

유해화학물질 사고대응의 이해



경기도소방학교 서동호

유해화학물질이란?

“인간과 환경에 치명적인 위험을 줄 수 있는 물질”



▷ 1970~80 석유화학산업의 눈부신 발전



▷ 1991 낙동강 페놀 유출

▷ 2012.9. 구미 불화수소 누출



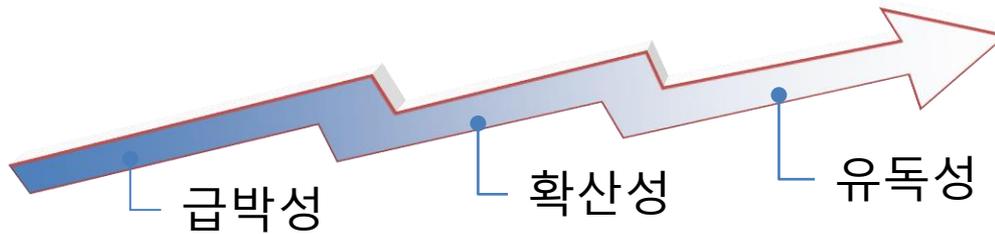
Ice breaking..

화재 진압



Vs

유해화학물질 대응



유해화학물질 대응절차

1. 상황분석

- 물질식별, 위험성, 구조가 필요한 사람, 초기이격거리..

2. 대응계획

- 대응원칙, 대응순서, 방제물품, 누출차단, 측정장비..

3. 실행

- 통제선 설치, 보호복 착용, 제독, 유관기관 협업..

4. 실행평가

- 현장평가, 대원건강, 언론브리핑..

유해화학물질 대응

(Responding Hazardous Materials)

유해화학물질 사고 대응 훈련



구 분		훈련내용	비 고
대응2급	식별과정 (Awareness level)	유해화학물질 식별 최초 대응자 역할 이해	신임교육
	초기대응과정 (Operation level)	위험성 평가 누출물 통제 가둠 고립(방어) 기본제독절차 수행	
대응1급	전문대응 (Technician level)	위험성 평가(탐지기기 활용) 누출물 통제 가둠 고립(공격) 정밀제독절차 수행	소방장 소방위
	화학전문가 (Specialist)	위험성 평가(분석기기 활용) 누출물질 거동 예측 종결절차 지식	
현장지휘	현장지휘관 (On-Scene Commander)	통합지휘시스템 지휘관 역할 비상대응계획 지식 사고 종결절차 및 지휘관 이양	소방경 소방령

화학반응 종류

중합 Polymerization ($nA + nB \rightarrow nAB$)

연소 Combustion ($CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$)

산화·환원 Redox ($A + B \rightarrow A^+ + B^-$)

중화 Neutralization ($a^{(-)} + b^{(+)} \rightarrow c^{(0)} + d^{(0)}$)

강산

약산

중성

약염기

강염기



황산
질산
염산

아세트산

부식성
증가



암모니아

수산화나트륨
소석회

유해화학물질 식별



위험물질 식별



물질명

염산(97-1-203)(5%)



UN번호



CAS번호

CAS No : 7664-93-9)

UN 위험물 분류

Class 1. 폭발성

- 1.1. 대량 폭발물
- 1.2. 파편을 발생하는 폭발물
- 1.3. 화재를 동반한 폭발물
- 1.4. 단순 폭발성 물질
- 1.5. 매우 둔감한 폭발성 물질
- 1.6. 극히 둔감한 폭발성 물질

Class 2. 가스

- 2.1. 인화성 가스
- 2.2. 비인화성 가스
- 2.3. 독성가스

Class 3. 인화성 액체, 가연성 액체

Class 4. 인화성 고체

- 4.1. 인화성 고체, 자기반응성 물질, 비활성화된 폭발물
- 4.2. 자연발활성 물질
- 4.3. 물과 반응하여 인화성 가스를 발생하는 물질

Class 5. 산화성 물질 및 유기과산화물

- 5.1. 산화성물질
- 5.2. 유기과산화물

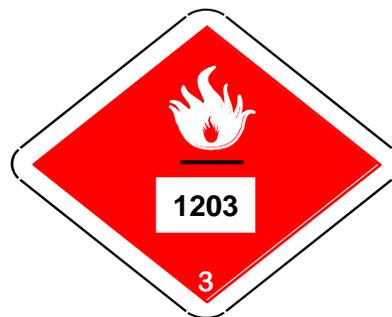
Class 6. 독성 및 감염성

- 6.1. 독성물질
- 6.2. 감염성 물질

Class 7. 방사능 물질

Class 8. 부식성

Class 9. 혼합 위험물



플래카드(Placard)

