to disasters could be enhanced by routine hyperbaric therapy. To this end, the researchers investigated the various effects of hyperbaric oxygen therapy on the human body and summarized the effects that may be related to the characteristics of the elderly who are vulnerable to disasters or accidents. These were organized into five categories Wound healing and tissue repair, recovery from acute vascular events such as

acute stroke and myocardial infarction, treatment of peripheral vascular disease and arteriosclerosis, improvement of inflammation and immune function, and relief of chronic pain.

3. Result and Conclusion

There are no quantitative studies that have been conducted to prove that older adults who continue to manage their aging through hyperbaric therapy are less likely to suffer damage in a disaster or accident. However, at the very least, we can expect that hyperbaric therapy can be used to proactively manage characteristics of older adults that make them vulnerable to disasters. Such studies need to be conducted in stages, including the hypothesis stage, the cell or tissue stage, and the clinical trial stage, and it is common for experimental applications to be tested on animals before being applied to humans, and this study includes planning and literature review.

[Acknowledgments]

1. This work was supported by the Korea Medical Device Development Fund grant funded by the Korea government (the Ministry of Science and ICT, the Ministry of Trade, Industry and Energy, the Ministry of Health & Welfare, the Ministry of Food and Drug Safety) (Project Number: KMDF_PR_20200901_0000) (NTIS, KMDF-RnD 202014X24)
2. This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. NRF-2023R1A2C1002938)

국립공원 내 생분해성 소재를 활용한 친환경 해초지 복원

강리운[†]·김현교·이재성·김효정
국립공원공단

Restoration of Eco-friendly Seagrass Beds Using Biodegradable Materials in National Park Island Area

Ri-un Kang[†]·Hyun-Kyo Kim·Jae-seong Lee·Hyo-jung Kim
Korea National Park Service[†]Corresponding author: kcs3501@knps.or.kr

국제사회는 기후변화 문제의 심각성을 인식, 지구 온도 상승을 1.5℃ 이내로 억제하기 위해 2050년까지 탄소 순 배출량 0을 목표로 노력하고 있다. 이와 같은 일환으로 세계 여러나라에서는 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)에서 인정한 해양의 3대 블루카본(맹그로브, 염습지, 해초류)의 복원과 관리에 주목하고 있으며, 국립공원 또한 해초지 복원을 위해 지속적인 노력을 기울이고 있다. 거머리말(*Zostera marina*)은 국내 자생하는 해초류의 대부분을 차지하는 종으로 부영양물질의 흡수·제거, 토양 안정화, 부유 입자를 가라앉히는 등 연안 환경 정화에 중요한 역할을 한다. 이 외에도 탄소흡수, 해양생물의 산란장 및 은신처, 연안 기초 생산력 증대 등 해양생태계에 중요한 역할을 담당한다. 하지만 1970년대 이후 수질악화, 부영양화, 간척사업, 양식장 확대, 유류오염 등의 요인으로 약 50% 이상 감소한 것으로 보고되었다. 따라서 국립공원공단은 2017년부터 매년 해상·해안국립공원의 해초지 확장을 위해 다양한 복원기술을 개발·적용하고 있다. 2018년 한려해상국립공원에 적용한 철사고정법(staple method)은 국지적으로 연안 지형과 저질에 따라 초기 활착률(0~113%)의 편차가 크게 발생하여, 이를 개선하고자 2021년부터 모종판 형태의 친환경 이식틀을 개발해 해초지 복원을 진행하였다. 초기 이식틀은 종이로 된 계란판 형태 모판을 바이오폐지(피마자 식물에서 추출한 천연물질을 주 원료로 만든 접착제)로 코팅하고 골재를 부착하여 거머리말을 끼워 고정핀으로 해저에 이식하는 형태로 초기 활착률은 73%로 긍정적인 결과였으나, 생산 공정에 많은 시간과 인력이 들고 복원 시 작업시간도 증가하는 문제점이 발생하였다. 문제 해결을 위해 2022년에는 생분해성 바이오플라스틱 혼합 소재인 거머리말 복원 전용 친환경 이식틀을 제작하여 공정 과정 단축과 함께 초기 활착률도 증가(88%)하였지만, 양성부력의 발포형 이식틀 고정에 많은 양의 철사가 소요되었으며, 사후 모니터링 결과, 해수 및 퇴적물의 물질 순환 차단과 함께 거머리말이 성장하여 뻗어나갈 공간이 부족하였다. 따라서 2023년, 비중이 1.0 이상의 음성부력을 띠며 사출형 이식틀로 틀의 골격 및 거머리말 고정 구멍을 제외하고 빈 공간으로 만들었다. 그 결과, 해저 고정이 용이하고, 이식 4개월 후 초기 활착률이 162%로 증가하였으며 거머리말 지하경이 빈 공간으로 뻗어나가 군락 면적도 일부 확대되었다. 이와 같은 시행착오를 거쳐 지속적으로 수정과 보완을 거듭한 거머리말 복원 전용 이식틀과 복원 방법은 특허·디자인 출원(해초지 복원용 친환경 이식틀 및 그를 이용한 해초의 해저 이식방법)을 완료한 상태이다. 앞으로 국립공원공단은 생분해성 바이오플라스틱 소재를 활용하여 향후 염습지·연안 사구·갯바위 등 다양한 해양 분야에 친환경 복원사업을 확대해 나갈 계획이다.

생물검정실험을 이용한 천수만과 태안해안의 제한영양염 평가

김진현·최인영[†]

국립공원연구원 해양연구센터

Comparative evaluation of limited nutrients by analyzing long-term data and bioassay on the seawater of Chonsu Bay and Taean Sea.

Jin-Hyun Kim·In-Young Choi[†]

Korea National Park Research Institute marine Research Center

[†] iychoi@knps.or.kr

수 생태계에서 영양염류는 기초생산자의 성장에 필수적인 요소로 주로 질소와 인 그리고 규소의 형태로 존재한다. 적당량의 영양염류는 균형적인 생태계 유지에 필수요소이지만 과다한 유입은 부영양화 상태를 유발하여 적조와 같은 부정적 영향을 초래할 수 있다. 따라서 건강한 생태계를 유지하기 위해서 기초생산의 성장을 조절하는 제한영양염을 파악하는 것이 우선되어야 한다. 제한영양염을 평가하는 방법은 크게 두 가지로, 화학양론비(N, P, Si 비)를 이용하여 잠재적인 제한영양염을 파악하는 방법과 영양염을 첨가하여 검증하는 생물검정실험이 있다. 화학양론비를 이용하는 방법은 수집된 영양염 자료를 통해 쉽게 제한영양염을 파악할 수 있으나, 현장의 농도가 지극히 낮은 경우 측정 오차의 원인으로 잘못된 해석을 할 수 있다. 반면 생물검정실험은 현장에서 채집된 샘플(1차 생산자)에 직접 영양염을 첨가하여 실험을 진행하기에 현장 특성 반영에 탁월하며 각 실험군별 비교를 통해 명확한 결과를 도출할 수 있다. 천수만 해역은 반 폐쇄성 만으로 간월호와 부남호 방조제의 수문을 통해 부영양화 된 담수가 방류됨에 따라 천수만 포함 인근 해역까지 수질 악화를 유발할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 장기자료와 실험적 방법을 통해 천수만과 태안해역의 제한영양염을 평가하고자 하였다. 국가수질측정망에서 제공되는 장기 영양염 자료를 이용한 화학양론적 분석에서는 대부분 N 제한이 우세하였지만, 계절에 따라 P 또는 Si 제한이 불규칙하게 반복되거나 명확한 제한을 보이지 않는 경우가 존재하였다. 반면 병행하여 진행된 생물검정실험에서는 3월의 경우 특정 영양염에 의한 제한이 보이지는 않았으나, 5월, 7월 10월에는 NH_4^+ 와 NO_3^- 첨가군에서 반응을 보임으로서 천수만과 태안해역은 질소가 식물플랑크톤 성장에 직접 관여하는 실질적인 제한영양염임을 확인하였다.

