

화재폭발 종류와 특성



DDBOM E&C
주식회사 **돋봄이앤씨**

목 차

I. 화재 종류 및 특성

II. 폭발 종류 및 특성



제 1장. 화재 종류 및 특성

제1장: 화재 종류 및 특성_ 정의

■ 연소(화재)란 ?

- (1) 가연성물질이 산소와 반응하여 빛과 열을 발생하는 산화반응으로
연소속도에 따라 연소와 폭발로 구분
- (2) 산화반응 → 발열반응 → 발광반응
- (3) 화재: 통제되지 않은 상태에서 연소가 진행되어 인명과 재산에 피해를 주는 현상

■ 연소의 속도 및 폭발속도

(1) 연소속도

- 연소시 불꽃의 전파속도는 0.1m/s~10m/s 정도의 범위
- 메탄의 경우 0.35m/s
- 수소는 2.7m/s

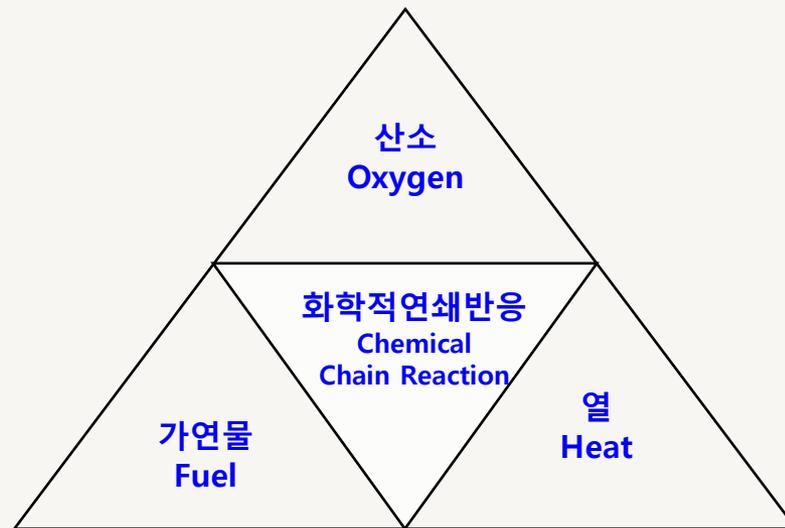
(2) 폭발속도

- 급속히 일어나는 화학반응으로 가스와 열량이 생기고 급격히 부피가 커지면서 폭연과 폭굉 발생

제1장: 화재 종류 및 특성_ 정의

■ 연소의 3요소(가연물, 산소공급원, 점화원)

- (1) 불에 탈 수있는 가연물
- (2) 공기 또는 산소 공급원
- (3) 가연물과 산소가 혼합기 형성 후 반응에 필요한 에너지 점화원
- (4) 4요소는 연소가 계속 진행 될 수 있도록 활성화에너지 추가(화학적 연쇄반응)



(연소의 4요소)

제1장: 화재 종류 및 특성_ 정의

(1) 가연물: 나무, 종이, 유류, 가스 등

가연물의 구비 조건	가연물이 될 수 없는 조건
<ul style="list-style-type: none">• 산소와 친화력이 클것• 반응열이 클것• 표면적이 클것• 열전도도가 적을 것• 활성화에너지가 적을 것	<ul style="list-style-type: none">• 흡열반응물질 ($2\text{H}_2\text{O} + \text{Heat} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$)• 불활성기체($\text{N}_2, \text{CO}_2$)• 산소와 더 이상 화학반응 및 산화 할수 없는 물질 ($\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{Fe}_2\text{O}_3$)

(2) 산소공급원

- 공기중의 산소 이용: 공기중에 약 21% 분포되어 있는 산소
- 분자 내의 산소 이용: 제 1,5류 위험물 / - 산화제(오존)

(3) 점화원

- 기계적 점화원: 마찰, 충격, 단열압축
- 열적점화원: 나화, 복사열, 고온열면
- 전기적점화원: 정전기, 전기불꽃, 과전류, 단락, 지락, 스파크

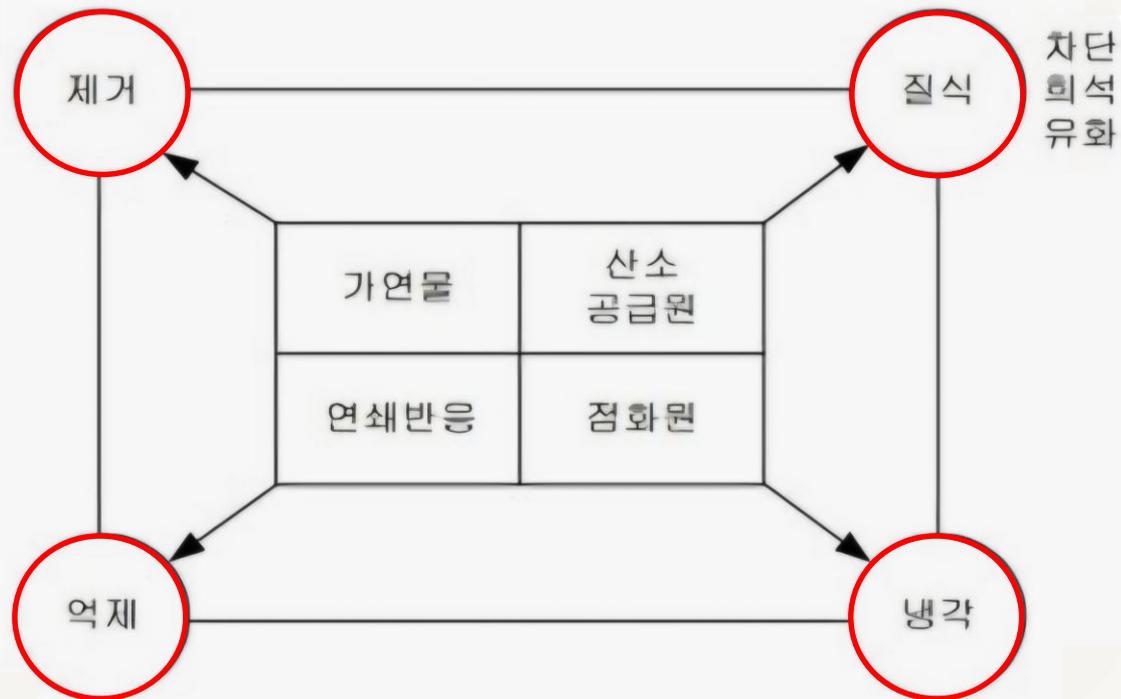
제1장: 화재 종류 및 특성_ 화재 종류

■ 화재종류

종 류	원인물질	소화방법	비고
일반화재 (A급)	나무, 종이, 섬유, 플라스틱 등 고체 가연물이 연소하는 화재	물에 의한 냉각소화 분말소화약제	타고난 후 재로 남음
유류가스화재 (B급)	휘발유, 경유, 알코올, 유기용제 등 인화성액체, 가스화재	제거소화 공기차단, 질식소화 → 포소화액제, 할로겐. CO2, 분말	공기와 일정비율 혼합 되면 재가 남지 않음
전기화재 (C급)	전기스파크, 단락, 과부하 등 전기에너지가 화재로 전이	질식소화 → CO2, 할로겐, 분말	물을 사용할 경우 감전위험
금속화재 (D급)	철분, 마그네슘, 칼륨, 나트륨, 금속가루 → 폭발동반	팽창질식. 팽창진주압, 건조사. Na-X, MET-L-X, G-1, TBM	물을 사용할 경우 폭발위험
식용유화재 (F급)	튀김용기의 식용류	분말소화약제	