주황색 : 폭발성

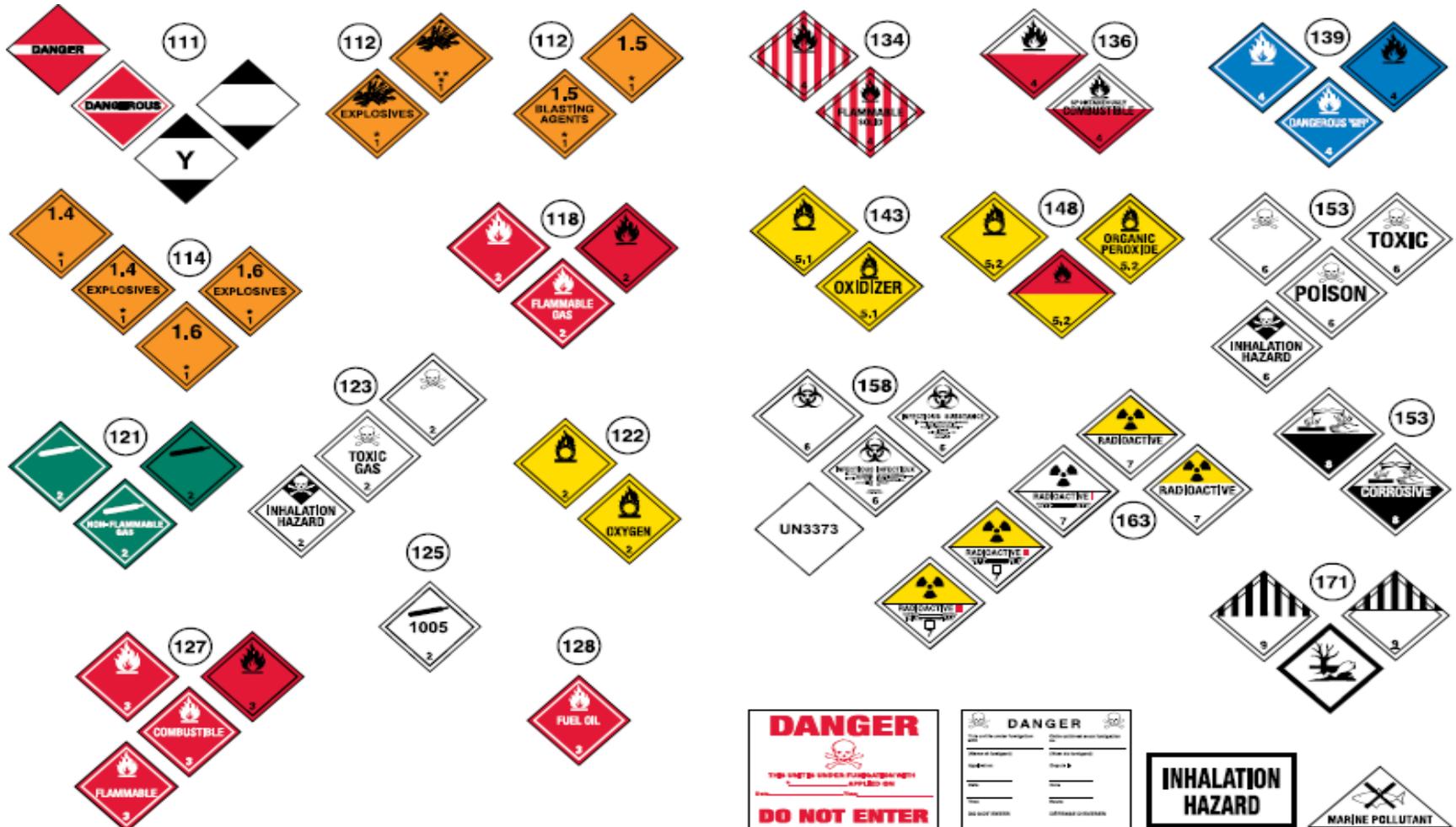
노랑색 : 산화성

적 색 : 인화성

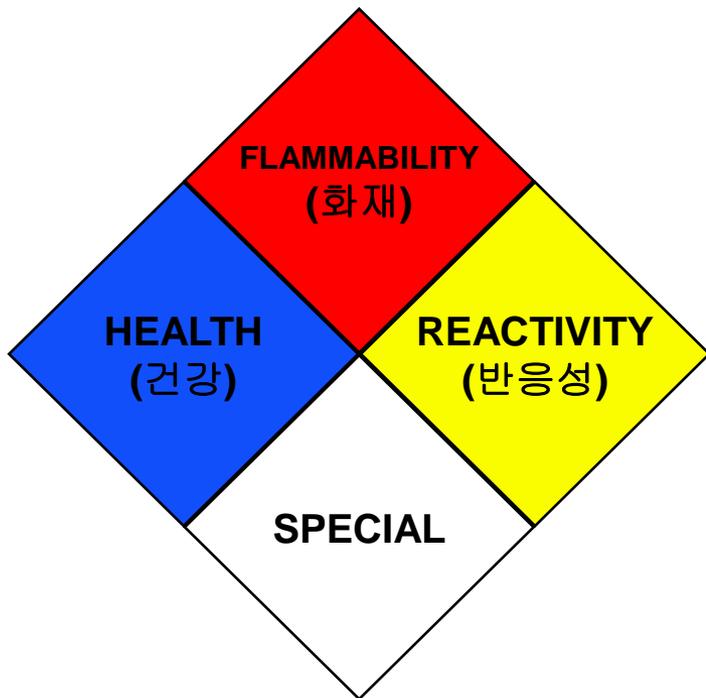
흰색바탕/검정글씨 : 부식성, 독성

녹 색 : 불연성 압축가스

노랑1/2+흰색1/2 : 방사능물질



NFPA 704



위험도

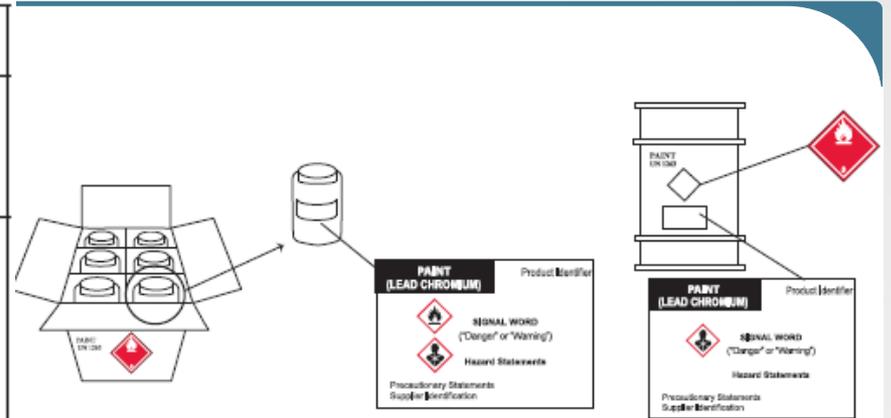
- 4 Extreme Danger(극히)
- 3 Very Hazardous(아주)
- 2 Moderately Hazardous(쯤)
- 1 Hazardous(위험)
- 0 Non-Hazardous(위험성 x)

Special (특수정보)

- W Water reactive(물 반응성)
- OXY Oxidizer(산화성)
- COR Corrosive(부식성)
- ACID Acid(산성물질)
- ALK Alkaline(염기성물질)
-  Radioactive(방사성)

GHS 라벨

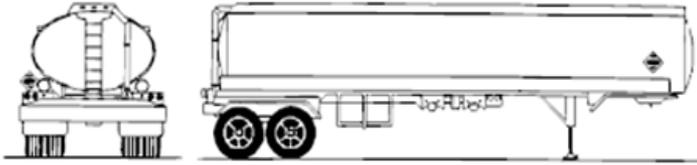
GHS Pictograms	Physical hazards	GHS Pictograms	Health and Environmental hazards
	Explosive; Self-reactive; Organic peroxide		Skin corrosion; Serious eye damage
	Flammable; Pyrophoric; Self-reactive; Organic peroxide; Self-heating; Emits flammable gases when in contact with water		Acute toxicity (harmful); Skin sensitizer; Irritant (skin and eye); Narcotic effect; Respiratory tract irritant; Hazardous to ozone layer (environment)
	Oxidizer		Respiratory sensitizer; Mutagen; Carcinogen; Reproductive toxicity; Target organ toxicity; Aspiration hazard
	Gas under pressure		Hazardous to aquatic environment
	Corrosive to metals		Acute toxicity (fatal or toxic)



물리적 위험성 : 17개 항목
 건강유해성 : 10개 항목
 환경유해성 : 2개 항목

차량모양을 통한 화학물질 확인

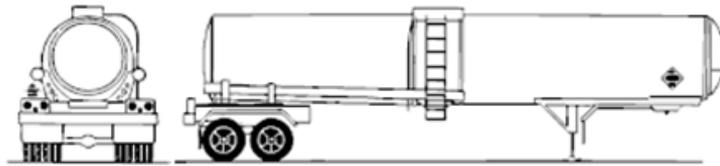
1



- ✓ 타원형 구조
- ✓ 다수의 맨홀
- ✓ 방호틀 길게 설치

➤ 비가압 액체화물 탱크로리 : 인화성액체, 유독물 운반(석유, 알코올류 등) 지침번호 131

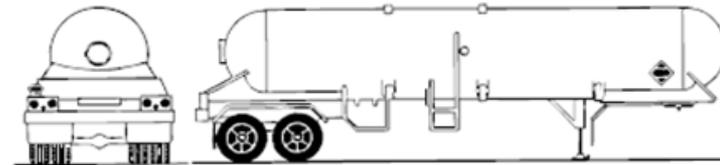
2



- ✓ 원형, 말굽형 구조
- ✓ 중앙에 맨홀, 안전변
- ✓ 외측탱크 띠무늬

➤ 저압 액체화물 탱크로리 : 인화성 · 부식성 · 독성물질 운반, 25psi 압력 지침번호 137

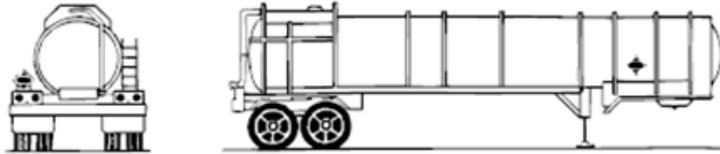
3



- ✓ 양끝 반구 형태
- ✓ LPG, 고압가스
- 영구적 표기

➤ 고압 액화가스 탱크로리 : 액화가스 운반(프로판 등), 100psi 이상 압력 지침번호 117

4

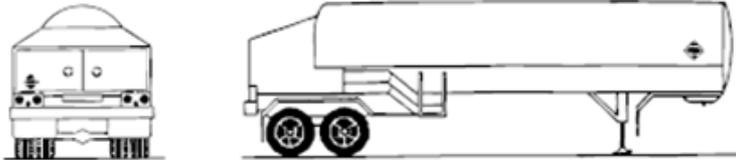


✓ 폭이 작은 원형

지침번호 137

➤ 부식성 액체화물 탱크로리 : 부식성이 강한 액체 운반

5



✓ 냉장기계장치 설치

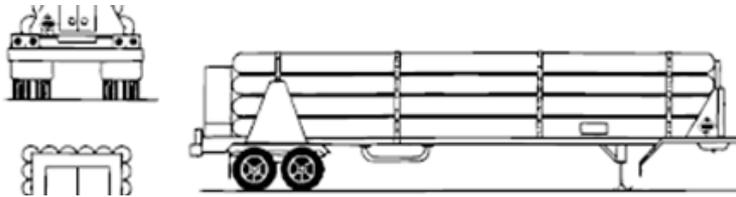
✓ 큰 원형 구조

✓ 단열 · 이중 외판

지침번호 117

➤ 저온 액체화물 탱크로리 : 냉장 액화가스 운반(액화질소, 이산화탄소 등)

6



✓ 튜브를 쌓은 형태

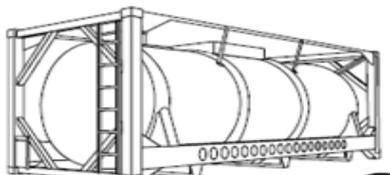
✓ 후미 집합관 설치

✓ 기체상태로 운반

지침번호 117

➤ 압축가스 튜브 탱크로리 : 고압의 압축가스 운반(수소, 아르곤 등)

