KECO2015-RE10-28

2015
유해화학물질 안전관리 및 개인보호장구 선정 안내서

– 사고대비물질을 중심으로 –



한국환경공단
Korea Environment Corporation

발/간/사

우리가 영위하고 있는 생활의 편리함과 풍요로움은 화학물질과 매우 밀접한 연관이 있습니다. 농업부터 첨단 IT산업까지 우리가 생각할 수 있는 거의 모든 분야에서 화학물질은 다양하게 사용되고 있습니다.

그러나, 화학물질이 주는 편익에 대비하여 유해위험성으로 인하여 발생되는 피해는 생태계 및 우리 생활에 다양한 형태로 나타나며, 피해 범위도 다른 사고에 비하여 매우 넓습니다. 따라서, 화학물질을 안전하고 적절하게 취급·사용함과 아울러 화학사고 방지를 위해 주의가 필요합니다.

최근 환경부에서는 『화학물질관리법』을 시행하여 유해화학물질을 유독물질, 허가·제한·금지물질 및 사고대비물질로 세분화하여 관리하고 있으며, 화학물질로 인한 인체의 건강 및 환경상의 위해를 예방하는데 우선적으로 정책을 추진하고 있습니다.

이에 따라 우리공단에서도 화학물질의 안전한 취급·관리를 위하여 검사·진단제도 연착륙을 위하여 노력하고 있으며, 금번 『화학물질관리법』에 규정된 사고대비물질의 구체적인 관리방법, 취급 유의점 및 물질별 적절한 개인보호장구 선정의 필요성을 구체화하여 정보를 제공하고자 환경기술전문서를 발간하게 되었습니다.

본 환경기술전문서는 유해화학물질 중 사고로 인한 큰 피해가 예상되거나, 사고가 빈번히 일어날 수 있는 사고대비물질을 위주로 물질의 특성 및 인체의 유해성을 상세히 다루고 있습니다. 또한 안전한 취급·보관 및 개인보호장구 선정 방법 등을 수록하였고, 다양한 사고사례를 담아 화학물질 사고를 사전에 예방할 수 있도록 하였습니다.

아무쪼록 본 도서가 관련 분야 현장 실무자들의 안전관리 및 업무 수행에 유용하게 활용 될 수 있기를 기대합니다.

2015년 12월

한국환경공단 이사장 이시진

유해화학물질 안전관리 및 개인보호장구 선정 안내서

편 저

인하대학교 천영우

화학물질안전원 신창현

산업안전보건공단 양상철

미래기준연구소 채충근

SMA 산업안전센터 문명환

한국환경공단 정상용

임규영

김현수

오경근

감 수

한국환경공단 유종선

김종우

목 차

제1장

유해화학물질의 종류 및 특성

제1절 유해 화학물질의 종류 및 특성 ····· 3

1. 유독물질 ····· 4
2. 사고대비물질 ····· 35

제2장

사고대비물질 위험성 및 안전관리 가이드라인

제1절 사고대비물질의 위험성 ····· 39

1. 물리화학적 특성에 의한 위험성 ····· 39
2. 독성에 의한 위험성 ····· 44

제2절 사고대비물질 군별 안전관리 가이드라인 · 45

1. 물리화학적 특성에 따른 물질 군별 안전 가이드라인 ····· 45
2. 독성에 따른 물질 군별 안전 가이드라인 ··· 49

제3절 사고대비물질의 용도 및 노출경로에 따른 인체유해성 ····· 51

제3장

개인보호구, 방제장비 등 선정기준과 방법

제1절 개인보호구 선정 및 사용 ····· 160

제2절 방제대상별 방제약품 등 선정방법 ····· 171

1. 방제약품 종류 및 선정방법 ····· 171

제4장

국내·외 화학사고 사례 및 예방대책

제1절 개 요 ····· 179

1. 최근 화학사고 현황 ····· 179
2. 화학사고의 기본이론 ····· 182
3. 폐가스처리공정의 개요 및 사고사례 ····· 193

제2절 화학사고 사례 ····· 208

1. 국내사고 ····· 208
2. 환경처리설비 사고 ····· 257
3. 국외사고 ····· 277

표목차

〈표 1-1〉 폭발성 물질 또는 화약류의 분류기준 ····· 5
〈표 1-2〉 폭발성 물질 또는 화약류의 표시사항 ····· 5
〈표 1-3〉 인화성 가스의 분류기준 ····· 6
〈표 1-4〉 인화성 가스의 표시사항 ····· 7
〈표 1-5〉 인화성 에어로졸의 분류기준 ····· 7
〈표 1-6〉 인화성 에어로졸의 표시사항 ····· 8
〈표 1-7〉 산화성 가스의 표시사항 ····· 8
〈표 1-8〉 산화성 가스의 분류기준 ····· 9
〈표 1-9〉 고압가스의 분류기준 ····· 9
〈표 1-10〉 고압가스의 표시사항 ····· 10
〈표 1-11〉 인화성 액체의 분류기준 ····· 10
〈표 1-12〉 인화성 액체의 표시사항 ····· 11
〈표 1-13〉 인화성 고체의 분류기준 ····· 11
〈표 1-14〉 인화성 고체의 표시사항 ····· 12
〈표 1-15〉 자기반응성 물질과 혼합물의 분류기준 ····· 12
〈표 1-16〉 자기반응성 물질과 혼합물의 표시사항 ····· 13
〈표 1-17〉 자연발화성 액체의 분류기준 ····· 13
〈표 1-18〉 자연발화성 액체의 표시사항 ····· 14
〈표 1-19〉 자연발화성 고체의 분류기준 ····· 14
〈표 1-20〉 자연발화성 고체의 표시사항 ····· 14
〈표 1-21〉 자기발열성 물질과 혼합물의 분류기준 ····· 15
〈표 1-22〉 자기발열성 물질과 혼합물의 표시사항 ····· 15
〈표 1-23〉 물반응성 물질과 혼합물의 분류기준 ····· 16
〈표 1-24〉 물반응성 물질과 혼합물의 표시사항 ····· 16
〈표 1-25〉 산화성 액체의 분류기준 ····· 17
〈표 1-26〉 산화성 액체의 표시사항 ····· 17
〈표 1-27〉 산화성 고체의 분류기준 ····· 18
〈표 1-28〉 산화성 고체의 표시시항 ····· 18
〈표 1-29〉 유기과산화물의 분류기준 ····· 19
〈표 1-30〉 유기과산화물의 표시사항 ····· 20
〈표 1-31〉 금속부식성 물질과 혼합물의 분류기준 ····· 20
〈표 1-32〉 금속부식성 물질과 혼합물의 표시사항 ····· 21
〈표 1-33〉 물질에 대한 급성독성 분류기준(한계 값) ····· 22
〈표 1-34〉 용량범위로 산출된 시험 값 또는 급성독성 구분으로부터
변환된 급성독성 추정치 ····· 22

〈표 1-35〉 급성독성의 표시사항 ····· 23
〈표 1-36〉 물질에 대한 피부 부식성/자극성 분류기준 ····· 23
〈표 1-37〉 피부 부식성/자극성의 표시사항 ····· 24
〈표 1-38〉 흡인 유해성의 표시사항 ····· 24
〈표 1-39〉 물질에 대한 심한 눈 손상/눈 자극성 분류기준 ····· 25
〈표 1-40〉 심한 눈 손상/눈 자극성의 표시사항 ····· 25
〈표 1-41〉 물질에 대한 호흡기 또는 피부 과민성 분류기준 ····· 26
〈표 1-42〉 호흡기 또는 피부 과민성의 표시시항 ····· 26
〈표 1-43〉 물질에 대한 생식세포 변이원성 분류기준 ····· 27
〈표 1-44〉 생식세포 변이원성의 표시사항 ····· 27
〈표 1-45〉 물질에 대한 발암성 분류기준 ····· 28
〈표 1-46〉 발암성의 표시사항 ····· 28
〈표 1-47〉 물질에 대한 생식독성 분류기준 ····· 29
〈표 1-48〉 생식독성의 표시사항 ····· 29
〈표 1-49〉 물질에 대한 특정 표적장기 독성-1회 노출 분류기준 ····· 30
〈표 1-50〉 특정 표적장기 독성-1회 노출의 표시사항 ····· 30
〈표 1-51〉 물질에 대한 특정 표적장기 독성-반복 노출 분류기준 ····· 31
〈표 1-52〉 특정 표적장기 독성-반복 노출의 표시사항 ····· 31
〈표 1-53〉 물질에 대한 흡인 유해성 분류기준 ····· 32
〈표 1-54〉 흡인 유해성의 표시사항 ····· 32
〈표 1-55〉 물질에 대한 수생환경 유해성(급성, 만성) 분류기준 ····· 33
〈표 1-56〉 수생환경 유해성의 표시사항 ····· 34
〈표 1-57〉 물질에 대한 오존층 유해성 분류기준 ····· 35
〈표 1-58〉 오존층 유해성의 표시사항 ····· 35
〈표 2-1〉 사고대비물질 및 유독물질의 적용범위 ····· 51
〈표 2-2〉 사고대비물질의 규제 법령 및 독성 ····· 55
〈표 2-3〉 ERG대응지침 요약본(사고대비물질 적용 번호) ····· 61
〈표 3-1〉 개인보호구 - 호흡보호장비 유형 ····· 164
〈표 3-2〉 개인보호구 ····· 165
〈표 3-3〉 대응가스별 정화통의 종류 ····· 167
〈표 4-1〉 위험 물질별 인화점 및 발화점 ····· 187
〈표 4-2〉 위험물질의 연소(폭발)범위 ····· 190
〈표 4-3〉 불화수소 탱크콘테이너 배관 연결 및 분리 방법 ····· 210
〈표 4-4〉 환경오염 조사결과('12.10.9, 환경부 보도자료) ····· 213
〈표 4-5〉 폭발위험장소의 구분의견 ····· 227
〈표 4-6〉 폭발위험장소 등급에 따른 전기기계·기구의 선정기준 ····· 229
〈표 4-7〉 폭발등급 및 발화온도 구분 ····· 230

〈표 4-8〉 암모니아 주요 사고사례 ····· 231
〈표 4-9〉 반응식 ····· 233
〈표 4-10〉 삼염화실란(Tri Chloro Silane $SiHCl_3$: TCS) ····· 234
〈표 4-11〉 수소(H_2) ····· 234
〈표 4-12〉 규소금속(Si Metal) ····· 235
〈표 4-13〉 사염화실란(Silicon Tetra Chloride $SiCl_4$: STC) ····· 235
〈표 4-14〉 규소배출 탱크 세부사양 ····· 235
〈표 4-15〉 필터(FLT-000A)사양 ····· 236
〈표 4-16〉 유사사례 1 : 자연발화성 물질 취급공정 누출 ····· 243
〈표 4-17〉 유사사례 2 : 자연발화성 물질 저장 실린더 밸브로부터 가스누출 ····· 243
〈표 4-18〉 P2 Crude 물성 ····· 245
〈표 4-19〉 사고관련 설비사양 ····· 246
〈표 4-20〉 정전기 발생경로 추정 ····· 251
〈표 4-21〉 변경관리 절차 요약 ····· 252
〈표 4-22〉 유사사례 1 : 유기용제 사용 반응기 세정작업 중 화재발생 · 255
〈표 4-23〉 유사사례 2 : 회분식반응기 용제에 의한 폭발 ····· 256
〈표 4-24〉 배출되는 악취 및 VOC(Volatile Organic Compounds)물질 259
〈표 4-25〉 사고후 펌프확인 결과 ····· 267

그림목차

〈그림 4-1〉 화학사고현황(2003~2015.6월) ····· 180
〈그림 4-2〉 지역별 사고발생(2003~2015.6월) ····· 180
〈그림 4-3〉 사고 발생형태별(2003~2015.6월) ····· 181
〈그림 4-4〉 화학사고 물질별(2003~2015.6월) ····· 181
〈그림 4-5〉 인화점의 의미 ····· 187
〈그림 4-6〉 연소의 3요소 메카니즘 ····· 188
〈그림 4-7〉 연소의 4요소 개요 ····· 188
〈그림 4-8〉 연소(폭발) 범위의 개요도 ····· 189
〈그림 4-9〉 인화성 액체로부터 증기와 미스트 형성의 예 ····· 192
〈그림 4-10〉 가능한 점화원의 종류 ····· 193
〈그림 4-11〉 플레어시스템 ····· 195
〈그림 4-12〉 열 및 촉매 소각 시스템 ····· 196
〈그림 4-13〉 흡수처리에 사용되는 스크러버 형태 ····· 197
〈그림 4-14〉 흡착(재생) 공정 ····· 197
〈그림 4-15〉 벤트스택과 방출관 ····· 198
〈그림 4-16〉 냉각응축 처리공정 ····· 199
〈그림 4-17〉 분리막을 이용한 폐가스(VOC) 처리공정 ····· 200
〈그림 4-18〉 사고공장 모습 ····· 208
〈그림 4-19〉 생산공정 개략도 ····· 209
〈그림 4-20〉 입출하를 위해 옥외 대기중인 탱크 콘테이너 (Tank Container) ····· 209
〈그림 4-21〉 불화수소 이송작업 배관 흐름도 ····· 210
〈그림 4-22〉 탱크 컨테이너(Tank Container)에 설치된 50A밸브 및 25A밸브 ····· 212
〈그림 4-23〉 불화수소 이송밸브 및 Air 공급밸브를 둘러싸고 있는 밸브박스 ····· 212
〈그림 4-24〉 작업자가 미끄러지면서 밸브를 작동시키는 듯한 자세 (CCTV 화면) ····· 213
〈그림 4-25〉 사고발생 탱크 컨테이너 (Tank Container)에 설치된 볼 밸브 ····· 217
〈그림 4-26〉 임의 개방 위험이 적은 게이트밸브 ····· 217
〈그림 4-27〉 안전인증 표시(왼쪽) 및 화학물질 보호성능 표시(오른쪽) ·· 218
〈그림 4-28〉 불화수소의 누출로 인해 인근지역으로 확산되는 모습 ····· 220
〈그림 4-29〉 폭발사고로 파손된 급속동결실 외부 모습 ····· 221
〈그림 4-30〉 아이스크림 제품 급속동결실 투입라인 ····· 222

〈그림 4-31〉 암모니아 냉동설비 개요도 ····· 224
〈그림 4-32〉 사고당시 사망자 및 부상자들의 위치 ····· 224
〈그림 4-33〉 파손된 유니트쿨러 1번 팬 블레이드와 손상된 코일 ····· 226
〈그림 4-34〉 급속동결실, 냉동기계실내 비방폭형 전기기계기구 ····· 227
〈그림 4-35〉 실란(SiH_4) 제조공정 전경 ····· 232
〈그림 4-36〉 필터(FLT-121A) 전단 차단밸브 ····· 237
〈그림 4-37〉 가연성가스 검지기 ····· 239
〈그림 4-38〉 질소 퍼지시 사용된 압력게이지 ····· 240
〈그림 4-39〉 폭발사고가 발생한 OLED 재료생산부 공정 모습 ····· 244
〈그림 4-40〉 OLED 재료생산부공정 전경 ····· 245
〈그림 4-41〉 맨손 또는 금속성 레이저포인터 근접에 의한
정전기 방전(추정) ····· 248
〈그림 4-42〉 용매 회수 절차 ····· 249
〈그림 4-43〉 1층의 이동식 용기모습 ····· 250
〈그림 4-44〉 드럼 주입구와 플렉시블 호스와의 간극 ····· 250
〈그림 4-45〉 현장에서 사용된 비도전성 호스 구조 ····· 252
〈그림 4-46〉 이동식 용기에 인화성 액체 이송시의 안전조치 ····· 253
〈그림 4-47, 48〉 현장에서 발견된 레이저포인터 ····· 254
〈그림 4-49〉 사고설비 모습 ····· 257
〈그림 4-50〉 감압정제공정 흐름도 ····· 258
〈그림 4-51〉 폭발사고가 발생한 RTO설비 ····· 259
〈그림 4-52〉 가액분리기 폭발장면(현장 설치 CCTV 화면) ····· 260
〈그림 4-53〉 가액분리기 상부에서 작업자들이 사용한 스패너와
라쳇 렌치 ····· 262
〈그림 4-54〉 사고설비 모습 ····· 265
〈그림 4-55〉 사고발생 폐수집수조 개요도 ····· 265
〈그림 4-56〉 폐수집수조 설치 도면 ····· 266
〈그림 4-57〉 펌프A(WP-0000AR) 외부 점검결과 ····· 267
〈그림 4-58〉 펌프A(WP-0000AR) 수직축 점검결과 ····· 268
〈그림 4-59〉 배관에서의 정전기 발생 개념도 ····· 268
〈그림 4-60〉 액표면에서의 정전기가 방전되는 상황의 개념도 ····· 269
〈그림 4-61〉 지하 1층에서 인화성 가스(메탄)가 폭발하여
소화조 건물 및 시설이 반파된 전경 ····· 271
〈그림 4-62〉 폐수(오니)처리 공정도 ····· 272
〈그림 4-63〉 소화조 지상 1층 배수구/배기구(70cm×45cm)를 통해서
지하 1층으로 연결된 PVC 배관(지름 10cm)으로
화재·폭발 시 화염에 의해 PVC 배관이 열변형된 상태 ····· 273

〈그림 4-64〉 가스폭발이 발생한 소화조 지하 1층에서 피재자가 PVC 배관지지 작업 중 화기(라이터)를 사용하여 작업하였을 것으로 가정하여 재연한 모습 ····· 274
〈그림 4-65〉 사고전·후 공장모습 ····· 277
〈그림 4-66〉 반응기 주변 개략도 ····· 278
〈그림 4-67〉 임시배관 설치상태 ····· 278
〈그림 4-68〉 사고 공장모습 ····· 280
〈그림 4-69〉 사고상황도 ····· 281
〈그림 4-70〉 MIC 누출경로 ····· 282
〈그림 4-71〉 농약 카바릴 합성식 ····· 282

제 1 장

유해화학물질의 종류 및 특성

제1절 유해 화학물질의 종류 및 특성

1. 유독물질
2. 사고대비물질

제1장 유해화학물질의 종류 및 특성

제1절 유해화학물질의 종류 및 특성

유해화학물질이란 유해성 또는 위해성이 있거나 그러할 우려가 있는 화학물질로 물리적 위험성, 건강 및 환경 유해성에 따라 분류할 수 있다.

- 화학물질이란 원소 · 화합물 및 그에 인위적인 반응을 일으켜 얻어진 물질과 자연상태에서 존재하는 물질을 화학적으로 변형시키거나 추출 또는 정제한 것
- 화학물질의 유해성(Hazard)이란 화학물질의 독성 등 사람의 건강이나 환경에 좋지 아니한 영향을 미치는 화학물질 고유의 성질을 말하며, 이는 화학물질의 조성, 환경 내 거동, 실험실적 독성학 자료에 기초하여 평가하는데 이러한 평가과정을 유해성평가(Hazard Assessment)라고 하며, 이는 화학물질 안전관리의 시작이며 요체가 된다고 할 수 있음
- 화학물질의 위해성(Risk)이란 유해성이 있는 화학물질이 노출되는 경우 사람의 건강이나 환경에 피해를 줄 수 있는 정도를 말하는 것으로 실제로 인체 또는 환경에 노출되어 유해한 영향을 발생할 확률의 의미로 위해성의 결정은 일반적으로 유해성 확인(Hazard Identification), 용량-반응평가(Dose-Response Relationship), 노출평가(Exposure Assessment), 위해도 결정(Risk Characterization)의 단계로 이루어지며, 이러한 과정을 위해성평가(Risk Assessment)라고 함

화학물질관리법에서는 유해화학물질을 유독물질, 허가물질, 제한물질 또는 금지물질, 사고대비물질 그 밖에 유해성 또는 위해성이 있거나 그러할 우려가 있는 화학물질로 정의하고 있다.

- 유독물질이란 유해성이 있는 화학물질을 말하며, 이중 허가물질은 위해성이 있다고 우려되는 물질이고, 제한물질은 특정 용도로 사용되는 경우 위해성이 크다고 인정되는 물질이며, 금지물질은 모든 용도에서 사용되는 경우 위해성이 크다고 인정되는 화학물질로서 제조, 수입, 판매, 보관·저장, 운반 또는 사용을 제한·금지하는 물질이다. 사고대비물질은 화학물질 중에서 급성독성·폭발성 등이 강하여 화학사고의 발생가능성이 높거나 화학사고가 발생한 경우에 그 피해규모가 클 것으로 우려되는 화학물질

국내에서는 유독물질이 720종, 제한물질이 20종, 금지물질이 64종, 사고대비물질이 69종 등으로 관리되고 있다. 유해화학물질의 분류는 GHS(Globally Harmonized System) 체계에 따라 물리적 위험성에 의한 16가지와 건강·환경 유해성에 따른 분류 12가지로 분류된다. 이에 따른 각 분류를 보면 다음과 같다.

1 유독물질

1.1. 물리적 위험성에 의한 분류

1.1.1. 폭발성 물질 또는 화약류

폭발성물질(Explosive substance)은 자체의 화학반응에 의해 주위 환경에 손상을 줄 수 있는 온도와 압력 및 가스를 생성하는 고체, 액체물질 또는 이러한 물질의 혼합물을 의미한다.

폭발성물질은 폭발성, 민감성, 열 안정에 따라 7단계로 분류가 가능하며 구분에 대한 판정기준은 아래와 같다.

<표 1-1> 폭발성 물질 또는 화약류의 분류기준

구 분	분류기준
1 (불안정한 폭발성 물질 또는 화약류)	정상적인 취급, 운송, 사용에 대해 열역학적으로 불안정하거나 너무 민감한 폭발성 물질 또는 화약류
2 (등급 1.1)	대폭발 위험성이 있는 물질, 혼합물과 제품
3 (등급 1.2)	대폭발 위험성은 없으나 발사 위험성(projection hazard)이 있는 물질, 혼합물과 제품
4 (등급 1.3)	대폭발 위험성은 없으나, 화재 위험성이 있고, 약한 폭풍 위험성(blast hazard) 또는 약한 발사 위험성이 있는 다음과 같은 물질, 혼합물과 제품 ① 대량의 복사열을 발산하면서 연소하는 것. 또는 ② 약한 폭풍 또는 발사의 효과를 일으키면서 순차적으로 연소하는 것
5 (등급 1.4)	심각한 위험성은 없으나, 다음과 같이 발화 또는 기폭에 의해 약간의 위험성이 있는 물질, 혼합물과 제품 ① 영향은 주로 포장품에 국한되고, 주의할 정도의 크기 또는 범위의 파편의 발사는 일어나지 않음. 그리고 ② 외부 화재에 의해 포장품의 거의 모든 내용물이 실질적으로 동시에 폭발을 일으키지 않아야 함
6 (등급 1.5)	대폭발 위험성은 있지만 매우 둔감하여 정상적인 상태에서는 발화·기폭의 가능성 또는 연소가 폭굉으로 전이될 가능성이 거의 없는 물질과 혼합물
7 (등급 1.6)	극히 둔감한 물질 또는 혼합물만을 포함하여 대폭발 위험성이 없으며, 우발적인 기폭 또는 전파의 가능성이 거의 없는 제품

<표 1-2> 폭발성 물질 또는 화약류의 표시사항

내 용	구분 1 (불안정한 폭발성물질)	구분 2 (등급 1.1)	구분 3 (등급 1.2)	구분 4 (등급 1.3)	구분 5 (등급 1.4)	구분 6 (등급 1.5)	구분 7 (등급 1.6)
그림 문자						주황색 바탕에 숫자 1.5	주황색 바탕에 숫자 1.6
	없음						
신호어	위험				경고	위험	없음
유해·위험 문구	불안정한 폭발성 물질 또는 화약류 (H200)	폭발성 물질 또는 화약류; 대폭발 위험 (H201)	폭발성 물질 또는 화약류; 심한 발사 위험 (H202)	폭발성 물질 또는 화약류; 화재, 폭풍 또는 발사 위험 (H203)	화재 또는 발사 위험 (H204)	화재 시 대폭발 할 수 있음 (H205)	없음

폭발성은 온도, 압력을 급격히 증가 시키는 화학작용기와 관련되어 불포화결합을 가진 아세틸렌류, 아세틸리드류, 1,2-디엔류와 C, N 금속을 포함한 특정시약, 유기리튬화합물 및 N, O 또는 N, O원소의 할로겐화합물인 지방족아조화합물, 아지드류, 아조늄류, 하이드라진류, 퍼옥사이드류, 하이드록실아민류, 니트로화합물, 니트로소화합물, 초산염류, 크롤아민, 폴로아민류, 염소산염류, 과염소산염류, 요오드화합물 등과 같은 화학 작용기를 가진 유기화합물에서 폭발성을 나타낸다.

분자 내에 폭발성과 관련이 있는 화학그룹이 없는 물질, 산소밸런스가 200미만인 물질, 유기물질 또는 유기물질의 균일한 혼합물에서 폭발성 성질과 관련된 화학그룹을 가지지만 발열 분해열이 500J/g 미만이며 발열 분해의 개시 온도가 500℃ 미만인 물질, 무기 산화성물질과 유기물질과의 혼합물에서는 무기산화성 물질의 농도가 산화성물질 구분1 또는 구분2에 해당될 경우 중량으로 15%미만이고 산화성 물질 구분3에 해당될 경우에는 중량으로 30%미만인 물질은 폭발성 물질로 분류되지 않는다.

1.1.2. 인화성 가스

인화성물질은 물질의 성상에 따라 인화성가스와 인화성 액체, 인화성 고체, 인화성 에어로졸로 구분할 수 있다. 인화성 가스는 20℃ 온도, 101.3kPa 표준 압력에 있는 공기와 혼합하여 인화범위에 있는 가스를 의미한다. 인화성 가스는 2등급으로 분류가 가능하며 구분에 대한 판정기준은 아래와 같다.

<표 1-3> 인화성 가스의 분류기준

구 분	분류기준
1	20℃, 표준압력 101.3 kPa에서 다음에 해당하는 가스 ① 공기와 13%(용적) 이하의 혼합물일 때 연소할 수 있는 가스. 또는, ② 인화하한과 관계없이 공기와 12% 이상 농도에서 인화 범위를 가지는 가스
2	구분 1에 해당하지 않으면서, 20℃, 표준압력 101.3 kPa에서 공기와 혼합하여 인화 범위를 가지는 가스

<표 1-4> 인화성 가스의 표시사항

내 용	구분 1	구분 2
그림문자		없음
		없음
신호어	위험	경고
유해・위험문구	극인화성 가스 (H220)	인화성 가스 (H221)

인화성 가스는 질식과 압력 같은 유해성에 화재 또는 폭발을 일으키는 성질을 가지고 있다. 인화성 가스의 유해성을 인식할 때 대기 중에서의 연소범위를 염두에 두어야 하는데 연소범위는 대기 중의 공기가 가스와 혼합되었을 때 연소가 가능한 범위를 의미하는 것으로 연소하한계(LFL)와 연소상한계(UFL)로 구성된다.

1.1.3. 인화성 에어로졸

<표 1-5> 인화성 에어로졸의 분류기준

구 분	분류기준
1	① 인화성 성분의 함량이 85% 이상이며 연소열이 30kJ/g 이상인 에어로졸. 또는, ② 발화거리 시험에서, 75cm 이상의 거리에서 발화하는 스프레이 에어로졸. 또는, ③ 포 시험에서, 다음에 해당하는 포 에어로졸 (ⅰ) 불꽃의 높이 20cm 이상 및 불꽃 지속 시간 2초 이상, 또는 (ⅱ) 불꽃의 높이 4cm 이상 및 불꽃 지속 시간 7초 이상
2	① 구분 1에 해당하지 않으면서, 연소열이 20kJ/g 이상인 스프레이 에어로졸. 또는, ② 구분 1에 해당하지 않으면서, 연소열이 20kJ/g 미만으로, 다음에 해당하는 스프레이 에어로졸. 또는, (ⅰ) 발화거리 시험에서, 15cm 이상의 거리에서 발화. 또는 (ⅱ) 밀폐공간 발화시험에서, 발화시간 환산 300초/m^3 이하이거나 폭연밀도 300 g/m^3 이하 ③ 구분 1에 해당하지 않으면서, 포 시험에서 불꽃의 높이 4cm 이상 및 불꽃 지속시간 2초 이상인 포 에어로졸

인화성 액체, 인화성 가스, 인화성 고체와 같이 인화성 성분을 포함한 에어로졸 상태의 물질 또는 혼합물로써 주로 금속, 유리 또는 플라스틱재의 재충전을 할 수 없는 용기에 액체, 페이스트

또는 분말을 압축 또는 가압 용해된 가스를 충전하고 가스에 현탁시킨 고체 또는 액상 입자로서 포, 페이스트, 분말, 액상 또는 가스상으로 분사하는 방출 장치를 갖춘 에어로졸 분무기에 담긴 것을 말한다. 인화성 에어로졸은 2등급으로 분류하며 구분에 대한 판정기준은 아래와 같다.

<표 1-6> 인화성 에어로졸의 표시사항

내 용	구분 1	구분 2
그림문자		
		
신호어	위험	경고
유해・위험문구	극인화성 에어로졸 (H222)	인화성 에어로졸 (H223)

1.1.4 산화성 가스

일반적으로 산소를 발생시켜 다른 물질의 연소를 공기보다 더 잘 되도록 하거나 촉진하는 특징을 가진 가스로서, 대표적으로 산소, 삼불화질소, 아산화질소, 불소, 염소 등이 있다.

산화성 가스는 가스 유속에 의한 불순물 부딪힘 현상(Particle Impingement), 유체와 배관 재질 내부와의 마찰력(Friction), 유체의 부피가 급속히 줄어들어 높은 에너지를 유발시키는 단열압축현상(Adiabatic Heat of compression), 오염물질(특히 오일 및 수분류)과의 접촉(Contamination)등에 의해 비정상 점화원을 생성하여 연소가 폭발적으로 발생할 수 있다.

산화성 가스는 다음과 같이 분류된다.

<표 1-7> 산화성 가스의 표시사항

구 분	분류기준
1	일반적으로 산소를 발생시켜 다른 물질의 연소가 더 잘 되도록 하거나 기여하는 물질

<표 1-8> 산화성 가스의 분류기준

내 용	구분 1
그림문자	
	
신호어	위험
유해・위험문구	화재를 일으키거나 강렬하게 함; 산화제 (H270)

1.1.5. 고압가스

고압가스는 20℃, 200kPa 이상의 압력 용기에 충전된 압축가스, 액화가스, 냉동액화가스, 용해가스를 말한다. 필요한 자료는 50℃에서 증기압, 20℃, 1기압에서 물리적 성상 및 임계온도이며, 이러한 자료는 입수가 비교적 용이하다. 봄배에 충전 된 물질의 상태, 압력 등은 제조자의 설계에 따른다.

- 압축가스 : 가압하여 용기에 충전했을 때, −50℃에서 완전히 가스 상인 가스 (임계온도 -50℃ 이하의 모든 가스를 포함한다)
- 액화가스 : 압력 하에서 -50℃를 초과하는 온도에서 부분적으로 액체인 가스
- 냉동액화가스 : 용기에 충전한 가스가 낮은 온도 때문에 부분적으로 액체인 가스
- 용해가스 : 가압해 용기에 충전한 가스가 액상 용제에 용해된 가스

<표 1-9> 고압가스의 분류기준

구 분	분류기준
1 (압축가스)	가압하여 용기에 충전했을 때, -50℃에서 완전히 가스상인 가스(임계온도 -50℃ 이하의 모든 가스를 포함)
2 (액화가스)	가압하여 용기에 충전했을 때, -50℃ 초과 온도에서 부분적으로 액체인 가스로, 다음과 같이 구분한다. ① 고압액화가스: 임계온도가 -50℃에서 +65℃인 가스. 그리고 ② 저압액화가스: 임계온도 +65℃를 초과하는 가스
3 (냉장 액화가스)	용기에 충전한 가스가 낮은 온도 때문에 부분적으로 액체인 가스
4 (용해가스)	가압해 용기에 충전한 가스가 액상 용매에 용해된 가스

<표 1-10> 고압가스의 표시사항

내 용	압축가스 (구분 1)	액화가스 (구분 2)	냉장 액화가스 (구분 3)	용해가스 (구분 4)
그림문자				
				
신호어	경고	경고	경고	경고
유해・위험문구	고압가스 포함; 가열하면 폭발할 수 있음 (H280)	고압가스 포함; 가열하면 폭발할 수 있음 (H280)	냉장가스 포함; 극저온의 화상 또는 손상을 일으킬 수 있음 (H281)	고압가스 포함; 가열하면 폭발할 수 있음 (H280)

1.1.6. 인화성 액체

인화점이 낮은 것은 상온 이하에서도 불꽃이나 전기 스파크 등에 의해 인화 연소하며 인화점이 높은 물질도 인화점 이상으로 가열시키면 똑같은 위험성이 있는 물질을 말한다. 인화성물질에서 발생하는 증기는 대부분이 공기보다 무겁고, 공기와 혼합되었을 때 약간의 점화원에 의해 과격한 폭발을 일으킬 위험성이 있다. 또, 인화성물질에 속하는 대개의 액체종류는 물보다 가볍고 물에 잘 녹지 않기 때문에 물위에 떠서 널리 퍼지면서 예상하지 못한 곳으로 흘러가 어떤 화기에 의해 중대한 사고를 일으킬 위험성이 있다. 인화성물질의 관리는 이러한 성상, 위험성 등을 언제나 고려해야 하며, 인화점 이하로 유지하도록 노력하고 가열을 피하며, 액체나 증기의 누설을 방지하는 외에, 정전기, 화기 등의 인화원 대책, 인화시의 긴급조치 등을 확립해 두는 것이 중요하다.