제1장: 화재 종류 및 특성_ 소화방법

■ 소화방법



제1장: 화재 종류 및 특성_ 소화방법

1. 물리적소화

(1) 제거소화

- ① 원리: 가연물을 제거 함으로서 연소를 차단
- ② 소화방법
 - 고체: 산불화재시 발목
 - 액체:
 - 가연물 누설시: 용기 밸브 차단
 - 내용물 긴급이송설비: 화재 펌프 배관 예비저장 탱크 이송(Tank 찌그러짐 주의)
- ③ 기체: 환기, 통풍
- ④ 전기: 전원차단(누전차단기, 과전류 차단기)

제1장: 화재 종류 및 특성_ 소화방법

1. 물리적소화

(2) 냉각소화(점화원관리)

- ① 원리: 열 균형 파괴로 (발열 < 방열) 인화점 이하로 유지하여 소화
- ② 소화방법: 주수소화(물의 비열과 증발잠열 ↑ → 온도 저하)

(3) 질식소화(산소공급원 관리)

- ① 원리: 산소농도 15%이하 유지로 소화
- ② 소화방법
 - 희석질식
불활성가스공급(N_2, CO_2 , 수증기) → 산소농도 15%이하 유지로 → 소화
 - 피복소화(포, 물분무)
포소화약제 방사 유면을 덮음 → 공기차단 / 물분부에 의한 유화층형성 → 공기 차단

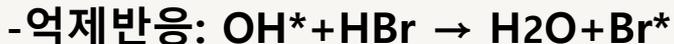
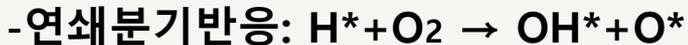
제1장: 화재 종류 및 특성_ 소화방법

2. 화학적소화

(4) 억제소화(연쇄반응관리)

① 원리: 활성라디칼(H^* , OH^*)을 라디칼 포착제 이용 전파, 분기 반응을 억제 또는 제거하는 소화 방법

② 연쇄반응억제 메커니즘



③ 종류

- 할로겐화합물: Cl^- , Br^- (라디칼포착제) / 분말소화약제: K^+ , Na^+ (라디칼포착제)

→ OH^* , H^* 라디칼포착 → 활성화 에너지 상승 → 소화



제 2장. 폭발 종류 및 특성

제 2장. 폭발 종류 및 특성_ 정의

■ 폭발

- ✓ 급격한 비정상 연소의 일종으로 화학변화가 생겨 압력이 급격히 상승, 폭발을 동반한 가스의 팽창 등이 일어나는 현상

■ 공정에 따른 분류

폭발	물리적폭발	증기폭발	수증기폭발	
			과열액체증기폭발	LPG가스폭발, 보일러폭발
			극저온액화가스폭발	
		압력폭발		BLEVE, Fire-Ball
	전선/감압폭발			
	화학적폭발	산화폭발	가스폭발	UVCE
			분진폭발	고체
			분무폭발	액체
		분해/중합폭발		
		반응폭주		

제 2장. 폭발 종류 및 특성_ 정의

■ 물리적 폭발과 화학적 폭발 비교

1) 물리적 폭발

- 물리적 상변화에 의한 압력변화 폭발

- ① 증기폭발: 고온용융물(1000°C)이 액체와 접촉시 급격히 비등하면서 부피팽창에 의한 폭발
- ② 압력폭발: 고압용기가 과압과 충전으로 내부 압력이 이상 상승하여 폭발(BLEVE)
- ③ 고상간전이열에 의한 폭발: 무정형 안티몬이 결정형 안티몬으로 고상전이 하는 경우
고상간전이열에 의한 공기가 팽창되어 폭발
- ④ 전선폭발: 금속도선(AI)에 순간적으로 큰 전류가 흐를때 증기화 되어 폭발
- ⑤ 감압폭발: 감압상태의 용기 파손시 외기 유입에 의한 압력상승으로 인한 폭발