블루투스 기반 위치추적 장치를 활용한 해양부유쓰레기 이동연구

이용욱^{**} · 임지인^{*} · 오도일^{*} · 장성건^{**}^{*}국립공원공단 · ^{**}국립공원연구원

A study on the movement of marine floated debris using bluetooth-based location tracking system

Yong-Wook Lee^{**} · Jiin Lim^{*} · Do-Il Oh^{*} · Seonggeon Jang^{**}^{*}Korea National Park Service · ^{**}Korea National Park Research Institute[†]Corresponding author: a2912210@knps.or.kr

해상·해안국립공원 연안으로 유입되는 다량의 해양쓰레기는 공원관리에 있어 고질적인 문제점으로 제기되고 있지만 한정된 예산 및 인력으로 인해 신속한 수거에 어려움을 겪고 있으며, 또한 수거의 사각지대가 발생하고 있는 실정이다. 이를 해결하기 위해서 사후 관리 체계를 사전 대응 체계로 전환할 필요가 있었고, 체계전환을 위해 발생 시기 및 원인, 이동경로 분석 등 기초데이터 확보가 필요했다. 해양쓰레기의 대부분을 차지하고 있는 부유쓰레기의 이동 원인을 파악하기 위해 블루투스 기반 위치추적 장치인 스마트태그를 장착한 플라스틱병과 스티로폼 박스 형태의 샘플을 제작하였다. 변산반도국립공원 해상 경계에 10개의 지점을 선정하여 1회 실험 시 각 지점에서 3개씩 총 30개의 샘플을 투하하였고, 실험 시기를 달리하여 총 7회에 걸쳐 210개 샘플에 대한 이동을 추적하였다. 이와 병행하여 해양부유쓰레기의 해변 유입·유출 시기 파악을 위해 해양쓰레기 취약지역 2개소 선정 후 타임랩스 카메라를 설치하였다. 1시간 간격으로 촬영된 사진정보를 이용하여 해양쓰레기의 양을 피도로 변환하고 그 변동에 대한 원인을 분석하고자 하였다. 이 두 가지 모니터링을 통해 변산반도국립공원 해역에서 떠돌던 해양쓰레기는 북 또는 서풍의 영향으로 서해안 육지방향으로 이동하며, 동 또는 남풍은 쓰레기를 공원 밖으로 이동시키는 결과를 확인하였다. 부유해양쓰레기는 다양한 요소(계절풍, 조류, 파도 등)에 의해 이동하나 그 중 계절풍의 영향을 크게 받고 있는 것으로 파악했다. 또한 주로 사리 물 때에 연안 해양쓰레기의 유입과 유출이 주로 발생됨을 확인했고, 만조시에 풍향이 바뀌면 육지에 도착한 부유쓰레기가 유출됐지만, 간조시에 풍향이 바뀌면 영향이 거의 없는 것으로 나타났다. 이 연구는 해양부유쓰레기 관리에 있어 인력, 예산의 효율적 활용과 사후 관리에서 선제 대응 체계로 전환하기 위한 기초데이터를 확보했음에 큰 의미가 있다고 판단된다.

대규모 방사선 사고 대응

최승환

소방청 위험물안전과

Response of Large Scale Radioactive Accident

choi seung hwan

Korea National Fire Agency Dangerous Goods Safety Division
csh1206@korea.kr

최근 우리 나라는 지진과 화산활동 같은 대규모 재난에서 결코 안전한 지역이 아님을 알게 되었다. 포항 지진을 비롯해 크고작은 지진이 심심치 않게 일어나고 있으며, 학계 전문가들은 이러한 지진활동이 앞으로 있을 대규모 지진의 전조현상이라고 말하고 있다. 백두산의 화산활동 또한 눈에 띄게 잦아지고 있어 20년전 대비 화산활동에 의한 지진이 10배, 백두산 칼데라인 천지 부근 온천수가 13도가량 높아져 백두산 분화가 임박한 증거라고 말한다.

이러한 대규모 자연재해에서 비롯한 후쿠시마 원자력 발전소와 같은 대규모 방사선 사고가 일어났을 때 대응기관과 대응기관별 역할이 기재된 재난대응실무매뉴얼과 소방청 재난현장표준작전지침(SOP)을 통해 우리 정부와 소방청은 얼마나 대비가 되어있는지 검토하고, 대규모 방사선 사고가 일어나기전 미리 만들어져야할 방사선 방호규정, 피폭한계, 경계구역 설정 등의 방향과 지침을 제시하고자 한다.

제5류 자기반응성물질 판정기준 개정과 위험물질 데이터베이스 고도화

반준화[†]·최유진·최용석
한국소방산업기술원

Revision of Class 5 self reactive substances classification standard and advancement of hazardous substances database system

BAN JUNHWA[†]·CHOI YU JIN·CHOI YONG SEOK

Korea Fire Institute

[†]Corresponding author: 2240@kfi.or.kr

According to the Enforcement Decree Of The Act On The Safety Control Of Hazardous Substances, 'Class 5 self reactive substances' classification standard changes significantly. In particular, attached Table 1 regarding the determination of designated quantity method has been changed and this change will apply from July 31, 2024. Before the revision, the designated quantity was determined according to the structural formula name of each substance, however after amendment, the designated quantity is determined according to the level of risk. The level of risk sub-categorized as Grade 1, Grade 2 and each of Grade fixed by 2 different type of tests. Thermal analysis test and pressure vessel test are conducted separately, and merge of each test results determine exact Grade. Designated quantity of Grade 1 is 10kg and Designated quantity of Grade 2 is 100kg. It should be noted that designated quantity of 200kg no longer exist. In this stage, it is important to minimize transition period confusion. Through this special session presentation, KFI would like to guide changes in the classification system and discuss detail situations.

Along with this agenda, I would like to take comments how to develop hazardous substances database system operated by KFI to advance. Based on the information about diverse works what KFI done until now, I hope to discuss constructively about future direction of system management. Various opinions from academia, industry, and the public by this special session will advance hazardous substances database system as well.

화학보호복 내용연수 연장을 위한 노화인자 연구

김주석

국립소방연구원 화재안전연구실

Study on aging factors for chemical protective clothing content extension

Joo-seok Kim

Research Official, Fire Safety Research Division, National Fire Research Institute*

*Corresponding author: kimtin@korea.kr

신품과 장시간 보관하고 사용하지 않은 화학 보호복의 화학물질(액체) 투과 및 노출 시험을 통한 화학 보호복의 상태를 확인하였다. 화학물질의 지속적인 노출에 따라 화학 보호복의 외관 변화를 확인하였고, 장시간 사용하지 않고 온습도 변화가 높은 곳에 보관했던 화학 보호복은 화학물질(톨루엔)이 투과되는 것으로 확인되었다. 화학 보호복의 사용 이력 관리가 필요할 것이다. 화학 보호복의 사용횟수가 늘어남에 따라 지퍼의 이동 횟수의 증가로 인해서 기밀을 유지할 수 없으리라 판단된다. 화학사고 현장에서 안전하게 작업을 하려면 기밀 상태를 유지해야 할 것이다. EDS(Energy Dispersive Spectrometer)를 사용하여 보호복 3벌의 시편의 표면, 뒷면, 측면의 성분을 분석하였다. 보호복 3벌 모두 탄소와 산소가 공통으로 검출되었다. 미사용제품의 경우 불소가 검출되지 않은 것으로 보아 사용 제품은 불소가 함유된 물질에 노출되어 보호복 표면에 묻어있거나 흡착된 것으로 판단된다. 액체 투과시험은 KS K ISO 6529:2015에 의한 시험방법을 사용하여 전문 시험기관에 의뢰하였다. 국내에서 보호복의 평가를 할 수 있는 기관은 많지 않다. 액체 투과는 섬유 분석 기관에서 하고 있고, 가스투과는 독성가스 사용으로 한국표준과학원에서 분석해주고 있다. 전년도 연구에서는 내용연수 초과 화학 보호복의 가스투과 실험을 한 결과 투과성능이 떨어지지 않는 것으로 확인되었다.