7



➤ 인터모달(Intermodal) 탱크로리

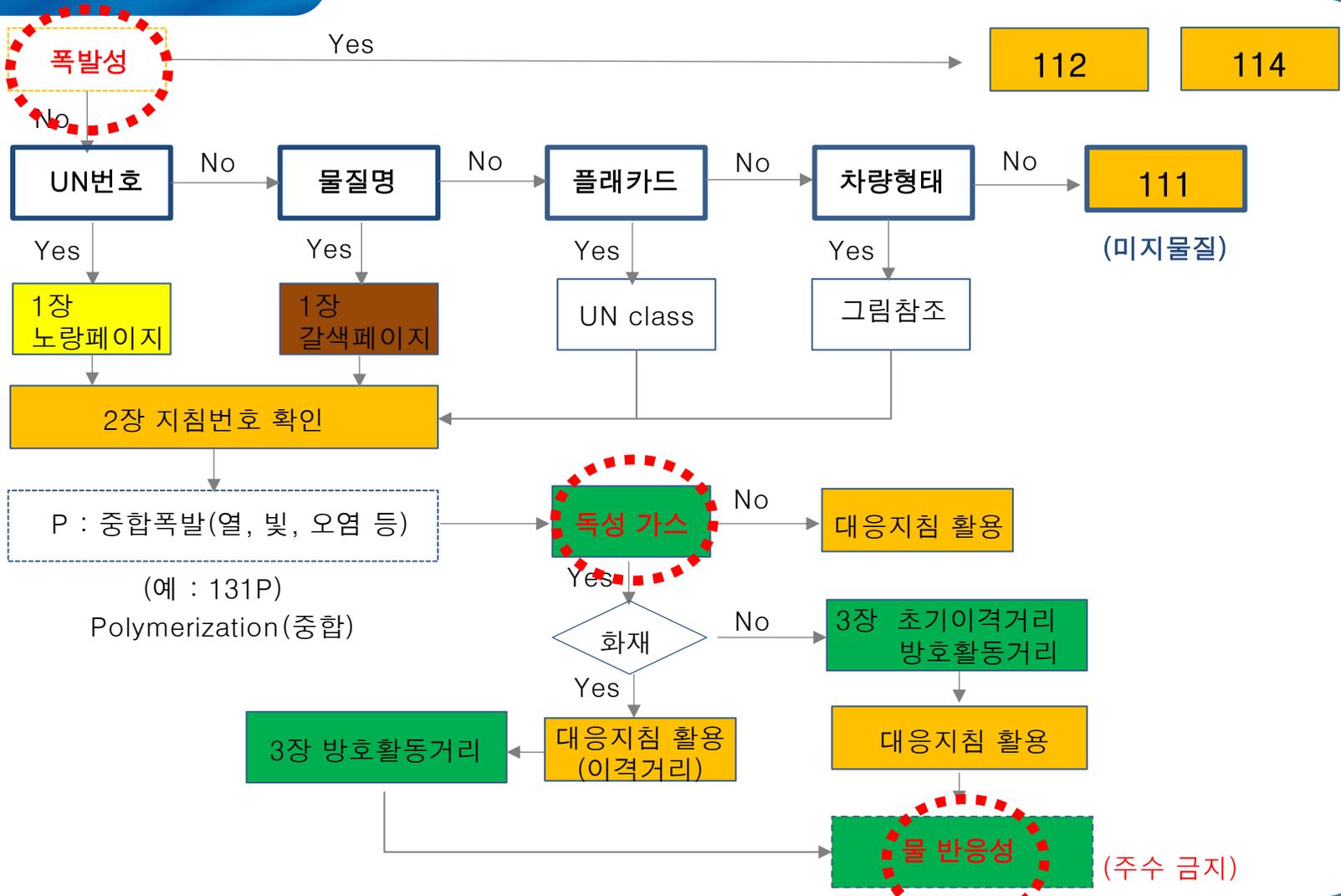
선박, 철도 등 多수단 연계 운반용 탱크,

대량의 불산 등 운반

지침번호 117

위험성 파악 순서

Flowchart



1. 화재·폭발(Fire and Explosion)

폭발범위

명칭	폭발 한계(vol %)		명칭	폭발 한계(vol %)	
	하한	상한		하한	상한
수소	4	75	벤젠	1.4	7.1
이황화탄소	1.25	50	톨루엔	1.3	6.7
황화수소	4.3	45	자일렌	1.0	6.0
시안화수소	5.6	40	사이클로헥산	1.3	7.8
암모니아	15	28	산화에틸렌	3.0	80
일산화탄소	12.5	74.5	에틸에테르	1.85	36.5
메탄	5	15	아세트알데히드	3.97	57
에탄	3	12.5	아세톤	2.6	12.8
프로판	2.1	9.5	메탄올	6.7	36.5
부탄	1.8	8.4	에탄올	3.3	19
아세틸렌	2.5	81	아세트산	5.4	-
에틸렌	2.75	28	트리메틸아민	2	11.6
프로필렌	2	11	염화비닐	4	21.7

복합가스측정기

간이탐지장비

경고램프

- 측정원리 : 접촉연소식, 전기화학식, 촉매산화식



측정가스	측정범위	1차 경보	2차 경보
산 소	0~30%vol	23.5%Vol	19.5%Vol
가연성가스	0~100%LEL	10%LEL	20%LEL
일산화탄소	0~999ppm	35ppm	100ppm
황화수소	0~250ppm	10ppm	15ppm

2. 독성(Toxicology)

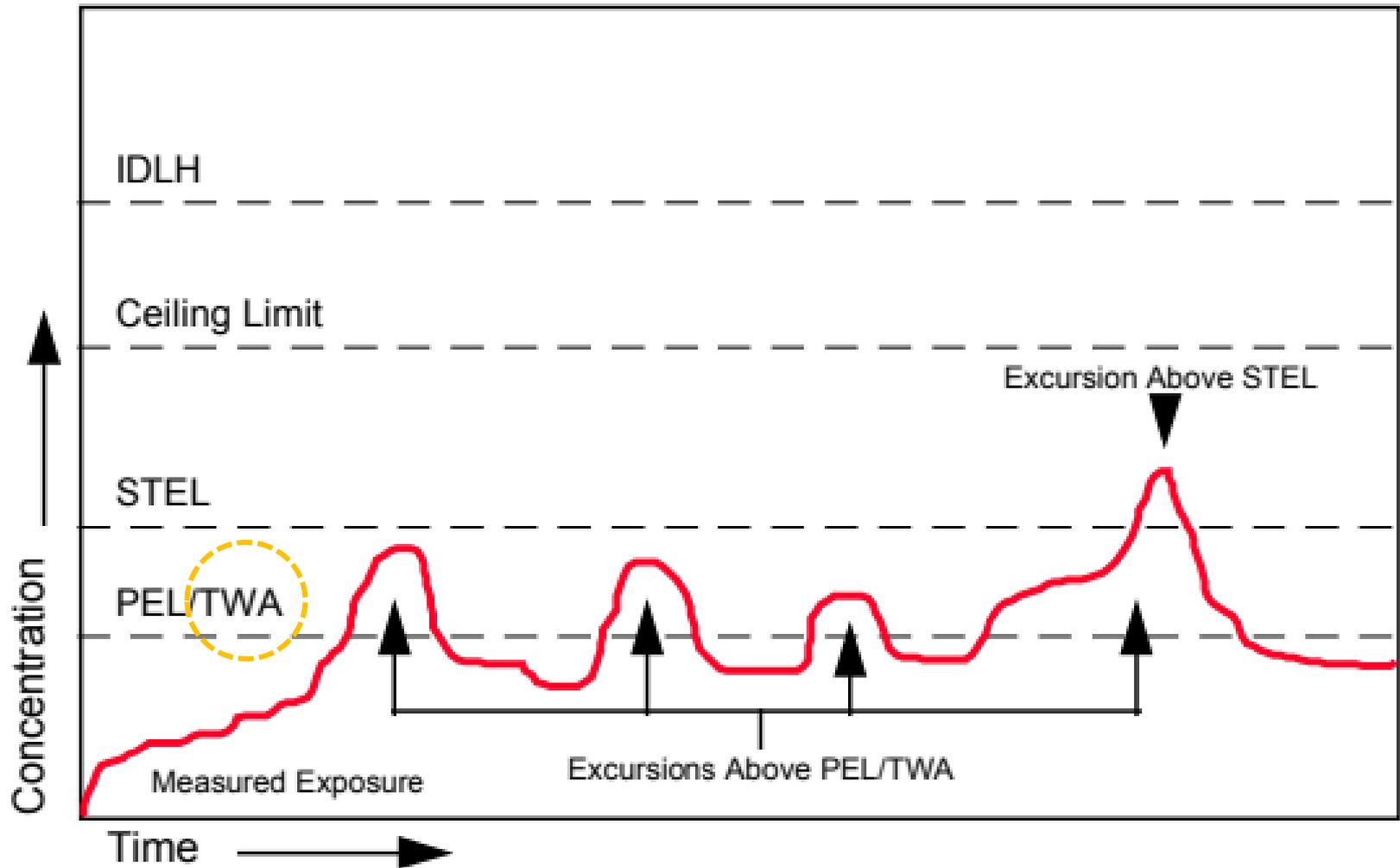
기준농도

화학물질	TLV-TWA*	STEL	TLV-C	IDLH
황화수소 (H ₂ S)	10ppm	15ppm	50ppm	100ppm
염화수소 (HCl)	1ppm	2ppm	5ppm	50ppm
암모니아 (NH ₃)	25ppm	35ppm	35ppm	300ppm
포스겐 (COCl ₂)	0.1ppm	-	0.2ppm	2ppm
불화수소 (HF)	0.5ppm	6ppm	3ppm	30ppm