제 2장. 폭발 종류 및 특성_ 정의

■ 물리적 폭발과 화학적 폭발 비교

2) 화학적 폭발

- 화학적 변화에 의한 폭발

① **산화폭발**: 가연성물질이 산화제와 혼합되어 착화 폭발

- 가스폭발: UVCE

- 분진폭발: 가연성고체의 분진이 일정농도이상시 점화원에 의해 폭발

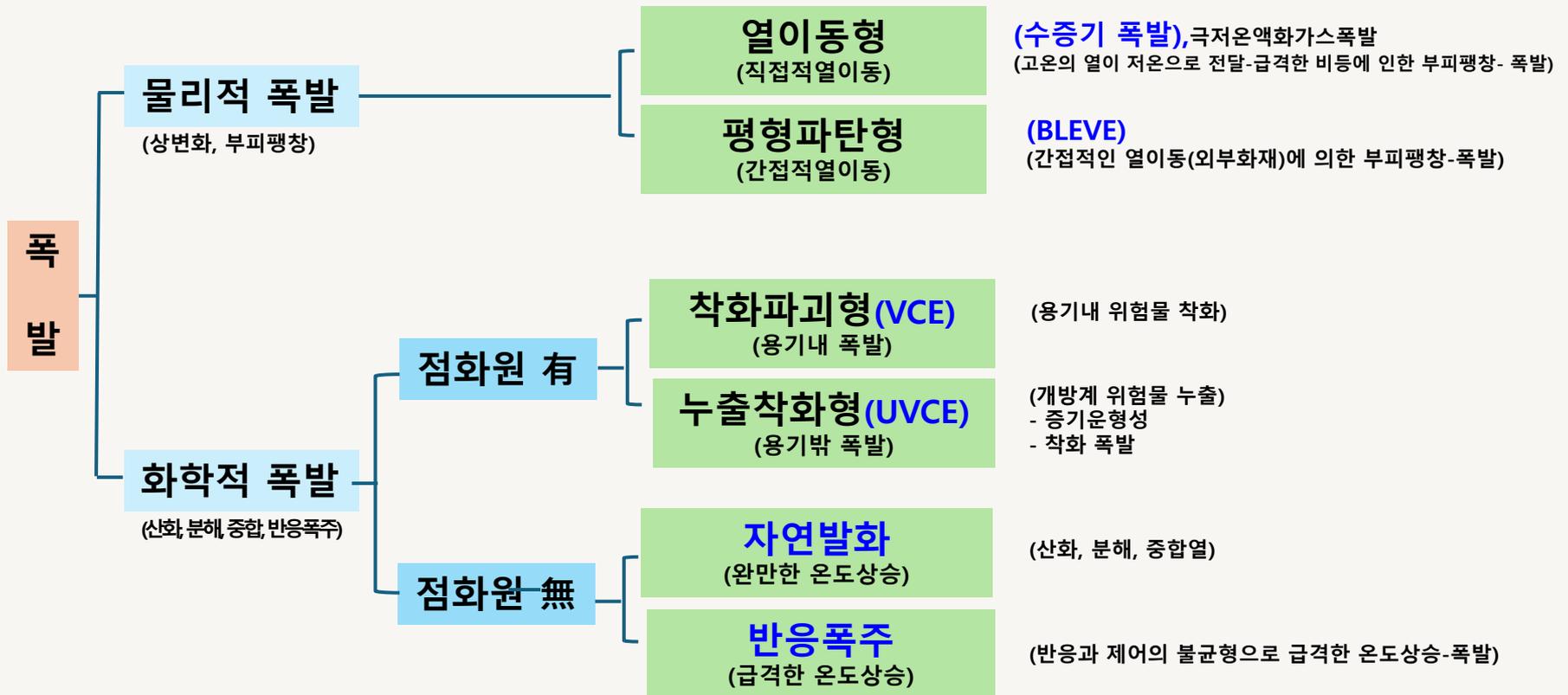
- 분무폭발: 공기중 부유된 가연성 액체의 미세한 액적(mist)에 의한 폭발

② **분해폭발**: 산화에틸렌, 아세틸렌 등이 분해하여 폭발

③ **중합폭발**: 스티렌, 염화비닐 등 모노머가 중합하여 중합열에 의한 폭발

④ **반응폭주**: 반응과 제어의 불균형으로 급격한 온도 상승에 의한 폭발

제2장: 폭발종류 및 특성_폭발재해 형태에 따른 분류



제2장: 폭발종류 및 특성_수증기폭발

■ 수증기폭발 정의 및 발생 메카니즘

(1) 정의: 고온 용융물($1,000^{\circ}\text{C} \uparrow$)이 액체와 접촉시 급격히 비등하면서
부피팽창(약 1,600배)에 의한 폭발

(2) 메카니즘



제2장: 폭발종류 및 특성_수증기폭발

■ 수증기폭발 방지대책

- ① 용광로 등 로내 물 침입방지(산안규칙 제253조)
 - 재료수분 함량 적게하고 로벽 건조상태유지
 - 화재시 주수소화 금지
- ② 고온폐기물 처리시 천천히 Spray
 - 건조한 바닥에 폐기물 버린후 저압 스프레이로 냉각 살수
- ③ 작업바닥 건조(산안규칙 제250조)
 - 바닥 건조상태 유지, 우수침입방지로 물과의 접촉금지
- ④ 주수분쇄설비의 안전설계(산안규칙 제251조)
 - 내압, 내열구조 및 물공급제어, 배수 용이하고 물이 고이지 않게 함

제2장: 폭발종류 및 특성_수증기폭발

■ 수증기폭발



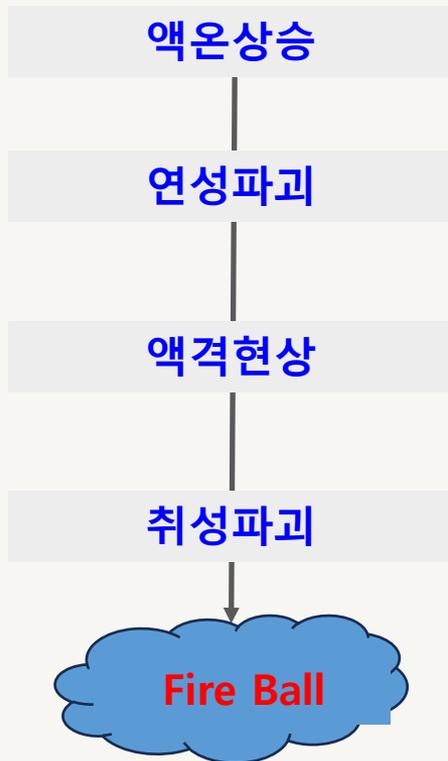
(수증기폭발 실험 동영상)

제2장: 폭발종류 및 특성_BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Expolsion)

■ BLEVE 정의 및 발생 메카니즘

(1) 정의: 비등액체 팽창증기폭발은 물리적폭발로 상변화에 의한 부피팽창에 의한 폭발

(2) 메카니즘

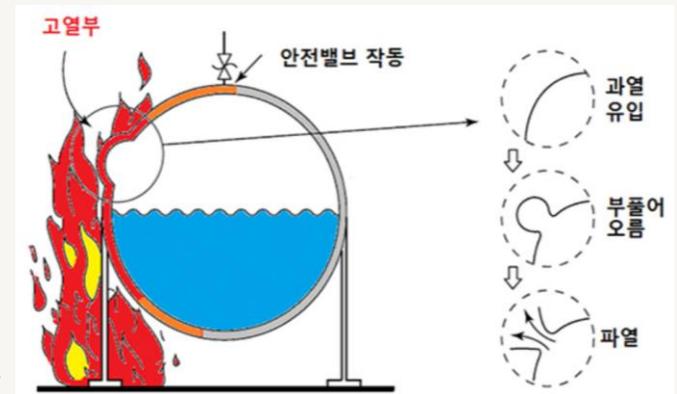


탱크 주위 화재발생 (복사열)
→ 액화가스온도 ↑

기상부 급격한 과열로 내부 압력 ↑
→ 탱크강도저하로 균열→ 증기방출로 내부압력 ↓

내부압력 ↓ → 과열액화가스온도가 비점까지 상승 → 급격한 증발
→ 탱크내벽에 강한 충격

액격현상에 의한 탱크 파괴



제2장: 폭발종류 및 특성_BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Expolsion)

■ BLEVE 방지대책

(1) 설비적대책

- ① 고정식 살수설비 설치: 물분무, 수막설비
- ② 입열방지: 단열재 사용, Tank 지하 설치
- ③ 용기 내압강도 유지: 부식여유 두께, 내화 도료
- ④ 폭발방지장치: 열전도가 큰 알루미늄 합금 박판설치
- ⑤ 감압설비: 압력방출장치
- ⑥ 가스감지기 및 내용물 긴급이송설비 등