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

“특수재난” 및 “화학사고” 개념 정의 및 향후 과제

조철희

국립소방연구원 소방정책연구실

Improving the concept of “Special Disaster” and “Chemical Accident” in the future

Chul-Hee Cho

Fire Policy Research Division, Fire Research Institute

*Corresponding author: chcho119@korea.kr

대한민국 헌법 제34조 제6항에는 ‘국가는 재해를 예방하고 그 위험으로부터 국민을 보호하기 위하여 노력하여야 한다’라고 명시되어 있으며, 국가재난 및 안전을 총괄하는 기본법으로 재난관리의 기본적인 사항을 규정한 「재난 및 안전관리 기본법」이 제정되었다. 이 법 제3조에서는 재난관리의 개념을 ‘재난의 예방·대비·대응·복구를 위하여 행하는 모든 활동’이라고 정의하여 재난관리를 광의의 개념으로 해석하고 있으며, “자연재난”과 “사회재난”으로 구분하고 있다. 「국민안전처와 그 소속기관 직제」제14조(특수 재난실) 제3항제1호에는 도로·지하철·철도·항공기·해양선박 등 관련 대형 교통사고, 유해화학물질 등 관련 환경오염사고, 감염병 재난, 가축 질병, 원자력안전 사고, 다중 밀집시설 및 산업단지 등에서의 대형사고, 전력·가스 등 에너지 관련 사고, 정보통신 사고 등을 “특수재난”이라 정의하고 있다. 한편, 「화학물질관리법」제2조(정의) 제1호에 의거, “화학물질”은 ‘원소·화합물 및 그에 인위적인 반응을 일으켜 얻어진 물질과 자연 상태에서 존재하는 물질을 화학적으로 변형시키거나 추출 또는 정제한 것’을 말하며, 제13호에 의거, “화학사고”란 ‘시설의 교체 등 작업 시 작업자의 과실, 시설 결함 노후화, 자연재해, 운송사고 등으로 인하여 화학물질이 사람이나 환경에 유출·누출되어 발생하는 모든 상황’으로 정의하고 있다. 이러한 “특수재난” 및 “화학사고” 개념 정의에 관한 개선 방향을 제시하고자 한다.

석탄-암모니아 혼소 발전 실증 안전성 향상을 위한 암모니아 공급설비 표준모델안 도출 연구

유상윤·최영주[†]·오정석
한국가스안전공사 가스안전연구원

A Research on the Derivation of a Standard Model for Ammonia Supply Facility to Improve the Stability of Coal-Ammonia Mixed Plant Demonstration

Sang-Yoon Yoo, Young-Joo Choi[†], Jung-Suk Oh
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
[†]Corresponding author: yjchoi@kgs.or.kr

에너지가 국가안보와 탄소중립 핵심 요소로 부상함에 따라, 2022년 관계부처 합동으로 「새 정부 에너지정책 방향안」을 발표하여 원전 비중 확대 등 에너지 및 탄소중립 관련 국정과제를 마련하였고 이행하기 위한 새로운 에너지정책 목표와 방향을 설정하였다. 특히, 석탄 발전의 합리적 감축을 유도하고 액화 천연가스(LNG, Liquefied Natural Gas) 발전으로 대체하며, 수소·암모니아 등 무탄소 전원의 기술 여건을 감안하여 활용하는 것으로 합리적인 에너지 믹스를 재정립하였다.

암모니아를 발전연료로 사용하게 되면 기존 화력 발전 대비 탄소 배출량을 감축할 수 있으며, 석탄-암모니아 혼소 발전시설의 경우, 기존 석탄 발전 인프라를 활용해 전력 공급을 할 수 있다. 암모니아는 「고압가스 안전관리법(이하 “고법”）」에 따라 독성가스이자 가연성가스로 분류되어 관리되고 있으므로 공급되는 암모니아가 고압가스에 해당되면 관련 공급설비들 또한 고법에 따른 시설기준을 만족하는 등 해당 법령에 따른 안전관리 절차를 준수하여야 한다. 암모니아 혼소 발전시설의 발전사업자가 암모니아를 직접 공급할 경우, 전기를 생산하는 발전설비를 제외하고 암모니아 하역설비(로딩암 등), 저장설비, 배관설비, 처리설비(기화기, 펌프 등) 등은 고법 적용 대상으로, 해당 설비들을 설치하고자 하는 사업자는 일반제조 허가가 필요하다. 이 외에 기존 암모니아 저장 또는 제조시설에서 발전사업자가 암모니아를 공급받을 수 있으며, 고압가스 일반제조사업자 또는 저장자로부터 사업소 외 배관을 통해 공급받아 해당 배관 시설 기준을 준수해야 한다.

본 연구에서는 발전소 내 암모니아 저장, 이송 및 기화 등 암모니아 공급부에 적용되는 고법 기반 안전기준을 분석하고 분석한 안전기준 결과를 바탕으로 암모니아 공급설비 표준모델안을 도출하였다. 도출된 표준모델안은 석탄-암모니아 혼소 발전시설 공급설비 구축 및 실증 안전관리에 적용하여, 향후 안정적인 연료공급 및 암모니아 혼소 발전 실증 안전성 확보에 기여하고자 한다.

Acknowledgements

본 연구는 2024년도 산업통상자원부 USC급 보일러 암모니아 혼소발전 기술개발 및 실증사업 지원에 의한 연구임[00240702]

타 연료 bunker 방식 비교분석을 통한 TTS 방식 암모니아 bunker 기준안 개발 연구

강혜민·유지수·최영주[†]
한국가스안전공사 가스안전연구원

A Research on the Development of TTS Type Ammonia Bunkering Criteria through Comparative Analysis of Other Fuel Bunkering Type

Hye Min Kang·Ji Su Yu·Young Joo Choi[†]
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
[†]Corresponding author: yjchoi@kgs.or.kr

2023년 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)는 기후 위기가 계속됨에 따른 해양 환경 오염을 방지하고자 산하 해양환경보호위원회(MPEC, Marine Environment Protection Committee)에서 “2023 온실가스 감축 전략”을 채택하였다. 이 전략은 2018년 해운 분야 온실가스 감축을 위한 초기전략과 비교해 온실가스 배출 감축량 목표를 강화하였으며, 2050년까지 온실가스 배출량 0%(NET-ZERO) 달성을 통한 해운 산업 탈탄소화를 목표로 하고 있다. 디젤, bunker유 등 현재 사용 중인 선박 연료는 탄소 배출량이 많아 대체할 필요가 있으며, 대체 연료로 액화천연가스(LNG, Liquefied Natural Gas), 메탄올, 암모니아 등이 예상된다. 그중 암모니아는 탄소를 포함하지 않아 연소 시, 온실가스나 미립자 물질을 거의 배출하지 않는 청정 연료이며, 수소를 사용하기 위한 수소 캐리어로도 활용이 가능하여 향후 친환경 선박 연료로 가능성이 크다. 암모니아는 LNG, 액화수소 등 초저온 연료에 비해 상압·저온에서 액화가 가능하며, 운송 또한 비교적 용이하지만, 국내 안전 관계 법령에 따르면 위험성이 큰 물질로, 「고압가스 안전관리법」에서 독성가스이자 가연성가스로 분류된다. 또한, 「산업안전보건법」에서는 유해물질, 「화학물질관리법」에서는 유해화학물질로 분류되는 등 암모니아 취급을 위해서 여러 법령을 통한 안전관리가 필요하다.

현재 국내 조선업체는 2025년 엔진 개발, 2027년에 암모니아 추진 선박 건조 및 선주 인도 예정으로, 향후, 암모니아 추진 선박이 개발되고, 활성화될 것으로 예상됨에 따라 연료 공급 인프라 확보도 중요하다. 다만, 현행, 「고압가스 안전관리법」상 선박 충전 제도가 부재하여 육상에서 암모니아 추진 선박에 연료 공급이 불가하므로 관련 제도 마련이 필요하다. bunker 방식은 크게 TTS(Truck-to-ship), PTS(Pipe-to-ship), STS(Ship-to-ship) 등으로 분류되며, 초기 암모니아 추진 선박 시장에서 연료 공급을 위해서는 차량에 고정된 탱크를 이용한 TTS 방식 bunker를 우선으로 수행하여 관련 산업 활성화가 필요하다.