* TWA(Time Weighted Average) 작업장 허용농도

1일 8시간 동안, 1주일 40시간 반복적으로 노출되어도 근로자가 건강상 악영향을 받지 않는 최대 허용 물질농도

작업장 허용농도



노출 경로(Route of Exposure)

구분

1. 흡입(Inhalation)

- 독성가스(흡) 흡입, 호흡기(기도, 폐) 손상, 중추신경마비 ex. NH_3 , HF

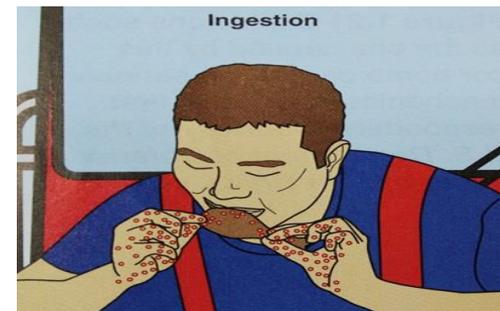
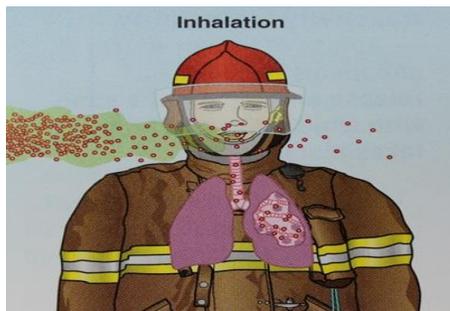
2. 접촉(Skin Contact)

- 피부접촉(손, 발, 얼굴, 눈 등), 화학화상, 실명 ex. 황산, 염산, 불산

3. 섭취(Ingestion)

- 오염된 음식 섭취, 소화기(입, 식도, 위 등) 손상, 인위적 vomit 금지

4. 침투(Injection) : 피부손상(손, 무릎 등)



3. 물 반응성(Reaction with water)

금수성 · 기타

알칼리금속(3류)

리튬(Li), 나트륨(Na), 칼륨(K)

알칼리토금속(3류)

마그네슘(Mg), 칼슘(Ca)

금속수소화물(3류)

LiH, NaH, LiAlH₄, NaBH₄

무기과산화물(1류)

K₂O₂, Na₂O₂

금속의 탄화물(3류)

CaC₂, Al₄C₃

금속의 인화물(3류)

Ca₃P₂, AlP

황화린(2류)

P₂S₅

기타

황산, 가성소다 등



금속화재 특징

1) 화재초기

- 마그네슘: 강렬한 빛 발생
- 리튬 : 다량의 짙은 연기
- 티타늄, 지르코늄 : 아주 적은 연기 발생

2) 일반 소화기 진압 불가

3) D금 화재는 물과 반응 수소 발생(폭발)

4) 건조사 또는 연소확대 방지



MSDS 앱을 활용한 물질확인



HOME

산업생태계영양
안전보건공단
화학물질정보

BACK

검색

물질명	질산		
CAS No.	KE No.	UN No.	EU No.
7697-37-2	KE-25911	2031	

1. 화학제품과 회사에 관한 정보 ▼
2. 유해성·위험성 ▼
3. 구성성분의 명칭 및 함유량 ▼
4. 응급조치요령 ▼
5. 폭발·화재시 대처방법 ▼
6. 누출사고시 대처방법 ▼
7. 취급 및 저장방법 ▼

워크숍

물질식별

- 1) 물질명 : 시안화나트륨
- 2) UN번호 : 1689
- 3) 관련법령 : 후산업안전보건법,
폐기물관리법
- 4) 위험성
 - 폭발범위 :
 - 독성(TWA) : 3mg/m³
 - 분해온도 : 300°C
 - 기타 :



워크숍

물질식별

1) 물질명 : 개미산(포름산)

2) CAS번호 : 117-79

3) 관련법규 : 산업안전보건법, 화학법, 위험물(제2석유류)

4) 위험성

- 폭발 위험 : 51%
- 독성(TWA) : 5ppm
- 인화점 : 46.5°C
- 기타 : 발화점 : 520°C



대응계획 수립



충남 금산 ○테크놀로지 불산 누출 (2016.6.4)



충남 금산 ○테크놀로지 불산 누출 (2016.6.4)



화학사고 대응 원칙(Principles)

The principles of Hazmat Response

3 원칙

(1) 현장대원 안전 확보

- 초기이격거리 유지
- 화학보호복(레벨A) 착용
- 물질 위험성 파악

(2) 2차피해 발생방지

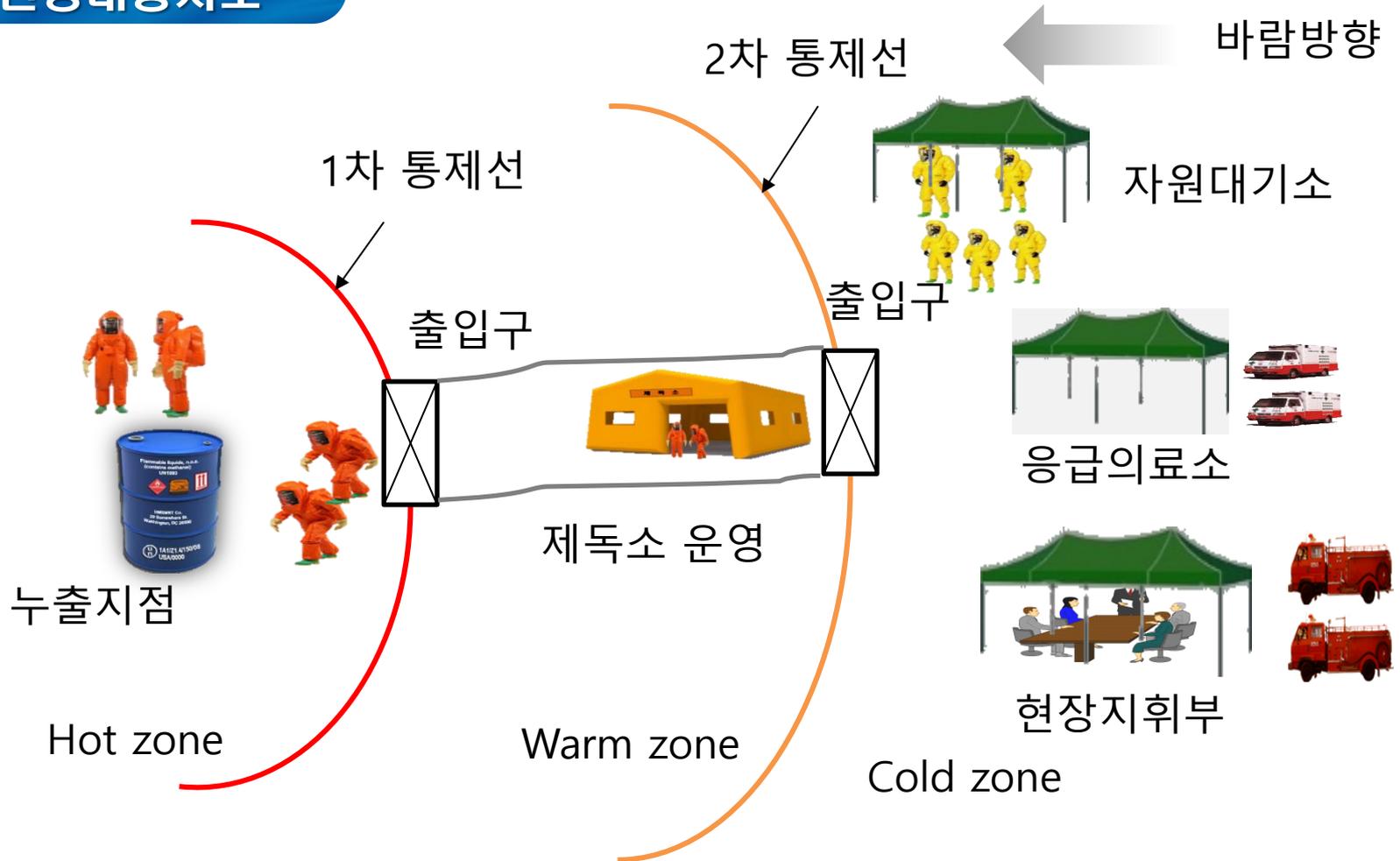
- 물과 반응성 ex. CaC_2
- 대응순서 준수
- 제독철저(대원, 환자)

(3) 피해 최소화 방법

- 중화제(소석회 → 중탄산나트륨)
- 유해가스 제독(이동식스크러버)

통제구역 설치(Site Management)