(2) 관리적대책

- ① 비상대응계획 수립
- ② 비상훈련 및 교육
- ③ 정성적, 정량적 위험성평가

제2장: 폭발종류 및 특성_BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Expolsion)

■ BLEVE 실험장면



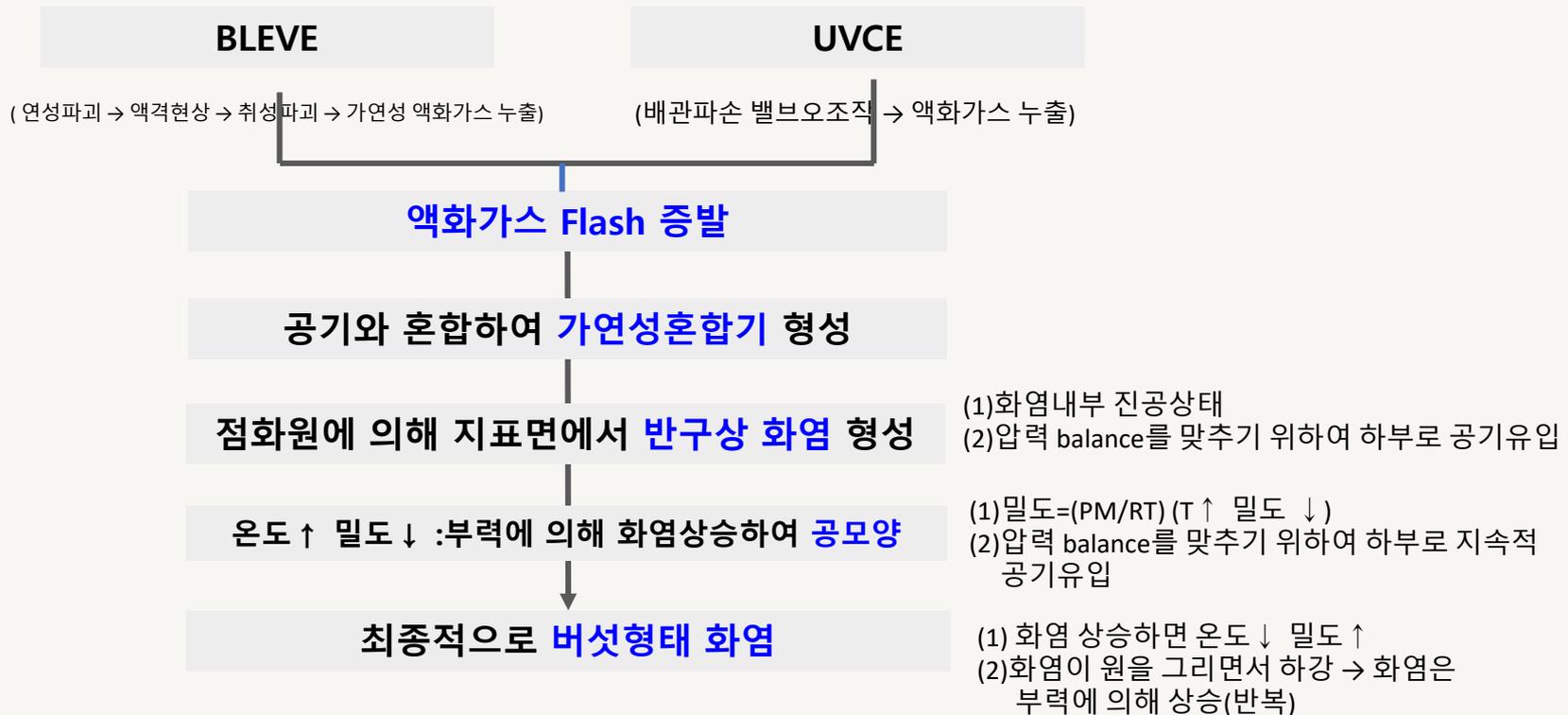
(비등액체 팽창증기폭발 실험장면)

제2장: 폭발종류 및 특성_ Fire Ball

■ Fire Ball 정의 및 발생 메카니즘

(1) 정의: 가연성혼합물이 대량 분출하여 점화원에 의해 착화되어 거대한 화구 형성

(2) 메카니즘



제2장: 폭발종류 및 특성_Fire Ball

■ Fire Ball 형성인자

(1) 폭발범위

- 온도 ↑, 압력 ↑, 산소 ↑, 난류 ↑, 화학적양론조성비(Cst) 근접 → 폭발범위 ↑
→ Fire Ball 형성용이

(2) 증기밀도

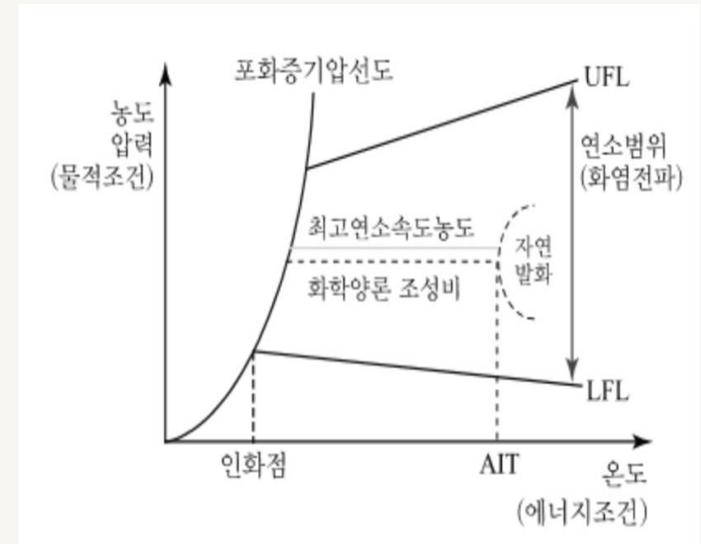
- 증기밀도 ↓ → 부력 상승력 ↑ → Fire Ball 형성용이

(3) 연소열

- 연소열 ↑ → 반응속도 ↑, 온도 ↑ → 밀도 ↓
→ Fire Ball 형성용이

(4) 증기와 공기의 혼합물 조성

- 화학양론조성비(Cst) 근접
 [완전연소 → 연소열 ↑
 폭발범위 ↑] → Fire Ball 형성용이



제2장: 폭발종류 및 특성_Fire Ball

■ Fire Ball 방지대책

(1) 밀폐계(BLEVE) 대책

- ① 고정식 살수설비(물분무, 수막설비)
- ② 입열방지(단열, Tank 지하설치)
- ③ 용기 내압강도 유지(부식여유두께, 내화도료 등)
- ④ 외력에 의한 파괴 방지
- ⑤ 방유제 경사
- ⑥ 감압설비(압력방출장치)