<표 1-11> 인화성 액체의 분류기준

구 분	분류기준
1	인화점이 23℃ 미만이고 초기끓는점이 35℃ 이하인 액체
2	인화점이 23℃ 미만이고 초기끓는점이 35℃를 초과하는 액체
3	인화점이 23℃ 이상 60℃ 이하인 액체

<표 1-12> 인화성 액체의 표시사항

내 용	구분 1	구분 2	구분 3
그림문자			
			
신호어	위험	위험	경고
유해・위험문구	극인화성 액체 및 증기 (H224)	고인화성 액체 및 증기 (H225)	인화성 액체 및 증기 (H226)

1.1.7 인화성 고체

인화성 고체는 쉽게 연소되거나 마찰에 의하여 화재를 일으키거나 촉진할 수 있는 물질로써 쉽게 연소되는 고체는 분말상, 과립상 또는 페이스트상의 물질 또는 혼합물은 타고 있는 성냥과 같은 점화원과 단시간에 접촉에 의해 쉽게 연소하거나 화염이 급속히 확산될 위험이 있다.

인화성 고체는 연소속도 시험결과를 기준으로 2등급으로 분류하며 구분에 대한 판정기준은 아래와 같다.

<표 1-13> 인화성 고체의 분류기준

구 분	분류기준
1	연소속도 시험에서, 다음에 해당하는 물질 또는 혼합물 ① 금속분말이외의 물질 또는 혼합물: 습윤 부분이 연소를 중지시키지 못하고, 연소시간이 45초 미만이거나 연소속도가 2.2mm/초를 초과함 ② 금속분말: 연소시간이 5분 이하
2	연소속도 시험에서, 다음에 해당하는 물질 또는 혼합물 ① 금속분말이외의 물질 또는 혼합물: 습윤 부분이 4분 이상 연소를 중지시키고, 연소시간이 45초 미만이거나 연소속도가 2.2mm/초를 초과함 ② 금속분말: 연소시간이 5분 초과 10분 이하

<표 1-14> 인화성 고체의 표시사항

내 용	구분 1	구분 2
그림문자		
		
신호어	위험	경고
유해・위험문구	인화성 고체 (H228)	

1.1.8 자기반응성 물질과 혼합물

열역학적으로 불안정하여 산소(공기)의 공급 없이도 강렬하게 발열 분해하기 쉬운 액체 또는 고체로서 자기반응성 물질은 순수물질 단량체에 포함되기 보다는 희석물질과 안정화물질을 가한 조합된 화학품으로 취급 및 사용되는 것이 많다. 각각의 조합제품에 관한 시험으로 A~G형으로 분류하며 구분에 대한 판정기준은 아래와 같다.

<표 1-15> 자기반응성 물질과 혼합물의 분류기준

구 분	분류기준
1 (형식 A)	포장된 상태에서 폭굉하거나 급속히 폭연하는 자기반응성 물질 또는 혼합물
2 (형식 B)	폭발성을 가지며, 포장된 상태에서 폭굉도 급속한 폭연도 하지 않으나, 그 포장물 내에서 열폭발을 일으키는 경향을 가지는 자기반응성 물질 또는 혼합물
3 (형식 C)	폭발성을 가지며, 포장된 상태에서 폭굉도 급속한 폭연도 열폭발도 일으키지 않는 자기반응성 물질 또는 혼합물
4 (형식 D)	실험실 시험에서 다음의 성질과 상태를 나타내는 자기반응성물질 또는 혼합물 ① 폭굉이 부분적이며, 급속히 폭연하지 않고 밀폐상태에서 가열하면 격렬한 반응을 일으키지 않음. 또는, ② 전혀 폭굉하지 않고, 완만하게 폭연하며 밀폐상태에서 가열하면 격렬한 반응을 일으키지 않음. 또는, ③ 전혀 폭굉 또는 폭연하지 않고, 밀폐상태에서 가열하면 중간 정도의 반응을 일으킴
5 (형식 E)	실험실 시험에서 전혀 폭굉도 폭연도 하지 않고, 밀폐상태에서 가열하면 반응이 약하거나 없다고 판단되는 자기반응성 물질 또는 혼합물
6 (형식 F)	실험실 시험에서, 공동상태(cavitated state) 하에서 폭굉하지 않거나 전혀 폭연하지 않고, 밀폐상태에서 가열하면 반응이 약하거나 없는 또는 폭발력이 약하거나 없다고 판단되는 자기반응성물질 또는 혼합물
7 (형식 G)	실험실 시험에서, 공동상태 하에서 폭굉하지 않거나 전혀 폭연하지 않고, 밀폐상태에서 가열하면 반응이 없거나 폭발력이 없다고 판단되는 자기반응성 물질 또는 혼합물. 다만, 열역학적으로 안정하고 (50kg 포장물의 경우 SADT가 60℃에서 75℃ 사이), 액체 혼합물의 경우에는 끓는점이 150 ℃ 이상인 희석제로 둔화된 경우에만 해당한다. 혼합물이 열역학적으로 안정하지 않거나 끓는점이 150℃ 미만의 희석제로 둔화된 경우에는, 그 혼합물은 자기반응성 물질 형식 F로 해야 한다.

<표 1-16> 자기반응성 물질과 혼합물의 표시사항

내 용	구분 1 (형식 A)	구분 2 (형식 B)	구분 3 및 4 (형식 C 및 D)	구분 5 및 6 (형식 E 및 F)	구분 7 (형식 G)
그림 문자					없음
	폭발성 물질과 동일 (같은 심벌 선택과정을 거침)				
신호어	위험	위험	위험	경고	
유해 위험문구	가열하면 폭발할 수 있음 (H240)	가열하면 화재 또는 폭발 할 수 있음 (H241)	가열하면 화재를 일으킬 수 있음 (H242)	가열하면 화재를 일으킬 수 있음 (H242)	

1.1.9. 자연발화성 액체

소량으로도 공기와 접촉하여 5분 이내에 발화할 수 있는 액체 및 고체를 말한다. 물질이 공기 중에서 비교적 낮은 온도에서 자연히 발열되고, 그 열이 장기간 축적되어 발화온도에 도달하면 연소의 위험이 있는 물질을 말하며 석탄 분말, 금속 분말, 불포화 유지류 등이 이에 속한다. 그리고 황인, 환원 니켈, 트리알킬보란(trialkylborane) 등과 같이 공중에서 즉시 발화하는 물질을 포함하여 자연 발화성 물질이라고 한다.

<표 1-17> 자연발화성 액체의 분류기준

구 분	분류기준
1	① 불활성 담체에 가해 공기에 접촉시키면 5분 이내에 발화하는 액체. 또는, ② 공기에 접촉시키면 5분 이내에 여과지를 발화 또는 탄화시키는 액체

<표 1-18> 자연발화성 액체의 표시사항

내 용	구분 1
그림문자	
	
신호어	위험
유해·위험문구	공기에 노출되면 스스로 발화함 (H250)

1.1.10. 자연발화성 고체

자연발화성 고체는 그 표면위의 공기 중에서 직접 시험되고 시험결과를 기초로 하여 단일 위험구분으로 분류하며 판정기준은 공기와 접촉 시 5분 이내에 발화하는 고체를 구분1로 분류한다.

<표 1-19> 자연발화성 고체의 분류기준

구 분	분류기준
1	공기와 접촉하면 5분 안에 발화하는 고체

<표 1-20> 자연발화성 고체의 표시사항

내 용	구분 1
그림문자	
	
신호어	위험
유해 · 위험문구	공기에 노출되면 스스로 발화함 (H250)

1.1.11. 자기발열성 물질과 자기 혼합물

자기 발화성 물질이 아니면서 주위에서 에너지 공급 없이 공기와 반응하여 스스로 발열하는 물질 또는 혼합물로서 발화성 물질과의 차이점은 인화되기 위하여 많은 양으로 오랜 시간이

걸려 발화되는 것이다.

자기발열성 물질은 시험결과에 기초하여 2등급으로 분류하며 구분에 대한 판정기준은 아래와 같다.

<표 1-21> 자기발열성 물질과 혼합물의 분류기준

구 분	분류기준
1	140℃에서 25 mm 시료큐브(정방형용기)를 이용한 시험에서 양성인 경우
2	① 140℃에서 100 mm 시료큐브를 이용한 시험에서 양성이고 140℃에서 25 mm 시료큐브를 이용한 시험에서 음성이며, 해당 물질 또는 혼합물의 포장이 3 ㎥을 초과할 경우. 또는, ② 140℃에서 100 mm 시료큐브를 이용한 시험에서 양성이고 140℃에서 25 mm 시료큐브를 이용한 시험에서 음성이며, 120℃에서 100 mm 시료큐브를 이용한 시험에서 양성이고, 해당 물질 또는 혼합물의 포장이 450L를 초과할 경우. 또는, ③ 140℃에서 100 mm 시료큐브를 이용한 시험에서 양성이고 140℃에서 25 mm 시료큐브를 이용한 시험에서 음성이며, 100℃에서 100 mm 시료큐브를 이용한 시험에서 양성인 경우

1.1.12. 물반응성 물질과 혼합물

인화성가스를 방출하는 물질 또는 혼합물로서 물과 상호작용에 의하여 자연 발화되거나 인화성가스를 위험한 수준으로 방출하는 고체, 액체 또는 혼합물이다. 화학구조가 금속 또는 금속류를 포함하지 않는 물질 또는 혼합물과 경험에 의해 물과 반응하지 않는 것으로 알려진 물질 또는 혼합물, 물에 녹아 안정한 혼합물이 되는 물질 또는 혼합물은 물 반응성물질에 포함되지 않는다.

물 반응성 물질은 3등급으로 분류하며 구분에 대한 판정기준은 아래와 같다.

<표 1-22> 자기발열성 물질과 혼합물의 표시사항

내 용	구분 1	구분 2
그림문자		
		
신호어	위험	경고
유해・위험문구	자기발열성; 화재를 일으킬 수 있음 (H251)	대량으로 존재 시 자기발열성; 화재를 일으킬 수 있음 (H252)

<표 1-23> 물반응성 물질과 혼합물의 분류기준

구 분	분류기준
1	대기 온도에서 물과 격렬하게 반응하여 자연 발화하는 가스를 일으키는 경향이 전반적으로 인정되거나, 대기 온도에서 물과 급속히 반응했을 때의 인화성가스의 발생 속도가 1분간 물질 1kg에 대해 10L 이상인 물질 또는 혼합물
2	대기 온도에서 물과 급속히 반응했을 때의 인화성 가스의 최대 발생 속도가 1시간당 물질 1kg에 대해 20L 이상이며, 구분 1에 해당하지 않는 물질 또는 혼합물
3	대기 온도에서 물과 천천히 반응했을 때의 인화성 가스의 최대 발생 속도가 1 시간당 물질 1kg에 대해 1L 이상이며, 구분 1 및 구분 2에 해당하지 않는 물질 또는 혼합물

<표 1-24> 물반응성 물질과 혼합물의 표시사항

내 용	구분 1	구분 2	구분 3
그림문자			
			
신호어	위험	위험	경고
유해・위험문구	물과 접촉시 자연 발화하는 인화성가스를 발생시킴 (H260)	물과 접촉시 인화성 가스를 발생시킴 (H261)	물과 접촉시 인화성 가스를 발생시킴 (H261)

1.1.13. 산화성 액체

산화반응은 큰 발열반응을 수반하며, 이러한 산화반응이 강렬하게 촉진되어 폭발적 현상을 생성하는 물질을 산화성물질이라 한다. 산화력이 강하고 가열・충격 및 다른 화학물질과의 접촉 등으로 인하여 격렬하게 분해되거나 반응하는 물질 또는 혼합물이다.

일반적으로 산소 농도가 23.5%를 초과하는 환경부터 산소농도 과잉환경으로 부르고 있으며, 이들 산화제 농도가 높아진 상태에서는 가연성 가스들의 연소범위는 일반 대기 중에서의 범위보다 넓어지게 되며, 또한 자연발화 온도도 낮아지게 되어 화재가 발생할 우려가 상당히 높아진다. 산화제를 사용하는 장소에서는 연소성이 높아지기 때문에 매우 낮은 착화 에너지만으로도 쉽게 연소가 폭발적으로 발생할 수 있으며 평소에는 연소가 잘 되지 않는 금속성 물질도 산화성 물질의 농도가 높은 곳에서는 연소가 잘 일어날 수 있다.

1) 산화성 액체

물질 자체로는 반드시 가연성을 가지지 아니하지만 일반적으로 산소 발생에 의해 다른 물질을 연소시키거나 연소를 촉진하는 액체로서 정의된 혼합물과 비교되는 발화 또는 압력상승 시간에 관한 측정결과에 기초하여 3등급으로 분류하며 구분에 대한 판정기준은 아래와 같다.

<표 1-25> 산화성 액체의 분류기준

구 분	분류기준
1	물질(또는 혼합물)과 셀룰로오스의 중량비 1:1 혼합물로서 시험한 경우에, 자연 발화하거나, 그 평균 압력상승 시간이 50% 과염소산과 셀룰로오스의 중량비 1:1 혼합물의 평균 압력상승 시간 미만인 물질 또는 혼합물
2	물질(또는 혼합물)과 셀룰로오스의 중량비 1:1 혼합물로서 시험한 경우에, 그 평균 압력상승 시간이 염소산나트륨 40% 수용액과 셀룰로오스의 중량비 1:1 혼합물의 평균 압력 상승시간 이하이며, 구분 1에 해당하지 않는 물질 또는 혼합물
3	물질(또는 혼합물)과 셀룰로오스의 중량비 1:1 혼합물로서 시험한 경우에, 그 평균 압력 상승시간이 질산 65% 수용액과 셀룰로오스의 중량비 1:1 혼합물의 평균 압력 상승시간 이하이며, 구분 1 및 2에 해당하지 않는 물질 또는 혼합물

<표 1-26> 산화성 액체의 표시사항

내 용	구분 1	구분 2	구분 3
그림문자			
			
신호어	위험		경고
유해・위험문구	화재 또는 폭발을 일으킬 수 있음; 강산화제 (H271)	화재를 강렬하게 함; 산화제 (H272)	

1.1.14. 산화성 고체

물질 자체로는 연소하지 아니하더라도 일반적으로 산소를 발생시켜 다른 물질을 연소시키거나 연소를 촉진하는 고체로서 평균연소시간을 측정하고 정의된 혼합물과 비교한 결과에 기초하여 3등급으로 분류하며 구분에 대한 판정기준은 아래와 같다.

<표 1-27> 산화성 고체의 분류기준

구 분	분류기준
1	물질(또는 혼합물)과 셀룰로오스의 중량비 4:1 또는 1:1 혼합물로서 시험한 경우에, 그 평균 연소시간이 브롬산칼륨과 셀룰로오스의 중량비 3:2 혼합물의 평균 연소시간 미만인 물질 또는 혼합물
2	물질(또는 혼합물)과 셀룰로오스의 중량비 4:1 또는 1:1 혼합물로서 시험한 경우에, 그 평균 연소시간이 브롬산칼륨과 셀룰로오스의 중량비 2:3 혼합물의 평균 연소시간 이하이며. 구분 1에 해당하지 않는 물질 또는 혼합물
3	물질(또는 혼합물)과 셀룰로오스의 중량비 4:1 또는 1:1 혼합물로서 시험한 경우에, 그 평균 연소시간이 브롬산칼륨과 셀룰로오스의 중량비 3:7 혼합물의 평균 연소시간 이하이며, 구분 1 및 2에 해당하지 않는 물질 또는 혼합물

<표 1-28> 산화성 고체의 표시시항

내 용	구분 1	구분 2	구분 3
그림문자			
			
신호어	위험		경고
유해・위험문구	화재 또는 폭발을 일으킬 수 있음; 강산화제 (H271)	화재를 강렬하게 함; 산화제 (H272)	

1.1.15. 유기과산화물

2가의 -O-O- 구조를 가지고 1개 또는 2개의 수소 원자가 유기 라디칼에 의하여 치환된 과산화수소의 유도체이다. 열역학적으로 불안정한 물질 또는 혼합물로 자기 발열 분해를 일으킬 우려가 있으며 폭발적으로 분해되기 쉽거나 급속히 연소, 충격 또는 마찰에 민감, 다른 물질과 위험한 반응을 하는 등의 특성을 1가지 이상 가진다.

활성산소의 함유율은 기초적인 화학지식을 가지는 자는 쉽게 계산할 수 있다. 과산화수소의 함유율은 의도적으로 첨가한 경우가 아니면, 분석할 필요가 있다. 유기과산화물은 순수물질단량체에 포함되는 것보다는 희석물질과 안정화물질을 첨가하여 제조된 화학제품으로 하여 취급 및 사용하는 경우가 많다.

각각의 조합제품에 대한 시험을 실시하여 A~G형으로 분류하며 구분에 대한 판정기준은 아래와 같다.

과산화수소를 1.0% 수준을 초과하여 포함하고 있지 않으면서 이용 가능한 산소가 1.0% 이하인 물질 또는 유기과산화물이 1.0% 수준을 초과하고 이용가능한 산소가 0.5% 미만이지만 과산화수소가 7.0% 미만인 물질은 유기과산화물 분류에서 제외된다.

<표 1-29> 유기과산화물의 분류기준

구 분	분류기준
1 (형식 A)	포장된 상태에서 폭굉하거나 급속히 폭연하는 유기 과산화물
2 (형식 B)	폭발성을 가지며, 포장된 상태에서 폭굉도 급속한 폭연도 하지 않으나, 그 포장물 내에서 열 폭발을 일으키는 경향을 가지는 유기과산화물
3 (형식 C)	폭발성을 가지며, 포장된 상태에서 폭굉도 급속한 폭연도 열폭발도 일으키지 않는 유기과산화물
4 (형식 D)	실험실 시험에서 다음의 성질과 상태를 나타내는 유기과산화물 ① 폭굉이 부분적이며, 급속히 폭연하지 않고 밀폐상태에서 가열하면 격렬한 반응을 일으키지 않음. 또는, ② 전혀 폭굉하지 않고, 완만하게 폭연하며 밀폐상태에서 가열하면 격렬한 반응을 일으키지 않음. 또는, ③ 전혀 폭굉 또는 폭연하지 않고, 밀폐상태에서 가열하면 중간 정도의 반응을 일으킴
5 (형식 E)	실험실 시험에서 전혀 폭굉도 폭연도 하지 않고, 밀폐상태에서 가열하면 반응이 약하거나 없다고 판단되는 유기과산화물
6 (형식 F)	실험실 시험에서, 공동상태 하에서 폭굉하지 않거나 전혀 폭연하지 않고, 밀폐상태에서 가열하면 반응이 약하거나 없는 또는 폭발력이 약하거나 없다고 판단되는 유기과산화물
7 (형식 G)	실험실 시험에서, 공동상태 하에서 폭굉하지 않거나 전혀 폭연하지 않고, 밀폐상태에서 가열하면 반응이 없거나 폭발력이 없다고 판단되는 유기과산화물. 다만, 열역학적으로 안정하고 (50kg 포장물의 경우 SADT가 60℃ 이상), 액체 혼합물의 경우에는 끓는점이 150℃ 이상인 희석제로 둔화된 경우에만 해당한다. 만약 유기과산화물이 열역학적으로 안정하지 않거나 끓는점이 150℃ 미만의 희석제로 둔화된 경우에는, 그 유기과산화물은 유기과산화물 형식 F로 해야 한다.

<표 1-30> 유기과산화물의 표시사항

내 용	구분 1 (형식 A)	구분 2 (형식 B)	구분 3 및 4 (형식 C 및 D)	구분 5 및 6 (형식 E 및 F)	구분 7 (형식 G)
그림 문자					없음
	폭발성물질과 같음 (동일한 심벌 선택과정을 거침)				
신호어	위험			경고	
유해·위험문구	가열하면 폭발할 수 있음 (H240)	가열하면 화재 또는 폭발을 일으킬 수 있음 (H241)	가열하면 화재를 일으킬 수 있음 (H242)		

1.1.16. 금속성 물질

화학적인 작용으로 금속에 손상 또는 부식을 시키는 물질을 말한다. 부식이란 어떠한 환경 속에 놓인 재료가 화학적 또는 전기화학적으로 퇴화되는 현상을 말한다.

금속부식성은 시험에 기초로 하여 단일 위험성으로 분류하며 55℃의 시험온도에서 강철 또는 알루미늄 표면부식속도가 연간 6.25mm를 넘는 물질을 말한다.

<표 1-31> 금속부식성 물질과 혼합물의 분류기준

구 분	분류기준
1	강철 및 알루미늄 모두에서 시험된 경우, 두 재질 중 어느 하나의 표면 부식속도가 55℃에서 1년간 6.25mm를 넘는 물질

<표 1-32> 금속부식성 물질과 혼합물의 표시사항

내 용	구분 1
그림문자	
	
신호어	경고
유해・위험문구	금속을 부식시킬 수 있음 (H290)

2.1. 건강유해성에 의한 분류

1.2.1. 급성독성

화학물질의 급성독성 분류기준은 아래 <표 1-33>과 같다. 경구, 경피 또는 흡입 노출에 대해 각각 4개의 구분 중 하나로 분류하되, 급성독성 값(LD_{50} , LC_{50} 또는 급성독성 추정치)이 분류기준의 한계 값과 동일한 경우는 해당 구분으로 분류한다.

<표 1-33> 물질에 대한 급성독성 분류기준(한계 값)

구분	노출 경로별 급성독성 값				
	경구 (LD_{50}, mg/kg)	경피 (LD_{50}, mg/kg)	흡입(LC_{50}, 4시간)		
			가스 (ppm)	증기 (mg/L)	분진/미스트 (mg/L)
1	5	50	100	0.5	0.05
2	50	200	500	2.0	0.5
3	300	1,000	2,500	10	1.0
4	2,000	2,000	20,000	20	5

<표 1-34> 용량범위로 산출된 시험 값 또는 급성독성 구분으로부터 변환된 급성독성 추정치

노출경로		구분 또는 시험적으로 얻어진 급성독성 범위	변환된 급성독성 추정치
경구 (mg/kg 체중)		0 < 구분 1 ≤ 5	0.5
		5 < 구분 2 ≤ 50	5
		50 < 구분 3 ≤ 300	100
		300 < 구분 4 ≤ 2000	500
경피 (mg/kg 체중)		0 < 구분 1 ≤ 50	5
		50 < 구분 2 ≤ 200	50
		200 < 구분 3 ≤ 1000	300
		1000 < 구분 4 ≤ 2000	1100
흡입	가스 (ppm)	0 < 구분 1 ≤ 100	10
		100 < 구분 2 ≤ 500	100
		500 < 구분 3 ≤ 2500	700
		2500 < 구분 4 ≤ 20000	4500
	증기 (mg/L)	0 < 구분 1 ≤ 0.5	0.05
		0.5 < 구분 2 ≤ 2.0	0.5
		2.0 < 구분 3 ≤ 10.0	3
		10.0 < 구분 4 ≤ 20.0	11
	분진/미스트 (mg/L)	0 < 구분 1 ≤ 0.05	0.005
		0.05 < 구분 2 ≤ 0.5	0.05
		0.5 < 구분 3 ≤ 1.0	0.5
		1.0 < 구분 4 ≤ 5.0	1.5

<표 1-35> 급성독성의 표시사항

내 용		구분 1	구분 2	구분 3	구분 4
그림문자					
					없음
		*UN Model Regulation : 가스의 경우 숫자 6을 2로 바꾼다.			
신호어		위험			경고
유해·위험 문구	경구	삼키면 치명적임 (H300)		삼키면 유독함 (H301)	삼키면 유해함 (H302)
	경피	피부와 접촉하면 치명적임 (H310)		피부와 접촉하면 유독함 (H311)	피부와 접촉하면 유해함 (H312)
	흡입	흡입하면 치명적임 (H330)		흡입하면 유독함 (H331)	흡입하면 유해함 (H332)

2.2. 피부 부식성/자극성

화학물질의 피부 부식성 또는 피부 자극성 분류기준은 아래 <표 1-36>과 같다.

<표 1-36> 물질에 대한 피부 부식성/자극성 분류기준

구 분	분류기준
1 (피부 부식성)	① 사람 또는 동물에 대한 경험으로부터 피부 부식성이라는 근거가 있는 물질. 또는, ② 구조활성관계 또는 구조특성관계로부터 피부 부식성이라 근거가 있는 물질. 또는, ③ pH 2 이하 또는 pH 11.5 이상인 물질. 또는 ④ 국제적으로 타당성이 검증된 시험관내(in vitro) 피부 부식성 시험결과 양성인 물질. 또는, ⑤ 동물시험(3마리, 최대 4시간 노출 및 14일 관찰 조건)결과 1마리 이상에서 피부 부식성을 일으키는 물질
2 (피부 자극성)	① 사람 또는 동물에 대한 경험으로부터 피부 자극성이라는 근거가 있는 물질. 또는, ② 구조활성관계 또는 구조특성관계로부터 피부 자극성이라는 근거가 있는 물질. 또는, ③ 국제적으로 타당성이 검증된 시험관내(in vitro) 피부 자극성 시험결과 양성인 물질. 또는, ④ 동물시험(3마리, 최대 4시간 노출 조건) 결과 24, 48 및 72시간에 평가하거나, 반응이 지연될 경우에는 피부 반응 발생 후 3일간 연속으로 평가하였을 때 적어도 2마리에서 홍반/괴사딱지 또는 부종의 평균점수가 2.3 이상부터 4.0 이하인 물질 ⑤ 동물시험(3마리, 최대 4시간 노출 조건) 결과 적어도 2마리의 시험동물에서 통상 14일간의 관찰기간 종료까지 염증이 지속되게 하는 물질

<표 1-37> 피부 부식성/자극성의 표시사항

내 용	구분 1	구분 2
그림문자		
		없음
신호어	위험	경고
유해 위험문구	피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴 (H314)	피부에 자극을 일으킴 (H315)

<표 1-38> 흡인 유해성의 표시사항

내 용	구분1	구분2
그림문자		
신호어	위험	경고
유해 위험문구	삼켜서 기도로 유입되면 치명적일 수 있음 (H304)	삼켜서 기도로 유입되면 유해할 수 있음 (H305)

2.3. 심한 눈 손상/눈 자극성

화학물질의 심한 눈 손상 또는 눈 자극성 분류기준은 아래 <표 1-39>와 같다.

<표 1-39> 물질에 대한 심한 눈 손상/눈 자극성 분류기준

구 분	분류기준
1 (심한 눈 손상)	① 사람 또는 동물에 대한 경험으로부터 심한 눈 손상이라는 근거가 있는 물질. 또는, ② 구조활성관계 또는 구조특성관계로부터 심한 눈 손상이라는 근거가 있는 물질. 또는, ③ pH 2이하 또는 pH 11.5이상인 물질. 또는 ④ 국제적으로 타당성이 검증된 시험관내(in vitro) 심한 눈 자극성 시험결과 양성인 물질. 또는, ⑤ 피부 부식성(구분 1)인 물질. 또는 ⑥ 동물시험결과 다음 중 어느 하나에 해당되는 물질 (ⅰ) 최소한 1마리의 동물에서 각막, 홍채 또는 결막에 대한 영향이 회복되지 않을 것이라 예상되거나 일반적으로 관찰기간 21일 내에 완전히 회복되지 않는 경우. 또는, (ⅱ) 시험동물 3마리 중 최소한 2마리에서, 시험물질 주입 후 24, 48 및 72시간에서의 평균 점수로서 계산된 수치가 3이상(각막 혼탁) 또는 1.5 초과(홍채염)인 경우
2 (눈 자극성)	① 사람 또는 동물에 대한 경험으로부터 눈 자극성이라는 근거가 있는 물질. 또는, ② 구조활성관계 또는 구조특성관계로부터 눈 자극성이라는 근거가 있는 물질. 또는, ③ 국제적으로 타당성이 검증된 시험관내(in vitro) 눈 자극성 시험결과 양성인 물질. 또는, ④ 3마리 동물을 이용하는 시험결과 최소한 2마리에서, 시험물질 주입 후 24, 48 및 72시간에서의 평균점수로서 계산된 수치가 1 이상(각막 혼탁 또는 홍채염)이거나 2이상(결막 충혈 또는 결막 부종)으로서 관찰기간 21일 이내에 완전히 회복되는 경우

<표 1-40> 심한 눈 손상/눈 자극성의 표시사항

내 용		구분 1	구분 2
그림문자			
신호어		위험	경고
유해・위험문구		눈에 심한 손상을 일으킴 (H318)	눈에 심한 자극을 일으킴 (H319)
예방 조치문구	예방	P280	P264, P280
	대응	P305+P351+P338 P310	P305+P351+P338 P337+P313
	저장	없음	없음
	폐기	없음	없음

2.4. 호흡기 또는 피부 과민성

화학물질의 호흡기 또는 피부 과민성 분류기준은 아래 <표 1-41>과 같다.

<표 1-41> 물질에 대한 호흡기 또는 피부 과민성 분류기준

구 분	분류기준
1 (호흡기 과민성 물질)	① 사람에 대해 특이적인 호흡기 과민증을 유발할 수 있다는 증거가 있는 물질. 또는 ② 적절한 동물 시험에서 양성인 물질
1 (피부 과민성 물질)	① 다수의 사람에게 피부 접촉에 의해 과민증을 유발할 수 있다는 증거가 있는 물질. 또는 ② 적절한 동물 시험에서 양성인 물질

<표 1-42> 호흡기 또는 피부 과민성의 표시시항

내 용		호흡기 과민성 (구분 1)	피부 과민성 (구분 1)
그림문자			
신호어		위험	경고
유해・위험문구		흡입 시 알레르기성 반응, 천식 또는 호흡 곤란 등을 일으킬 수 있음 (H334)	알레르기성 피부 반응을 일으킬 수 있음 (H317)
예방 조치문구	예방	P261, P285	P261, P272, P280
	대응	P304+P341 P342+P311	P302+P352 P333+P313 P321 P363
	저장	없음	없음
	폐기	P501	P501

2.5. 생식세포 변이원성

화학물질의 생식세포 변이원성 분류기준은 아래 <표 1-43>과 같다.

<표 1-43> 물질에 대한 생식세포 변이원성 분류기준

구 분	분류기준
1	① 사람에 대한 역학조사연구에서 양성인 증거가 있는 물질로, 사람의 생식세포에 유전성 돌연변이를 일으키는 것으로 알려진 물질(구분 1A). 또는, ② 다음에 해당되어 사람의 생식세포에 유전성 돌연변이를 일으키는 것으로 간주되는 물질(구분 1B) (ⅰ) 포유동물을 이용한 유전성 생식세포 변이원성시험에서 양성인 물질. 또는, (ⅱ) 포유동물을 이용한 체세포 변이원성시험에서 양성이고, 생식세포에 돌연변이를 일으킬 수 있다는 증거가 있는 물질. 또는, (ⅲ) 노출된 인간의 정자세포에서 이수체 발생 빈도의 증가와 같이, 사람의 생식세포에 변이원성 영향을 보여주는 시험에서 양성인 물질
2	다음에 해당되어 사람의 생식세포에 유전성 돌연변이를 일으킬 가능성이 있는 물질 (ⅰ) 포유류를 이용한 체세포 변이원성시험에서 양성인 물질. 또는, (ⅱ) 기타 시험동물을 이용한 체세포 유전독성시험에서 양성이고, 시험관내 변이원성 시험에서 의해 추가 입증된 물질. 또는 (ⅲ) 포유류를 세포를 이용한 변이원성시험에서 양성이며, 알려진 생식세포 변이원성 물질과 화학적 구조활성관계를 갖는 물질

<표 1-44> 생식세포 변이원성의 표시사항

내 용		구분 1	구분 2
그림문자			
신호어		위험	경고
유해·위험문구		유전적인 결함을 일으킬 수 있음 (노출되어도 생식세포 유전독성을 일으키지 않는다는 결정적인 증거가 있는 노출경로가 있다면 노출경로 기재) (H340)	유전적인 결함을 일으킬 것으로 의심됨 (노출되어도 생식세포 유전독성을 일으키지 않는다는 결정적인 증거가 있는 노출경로가 있다면 노출경로 기재) (H341)
예방 조치문구	예방	P201, P202, P281	P201, P202, P281
	대응	P308+P313	P308+P313
	저장	P405	P405
	폐기	P501	P501

2.6. 발암성

화학물질의 발암성 분류기준은 아래 <표 1-45>와 같다.