현장대응지도



화학보호복 착용기준

LEVEL A

- 위험구역(Hot zone) 착용
- 가장 높은 수준 피부, 눈, 호흡기 보호요구
- 캡슐형 보호의 / 양압식 공기호흡기



LEVEL B

- 위험구역(Hot zone) 착용
- 가장 높은 수준 호흡기 보호/ 양압식 공기호흡기 외부 노출
- 액체 튀 보호의 / 극도의 위험물질 접촉하는 일이 없는 경우



LEVEL C

- 낮은 수준의 호흡기 보호 / 경계구역(Warm zone) 착용
- 화학물질의 피부흡수 위험이 없는 경우
- 공기 정화식 호흡보호구



LEVEL D

- 지원구역(COLD ZONE) 사용
- 일반적인 작업복 수준
- 피부 보호수준 X



초기대응요령(선착대)

1. 접근(바람이 부는 경우 : 풍상 → 풍하)

2. 현장보존

☞ Fire line 설치, 격리, 출입통제, 대피유도

3. 물질식별

☞ 사고물질 확인(용기표지, 플래카드, MSDS, 현장 관계자 확인등)

4. 상황평가

☞ 사고유형(화재, 누출, 폭발), 구조가 필요한 사람 유무, 누출량, 기상조건

5. 지원요청

☞ 대응장비 요청(화학흡착포, 건조사, 중화제, 폐기물수거차량 등)

6. 대 응

☞ 화학보호복 착용(구조대와 협업) 착용, 누출확산 방지에 주력, 긴급제독소 설치 운영 등

1 출동대별 대응 (상황실)

상황실



- 출동지령, 물질정보 입수 및 유관기관 통보
 - ☞ 화학물질안전원, 한강유역환경청, 시흥화학재난합동방재센터 등
- 상황실 인원 보강(예방팀, 민원팀 등 추가인력 신속 보강)
 - ☞ CARIS작동, MSDS확인, 인허가관계, 보고서작성, 전화응대
- 경찰 현장(도로) 통제 조치, 유관기관 지원물자 등 요청
 - ☞ 도로 차단·우회조치, 소방미보유물자(화학흡착포 등) 요청
- 특수구조대 출동 요청, 소방헬기 착륙지점 파악, 전파
- 헬기 착륙지점 펌프차, 구급차 준비 조치(인원, 장비 이송)

- 신고자가 어떻게 누출물질을 식별했는지?
- 구조 필요 인원, 위치, 상태 확인
- 증기(흠, Fume) 발생 유무, 화재 여부, 용기 파손 여부
- 용기의 크기, 누출량, 누출속도, 누출물의 유동 유무, 사고지점 풍향·풍속



2 출동대별 대응 (선착대)

선착대



- 풍상 / 고지대 / 누출물 흐름의 상류 측에 부서
 - ☞ 누출물질, 증기, 흠(Fume), 연기 등으로 부터 안전한 곳
- 운전자 및 관계자 확보(물질명, 운송장 등 확인)
 - ☞ 관계자가 운반물질에 가장 전문가 일 수 있음을 상기
- 누출물질 식별(MSDS, ERG북 등), 위험성 및 대응방법 확인
 - ☞ ERG북은 물질별 대응자료가 아닌, 그룹별 대응자료임을 명심
- 초기 주민대피(초기 이격거리 및 방호활동구역 설정)
 - ☞ 현장통제선(Fire line) 설치, 확성기 등 활용

누출물질 확인

- ❖ 운전자(관계자)가 있을 때
 - : 운반계획서(물질명, 수량) 확인 → ERG 지침번호의 위험성 및 대응방법 준수
- ❖ 운전자(관계자)가 없을 때 (다음의 순서로 물질정보 확인)
 - : 1) UN번호, CAS번호, 물질명을 확인, 2) 플래카드(그림문자)를 통한 물질그룹 확인
 - 3) 차량모양을 통한 물질그룹 확인 → ERG 지침번호의 위험성 및 대응방법 준수

3

출동대별 대응 (현장지휘)

현장지휘



- 외부 누출여부 파악 / 주민대피 필요성 판단
- [주민대피구역 설정 (CARIS) / 주민대피]
 - ☞ 지자체협조/민방위경보시스템재난문자발송
- 임무편성/ 유관기관 소집 협업/ 전문가 자문

구조대



- 화학보호복 착용(레벨 A)
- 인명검색 / 인명구조
- 누출물질 농도측정
- 누출확대방지/ 밸브 잠금

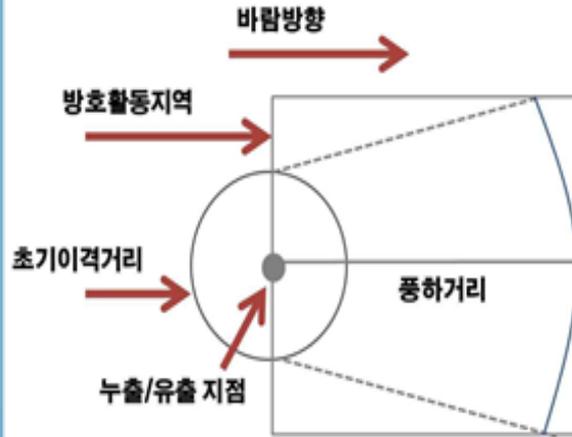
특수대응단



- 누출물질 수거
- 누출차단장비 설치 (슬리브, 쇄기, 누출방지백 등)
- 정밀제독소 운영
- 중화 / 지역제독
- 잔류농도 분석

비상대응 핸드북(ERG) → ERG2020 App. 활용

주민대피



- 초기 이격거리
유출/ 누출지점 사방으로 격리시켜야 하는 거리
- 방호활동거리
유출/누출지점으로부터 보호조치 수행하는 풍하거리

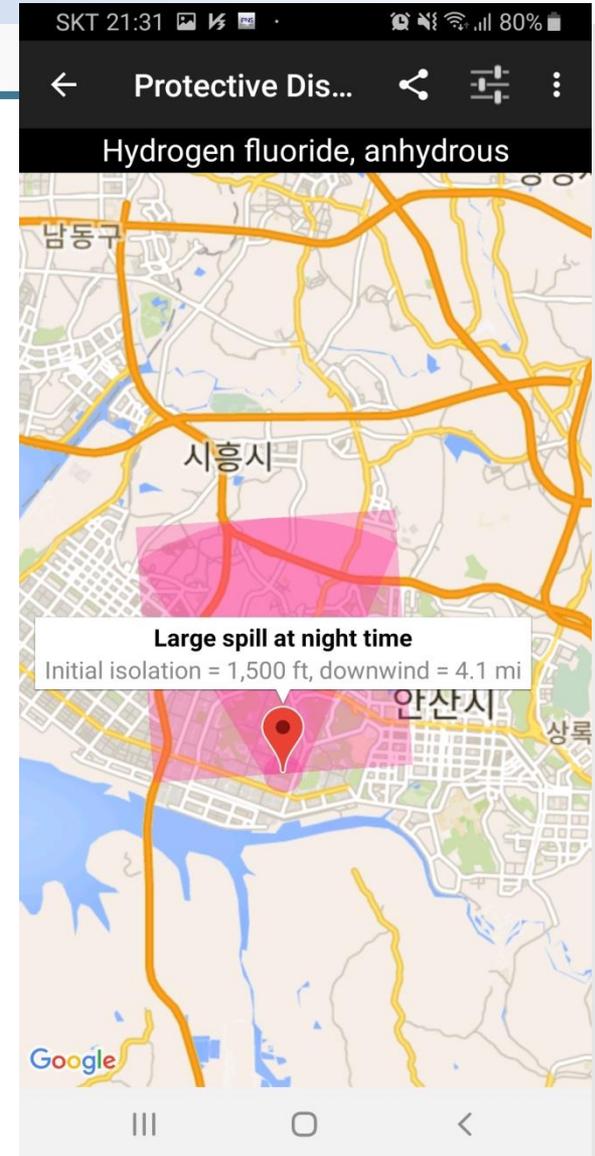


워크숍



초기대응

일 시 : 2021.9.15. 오후 22시
장 소 : 안산시 원시공원 근처
풍향 (풍속) : 남풍(1.5m/s)
UN 번호 : 1052
누출량 : 2톤