(2) 개방계(UVCE) 대책

- ① 적정재고량 유지
- ② 누설, 방류, 체류 방지
 - 부식여유두께, 배관길이 최소화, 방유제 설치
- ③ 가스누설감지장치, 경보, 비상차단 System
- ④ 정량적위험성평가

제2장: 폭발종류 및 특성_Fire Ball

■ Fire Ball 동영상

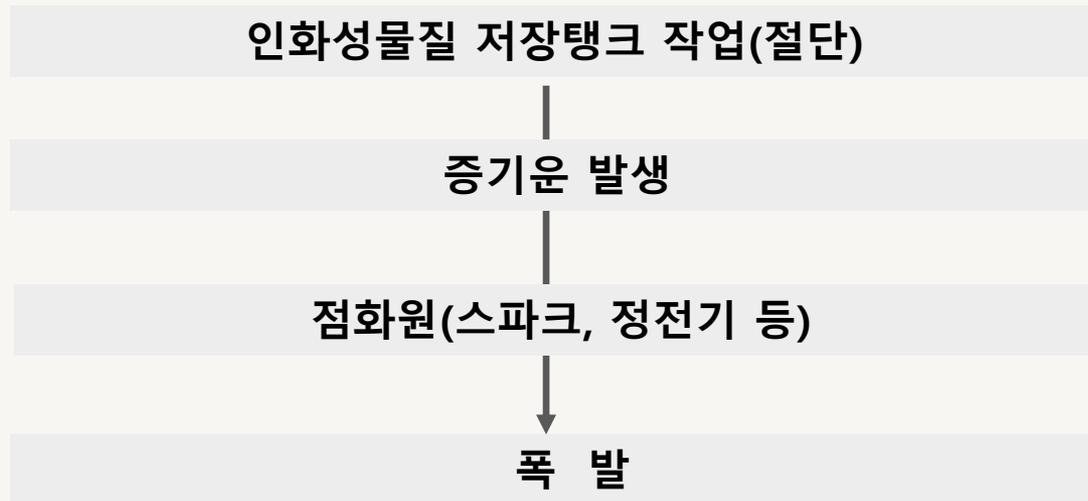


(2020년 8월 4일 레바논 베이루트항구)

제2장: 폭발종류 및 특성_VCE(Vapor Cloud Explosion)

■ VCE 정의 및 발생 메카니즘

- (1) 정의: 용기내 위험물 착화로 압력상승 파괴
- (2) 메카니즘



제2장: 폭발종류 및 특성_VCE(Vapor Cloud Explosion)

■ VCE 사례

<p>청소작업 중</p> 	<p>개요</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 탱크 내 슬러리 제거를 위해 청소작업 중 조명등 스파크에 의한 폭발
<p>용단작업 중</p> 	<p>개요</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열교환기 개조 작업을 위한 용단작업 중 폭발
<p>건조작업 중</p> 	<p>개요</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 합성섬유 원단 코팅 중 건조설비 내부에서 가연성가스 폭발
	<p>대책</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방폭형 전기기구 및 방폭형 작업도구 사용 ○ 밀폐공간 출입허가서 발급 ○ 가연성가스 농도 측정
	<p>대책</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 화기작업 허가서 발급 ○ 열교환기 내 인화성 물질 사전 제거 및 가스 농도 측정 ○ 정비보수업체 안전교육 및 관리감독 강화
	<p>대책</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 건조기 폭발을 대비한 폭발구 설치 ○ 충분한 용량의 환기설비 가동 ○ 방폭형 전기기계기구 설치

제2장: 폭발종류 및 특성 UVCE(Unconfined Vapor Cloud Expolsion)

■ UVCE 정의 및 발생 메카니즘

(1) 정의: 대기중에 가연성가스, 액체가 누출되어 기화되고 공기와 혼합하여 충분한 크기의 증기운형성시 점화원에 의해 폭발

(2) 메카니즘



제2장: 폭발종류 및 특성_UVCE(Unconfined vapor cloud Expulsion)

■ UVCE 방지대책

① 적정 재고량 유지

- 폭발가능 한계량 미만으로 유지(15톤이하)
- UVCE 한계량 이상시 : 소분

② 누설, 방류, 체류 억제

- 배관, 용기의 충분한 부식여유 두께 유지
- 배관길이 최소화로 배관누설방지
- 방유제설치 → 증발표면적 적게하여 급격한 증발에 의한 UVCE방지

③ 가스누설감지, 경보, 비상차단 시스템 구축

④ 정량적위험성평가(CA) - 폭발피해예측

⑤ 주기적 점검 및 근로자 교육 등

제2장: 폭발종류 및 특성 UVCE(Unconfined vapor cloud Expolsion)

■ UVCE 동영상



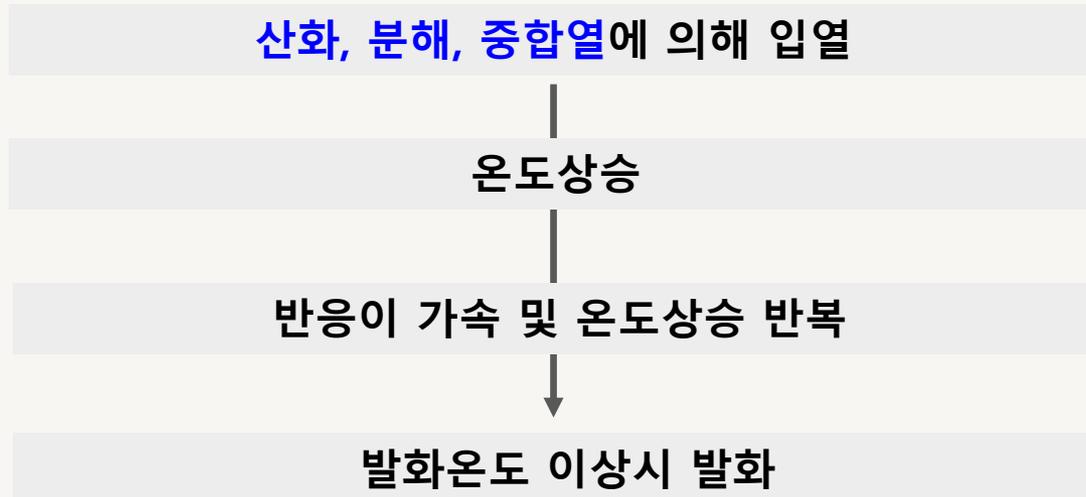
(24년 01월 01일, 강원도 평창 LPG 충전소)