<표 1-45> 물질에 대한 발암성 분류기준

구 분	분류기준
1	① 사람에게 발암성이 있다고 알려져 있는 물질로, 주로 사람에서 충분한 발암성 증거가 있는 물질(구분 1A). 또는, ② 사람에게 발암성이 있다고 추정되는 물질로, 주로 시험동물에서 발암성 증거가 충분한 물질이거나 시험동물과 사람 모두에서 제한된 발암성 증거가 있는 물질(구분 1B)
2	사람에게 발암성이 의심되는 물질로, 주로 사람이나 시험동물에서 제한된 발암성 증거가 있지만 구분 1로 분류하기에는 증거가 충분하지 않은 물질

<표 1-46> 발암성의 표시사항

내 용		구분 1	구분 2
그림문자			
신호어		위험	경고
유해・위험문구		암을 일으킬 수 있음 (노출되어도 암을 일으키지 않는다는 결정적인 증거가 있는 노출경로가 있다면 노출경로 기재) (H350)	암을 일으킬 것으로 의심됨 (노출되어도 암을 일으키지 않는다는 결정적인 증거가 있는 노출경로가 있다면 노출경로 기재) (H351)
예방조치 문구	예방	P201, P202, P281	P201, P202, P281
	대응	P308+P313	P308+P313
	저장	P405	P405
	폐기	P501	P501

2.7. 생식독성

화학물질의 생식독성 분류기준은 아래 <표 1-47>과 같다.

<표 1-47> 물질에 대한 생식독성 분류기준

구 분	분류기준
1	① 사람에게 성적기능, 생식능력이나 발육에 악영향을 주는 것으로 판단할 만한 사람에 대한 증거가 있는 물질(구분 1A). 또는, ② 사람에게 성적기능, 생식능력이나 발육에 악영향을 주는 것으로 추정할 만한 동물시험 증거가 있는 물질(구분 1B)
2	사람에게 성적기능, 생식능력이나 발육에 악영향을 주는 것으로 의심할 만한 사람 또는 동물시험 증거가 있는 물질
추가 구분 (수유에 대한 또는 수유를 통한 영향)	① 흡수, 대사, 분포 및 배설에 대한 연구에서, 해당 물질이 잠재적으로 유독한 수준으로 모유에 존재할 가능성을 보여 주는 물질. 또는, ② 동물에 대한 1세대 또는 2세대 연구결과에서, 모유를 통해 전이되어 자손에게 유해영향을 주거나, 모유의 질에 유해영향을 준다는 명확한 증거가 있는 물질. 또는, ③ 수유기간 동안 아기에게 유해성을 유발한다는 사람에 대한 증거가 있는 물질

<표 1-48> 생식독성의 표시사항

내 용		구분 1	구분 2	추가 구분
그림문자				없음
신호어		위험	경고	없음
유해・위험문구		태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 수 있음 (알려진 특정한 영향을 명시) (노출되어도 생식독성을 일으키지 않는다는 결정적인 증거가 있는 노출경로가 있다면 노출경로를 기재) (H360)	태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 것으로 의심됨 (알려진 특정한 영향을 명시) (노출되어도 생식독성을 일으키지 않는다는 결정적인 증거가 있는 노출경로가 있다면 노출경로를 기재) (H361)	모유를 먹는 아이에 유해할 수 있음 (H362)
예방조치문구	예방	P201 P202 P281	P201 P202 P281	P201 P260 P263 P264 P270
	대응	P308+P313	P308+P313	P308+P313
	저장	P405	P405	없음
	폐기	P501	P501	없음

2.8. 특정 표적장기 독성-1회 노출

화학물질의 특정 표적장기 독성-1회 노출 분류기준은 아래 <표 1-49>와 같다.

<표 1-49> 물질에 대한 특정 표적장기 독성-1회 노출 분류기준

구 분	분류기준
1	① 사람에 대한 사례연구 또는 역학조사로부터 1회 노출에 의해 사람에게 중대한 독성을 일으킨다는 신뢰성 있고 양질의 증거가 있는 물질. 또는, ② 실험동물을 이용한 적절한 시험으로부터 일반적으로 낮은 수준의 노출 농도에서 사람의 건강과 관련된 중대한 또는 강한 독성영향을 일으켰다는 소견에 기초하여, 1회 노출에 의해 사람에게 중대한 독성을 일으킬 가능성이 있다고 추정되는 물질
2	실험동물을 이용한 적절한 시험으로부터 상대적으로 보통 수준의 노출 농도에서 사람의 건강과 관련된 중대한 독성 영향을 일으켰다는 소견에 기초하여, 1회 노출에 의해 사람의 건강에 유해를 일으킬 가능성이 있다고 추정되는 물질
3	노출 후에 짧은 기간 동안 사람의 기능을 유해하게 변화시키고, 구조 또는 기능에 중대한 변화를 남기지 않고 적당한 기간에 회복하는 영향으로, 마취 영향 또는 호흡기도 자극성을 일으키는 물질

<표 1-50> 특정 표적장기 독성-1회 노출의 표시사항

내 용		구분 1	구분 2	구분 3
그림문자				
신호어		위험	경고	경고
유해·위험문구		장기(또는, 영향을 받은 알려진 모든 장기를 명시)에 손상을 일으킴(노출되어도 특정 표적장기 독성을 일으키지 않는다는 결정적인 증거가 있는 노출경로가 있다면 노출경로를 기재) (H370)	장기(또는, 영향을 받은 알려진 모든 장기를 명시)에 손상을 일으킬 수 있음(노출되어도 특정 표적장기 독성을 일으키지 않는다는 결정적인 증거가 있는 노출경로가 있다면 노출경로를 기재) (H371)	호흡 자극성을 일으킬 수 있음 (H335) 또는, 졸음 또는 현기증을 일으킬 수 있음 (H336)
예방조치문구	예방	P260, P264, P270		P261, P271
	대응	P307+P311 P321	P309+P311	P304+P340 P312
	저장	P405	P405	P403+P233 P405
	폐기	P501	P501	P501

2.9. 특정 표적장기 독성-반복 노출

화학물질의 특정 표적장기 독성-반복 노출 분류기준은 아래 <표 1-51>과 같다.

<표 1-51> 물질에 대한 특정 표적장기 독성-반복 노출 분류기준

구 분	분류기준
1	① 사람에 대한 사례연구 또는 역학조사로부터 반복 노출에 의해 사람에게 중대한 독성을 일으킨다는 신뢰성 있고 양질의 증거가 있는 물질. 또는, ② 실험동물을 이용한 적절한 시험으로부터 일반적으로 낮은 수준의 노출 농도에서 사람의 건강과 관련된 중대한 또는 강한 독성영향을 일으켰다는 소견에 기초하여, 반복 노출에 의해 사람에게 중대한 독성을 일으킬 가능성이 있다고 추정되는 물질
2	실험동물을 이용한 적절한 시험으로부터 상대적으로 보통 수준의 노출 농도에서 사람의 건강과 관련된 중대한 독성 영향을 일으켰다는 소견에 기초하여, 반복 노출에 의해 사람의 건강에 유해를 일으킬 가능성이 있다고 추정되는 물질

<표 1-52> 특정 표적장기 독성-반복 노출의 표시사항

내 용		구분 1	구분 2
그림문자			
신호어		위험	경고
유해・위험문구		장기간 또는 반복 노출되면 장기(또는, 영향을 받은 알려진 모든 장기를 명시)에 손상을 일으킴 (노출되어도 특정 표적장기 독성을 일으키지 않는다는 결정적인 증거가 있는 노출경로가 있다면 노출경로를 기재) (H372)	장기간 또는 반복 노출되면 장기(또는, 영향을 받은 알려진 모든 장기를 명시)에 손상을 일으킬 수 있음 (노출되어도 특정 표적장기 독성을 일으키지 않는다는 결정적인 증거가 있는 노출경로가 있다면 노출경로를 기재) (H373)
예방 조치문구	예방	P260, P264, P270	P260
	대응	P314	P314
	저장	없음	없음
	폐기	P501	P501

2.10. 흡인 유해성

화학물질의 흡인 유해성 분류기준은 아래 <표 1-53>과 같다.

<표 1-53> 물질에 대한 흡인 유해성 분류기준

구 분	분류기준
1	(a) 사람에게 흡인 유해성을 일으키는 것으로 알려진 물질. 또는 (b) 동점도가 20.5㎟/s(40℃) 이하인 탄화수소
2	동점도가 14㎟/s(40℃) 이하인 물질로, 기존의 동물시험결과와 표면장력, 수용해도, 끓는 점 및 휘발성으로 보아 흡인 유해성을 일으키는 것으로 추정되는 물질

<표 1-54> 흡인 유해성의 표시사항

내 용		구분1	구분2
그림문자			
신호어		위험	경고
유해・위험문구		삼켜서 기도로 유입되면 치명적일 수 있음 (H304)	삼켜서 기도로 유입되면 유해할 수 있음 (H305)
예방조치문구	예방	없음	없음
	대응	P301+P310, P331	P301+P310, P331
	저장	P405	P405
	폐기	P501	P501

3.1. 수생환경 유해성

화학물질의 수생환경 유해성에 분류기준 <표 1-55>와 같다.

<표 1-55> 물질에 대한 수생환경 유해성(급성, 만성) 분류기준

구 분	분류기준
급성 1	급성 수생생태독성이 다음에 해당되는 물질 ① 어류에 대한 LC_{50}(96hr)이 1 ㎎/L 이하. 또는, ② 갑각류에 대한 EC_{50}(48hr)이 1 ㎎/L 이하. 또는, ③ 조류 또는 기타 수생식물에 대한 ErC_{50}(72 또는 96hr)이 1 ㎎/L 이하
만성 1	만성 수생생태독성이 다음 ① 또는 ②에 해당되거나, 급성 수생생태독성이 다음 ③에 해당되는 물질 ① 빠르게 분해되지 않으며 다음에 해당되는 물질 ⓐ 어류에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.1 ㎎/L 이하. 또는, ⓑ 갑각류에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.1 ㎎/L 이하. 또는, ⓒ 조류 또는 기타 수생식물에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.1 ㎎/L 이하 ② 빠르게 분해되며 다음에 해당되는 물질 ⓐ 어류에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.01 ㎎/L 이하. 또는, ⓑ 갑각류에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.01 ㎎/L 이하. 또는, ⓒ 조류 또는 기타 수생식물에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.01 ㎎/L 이하 ③ 빠르게 분해되지 않거나 시험적으로 결정된 생물농축계수(BCF)가 500이상(BCF가 없다면 log Kow가 4이상)으로 다음에 해당되는 물질(만성 수생생태독성 자료가 없는 경우) ⓐ 어류에 대한 LC_{50}(96hr)이 1 ㎎/L 이하. 또는, ⓑ 갑각류에 대한 EC_{50}(48hr)이 1 ㎎/L 이하. 또는, ⓒ 조류 또는 기타 수생식물에 대한 ErC_{50}(72 또는 96hr)이 1 ㎎/L 이하
만성 2	만성 수생생태독성이 다음 ① 또는 ②에 해당되거나, 급성 수생생태독성이 다음 ③에 해당되는 물질 ① 빠르게 분해되지 않으며 다음에 해당되는 물질 ⓐ 어류에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.1 ㎎/L 초과 1 ㎎/L 이하. 또는, ⓑ 갑각류에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.1 ㎎/L 초과 1 ㎎/L 이하. 또는, ⓒ 조류 또는 기타 수생식물에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.1 ㎎/L 초과 1 ㎎/L 이하. ② 빠르게 분해되며 다음에 해당되는 물질 ⓐ 어류에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.01 ㎎/L 초과 0.1 ㎎/L 이하. 또는, ⓑ 갑각류에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.01 ㎎/L 초과 0.1 ㎎/L 이하. 또는, ⓒ 조류 또는 기타 수생식물에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.01 ㎎/L 초과 0.1 ㎎/L 이하 ③ 빠르게 분해되지 않거나 시험적으로 결정된 생물농축계수(BCF)가 500이상(BCF가 없다면 log Kow가 4이상)으로 다음에 해당되는 물질(만성 수생생태독성 자료가 없는 경우) ⓐ 어류에 대한 LC_{50}(96hr)이 1 ㎎/L 초과 10 ㎎/L 이하. 또는, ⓑ 갑각류에 대한 EC_{50}(48hr)이 1 ㎎/L 초과 10 ㎎/L 이하. 또는, ⓒ 조류 또는 기타 수생식물에 대한 ErC_{50}(72 또는 96hr)이 1 ㎎/L 초과 10 ㎎/L 이하
만성 3	만성 수생생태독성이 다음 ①에 해당되거나, 급성 수생생태독성이 다음 ②에 해당되는 물질 ① 빠르게 분해되며 다음에 해당되는 물질

구 분	분류기준
	ⓐ 어류에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.1 ㎎/L 초과 1 ㎎/L 이하. 또는, ⓑ 갑각류에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.1 ㎎/L 초과 1 ㎎/L 이하. 또는, ⓒ 조류 또는 기타 수생식물에 대한 NOEC 또는 ECx이 0.1 ㎎/L 초과 1 ㎎/L 이하 ② 빠르게 분해되지 않거나 시험적으로 결정된 생물농축계수(BCF)가 500이상(BCF가 없다면 log Kow가 4이상)으로 다음에 해당되는 물질(만성 수생생태독성 자료가 없는 경우) ⓐ 어류에 대한 LC_{50}(96hr)이 10㎎/L 초과 100 ㎎/L 이하. 또는, ⓑ 갑각류에 대한 EC_{50}(48hr)이 10 ㎎/L 초과 100 ㎎/L 이하. 또는, ⓒ 조류 또는 기타 수생식물에 대한 ErC_{50}(72 또는 96hr)이 10 ㎎/L 초과 100 ㎎/L 이하
만성 4	수용해도 한계까지 급성독성이 없는 난용성 물질로서 다음에 해당하는 물질. 다만, 시험적으로 결정된 생물농축계수(BCF)가 500 미만 또는 만성독성 NOEC가 1㎎/L 초과인 경우는 제외 ① 물질이 빠르게 분해되지 않음. 그리고, ② 옥탄올물분배계수(log Kow)가 4 이상

<표 1-56> 수생환경 유해성의 표시사항

내 용	급성	만성			
	구분 1	구분1	구분 2	구분 3	구분 4
그림문자				없음	
신호어	경고		없음		
유해·위험 문구	수생생물에 매우 유독함 (H400)	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함 (H410)	장기적 영향에 의해 수생생물에 유독함 (H411)	장기적 영향에 의해 수생생물에 유해함 (H412)	장기적 영향에 의해 수생생물에 유해의 우려가 있음 (H413)

3.2. 오존층 유해성

화학물질의 오존층 유해성 분류기준은 아래 <표 1-57>과 같다.

<표 1-57> 물질에 대한 오존층 유해성 분류기준

구 분	분류기준
1	몬트리올 의정서의 부속서에 등재된 모든 관리대상 물질

<표 1-58> 오존층 유해성의 표시사항

내 용	구분 1
그림문자	
신호어	경고
유해・위험문구	대기 상층부의 오존층을 파괴하여 공공의 건강 및 환경에 유해함 (H420)

2 사고대비물질

화학물질 중에서 급성독성 · 폭발성 등이 강하여 화학사고의 발생 가능성이 높거나 화학사고가 발생한 경우에 그 피해 규모가 클 것으로 우려되는 화학물질로써 화학사고 대비가 필요하다고 인정하여 화학물질관리법 제39조에 따라 환경부장관이 지정 · 고시하는 물질로 정의한다.

사고대비물질은 인화성, 폭발성 및 반응성, 유출 · 누출 가능성 등 물리적 · 화학적 위험성이 높은 물질과 경구 투입, 흡입 또는 피부에 노출될 경우 급성독성이 큰 물질 또는 국제기구 및 국제협약 등에서 사람의 건강 및 환경에 위해를 미칠 수 있다고 판명된 물질, 그 밖에 화학사고 발생의 우려가 높아 특별한 관리가 필요하다고 인정되는 물질로서 화학물질관리법 시행규칙 별표10에 의해 69종이 지정 · 고시 되어있다.

제2장

사고대비물질 위험성 및 안전관리 가이드라인

제1절 사고대비물질의 위험성

1. 물리화학적 특성에 의한 위험성
2. 독성에 의한 위험성

제2절 사고대비물질 군별 안전관리 가이드라인

1. 물리화학적 특성에 따른 물질 군별 안전 가이드라인
2. 독성에 따른 물질 군별 안전 가이드라인

제3절 사고대비물질의 용도 및 노출경로에 따른 인체유해성

제2장 사고대비물질 위험성 및 안전관리 가이드라인

제1절 사고대비물질의 위험성

1 물리화학적 특성에 의한 위험성

1.1. 인화성 물질의 위험성

인화성 물질은 어느 것이라도 인화점을 가지고, 화기 등에 의한 위험성이 높다. 인화 위험성은 인화점이 낮은 물질이 대개 높고, 인화점이 높은 물질이 낮다. 액체의 경우 비중이 1보다 적은(물보다 가볍다)것이 많다. 액체에서 증발한 증기의 비중은 1보다 큰(공기보다 무겁다) 것이 많으며, 증기밀도의 값이 공기보다 무거운 경우 누출된 증기는 바닥으로 확산되므로 바닥이나 지하에 정체되지 않도록 하여야 한다. 화학물질의 누출을 감지하기 위하여 가스감지기를 설치하는 경우, 증기밀도를 참조하여 가스감지기의 설치위치를 결정하는 것이 바람직하다. 일반적으로 전기부도체로 정전기의 축전이 쉽고, 정전기의 방전에 따라서 인화할 수 있다. 액체 및 기체는 유동성이 높고, 화재가 났을 경우에 확산하는 위험이 있다.

1.1.1. 인화성 가스

- 열, 스파크, 불꽃에 의해 쉽게 발화한다.
- 공기와 섞여 폭발성 혼합물을 형성한다.
- 액화가스의 증기는 공기보다 무거워 지면을 타고 확산된다.

  * 수소, 중수소, 냉장 액화수소와 메탄은 공기보다 가벼워 위로 뜨게 된다. 특히 수소와 중수소 화재의 경우 눈에 보이지 않는불꽃을 내며 연소하므로 식별하기가 어렵다. 이 경우 열화상 카메라나 빗자루를 이용하여 식별하도록 한다.

- 증기가 점화원으로 이동하여 역인화 될 수 있다.
- 일부물질들은 물이나 공기와 격렬히 반응할 수 있다.

1.1.2. 인화성 액체

- 고인화성으로 열, 스파크, 불꽃에 의해 쉽게 점화된다.
- 증기는 공기와 섞여 폭발성 혼합물을 형성할 수 있다.
- 증기가 점화원으로 이동하여 역인화 될 수 있다.
- 실내외 또는 하수구에서 증기폭발위험이 있다.
- 화재에 사용된 물이 하수구로 유입되면 화재나 폭발위험이 발생할 수 있다.
- 많은 액체들이 물보다 가볍다.

1.1.3. 인화성 고체

- 인화성/가연성 물질
- 마찰, 열, 스파크 또는 불꽃에 의해 점화될 수 있다.
- 일부는 섬광연소효과를 일으키며 급격히 연소할 수 있다.
- 분말, 분진 및 기타(천공, 선반, 절삭 등) 부스러기는 폭발하거나 매우 격렬하게 연소할 수 있다.
- 물질은 인화점 이상의 온도에서 용융된 상태로 운반될 수 있다.

- 소화된 후에도 재발화 할 수 있다.
- 금속과 접촉 시 인화성 수소가스가 생성될 수 있다.

1.2. 폭발성 물질의 위험성

가열, 마찰, 충격 또는 다른 화학물질과의 접촉 등으로 인하여 산소나 산화제의 공급이 없어도 폭발 등 격렬한 반응을 일으킬 수 있는 고체나 액체물질이다. 폭발성 물질은 일반적으로 가연성 물질임과 동시에 산소함유물질이라고 할 수 있으며 스스로 산소를 소비하면서 연소한다. 다른 가연성과는 틀려서 연소가 대단히 급속히 진행되며 폭발적이다.

이러한 이유로 가연물과 산소공급원이 공존하고 있는 상태로서, 발화원을 제공하면 위험하며, 가열은 물론 충격, 마찰이나 다른 약품과의 접촉도 삼가야한다. 이러한 물질은 불이 붙으면 폭발할 수 있으며, 파편이 1,600m 이상 날아갈 수 있다.

1.3. 반응성 물질의 위험성

반응성 물질은 외부로부터 공기 중의 산소공급 없이도 가열, 충격 등에 의해 발열 분해를 일으켜 급속한 가스의 발생이나 연소폭발을 일으키는 물질이다. 비교적 저온에서 열분해가 일어나는 것이 많은 까닭에 불안전한 위험성이 높은 물질이다.

- 유기과산화물 : 불안정하며 무기과산화물류 보다 더 위험하다. 산소원자 사이의 결합이 약하기 때문에 가열, 충격, 마찰에 의해 분해된다. 분해된 산소에 의해 강한 산화작용을 일으켜 폭발을 일으키기 쉽다.
- 질산에스테르류 : 분자내부에 산소를 함유하고 있어 불안정하며 분해가 용이하다. 가열, 마찰, 충격으로 폭발이 쉬우며 격렬히 연소, 폭발하여 폭약의 원료로 많이 사용된다.
- 니트로화합물 : 니트로기가 많을수록 연소하기 쉽고 폭발력도 커진다. 공기 중 자연발화 위험은 없으나 가열, 충격, 마찰에 위험하다. 연소 시 CO, N_2O등 유독가스가 다량 발생하므로 주의하여야 한다.
- 니트로소화합물 : 산소를 함유하고 있는 자기연소성, 폭발성 물질이다. 대부분 불안정하며 연소속도가 빠르고 가열, 마찰, 충격에 의해 폭발의 위험이 있다.

- 물반응성 물질 : 물과 반응하여 가연성 가스를 발생한다. 일부 물질은 공기 중에 누출되면 자연발화를 일으키며 물과의 접촉에 의해 발화한다. 또한 일부 물질은 물과 반응할 때 점화원이 될 수 있는 열을 발생시킨다. 가열되거나 강산화성 물질 또는 강산류와의 접촉에 의하여 위험성이 현저히 증가하고 물과의 반응으로 생긴 부식성 물질은 발열하는 것도 있다. 화재에 사용된 물은 화재나 폭발위험을 발생할 수 있다.

1.4. 부식성 물질의 위험성

부식이란 금속이나 기타 재료가 주위 환경과 반응하여 본래의 기능을 발휘하지 못하고 그 성질이 악화되는 현상을 말한다.

부식성 물질은 인화성물질 다음으로 널리 쓰이는 위험물이며 주로 금속과 인체 피부 조직에 손상을 준다. 대표적인 것은 황산과 그 복합물로서 광범위한 산업 분야에서 쓰이고 있다. 강재는 물 및 산소의 존재 하에서 부식하여 녹으로 전환되는데 염분, 산성 물질 등 부식성 물질이 접촉되면 부식반응은 더욱 촉진된다.

부식은 크게 나누어 건식과 습식이 있으며 건식은 금속표면에 액체인 물의 작용 없이 일어나는 부식이며, 일반적으로 고온산화, 고온의 부식성 가스에 의해 일어나고 습식은 액체인 물 또는 전해질 용액에 접하여 발생되는 부식으로 전기화학적인 기구에 의한 것으로 알려져 있다.

- 전면부식 : 관찰면적의 95% 이상이 연속적으로 부식당한 것으로써 하나의 부식 크기가 95cm^2이상이라고 할 수 있는 경우이다.
- 부분부식 : 전면이라고는 할 수 없으나 관찰기준면 중의 약 40~94% 정도가 연속적으로 부식당하고 있는 경우를 말한다.
- 국부부식 : 부분부식에 비해 더욱 국부적인 부식이며 하나의 부식부의 크기가 관찰기준면의 40% 미만의 넓이가 작은 부식이 한 개 또는 몇 개 있는 경우이며 더욱이 부식부 한 개의 넓이가 침식 깊이의 약 6배 이상인 경우를 말한다.
- 식공부식 : 더욱 부식부의 단위가 작아져서 부식부 한 개의 넓이가 침식깊이의 6배미만의 소위 구멍이라고 하는 부식공이 한 개 또는 수 개 있는 경우를 말한다.
- 균열부식 : 재료표면의 개구부가 아주 좁고, 소위 균열이라고 하는 평면적으로는 선상으로 뻗는 부식을 말한다.

- 금속표면이 산화 등에 의해 취화되는 증상으로 박리되어가는 부식 화학약품 중 산, 알칼리, 염 등이 대표적인 부식성 물질이며 이러한 부식현상에 의해 금속 표면 두께의 1%가 녹으로 변할 경우 강도는 5~10% 줄어들게 된다. 이러한 부식은 모든 화학공장에서 크건 작건 간에 공통적인 문제점이 되고 있다. 부식 생성물에 의한 제품의 오염, 부식부위를 통한 원료 및 제품의 유실 등으로 부식은 해당공장의 경제적 손실을 초래하기도, 심할 경우에는 화재, 폭발, 유독성 물질의 누출, 구조물의 붕괴원인으로 작용한다.

또한 부식성 물질은 흡입이나 피부 접촉 시 소화기관, 피부와 눈에 심한 화상을 입히는 등 심한 상해나 사망을 초래할 수 있으며 화재진압 또는 희석을 위해 사용된 물이 부식성을 띄어 환경오염을 일으킬 수 있다.

1.5. 산화성 물질의 위험성

대표적 성질은 산화성 액체(Oxidizing Liquid)이다. 모두 무기화합물이며 물보다 무겁고 물에 녹기 쉽다. 과산화수소를 제외하고 강산성 물질이며 수용액도 강산작용을 나타낸다. 모두 산소를 함유하고 있으며 다른 물질을 산화시키나 자신들은 모두 불연성 물질이다.

과산화수소를 제외하고 분해하여 유독성 가스를 발생하며 부식성이 강하여 피부에 침투한다. 증기 또한 유독하여 피부 접촉 시 점막을 강하게 부식시킨다. 소화용수도 산성으로 변하므로 소화 작업 시에는 방호의 및 공기호흡기 등의 보호장구를 착용한다.

산화성 물질은 자신은 불연성 물질이지만 강력한 산화제로 가열하면 O_2를 발생한다. 따라서 다른 가연성 물질을 착화, 연소시키는 지연성이 크다. 발화성 물질, 인화성 액체 강환원제, 일반 가연물과 혼합한 것은 직접 혼촉 발화하거나 가열 등에 의해 위험한 상태로 변한다.

가열되거나 다른 산화성 물질과 혼합 시 산화성이 현저하게 증가한다. 과산화수소를 제외하고 물과 접촉하여 심하게 발열한다. 또한 염기와 작용하여 염과 물을 만드는데 이때 발열한다.

H_2O_2를 제외하고 모두 강산에 속하는데 이들의 상대적인 산의 세기는 $HNO_3 < H_2SO_4 < HClO_4$ 이다.

2 독성에 의한 위험성

독성물질에 노출되면 질식(산소 결핍 또는 단순 질식, 폐색성 질식, 화학성 질식)이나 눈 장해, 이비인후(귀, 코, 목)장해, 구강 장해, 호흡기 등의 장해, 혈액계 장해, 정신 · 신경계 장해, 간 장해 등을 초래할 수 있다.

2.1. 경구독성에 의한 위험성

삼키면 인체에 유해하거나 유독한 영향을 주는 액체나 고체상의 물질이다. 소화기를 통해 유입이 되므로 강산이나 강염기에 의한 소화기 손상을 입을 수 있다. 치명적 독성물질이 아닌 경우에는 응급조치가 가능하므로 다른 노출경로에 비해 상대적으로 덜 중요하다.

경구를 통한 노출의 경우 식도/위장관의 자극, 화상, 구토, 쇼크, 저혈압, 비정상적 맥박, 복강 천공, 신장/폐 감염 등의 증상이 발현할 수 있다.

2.2. 경피독성에 의한 위험성

기체, 액체, 고체상으로 이루어지며 피부가 주요한 노출경로이다. 화학물질에 노출되었을 때 나타나는 피부반응은 다양하다. 일단 한번 감작(sensitization)이 되면 적은 농도에 노출되어도 반응이 나타나게 된다.

부식성 화학물질은 피부와 접촉한 부위에서 화학작용에 의해 조직에 비가역적인 변화를 가져오거나 가시적인 조직손상(파괴)을 일으킨다. 급성독성은 부식성 화학물질에 의한 피부와 눈에 조직손상이나 화상, 혈액 내 흡수에 의한 치명적 손상을 일으킨다. 자극성물질은 피부접촉 부위에서 화학작용으로 조직에 가역적인 염증을 일으킨다. 부식작용은 없으나 신체에서 가장 민감한 부위인 눈과 피부에 작용하여 탈지 작용을 일으킬 수 있다. 어떤 자극성 물질은 체액에 녹고 세포막을 손상시킨다.

감작물질에 반복적으로 노출되면 노출된 사람 또는 동물의 상당수의 정상조직에서 알레르기 반응이 일어나며 호흡기와 피부 면역체계에 영향을 준다. 호흡기가 감작되면 천식과 같은 증상이 일어날 수 있으며, 피부가 감작되면 두드러기, 발적, 반점, 부종이 나타난다.

2.3. 흡입독성에 의한 위험성

흡입독성은 주로 호흡기 노출을 통한 영향으로 가스, 증기, 용해성 분진이 폐에 있는 체액에 녹아 질식이나 중독현상을 일으킨다.

증기 또는 분진의 흡입 시 극심한 자극을 느끼게 되며 기침, 호흡곤란, 현기증, 두통, 호흡기자극 및 메스꺼움, 무기력증이나 급성 폐 손상을 일으킬 수 있다.

제2절 사고대비물질 군별 안전관리 가이드라인

1 물리화학적 특성에 따른 물질 군별 안전 가이드라인

1.1. 인화성 물질의 안전 가이드라인

- 불꽃, 스파크, 고온체 등과의 접근 또는 과열을 피한다.
- 용기는 완전 밀폐해서 차가운 장소에 저장한다.
- 취급함에 있어서 증기의 발생이 있는 경우에는 가연성 증기가 낮은 곳에 체류함으로 충분한 통풍, 환기를 실시한다.
- 가연성 증기가 체류하는 장소에서는 스파크를 발생하는 기계 · 기구 등의 사용을 제한한다.
- 전기설비는 방폭구조를 사용한다.
- 위험물질의 유동, 그 외에 의한 정전기가 발생하는 경우에는 접지 등을 하여 정전기를 제거한다.
- 유독성 증기 발생에 주의한다.
- 밀폐 공간(지하실, 탱크, Box 등)에서 용접작업 전 인화성물질, 가연성가스, 증기 등 위험물질을 제거한 후 작업한다.

- 용접작업 시 용접불꽃 및 불똥이 유기용제, 가연성물질 등에 인화되어 화재가 발생되지 않도록 조치한다.
- 용접 · 용단 또는 가열에 사용되는 가스 등의 적절한 용기 취급, 서로 다른 물질끼리의 접촉을 통해 발화나 폭발할 위험이 없도록 조치한다.
- 지하실, 탱크, 피트, 맨홀 등 환기가 충분히 되지 않는 장소에서 작업 시 외부와의 연락장치, 비상용 사다리, 개인용보호구, 구명로프 등 긴급사태에 대비할 수 있는 조치한다.
- 화재 · 폭발 위험이 있는 장소에 화기금지, 흡연금지, 인화성물질 경고 등의 표지판 설치 및 출입금지 조치한다.
- 작업 장소에 소화기 등 적절한 소화설비를 설치한다.
- 가연성가스가 발생할 우려가 있는 지하작업장 작업 또는 가스도관에서 가스발산위험이 있는 장소에서 작업 시 가스농도측정 조치한다.

1.2. 폭발성 물질의 안전 가이드라인

- 화기나 불꽃, 아크 및 고열체 등에 접근되지 않도록 하고 가열, 마찰 또는 충격을 주지 않도록 한다.
- 용기는 완전 밀폐해서 차가운 장소에 저장한다.
- 가급적 소분하여 저장하고 용기의 파손 및 위험물의 누출을 방지한다.
- 폭발하한계 이하의 농도를 유지하기 위해 물질의 증기, 가스나 가연성분진이 한곳에 체류하지 않도록 통풍, 환기 및 제진 등의 조치를 강구한다.
- 물질의 증기 또는 가연성 가스의 체류가 쉬운 곳, 풍향 · 풍속 · 비중 등을 고려하여 누출감지기 위치를 선정하고 경보기는 작업자가 상주하는 곳에 설치한다. 이때 경보 설정값은 LEL 25%이하로 설정한다.
- 가연성 분진은 분진의 직경이 420㎛이하로 연소하한계는 분진의 크기 및 분포에 따라 다르나 대략 20~60g/㎥ 이상이 되어야 분진폭발이 일어날 쑤 있고 분진 취급설비는 부유농도를 대략 100mJ 정도의 점화에너지, 산소가 있어야 분진 폭발이 일어날 수 있으므로 분진이 누출, 누적되지 않도록 밀폐구조로 설치하고, 금속이 들어가면 취급 시 스파크의 발생을 방지하기 위하여 금속 분리장치 또는 금속감지경보장치를 설치한다.