본 연구에서는 액화석유가스(LPG, Liquefied Petroleum Gas), LNG, 수소 등 bunker 관련 국내 적용 법령 상황을 분석하였으며, 분석 결과를 바탕으로 TTS 방식 암모니아 bunker에 적용할 수 있는 방안을 검토하였다. 특히, 암모니아 독성가스 취급에 따라, 방류독 설치가 필요하지만, TTS 특성에 필요한

트렌치 구조, 이동식 등 방류둑 설치 기준 등을 적용한 기준안을 도출하였다. 연구 결과를 바탕으로 향후 TTS 방식의 암모니아 병커링 시설 구축 및 안전 운영을 위한 제도 마련에 기여하고자 한다.

Acknowledgements

본 연구는 2024년도 산업통상자원부 조선해양산업기술개발사업(암모니아 연료 추진 선박 병커링 안전기준 및 누출 안전관리 기술 개발) 지원에 의한 연구임[20026527]

설비진단 기법을 활용한 회전기기 결함 자동분석 알고리즘 개발

이재웅·이우귀연*·오정석**
한국가스안전공사 가스안전연구원

Development of Automatic Analysing Algorithm for Rotator Defects Using Facility Diagnostic Techniques

JaeWoong Lee·Ugiyeon Lee*·Jeongseok Oh**
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
*Corresponding author: lyullee@kgs.or.kr

본 논문은 다양한 산업현장에서 사용되고 있는 회전기기의 결함을 자동분석하는 시스템을 개발하고자 한다. 이를 통하여 산업현장의 생산성향상과 유지보수 비용 절감에 기여한다.

회전기기는 동작 중 발생하는 진동으로 인해 불평형(unbalance), 축정렬 불량(misalignment), 베어링 결함(bearing fault), 마모된 기어(worn gears), 느슨함(looseness) 등 다양한 결함을 초래한다. 본 연구에서는 센서를 통하여 수집된 데이터를 ISO 20816 기준에 맞추어 결함을 분석하고, 푸리에변환(FFT) 알고리즘을 활용하여 주파수 분석을 수행한다.

현재 설비진단 기술은 경험에 의존하여 분석을 수행하기 때문에 많은 인력과 시간 및 예산이 소모된다. 또한, 전문 기술자도 부족한 상황이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 기계와 환경조건에서 결함을 효과적으로 분석할 수 있는 결함 자동분석 알고리즘을 개발하여 현장에서 누구나 결함분석을 수행하는 방안이 필요하다.

더욱 나아가 추후 연구에서는 결함 자동분석의 신뢰성을 향상시키기 위하여 진동분석 기법뿐만 아니라 윤활분석 및 열화성분석 기법을 통합적으로 활용할 계획이다. 윤활분석은 윤활유의 상태와 오염도를 통해 기계의 마모 및 고장을 예측하는 데 유용하며, 열화성분석은 기계 부품의 열화 상태를 파악하여 장기적인 신뢰성을 확보하는 데 중요하다. 이러한 다각적인 접근을 통하여 현장의 회전설비의 결함을 더욱 정밀하게 진단하고, 고장시점을 예측하는 예지보존(predictive maintenance) 기술의 발전에 기여하고자 한다.

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

Key words : 진동분석(Vibration analysis), 예지보존(Predictive Maintenance), 압축기(Compressor), ISO-20816, 상태진단(Condition monitoring)

수소혼입에 따른 연소기 안전기준 마련을 위한 국내외 안전기준 분석

정승균[†]·조영광·신현국·하상준
한국가스안전공사 가스안전연구원

Analysis of Domestic and International Safety Standards to Prepare Combustor Safety Standards for Hydrogen Blending

Seung Gyun Jung[†]·Yeoung Gwang Jo·Hyun Gook Shin·Sang Joon Ha
Korea Gas Safety Corporation Gas Safety Research Institute
[†]Corresponding author: jsg9989@kgs.or.kr

기후변화는 인류의 지속 가능한 미래를 위협하는 가장 큰 문제 중 하나로, 탄소중립 실현은 이를 해결하기 위한 필수적인 과제로 인식되고 있다. 각국은 탄소 배출을 줄이기 위해 다양한 정책을 채택하고 있으며, 특히 에너지 전환이 중요한 역할을 하고 있다. 2020년 국가 비전으로 우리나라는 '2050 탄소중립'을 공표하였으며, 재생 에너지 확대와 함께 수소 경제 활성화에 주력하고 있다. 수소는 탄소 배출이 없는 청정 에너지로, 이를 활용한 에너지 전환은 국가의 탄소중립 목표 달성에 큰 기여를 할 것으로 보인다. 다양한 수소 경제 활성화 정책 연구 중 하나인 '천연가스 배관망 수소혼입 안전성 검증 및 안전기술 개발'은 기존 천연가스 배관망에 수소를 혼입하는 과제로 국외 사례를 비교하며 수소 혼입 최대 20%를 진행하는 연구이다. 천연가스에 수소를 혼입하여 사용할 경우 해당 연료를 사용하는 연소기에 대한 국내 안전기준이 필요하나, 수소혼입 연소기와 관련된 기준은 존재하지 않으며 국내 연소기 관련 기준 및 표준은 KSG Code, KS 표준이 존재한다. 국외 유럽에서는 이미 수소 20% 혼입에 대한 연구가 진행되고 있다. PAS4444 및 CEN/CENELEC 보고서 등에서 수소 혼입 가스의 안전성과 성능에 관한 구체적인 지침을 제시하고 있으며, ISO/TC 197의 국제 표준이 연소기 설계에 필수적인 기술적 기준을 제공한다.

본 연구는 유럽의 수소 혼입 연소기 관련 기준을 체계적으로 분석하고, 이를 국내 안전기준에 반영할 수 있는 시사점을 도출하여, 향후 수소혼입 연소기 사용에 대한 보다 안전한 규정을 마련하는 데 기여하고자 한다.

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

멀티포트 기술개발 관련 수소충전소 안전기준·J2601프로토콜 분석

장재영·김보명·서국진[†]

한국가스안전공사 가스안전연구원 수소연구실

Analysis of hydrogen charging station safety standards and J2601 protocol related to multi-port technology development

JAEYOUNG CHANG·BOMYUNG KIM·KUGJIN SUH[†]

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

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

[†]Corresponding author: jin416@kgs.or.kr

이산화탄소량의 증가에 따라 지구온난화가 가속되고 있는 현재, 이산화탄소를 줄이는 방향 중 하나인 친환경 자동차를 떠올린다. 실제로 현 정부는 수소차에 대한 보급을 확대한다는 계획을 발표한 바 있다. 하지만 수소충전소를 설치할 수 있는 부지 및 시간·경제적 측면은 한계가 있고, 이러한 문제점의 해결을 위한 「대형 수소상용차 충전시간 단축을 위한 멀티포트 충전기술 개발」이라는 과제를 진행하게 되었다. 대형 수소상용차의 충전시간 단축을 위하여 기존과 동일한 충전압력(700bar)에서 대유량으로 수소를 공급하는 방식 및 두 개 이상의 충전포트를 통해 기존과 동일한 유량으로 공급하는 방식에 대한 기술개발과 두 개 이상의 포트(멀티포트) 충전방식의 기술에 관한 연구이다. 현재 수소충전용 디스펜서에는 1개의 노즐이 있다. 멀티포트 충전기술 개발에 따라 수소충전용 디스펜서에 노즐의 개수가 2개로 늘어나면 소형 수소상용차 2대를 수소충전용 디스펜서 하나로 동시에 충전이 가능할 수 있을 것이라 기대하고 있다.