대응순서

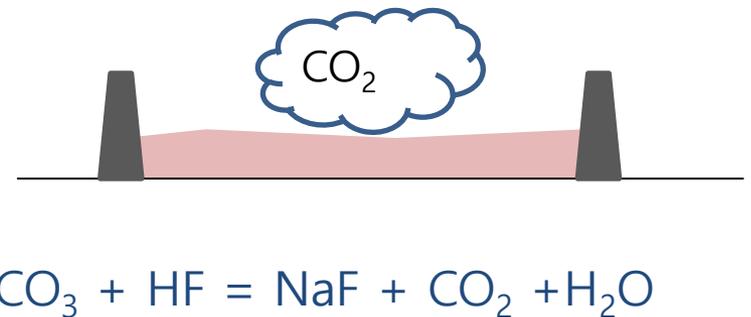
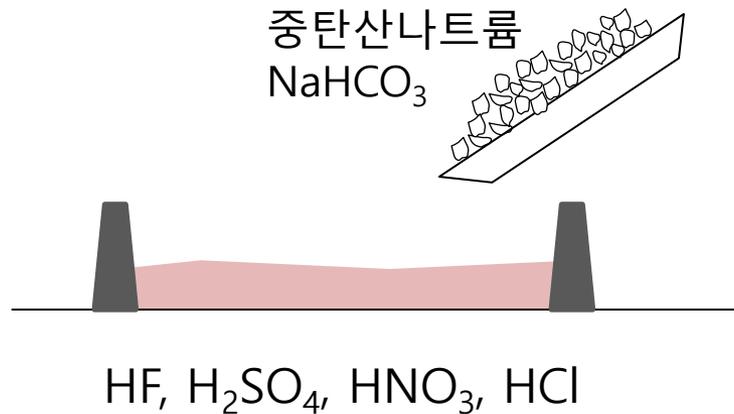
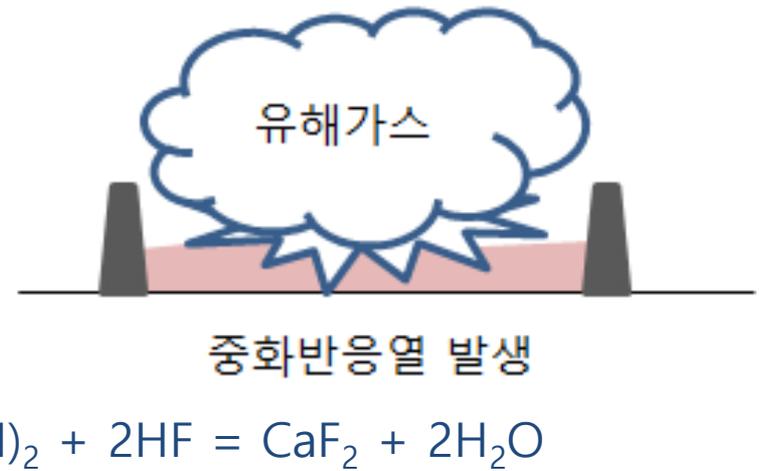
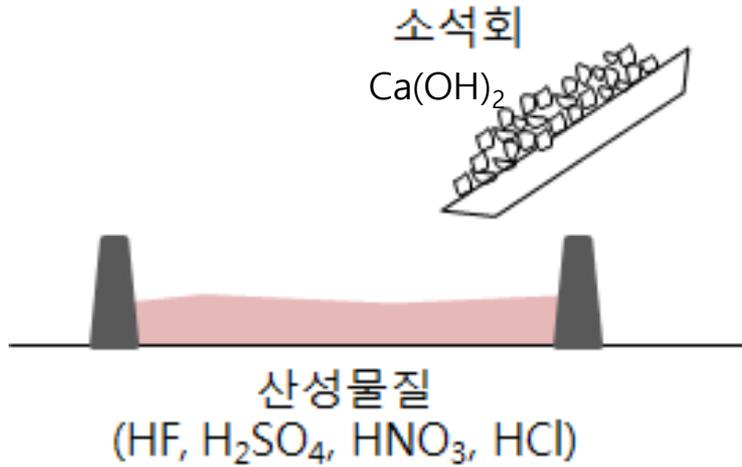