- 분진폭발을 예방하기 위해 불활성가스 봉입, 정지, 금속분리장치 등의 설비를 설치한다.
- 분진폭발로 인한 내부압력 상승 시 분진 및 연소물을 설비 외로 배출시키는 폭발압력 방산구, 분진점화를 감지하는 즉시 적절한 소화용제를 분사시키는 폭발억제 장치를 설치한다.
- 폭발의 방지를 위해 용기 내부에 남아있는 물질을 제거하고 빈 용기를 질소, 탄산가스 등의 불활성 가스로서 치환, 물을 주입시킨 후 물을 빼는 방법으로 내부물질을 완전히 제거해야 한다.
- 공기 중에 산소농도가 높으면 작업복이나 기타 가연성 물질 등의 착화가 용이할 뿐 아니라 급격한 연소가 일어나기 때문에 이로 인하여 화상을 입을 위험이 있으므로 좁은 공간 등 충분한 환기가 이루어지지 못하는 장소에서 환기나 통풍을 위하여 산소를 사용하여서는 안 된다.
- 폭발의 위험이 있는 장소에는 화기의 사용을 금지하는 표시를 하고 관계자외의 출입을 금지시킨다.

1.3. 반응성 물질의 안전 가이드라인

자기반응성 물질은 사전에 충분한 시험평가를 실시하고 그 성질에 따른 엄격한 안전관리가 이루어져야 한다.

- 화염, 불꽃 등의 점화원의 엄금, 가열, 충격, 타격, 마찰 등을 피한다.
- 직사광선 차단, 습도에 주의하고 통풍이 양호한 찬 곳에 저장한다.
- 강산화제, 강산류, 기타물질이 혼입되지 않도록 한다.
- 가급적 소분하여 저장하고 용기의 파손 및 위험물의 누출을 방지 한다.
- 화약류의 기폭제 원료로 사용되는 미세한 분말상태의 것은 정전기에 의해서도 폭발의 우려가 있으므로 완전한 접지 등 철저한 안전대책을 강구하고 전기기구는 방폭 조치한다.
- 도난방지 등의 보안에도 주의하여야 한다.
- 다른 위험물과는 동일한 위험물 저장소에 함께 저장하지 않도록 한다.

물반응성 물질은 보통 실온에서 저장하되 물반응성 물질이 들어있는 드럼이나 용기는 건조하고 내화시설이 되어있는 저장실이나 건물에 저장하여야 한다.

- 물과 접촉 시 반응하여 가연성 가스를 발생시키는 물질은 물 또는 수분과의 접촉을 원천적으로 차단한다.
- 건물은 빗물이 스며들지 않고 지하수가 침투하지 않는 저장지역에 보관한다.
- 저장지역에는 물이나 수증기 배관이 지나가서는 안 되며, 스프링클러 소화설비를 사용해서도 안 된다.
- 저장실에는 내용물이 들어있는 용기뿐만 아니라 빈 용기도 저장하고, 모든 용기는 미끄럼 방지 장치가 설치되어 있어야 한다.

1.4. 부식성 물질의 안전 가이드라인

- 부식성물질이 접촉하는 부분에는 폭발이나 화재를 방지하기 위해 취급하는 물질의 종류, 온도, 농도 등을 고려하여 내식성이 있는 재료로 제작하거나 내식성이 있는 재료로 내부를 라이닝하거나 또는 방식도료를 도포하는 등의 조치를 한다.
- 부식성 액체를 압송하는 호스 및 그 접속용구는 해당 물질에 대해 내식성 · 내열성 및 내한성을 가진 것을 사용한다.
- 부식성물질을 사용하는 설비는 매일 사용 전에 점검하고 손상 · 부식 등의 결함에 의하여 부식성 액체가 비산하거나 누설될 위험이 있는 때에는 이를 교환한다.
- 부식성 물질은 인체노출 시 심각한 영향을 야기할 수 있으므로 취급 시 보호의, 보호장갑, 내식성안전화, 안면보호구를 착용한다.
- 취급 장소에는 응급조치를 위한 세안, 세척설비를 설치한다.

1.5. 산화성 물질의 안전 가이드라인

- 화기 및 분해를 촉진하는 물품 엄금, 직사광선 차단, 가열을 피하고 강환원제, 유지물질, 가연성 물질과의 접촉을 피한다.
- 염기 및 물과의 접촉을 피한다.
- 용기는 내산성의 것을 사용하고 용기의 파손방지, 전도방지, 용기 변형 방지에 주의한다.
- 강산화성 고체와의 혼합, 접촉을 방지한다.

- 유별을 달리하는 위험물과는 동일한 위험물저장소 내에서 저장하여서는 안 된다.
- 산화성 물질을 취급할 때는 분해를 촉진하는 물질과 접촉되지 않도록 하고 가열되지 않도록 해야 하며 마찰 충격 등이 없도록 해야 한다.
- 용기는 완전 밀폐해서 환기가 잘 되는 냉암소에 저장한다.
- 수납용기의 파손을 방지하고 내용물이 유출되지 않도록 한다.
- 조해성이 있는 것은 방습을 고려해 용기를 밀폐하여 보관한다.
- 취급 장소에는 응급조치를 위한 세안, 세척설비를 설치한다.
- 강산화제는 매우 적은 양으로 강렬한 폭발을 일으킬 수 있으므로 방호복, 고무장갑, 보안경 및 보안면 같은 보호구를 착용하고 취급하여야 한다.

2 독성에 따른 물질 군별 안전 가이드라인

2.1. 경구독성물질의 안전 가이드라인

- 유기용제 취급 작업장 내에서는 흡연을 하거나 음식물을 먹지 않는다.
- 독성물질 취급시 제품의 성분과 유해 · 위험성을 확인할 수 있도록 용기에 제품명, 신호어, 그림문자, 유해위험문구, 예방조치문구가 표시된 라벨을 부착한다.
- 독성물질을 손으로 운반할 경우 적절한 운반용기에 넣고 운반하여 넘어지거나 깨지지 않도록 하여야 한다.
- 독성물질을 취급할 때는 체내에 들어가는 것을 막을 수 있도록 개인보호장구를 착용한다.
- 밀폐된 지역에서 많은 양을 사용해서는 안 되며 항상 부스 내에서만 사용한다.
- 독성물질을 취급 저장하는 설비의 연결부분은 누출되지 않도록 밀착시키고 정기적으로 연결부분의 이상 유무를 점검한다.
- 독성물질의 폐기 · 처리 시에는 냉각 · 분리 · 흡수 · 흡착 · 소각 등의 처리공정을 통하여 외부로 방출되지 않도록 해야 한다.

2.2. 경피독성물질의 안전 가이드라인

- 독성물질의 저장 및 취급량을 최소화한다.
- 독성물질을 취급 저장하는 설비의 연결부분은 누출되지 않도록 밀착시키고 매월 1회 이상 연결부분의 이상 유무를 점검한다.
- 독성물질을 폐기 · 처리하여야 하는 경우에는 냉각 · 분리 · 흡수 · 흡착 · 소각 등의 처리 공정을 통하여 독성물질이 외부로 방출되지 않도록 한다.
- 독성물질이 취급설비의 이상 운전으로 인하여 외부로 방출될 때는 저장 · 포집 또는 처리 설비를 설치하여 완전하게 회수할 수 있도록 한다.
- 독성물질을 취급하는 설비의 작동이 중지된 때에는 작업자가 쉽게 알 수 있도록 필요한 경보설비를 작업자로부터 가까운 장소에 설치한다.
- 세면, 목욕, 세탁, 건조 및 탈의시설 등을 설치하고 옷장, 보호구, 보관함 등 필요한 용품과 용구를 비치한다.

2.3. 흡입독성물질의 안전 가이드라인

- 독성물질의 저장 및 취급량을 최소화한다.
- 독성물질을 취급 저장하는 설비의 연결부분은 누출되지 않도록 밀착시키고 매월 1회 이상 연결부분의 이상 유무를 점검한다.
- 독성물질을 폐기 · 처리하여야 하는 경우에는 냉각 · 분리 · 흡수 · 흡착 · 소각 등의 처리 공정을 통하여 독성물질이 외부로 방출되지 않도록 한다.
- 독성물질이 취급설비의 이상 운전으로 인하여 외부로 방출될 때는 저장 · 포집 또는 처리 설비를 설치하여 완전하게 회수할 수 있도록 한다.
- 독성물질을 취급하는 설비의 작동이 중지된 때에는 작업자가 쉽게 알 수 있도록 필요한 경보설비를 작업자로부터 가까운 장소에 설치한다.

제3절 사고대비물질의 용도 및 노출경로에 따른 인체유해성

사고대비물질은 급성독성 · 폭발성 등이 강하여 화학사고의 발생 가능성이 높거나 화학사고가 발생한 경우에 그 피해 규모가 클 것으로 우려되는 화학물질로서 화학사고대비가 필요하다고 인정하여 화학물질관리법 제39조에 따라 환경부장관이 지정 · 고시한 화학물질을 말한다.

- 인화성, 폭발성 및 반응성, 유출 · 누출 가능성 등 물리적 · 화학적 위험성이 높은 물질
- 경구 투입, 흡입 또는 피부에 노출될 경우 급성독성이 큰 물질
- 국제기구 및 국제협약 등에서 사람의 건강 및 환경에 위해를 미칠 수 있다고 판명된 물질
- 그밖에 화학사고 발생의 우려가 높아 특별한 관리가 필요하다고 인정되는 물질

<표 2-1> 사고대비물질 및 유독물질의 적용범위

No	사고대비 물질명	CAS 번호	사고대비물질 적용범위	유독물질 적용범위
1	포름알데하이드 (Formaldehyde)	000050-00-0	포름알데하이드 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	포름알데하이드 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물
2	메틸 하이드라진 (Methyl hydrazine)	000060-34-4	메틸 하이드라진 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	메틸하이드라진 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물
3	포름산 (Formic acid)	000064-18-6	포름산 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
4	메탄올 (Methanol)	000067-56-1	메탄올 및 이를 85% 이상 함유한 혼합물질	메탄올 및 이를 85% 이상 함유한 혼합물
5	벤젠 (Benzene)	000071-43-2	벤젠 및 이를 85% 이상 함유한 혼합물질	벤젠 및 이를 85% 이상 함유한 혼합물
6	염화메틸 (Methyl chloride)	000074-87-3	염화메틸 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	염화메틸 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물
7	메틸아민 (Methyl amine)	000074-89-5	메틸아민 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
8	시안화수소 (Hydrogen cyanide)	000074-90-8	시안화수소 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	-
9	염화비닐 (Vinyl chloride)	000075-01-4	염화비닐 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물질	염화비닐 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물

No	사고대비 물질명	CAS 번호	사고대비물질 적용범위	유독물질 적용범위
10	이황화탄소 (Carbon disulfide)	000075-15-0	이황화탄소 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물질	이황화탄소 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물
11	산화에틸렌 (Ethylene oxide)	000075-21-8	산화에틸렌 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물질	산화에틸렌 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물
12	포스겐 (Phosgene)	000075-44-5	포스겐 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	포스겐 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물
13	트리메틸아민 (Trimethylamine)	000075-50-3	트리메틸아민 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
14	산화프로필렌 (Propylene oxide)	000075-56-9	산화프로필렌 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물질	산화프로필렌 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물
15	메틸에틸케톤 (Methyl ethyl ketone)	000078-93-3	메틸에틸케톤 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	메틸에틸케톤 및 이를 85% 이상 함유한 혼합물
16	메틸 비닐 케톤 (Methyl vinyl ketone)	000078-94-4	메틸 비닐 케톤 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	메틸 비닐 케톤 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물
17	아크릴산 (Acrylic acid)	000079-10-7	아크릴산 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
18	메틸 아크릴레이트 (Methyl acrylate)	000096-33-3	메틸 아크릴레이트 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
19	니트로벤젠 (Nitrobenzene)	000098-95-3	니트로벤젠 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	니트로벤젠 및 이를 85% 이상 함유한 혼합물
20	파라-니트로톨루엔 (p-Nitrotoluene)	000099-99-0	파라-니트로톨루엔 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	4-니트로톨루엔 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물
21	염화 벤질 (Benzyl chloride)	000100-44-7	염화 벤질 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
22	아크롤레인 (Acrolein)	000107-02-8	아크롤레인 및 이를 1.0% 이상 함유한 혼합물질	아크롤레인 및 이를 1.0% 이상 함유한 혼합물
23	알릴 클로라이드 (Allyl chloride)	000107-05-1	알릴 클로라이드 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
24	아크릴로니트릴 (Acrylonitrile)	000107-13-1	아크릴로니트릴 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물질	아크릴로니트릴 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물
25	에틸렌디아민 (Ethylenediamine)	000107-15-3	에틸렌디아민 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
26	알릴알코올 (Allyl alcohol)	000107-18-6	알릴알코올 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	알릴알코올 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물
27	메타-크레졸 (m-Cresol)	000108-39-4	메타-크레졸 및 이를 5% 이상 함유한 혼합물질	-
28	톨루엔 (Toluene)	000108-88-3	톨루엔 및 이를 85% 이상 함유한 혼합물질	톨루엔 및 이를 85% 이상 함유한 혼합물

No	사고대비 물질명	CAS 번호	사고대비물질 적용범위	유독물질 적용범위
29	페놀 (Phenol)	000108-95-2	페놀 및 이를 5% 이상 함유한 혼합물질	페놀 및 이를 5% 이상 함유한 혼합물
30	노말-부틸아민 (n-Butylamine)	000109-73-9	노말-부틸아민 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
31	트리에틸아민 (Triethylamine)	000121-44-8	트리에틸아민 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
32	아세트산에틸 (Ethyl acetate)	000141-78-6	아세트산에틸 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	아세트산에틸 및 이를 85% 이상 함유한 혼합물
33	시안화나트륨 (Sodium cyanide)	000143-33-9	시안화나트륨 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질. 다만, 베를린청(Ferric ferrocyanide)·황혈염(Potassium ferrocyanide)·적혈염(Potassium ferri-cyanide) 및 그 중 하나를 함유한 혼합물질은 제외한다.	무기시안 화합물 및 이를 1% 이상 함유한 화합물. 다만, 베를린청, 페로시안염, 페리시안염 및 그 중 하나를 함유한 혼합물은 제외
34	에틸렌이민 (Ethylenimine)	000151-56-4	에틸렌이민 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
35	톨루엔-2,4-디이소시아네이트 (Toluene-2,4-diisocyanate(TDI))	000584-84-9	톨루엔-2,4-디이소시아네이트 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	톨루엔-2,4-디이소시아네이트 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물
36	일산화탄소 (Carbon monoxide)	000630-08-0	일산화탄소 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
37	아크릴일 클로라이드 (Acrylyl chloride)	000814-68-6	아크릴일 클로라이드 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
38	인화 아연 (Zinc phosphide)	001314-84-7	인화 아연 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	무기아연 염류 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물. 다만, 탄산 아연 및 뇌산 아연은 제외
39	메틸에틸케톤 과산화물 (Methyl ethyl ketone peroxide)	001338-23-4	메틸에틸케톤 과산화물 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
40	디이소시안산 이소포론 (Isophoronediisocyanate)	004098-71-9	디이소시안산 이소포론 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	디이소시안산 이소포론 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물
41	나트륨 (Sodium)	007440-23-5	나트륨 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	나트륨 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물
42	염화수소 (Hydrogen chloride)	007647-01-0	염화수소 및 이를 10% 이상 함유한 혼합물질	염화수소 및 이를 10% 이상 함유한 혼합물

No	사고대비 물질명	CAS 번호	사고대비물질 적용범위	유독물질 적용범위
43	플루오르화수소 (Hydrogen fluoride)	007664-39-3	플루오르화수소 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	플루오르화수소 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물
44	암모니아 (Ammonia)	007664-41-7	암모니아 및 이를 10% 이상 함유한 혼합물질	암모니아 및 이를 10% 이상 함유한 혼합물
45	황산 (Sulfuric acid)	007664-93-9	황산 및 이를 10% 이상 함유한 혼합물질	황산 및 이를 10% 이상 함유한 혼합물
46	질산 (Nitric acid)	007697-37-2	질산 및 이를 10% 이상 함유한 혼합물질	질산 및 이를 10% 이상 함유한 혼합물
47	삼염화인 (Phosphorus trichloride)	007719-12-2	삼염화인 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	삼염화인 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물
48	플루오린 (Fluorine)	007782-41-4	플루오린 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
49	염소 (Chlorine)	007782-50-5	염소 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
50	황화수소 (Hydrogen sulfide)	007783-06-4	황화수소 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
51	아르신 (Arsine)	007784-42-1	아르신 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물질	-
52	클로로술폰산 (Chlorosulfonic acid)	007790-94-5	클로로술폰산 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	클로로술폰산 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물
53	포스핀 (Phosphine)	007803-51-2	포스핀 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	산화트리헥실포스핀,산화트리-n-옥틸포스핀,산화디옥틸모노옥틸디헥실포스핀의혼합물 [Mixtureoftrihexylphosphineoxide,tri-n-octylphoshineoxide,dioctylmonooctyldihexylphosphineoxide] 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물
54	옥시염화인 (Phosphorus oxychloride)	010025-87-3	옥시염화인 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	옥시염화인 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물
55	이산화염소 (Chlorine dioxide)	010049-04-4	이산화염소 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	이산화염소 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물
56	디보란 (Diborane)	019287-45-7	디보란 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
57	산화질소 (Nitric oxide)	010102-43-9	산화질소 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	-
58	니트로메탄 (Nitromethane)	000075-52-5	니트로메탄 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
59	질산암모늄 (Ammonium nitrate)	006484-52-2	질산암모늄 및 이를 33% 이상 함유한 혼합물질	-

No	사고대비 물질명	CAS 번호	사고대비물질 적용범위	유독물질 적용범위
60	헥사민 (Hexamine)	000100-97-0	헥사민 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	-
61	과산화수소 (Hydrogen peroxide)	007722-84-1	과산화수소 및 이를 35% 이상 함유한 혼합물질	과산화수소 및 이를 6% 이상 함유한 혼합물
62	염소산칼륨 (Potassium chlorate)	003811-04-9	염소산칼륨 및 이를 98% 이상 함유한 혼합물질	염소산 염류 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물
63	질산칼륨 (Potassium nitrate)	007757-79-1	질산칼륨 및 이를 98% 이상 함유한 혼합물질	-
64	과염소산칼륨 (Potassium perchlorate)	007778-74-7	과염소산칼륨 및 이를 98% 이상 함유한 혼합물질	-
65	과망간산칼륨(Potassium permanganate)	007722-64-7	과망간산칼륨 및 이를 98% 이상 함유한 혼합물질	-
66	염소산나트륨 (Sodium chlorate)	007775-09-9	염소산나트륨 및 이를 98% 이상 함유한 혼합물질	-
67	질산나트륨 (Sodium nitrate)	007631-99-4	질산나트륨 및 이를 98% 이상 함유한 혼합물질	-
68	사린 (O-Isopropyl methyl phosphonofiuoridate)	000107-44-8	사린 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	-
69	염화시안 (Cyanogen chloride)	000506-77-4	염화시안 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	염화시안 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물

<표 2-2> 사고대비물질의 규제 법령 및 독성

No	사고대비 물질명	규제법령	독성 값
1	포름알데하이드 (Formaldehyde)	화관법 (제한물질, 유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제3석유류(수용성)), 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 0.5ppm, 0.75mg/㎥ STEL : 1ppm, 1.5mg/㎥ IDLH : 20ppm ERPG2 : 10ppm
2	메틸 하이드라진 (Methyl hydrazine)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제5류히드라진유도체), 산안법(노출기준설정물질)	TWA : 0.01ppm, 0.025mg/㎥ IDLH : 20ppm
3	포름산 (Formic acid)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제2석유류(수용성)), 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 5ppm, 9mg/㎥ IDLH : 30ppm ERPG2 : 25ppm
4	메탄올 (Methanol)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류알코올류), 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 200ppm, 260mg/㎥ STEL : 250ppm, 310mg/㎥ IDLH : 6000ppm ERPG2: 1000ppm

No	사고대비 물질명	규제법령	독성 값
5	벤젠 (Benzene)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제1석유류(비수용성)), 산안법(관리대상유해물질, 제조금지유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스, 가연성가스)	TWA : 1ppm, 3mg/㎥ STEL : 5ppm, 16mg/㎥ IDLH : 500ppm ERPG2 : 150ppm
6	염화메틸 (Methyl chloride)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스, 가연성가스)	TWA : 50ppm, 105mg/㎥ STEL : 100ppm, 205mg/㎥ IDLH : 2000ppm ERPG2: 1000ppm
7	메틸아민 (Methyl amine)	화관법(사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스, 가연성가스)	TWA : 5ppm, 6mg/㎥ STEL : 15ppm, 19mg/㎥ IDLH : 100ppm ERPG2 : 100ppm
8	시안화수소 (Hydrogen cyanide)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제1석유류(수용성)), 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스, 가연성가스)	IDLH : 50ppm ERPG2 : 10ppm
9	염화비닐 (Vinyl chloride)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 산안법(허가대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(가연성가스)	TWA : 1ppm ERPG2: 5000ppm
10	이황화탄소 (Carbon disulfide)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류특수인화물), 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스, 가연성가스)	TWA : 10ppm, 30mg/㎥ IDLH : 500ppm ERPG2 : 50ppm
11	산화에틸렌 (Ethylene oxide)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스, 가연성가스)	TWA : 1ppm, 2mg/㎥ IDLH : 800ppm ERPG2 : 50ppm
12	포스겐 (Phosgene)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스)	TWA : 0.1ppm, 0.4mg/㎥ IDLH : 2ppm ERPG2 : 0.5ppm
13	트리메틸아민 (Trimethylamine)	화관법(사고대비물질) 산안법(노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스, 가연성가스)	TWA : 5ppm, 13.2mg/㎥ STEL : 15ppm, 36mg/㎥ ERPG2 : 100ppm
14	산화프로필렌 (Propylene oxide)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 산안법(노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(가연성가스)	IDLH : 400ppm ERPG2 : 250ppm

No	사고대비 물질명	규제법령	독성 값
15	메틸에틸케톤 (Methyl ethyl ketone)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제1석유류(비수용성)), 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 200ppm, 590mg/㎥ STEL : 300ppm, 885mg/㎥ IDLH : 3000ppm
16	메틸 비닐 케톤 (Methyl vinyl ketone)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제1석유류(비수용성))	-
17	아크릴산 (Acrylic acid)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제2석유류(수용성)), 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 2ppm, 6mg/㎥ ERPG2 : 50ppm
18	메틸 아크릴레이트 (Methyl acrylate)	화관법(사고대비물질) 산안법(노출기준설정물질)	TWA : 2ppm, 7mg/㎥ IDLH : 250ppm
19	니트로벤젠 (Nitrobenzene)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제3석유류(비수용성)), 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 1ppm, 5mg/㎥ IDLH : 200ppm
20	파라-니트로톨루엔 (p-Nitrotoluene)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 산안법(노출기준설정물질)	TWA : 2ppm, 11mg/㎥ IDLH : 200ppm
21	염화 벤질 (Benzyl chloride)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제2석유류(비수용성)), 산안법(노출기준설정물질)	TWA : 1ppm, 5mg/㎥ IDLH : 10ppm ERPG2 : 10ppm
22	아크롤레인 (Acrolein)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제1석유류(비수용성)), 산안법(노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스, 가연성가스)	TWA : 0.1ppm, 0.25mg/㎥ STEL : 0.3ppm, 0.8mg/㎥ IDLH : 2ppm ERPG2 : 0.15ppm
23	알릴 클로라이드 (Allyl chloride)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제1석유류(비수용성)), 산안법(노출기준설정물질)	TWA : 1ppm, 3mg/㎥ STEL : 2ppm, 6mg/㎥ IDLH : 250ppm ERPG2 : 40ppm
24	아크릴로니트릴 (Acrylonitrile)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제1석유류(비수용성)), 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스, 가연성가스)	TWA : 2ppm, 4.5mg/㎥ IDLH : 850ppm ERPG2 : 35ppm
25	에틸렌디아민 (Ethylenediamine)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제2석유류(수용성)), 산안법(노출기준설정물질)	TWA : 10ppm, 25mg/㎥ IDLH : 1000ppm
26	알릴알코올 (Allyl alcohol)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제2석유류(비수용성)), 산안법(노출기준설정물질)	TWA : 0.5ppm, 1.2mg/㎥ (피부) STEL : 4ppm, 10mg/㎥ (피부) IDLH : 20ppm

No	사고대비 물질명	규제법령	독성 값
27	메타-크레졸 (m-Cresol)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제3석유류(비수용성))	TWA : 5ppm, 22mg/㎥ IDLH : 250ppm
28	톨루엔 (Toluene)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제1석유류(비수용성)), 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 50ppm, 188mg/㎥ STEL : 150ppm, 560mg/㎥ IDLH : 500ppm ERPG2 : 300ppm
29	페놀 (Phenol)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 5ppm, 19mg/㎥ IDLH : 250ppm ERPG2 : 50ppm
30	노말-부틸아민 (n-Butylamine)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제1석유류(수용성)), 산안법(노출기준설정물질)	CEILING: 5ppm, 15mg/㎥ (피부) IDLH : 300ppm
31	트리에틸아민 (Triethylamine)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제1석유류(비수용성)), 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 2ppm, 8.3mg/㎥ STEL : 4ppm, 16.6mg/㎥ IDLH : 200ppm
32	아세트산에틸 (Ethyl acetate)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제1석유류(비수용성)), 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 400ppm, 1400mg/㎥ IDLH : 2000ppm
33	시안화나트륨 (Sodium cyanide)	화관법(유독물질, 사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 3mg/㎥ STEL : 5mg/㎥ IDLH : 25mg/㎥
34	에틸렌이민 (Ethylenimine)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제1석유류(수용성)), 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 0.5ppm, 1mg/㎥ IDLH : 100ppm
35	톨루엔-2,4-디이소시아네이트 (Toluene-2,4-diisocyanate(TDI))	화관법(사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 0.005ppm, 0.04mg/㎥ STEL : 0.02ppm, 0.15mg/㎥ IDLH : 2.5ppm ERPG2 : 0.15ppm
36	일산화탄소 (Carbon monoxide)	화관법(사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스, 가연성가스)	TWA : 30ppm, 34mg/㎥ STEL : 200ppm, 229mg/㎥ IDLH : 1200ppm ERPG2 : 350ppm
37	아크릴일 클로라이드 (Acrylyl chloride)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제1석유류(비수용성)	-
38	인화 아연 (Zinc phosphide)	화관법(유독물, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제3류금속의 인화물)	-

No	사고대비 물질명	규제법령	독성 값
39	메틸에틸케톤 과산화물 (Methyl ethyl ketone peroxide)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제5류유기과산화물) 산안법(노출기준설정물질)	CEILING: 0.2ppm, 1.5mg/㎥
40	디이소시안산 이소포론 (Isophoronediisocyanate)	화관법 (유독물, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제4류제3석유류(비수용성) 산안법(노출기준설정물질)	TWA : 0.005ppm, 0.045mg/㎥ (피부)
41	나트륨 (Sodium)	화관법(유독물, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제3류나트륨)	-
42	염화수소 (Hydrogen chloride)	화관법(유독물, 사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스)	TWA : 1ppm, 1.5mg/㎥ STEL : 2ppm, 3mg/㎥ IDLH : 50ppm ERPG2 : 20ppm
43	플루오르화수소 (Hydrogen fluoride)	화관법(유독물, 사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스)	TWA : 0.5ppm CEILING: 3ppm, 2.5mg/㎥ IDLH : 30ppm ERPG2 : 20ppm
44	암모니아 (Ammonia)	화관법(유독물, 사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스, 가연성가스)	TWA : 25ppm, 18mg/㎥ STEL : 35ppm, 27mg/㎥ IDLH : 300ppm ERPG2 : 150ppm
45	황산 (Sulfuric acid)	화관법(유독물, 사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 0.2mg/㎥ STEL : 0.6mg/㎥ IDLH : 15mg/㎥ ERPG2 : 10mg/㎥
46	질산 (Nitric acid)	화관법(유독물, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제6류질산) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 2ppm, 5mg/㎥ STEL : 4ppm, 10mg/㎥ IDLH : 25ppm ERPG2 : 10ppm
47	삼염화인 (Phosphorus trichloride)	화관법 (유독물, 사고대비물질) 산안법(노출기준설정물질)	TWA : 0.2ppm, 1.5mg/㎥ STEL : 0.5ppm, 3mg/㎥ IDLH : 25ppm ERPG2 : 3ppm
48	플루오린 (Fluorine)	화관법(사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스)	TWA : 0.1ppm, 0.2mg/㎥ IDLH : 25ppm ERPG2 : 5ppm
49	염소 (Chlorine)	화관법(사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스)	TWA : 0.5ppm, 1.5mg/㎥ STEL : 1ppm, 3mg/㎥ IDLH : 10ppm ERPG2 : 3ppm

No	사고대비 물질명	규제법령	독성 값
50	황화수소 (Hydrogen sulfide)	화관법(사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 10ppm, 14mg/㎥ STEL : 15ppm, 21mg/㎥ IDLH : 100ppm ERPG2 : 30ppm
51	아르신 (Arsine)	화관법(유독물, 사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스)	TWA : 0.005ppm, 0.016mg/㎥ IDLH : 3ppm ERPG2 : 0.5ppm
52	클로로술폰산 (Chlorosulfonic acid)	화관법(유독물, 사고대비물질)	ERPG2 : 10mg/㎥
53	포스핀 (Phosphine)	화관법(유독물, 사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스, 특정고압가스, 특수고압가스)	TWA : 0.3ppm, 0.4mg/㎥ STEL : 1ppm, 1mg/㎥ IDLH : 50ppm ERPG2 : 0.5ppm
54	옥시염화인 (Phosphorus oxychloride)	화관법(유독물, 사고대비물질) 산안법(노출기준설정물질)	TWA : 0.1ppm, 0.6mg/㎥ STEL : 0.5ppm, 3mg/㎥
55	이산화염소 (Chlorine dioxide)	화관법(유독물, 사고대비물질) 산안법(노출기준설정물질)	TWA : 0.1ppm, 0.3mg/㎥ STEL : 0.3ppm, 0.9mg/㎥ IDLH : 5ppm ERPG2 : 0.5ppm
56	디보란 (Diborane)	화관법(사고대비물질) 산안법(노출기준설정물질) 고압가스안전관리법(독성가스, 특정고압가스, 특수고압가스)	TWA : 0.1ppm, 0.1mg/㎥ IDLH : 15ppm ERPG2 : 1ppm
57	산화질소 (Nitric oxide)	화관법(사고대비물질) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 25ppm, 30mg/㎥ IDLH : 100ppm
58	니트로메탄 (Nitromethane)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제5류니트로화합물) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 20ppm, 50mg/㎥ IDLH : 750ppm
59	질산암모늄 (Ammonium nitrate)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제1류질산염류)	–
60	헥사민 (Hexamine)	화관법(사고대비물질)	–
61	과산화수소 (Hydrogen peroxide)	화관법(유독물, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제6류과산화수소수) 산안법(관리대상유해물질, 작업환경측정물질, 노출기준설정물질)	TWA : 1ppm, 1.5mg/㎥ IDLH : 75ppm ERPG2 : 50ppm

No	사고대비 물질명	규제법령	독성 값
62	염소산칼륨 (Potassium chlorate)	화관법(유독물, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제1류염소산염류)	-
63	질산칼륨 (Potassium nitrate)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제1류질산염류)	-
64	과염소산칼륨 (Potassium perchlorate)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제1류과염소산염류)	-
65	과망간산칼륨(Potassium permanganate)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제1류과망간산염류)	IDLH : 500mg/m³ (망간 화합물류와 흠)
66	염소산나트륨 (Sodium chlorate)	화관법(유독물, 사고대비물질) 위험물안전관리법(제1류염소산염류)	-
67	질산나트륨 (Sodium nitrate)	화관법(사고대비물질) 위험물안전관리법(제1류질산염류)	-
68	사린(O-Isopropyl methyl phosphonofiuoridate)	화관법(사고대비물질)	-
69	염화시안 (Cyanogen chloride)	화관법(유독물, 사고대비물질) 산안법(노출기준설정물질)	CEILING: 0.3ppm 0.6mg/m³ ERPG2 : 0.05ppm

<표 2-3> ERG(Emergency Respond Guide)대응지침 요약본(사고대비물질 적용 번호)

No. 115 (가스-인화성)	잠재 위험	화재·폭발	• 극인화성 • 열, 스파크, 불꽃에 의해 쉽게 발화 • 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성 • 액화가스의 증기는 공기보다 무거워 지면을 타고 확산 • 증기가 점화원으로 이동하여 역화 될 수 있다. • 화재에 노출된 실린더는 압력배출장치를 통해 인화성 가스를 배출할 수 있다. • 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. • 파열된 용기는 빠른 속도로 날아갈 수 있다.
		건강	• 증기의 흡입은 갑작스런 현기증, 질식 유발 • 일부는 고농도로 흡입 시 자극적일 수 있다. • 가스, 액화가스에 접촉 시 화상, 심한 상해 및 동상을 입을 수 있다. • 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 가능
	비상 대응	보호의	• 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. • 화재진압복은 제한적인 보호만을 제공한다. • 냉동/극저온의 액체를 취급할 때에는 반드시 방열복을 착용한다.
		화재	• 만약 누출을 멈추게 할 수 없고 누출중인 가스에 불이 붙은 경우라면 화재진압을 시도하지 않는다. • 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소 사용 • 대형화재: 분무, 무상주수 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다.