본 연구에서는 대형 수소상용차의 충전시간 20분을 절반 가까이 단축하는 것을 목표로 하고 안전성 향상을 위한 정량적 위험성평가(quantitative risk assesment, QRA)와 수소충전소의 누출 지점과 폭발 지점을 특정하여 FLACS프로그램을 통한 3D위험시물레이션 연구를(HAZOP) 수행하였다. 그리고 수소충전 관련 해외기준 J2601프로토콜을 토대로 구축한 모사장치의 실험데이터를 분석한 바 있다. 금년도에는 멀티포트 디스펜서의 설치가 완료되면 실증데이터를 분석하고 관련 해외기준인 J2601프로토콜에(압력, 온도, 유량, SOC 등) 적합 여부를 확인할 예정이다. 이 과정을 통하여 멀티포트 충전기술이 J2601프로토콜에 적합하다 판정됐을 때, KGS의 안전기준안을 재/개정된 기초 발판으로 이용하고자 한다. 추가적으로 멀티포트 기술개발 현황과 KGS Code FP216, FP217의 안전기준과 J2601프로토콜의 분석에 관하여 소개하고자 한다.

비금속 재료 수소침투 국내·외 연구동향

정현선·김승환·서국진[†]
한국가스안전공사 가스안전연구원

Domestic and Foreign Trends in non-metallic materials in Hydrogen permeation

Hyunseon Jung·Seunghwan Kim·Kugjin Suh[†]
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
[†]Corresponding author: jin416@kgs.or.kr

산업사회의 발달 및 기후변화 문제로 대한민국 정부는 2050 탄소중립 및 중·장기 온실가스 감축목표를 세웠다. 온실가스 배출량 목표를 달성하기 위해 청정에너지인 수소를 활용하고자 하며, 그 일환으로 도시가스 배관망에 기존 도시가스의 비중을 감소하고 배관망에 수소를 단계별로 혼입하고자 한다. 수소 혼입 환경에서 가스기기용 비금속 재료(고무류 등)의 변형 및 노화, 계량기의 유량 오차 발생으로 인해 부품이 오작동하고 가스 누출로 인한 밀폐공간 내 사용 사고 위험성이 존재하나, 수소 혼입 안전성 기술 개발은 기초단계에 머무르고 있다. 비금속 재료에 수소가 침투했을 시 분자의 크기가 작고 가벼운 수소의 특성으로 인해 누출이 발생할 수 있으며, 연소 범위가 넓어 폭발의 위험성이 크다. 이러한 위험성을 예방하기 위해 국내·외 연구 동향을 파악하고, 이를 토대로 안전성 검증 실증을 통한 안전 기준 개발이 필요하다.

본 연구에서는 도시가스 배관망에 수소 혼입 설비 구축을 위한 단계별 비금속 재료에 대한 수소 혼입 실증에 대한 국내·외 동향에 대해 비교하고자 한다. 해외에서 도시가스에 수소를 혼입하는 여러 프로젝트가 진행 중이지만 아직 비금속 재료에 대한 연구는 미비하다. 또한, 도시가스 배관망에 수소를 혼입할 때 비금속 재료 시험 실증에 대한 안전기준이 없다. 국내에서도 금속 배관에서의 수소 취성파괴는 연구되었지만, 비금속 재료에 대해서는 연구가 전무하며 안전기준 역시 존재하지 않는다.

이와 관련해 비금속 재료에 수소 침투시 안전성에 대한 연구 및 기준안 개정이 필요하다. 추후 본 연구자료를 바탕으로 시험 및 안전기준 개발 자료로 활용하고자 한다.

** 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE) 및 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지기술개발사업(과제 번호:202300234839) 연구비 지원으로 수행되었습니다.

극저온 액화수소 저장탱크 연결 배관 누출 시나리오에 관한 위험성 연구

박주현·김정환[†]

한국가스안전공사 가스안전연구원

A risk study on the leakage scenario of cryogenic liquefied hydrogen storage tank connection piping

Juhyeon Park·Jeonghwan Kim[†]

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

[†]Corresponding author: abbu2k@kgs.or.kr

탄소중립의 목표를 위해 최근 수소 산업에 대한 관심 및 연구개발이 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 수소 산업의 발전에 따라 수소를 액화하여 운송, 저장하는 기술적인 문제들을 해결해야 한다. 또한, BOG(Boil off gas)의 발생 및 가압 등을 방지할 수 있는 진공단열 기술 적용이 필요하다. 먼저 액화수소의 물리 화학적 특성과 누출 발생 시의 잠재적인 요소들을 파악하여야 한다. 액화수소는 -253°C (20K)의 극저온 상태를 유지하며 저장되며, 매우 낮은 분자량과 높은 확산 속도를 갖기에 누출 시 화재와 폭발의 위험성이 크다. 따라서, 사고 발생 시 심각한 안전 문제를 야기할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 추후 음성에 건립될 액화수소 검사지원센터를 모델로 선정하였고 센터 내의 액화수소 저장탱크에 연결된 배관에서의 누출 시나리오를 분석하고, 그에 따른 위험성을 FLACS 위험성평가 프로그램을 사용하여 각 시나리오의 위험성을 정량적으로 평가하였다. FLACS는 CFD(Computational Fluid Dynamics) 기반의 소프트웨어로, 가스 확산, 화재, 폭발 시뮬레이션을 통해 누출 사고의 가능성과 그 영향을 정확히 모델링 할 수 있는 프로그램이다.

연구는 HAZOP study를 활용하여 누출 시나리오를 결정하였고, 프로그램을 활용하여 누출 시 발생할 수 있는 위험 요소를 모델링하고 시뮬레이션을 통해 분석하여 각 시나리오에 대한 영향을 구체적으로 평가하였다. 이를 통해 누출사고를 예방하고 그 영향을 최소화하기 위한 다양한 대응책을 제시하였다. 설계 개선, 안전장치 도입, 운영 절차 강화, 비상 대응 계획 수립 등과 같은 조치사항을 포함하여 액화수소 검사지원센터의 안전성을 높이기 위한 실질적인 대책을 통해 수소 산업의 안전성과 신뢰성 향상에 기여하고자 한다.

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

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

석유화학산업에서의 유해화학물질 만성독성 사례에 대한 연구: 국내·외 직업성질환 통계사례를 중심으로

최현규·박지환*·천영우^{†**}
인하대학교 환경안전융합전공

Study on Chronic Toxicity Cases of Hazardous Chemicals in the Petrochemical Industry: Focusing on Domestic and International Occupational Disease Statistics

H. G. Choi·J. H. Park*·Y. W. Chon^{†**}

Department of Technology & Safety Technology Convergence, Inha University

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

본 논문은 석유화학산업에서 사용되는 유해화학물질의 만성독성에 따른 화학물질의 관리방법 직업성 질환 발생 사례 및 보상 시스템을 국내·외 비교 분석한다. 한국은 최근 화학물질관리법 개정을 통해 화학물질을 만성독성으로 분류하여 관리하는 제도를 도입하였다. 본 연구에서는 이러한 제도 변화가 국내 석유화학산업에서의 직업성질환 발생률과 관리 방법에 미친 영향을 분석하고, 주요 사례를 통해 실질적인 효과를 평가한다.

국내 사례로는 벤젠, 톨루엔, 크실렌 등의 만성독성 물질에 노출된 근로자들의 건강 문제와 이에 대한 보상 및 산재 처리 사례를 심도 있게 다룬다. 한국에서의 주요 사례로는 벤젠 노출로 인한 림프조혈기계 암 등 여러 질환의 사례, 톨루엔, 크실렌 노출로 인한 신경계질환 등의 사례를 다루고 이에 따른 산재 인정을 분석한다. 또한, 정부 및 관련 기관에서 시행하고 있는 만성독성 물질 관리 정책의 변화와 그에 따른 산업 현장의 대응 방안을 살펴본다.