제2장: 폭발종류 및 특성_자연발화

■ 자연발화 정의 및 발생 메카니즘

(1) 정의: 발화온도보다 낮은 온도에서 스스로 발열하여 열축적하고 발화점 도달시 연소에 이르는 현상

(2) 메카니즘



제2장: 폭발종류 및 특성_자연발화

■ 자연발화 방지대책

방열 ↑ 대책

- ① 열전도율 ↑
- ② 열축적이 잘 되지 않도록 함
 - 분말상 저장 사양
- ③ 통풍, 환기로 공기이동 ↑

발열 ↓ 대책(열발생속도 ↓)

- ① 온도 ↓ → 반응속도 ↓ → 열발생속도 ↓
- ② 수분 ↓
- ③ 발열량 ↓ → 열축적 방지
- ④ 표면적 ↓ → 산소접촉면적 → 반응속도 ↓

제2장: 폭발종류 및 특성_ 분진폭발

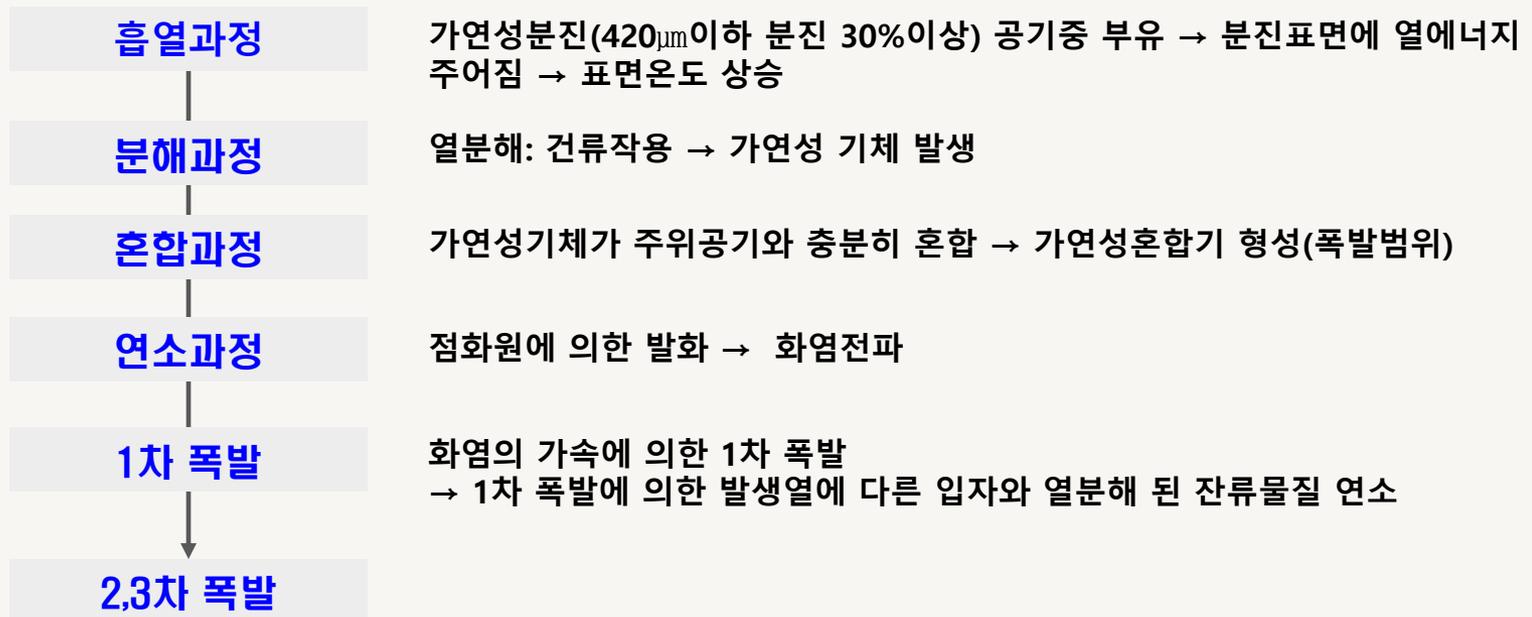
■ 분진폭발 정의 및 메카니즘

(1)정의: 가연성고체를 세분화 한 것으로 입자가 대단히 적어 공기중에

부유하는 $420\mu\text{m}$ 이하의 입자

(분진의 종류: 폭연성분진, 가연성분진(도전성, 비도전성분진))

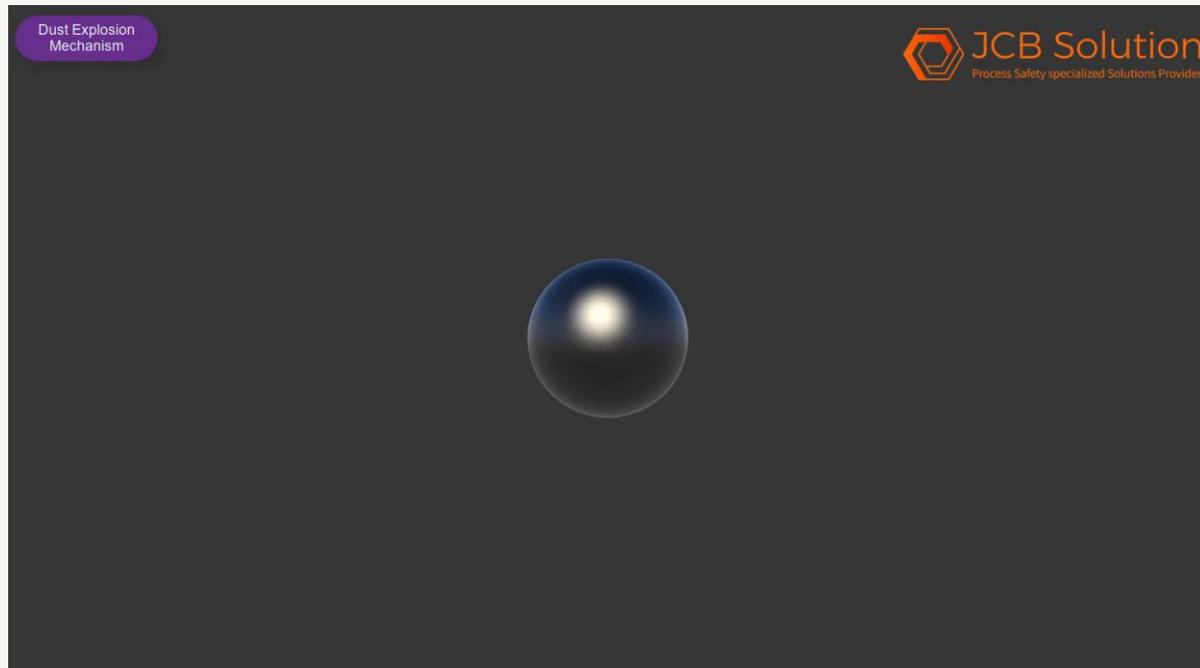
(2) 분진폭발 메카니즘



제2장: 폭발종류 및 특성_ 분진폭발

■ 분진폭발 정의 및 메카니즘

(2) 분진폭발 메카니즘



제2장: 폭발종류 및 특성_ 분진폭발

■ 분진폭발 조건

(1) 가연성

- ① 가연성 분진일 것
- ② 분진의 크기
 - 입자분포(420um이하, 분진이 30%이상)
 - 화염전파 할수 있는 분진크기 분포형성
- ③ 분진농도는 폭발범위이내 일것(하하농도: 20~60, 상한농도: 200~600g/m³)