			• 탱크용기화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기를 냉각시킨다. – 결빙우려가 있으므로 누출원 또는 안전장치에는 직접주수를 하지 않는다. – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지 – 대규모 화재인 경우 무인호스지지대 또는 방수포 사용, 불가능할 경우 타도록 내버려두고 해당 지역에서 철수
		유출·누출	• 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. • 모든 점화원을 제거한다. • 물질을 다룰 때 사용하는 장비는 반드시 접지 • 위험하지 않다면 누출을 차단한다. • 가능하면 액체보다는 가스 상태로 누출될 수 있도록 용기의 밸브를 열어준다. • 증기를 줄이고 증기구름의 이동 억제를 위해 분무주수, 처리수는 유출물과 접촉 방지 • 유출물 또는 누출원에 대한 직접주수 금지 • 증기의 하수구, 환기장치, 밀폐장소로 확산 방지 • 가스가 분산될 때까지 오염지역을 격리시킨다. • 경고: 냉동/극저온 액체와 접촉 시 많은 물질들이 부서지거나 갑자기 깨질 수 있다.
		소개·대피	• 대량 유출 시 풍하방향 최소 800m 초기대피 고려 • 화재 시 반경 1,600m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 116 (가스- 인화성) [불안정한]	잠재 위험	화재·폭발	• 극인화성 • 열, 스파크, 불꽃에 의해 쉽게 발화한다. • 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성 • 실레인은 공기 중에서 자연발화 할 수 있다. • “P”라고 표시된 물질들은 열이나 화재에 의해 폭발적으로 중합될 수 있다. • 액화가스의 증기는 공기보다 무거워 지면을 타고 확산된다. • 증기가 점화원으로 이동하여 역인화 될 수 있다. • 화재에 노출된 실린더는 압력배출장치를 통해 인화성 가스를 배출할 수 있다. • 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. • 파열된 용기는 빠른 속도로 날아갈 수 있다.
		건강	• 증기의 흡입은 갑작스런 현기증, 질식 유발 • 일부는 고농도로 흡입 시 독성이 나타날 수 있다. • 가스, 액화가스에 접촉 시 화상, 심한 상해 및 동상을 입을 수 있다. • 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 가능
	비상 대응	보호의	• 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. • 화재진압복은 제한적인 보호만을 제공한다.
		화재	• 만약 누출을 멈추게 할 수 없고 누출중인 가스에 불이 붙은 경우

			라면 화재진압을 시도하지 않는다. ● 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소 사용 ● 대형화재: 분무, 무상주수 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. ● 탱크용기화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기를 냉각시킨다. – 결빙우려가 있으므로 누출원 또는 안전장치에는 직접주수를 하지 않는다. – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지 – 대규모 화재인 경우 무인호스지지대 또는 방수포 사용, 불가능할 경우 타도록 내버려두고 해당 지역에서 철수
		유출·누출	● 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. ● 모든 점화원을 제거한다. ● 물질을 다룰 때 사용하는 장비는 반드시 접지 ● 위험하지 않다면 누출을 차단한다. ● 가능하면 액체보다는 가스 상태로 누출될 수 있도록 용기의 밸브를 열어준다. ● 증기를 줄이고 증기구름의 이동 억제를 위해 분무주수, 처리수는 유출물과 접촉 방지 ● 유출물 또는 누출원에 대한 직접주수 금지 ● 수로, 하수구, 지하실, 밀폐장소로 유입 방지 ● 가스가 분산될 때까지 오염지역을 격리시킨다.
		소개·대피	● 대량 유출 시 풍하방향 최소 800m 초기대피 고려 ● 화재 시 반경 1,600m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 117 (가스- 독성, 인화성) [극히 위험]	잠재 위험	화재·폭발	● 극인화성 ● 열, 스파크, 불꽃에 의해 쉽게 발화한다. ● 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성 ● 액화가스의 증기는 공기보다 무거워 지면을 타고 확산된다. ● 증기가 점화원으로 이동하여 역인화 될수 있다. ● 화재에 사용된 물은 화재나 폭발위험 발생 ● 화재에 노출된 실린더는 압력배출장치를 통해 인화성 가스를 배출할 수 있다. ● 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. ● 파열된 용기는 빠른 속도로 날아갈 수 있다.
		건강	● 독성: 매우 유해한 물질 ● 흡입 또는 피부 흡수 시 치명적일 수 있다. ● 처음에는 냄새가 자극적이거나 악취가 나지만 곧 후각이 둔감해질 수 있다. ● 가스, 액화가스에 접촉 시 화상, 심한 상해 및 동상을 입을 수 있다. ● 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 ● 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능

	비상 대응	보호의	• 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. • 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다. • 화재진압복은 화재 시에 한하여 제한적인 보호를 해 줄 수 있으나, 물질과 직접 접촉 가능한 유출상황에는 효과적이지 못하다.
		화재	• 만약 누출을 멈추게 할 수 없고 누출중인 가스에 불이 붙은 경우라면 화재진압을 시도하지 않는다. • 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소, 분무주수 또는 일반포말 사용 • 대형화재: 분무, 무상주수, 일반 포말 사용 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. 파손된 실린더는 전문가가 처리 • 탱크용기화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기를 냉각시킨다. – 결빙우려가 있으므로 누출원 또는 안전장치에는 직접주수를 하지 않는다. – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지
		유출·누출	• 모든 점화원을 제거한다. • 물질을 다룰 때 사용하는 장비는 반드시 접지 • 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. • 위험하지 않다면 누출을 차단한다. • 화재를 동반하지 않은 유출 또는 누출사고 시에는 완전밀폐형 증기보호의를 착용한다. • 가능하면 액체보다는 가스 상태로 누출될 수 있도록 용기의 밸브를 열어준다. • 증기를 줄이고 증기구름의 이동 억제를 위해 분무주수, 처리수는 유출물과 접촉 방지 • 유출물 또는 누출원에 대한 직접주수 금지 • 수로, 하수구, 지하실, 밀폐장소로 유입 방지 • 가스가 분산될 때까지 오염지역을 격리시킨다. • 독성가스에 대한 우려를 없애기 위해 누출물이나 유출물을 태우는 방법을 고려한다.
		소개·대피	• 유출 시 「초기이격 및 방호활동거리표」를 참조 • 화재 시 반경 1,600m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 118 (가스-인화성, 부식성)	잠재 위험	화재·폭발	• 극인화성 • 열, 스파크, 불꽃에 의해 쉽게 점화될 수 있다. • 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성 • 액화가스의 증기는 공기보다 무거워 지면을 타고 확산된다. • 증기가 점화원으로 이동하여 역인화 될 수 있다. • 일부물질은 물과 격렬히 반응할 수 있다. • 화재에 노출된 실린더는 압력배출장치를 통해 인화성 가스를 배출할 수 있다.

			• 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. • 파열된 용기는 빠른 속도로 날아갈 수 있다.
		건강	• 흡입 시 독성 영향이 나타날 수 있다. • 증기는 극히 자극적이다. • 가스, 액화가스에 접촉 시 화상, 심한 상해 및 동상을 입을 수 있다. • 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 • 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상 대응	보호의	• 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. • 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다. • 화재진압복은 화재 시에 한하여 제한적인 보호를 해 줄 수 있으나, 물질과 직접 접촉 가능한 유출상황에는 효과적이지 못하다.
		화재	• 만약 누출을 멈추게 할 수 없고 누출중인 가스에 불이 붙은 경우라면 화재진압을 시도하지 않는다. • 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소 • 대형화재: 분무, 무상주수, 일반 포말 사용 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. 파손된 실린더는 전문가가 처리 • 탱크용기화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기를 냉각시킨다. – 결빙우려가 있으므로 누출원 또는 안전장치에는 직접주수를 하지 않는다. – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지
		유출·누출	• 모든 점화원을 제거한다. • 물질을 다룰 때 사용하는 장비는 반드시 접지 • 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. • 위험하지 않다면 누출을 차단한다. • 화재를 동반하지 않은 유출 또는 누출사고 시에는 완전밀폐형 증기보호의를 착용한다. • 가능하면 액체보다는 가스 상태로 누출될 수 있도록 용기의 밸브를 열어준다. • 증기를 줄이고 증기구름의 이동 억제를 위해 분무주수, 처리수는 유출물과 접촉 방지 • 유출물 또는 누출원에 대한 직접주수 금지 • 가스가 분산될 때까지 오염지역을 격리시킨다.
		소개·대피	• 대량유출 시 풍하방향 최소 800m의 초기대피 고려 • 화재 시 반경 1,600m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 119 (가스-독성, 인화성)	잠재 위험	화재·폭발	• 인화성: 열, 스파크, 불꽃에 의해 발화 가능 • 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성 • “P”라고 표시된 물질들은 열이나 화재에 의하여 폭발적으로 중합될 수 있다.

			• 액화가스의 증기는 공기보다 무거워 지면을 타고 확산된다. • 증기가 점화원으로 이동하여 역인화 될수 있다. • 일부물질은 물과 격렬히 반응할 수 있다. • 화재에 사용된 물은 화재나 폭발위험 발생 • 화재에 노출된 실린더는 압력배출장치를 통해 인화성 가스를 배출할 수 있다. • 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. • 파열된 용기는 빠른 속도로 날아갈 수 있다.
		건강	• 독성: 흡입, 피부 흡수 시 치명적일 수 있다. • 가스, 액화가스에 접촉 시 화상, 심한 상해 및 동상을 입을 수 있다. • 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 • 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상대응	보호의	• 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. • 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다. • 화재진압복은 화재 시에 한하여 제한적인 보호를 해 줄 수 있으나, 물질과 직접 접촉 가능한 유출상황에는 효과적이지 못하다.
		화재	• 만약 누출을 멈추게 할 수 없고 누출중인 가스에 불이 붙은 경우라면 화재진압을 시도하지 않는다. • 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소, 분무주수 또는 내알코올포 사용 • 대형화재 – 분무, 무상주수, 내알코올포 사용 – 클로로실레인에는 물을 사용하지 않고, 내알코올성 중발포 수성막포(AFFF) 사용 – 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. 파손된 실린더는 전문가가 처리 • 탱크용기화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 결빙우려가 있으므로 누출원 또는 안전장치에는 직접주수를 하지 않는다. – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지
		유출·누출	• 모든 점화원을 제거한다. • 물질을 다룰 때 사용하는 장비는 반드시 접지 • 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. • 위험하지 않다면 누출을 차단한다. • 화재를 동반하지 않은 유출 또는 누출사고 시에는 완전밀폐형 증기보호의를 착용한다. • 가능하면 액체보다는 가스 상태로 누출될 수 있도록 용기의 밸브를 열어준다.

			● 증기를 줄이고 증기구름의 이동 억제를 위해 분무주수, 처리수는 유출물과 접촉 방지 ● 유출물 또는 누출원에 대한 직접주수 금지 ● 수로, 하수구, 지하실, 밀폐장소로 유입 방지 ● 가스가 분산될 때까지 오염지역을 격리시킨다. ● 클로로실레인의 경우 증기를 줄이기 위해 내알코올성 중발포 수성막포(AFFF) 사용
		소개·대피	● 유출 시 「초기이격 및 방호활동거리표」를 참조 ● 풍하방향으로 필요한 만큼 「공공안전」에 명시된 이격거리 이상으로 증가 ● 화재 시 반경 1,600m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 124 (가스-독성 및/또는 부식성-산화성)	잠재 위험	화재·폭발	● 물질은 불에 타지는 않지만 연소를 도움 ● 액화가스의 증기는 공기보다 무거워 지면을 타고 확산된다. ● 강산화제로 연료를 포함하여 많은 물질들과 격렬하게 또는 폭발적으로 반응한다. ● 가연성물질(목재, 종이 등)을 발화시킬 수 있다. ● 일부는 공기, 습한 공기, 물과 격렬히 반응 ● 화재에 노출된 실린더는 압력배출장치를 통해 인화성 가스를 배출할 수 있다. ● 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. ● 파열된 용기는 빠른 속도로 날아갈 수 있다.
		건강	● 독성: 흡입, 피부 흡수 시 치명적일 수 있다. ● 가스, 액화가스에 접촉 시 화상, 심한 상해 및 동상을 입을 수 있다. ● 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 ● 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상 대응	보호의	● 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. ● 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다. ● 화재진압복은 화재 시에 한하여 제한적인 보호를 해 줄 수 있으나, 물질과 직접 접촉 가능한 유출상황에는 효과적이지 못하다.
		화재	● 소형화재 – 화재의 확산을 막으면서 물질이 타도록 내버려 둔다. 꼭 소화하여야 할 경우에는 분무 또는 무상으로 주수할 것을 권한다. – 물만 사용하고 분말 소화약제, 이산화탄소 또는 할론은 사용하지 않는다. – 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 한다. – 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. – 파손된 실린더는 전문가가 처리 *주의: 이 물질들은 불에 타지 않으나 연소를 도우며, 어떤 물질은 물과 격렬히 반응 ● 탱크용기화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각

			– 결빙우려가 있으므로 누출원 또는 안전장치에는 직접주수를 하지 않는다. – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지 – 대규모 화재인 경우 무인호스지지대나 방수포를 사용한다. 불가능할 경우 타도록 내버려둔 채 해당 지역에서 철수한다.
		유출·누출	● 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. ● 위험하지 않다면 누출을 차단한다. ● 가연성물질(나무, 종이 등)은 누출물과 가까이 두지 않도록 한다. ● 화재를 동반하지 않은 유출 또는 누출사고 시에는 완전밀폐형 증기보호의를 착용한다. ● 가능하면 액체보다는 가스 상태로 누출될 수 있도록 용기의 밸브를 열어준다. ● 증기를 줄이고 증기구름의 이동 억제를 위해 분무주수, 처리수는 유출물과 접촉 방지 ● 유출물 또는 누출원에 대한 직접주수 금지 ● 수로, 하수구, 지하실, 밀폐장소로 유입 방지 ● 가스가 분산될 때까지 오염지역을 격리시킨다. ● 지역을 환기시킨다.
		소개·대피	● 유출 시 「초기이격 및 방호활동거리표」를 참조 ● 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 125 (가스- 부식성)	잠재 위험	화재·폭발	● 일부는 불에 탈 수는 있으나 쉽게 점화되지 않는다. ● 액화가스의 증기는 공기보다 무거워 지면을 타고 확산된다. ● 일부는 물과 격렬히 반응 ● 화재에 노출된 실린더는 압력배출장치를 통해 인화성 가스를 배출할 수 있다. ● 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. ● 파열된 용기는 빠른 속도로 날아갈 수 있다.
		건강	● 독성: 흡입, 피부 흡수 시 치명적일 수 있다. ● 증기는 자극성과 부식성이 매우 강하다. ● 가스, 액화가스에 접촉 시 화상, 심한 상해 및 동상을 입을 수 있다. ● 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 ● 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상 대응	보호의	● 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. ● 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다. ● 화재진압복은 화재 시에 한하여 제한적인 보호를 해 줄 수 있으나, 물질과 직접 접촉 가능한 유출상황에는 효과적이지 못하다.
		화재	● 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소 ● 대형화재 – 분무, 무상주수, 일반 포말 사용 – 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다.

			- 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 한다. - 파손된 실린더는 전문가가 처리 ● 탱크용기화재 - 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 - 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 결빙우려가 있으므로 누출원 또는 안전장치에는 직접주수를 하지 않는다. - 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. - 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지
		유출·누출	● 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. ● 위험하지 않다면 누출을 차단한다. ● 화재를 동반하지 않은 유출 또는 누출사고 시에는 완전밀폐형 증기보호의를 착용한다. ● 가능하면 액체보다는 가스 상태로 누출될 수 있도록 용기의 밸브를 열어준다. ● 증기를 줄이고 증기구름의 이동 억제를 위해 분무주수, 처리수는 유출물과 접촉 방지 ● 유출물 또는 누출원에 대한 직접주수 금지 ● 수로, 하수구, 지하실, 밀폐장소로 유입 방지 ● 가스가 분산될 때까지 오염지역을 격리시킨다.
		소개·대피	● 유출 시 「초기이격 및 방호활동거리표」를 참조 ● 풍하방향으로 필요한 만큼 「공공안전」에 명시된 이격 거리 이상으로 증가 ● 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 127 (인화성 액체) [극성-물과 섞이는]	잠재 위험	화재·폭발	● 고인화성: 열, 스파크, 불꽃에 의해 쉽게 점화 ● 증기는 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성 ● 증기가 점화원으로 이동하여 역인화 될 수 있다. ● 대부분의 증기는 공기보다 무거워 지면을 따라 확산되다가 낮거나 제한된 장소(하수고, 지하실, 탱크)에 모인다. ● 실내외 또는 하수구에서 증기폭발위험이 있다. ● "P"라고 표시된 물질들은 열이나 화재에 의해 폭발적으로 중합될 수 있다. ● 화재에 사용된 물이 하수구로 유입되면 화재나 폭발위험이 발생할 수 있다. ● 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. ● 많은 액체들이 물보다 가볍다.
		건강	● 물질의 흡입 또는 접촉 시 피부와 눈에 자극 또는 화상을 일으킬 수 있다. ● 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 ● 증기의 흡입은 현기증 또는 질식 유발 ● 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상 대응	보호의	● 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. ● 화재진압복은 제한적인 보호만을 제공

		화재	● 경고: 인화점이 매우 낮은 물질로, 화재시 분무주수가 비효과적일 수 있다. ● 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소, 분무주수 또는 내알코올포를 사용한다. ● 대형화재 – 분무, 무상주수, 내알코올포 사용 – 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. ● 탱크용기화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지 – 대규모 화재인 경우 무인호스지지대, 방수포를 사용한다. 불가능할 경우 타도록 내버려둔 채 해당 지역에서 철수한다.
		유출·누출	● 모든 점화원을 제거한다. ● 물질을 다룰 때 사용하는 장비는 반드시 접지 ● 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. ● 위험하지 않다면 누출을 차단한다. ● 수로, 하수구, 지하실, 밀폐된 장소 유입 방지 ● 증기를 줄이기 위해 증기억제포말 사용 가능 ● 마른 흙, 모래 또는 기타 불연성 물질로 덮어 흡수시킨 후 용기로 옮긴다. ● 흡수된 물질의 수집을 위해 깨끗하고 스파크가 발생하지 않는 도구를 이용한다. ● 대량유출: 후처리를 위해 액체유출물 전방에 제방을 쌓는다. 분무주수가 증기를 감소시킬 수 있으나, 밀폐된 장소에서의 발화는 방지할 수 없다.
		소개·대피	● 대량유출 시 풍하방향 최소 300m의 초기대피 고려 ● 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 129 (인화성 액체) [극성/ 물과 섞이는/ 유해성]	잠재 위험	화재·폭발	● 고인화성: 열, 스파크, 불꽃에 의해 쉽게 점화 ● 증기는 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성 ● 증기가 점화원으로 이동하여 역인화 될 수 있다. ● 대부분의 증기는 공기보다 무거워 지면을 따라 확산되다가 낮거나 제한된 장소(하수고, 지하실, 탱크)에 모인다. ● 실내외 또는 하수구에서 증기폭발위험이 있다. ● “P”라고 표시된 물질들은 열이나 화재에 의해 폭발적으로 중합될 수 있다. ● 화재에 사용된 물이 하수구로 유입되면 화재나 폭발위험이 발생할 수 있다. ● 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. ● 많은 액체들이 물보다 가볍다.
		건강	● 흡입 또는 피부 흡수 시 독성영향 발생 가능 ● 물질의 흡입 또는 접촉 시 피부와 눈에 자극 또는 화상을 일으킬 수 있다.

			• 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 • 증기의 흡입은 현기증 또는 질식 유발 • 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상 대응	보호의	• 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. • 화재진압복은 제한적인 보호만을 제공
		화재	• 경고: 인화점이 매우 낮은 물질로, 화재시 분무주수가 비효과적일 수 있다. • 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소, 분무주수 또는 내알코올포를 사용한다. • 대형화재 – 분무, 무상주수, 내알코올포 사용 – 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. * 직사주수를 하지 않는다. • 탱크용기화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지 – 대규모 화재인 경우 무인호스지지대, 방수포를 사용한다. 불가능할 경우 타도록 내버려둔 채 해당 지역에서 철수한다.
		유출·누출	• 모든 점화원을 제거한다. • 물질을 다룰 때 사용하는 장비는 반드시 접지 • 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. • 위험하지 않다면 누출을 차단한다. • 수로, 하수구, 지하실, 밀폐된 장소 유입 방지 • 증기를 줄이기 위해 증기억제포말 사용 가능 • 마른 흙, 모래 또는 기타 불연성 물질로 덮어 흡수시킨 후 용기로 옮긴다. • 흡수된 물질의 수집을 위해 깨끗하고 스파크가 발생하지 않는 도구를 이용한다. • 대량유출: 후처리를 위해 액체유출물 전방에 제방을 쌓는다. 분무주수가 증기를 감소시킬 수 있으나, 밀폐된 장소에서의 발화는 방지할 수 없다.
		소개·대피	• 대량유출 시 풍하방향 최소 300m의 초기대피 고려 • 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 130 (인화성 액체) [비극성/ 물과 섞이지 않는/ 유해성]	잠재 위험	화재·폭발	• 고인화성: 열, 스파크, 불꽃에 의해 쉽게 점화 • 증기는 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성 • 증기가 점화원으로 이동하여 역인화 될수 있다. • 대부분의 증기는 공기보다 무거워 지면을 따라 확산되다가 낮거나 제한된 장소(하수고, 지하실, 탱크)에 모인다. • 실내외 또는 하수구에서 증기폭발위험이 있다. • "P"라고 표시된 물질들은 열이나 화재에 의해 폭발적으로 중합될 수 있다.

			• 화재에 사용된 물이 하수구로 유입되면 화재나 폭발위험이 발생할 수 있다. • 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. • 많은 액체들이 물보다 가볍다.
		건강	• 흡입 또는 피부 흡수 시 독성영향 발생 가능 • 물질의 흡입 또는 접촉 시 피부와 눈에 자극 또는 화상을 일으킬 수 있다. • 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 • 증기의 흡입은 현기증 또는 질식 유발 • 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상대응	보호의	• 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. • 화재진압복은 제한적인 보호만을 제공
		화재	• 경고: 인화점이 매우 낮은 물질로, 화재시 분무주수가 비효과적일 수 있다. • 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소, 분무주수 또는 일반포말을 사용한다. • 대형화재 – 분무, 무상주수, 일반포말 사용 – 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. * 직사주수를 하지 않는다. • 탱크용기화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지 – 대규모 화재인 경우 무인호스지지대, 방수포를 사용한다. 불가능할 경우 타도록 내버려둔 채 해당 지역에서 철수한다.
		유출·누출	• 모든 점화원을 제거한다. • 물질을 다룰 때 사용하는 장비는 반드시 접지 • 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. • 위험하지 않다면 누출을 차단한다. • 수로, 하수구, 지하실, 밀폐된 장소 유입 방지 • 증기를 줄이기 위해 증기억제포말 사용 가능 • 마른 흙, 모래 또는 기타 불연성 물질로 덮어 흡수시킨 후 용기로 옮긴다. • 흡수된 물질의 수집을 위해 깨끗하고 스파크가 발생하지 않는 도구를 이용한다. • 대량유출: 후처리를 위해 액체유출물 전방에 제방을 쌓는다. 분무주수가 증기를 감소시킬 수 있으나, 밀폐된 장소에서의 발화는 방지할 수 없다.
		소개·대피	• 대량유출 시 풍하방향 최소 300m의 초기대피 고려 • 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려

No. 131 (인화성 액체-독성)	잠재 위험	화재·폭발	● 고인화성: 열, 스파크, 불꽃에 의해 쉽게 점화 ● 증기는 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성 ● 증기가 점화원으로 이동하여 역인화 될수 있다. ● 대부분의 증기는 공기보다 무거워 지면을 따라 확산되다가 낮거나 제한된 장소(하수고, 지하실, 탱크)에 모인다. ● 실내외 또는 하수구에서 증기폭발위험이 있다. ● "P"라고 표시된 물질들은 열이나 화재에 의해 폭발적으로 중합될 수 있다. ● 화재에 사용된 물이 하수구로 유입되면 화재나 폭발위험이 발생할 수 있다. ● 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. ● 많은 액체들이 물보다 가볍다.
		건강	● 독성: 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적 ● 물질의 흡입 또는 접촉 시 피부와 눈에 자극 또는 화상을 일으킬 수 있다. ● 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 ● 증기의 흡입은 현기증 또는 질식 유발 ● 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상 대응	보호의	● 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. ● 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다. ● 화재진압복은 화재 시에 한하여 제한적인 보호를 해 줄 수 있으나, 물질과 직접 접촉 가능한 유출상황에는 효과적이지 못하다.
		화재	● 경고: 인화점이 매우 낮은 물질로, 화재시 분무주수가 비효과적일 수 있다. ● 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소, 분무주수 또는 내알코올포를 사용한다. ● 대형화재 – 분무, 무상주수, 내알코올포 사용 – 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. – 화재진압에 사용된 물은 후처리를 위해 제방을 쌓아 가두어 유출 물질이 흩어지지 않도록 한다. * 분무 또는 무상주수 : 직사주수는 금한다. ● 탱크용기화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지 – 대규모 화재인 경우 무인호스지지대, 방수포를 사용한다. 불가능할 경우 타도록 내버려둔 채 해당 지역에서 철수한다.
		유출·누출	● 화재를 동반하지 않은 유출 또는 누출사고 시에는 완전밀폐형 증기보호의를 착용한다. ● 모든 점화원을 제거한다.

			• 물질을 다룰 때 사용하는 장비는 반드시 접지 • 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. • 위험하지 않다면 누출을 차단한다. • 수로, 하수구, 지하실, 밀폐된 장소 유입 방지 • 증기를 줄이기 위해 증기억제포말 사용 가능 • 소량유출 – 마른 흙, 모래 또는 기타 불연성 물질로 덮어 흡수시킨 후 용기로 옮긴다. – 흡수된 물질의 수집을 위해 깨끗하고 스파크가 발생하지 않는 도구를 이용한다. • 대량유출 – 후처리를 위해 액체유출물 전방에 제방을 쌓는다. – 분무주수가 증기를 감소시킬 수 있으나, 밀폐된 장소에서의 발화는 방지할 수 없다.
		소개·대피	• 유출 시 「초기이격 및 방호활동거리표」를 참조 • 풍하방향으로 필요한 만큼 「공공안전」에 명시된 이격 거리 이상으로 증가 • 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 132 (인화성 액체- 부식성)	잠재 위험	화재·폭발	• 인화성/가연성 물질: 열, 스파크 또는 불꽃에 의해 점화될 수 있다. • 증기는 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성 • 증기가 점화원으로 이동하여 역인화 될수 있다. • 대부분의 증기는 공기보다 무거워 지면을 따라 확산되다가 낮거나 제한된 장소(하수고, 지하실, 탱크)에 모인다. • 실내외 또는 하수구에서 증기폭발위험이 있다. • "P"라고 표시된 물질들은 열이나 화재에 의해 폭발적으로 중합될 수 있다. • 화재에 사용된 물이 하수구로 유입되면 화재나 폭발위험이 발생할 수 있다. • 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. • 많은 액체들이 물보다 가볍다.
		건강	• 흡입, 섭취/삼켰을 경우 독성 영향 발생 • 물질에 접촉 시 피부와 눈에 심한 화상 발생 • 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 • 증기의 흡입은 현기증 또는 질식 유발 • 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상 대응	보호의	• 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. • 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다. • 화재진압복은 화재 시에 한하여 제한적인 보호를 해 줄 수 있으나, 물질과 직접 접촉 가능한 유출상황에는 효과적이지 못하다.
		화재	• 일부 물질은 물과 격렬히 반응할 수 있다. • 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소, 분무주수 또는 내알코올포를 사용한다. • 대형화재 – 분무, 무상주수, 내알코올포 사용

			– 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. – 화재진압에 사용된 물은 후처리를 위해 제방을 쌓아 가두어 유출 물질이 흩어지지 않도록 한다. 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 한다. ● 탱크용기화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지 – 대규모 화재인 경우 무인호스지지대, 방수포를 사용한다. 불가능할 경우 타도록 내버려둔 채 해당 지역에서 철수한다.
		유출·누출	● 화재를 동반하지 않은 유출 또는 누출사고 시에는 완전밀폐형 증기보호의를 착용한다. ● 모든 점화원을 제거한다. ● 물질을 다룰 때 사용하는 장비는 반드시 접지 ● 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. ● 위험하지 않다면 누출을 차단한다. ● 수로, 하수구, 지하실, 밀폐된 장소 유입 방지 ● 증기를 줄이기 위해 증기억제포말 사용 가능 ● 흙, 모래 또는 기타 불연성 물질에 흡수시킨 후 용기로 옮긴다. (하이드라진 제외)흡수된 물질의 수집을 위해 깨끗하고 스파크가 발생하지 않는 도구를 이용한다. ● 대량유출 – 후처리를 위해 액체유출물 전방에 제방을 쌓는다. – 분무주수가 증기를 감소시킬 수 있으나, 밀폐된 장소에서의 발화는 방지할 수 없다.
		소개·대피	● 유출 시 「초기이격 및 방호활동거리표」를 참조 ● 풍하방향으로 필요한 만큼 「공공안전」에 명시된 이격 거리 이상으로 증가 ● 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 133 (인화성 고체)	잠재 위험	화재·폭발	● 인화성/가연성 물질: 마찰, 열, 스파크 또는 불꽃에 의해 점화될 수 있다. ● 일부는 섬광연소효과를 일으키며 급격히 연소할 수 있다. ● 분말, 분진 및 기타(천공, 선반, 절삭 등) 부스러기는 폭발하거나 매우 격렬하게 연소 ● 물질은 인화점 이상의 온도에서 용융된 상태로 운반될 수 있다. ● 소화된 후에도 재발화 할 수 있다.
		건강	● 접촉 시 피부와 눈에 화상을 입을 수 있다. ● 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 ● 용융물질에 접촉 시 피부와 눈에 심한 화상 ● 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상	보호의	● 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다.

	대응		• 화재진압복은 제한적인 보호만을 제공
		화재	• 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소, 모래, 흙, 분무주수 또는 일반포말을 사용한다. • 대형화재: 분무, 무상주수, 일반포말 사용. 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. • 금속 안료 또는 반죽(예, 알루미늄 반죽) 화재: 알루미늄 반죽 화재는 가연성 금속 화재로 다루어야 한다. 마른 모래, 흑연 분말, 건조 염화나트륨 성분의 소화제, G-1 또는 Met-L-X 분말을 사용한다. 가이드 170 참조 • 탱크용기화재 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지 – 대규모 화재인 경우 무인호스지지대, 방수포를 사용한다. 불가능할 경우 타도록 내버려둔 채 해당 지역에서 철수한다.
		유출·누출	• 모든 점화원을 제거한다. • 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. • 소량유출(건조): 깨끗하고 건조한 뚜껑이 있는 용기에 깨끗한 삽으로 유출물질을 담아 유출 지역 밖으로 이동시킨다. • 대량유출: 물을 뿌려 적시고, 후처리를 위해 제방을 쌓아 가둔다. 수로, 하수구, 지하실, 밀폐된 장소 유입 방지
		소개·대피	• 대량유출시 풍하방향 최소 100m 초기대피 고려 • 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 137 (물질-물 반응성-부식성)	잠재위험	화재·폭발	• 인화성의 무수아세트산을 제외하고, 이들 물질 중 일부는 탈 수는 있지만 쉽게 점화되지 않음 • 가연성물질(목재, 종이 등)을 발화시킬 수 있다. • 물질은 물과 반응하여(일부는 격렬히) 가연성, 독성 또는 부식성 가스와 액체를 방출한다. • 가연성/독성 가스가 제한된 공간(지하실, 탱크, 호퍼/탱크차 등)에 축적될 수 있다. • 금속과 접촉 시 인화성 수소가스 생성 가능 • 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. • 물질은 용융된 상태로 운반될 수 있다.
		건강	• 부식성, 독성: 증기, 분진 또는 물질의 흡입, 섭취 및 접촉(피부, 눈) 시 심각한 상해, 화상 또는 사망에 이를 수 있다. • 용융 물질에 접촉 시 피부와 눈에 심한 화상을 입을 수 있다. • 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 • 물과 반응하여 많은 열을 발생시킬 수 있고, 이로 인해 공기 중의 증기농도 증가 • 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상대응	보호의	• 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. • 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다.