국외 사례로는 미국, 유럽, 일본 등의 주요 국가에서 석유화학산업 근로자들이 경험한 만성독성 물질 노출로 인한 직업성질환 발생률과 이에 대한 관리 및 보상 시스템을 소개한다. 예를 들어, 미국 오하이오주의 고무 공장에서 벤젠 노출로 인해 발생한 백혈병 및 다발성 골수종 사례를 통해 벤젠의 만성독성 위험성을 평가한다. 또한, 중국에서의 벤젠 중독 사례와 이를 바탕으로 한 관리 및 예방 조치의 효과를 분석한다.

이 연구는 국내·외 다양한 통계 자료를 수집하고 분석하여, 만성독성 물질 관리의 효과성을 평가하며, 한국의 화학물질 관리 제도 개선을 위한 시사점을 도출한다. 이를 통해, 향후 석유화학산업 종사자들의 건강 보호를 위한 정책적 제언을 제공하고, 글로벌 기준에 부합하는 안전 관리 체계를 구축하는데 기여할 것으로 보인다.

키워드 : 석유화학산업, 유해화학물질, 만성독성, 직업성질환, 통계 분석

Key words : Petrochemical industry, hazardous chemicals, chronic toxicity, occupational disease, statistical analysis

_ 인하대학교 환경안전융합전공 석사과정
(Department of Technology & Safety Technology Convergence, Inha University)
*인하대학교 환경안전융합전공 석사과정
(Department of Technology & Safety Technology Convergence, Inha University)
†**인하대학교 환경안전융합전공 교수
(Department of Technology & Safety Technology Convergence, Inha University)

원유슬러지의 화재사고 원인 분석

김천동[†]·서동현·최이락·이한희
한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Cause Analysis on Fire Accident About Crude Oil Sludge

Chun-Dong Kim[†]·Dong-Hyun Seo·Yi-rac Choi·Lee, Han Hee
Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA
[†]Corresponding author: sakarasano@kosha.or.kr

지하 유전이나 해저에서 채굴한 원유 내에는 흙, 모래, 찌꺼기 등 각종 불순물이 다량으로 섞여 있고, 이 불순물은 비중이 높아 저장탱크 하부에 침전되어 축적되게 되는데 이 젤 형태의 액상 침전물을 원유 슬러지라고 한다. 슬러지는 원유 내에 침전되어 저장탱크 내에 쌓이게 되고, 정제를 위해 상압증류과정으로 원유가 이송되어도 탱크 내부의 슬러지는 계속 쌓이게 된다. 지름 86m, 높이 22m 이를 정도로 거대한 75만 배럴(barrel, bbl) 용량의 원유 저장탱크의 경우 11~12년 주기로 실시하는 정밀정기검사까지 쌓인 슬러지는 수백 톤에 이른다. 이 슬러지는 원유를 함유하고 있으며 인화성 물질이라 산소(산화제)와 점화원이 있으면 화재·폭발 발생 가능성이 있다. 또한 탄화수소의 평균 최소점화에너지(MIE, Minimum Ignition Energy)가 0.2mJ 인 것을 고려할 때 슬러지의 인화성 증기가 공기와 혼합되어 폭발범위(LEL~UEL, Lower Explosive Limit ~ Upper Explosive Limit)에 들어가면 작은 에너지에도 화재·폭발이 발생할 위험이 있으며, 2023년 전남 소재 사업장에서 원유 저장탱크의 법정개방검사를 위한 세정작업 준비 중 개방된 하부 맨홀 주변에서 화재가 발생하여 근로자 2명이 부상을 입고, 저장탱크 일부가 소손된 사고가 발생하였다.

따라서 본 연구에서는 원유 슬러지에 대한 물리적 위험성을 평가하기 위하여, 태그밀폐식(TAG4)으로 인화점을 측정하였으며, 시차주사열량계(DSC)를 이용한 열분석을 실시하여 열적 위험성을 평가하였다. 또한 사고 당시 원인을 분석하여 안전작업을 위한 화재폭발사고 예방대책을 제시하였다.

반도체 유기폐액 고형화 물질 용해 실험 및 용해액 연소 특성치에 관한 연구

박준우¹·최재준^{2*}·하동명^{3†**}

삼성전자 화성사업장·*세명대학교 소방방재공학과 대학원·**세명대학교 보건안전학과 석좌교수

A Study on the Solubility of Solidified Organic Liquid Waste from Semiconductor FAB and the Combustion Characteristics of the Solutions

Park Joonwoo¹·Jae Jun Choi^{2*}·Dong Myeong Ha^{3†**}

Samsung Electronics Co, Hwasung Campus·

*Department of Fire and Disaster Prevention Engineering, Graduate School Semyung University·

**Department of Occupational Health and Safety, Semyung University

†Corresponding author: hadm@semyung.ac.kr

반도체 생산 8대 공정 중 Photo 공정에서 주로 사용하는 유기성 케미컬 및 PR(Photo Resist)류는 공정프로세스를 거친 후 별도 유기폐액 탱크로 집하되고 매일 수십대의 폐액 탱크로리 차량으로 수거, 처리되고 있다. 배관 내에서 유기성 폐액이 막혀 설치된 배관의 구조상 폐액이 혼합되고 정체 될 수 있다. 용해액은 모두 유기성 액체로 화재, 폭발의 위험이 높은 물질로 인화점, 자연발화점을 명확히 파악하고 취급하여야 한다. 또한, 용해액 3종은 결국 한 개의 특정 탱크로 집수되는 구조로 설계되어 있기 때문에, 각 개별 물질은 물론 혼합 되었을 때의 연소 특성치도 함께 실험할 필요가 있었다.

본 연구를 통하여 용해액으로 사용하고자 하는 ArF thinner, KrF thinner, NBA에 대한 순수물질의 인화점과 자연발화온도 및 활성화에너지 값을 알게 되었고 또한, 혼합물의 측정값도 각 조성비의 변화에 따른 계산 값과 실험값을 비교하여 차이점을 확인할 수 있었다. 이렇게 실제 측정 및 분석을 통해 해당 물질의 연소특성치를 더 명확히 알 수 있었고, 이러한 데이터가 취급하는 제조 및 인프라 공정의 화재·폭발의 위험성을 사전 예방하는 자료로 활용하였으면 한다. 더욱이, 용해물질이 집수되는 특정 탱크 및 탱크 Room내에는 조기감지장치, 안전장치, 확산방지 장치들이 설치되어 있는데, 이러한 특성치의 실험 값을 통해 추가해야하는 안전장치는 없는지 다시 검토하는 자료로 활용되었으면 한다.

소듐냉각고속로(SFR) 소듐 누출의 감시 및 진단을 위한 시스템 개발

김범규[†]·송근동·백승헌·황정호·손영호·이재훈
(주)미래와도전

Development of a System for Monitoring and Diagnosis of Sodium Leaks in Sodium-Cooled Fast Reactors (SFR)

Beom Kyu Kim·Geun Dong Song·Seung Heon Baek·Jeong Ho Hwang·
Yeong Ho Son·Jae Hun Lee
FNC TECHNOLOGY CO., LTD.

[†] Corresponding author: withbum77@fnctech.com

가압 경수로나 중수로와는 달리 소듐(Na)을 냉각재로 사용하는 소듐냉각고속로(Sodium Fast Reactor)는 고속 중성자를 이용해 핵분열로 발생한 고준위 방사성물질을 연소 시킬 수 있어 방사성폐기물 문제를 크게 줄이는 장점이 있다. 허나, 소듐냉각고속로의 안전성 확보는 중요한 과제로 남아있다. 소듐냉각고속로의 안전성 및 검증체계를 개발하기에 앞서서 고온 재료, 구조, 구조물의 건전성 등에 대하여 면밀히 모니터링하고 안전성에 대한 검증이 필요하다.

발전소의 가동 중 검사(ISI : In-Service Inspection)는 균열 및 부식과 같은 물리적 손상이나 시험 표면 상태를 필수적으로 점검하기 위해 주요 부품 및 장치, 파이프의 용접 부위를 시각적으로 정기적 검사를 수행하여 취약 부품의 건전성을 평가한다.