(2) 산소

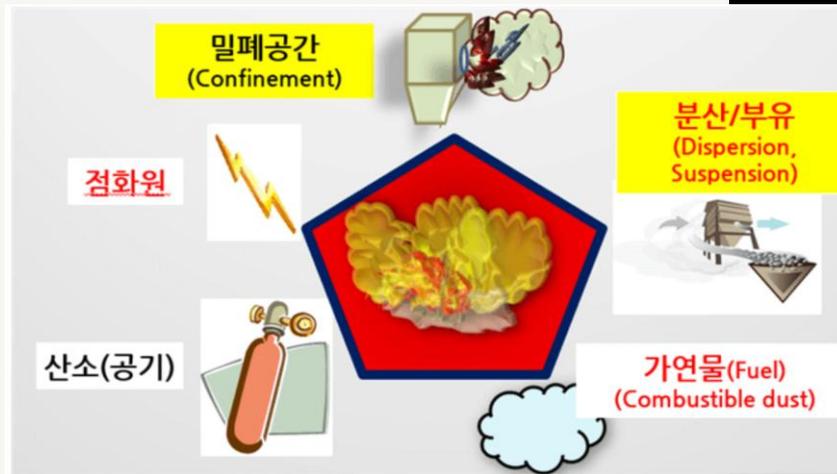
- ① 주위공기와 충분한 교반과 유동 → 폭발범위

(3) 점화원

- ① 분진표면에 충분한 열에너지 공급
 - 열에너지 공급 → 분진표면에서 열분해 → 가연성가스 생성
- ② 충분한 점화에너지
 - 최소발화온도 이상
 - 최소점화에너지 이상(100mj이상)

제2장: 폭발종류 및 특성_ 분진폭발

■ 분진폭발 5요소



This slide features a background image of an industrial facility with a large green circular graphic overlay. The text and graphics include:

- 4B Components Limited:** Logo consisting of a stylized '4' and 'B'.
- Grain Dust Explosion Demonstration:** Main title of the presentation.
- Over 125 Years of Engineering Experience:** Text in a green circle.
- Since 1888:** Text in a yellow circle.
- BETTER BY DESIGN:** Text on a green horizontal bar at the bottom.

제2장: 폭발종류 및 특성_ 분진폭발

■ 분진폭발 대책

(1) 예방대책: 사전적 대책 → 폭발확률 ↓

① 가연물 대책: 분진운 퇴적 및 분진운 생성방지

- 작업표면 평탄: 분진퇴적층 6mm이상 2차 폭발위험 높음
- 분진발생설비(밀폐화)
- 분체이송시 적정속도 제어
- 습식구조: 항습
- 제진설비(집진설비)

② 점화원대책

- 분진발생, 취급지역: 방폭전기 설비, 흡연, 불꽃발생기기 사용 금지
- 정전기 대책: 접지, 본딩
- 스파크 방지발생 방지: 금속분리장치 설치 → 분쇄기 입구에서 인입되는 금속과 설비 접촉방지

③ 불활성화

- 밀폐된 곳 분진발생방지 → 불활성가스(N₂,CO₂)주입 → MOC 이하 유지 → 폭발방지

제2장: 폭발종류 및 특성_ 분진폭발

■ 분진폭발 동영상

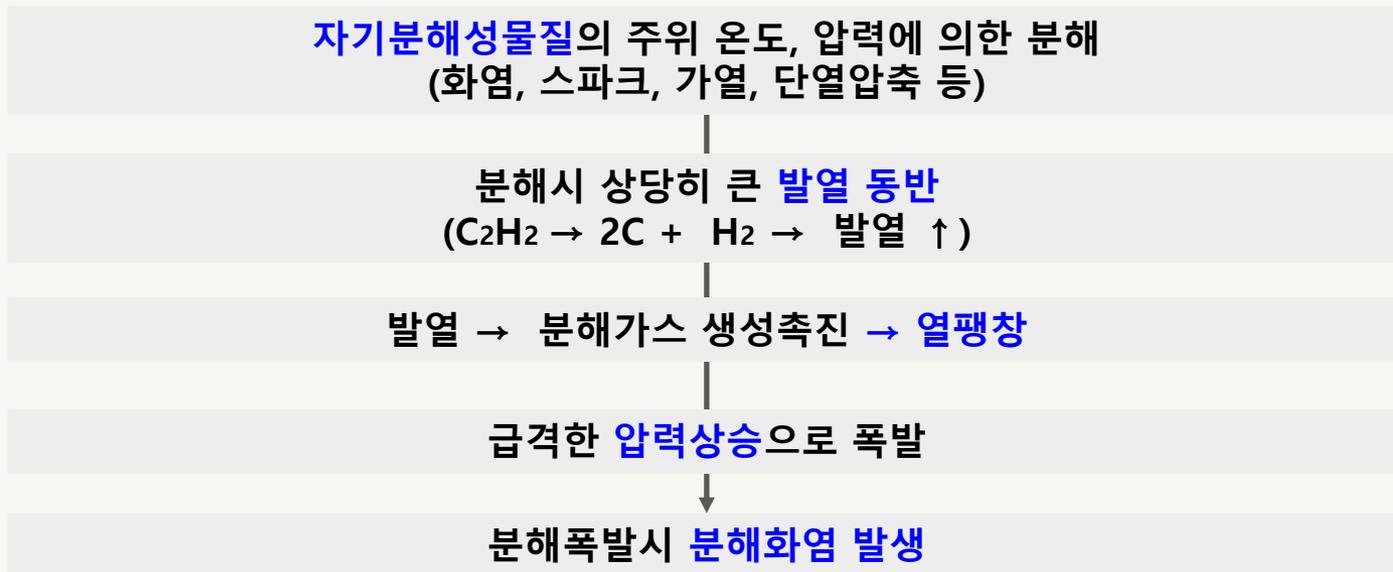


제2장: 폭발종류 및 특성_ 분해폭발

■ 분해폭발 정의 및 메카니즘

- (1)정의: 자기 분해성물질(아세틸레, 산화에틸렌)이 어떤 조건하에 분해시 발열에 열팽창으로 압력상승과 압력의 방출에 의한 폭발
(분해폭발성물질: C_2H_2 , C_2H_4O , C_2H_4 , 메틸아세틸렌, 프로파디엔)