			• 화재진압복은 화재 시에 한하여 제한적인 보호를 해 줄 수 있으나, 물질과 직접 접촉 가능한 유출상황에는 효과적이지 못하다.
		화재	• 누출물질이 화재와 관련이 없다면 물질에 직접 주수하지 않는다. • 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소 사용. 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. • 대형화재: 무상주수로 증기를 가라앉히면서 화재지역을 대량의 물로 흠뻑 적신다. 물 공급이 충분하지 않을 경우에는 증기만 가라앉힌다. • 탱크 또는 차량/트레일러 화물화재 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 한다. – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지
		유출·누출	• 화재를 동반하지 않은 유출 또는 누출사고 시에는 완전밀폐형 증기보호의를 착용한다. • 적절한 보호복을 착용하지 않았다면 손상된 용기 또는 유출물과 접촉하지 않는다. • 위험하지 않다면 누출을 차단한다. • 증기를 줄이기 위해 분무 주수한다. 누출/유출 지역 또는 용기내부에는 직접주수 금지 • 가연성 물질(나무, 종이 등)은 누출물과 가까이 두지 않는다. • 소량유출: 마른 흙, 마른 모래 또는 기타 불연성 물질로 덮은 후 확산 및 빗물과의 접촉을 최소화하기 위해 플라스틱 시트로 덮는다. 누출물질의 수집을 위해 깨끗하고 스파크가 발생하지 않는 도구를 사용하고, 추후 처리를 위해 뚜껑이 있는 플라스틱용기에 담는다. 수로, 하수구, 지하실, 밀폐된 장소 유입 방지
		소개·대피	• 유출 시 「초기이격 및 방호활동거리표」를 참조 • 풍하방향으로 필요한 만큼 「공공안전」에 명시된 이격 거리 이상으로 증가 • 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 138 (물질-물 반응성) [인화성 가스 발생]	잠재 위험	화재·폭발	• 물과 접촉하여 인화성 가스를 생성한다. • 물 또는 습한 공기와 접촉 시 발화될 수 있다. • 일부는 물과 접촉하여 격렬 또는 폭발적 반응 • 열, 스파크 또는 불꽃에 의해 점화될 수 있다. • 소화된 후에도 재발화 할 수 있다. • 일부는 고인화성 액체로 운송된다. • 화재에 사용된 물은 화재나 폭발위험 발생
		건강	• 흡입, 섭취/삼켰을 경우 독성 영향 발생 • 물질에 접촉 시 피부와 눈에 심한 화상 발생 • 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 • 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상 대응	보호의	• 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. • 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다.

			● 화재진압복은 화재 시에 한하여 제한적인 보호를 해 줄 수 있으나, 물질과 직접 접촉 가능한 유출상황에는 효과적이지 못하다.
		화재	● 물 또는 포말을 사용하지 않는다. ● 소형화재: 분말 소화약제, 소다회, 석회, 모래사용 ● 대형화재: 마른모래, 분말 소화약제, 소다회 또는 석회를 사용하거나, 그냥 타도록 내버려 두고 사고지역에서 철수한다. 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. ● 금속 또는 금속 분말(알루미늄, 리튬, 마그네슘, 기타) 화재: 분말 소화약제, 마른모래, 염화나트륨 분말, 흑연 분말 또는 Met-L-X 분말을 사용. 또한 리튬의 경우는 Lith-X 분말 또는 구리 분말을 사용할 수 있다. ● 탱크 또는 차량/트레일러 화물화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 한다. – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지
		유출·누출	● 모든 점화원을 제거한다. ● 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. ● 위험하지 않다면 누출을 차단한다. ● 증기를 줄이고 증기구름의 이동 억제를 위해 분무주수한다. 처리수는 유출물과 접촉 금지 ● 유출물 또는 용기내부에 물 유입 금지 ● 소량유출: 마른 흙, 마른 모래 또는 기타 불연성 물질로 덮은 후 확산 및 빗물과의 접촉을 최소화하기 위해 플라스틱 시트로 덮는다. 추후 처리를 위해 제방을 쌓는다. 지시 없이 주수하지 않는다. ● 분말유출: 분말상태의 유출물은 플라스틱 시트 또는 방수천으로 덮어 확산을 최소화하고 건조한 상태가 유지되도록 한다. * 반드시 전문가의 감독 하에 정화 및 폐기작업
		소개·대피	● 유출 시 「초기이격 및 방호활동거리표」를 참조 ● 풍하방향으로 필요한 만큼 「공공안전」에 명시된 이격 거리 이상으로 증가 ● 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 139 (물질-물 반응성) [인화성 및 독성가스 발생]	잠재 위험	화재·폭발	● 물과 접촉하여 인화성 및 독성가스 생성 ● 물 또는 습한 공기와 접촉 시 발화될 수 있다. ● 일부는 물과 접촉하여 격렬, 폭발적으로 반응 ● 열, 스파크 또는 불꽃에 의해 점화될 수 있다. ● 소화된 후에도 재발화 할 수 있다. ● 일부는 고인화성 액체로 운송된다. ● 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. ● 화재에 사용된 물은 화재나 폭발위험 발생
		건강	● 고독성: 물과 접촉 시 독성가스를 발생하며 흡입하면 치명적일 수 있다.

			● 증기, 물질 도는 분해생성물의 접촉이나 흡입 시 시한 상해 또는 사망을 일으킬 수 있다. ● 물과 접촉 시 부식성 용액이 생성될 수 있다. ● 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 ● 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상 대응	보호의	● 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. ● 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다. ● 화재진압복은 화재 시에 한하여 제한적인 보호를 해 줄 수 있으나, 물질과 직접 접촉 가능한 유출상황에는 효과적이지 못하다.
		화재	● 물 또는 포말을 사용하지 않는다(클로로실레인의 경우 포말을 사용할 수 있다). ● 소형화재: 분말 소화약제, 소다회, 석회, 모래사용 ● 대형화재 – 마른모래, 분말 소화약제, 소다회, 석회를 사용하거나, 그냥 타도록 내버려두고 사고지역에서 철수한다. – 클로로실레인에는 물을 사용하지 않고, 내알콜성 중발포 수성막포(AFFF)를 사용한다. 클로로실레인 화재의 경우 다량의 수소가스 생성으로 폭발의 위험이 있을 수 있으므로 분말 소화약재, 소다회, 석회를 절대 사용하지 않는다. – 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. ● 탱크용기화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 용기 내부로 물 유입 방지 – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지
		유출·누출	● 화재를 동반하지 않은 유출 또는 누출사고 시에는 완전밀폐형 증기보호의를 착용한다. ● 모든 점화원을 제거한다. ● 유출물과 접촉하거나 가로질러 다니지 않는다. ● 위험하지 않다면 누출을 차단한다. ● 유출물 및 용기내부에 물 유입 방지 ● 증기를 줄이고 증기구름의 이동 억제를 위해 분무주수한다, 처리수의 유출물과 접촉 방지 ● 클로로실레인의 경우 증기를 줄이기 위해 내 알코올성 중발포 수성막포(AFFF) 사용 ● 소량유출: 마른 흙, 마른 모래 또는 기타 불연성 물질로 덮은 후 확산 및 빗물과의 접촉을 최소화하기 위해 플라스틱 시트로 덮는다. 추후 처리를 위해 제방을 쌓는다. 지시 없이 주수하지 않는다. ● 분말유출: 분말상태의 유출물은 플라스틱 시트 또는 방수천으로 덮어 확산을 최소화하고 건조한 상태가 유지되도록 한다. * 반드시 전문가의 감독 하에 정화 및 폐기작업

		소개·대피	• 유출 시 「초기이격 및 방호활동거리표」를 참조 • 풍하방향으로 필요한 만큼 「공공안전」에 명시된 이격 거리 이상으로 증가 • 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 140 (산화성 물질)	잠재 위험	화재·폭발	• 이 물질들은 화재 시 연소를 가속시킨다. • 일부는 가열되거나 화재에 노출된 경우 폭발적으로 분해될 수 있다. • 열 또는 오염으로 인해 폭발할 수 있다. • 일부는 탄화수소물질(연료)과 폭발적으로 반응 • 가연성 물질(종이, 목재 등)을 발화시킬 수 있다. • 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. • 화재에 사용된 물은 화재나 폭발위험을 유발
		건강	• 증기 또는 물질의 흡입, 섭취, 접촉(피부, 눈)시 심한 상해, 화상, 사망을 일으킬 수 있다. • 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 • 화재진압에 사용된 물은 환경오염 발생 가능
	비상 대응	보호의	• 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. • 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다. • 화재진압복은 제한적인 보호만을 제공한다.
		화재	• 소형화재: 물사용. 분말 소화약제나 포말은 사용하지 않는다. 이산화탄소나 할론은 진압효과가 제한적이다. • 대형화재: 충분한 거리를 두고 화재지역을 대량의 물로 흠뻑 적신다. 화물이 열에 노출된 경우 화물이나 차량을 옮기지 않도록 한다. 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. • 탱크 또는 차량/트레일러 화물화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지 – 대규모 화재인 경우 무인호스지지대, 방수포를 사용한다. 불가능할 경우 타도록 내버려둔 채 해당 지역에서 철수한다.
		유출·누출	• 가연성물질(나무, 종이 등)은 누출물과 가까이 두지 않는다. • 적절한 보호복을 착용하지 않았다면 손상된 용기 또는 유출물과 접촉하지 않는다. • 위험하지 않다면 누출을 차단한다. • 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 한다. • 소량유출(건조): 깨끗하고 건조한 뚜껑이 있는 용기에 깨끗한 삽으로 유출물질을 담아 유출 지역 밖으로 이동시킨다. • 소량 액체 유출: 질석, 모래 같은 불연성 물질에 흡수시키고 후처리를 위해 용기에 담는다. • 대량유출: 후처리를 위해 액체유출물 전방에 제방을 쌓는다. 물질 회수 후 오염 지역을 물로 세척한다.
		소개·대피	• 풍하방향 최소 100m의 초기대피를 고려한다. • 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려

No. 143 (산화성 물질- 독성)	잠재 위험	화재·폭발	● 이 물질들은 화재 시 연소를 가속시킨다. ● 일부는 급격히 연소할 수 있다. ● 열 또는 오염으로 인해 폭발할 수 있다. ● 일부는 탄화수소물질(연료)과 폭발적으로 반응 ● 가연성 물질(종이, 목재 등)을 발화시킬 수 있다. ● 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. ● 화재에 사용된 물은 화재나 폭발위험을 유발
		건강	● 섭취에 의한 독성 영향이 있다. ● 분진의 흡입은 유독하다. ● 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 ● 물질에 접촉 시 피부와 눈에 심한 화상 유발 ● 화재진압, 희석용 물은 환경오염 발생 가능
	비상 대응	보호의	● 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. ● 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다. ● 화재진압복은 제한적인 보호만을 제공한다.
		화재	● 소형화재: 물사용. 분말 소화약제나 포말은 사용하지 않는다. 이산화탄소나 할론은 진압효과가 제한적이다. ● 대형화재: 충분한 거리를 두고 화재지역을 대량의 물로 흠뻑 적신다. 화물이 열에 노출된 경우 화물이나 차량을 옮기지 않도록 한다. 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. ● 탱크 또는 차량/트레일러 화물화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지 – 대규모 화재인 경우 무인호스지지대, 방수포를 사용한다. 불가능할 경우 타도록 내버려둔 채 해당 지역에서 철수한다.
		유출·누출	● 가연성물질(나무, 종이 등)은 누출물과 가까이 두지 않는다. ● 적절한 보호복을 착용하지 않았다면 손상된 용기 또는 유출물과 접촉하지 않는다. ● 위험하지 않다면 누출을 차단한다. ● 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 한다. ● 소량유출(건조): 깨끗하고 건조한 뚜껑이 있는 용기에 깨끗한 삽으로 유출물질을 담아 유출 지역 밖으로 이동시킨다. ● 대량유출: 후처리를 위해 액체유출물 전방에 제방을 쌓는다.
		소개·대피	● 풍하방향 최소 100m의 초기대피를 고려한다. ● 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 153 (물질- 독성 /부식성) [가연성]	잠재 위험	화재·폭발	● 가연성 물질: 불에 타기는 하지만 쉽게 점화되지 않는다. ● 가열시 증기는 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성 실내외 및 하수구에 폭발 위험 ● “P”라고 표시된 물질들은 열이나 화재에 의해 폭발적으로 중합될 수 있다. ● 금속과 접촉 시 인화성 수소가스 생성

			• 화재에 사용된 물은 수로를 오염시킬 수 있다. • 용기는 가열되면 폭발할 수 있다. • 물질은 용융된 상태로 운반될 수 있다.
		건강	• 독성: 흡입, 섭취, 피부 접촉 시 심한 상해나 사망을 초래할 수 있다. • 용융 물질에 접촉 시 피부와 눈에 심한 화상 • 피부에 접촉하지 않도록 한다. • 접촉, 흡입에 의한 영향이 지연되어 유발 • 화재 시 자극성 및/또는 독성가스 발생 • 화재진압, 희석용 물은 부식성, 독성을 띨 수 있어 환경오염 발생 가능
	비상 대응	보호의	• 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. • 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다. • 화재진압복은 화재 시에 한하여 제한적인 보호를 해 줄 수 있으나, 물질과 직접 접촉 가능한 유출상황에는 효과적이지 못하다.
		화재	• 소형화재: 분말 소화약제, 이산화탄소, 분무주수 • 대형화재: 분말 소화약재, 이산화탄소, 내 알코올포 또는 분무주수 사용. 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. 화재진압에 사용된 물은 후처리를 위해 제방을 쌓아 가두어 유출 물질이 흩어지지 않도록 한다. • 탱크 또는 차량/트레일러 화물화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각. – 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 한다. – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지
		유출·누출	• 모든 점화원을 제거한다. • 적절한 보호복을 착용하지 않았다면 손상된 용기, 유출물과 접촉하지 않는다. • 위험하지 않다면 누출을 차단한다. • 수로, 하수구, 지하실, 밀폐된 장소 유입 방지 • 마른 흙, 모래 또는 기타 불연성 물질로 덮어 흡수시킨 후 용기로 옮긴다. • 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 한다.
		소개·대피	• 유출 시 「초기이격 및 방호활동거리표」를 참조 • 풍하방향으로 필요한 만큼 「공공안전」에 명시된 이격 거리 이상으로 증가 • 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 156 (물질-독성/	잠재 위험	화재·폭발	• 가연성 물질: 불에 타기는 하지만 쉽게 점화되지 않는다. • 물질은 물과 반응하여(일부는 격렬히) 가연성, 독성, 부식성 가스와 액체 방출

부식성) [가연성/ 수분에 민감]			● 가열시 증기는 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성 실내외 및 하수구에 폭발 위험 ● 대부분의 증기는 공기보다 무거워 지면을 따라 확산되다가 낮거나 제한된 장소(하수구, 지하실, 탱크)에 모인다. ● 증기가 점화원으로 이동하여 역인화 가능 ● 금속과 접촉 시 인화성 수소가스 생성 ● 용기는 가열되거나 물로 오염되면 폭발 가능
		건강	● 독성: 증기, 분진, 물질의 흡입, 섭취나 피부 접촉 시 심각한 상해, 화상이나 사망 초래 ● 용융 물질에 접촉 시 피부와 눈에 심한 화상 ● 물이나 습기와 반응하여 독성, 부식성 또는 가연성 가스 방출 ● 물과 반응하여 많은 열을 발생시킬 수 있고, 이로 인해 공기중의 증기농도 증가 ● 화재 시 자극성, 부식성, 독성 가스 발생 ● 화재진압, 희석용 물은 부식성, 독성을 띨 수 있어 환경오염 발생 가능
	비상 대응	보호의	● 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. ● 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다. ● 화재진압복은 화재 시에 한하여 제한적인 보호를 해 줄 수 있으나, 물질과 직접 접촉 가능한 유출상황에는 효과적이지 못하다.
		화재	*주의: 대부분의 포말은 물질과 반응하여 부식성/ 독성가스를 방출한다. ● 소형화재: 이산화탄소, 분말 소화약제, 마른모래, 내알코올포 사용 ● 대형화재 – 분무주수, 무상주수, 내 알코올포 사용 – 클로로실레인에는 물을 사용하지 않고, 내알코올성 중발포 수성막포(AFFF)를 사용 – 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. 분무 또눈 무상주수 한다. 직사주수 금지 ● 탱크 또는 차량/트레일러 화물화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용 – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 한다. – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지
		유출·누출	● 모든 점화원을 제거한다. ● 물질을 다룰 때 사용하는 모든 장비는 반드시 접지 ● 적절한 보호복을 착용하지 않았다면 손상된 용기, 유출물과 접촉하지 않는다. ● 위험하지 않다면 누출을 차단한다. ● 증기를 줄이기 위해 증기 억제 포말 사용 가능 ● 클로로실레인의 경우 증기를 줄이기 위해 내 알코올성 중발포 수성막포(AFFF)를 사용한다. ● 유출물 및 용기내부에 물 유입 방지

			• 증기를 줄이고 증기구름의 이동 억제를 위해 분무주수한다. 처리수의 유출물과 접촉 방지 • 수로, 하수구, 지하실, 밀폐된 장소 유입 방지 • 소량유출: 마른 흙, 모래 또는 기타 불연성 물질로 덮은 후 빗물과의 접촉을 최소화하기 위해 플라스틱 시트로 덮는다. • 누출물질의 수집을 위해 깨끗하고 스파크가 발생하지 않는 도구를 사용하고, 후 처리를 위해 뚜껑이 있는 플라스틱용기에 담는다.
		소개·대피	• 유출 시 「초기이격 및 방호활동거리표」를 참조 • 풍하방향으로 필요한 만큼 「공공안전」에 명시된 이격 거리 이상으로 증가 • 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려
No. 157 (물질-독성/부식성) [비가연성/수분에 민감]	잠재위험	화재·폭발	• 불연성 물질로 타지는 않지만, 열에 의해 분해하여 부식성, 독성 증기 생성 • 고농도의 UN1796, UN1826, UN2031과 산화제 역할을 할 수 있는 UN2032는 지침 140 참조 • 증기는 밀폐된 장소에 축적될 수 있다.(지하실, 탱크, 호퍼/탱크차 등) • 물질은 물과 반응하여(일부는 격렬히) 부식성/독성 가스와 액체를 방출 • 금속과 접촉 시 인화성 수소가스 생성 • 용기는 가열되거나 물로 오염되면 폭발 가능
		건강	• 독성: 증기, 분진, 물질의 흡입, 섭취나 피부 접촉 시 심각한 상해, 화상이나 사망 초래 • 물이나 습기와 반응하여 독성, 부식성 또는 가연성 가스 방출 • 물과 반응하여 많은 열을 발생시킬 수 있고, 이로 인해 공기중의 증기농도 증가 • 화재 시 자극성, 부식성, 독성 가스 발생 • 화재진압, 희석용 물은 부식성, 독성을 띨 수 있어 환경오염 발생 가능
	비상대응	보호의	• 양압의 자급식 공기호흡기를 착용한다. • 제조업자가 권장하는 화학보호복을 착용, 방열효과는 거의 없을 수 있다. • 화재진압복은 화재 시에 한하여 제한적인 보호를 해 줄 수 있으나, 물질과 직접 접촉 가능한 유출상황에는 효과적이지 못하다.
		화재	*주의: 일부 포말은 물질과 반응하여 부식성/독성가스를 방출한다. • 소형화재: 이산화탄소(시안화물 제외), 분말 소화약제, 마른모래, 내알코올포 사용 • 대형화재 – 분무주수, 무상주수, 내 알코올포 사용 – 위험 없이 할 수 있다면 화재지역으로부터 용기를 옮긴다. – 분무 또눈 무상주수 한다. 직사주수 금지 – 화재진압에 사용된 물은 후처리를 위해 제방을 쌓아 가두어 누출물질이 흩어지지 않도록 한다. • 탱크 또는 차량/트레일러 화물화재 – 최대한 먼 곳에서 화재를 진압하거나 무인호스지지대 또는 방수포를 사용

			– 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 용기 냉각 – 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 한다. – 배출안전장치에서 가스배출소리가 커지거나 탱크가 변색된 경우 즉시 철수한다. – 탱크가 화재에 휩싸였을 경우 절대 접근 금지
		유출·누출	● 모든 점화원을 제거한다. ● 물질을 다룰 때 사용하는 모든 장비는 반드시 접지 ● 적절한 보호복을 착용하지 않았다면 손상된 용기, 유출물과 접촉하지 않는다. ● 위험하지 않다면 누출을 차단한다. ● 증기를 줄이기 위해 증기 억제 포말 사용 가능 ● 유출물 및 용기내부에 물 유입 방지 ● 증기를 줄이고 증기구름의 이동 억제를 위해 분무주수한다. 처리수의 유출물과 접촉 방지 ● 수로, 하수구, 지하실, 밀폐된 장소 유입 방지 ● 소량유출: 마른 흙, 모래 또는 기타 불연성 물질로 덮은 후 빗물과의 접촉을 최소화하기 위해 플라스틱 시트로 덮는다. ● 누출물질의 수집을 위해 깨끗하고 스파크가 발생하지 않는 도구를 사용하고, 후 처리를 위해 뚜껑이 있는 플라스틱용기에 담는다.
		소개·대피	● 유출 시 「초기이격 및 방호활동거리표」를 참조 ● 풍하방향으로 필요한 만큼 「공공안전」에 명시된 이격 거리 이상으로 증가 ● 화재 시 반경 800m를 초기이격거리로 설정, 초기대피 고려

1) 포름알데하이드 (Formaldehyde)

- 화학물질군 : 알데하이드류
- UN번호 : 1198, 2209, 1953
- ERG대응지침번호 : GUIDE 132 (인화성 액체 - 부식성)
- 용도 : 환원제, 소독제, 살균제, 석탄산, 합성실크, 셀룰로오스 에스테르, 염료, 유기화학물질, 거울, 폭발물 제조
- 위험성
  - 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화, 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  - 실내외 또는 하수구 등에서 증기폭발위험 있음
  - 물질과 접촉 시 피부와 눈에 심한 화상을 입을 수 있음
  - 혼합금지 : 산화제, 산, 염기, 환원제, 과산화물
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 인후통, 기침, 숨참, 폐질환, 두통, 호흡곤란, 포름알데하이드의 높은 증기 농도에서는 흉부의 수축
  - 피부 : 자극, 화상, 발적, 통증, 접촉성 피부염증, 홍반, 수포
  - 안구 : 자극, 발적, 통증 및 흐릿한 시야, 시력손상 및 상실
  - 경구 : 구강/위장관 화상, 복통, 구토, 설사, 두통, 체온저하, 얕은 호흡, 무의식, 사망
- 화재진압 요령
  - 대형/탱크 화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 물, 알코올 포, 분말 소화약제, 이산화탄소, 건조한 모래, BCF

2) 메틸하이드라진 (Methyl hydrazine)

- 화학물질군 : 아민류, 무기 환원제
- UN번호 : 1244
- ERG대응지침번호 : GUIDE 131 (인화성 액체 - 독성)
- 용도 : 환원제, 로켓연료, 용매, 항생제의 합성, 화학물질 합성중간체
- 위험성
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음
  - 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화, 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음, 용기는 가열 시 폭발할 수 있음
  - 혼합금지 : 산화제, 산소, 과산화물, 산, 환원제, 금속산화물
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 기침, 화상, 오심, 발열, 두통, 기면, 서맥, 경련, 저혈압, 청색증, 폐부종
  - 피부 : 치명적, 화상, 홍반, 부종
  - 안구 : 자극, 눈물, 화상, 빛에 민감
  - 경구 : 구강/위장관 화상, 소화관 장애, 구역질, 구토, 설사, 허약, 저혈당, 서맥, 경련, 착란, 혼수, 사망
- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거 : 직사 주수 금지
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 유출을 막을 수 없다면, 안정적인 거리에서 화재지역 주변을 물로 냉각시키고 불이 그냥 타도록 내버려 둘 것
  - 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

3) 포름산 (Formic acid)

- 화학물질군 : 카복실산류
- UN번호 : 1779
- ERG대응지침번호 : GUIDE 153 (독성, 부식성 – 가연성)
- 용도 : 직물 염색, 유기 에스테르, 살충제, 훈증제, 환원제, 냉각제, 향료, 락커, 동물사료 첨가물, 식품 보존제, 은도금, 비닐수지 가소제
- 위험성
  - 독성 : 물질의 흡입, 섭취, 피부흡수 시 심각한 상해나 사망 초래
  - 열, 스파크, 화염산화제에 노출 시 화재위험성 있음
  - 증기는 공기와 결합하여 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  - 혼합금지 : 산(황산과의 접촉에 분해됨), 염기, 금속, 아민, 산화제, 과산화물, 가연성 물질
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 화상, 기침, 기관지염, 두통, 현기증, 메스꺼움, 무기력, 폐부종
  - 피부 : 자극, 홍반, 화상, 수포, 궤양
  - 안구 : 자극, 통증, 눈물, 빛에 민간, 각막 부종, 화상, 궤양, 결막염, 안구 돌출, 각막혼탁, 시력손상
  - 경구 : 복통, 구토, 식도/위장관의 화상, 궤양, 출혈, 괴사, 후두개 부종 및 질식, 중추신경계통의 기능저하, 쇼크, 저혈압
- 화재진압 요령
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼거리 진화 무인호스지지대 또는 방수포 사용
  - 점화원 제거, 안전하게 할 수 있다면 화재진행 경로에서 용기제거
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소, 물, 다량의 안개형 물 분무를 사용할 것

4) 메탄올 (Methanol)

- 화학물질군 : 알코올류
- UN번호 : 1230
- ERG대응지침번호 : GUIDE 131 (인화성 액체 - 독성)
- 용도 : 전기/전자 공학 산업, 연료 산업, 금속 추출, 플라스틱 유연제, 금속 정제, 페인트, 락커, 니스, 종이, 펄프, 사진 산업, 접착제, 부동액, 세척제와 살균제, 연료 첨가제, 약품 생산의 용매
- 위험성
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음
  - 열, 스파크, 화염, 마찰, 충격, 오염에 의해 쉽게 점화하고, 폭발 위험성 있음
  - 증기는 공기와 결합하여 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  - 혼합금지 : 가연성 물질, 금속, 산화제, 염기, 산
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 기침, 두통, 현기증, 졸음, 오심, 구토, 쇠약, 흐린 시야, 호흡부전, 혼수, 사망
  - 피부 : 건조, 홍반, 탈지, 흡입증상과 유사
  - 안구 : 자극, 충혈, 통증, 흐린 시야, 시력의 손상 및 상실
  - 경구 : 복통, 호흡 곤란, 구토, 경련, 무의식, 흡입증상과 유사
- 화재진압 요령
  - 대형/탱크 화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것 (불가능할 경우 타도록 내버려 두고 철수)
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거, 누출차단
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 물, 알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

5) 벤젠 (Benzene)

- 화학물질군 : 방향족 탄화수소류
- UN번호 : 1114
- ERG대응지침번호 : GUIDE 130 (인화성 액체 - 유독성, 비수용성)
- 용도 : 폴리머, 세제, 살충제, 염료, 플라스틱, 수지와 같은 산업용 화학물질 제조 왁스, 수지, 오일, 천연 고무 등의 용제, 약, 염료, 살충제와 플라스틱 합성의 주원료
- 위험성
  - 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화, 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  - 용기가 열에 노출되면 파열 또는 폭발할 수 있음
  - 혼합금지 : 산, 할로겐, 산화제, 분말크롬산무수물, 플루오르화물, 과염소산염 등의 산화성 물질
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 폐 자극, 호흡 부전, 골수 손상, 중추신경계 기능저하
  - 피부 : 자극, 홍반, 부어오름, 수포, 피부염
  - 안구 : 자극, 통증, 염증, 각막손상, 결막염, 시력의 손상 또는 상실
  - 경구 : 두통, 메스꺼움, 구토, 어지러움, 졸림, 간/신장 손상, 화학적 폐렴, 무의식, 혼수, 호흡부전, 사망
- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거 : 직사 주수 금지
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 유해증기의 흡입을 피하고 바람을 등지고 있을 것, 다량의 물로 노출용기 냉각
  - 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 인접 지역을 냉각시킬 것
  - 소화제 : 물, 일반포말, 분말 소화약제, 이산화탄소

6) 염화메틸 (Methyl chloride)

- 화학물질군 : 할로겐화 유기화합물류
- UN번호 : 1063
- ERG대응지침번호 : GUIDE 115 (인화성가스)
- 용도 : 메틸화제, 제약, 폼제, 마취제, 냉각제, 추출용매, 제초제, 온도계 및 온도 조절 장비의 유동체, 실리콘 중간체
- 위험성
  - 가연성이 매우 높은 물질로 열, 스파크, 화염, 산화제에 의해 쉽게 점화하고, 폭발 위험성 있음
  - 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성, 화재 시 부식성, 자극성, 독성가스 생성
  - 혼합금지 : 포스겐, 산 할로겐화물, 독성 흄 방출(염화수소, 일산화탄소)
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 메스꺼움, 구토, 설사, 두통, 졸음, 수면, 근육 운동의 축소, 현기증, 질식, 마비, 경련, 청색증, 혼수
  - 피부 : 자극, 물집, 신경손상, 동상(액화가스에 접촉 시)
  - 안구 : 복시, 흐린 시야, 동공확대, 결막 충혈, 원근조절의 어려움
  - 경구 : 소화불량, 구토, 설사, 복통
- 화재진압 요령
  - 누출을 멈추게 할 수 없고 누출 가스에 불이 붙은 경우 화재진압을 시도하지 않을 것
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼거리 진화, 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 유출율을 감소시키고 불활성 가스를 주입하여 유출을 멈춰서 역화를 막을 것, 가능한 누출을 막고 전기장치들을 끌 것
  - 분무/무상 주수, 장비 접지, 점화원 제거
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 물, 일반포말, 분말소화약제, 이산화탄소

7) 메틸아민 (Methylamine)

- 화학물질군 : 아민류
- UN번호 : 1061(가스), 1235(액상)
- ERG대응지침번호 : GUIDE 118 (인화성 가스 - 부식성),
  GUIDE 132 (인화성 액체 - 부식성)
- 용도 : 촉진제, 염료, 살충제, 곰팡이 제거제, 제약, 살충제, 계면활성제, 직물 염색, 연료 첨가물, 중합 반응 억제제, 페인트 제거제, 용제, 사진 현상제, 로켓발사화약
- 위험성
  - 독성 : 증기가 매우 자극적, 접촉 시 화상/상해/동상, 흡입 시 현기증/질식 유발할 수 있음
  - 인화성이 매우 높은 물질로 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화하고 폭발 위험성 있음
  - 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성, 화재 시 부식성, 자극성, 독성가스 생성
  - 액화가스 증기는 공기보다 무겁기 때문에 지면을 따라 확산
  - 혼합금지 : 산화제, 산, 염기, 수은, 니트로메탄, 할로겐 화합물, 가연성 물질
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 천명, 상기도 부종, 호흡부전, 폐부종, 청색증
  - 피부 : 자극, 화상, 홍조, 부종, 수포
  - 안구 : 자극, 화상, 결막부종, 상피세포 손상, 각막손상, 시력의 손상 및 상실
  - 경구 : 구강/식도/위의 화상, 구토, 천명, 침 흘림
- 화재진압 요령
  - 누출을 멈추게 할 수 없고 누출 가스에 불이 붙은 경우 화재진압을 시도하지 않을 것
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼거리 진화, 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 가능한 누출을 막고 전기장치들을 끌 것
  - 분무/무상 주수, 장비 접지, 점화원 제거
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단

– 물 분무를 이용하여 증기를 줄이거나 증기구름을 흩뜨려서 물이 누출물과 접촉되지 않도록 함

– 소화제 : 물, 일반포말, 내알코올포, 분말소화약제, 이산화탄소

8) 시안화수소 (Hydrogen cyanide)

- 화학물질군 : 무기 시안화물류
- UN번호 : 1051(가스), 1614(액상)
- ERG대응지침번호 : GUIDE 117 (인화성가스 - 독성),
  GUIDE 154 (독성, 부식성 액체 – 불연성)
- 용도 : 산업 화학물질, 아크릴로니트릴, 알크릴산염류, 시안화물 염류, 염료, 킬레이트, 쥐약, 살충제, 금속 광택제, 전기도금 용약, 야금, 사진가공, 나일론, 화학 중간체
- 위험성
  – 독성 : 매우 유해한 물질, 물질의 흡입, 섭취, 피부접촉 시 심한 상해나 사망을 초래할 수 있음
  – 극인화성 물질로 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화하고 폭발 위험성 있음
  – 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성, 물 또는 습기 있는 공기와 접촉하면 발화될 수 있음
  – 혼합금지 : 아세트 알드히드, 아민, 산, 수산화나트륨, 수산화칼슘, 탄산나트륨, 물, 암모니아, 산화제, 염소계 살균제
- 노출경로에 따른 인체유해성
  – 흡입 : 호흡기 자극, 두통, 현기증, 불안, 오심, 구토, 호흡곤란, 청색증, 경련, 의식불명, 사망
  – 피부 : 자극, 붉은 반점, 상처를 통해 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음
  – 안구 : 자극, 동공 확대, 각막 부종, 작열감
  – 경구 : 오심, 구토, 복통, 타액 분비 증가, 구역질, 현기증, 불안, 착란, 경련, 불규칙한 심박동, 호흡곤란, 혼수
- 화재진압 요령
  – 누출을 멈추게 할 수 없고 누출 가스에 불이 붙은 경우 화재진압을 시도하지 않을 것
  – 탱크화재의 경우 최대한 먼 거리 진화, 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것

- 가능한 누출을 막고 전기장치들을 끌 것
- 분무/무상 주수, 일반포말, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거
- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 잔류물은 모래, 흙 또는 질석에 흡수시킬 것
- 소화제 : 물, 일반포말, 내알코올포, 분말소화약제, 이산화탄소

9) 염화비닐 (Vinyl chloride)