기존의 가압 경수로는 원자로냉각재 압력경계부, 배관 및 노즐 등 구조재의 광학적인 육안검사 또는 초음파 탐상 검사를 요구하고 있다. 이에 반해 소듐냉각고속로는 소듐의 불투명한 특성으로 인하여 장치 및 구조물을 시각화하는 데 한계가 있으며 전자기 방법은 용융 상태의 금속 소듐의 특성에 의해 제한적이다.

현재 초음파(UT) 탐상 기술이 소듐냉각고속로의 구조재를 시각화 하는 데 유일하게 효과적인 기술로 고려되고 있다. 허나, 고온 액체 소듐에서 초음파를 이용한 시각화 연구는 고온에서 작동하는 소듐냉각고속로의 기술적 안전성과 생존성을 확보할 수 있을 만큼 충분히 연구되어야 한다. 따라서 높은 온도에서 일관된 성능을 유지할 수 있는 초음파 탐촉자의 내구성을 보장하는 것이 필수적이다.

본 연구는 상온, 수중에서 초음파를 이용한 센서 및 C-Scan 시스템을 개발하고, 고온에서의 소듐 내에서 센서 개발에 필요한 고려 사항을 다루었다. 초음파 센서 및 시스템은 고온 소듐 환경에서 안정적인 작동을 고려하여 설계 및 최적화하였다. 또한 고온 소듐 환경에서 테스트하기 위해 글러브박스 내에서 C-Scan 시스템을 구축하였다. 마지막 단계에서는 C-Scan 이미지를 시각화하여 고온에서 성능을 확인하였다.

** 본 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (No. 2022M2D4A1054827).

저온 환경 내 화재대응시설 성능평가 수행을 위한 성능검증장 구축 방안 연구

주민언·이종규·안승민·민세홍[†]
가천대학교

A Study on the Establishment of a Performance Verification Site for the Performance Evaluation of Fire Response Facilities in Low Temperature Environments

MinEon Ju·JongGye Lee·SeungMin Ahn·SeHong Min[†]
Gachon University

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

최근 비대면 전자상거래가 확대됨에 따라 냉장·냉동 창고의 수가 급증하였다. 실제로 국가 물류통합 정보센터에서 공개한 물류통계에 따르면, 지난 5년간(2019~2023년) 등록된 물류창고업 중 냉장·냉동 창고의 수가 약 33% 증가했음을 확인할 수 있었다. 또한 창고의 형태가 대형 및 복합화되고 있다.

냉장·냉동 창고의 급증과 동시에 해당 창고를 대상으로 한 화재 역시 지속적으로 발생하고 있다. 소방청에서 공개한 화재통계에 따르면, 최근 7년간(2017~2023년) 평균 약 90건 이상의 화재가 발생하였다. 이때 화재 건당 인명 피해 및 재산 피해 규모가 크게 나타나 위험성이 매우 높은 상황이다. 하지만 창고의 저온 환경 특성상 소방시설의 구축 및 적응성 확보에 어려움이 있다.

화재안전기술기준(NFPA)에서는 저온 환경 내 스프링클러설비, 감지기, 옥내소화전 방수구 등의 설치를 제외하도록 규정하고 있어, 냉장·냉동 창고 내 화재 발생 시 조기 감지 및 진압에 한계가 있다. 따라서 본 연구는 냉장·냉동 창고 내 화재대응시설의 적응성 향상을 목적으로 성능평가를 진행하고자 한다. 이에 앞서 성능평가 수행을 위한 성능검증장의 설치 및 구축 방안을 제시하였다.

성능검증장 구축까지의 수행 과정은 다음과 같다. 먼저 화재대응시설을 선정하였다. 감지에서는 공기 흡입형 감지기를, 소화에서는 스프링클러설비로 선정하였다. 선정된 화재대응시설의 국내·외 설치 기준과 저온 환경 내 작동 특성을 조사 및 분석하였다. 이를 토대로 냉장·냉동 창고 내 설치 및 유지관리 시 요구되는 성능 항목을 도출하였고, 각 항목에 대한 성능평가 시나리오를 개발하였다.

성능검증장의 규모는 7 m x 7 m x 5 m로, -20℃까지 운영된다. 이곳에 냉장·냉동 창고 화재대응 실규모 실험 장치를 구축하였고, 앞서 개발한 성능평가 시나리오를 수행할 예정이다. 평가 내용을 바탕으로 냉장·냉동 창고 화재대응시설의 유지관리 지침 및 화재안전기술기준 개정에 활용할 계획이다. 이에 따라 냉장·냉동 창고 내 화재대응시설의 성능 확보 및 적응성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

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

Python을 활용한 Type4 수소저장용기 복합소재 와인딩 패턴 최적화 연구

김혜원·김한상[†]
가천대학교 기계공학과

Optimization Study of Composite Material Winding Patterns for Type4 Hydrogen Storage Vessels Using Python

Hye Won Kim·Han Sang Kim[†]
School of Mechanical Engineering, Gachon Univ.
[†]Corresponding author: hskim70@gachon.ac.kr

수소 경제의 발전에 따라 고압 수소저장용기의 효율성과 안정성 향상이 중요한 과제로 대두되고 있다. 특히 수소저장용기의 와인딩 패턴은 용기의 강도와 내구성에 중요한 영향을 미치며, 최적화된 패턴을 통해 소재 사용을 최소화하면서도 최대의 구조적 무결성을 확보할 수 있다. 이에 본 연구에서는 Python 프로그래밍 언어와 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 사용하여 용기의 구조적 안정성을 유지하면서 섬유 방향의 응력을 최소화하는 최적의 와인딩 각도를 도출하는 방법에 대해서 연구를 진행하였다. 유전 알고리즘은 자연계의 생물 유전학에 기본 이론을 두며, 병렬적이고 전역적인 탐색 알고리즘으로 복잡한 최적화 문제를 효과적으로 다룰 수 있다는 장점을 가지고 있다. Type4 수소저장용기의 구조적 모델은 상용유한요소 해석프로그램인 Abaqus S/W를 사용하여 구현하였고, 용기의 구조적 요구 사항과 제약 조건을 바탕으로 와인딩 패턴의 매개변수를 정의하였다. 이후, Python DEAP 라이브러리의 유전 알고리즘을 사용하여 초기 인구 생성(Population), 선택(Selection), 교차(Crossover), 돌연변이(Mutation) 등의 과정을 통해 최적의 와인딩 각도를 탐색하였다. 알고리즘의 적합도 함수(Fitness Function)는 섬유 방향의 응력의 최소화를 주요 목표로 설계 되었으며, 용기의 파열 압력 요구사항을 제약 조건으로 고려하였다. 최적화 결과 기존 설계 대비 섬유 방향의 최대 응력을 10.4% 감소시키면서 요구되는 파열 압력을 만족시키는 와인딩 각도의 조합을 얻을 수 있었다. 향후 연구에서는 유한요소해석-인공 신경망-유전알고리즘을 결합한 수소저장용기 와인딩 적층 순서 및 와인딩 각도에 따른 최적화 연구를 진행할 예정이다.