(2) 메카니즘



제2장: 폭발종류 및 특성_ 분해폭발

■ 분해폭발(아세틸렌) 특징 및 대책

(1) 특징

- ① 분해반응식 : $C_2H_2 \rightarrow 2C + H_2 + \text{발열}(2,400\text{kcal/m}^3)$
- ② 발열량: 화염온도($3,100^\circ\text{C}$), 압력(폭연: 초기압력 9~10배, 폭굉: 초기압력 20~50배)
- ③ 폭발범위: 2.5~81 vol%
- ④ 배관내에서 폭굉
- ⑤ 구리, 은 등과 금속반응 → 폭발성 아세틸리드 형성(작은 충격에도 폭발)

(2) 대책

- ① 구리, 구리합금 사용금지
- ② C_2H_2 충전방식:
 - 아세톤, DMF 등 다공성물질(석면)에 흡수 → 아세틸렌을 고압(25kg/cm^2)으로 용해 충전 → 24시간 방치 → 15°C , 15kg/cm^2 이하로 저장
- ③ 점화원관리 : 화염, 스파크, 가열, 단열압축
- ④ 압력배출장치: 가용전 사용(작동온도: $105 \pm 5^\circ\text{C}$)
- ⑤ 냉각수공급장치로 냉각수 공급

제2장: 폭발종류 및 특성_반응폭주

■ 반응폭주 정의 및 발생 메카니즘

(1) 정의: 화학반응시 **반응과 제어의 균형이 무너지면서** 반응속도가 지수함수적으로 증대되어 반응이 폭주하는 현상

(2) 발생원인

① **냉각장치 고장, 냉각능력 부족**

- 반응열 제어 실패 → 반응속도 > 방열속도 → 온도 상승 → 압력상승 → 폭발

② **동력원의 부조화 및 급정지**

- 급정지 → 단열압축 → 압력 상승 → 온도 상승 → 폭발

③ **계장 시스템 고장**

- 제어용 계장 시스템 고장 → 온도상도, 제어능력 상실 → 온도압력 지수함수적 상승 → 반응폭주

④ **공기 유입에 의한 산화반응**

- 감압운전시 기기류 공기 유입 → 가연성혼합기 형성 → 점화원에 의한 산화반응 → 반응폭주

⑤ **조작자 실수: 밸브개폐 오조작, 정촉매 과잉공급 등**

⑥ **원료재배합 비율 이상: 원재료 배합 비율 오차로 발열반응으로 반응폭주**

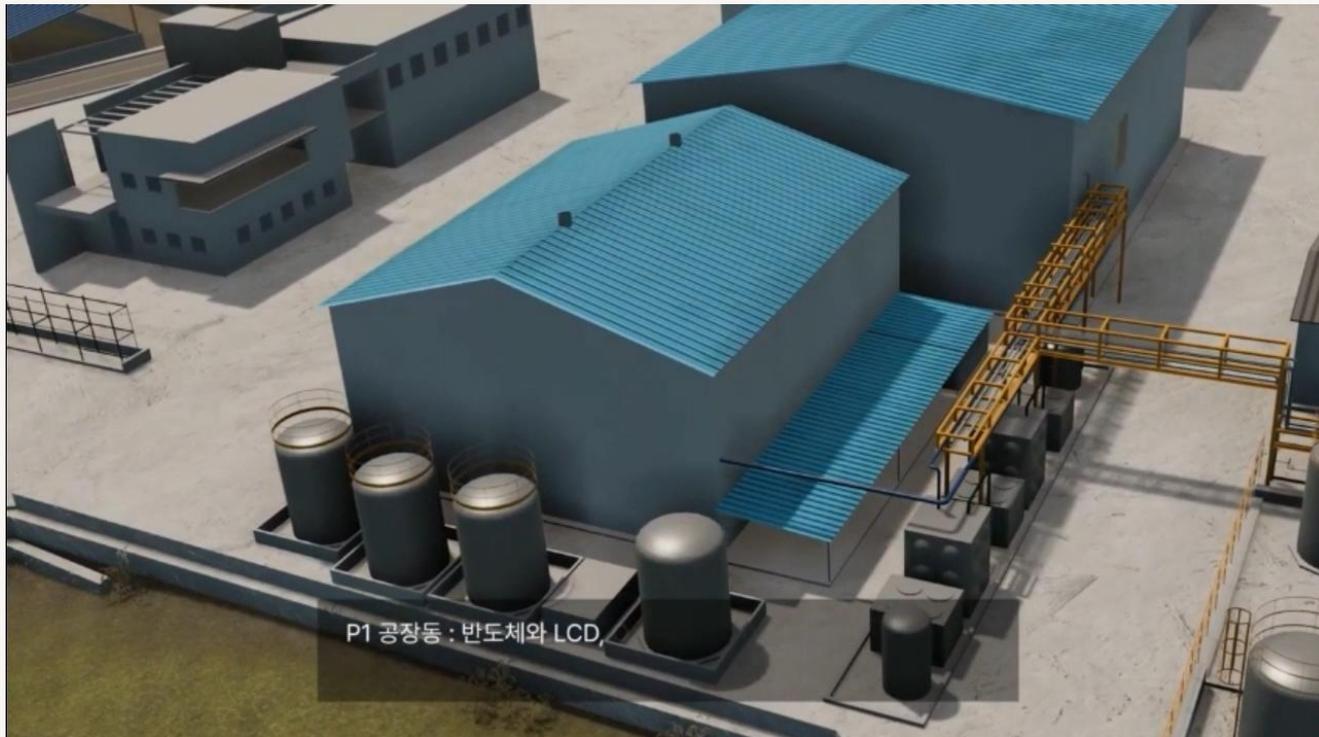
제2장: 폭발종류 및 특성_반응폭주

■ 반응폭주 방지대책

- ① 원재료 공급차단장치
- ② 내용물 긴급이송 설비
- ③ 내용물 긴급방출설비(벤트 스택, 플레어 스택)
- ④ 냉각수, 냉매 공급설비
- ⑤ 반응억제제 투입설비(반응억제제 투입 → 활성화 에너지 높음 → 반응억제)
- ⑥ 불활성가스 공급장치 등

제2장: 폭발종류 및 특성_ 반응폭주

■ 반응폭주 동영상



(출처: 화학물질안전원)

경청해 주셔서 감사합니다 😊

■ 강사 민동준

▷ djmin8347@gmail.com

▷ HP: 010-9174-3198

THANK YOU

(주)돌봄이앤씨

세종특별자치시 한누리대로 1962, 507호~510호(소담동, 법조타운B)

TEL. 044) 862 - 0380 ~1 FAX. 044) 862 - 0382

Homepage. www.dodbom.co.kr