- 화학물질군 : 할로겐화 유기화합물류, 불포화 지방족 탄화수소류
- UN번호 : 1086
- ERG대응지침번호 : GUIDE 116P (인화성가스 - 불안정)
- 용도 : 플라스틱산업, 유기 합성, 자동차산업, 전선 절연과 케이블, 의약제품, 고무, 종이, 유리 산업, 접착제
- 위험성
  - 가스에 노출 시 현기증 또는 질식, 화상, 상해, 동상 가능성
  - 극인화성 물질로 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화하고 폭발 위험성 있음
  - 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성, 열, 화재에 의해 폭발적으로 중합될 수 있음, 가열된 용기는 폭발할 수 있음
  - 혼합금지 : 구리, 산화제, 알루미늄, 과산화물, 철
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 호흡곤란, 수면, 긴장완화, 반사작용 둔화, 오심, 두통, 현기증, 경련 및 혼수상태
  - 피부 : 자극, 화상, 동상, 청색증
  - 안구 : 자극, 물리적 부상과 동상 유발
  - 경구 : 오심, 구토, 설사, 상복부 통증
- 화재진압 요령
  - 누출을 멈추게 할 수 없고 누출 가스에 불이 붙은 경우 화재진압을 시도하지 않을 것

- 대형/탱크화재의 경우 최대한 먼 거리 진화, 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것 (불가능할 경우 타도록 내버려두고 철수)
- 가능한 누출을 막고 전기장치들을 끌 것
- 분무/무상 주수, 장비 접지, 점화원 제거
- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 소화제 : 물, 분말소화약제, 이산화탄소

10) 이황화탄소 (Carbon disulfide)

- 화학물질군 : 무기 황화물류
- UN번호 : 1131
- ERG대응지침번호 : GUIDE 131 (인화성 액체 - 독성)
- 용도 : 레이온, 사염화탄소, 토양 살균제, 전자 진공관 제조, 인, 황, 셀레늄, 브롬, 요오드, 지방, 수지, 고무의 용매, 광학유리, 페인트, 에나멜, 니스, 페인트 제거제, 수지, 로켓연료, 셀로판
- 위험성
  - 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화, 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음. 증기폭발 위험성 있음
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음
  - 혼합금지 : 공기, 질소산화물 녹, 할로겐, 금속(나트륨, 칼륨, 아연, 알루미늄), 산화제, 아지드, 아민
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 인두 염증, 메스꺼움, 구토, 현기증, 피로, 두통, 착란, 환각, 경련, 혼수, 사망
  - 피부 : 자극, 화상, 수포, 탈지, 박탈, 피부염
  - 안구 : 자극, 통증, 눈물, 결막염, 각막손상, 시력손상
  - 경구 : 구강/식도 화상, 두통, 오심, 현기증, 복통, 구토, 설사, 착란, 환각, 마비, 저체온, 청색증, 호흡부전, 동공확대, 경련, 혼수, 사망

- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것(불가능할 경우 타도록 내버려두고 해당지역 철수)
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거, 노출 차단
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

11) 산화에틸렌 (Ethylene oxide)

- 화학물질군 : 에폭사이드류
- UN번호 : 1040
- ERG대응지침번호 : GUIDE 119P (인화성가스 - 독성)
- 용도 : 비이온성 계면활성제, 로켓 추진제, 훈증제, 살균제, 살생물제, 살충제, 제초제, 유기합성
- 위험성
  - 독성 : 흡입 또는 피부 흡수 시 치명적일 수 있음. 가스에 노출 시 화상/상해/동상을 입을 수 있음
  - 열, 스파크, 화염, 마찰, 충격, 오염에 의해 쉽게 점화하고 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성
  - 물 또는 습한 공기와 접촉 시 점화될 수도 있음. 열이나 화재에 의하여 폭발적으로 중합될 수 있음
  - 혼합금지 : 산, 염기, 가연성 물질, 산화제, 철, 알루미늄, 주석, 물, 아미노산
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 후각/미각 손실, 두통, 오심, 구토, 졸음, 쇠약, 불규칙한 호흡, 청색증, 폐부종
  - 피부 : 화상, 동상, 수포, 괴사, 피부염
  - 안구 : 화상, 동상, 충혈, 염증, 결막염
  - 경구 : 오심, 구토, 설사

- 화재진압 요령
  - 누출을 멈추게 할 수 없고 누출 가스에 불이 붙은 경우 화재진압을 시도하지 않을 것
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼거리 진화, 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거. 유출을 막을 수 없다면 안전거리에서 화재지역 주변을 물로 냉각시키고 불이 그냥 타도록 내버려 둘 것
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 물, 알코올포, 분말소화약제, 이산화탄소

12) 포스겐 (Phosgene)

- 화학물질군 : 산 할라이드류
- UN번호 : 1076
- ERG대응지침번호 : GUIDE 125 (부식성가스)
- 용도 : 폴리우레탄, 폴리카보네이트, 수지, 카바메이트, 플라스틱, 살충제, 제초제, 염소화제, 염료, 향수, 제약, 아이소시아네이트의 제조, 군사용 기체
- 위험성
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음
  - 비가연성물질, 화재 시 부식성, 자극성, 독성 가스 생성
  - 물질들 중 일부는 물과 폭발적으로 반응할 수 있음
  - 물이나 증기와 접촉 시 느리게 반응하며 염산, 이산화탄소 같은 부식성, 독성 물질 생성
  - 혼합금지 : 산화제, 염기, 알코올, 아민, 암모니아, 알루미늄, 구리, 수분
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 기침, 호흡곤란, 가슴통증, 현기증, 무기력, 폐부종, 호흡부전, 청색증, 경련, 혼수
  - 피부 : 화상 또는 동상, 피부 부식 및 조직 파괴
  - 안구 : 자극, 화상, 동상, 눈물, 눈 손상
  - 경구 : 오심, 구토, 위장관 화상

◉ 화재진압 요령

– 용기 안으로 물이 유입되지 않게 할 것

– 미세한 물분무로 화재 진압 후 인접 지역을 냉각시킬 것

– 분무/무상 주수, 일반포말 사용, 유출물 또는 누출원에 대한 직사 주수는 금함

– 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단

– 소화제 : 물, 일반포말, 분말소화약제, 이산화탄소

13) 트리메틸아민 (Trimethylamine)

◉ 화학물질군 : 아민류

◉ UN번호 : 1083

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 118 (인화성가스 - 부식성)

◉ 용도 : 환원제, 유기합성, 살균제, 플라스틱, 감미료, 이온교환수지, 부식 억제제

◉ 위험성

– 독성 : 증기가 매우 자극적, 접촉 시 화상/상해/동상, 흡입 시 현기증/질식 유발할 수 있음

– 극인화성 물질로 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화하고 폭발 위험

– 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성

– 혼합금지 : 산화제, 산, 산화에틸렌, 금속

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

– 흡입 : 자극, 화상, 목의 통증, 기침, 오심, 구토, 두통, 현기증, 호흡곤란, 졸음, 이명, 폐부종, 쇠약, 경련, 혼수

– 피부 : 자극, 화상, 궤양, 염증

– 안구 : 자극, 화상, 결막출혈, 궤양, 각막 부종, 각막 혼탁, 시력상실

– 경구 : 위장자극, 구역질, 구토, 구강/식도/위장 화상

◉ 화재진압 요령

– 누출을 멈추게 할 수 없고 누출 가스에 불이 붙은 경우 화재진압을 시도하지 않을 것

- 탱크화재의 경우 최대한 먼거리 진화, 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
- 가능한 누출을 막고 전기장치들을 끌 것
- 분무/무상 주수, 일반포말 사용, 장비 접지, 점화원 제거
- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 소화제 : 물, 일반포말, 알코올 포, 분말소화약제, 이산화탄소

14) 산화프로필렌 (Propylene oxide)

- 화학물질군 : 에폭시류
- UN번호 : 1280
- ERG대응지침번호 : GUIDE 127P (인화성 액체 - 극성, 친수성)
- 용도 : 프로필렌/글리콜류 합성, 윤활유, 계면활성제, 유화제, 폴리에테르, 탈염화수소 안정제, 훈증약, 토양 멸균제, 제약
- 위험성
  - 물질의 흡입 또는 접촉 시 피부와 눈에 자극 또는 화상을 일으킬 수 있음
  - 인화성이 높은 물질로 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화하고 폭발 위험성 있음
  - 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성, 열, 화재에 의하여 폭발적 중합
  - 에폭시 수지와 수산화나트륨과 폭발 반응을 일으킴. 증기는 공기보다 무거워 지면을 따라 퍼짐
  - 혼합금지 : 무수 금속염화물, 철, 산, 과산화물, 산화제, Grignard 시약과 유기리튬과 반응함
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기자극, 화상, 두통, 오심, 현기증, 운동신경약화, 기침, 질식, 폐부종, 혼수
  - 피부 : 자극, 화상, 물집, 염증, 홍반, 부어오름, 수포
  - 안구 : 자극, 충혈, 눈물, 염증, 각막손상, 통증, 결막염, 시력상실
  - 경구 : 위장자극, 구토, 구역질, 설사, 두통, 현기증, 허탈, 무의식, 호흡부전, 혼수

◉ 화재진압 요령

– 대형/탱크화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것 (불가능할 경우 타도록 내버려 두고 철수)

– 분무/무상 주수, 내알코올포 사용. 장비 접지, 점화원 제거 : 직사 주수하지 않을 것

– 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단

– 가능한 누출을 막고 전기장치들의 스위치를 끌 것

– 소화제 : 물, 내알코올포, 분말소화약제, 이산화탄소

15) 메틸에틸케톤 (Methyl ethyl ketone)

◉ 화학물질군 : 케톤류

◉ UN번호 : 1193

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 127 (인화성 액체 - 극성, 친수성)

◉ 용도 : 락커, 시너, 접착제, 풀, 페이트 제거제, 손톱제광액, 인쇄 잉크, 무연화약, 합성수지, 인공 가죽, 약품 및 화장품, 합성 고무, 윤활유의 생산, 식료품처리의 추출용매, 코팅용매, 방향제 및 조미료

◉ 위험성

– 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화하고 폭발 위험성 있음

– 증기는 공기와 결합하여 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음

– 혼합금지 : 산화제, 아민류, 암모니아, 무기산, 중화제, 구리

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

– 흡입 : 호흡기자극, 두통, 현기증, 오심, 숨가쁨, 구토, 폐 손상, 반사작용 둔화, 집중력 저하, 혼수

– 피부 : 자극, 홍반, 통증 및 가려움, 수포, 피부염

– 안구 : 자극, 통증, 눈 손상

– 경구 : 복통, 오심, 구토, 폐흡인으로 인한 폐렴

- 화재진압 요령
  - 누출을 멈추게 할 수 없다면 소화시도하지 말것
  - 가능한 누출을 막고 전기장치들을 끌 것
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용. 장비 접지, 점화원 제거 : 직사주수하지 않을 것
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 물, 내알코올포, 분말소화약제, 이산화탄소

16) 메틸비닐케톤 (Methyl vinyl ketone)

- 화학물질군 : 케톤류, 지방족 불포화 탄화수소류
- UN번호 : 1251
- ERG대응지침번호 : GUIDE 131P (인화성 액체 - 독성)
- 용도 : 비닐수지, 스테로이드와 비타민 A합성의 중간체, 알킬화제
- 위험성
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있다.
  - 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화하고 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  - 열이나 화재에 의하여 폭발적으로 중합될 수 있음
  - 혼합금지 : 산화제, 질산염, 염기, 가연성 물질
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 치명적, 자극, 화상, 기침, 어지러움, 중추신경계 이상, 오심, 두통, 현기증, 졸음, 호흡곤란
  - 피부 : 자극, 피부증, 감각이상, 수포, 화상
  - 안구 : 치명적, 자극, 화상, 눈물, 눈 손상, 어지럼증 및 질식
  - 경구 : 치명적, 위장내 심각한 화상, 오심, 두통, 어지러움, 질식, 폐렴

◉ 화재진압 요령

– 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것

– 유출을 막을 수 없다면 안정적인 거리에서 화재지역 주변을 물로 냉각시키고 불이 그냥 타도록 내버려 둘 것

– 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거 : 직사주수는 금함

– 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단

– 소화제 : 물, 내알코올포, 분말소화약제, 이산화탄소

17) 아크릴산 (Acrylic Acid)

◉ 화학물질군 : 카복실산류

◉ UN번호 : 2218

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 132P (인화성 액체 - 부식성)

◉ 용도 : 수지, 고무, 플라스틱, 바닥 광택제, 중간체, 접착제, 흡수 흡착제, 폴리머제제(산소 존재 하에 중합)

◉ 위험성

– 열, 스파크, 화염에 노출 시 화재위험. 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음

– 열이나 화재에 의하여 폭발적으로 중합될 수 있음

– 혼합금지 : 산, 염기, 아민, 산화제(질산염, 산화성산, 염소표백제, 염소계 살균제 등)

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

– 흡입 : 호흡기 자극, 폐 자극, 힘든 호흡, 기침, 현기증, 두통, 오심, 무기력, 폐부종

– 피부 : 자극, 통증, 홍반, 수포, 화상, 상처를 통해 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음

– 안구 : 자극, 통증, 눈물, 화상, 각막손상, 시력손상 또는 상실

– 경구 : 구강/위 장관 화상, 두통, 오심, 복부경련, 구토, 쇼크, 혼수, 저혈압, 신장/폐의 감염, 호흡부전, 사망

- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 인접 지역을 냉각시킬 것
  - 소화제 : 다량의 안개형 물, 알코올 포, 분말 소화약제, 이산화탄소, 폼 BCF

18) 메틸 아크릴레이트 (Methyl acrylate)

- 화학물질군 : 에스터, 불포화 지방족 탄화수소류
- UN번호 : 1919
- ERG대응지침번호 : GUIDE 129P (인화성 액체 - 극성, 친수성)
- 용도 : 폴리머 제조의 단량체, 아크릴 수지, 플라스틱, 섬유제조, 코팅용 공중합체, 계면활성제, 비타민 B1, 화학물질 중간체
- 위험성
  - 흡입, 접촉 시 피부와 눈에 자극 또는 화상을 일으킬 수 있음
  - 열, 스파크, 화염, 마찰, 충격, 오염에 의해 쉽게 점화하고 폭발 가능
  - 증기는 공기와 결합하여 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음. 열이나 화재에 의하여 폭발적으로 중합될 수 있음
  - 혼합금지 : 질산염, 산화제, 염기, 과산화물
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 두통, 오심, 구토, 현기증, 불규칙한 호흡, 무의식, 폐렴, 폐부종
  - 피부 : 자극, 화상, 홍반, 부어오름, 수포, 피부과민성, 피부염
  - 안구 : 자극, 눈물, 통증, 각막 손상, 염증, 시력손상
  - 경구 : 섭취 시 유해함, 구토, 구역질, 설사

- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것(불가능할 경우 타도록 내버려두고 철수)
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 물, 내알코올포, 분말소화약제, 이산화탄소

19) 니트로벤젠 (Nitrobenzene)

- 화학물질군 : 유기아질산염류, 질산염류 및 질소화합물류
- UN번호 : 1662
- ERG대응지침번호 : GUIDE 152 (독성 - 가연성)
- 용도 : 아닐린, 벤지민, 퀴놀린, 아이소시안산, 살충제, 고무화합물 등의 합성원료, 셀룰로스 에테르의 용제, 금속광택제 및 신발 광택제의 성분
- 위험성
  - 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음
  - 화재 시 부식성, 자극성, 독성 가스 발생
  - 용융물질과 접촉 시 피부와 눈에 심각한 화상
  - 혼합금지 : 산화제, 산, 염기, 금속(주석, 아연), 염화알루미늄, 오염화인
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 불규칙한 호흡, 호흡곤란, 두통, 현기증, 착란, 허약, 경련, 청색증
  - 피부 : 자극, 과민, 탈지
  - 안구 : 자극, 각막 화상, 눈 손상
  - 경구 : 두통, 얕은 호흡, 어지러움, 구토, 허약, 설사, 혈압 하락, 경련, 착란, 청색증, 혼수
- 화재진압 요령
  - 대형/탱크화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것

- 분무/무상 주수, 일반포말사용, 직사주수는 금함
- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 할 것, 점화원 제거, 누출차단
- 풍상지역(맞바람쪽)을 유지하고 낮은 지역에서 대피할 것
- 소화제 : 물, 일반포말, 분말소화약제, 이산화탄소

20) 파라-니트로톨루엔 (p-Nitrotoluene)

- 화학물질군 : 유기아질산염류, 질산염류 및 질소화합물류
- UN번호 : 1664
- ERG대응지침번호 : GUIDE 129 (인화성 액체 - 극성, 친수성)
- 용도 : 합성염료 제조, 고무, 농약, 폭발물 생산에서 화학적 중간체
- 위험성
  - 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음
  - 가연성 물질이나 화재위험성은 경미, 분진/공기 혼합물은 발화/폭발할 수 있음
  - 강산화제, 황산과 격렬히 반응하여 화재/폭발을 일으킬 수 있음
  - 혼합금지 : 산, 가연성 물질, 산화제
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 두통, 현기증, 호흡곤란, 무의식, 혼수
  - 피부 : 자극, 홍반, 통증
  - 안구 : 자극, 눈물, 결막충혈, 화상
  - 경구 : 위장자극, 구토, 구역질, 설사, 두통, 현기증, 졸음, 쇠약, 착란, 서맥, 경련, 혼수, 호흡부전
- 화재진압 요령
  - 대형/탱크화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 분무/무상 주수, 일반포말사용, 직사주수는 금함

– 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고 점화원 제거, 누출차단

– 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단

– 소화제 : 물, 일반포말, 분말소화약제, 이산화탄소

21) 염화벤질 (Benzyl chloride)

- 화학물질군 : 할로겐화 유기 화합물류
- UN번호 : 1738
- ERG대응지침번호 : GUIDE 156 (독성, 부식성, 가연성액체)
- 용도 : 벤질화합물, 향수, 염료, 제약, 합성수지, 사진인화, 페니실린 전구체
- 위험성
  – 가열시 증기와 공기 혼합물은 인화점 이상에서 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  – 물 또는 습기가 많은 공기와 반응하여 인화성/유독성 가스 발생
  – 용기가 열에 노출되면 파열 또는 폭발할 수 있음
  – 증기, 분진, 물질에 노출 시 심각한 상해, 화상, 사망을 초래
  – 혼합금지 : 산, 산화제, 구리, 알루미늄, 마그네슘, 철, 아연, 주석
- 노출경로에 따른 인체유해성
  – 흡입 : 자극, 화상, 궤양, 기침, 두통, 어지러움, 무기력, 오심, 경련, 기관지 부종, 화학적폐렴, 폐부종, 혼수
  – 피부 : 자극, 염증, 궤양, 통증, 화상
  – 안구 : 자극, 화상, 통증, 눈물, 빛에 민감, 각막혼탁, 시력상실
  – 경구 : 내부 장기 화상, 통증, 천공, 토혈, 오심, 구토, 설사, 경련, 저혈압, 불안정한 호흡
- 화재진압 요령

– 탱크화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것

– 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거 : 직사 주수 금지

– 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단

- 다량의 물로 노출용기 냉각, 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 할 것
- 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

22) 아크롤레인 (Acrolein)

- 화학물질군 : 알데하이드류, 불포화 지방족 탄화수소류
- UN번호 : 1092
- ERG대응지침번호 : GUIDE 131P (인화성 액체 - 독성)
- 용도 : 의약품, 향료, 식품보충제 및 제조제의 제조 합성글리세롤, 폴리우레탄, 폴리에스테르수지 제조 아크릴산 및 그 에스테르 제조 시의 중간산물 염화메틸 냉동장치의 경고물질
- 위험성
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음
  - 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화, 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  - 혼합금지 : 산화제, 산, 염기, 암모니아, 아민, 염
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 화상, 폐 손상, 현기증, 구역질, 기관지경련, 중추신경계 기능저하, 호흡곤란, 사망
  - 피부 : 자극, 홍반, 부종, 화상, 종창, 상처를 통해 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음
  - 안구 : 점막자극, 눈물, 각막화상, 시력손상 및 상실
  - 경구 : 위 장관 자극, 구역질, 구토, 설사, 구강/위 장관 화상, 급성 폐 손상, 호흡부전
- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거 : 직사 주수 금지
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단

– 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 인접 지역을 냉각시킬 것

– 소화제 : 물, 내알코올 포, 분말 소화약제, 이산화탄소

23) 알릴 클로라이드 (Allyl chloride)

- 화학물질군 : 할로겐화 유기화합물, 지방족 불포화 탄화수소류
- UN번호 : 1100
- ERG대응지침번호 : GUIDE 131 (인화성 액체 - 독성)
- 용도 : 에피클로로히드린 및 글리세롤 제조 알릴화합물 제조, 강력 환원제
- 위험성
  – 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음
  – 열, 스파크, 화염에 노출 시 화재위험, 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  – 혼합금지 : 산화제, 산, 아민, 수산화나트륨, 철, 염화알루미늄, 마그네슘, 아연
- 노출경로에 따른 인체유해성
  – 흡입 : 호흡기 자극, 기침, 두통, 현기증, 구토, 폐 손상, 호흡곤란, 의식불명, 질식
  – 피부 : 자극, 통증, 화상, 피부염, 상처를 통해 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음
  – 안구 : 자극, 통증, 눈물, 충혈, 눈부심, 화상, 염증, 결막염, 각막 손상, 시력상실
  – 경구 : 화상을 동반한 위장 자극, 오심, 구토, 신장 손상, 허탈, 청색증, 근육마비, 경련, 호흡정지
- 화재진압 요령
  – 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  – 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거 : 직사 주수 금지
  – 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  – 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 인접 지역을 냉각시킬 것

- 소화제 : 다량의 안개형 물, 알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소, 폼 BCF, 대형화재 시 물 스프레이 또는 물 분무

24) 아크릴로니트릴 (Acrylonitrile)

- 화학물질군 : 니트릴 화합물, 불포화 지방족, 탄화수소류
- UN번호 : 1093
- ERG대응지침번호 : GUIDE 131P (인화성 액체 - 독성)
- 용도 : 산화방지제, 플라스틱, 염료, 약제, 살충제, 훈증제, 코팅제, 접착제, 표면활성제, 스티렌 & 부타디엔 중합체
- 위험성
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음
  - 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화, 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  - 열이나 화재에 의하여 폭발적으로 중합될 수 있음. 질산은과 저장 시 폭발적 중합반응이 일어날 수 있음
  - 혼합금지 : 산화제, 산, 염기, 브롬, 아민, 질산은
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 화상, 폐 손상, 구역질, 두통, 현기증, 경련, 발작, 기침, 호흡곤란, 청색증, 무의식, 사망
  - 피부 : 자극, 가려움, 화상, 홍반, 수포, 종창, 상처를 통해 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음
  - 안구 : 자극, 눈물, 종창, 시력손상 및 상실
  - 경구 : 두통, 현기증, 오심, 구토, 설사, 판단력 상실, 경련, 청색증, 호흡곤란
- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거 : 직사 주수 금지

- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 인접 지역을 냉각시킬 것
- 소화제 : 물 스프레이, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소, 폼 BCF

25) 에틸렌디아민 (Ethylenediamine)

- 화학물질군 : 아민류
- UN번호 : 1604
- ERG대응지침번호 : GUIDE 132 (인화성 액체 - 부식성)
- 용도 : 킬레이트제, 유화제, 윤활유, 염색, 합성 왁스, 수지, 살충제, 아스팔트, 제초제, 계면활성제, 습윤제
- 위험성
  - 열, 스파크, 화염, 산화제에 노출 시 화재위험성 있음
  - 증기는 공기와 결합하여 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  - 물질과 접촉 시 피부와 눈에 심한 화상을 입을 수 있음
  - 혼합금지 : 산, 산화제, 사염화탄소, 유기염소화합물, 이황화탄소, 할로겐화 유기 화합물 및 할로겐화 금속
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 화상, 기침, 숨막힘, 두통, 저혈압, 구역질, 폐렴, 폐부종, 간/신장 손상, 심장장애
  - 피부 : 자극, 화상, 괴사, 홍반, 부종, 수포, 피부염
  - 안구 : 화상, 각막손상, 홍반, 통증, 눈물, 각막혼탁, 홍채염증, 안구 돌출, 백내장, 결막염, 실명
  - 경구 : 위장관 자극, 궤양, 점막 부종, 천공, 과다 침 분비, 구토, 설사, 복부경직, 발열
- 화재진압 요령
  - 탱크화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것

- 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거
- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 소화제 : 물 스프레이, 알코올포, 분말소화약제, 이산화탄소, 대형화재 시 물 분무

26) 알릴 알코올 (Allyl alcohol)

- 화학물질군 : 알코올, 불포화 지방족 탄화수소류
- UN번호 : 1098
- ERG대응지침번호 : GUIDE 131 (인화성 액체 - 독성)
- 용도 : 알릴화합물, 수지류, 가소제 제조 살균제 및 제초제 의약품 및 유기화학물질의 중간제품 글리세롤, 아크롤레인, 전쟁 독가스
- 위험성
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음
  - 열, 스파크 또는 화염에 노출 시 화재위험. 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음. 증기폭발 위험성 있음
  - 혼합금지 : 강산화제, 산, 사염화탄소, 수산화나트륨
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 폐 손상, 호흡곤란, 기침, 두통, 현기증, 오심, 구토, 졸음, 저혈압, 정신착란, 경련, 혼수
  - 피부 : 자극, 화상, 발진, 수포, 괴사, 상처를 통해 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음
  - 안구 : 자극, 충혈, 눈물, 통증, 눈부심, 각막궤양, 괴사, 시력상실
  - 경구 : 위장자극, 중추신경계 기능저하, 두통, 졸림, 현기증, 허탈, 구역질, 설사, 협동운동장애, 착란, 혼수, 사망
- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것

- 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거 : 직사 주수 금지
- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 인접 지역을 냉각시킬 것
- 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

27) 메타-크레졸 (m-Cresol)

- 화학물질군 : 페놀류, 크레졸류
- UN번호 : 2076
- ERG대응지침번호 : GUIDE 153 (독성, 부식성액체 - 가연성)
- 용도 : 방부제, 소독제, 살균제, 살충제, 제초제, 산화방지제 수지류 가소제 향수, 폭약물, 사진현상제 용제, 엔진 및 금속 청소제
- 위험성
  - 열, 스파크, 화염, 산화제에 노출 시 화재위험성 있음, 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  - 독성 : 물질의 흡입, 섭취, 피부흡수 시 심각한 상해나 사망을 초래할 수 있음
  - 혼합금지 : 산, 산화제
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 기침, 화상, 후두/기관지 부종, 호흡곤란, 저체온, 두통, 오심, 구토, 무의식, 폐부종, 경련, 사망
  - 피부 : 화상, 발진, 물집, 홍반, 청색증, 발한, 갈증, 오심, 구토, 저혈압, 경련, 혼수
  - 안구 : 자극, 화상, 결막염, 각막손상, 시력상실
  - 경구 : 자극, 구강/위장관 화상, 천공, 오심, 구토, 저혈압, 복통, 혼수
- 화재진압 요령
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼거리 진화, 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 안전할 수 있다면 용기는 화재진행 경로에서 제거할 것

- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

28) 톨루엔 (Toluene)

- 화학물질군 : 불포화 지방족 탄화수소류
- UN번호 : 1294
- ERG대응지침번호 : GUIDE 130 (인화성 액체 - 비극성, 유해함)
- 용도 : 페인트, 수지, 접착제, 시너, 염색, 폭발물, 광택제, 가솔린 첨가제, 직물 & 종이 코팅, 우레탄, 인조 가죽 생성, 화장품, 잉크, 부동액, 아스팔트와 나프타 구성요소, 사카린, 의약품, 염색, 향수, TNT 제조, 껌, 수지, 고무와 비닐
- 위험성
  - 흡입 또는 접촉 시 피부와 눈에 자극 또는 화상을 일으킬 수 있음
  - 인화성이 높은 물질로 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화, 폭발 위험성 있음
  - 증기는 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성
  - 혼합금지 : 산화제, 산, 금속염, 할로겐
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 기침, 오심, 피로, 두통, 어지러움, 수면, 반사작용 둔화, 발작, 마비, 청색증, 혼수, 사망
  - 피부 : 자극, 염증, 홍반, 부종, 수포, 피부염
  - 안구 : 자극, 화상, 안검경련, 결막염, 각막손상, 시력손상 및 상실
  - 경구 : 구역질, 복통, 구토, 현기증, 두통, 반응신경 저하, 불분명한 발음
- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것, 유출을 막을 수 없다면 안전거리에서 화재지역 주변을 물로 냉각시키고 불이 그냥 타도록 내버려 둘 것

- 분무/무상 주수, 일반포말 사용, 장비 접지, 점화원 제거 : 직사 주수 금지
- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 유해증기의 흡입을 피하고 바람을 등지고 다량의 물로 용기 냉각
- 소화제 : 안개형 물분무, 물, 일반포말, 분말 소화약제, 이산화탄소, BCF

29) 페놀 (Phenol)

- 화학물질군 : 페놀류, 크레졸류
- UN번호 : 1671(고형), 2312(용융), 2821(액상)
- ERG대응지침번호 : GUIDE 153 (독성, 부식성 - 가연성)
- 용도 : 일반 소독약, 인공 수지 제조, 염색, 분석시약, 방부제, 의약품, 점성물질 조절제, 화학 중간체
- 위험성
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 접촉 시 심한 상해나 사망 초래
  - 열, 스파크, 정전기, 화염, 산화제에 의해 점화 가능
  - 가열시 가연성 증기 발생, 이 증기는 공기와 폭발적 혼합물 형성
  - 혼합금지 : 산화제, 산, 염화알루미늄, 차아염소산칼슘, 아질산나트륨, 금속
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 기침, 화상, 오심, 구토, 설사, 쇠약, 두통, 발한, 경련, 호흡곤란, 청색증, 폐부종, 혼수
  - 피부 : 화상, 홍반, 부어오름, 수포, 피부로 흡수되어 심혈관 및 중추신경계에 영향을 미칠 수 있음
  - 안구 : 자극, 결막염, 각막손상, 극심한 통증, 충혈, 흐릿한 시야
  - 경구 : 화상, 중추신경계 기능저하, 두통, 복통, 어지러움, 졸림, 발한, 구역질, 구토, 설사, 저혈압, 청색증, 혼수, 폐부종

- 화재진압 요령
  - 탱크화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 한다. 점화원 제거, 누출차단
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

30) 노말-부틸아민 (n-Butylamine)

- 화학물질군 : 아민류
- UN번호 : 1125
- ERG대응지침번호 : GUIDE 132 (인화성 액체 - 부식성)
- 용도 : 의약품, 염료, 고무 화학제품, 유화제, 살충제, 농약화학, 유화제, UV 흡수제, 식품첨가제
- 위험성
  - 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화, 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음. 증기폭발 위험성 있음
  - 물질과 접촉 시 피부와 눈에 심한 화상을 입을 수 있음
  - 혼합금지 : 산, 산화제
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 화상, 기침, 숨막힘, 두통, 오심, 현기증, 폐렴, 저혈압, 호흡곤란, 폐부종
  - 피부 : 자극, 화상, 궤양, 청색증, 피부염, 상처를 통해 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음
  - 안구 : 자극, 화상, 결막염, 부어오름, 각막혼탁 및 홍채 염증, 시력 상실
  - 경구 : 위 장관 화상, 통증, 천공, 구역질, 구토, 설사, 호흡장애, 질식, 경련, 청색증, 혼수
- 화재진압 요령
  - 탱크화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것

- 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거, 용기 내부로 수분 유입 차단
- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

31) 트리에틸아민 (Triethyl amine)

- 화학물질군 : 아민류
- UN번호 : 1296
- ERG대응지침번호 : GUIDE 132 (인화성 액체 - 부식성)
- 용도 : 환원제, 촉매, 폴리머류의 경화제, 습윤제, 방수제, 제초제, 부식 억제제, 염료, 화학물질 중간체, 구충제, 감미료
- 위험성
  - 물질에 노출 시 화상 등 독성 영향이 나타날 수 있음
  - 열, 충격, 마찰, 오염, 물, 산화제와 접촉 시 화재 및 폭발위험
  - 증기와 공기 혼합물은 폭발성 있음
  - 혼합금지 : 산화제, 산, 염소, 차아염소산, 할로겐화합물
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 폐 손상, 기침, 질식, 통증, 저혈압, 오심, 구토, 폐부종
  - 피부 : 자극, 홍반, 통증, 화상, 염증
  - 안구 : 홍반, 고통, 눈물, 흐릿한 시야, 화상, 각막부종, 결막염, 상피 파괴, 각막혼탁, 안구돌출, 백내장, 시력상실
  - 경구 : 부식성, 복부 통증, 허탈, 화상, 폐 손상, 구토, 궤양, 과다 침 분비, 구토, 설사, 흉부 통증, 복부경직
- 화재진압 요령
  - 대형/탱크화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것 (불가능할 경우 타도록 두고 철수)

- 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거
- 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소, 폼, BCF

32) 아세트산에틸 (Ethyl acetate)