** 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원의 “소재부품기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (NO. 20022511)

** 본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)의 “신재생에너지 핵심 기술개발사업” 지원을 받아 연구한 과제입니다. (NO. 2022303004020A)

웹크롤링을 활용한 화학물질 불법유통 온라인 감시

윤해운·한지혜·최민영·송기봉·윤준현

화학물질안전원 사고예방심사1과

Online surveillance of illegal distribution of chemicals using web crawling

Haeun Yun·Jihye Han·Minyoung Che·Kibong Song·Junheon Yoon

National Institute of Chemical Safety Accident Prevention and Assessment Division 1

†Corresponding author: godnsl903@korea.kr

인터넷상에 유해 게시물 감시는 개인의 검색 능력에 의존하는 경향이 크다. 이를 보완하기 위한 방법으로 인공지능을 결합하여 웹 크롤링 기술을 도입하였다. 먼저, AI 모델 4종 LSTM, GRU, Transformer, BERT을 선택하여 성능 검증을 위해 1차, 2차 테스트를 하였다. 1차 테스트는 AI 모델 4종에 2016년~2022년까지의 기존 누적 데이터를 학습시킨 후 평가하였고, 2차 테스트는 AI 모델에 검색을 실시하여 얻은 4,200건 자료를 전이 학습시켜 평가하였다. 각각 수집 데이터에 대한 성능을 비교한 결과, 정확도는 1차 학습모델 LSTM 86.98%, GRU 79.92%, Transformer 88.06%, BERT 67.45%, 2차 학습모델 LSTM 77.21%, GRU 79.39%, Transformer 81.01%, BERT 67.45%으로 나타났다. 또한, 정밀도는 1차 학습모델 LSTM 29.16%, GRU 15.15%, Transformer 18.42%, BERT 8.82%, 2차 학습모델 LSTM 8.82%, GRU 8.91%, Transformer 11.11%, BERT 12.96% 였다. 이 결과를 바탕으로 정확도와 정밀도가 높은 1차 LSTM 모델을 선정하였다. 선정된 LSTM 모델을 기반으로 웹 크롤링 기술을 적용한 URL 수집 기능과 이미지와 음성으로부터 텍스트 추출하는 OCR 기능을 추가 연계시키고, 2016년~2022년까지 누적된 자료를 학습시켜 AI 검색엔진을 만들었다.

많은 시스템이 외부 공격을 차단하기 위하여 웹 크롤링과 같은 기계적인 접근을 차단하는 기술을 적용하고 있다. 이러한 기능을 회피 하기위해 시간 차를 두고 접근하는 방법을 적용하였다. 그 결과, 검색 키워드 10개를 구동하면서 접근 차단은 되지 않았지만, 1회 구동으로 약 1300개의 게시물이 찾아내는데 검색시간이 3~7일 소요되어 구동 시간을 단축 시킬 수 있는 개선 방안이 필요함을 확인하였다.

중복된 게시물을 제거하면 약 700~800개의 데이터 정보를 얻을 수 있었지만, 수집된 정보에서 이명, 줄임말 등의 명칭 사용으로 정확도가 떨어졌으며, 함유량의 %를 할인율과 혼동하기도 하였다. 또한, 영상물을 시각화 인지하는 과정에서 물, 불, 공기 반응으로 단순 폭발과 반응생성물 폭발 여부 구분이 어려움이 발견되었고, 음성 추출 과정에서도 다양한 언어가 섞여 있어 텍스트 변환이 원활하지 못한 한계를 보였다. 향후 AI 검색엔진의 활용도와 신뢰성을 높이기 위해 사이트 접근성과 AI 학습으로 강화할 예정이다.

Bow-Tie 분석을 통한 화학물질의 안전 관리 방안 제안

이윤호¹·박이현²·천영우^{3*}
 인하대학교

Proposal of safety management plan for chemical substances through
 Bow-Tie analysis

Youn Ho Lee¹·Yi Hyeon Park²·Young Woo Chon^{3*}
 *Corresponding author: ponychon@inha.ac.kr

국내 공정안전관리(PSM) 제도는 2013년 『화학물질관리법』 개정을 통해 도입되었으며, 2014년 구미 불산 누출사고를 계기로 PSM대상물질을 21개에서 51개로 확대하여 시행하고 있다. PSM의 목적은 유해·위험설비의 위험물질 누출, 화재, 폭발로 인한 중대산업사고를 예방하는 데 있다. 그러나 현재 화학 사고 발생현황을 보면 2015년 이후 2019년까지 감소하는 형태를 보이다 2020년 75건으로 증가하였으며, 2023년 115건으로 화학물질안전원의 화학물질 사고 통계 이후 가장 많은 화학사고를 기록하였다. 사고 유형으로 누출 형태가 689건으로 전체 사고의 79%를 차지하였다. 화학물질의 중대산업사고를 예방하기 위해 PSM제출대상 확대 등 많은 노력을 실시하고 있지만 모든 위험을 예방할 수 없으므로 다양한 접근 방식을 통한 위험성평가가 필요하다.

본 연구에서는 화학물질 제조업종에 해당하는 모기업에서 취급하는 화학물질을 Bow-Tie 분석기법을 이용하여 안전 관리 방안을 제안하였다. 연구 방법은 첫째, 사업장에서 취급하는 화학물질의 관련 법규 현황을 분석하였다. 둘째, PSM 제출대상 물질 중 취급량이 가장 많은 물질 10가지를 대상으로 화학물질이 인체에 영향을 미칠 수 있는 요소를 카테고리에 따라 분류하여 이를 점수화하였다. 셋째, 위험도 점수가 가장 높은 물질의 유해·위험성을 해외 사고사례 및 실험 논문을 통하여 누출 사고 발생 시 위험 요인을 확인하였다. 넷째, 해당 물질을 대상으로 해당 화학물질의 비정상 누출과 일상 누출로 구분하여 사고 유형과 원인을 분석하였으며, 이를 통한 안전 관리 방안을 제안하였다.

Key Words : Bow-Tie, PSM(Process Safety Management), 화학물질 누출, 위험도 점수

¹인하대학교 환경안전융합전공 석사과정
 (Environmental Technology & Safety Technology, Inha University)

²인하대학교 환경안전융합전공 석사과정
 (Environmental Technology & Safety Technology, Inha University)

³인하대학교 환경안전융합전공 교수
 (Environmental Technology & Safety Technology, Inha University)

Author Index

ㄱ

강도희 B205
 강리운 C401
 강승규 A601
 강인혜 C307
 강혜민 P02
 김강섭 C201
 김건우 A606
 김경수 A602
 김동준 A309, A310
 김범규 P11
 김병훈 C105
 김부승 A104
 김수철 B305
 김승환 A102
 김정민 A109
 김정환 A105
 김주석 C503
 김지윤 C102
 김지훈 A205
 김진현 C402
 김천동 P09
 김태훈 A203
 김현식 B404
 김혜원 P13
 김호현 C104
 김희건 A508

ㄴ

도지석 C203

ㄷ

류진화 B303

ㄹ

맹주희 A107
 민미미 B403

ㅁ

박건영 A605
 박성희 A206
 박신웅 A307
 박요한 A110
 박주현 P07
 박준우 P10
 박한민 A608
 반준화 C502
 백승현 A306

ㅂ

서용구 A502
 손덕영 B401
 손은수 A304
 손준우 A311
 신승문 A406

ㅅ

안성용 C103
 안수빈 B105
 안유선 B307
 안은규 C308
 양희성 B302
 오세현 B104
 오용록 A603
 왕순주 C301, C313

유상운 P01
 유승돈 A405
 유종철 C311
 윤가영 A305
 윤여현 C304
 윤해운 P14
 이강복 B301
 이생곤 A501
 이선희 B103
 이연건 B206
 이우귀연 A101
 이윤석 B203
 이윤호 P15
 이재웅 P03
 이재호 A505
 이종규 A509
 이준서 B102
 이지희 A103
 이찬우 B402
 이현정 A503, A504
 이효은 B204
 임지인 C403
 임채완 B101
 임현종 C312

ㅈ

장기원 A401
 장민준 A308
 장유리 A403
 장유선 A402
 장윤덕 C302
 장재영 P05
 장정훈 A507
 장효연 B304

정경현	A607
정성경	C101
정승균	P04
정현선	P06
조범진	B202
조영광	A108
조유림	A106
조철희	C504
조충희	A604
주민언	P12

홍미라	C310
홍세인	B201
황이태	A407
황종록	A204

 大

차정민	A202
채재익	C305, C306
최대해	C309
최두찬	A301, A302, A303
최승환	C501
최우수	C106
최재준	A404
최청열	B405
최현규	P08

 II

피혜영	C303
-----	------

 H

하동명	A408
하재홍	A506
한규원	B306
한규진	C202
한종호	C204
현성호	A201

이 발표논문집은 산업안전보건연구원의 일부 재정지원에 의하여 발간되었습니다.