중화제 현장적응성 연구



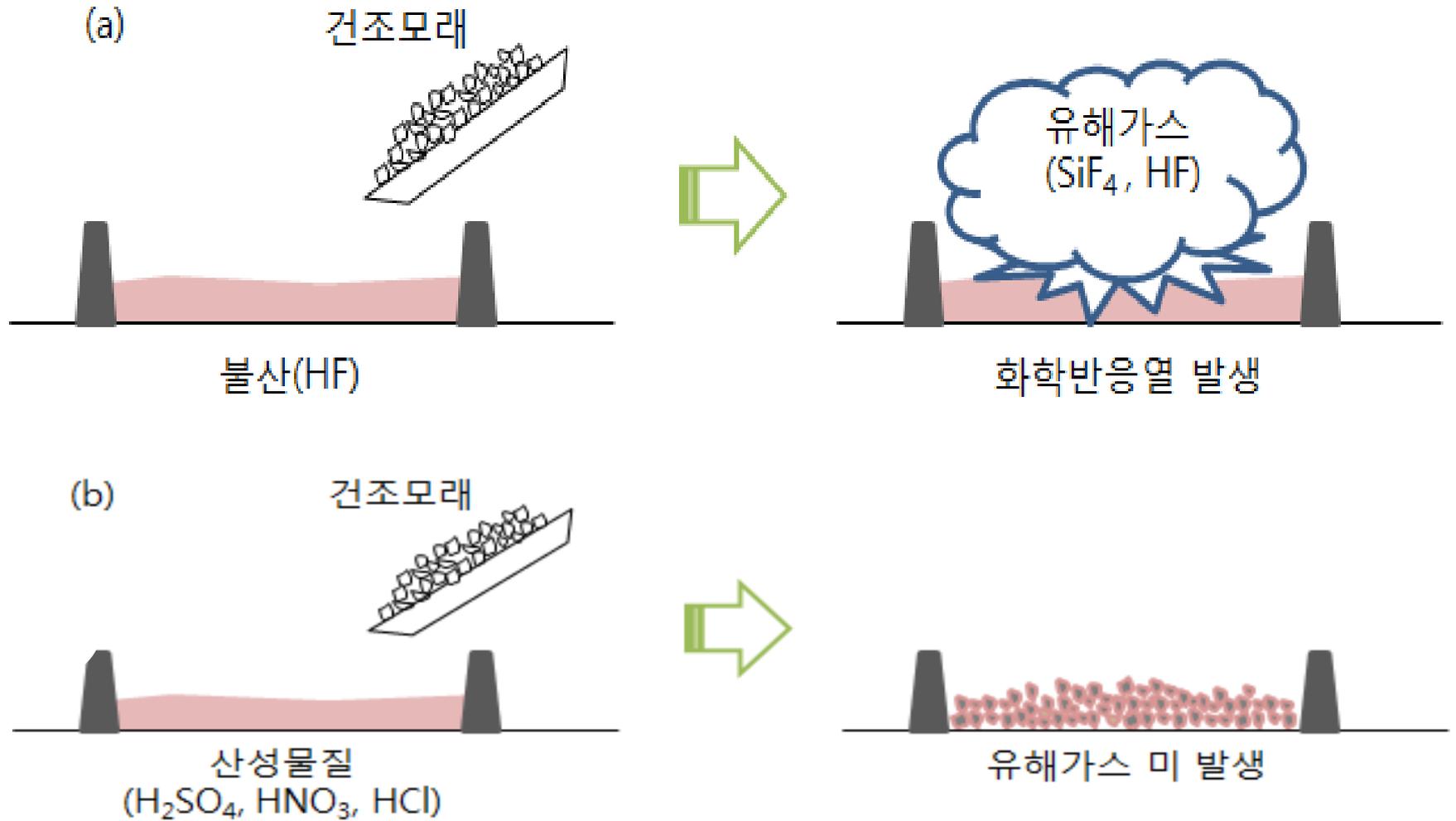
연구결과

중화



연구결과

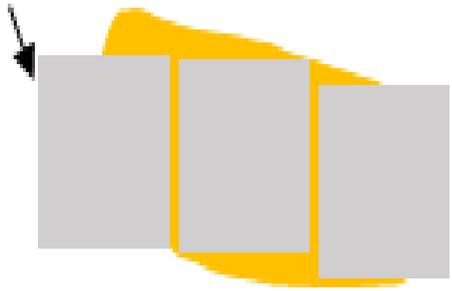
흡착



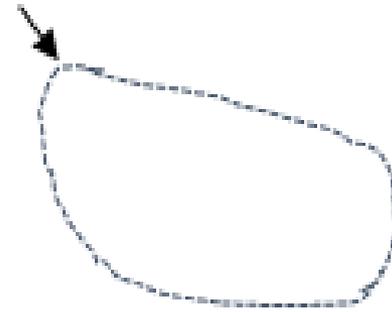
대응방법

소량

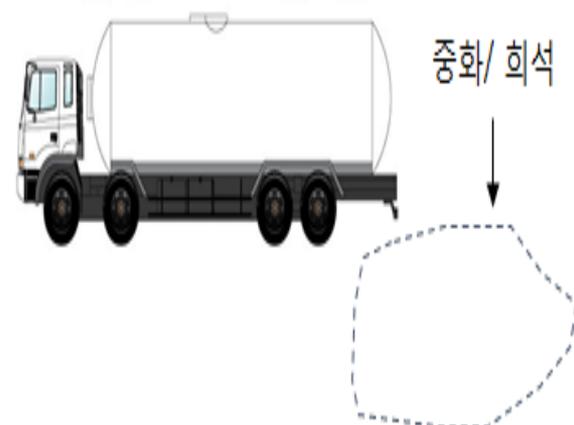
화학흡착포



중화/희석

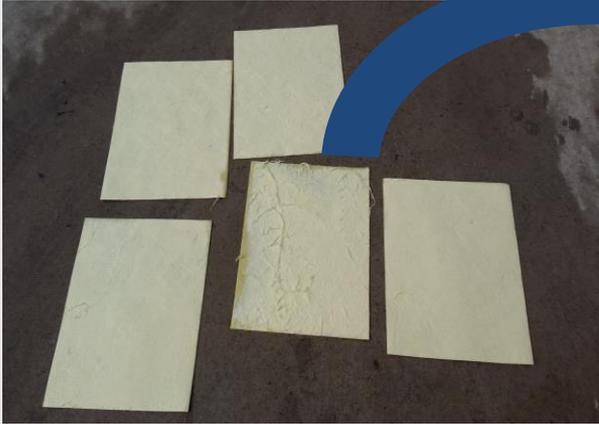


대량



화학흡착포 사용

대상물질 : 불산, 황산, 질산, 염산, 암모니아수 등



화학흡착포



폐기물회수봉투(통)



오일흡착포

대응 순서(Procedure)

대응순서

확산방지



누출차단



누출물 회수



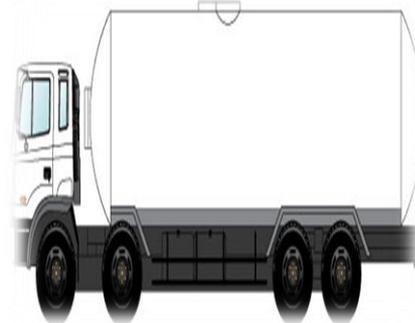
지역제독



분무주수
방지댐 설치



밸브차단
누출방지장비 설치



폐기물수거업체(대)
화학흡착포(소규모)



중화/ 희석
이동식 스크러버

안전사고 사례

오염물질 접촉

○ 사례 : 안산(2019. 4. 14.) , 도금공장 화재, 진압대원 발등 일부 괴사 및 2도화상



독성가스 대응장비

독성가스 누출



이동식 스크리버(Portable scrubber)

- 활용목적 : 불화수소 등 유해가스 누출시 포집·제독 장비
- 제독원리 : 유해가스 흡입 → 독성물질 흡착 → 정화공기 배출
- 크기/ 무게 : 620 X 620 X 1,500mm / 250kg



산성 (13종)

HF(불화수소), HCl(염화수소), HNO₃(질산), H₂SO₄(황산), F₂(불소)
SiCl₄(사염화규소), COCl₂(포스젠), Cl₂(염소), BCl₃(삼염화붕소)
BF₃(삼불화붕소), HBr(브로민화수소), SO₂(이산화황), Br₂(브로민)

유기독성 (4종)

HCN(시안화수소), HCHO(포름알데히드), HCOOH(포름산), CH₃COOH(아세트산)



유해화학물질 탐지

Detection of Hazard Materials



가스채취기 검지관

간이탐지장비



펌프

검지관

가스검지관 구성



여러종류의 검지관
(불화수소, 암모니아, 질산, 염화수소 등)



누출탐지



① 컷팅



② 장착



③ 샘플링



④ 인디게이터 확인



⑤ 농도(ppm) 확인



⑥ 90도 회전 복구

실행 결과 평가

Evaluation of the Response



대원 제독 철저

2차오염 방지



(1차) 긴급제독



복귀 중(밀폐)



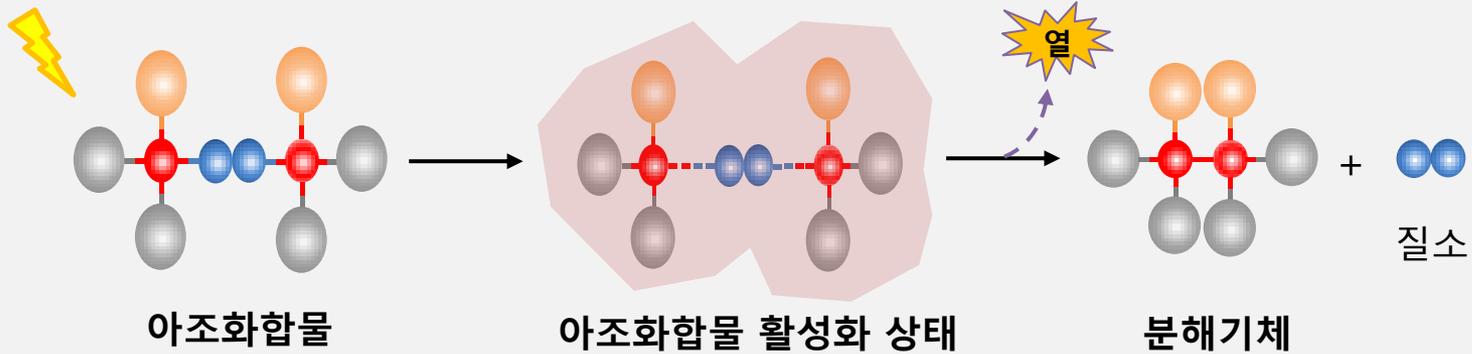
(2차) 정밀제독

안성 00물류 폭발사고 (2019.8.6.)

무허가 위험물저장소 (아조화합물- 제5류 위험물, 자기반응성물질)



폭발 메커니즘 검토



자기분해
자기가열

열폭주

가연성 가스
방출

예혼합
폭발

- 조명기구
- 폭염
- 냉방기능 불량

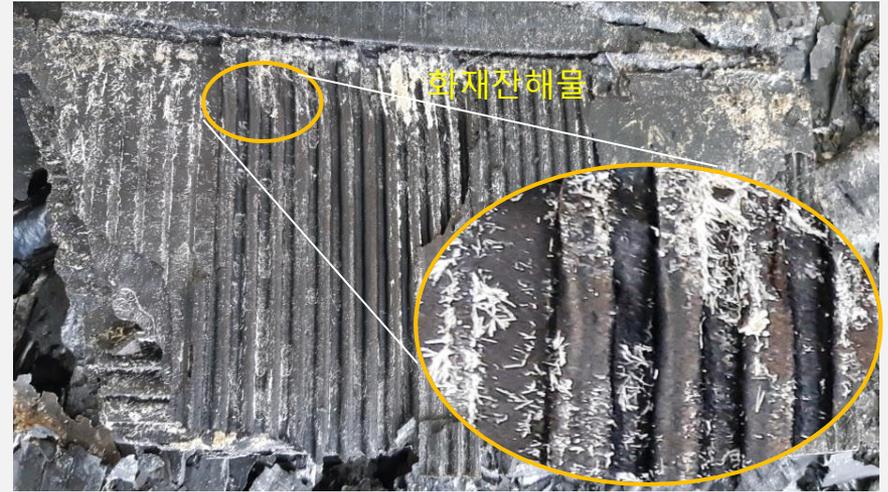
- 고온발열
- 연쇄반응
- 열 축적

- 분해기체 발생
- 밀폐공간 축적
- 질소 발생

- 공기유입
- 폭발범위 형성
- 점화(분해열)

→ 아조화합물 분해·폭발 메커니즘은 케미컬 백드래프트!

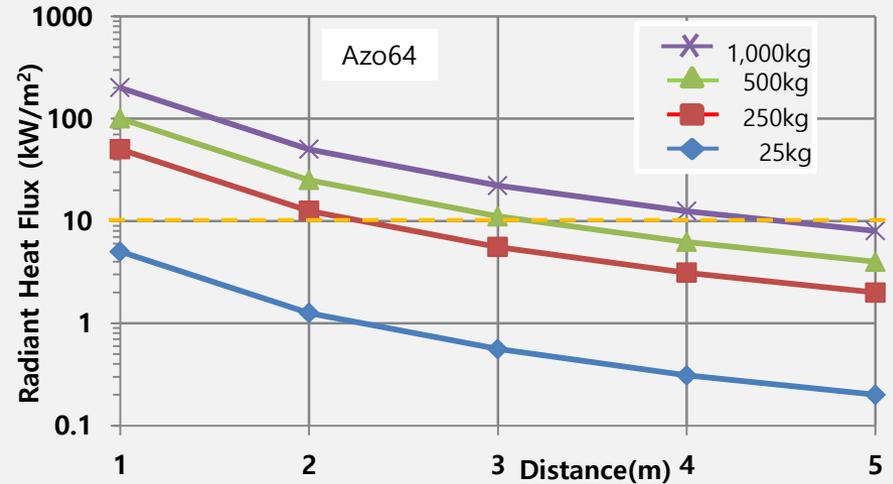
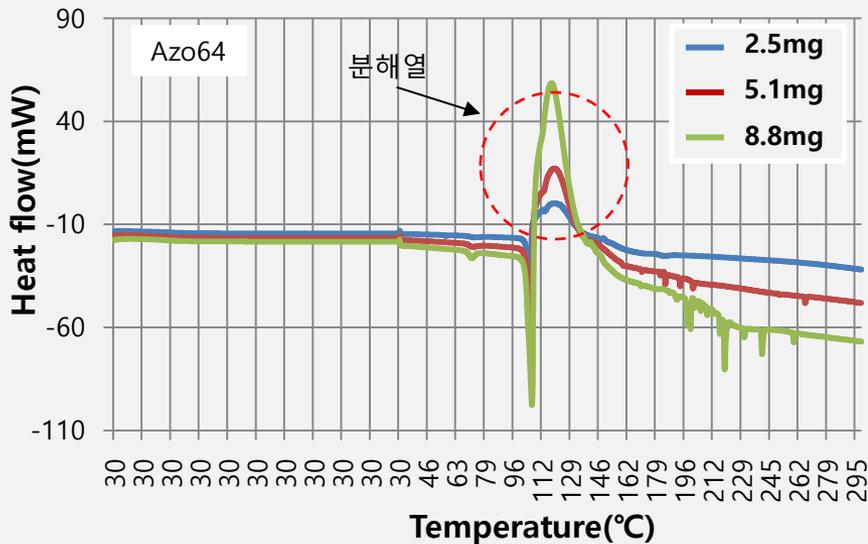
실험결과



Sample	Detection temp. range(°C)	5 largest ion peak	Reference species
Fire debris	50-160	68, 111, 110, 69, 95	$C_7H_{14}N$
Azo52	45-160	68, 111, 110, 69, 67	$C_7H_{14}N$
Azo64	50-135	69, 68, 54, 52, 67	$C_8H_{12}N_4$
Azo67	50-130	68, 83, 107, 82, 55	$C_7H_{10}N_2$
Az068w	55-560	55, 79, 68, 54, 52	-

→ 아조화합물 폭발 현장에서 수거한 증거물은 Azo52와 유사함!

실험결과



복사에너지 전달 관계식

$$q'' = \frac{XQ}{4\pi R^2}$$

q'' (kW/m²) : 가연물 표면에 전달된 복사열유속

X: 복사에너지 분율(0.15-0.6)

Q(kW) : 최대열방출속도

R(m) : 열원에서 가연물까지 거리

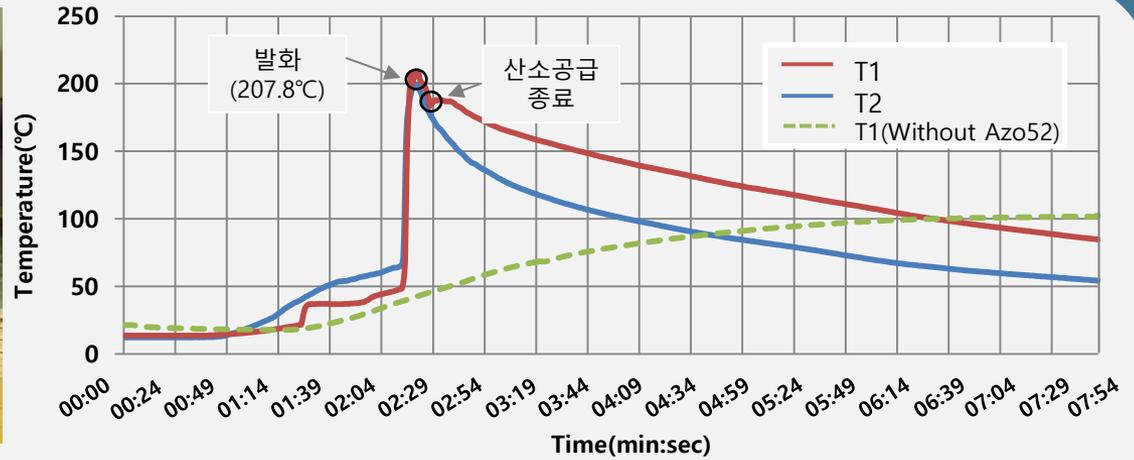
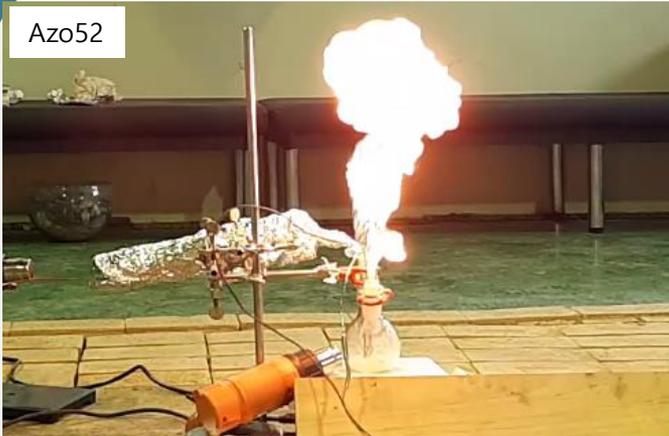
점화 열유속

10~20kW/m²

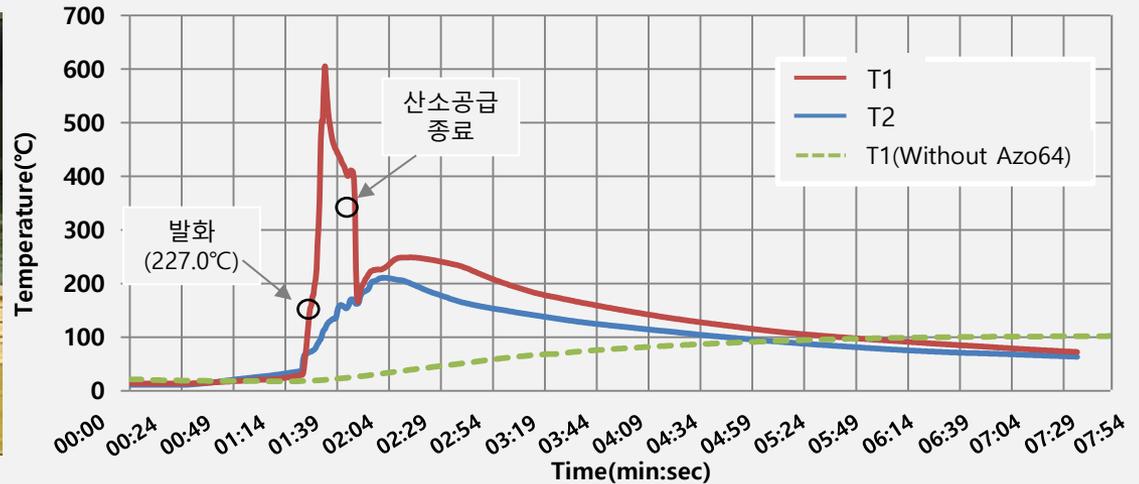
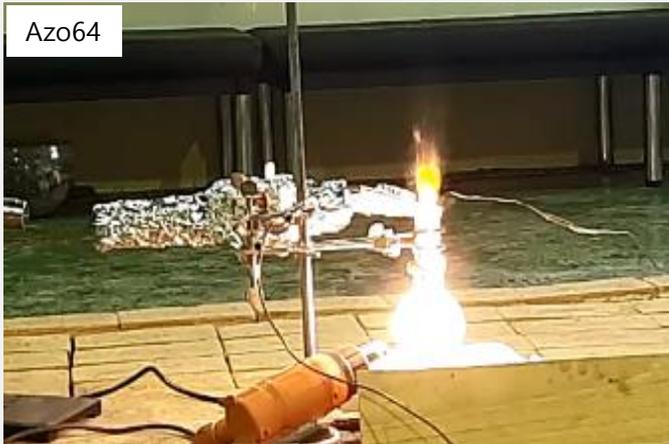
→ 아조화합물 분해열은 주변 가연물을 점화할 수 있는 충분한 복사에너지를 가지고 있음!

실험결과

Azo52



Azo64



→ 분해반응시 주위에 산소가 충분히 존재할 경우 분해열에 의해 자연발화가 일어남!

맺음말

1

무허가 사업장



- 제도권 안으로 유도
- 유통관리시스템 구축
(수입-저장-사용-폐기)

2

감식·감정 기법



- 증거물 수거 및 감정의뢰
- 초기 분해촉진 인자 확인

3

초기대응 방안 공유

인공성 제5류 위험물 재현실영능
...의 분해·폭발 위험성 및 초기...

새로운 경기
공정한 세상



위험물
식별

내부 냉각
(스프링클러)

지붕파괴·
배연

화재진압
(굴절차 등)