- 화학물질군 : 에스터류
- UN번호 : 1173
- ERG대응지침번호 : GUIDE 129 (인화성 액체 - 극성, 친수성, 유독성)
- 용도 : 니트로셀룰로오스, 니스, 락커, 무연 화약, 인조 가죽, 사진 필름, 판금, 인조 실크, 향수, 합성조미료
- 위험성
  - 열, 스파크, 화염, 충격, 마찰, 오염에 의해 쉽게 점화하고, 폭발 위험성 있음
  - 흡입, 접촉 시 피부와 눈에 자극 또는 화상을 일으킬 수 있음
  - 아세트산에틸과 비슷한 기능의 그룹을 포함하는 물질과 연장된 저장소에 있을 시 과산화물 형성
  - 혼합금지 : 질산화물, 강산화제, 염기, 산, 산화제(과산화수소, 질산, 과염소산 및 삼산화크롬)
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 기침, 두통, 졸음, 현기증, 오심, 구토, 후두염, 호흡곤란, 폐 손상
  - 피부 : 자극, 통증, 홍반, 가려움, 갈라짐, 피부염
  - 안구 : 결막자극, 통증, 결막염, 각막혼탁, 시력 손상
  - 경구 : 위장관 자극, 통증, 구역질, 구토, 설사, 폐렴, 무감각, 혼수
- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것(불가능 할 경우 타도록 두고 해당지역 철수)
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단

- 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 인접 지역을 냉각시킬 것
- 소화제 : 안개형 물 분무, 물, 알코올 포, 분말 소화약제, BCF, 이산화탄소, 물 스프레이 (대형 화재 시)

33) 시안화나트륨 (Sodium cyanide)

- 화학물질군 : 무기 시안화물
- UN번호 : 1689
- ERG대응지침번호 : GUIDE 157 (독성, 부식성 - 비가연성)
- 용도 : 전기도금, 청산의 제조품, 살충제, 훈증, 염료, 안료, 나일론 중간체, 킬레이트 화합물
- 위험성
  - 물질의 흡입, 섭취, 접촉(눈, 피부) 시 상해/화상/사망을 초래
  - 열, 충격, 마찰, 오염으로 인하여 폭발할 수 있음
  - 비가연성물질이나 강산화제와 접촉 시 화재위험성 있음
  - 혼합금지 : 강산화제(산류, 산염, 염소산염, 질산염)
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 두통, 현기증, 목의 통증, 기침, 청색증, 폐부종, 무의식, 혼수
  - 피부 : 자극, 화상, 물집, 딱지, 발진, 섭취와 비슷한 증상
  - 안구 : 자극, 눈물, 화상, 통증, 결막염, 각막 손상
  - 경구 : 자극, 화상, 구역질, 구토, 두통, 현기증, 허탈, 경련, 혼수, 무의식, 사망
- 화재진압 요령
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼 곳에서 무인호스지지대 또는 방수포로 진압
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 직사 주수 금지
  - 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 함, 제품 취급 시 모든 장비 접지
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소, 마른 모래

34) 에틸렌이민 (Ethylene imine)

- 화학물질군 : 아민류, 염기류
- UN번호 : 1185
- ERG대응지침번호 : GUIDE 131P (인화성 액체 - 독성)
- 용도 : 직물 산업의 습윤 강도 증가물질, 내화성 물질, 수축방지 물질, 방수제, 연료유와 정제된 윤활유, 코팅 수지, 니스, 락커, 농업용 화학물질, 화장품, 이온 교환 수지, 콜로이드 응집제, 계면 활성제
- 위험성
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음
  - 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화, 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  - 열, 화재, 온도 상승, 햇빛에 의해 폭발적 중합을 일으킬 수 있음
  - 혼합금지 : 산, 산화제(질산염, 산화성 산, 염소 표백제, 염소계 살균제 등), 금속(폭발적인 은유도체는 은 합금과 함께 형성 가능)
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 화상, 기침, 흉부 불편, 청색증, 경련, 폐부종
  - 피부 : 자극, 화상, 홍반, 수포, 상처를 통해 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음
  - 안구 : 자극, 눈물, 화상, 각막손상, 빛에 민감, 시력 손상
  - 경구 : 식도/위장관 자극, 화상, 오심, 구토
- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 분무/무상 주수, 알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거 : 직사 주수는 금함
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 인접 지역을 냉각시킬 것

– 소화제 : 물 스프레이, 알코올 포, 분말 소화약제, 이산화탄소, 안개분무

35) 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 (Toluene-2,4-diisocyanate(TDI))

- 화학물질군 : 유기 아이소시아네이트, 아이소티오시아네이트류
- UN번호 : 2078
- ERG대응지침번호 : GUIDE 156 (독성, 부식성 - 가연성)
- 용도 : 폴리우레탄 발포제, 탄성 중합체, 도금, 화학 중간체
- 위험성
  - 물질의 흡입, 섭취나 접촉 시 심각한 상해, 화상이나 사망 초래
  - 탈 수는 있으나 쉽게 점화하지 않음. 물과 반응하여 인화성, 독성, 부식성 가스 및 유해물질 방출
  - 증기와 공기 혼합물은 인화점 이상에서 폭발위험성 있음
  - 혼합금지 : 산화제, 산, 염기, 물, 아민, 알코올
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 폐 손상, 기침, 기관지경련, 두통, 오심, 구토, 운동실조, 우울증, 망상증, 폐부종
  - 피부 : 자극, 홍반, 부어오름, 수포, 피부염
  - 안구 : 자극, 통증, 염증, 각막손상, 결막염, 시력의 손상 또는 상실
  - 경구 : 자극, 통증, 화상, 기침, 오심, 구토, 호흡곤란
- 화재진압 요령
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼 거리에서 무인호스지지대 또는 방수포로 진압
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 직사 주수 금함
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 안개형 물 분무, 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소, BCF

36) 일산화탄소 (Carbon monoxide)

- 화학물질군 : 무기 환원제
- UN번호 : 1016
- ERG대응지침번호 : GUIDE 119 (인화성가스 - 독성)
- 용도 : 화학물질 중간체, 합성가스의 공급원료, 건조제, 환원제(금속공정), 기체 연료
- 위험성
  - 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화, 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음. 밀폐공간에서 역화 및 증기폭발 위험
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음
  - 뜨거운 물에 폭발적으로 반응
  - 혼합금지 : 강산화제, 삼불화브롬, 삼불화염소, 리튬
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 두통, 현기증, 오심, 구토, 허탈, 호흡곤란, 발작, 보행/언어장애, 호흡부전, 청색증, 폐부종, 혼수, 호흡정지
  - 피부 : 가려움, 종창, 수포(노출 24시간 안에 손바닥, 발바닥에 수포성 외상이 관찰됨)
  - 안구 : 눈물, 결막충혈, 흐릿한 시야, 망막증, 안구후부의 신경염, 망막출혈, 시력의 손상 및 상실
  - 경구 : 구역질, 구토
- 화재진압 요령
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼거리 진화, 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 노출을 멈추게 할 수 없고 누출 가스에 불이 붙은 경우 화재진압을 시도하지 않을 것
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거. 유출을 막을 수 없다면, 안전거리에서 화재지역 주변을 물로 냉각시키고 불이 그냥 타도록 내버려둘 것
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

37) 아크릴일 클로라이드 (Acrylyl chloride)

- 화학물질군 : 불포화 지방족 탄화수소류, 산 할로겐화물
- UN번호 : 2924
- ERG대응지침번호 : GUIDE 132 (인화성 액체 - 부식성)
- 용도 : 소듐 아지드와 함께 가열하여 비닐 아이소시아네이트 제조;단량체, 중합체
- 위험성
  - 인화성 액체, 공기, 열, 스파크에 의해 발화/폭발할 수 있음
  - 공기, 빛과의 접촉 또는 실온이상에서 보관이나 사용을 피할 것
  - 물과 폭발적으로 반응하며 반응 시 생성물로 염산, 아크릴산 생성
  - 혼합금지 : 산화제, 알코올류, 아민류, 염기, 공기(산소)노출 시 중합반응
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 화상, 두통, 현기증, 오심, 무기력증, 급성 폐 손상
  - 피부 : 자극, 화상, 통증, 상처를 통해 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음
  - 안구 : 자극, 화상, 통증, 눈물, 각막 혼탁, 시력상실
  - 경구 : 식도/위 장관 자극, 화상, 구토, 쇼크, 저혈압, 비정상적 맥박, 복강 천공, 신장/폐 감염
- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 인접 지역을 냉각시킬 것
  - 소화제 : 물을 사용하여 소화 시키지 말 것

38) 인화 아연 (Zinc phosphide)

- 화학물질군 : 무기 인화물류
- UN번호 : 1714
- ERG대응지침번호 : GUIDE 139 (물반응성-인화성에어로졸, 독성가스)
- 용도 : 살서제, 살충제, 훈증제, 쥐약
- 위험성
  - 물과 접촉 시 인화성/독성 가스 생성, 열, 스파크, 화염에 의해 점화될 수 있음. 물 또는 습기와 접촉 시 점화할 수 있음
  - 물질 또는 분해생성물의 접촉이나 흡입시 심한 상해 또는 사망 초래
  - 혼합금지 : 농축된 황산, 질산 및 다른 산화제, 수분, 알코올
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 기침, 가래, 호흡곤란, 폐부종, 청색증, 수면, 긴장완화, 반사작용의 둔화, 현기증, 경련
  - 피부 : 기침, 가래, 호흡곤란, 청색증
  - 안구 : 눈물, 결막충혈
  - 경구 : 구역질, 구토, 복통, 설사
- 화재진압 요령
  - 물, 포말은 사용하지 않을 것
  - 포스핀이 유리될 수 있기 때문에 이산화탄소 또는 할로겐화합물 소화약제류 같은 산성반응이 있는 물질도 사용하지 않을 것
  - 탱크/차량 화재의 경우 최대한 먼 곳에서 무인호스지지대 또는방수포를 사용할 것
  - 점화원 제거, 누출차단, 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 할 것
  - 소화제 : 분말소화약제, 석회, 소다회, 마른 모래

39) 메틸에틸케톤 과산화물 (Methyl ethyl ketone peroxide)

- 화학물질군 : 유기과산화물류
- UN번호 : 2550
- 용도 : 아크릴산 수지 및 폴리에스테르 수지 제조, 접착제
- 위험성
  - 열, 스파크, 화염, 마찰, 충격, 오염에 의해 쉽게 점화, 폭발 위험
  - 아세톤에 오염되면 충격에 민감한 과산화물 침전물 형성 가능
  - 혼합금지 : 산, 염기, 금속파우더, 금속산화물, 황 화합물, 아민, 환원제
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 천명, 호흡곤란, 기도 손상, 폐부종
  - 피부 : 마비, 감각손실, 화상, 건조, 표백, 염증
  - 안구 : 화상, 충혈, 각막손상, 수정체손상, 혈관의 내피세포손실, 혼탁
  - 경구 : 침 분비, 구역질, 구토, 식도화상, 복통, 혼미
- 화재진압 요령
  - 유해물질이 하수구와 소화전으로 흐르지 않게 할 것
  - 안전거리를 유지하며 적절한 보호 하에 화재 진압
  - 유출을 막을 수 없다면, 안정적인 거리에서 화재지역 주변을 물로 냉각시키고 불이 그냥 타도록 내버려 둘 것
  - 미세한 물분무로 화재를 진압하고 입적 지역 및 용기 냉각
  - 소화제 : 물, 분말 소화약제, 이산화탄소, 일반적인 포말

40) 디이소시안산이소포론 (Isophorone diisocyanate)

- 화학물질군 : 유기 아이소시아네이트류 및 아이소싸이아네이트류
- UN번호 : 2290
- ERG대응지침번호 : GUIDE 156 (독성, 부식성 액체 - 가연성)

- 용도 : 폴리우레탄 페인트, 니스 원료, 직물 코팅, 상업적 코팅
- 위험성
  - 증기 또는 물질의 흡입, 섭취, 접촉(눈, 피부) 시 상해/화상/사망을 초래할 수 있음
  - 가열시 증기는 공기와 섞여 폭발성 혼합물을 형성, 실내외 하수구에서 폭발위험 있음
  - 물과 반응하여 독성, 부식성, 가연성 가스 생성 가능
  - 혼합금지 : 산화제, 물, 알코올, 페놀, 아민, 멜갑탄, 아마이드, 우레탄, 요소
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 오심, 구토, 두통, 이상행복감, 불면증, 호흡곤란, 운동실조, 우울증, 폐부종
  - 피부 : 자극, 홍반, 피부염
  - 안구 : 자극 및 손상
  - 경구 : 위장계 자극, 구토
- 화재진압 요령
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼 곳에서 무인호스지지대 또는 방수포로 진압할 것
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 직사 주수 금지
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

41) 나트륨 (sodium)

- 화학물질군 : 알칼리 금속류
- UN번호 : 1428
- ERG대응지침번호 : GUIDE 138 (물반응성 - 가연성기체 방출)
- 용도 : 나트륨 화합물 제조, 유기 합성, 광전자 셀, 합금, 촉매
- 위험성
  - 물질 또는 반응 생성물의 접촉, 흡입 시 심한 상해 또는 사망을 일으킬 수 있음

– 열, 스파크, 화염에 의해 점화, 물과 접촉 시 격렬하게 반응 인화성 수소가스와 수산화나트륨 용액 생성

– 가연성 고체로 물 또는 습한 공기와 접촉 시 자연발화 될 수 있음

– 혼합금지 : 산화제, 산, 가연성물질, 할로겐, 할로겐화탄화수소화합물, 금속, 수분

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

– 흡입 : 호흡기 자극, 상기도 부종, 호흡부전, 헐떡임, 천명, 폐부종

– 피부 : 통증, 자극, 화상, 침투성 피부 궤양

– 안구 : 심한 자극, 결막부종, 화상 등의 눈 손상

– 경구 : 구강/기도/위장 내 화상, 오심, 구토, 천명, 침흘림

◉ 화재진압 요령

– 폭발 위험이 있으므로 가능한 먼 거리 진화, 물 또는 포말 사용 금지

– 마른 모래, 분말소화약제, 소다회 또는 석회를 사용하거나, 그냥 타도록 내버려두고 사고지역 철수

– 탱크 화재의 경우, 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포 사용

– 유출물 또는 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 할 것

– 소화제 : 분말 소화약제, 건조한 모래, 소다회(물, 포말 사용 금지)

42) 염화수소 (Chlorine)

◉ 화학물질군 : 무기산화제, 강할로겐화제

◉ UN번호 : 1017

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 124 (독성가스 - 부식성, 산화성)

◉ 용도 : 살충제, 부동액, 냉매, 폭연방지 화합물, 플라스틱, 수지, 표백제, 소독제, 살균제, 청정용품 제조

◉ 위험성

– 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음. (액화)가스에 노출 시 화상/상해/동상을 입을 수 있음

- 불에 타지는 않지만 조연성 물질로 가연성 물질과 접촉 시 폭발을 유발할 수 있음
- 물과 반응하여 유독가스인 염화수소 생성
- 혼합금지 : 가연성 물질, 산화제, 환원제, 금속, 암모니아

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

- 흡입 : 질식, 호흡기자극, 기침, 숨 막힘, 두통, 흉통, 구토, 후두부종, 호흡곤란, 경련, 발작, 실신, 청색증, 폐부종, 혼수
- 피부 : 자극, 화상, 홍반, 통증, 액체 접촉 시 냉동화상/동상 유발, 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음
- 안구 : 자극, 화상, 눈물, 결막염, 빛에 민감, 시력의 손상 및 상실
- 경구 : 오심, 구토

◉ 화재진압 요령

- 화재의 확산을 막으면서 물질이 타도록 내버려 둔다. 꼭 소화해야할 경우에는 분무/무상 주수를 권함. 유출물을 가연성물질과가까이 두지 않을 것
- 풍향을 고려하여 화기의 진행방향에 따른 진압위치 선정
- 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고 파손된 용기는 전문가가 처리할 것
- 소화제 : 물만 사용(분말소화약제, 이산화탄소, 할론은 사용하지 않음)

43) 플루오르화수소 (Hydrogen fluoride)

◉ 화학물질군 : 무기 비산화성 산류

◉ UN번호 : 1790(액상), 1052(가스)

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 157 (독성, 부식성 액체 - 비가연성)
GUIDE 125 (부식성 가스)

◉ 용도 : 알킬화/이성질화/응축/탈수소화/중성자화 반응의 촉매, 액화로켓 추진체의 첨가물, 우라늄 정제, 빙결/마모제(우리/애나멜), 알루미늄 광택제, 티타늄 제작, 금속 및 주조물의 세정, 불소수지

◉ 위험성

– 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음. 증기는 자극성과 부식성이 매우 강함

– 비가연성 물질이나 가열시 분해하여 부식성/독성 흄 생성 가능

– 물에 잘 녹고 격렬하게 반응하여 독성, 부식성, 인화성, 폭발성 가스를 발생시킴

– 혼합금지 : 산, 염기, 아민, 암모니아, 금속, 물, 산화제, 유리, 콘크리트, 요업제품

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

– 흡입 : 호흡기 자극, 화상, 기침, 숨막힘, 현기증, 두통, 오심, 무기력증, 호흡곤란, 기관지 경련, 폐렴, 폐부종

– 피부 : 화상, 동상, 홍반, 물집, 궤양, 청회색 변색 및 괴사

– 안구 : 자극, 통증, 눈물, 부어오름, 충혈, 빛에 민감, 화상, 각막혼탁, 시력상실

– 경구 : 구강/위장관 화상, 오심, 구토, 설사, 복통 토혈, 저혈압, 쇼크, 심혈관 허탈, 혼수, 마비

◉ 화재진압 요령

– 탱크화재의 경우 최대한 먼 곳에서 무인호스지지대 또는 방수포로 진압할 것

– 분무/무상 주수, 일반포말, 내알코올포 사용, 직사 주수 금지

– 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단

– 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고 파손된 실린더는 전문가가 처리, 증기 억제 폼 사용

– 소화제 : 일반적인 포말, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소, (물 사용 금지)

44) 암모니아 (Ammonia)

◉ 화학물질군 : 염기류

◉ UN번호 : 1005

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 125 (가스 - 부식성)

◉ 용도 : 질산, 폭발물, 합성 섬유, 비료, 염료, 의약품, 냉매제와 화학 산업에 쓰임

◉ 위험성

- 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음. 증기는 자극성과 부식성이 매우 강함
- 용기가 열에 노출되면 파열 또는 폭발할 수 있음
- 산과 격렬히 반응하고 폭발성/부식성 가스 형성
- 물에서의 용해성이 크며, 물에 녹아 부식성 액체 형성
- 혼합금지 : 산화제, 산, 할로겐, 은과 아연 염류

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

- 흡입 : 호흡기 자극, 화상, 흉부자극, 흉통, 기침, 숨 막힘, 인후염, 호흡곤란, 청색증, 폐부종, 호흡정지
- 피부 : 자극, 화상, 괴사, 통증, 접촉 시 동상, 상처를 통해 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음
- 안구 : 자극, 눈물, 화상, 통증, 동상, 결막염, 각막자극, 시력상실
- 경구 : 오심, 구토, 구강/식도 화상, 기침, 호흡곤란

◉ 화재진압 요령

- 가스가 분산될 때까지 누출지역 격리, 가능하다면 진압 전 가스흐름을 멈추게 할 것
- 탱크화재의 경우, 최대한 먼 곳에서 무인호스지지대 또는 방수포 진압
- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고 파손된 실린더는 전문가가 처리
- 소화제 : 물, 일반적인 포말, 분말 소화약제, 이산화탄소

45) 황산 (Surfuric acid)

◉ 화학물질군 : 무기 산화성산류

◉ UN번호 : 1830

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 137 (물 반응성 - 부식성)

- 용도 : 석유화학, 레이온, 셀룰로오스 필름, 배터리 전해물, 전기도금 접착제, 비료, 화학약품, 염료 및 안료, 철강, 산업용 폭발물, 식품 첨가물, 탈수소화제, 광석의 정제, 식물 오일, 가죽 산업
- 위험성
  - 증기 또는 물질의 흡입, 섭취, 접촉 시 심각한 상해, 화상 또는 사망에 이를 수 있음
  - 비가연성 물질이나 산화제로 가연성 물질과 접촉 시 발화되거나 폭발할 수 있음
  - 물과 반응시 독성, 부식성, 인화성 가스(이산화황, 황화수소 등) 발생
  - 혼합금지 : 산화제, 산, 수분, 유기물질카바이드, 금속분말, 알코올, 인, 아세톤, 아세트알데히드, 아크릴로니트릴
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 기침, 화상, 부식, 후두/기관지 부종, 현기증, 두통, 오심, 무기력증, 경련, 호흡곤란, 폐부종, 폐렴
  - 피부 : 홍반, 통증, 화상, 부식, 끈적이는 피부, 약하고 빠른 맥박, 얕은 호흡
  - 안구 : 흐릿한 시야, 눈물, 통증, 화상, 부식, 빛에 민감, 각막혼탁, 시력상실
  - 경구 : 구강/식도/위의 화상, 통증, 구토, 설사, 토혈, 점액, 쇼크, 저혈압, 불규칙한 맥박
- 화재진압 요령
  - 누출이 화재와 관련이 없다면 물질에 직접 주수하지 않을 것
  - 물을 분사하여 온도를 낮게 유지하되 물과 직접 접촉되지 않도록 할 것
  - 대형화재의 경우 무상주수로 증기를 가라앉히면서 화재지역을 대량의 물로 흠뻑 적실 것
  - 수로나 배수구로의 유출을 차단하고 누출액이 고여 있는 웅덩이에 물을 뿌리지 말 것
  - 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고, 수로나 배수구로의 유출 차단
  - 소화제 : 분말 소화약제, 이산화탄소, 일반포말

46) 질산 (Nitric acid)

- 화학물질군 : 무기 산화성산류

- UN번호 : 2031, 2032
- ERG대응지침번호 : GUIDE 157 (독성, 부식성 액체 – 비가연성)
- 용도 : 비료, 염료, 니트로 화합물류, 제약, 프린팅 산업, 금속공학, 보석제조, 우레탄, 고무 화학물질
- 위험성
  - 증기 또는 물질의 흡입, 섭취, 접촉(눈, 피부) 시 상해/화상/사망을 초래할 수 있음
  - 비가연성 물질이나 화재 시 연소를 가속화시킴. 가연성 물질을 발화시킬 수 있음
  - 물과 반응하여 열기와 독성, 자극성, 부식성, 인화성 가스 생성
  - 건조 후 잔여물은 산화제로 작용할 수 있음
  - 격렬하게 중합 반응하여 화재와 폭발을 일으킬 수 있음. 금속과 반응하여 가연성의 수소 가스를 발생함
  - 혼합금지 : 알코올, 염기, 환원제, 금속파우더, 황화물, 카바이드, 시안화물, 아르신, 포스핀
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 화상, 기침, 숨막힘, 흉부불편, 상기도 부종, 호흡곤란, 폐렴, 폐부종, 청색증
  - 피부 : 홍반, 통증, 화상, 궤양
  - 안구 : 자극, 화상, 눈물, 통증, 안구 위축, 각막 혼탁, 빛에 민감, 시력상실
  - 경구 : 구강/식도/위장관 화상, 통증, 천공, 토혈, 불규칙한 맥박, 냉습한 피부, 저혈압, 쇼크
- 화재진압 요령
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼 거리에서 무인호스지지대 또는 방수포 진압
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 직사 주수 금지
  - 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 할 것, 점화원 제거, 장비접지, 누출 차단
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

47) 삼염화인 (Phosphorus trichloride)

- 화학물질군 : 무기 환원제류
- UN번호 : 1809
- ERG대응지침번호 : GUIDE 137 (물반응성 - 부식성)
- 용도 : 살충제, 계면활성제, 인산, 석유첨가물, 가소제, 염료, 촉매제, 제약, 섬유 가공제, 유기인 함유 화합물 생성의 시작 물질
- 위험성
  - 증기, 분진, 물질에 노출 시 심각한 상해, 화상, 사망 초래
  - 가연성 물질은 아니나 산화제로 가연성 물질과 접촉 시 발화 및 폭발할 수 있음
  - 혼합금지 : 산화제, 산, 염기, 알코올, 페놀, 금속(나트륨, 칼륨, 알루미늄 등), 물, 가연성 물질
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 기침, 숨막힘, 현기증, 두통, 오심, 구토, 가슴통증, 무기력증, 경련, 폐렴, 폐부종
  - 피부 : 통증, 화상, 궤양
  - 안구 : 화상, 통증, 눈물 분비, 빛에 민감, 각막 혼탁, 시력상실
  - 경구 : 소화기 화상, 기도 부종, 경련, 토혈, 쇼크, 저혈압
- 화재진압 요령
  - 누출이 화재와 관련이 없다면 물질에 직접 주수하지 않을 것
  - 물을 분사하여 온도를 낮게 유지하되, 물과 직접 접촉되지 않도록 할 것
  - 소화된 후 재 점화 할 수 있음 (물질은 타지 않을 수 있음)
  - 대형화재의 경우 무상주수로 증기를 가라앉히면서 화재지역을 대량의 물로 흠뻑 적심
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 누출액이 고여 있는 웅덩이에 물을 뿌릴지 말 것
  - 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고 수로나 배수구로의 유출 차단
  - 소화제 : 분말 소화약제, 이산화탄소, 마른 모래

48) 플루오린 (Fluorine)

- 화학물질군 : 무기산화제류, 강 할로겐화제류
- UN번호 : 1045
- ERG대응지침번호 : GUIDE 124 (독성, 부식성 가스 – 산화제)
- 용도 : 합성출발물질 및 중간체, 플루오르 화학물질류와 플라스틱, 치약 제조
- 위험성
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음. 가스에 노출 시 화상/상해/동상을 입을 수 있음
  - 불에 타지는 않지만 강산화제로 가연성 물질을 점화시킬 수 있으며, 공기/물과 격렬히 반응
  - 물과 반응하여 독성, 부식성, 인화성 가스 생성
  - 혼합금지 : 가연성 물질, 물, 산, 산화제, 환원제
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 화상, 헐떡임, 폐부종
  - 피부 : 화상, 동상, 괴사, 변색
  - 안구 : 자극, 화상, 통증, 눈물, 눈꺼풀 습진
  - 경구 : 구강/위장 내 화상
- 화재진압 요령
  - 대형/탱크화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 화재의 확산을 막으면서 물질이 타도록 내버려 둔다, 꼭 소화해야 할 경우에는 분무/무상주수 권장, 유출물을 가연성물질과 가까이 두지 말 것
  - 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고 파손된 용기는 전문가 처리
  - 소화제 : 물만 사용(분말소화약제, 이산화탄소, 할로겐화물 사용 금지)

49) 염소 (Chlorine)

- 화학물질군 : 무기 비산화성 산류
- UN번호 : 1789(액상), 1050(가스)
- ERG대응지침번호 : GUIDE 157 (독성, 부식성 액체 - 비가연성)
  GUIDE 125 (부식성 가스)
- 용도 : 금속처리제, 폐수중화, 양조산업, 피혁, 아교 생산, 설탕/오일류/지방류/왁스 정제
- 위험성
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음. 증기는 자극성과 부식성이 매우 강함
  - 비가연성 물질로 타지는 않지만 열에 의해 분해하여 부식성/독성 증기를 생성할 수 있음
  - 물과 격렬하게 반응하여 열과 독성/부식성 흄을 생성
  - 혼합금지 : 소듐, 인화칼슘, 수산화물, 산화제, 염기, 금속, 아민 (금속 접촉 시 인화성 수소 가스 방출)
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 화상, 궤양, 기치, 숨막힘, 코, 인후 및 상기도 염증, 두통, 현기증, 마비, 폐부종, 혼수
  - 피부 : 자극, 발적, 통증 및 심한 피부 화상, 피부 변색, 궤양
  - 안구 : 자극, 화상, 통증, 눈물 분비, 빛에 민감, 시력의 손상 및 상실, 시야 확보 저하
  - 경구 : 구강, 인후, 식도 및 소화관에 통증과 화상, 오심, 구토, 설사, 저혈압, 혼수상태, 의식착란
- 화재진압 요령
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼 거리에서 무인호스지지대 또는 방수포 진압
  - 분무/무상 주수, 일반포말, 내알코올포 사용, 직사 주수 금지
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고 파손된 실린더는 전문가처리
  - 소화제 : 물, 일반적인 포말, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

50) 황화수소 (Hydrogen sulfide)

- 화학물질군 : 무기 황화물류
- UN번호 : 1053
- ERG대응지침번호 : GUIDE 117 (인화성가스 - 독성, 매우위험)
- 용도 : 염료, 의약품의 원료, 공업약품, 황산, 황분말, 황화나트륨, 무기 황화물의 중간체, 윤활유와 절삭유, 유기 황화합물의 중간체
- 위험성
  - 독성 : 매우 유해한 물질, 물질의 흡입, 섭취, 피부접촉 시 심한 상해나 사망을 초래할 수 있음
  - 극인화성물질로 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화, 폭발 위험
  - 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성, 화재 시 부식성, 자극성, 독성가스 생성
  - 혼합금지 : 가연성 물질, 금속, 산화제, 질산
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 청색증, 폐부종, 기관지염, 무기력증, 메스꺼움, 구토, 설사, 현기증, 두통, 어지러움, 경련, 의식불명
  - 피부 : 통증, 간지러움, 홍반, 피부염, 화상, 동상(액체 접촉 시)
  - 안구 : 화상, 통증, 자극, 시력 저하 및 각막 물집, 결막염
  - 경구 : 오심, 구토, 몸무게 감소
- 화재진압 요령
  - 누출을 멈추게 할 수 없고 누출 가스에 불이 붙은 경우 화재진압을 시도하지 않을 것, 가능한 누출을 막고 전기장치 스위치를 끌 것
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼 거리(800m) 진화, 무인호스지지대/방수포를 사용할 것
  - 분무/무상 주수, 일반포말, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의유입 차단
  - 소화제 : 물, 일반포말, 분말 소화약제, 이산화탄소, BCF

51) 아르신 (Arsine)

- 화학물질군 : 금속수소화물류
- UN번호 : 2188
- ERG대응지침번호 : GUIDE 119 (인화성가스 - 독성)
- 용도 : 고체상 전자 화합물의 유기합성, 군용 독성 기체, 도핑제, 유리염료, 발광 다이오드, 전자공업
- 위험성
  - 독성 : 흡입 또는 피부흡수 시 치명적일 수 있음. (액화)가스에 노출 시 화상/상해/동상을 입을 수 있음
  - 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화(심각한 화재위험성), 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  - 유출물질은 화재나 폭발 위험성이 있음
  - 용기가 열에 노출되면 파열 또는 폭발할 수 있음
  - 직사광선에 노출될 경우 검은색의 비소가루를 형성. 강력한 환원제
  - 혼합금지 : 강산화제, 염소, 질산, 산화알루미늄
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 복통, 현기증, 두통, 오심, 구토, 설사, 혈관내 용혈반응, 기관지염, 폐부종, 청색증, 호흡곤란, 사망
  - 부 : 비정상적 색소침착, 황달, 증기화된 액체접촉 시 냉동화상/동상 유발
  - 안구 : 눈물, 결막충혈, 냉동화상/동상, 눈부심, 각막 혼탁
  - 경구 : 오심, 구토, 식욕부진, 복통
- 화재진압 요령
  - 누출을 멈추게 할 수 없고 누출 가스에 불이 붙은 경우 화재진압을 시도하지 않을 것
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼 거리 진화, 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것

- 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거, 유출을 막을 수 없다면, 안전 거리에서 화재지역 주변을 물로 냉각시키고 불이 그냥 타도록 내버려 둘 것
- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

52) 클로로술폰산 (Chlorosulfonic acid)

- 화학물질군 : 무기 산화성산
- UN번호 : 1754
- ERG대응지침번호 : GUIDE 137 (물 반응성 - 부식성)
- 용도 : 합성세제, 염료, 살충제, 제초제, 방부제, 이온교환수지, 계면활성제
- 위험성
  - 증기, 분진, 물질에 노출 시 심각한 상해, 화상, 사망을 초래할 수 있음
  - 비가연성 물질이나, 화재에 노출 시 급속하게 분해되어 염화수소, 이산화황, 황산 생성
  - 물과 접촉하면 폭발적으로 분해되고 염산, 황산 등과 같은 유독/인화성 물질을 생성
  - 혼합금지 : 가연성물질, 질산염, 염소산염, 금속성 분말류, 탄수화물류, 피크르산염류, 격발류
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 통증, 기침, 두통, 현기증, 오심, 무기력, 폐손상, 폐부종, 청색증, 무의식
  - 피부 : 화상, 통증, 발진을 동반한 피부자극, 순환기부전, 간과 심장의 손상
  - 안구 : 자극, 화상, 통증, 눈물, 빛에 민감, 각막혼탁, 시력상실
  - 경구 : 자극, 화상, 천공(소화관에 심한 영구적 손상 가능성), 구토, 구역질, 위장출혈, 순환기부전, 저혈압, 질식
- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 무상주수로 증기를 가라앉히면서 대량의 물로 흠뻑 적실 것

– 누출이 화재와 관련이 없다면 물질에 직접 주수하지 않을 것

– 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 누출액이 고여 있는 웅덩이에 물을 뿌리지 말 것

– 소화제 : 다량의 안개형 물, 분말소화약제, 이산화탄소

53) 포스핀 (Phosphine)

- 화학물질군 : 알킬류 및 아릴류, 금속수소화물류
- UN번호 : 2199
- ERG대응지침번호 : GUIDE 119 (인화성가스 - 독성)
- 용도 : 훈증약, 쥐약, 난연제, 광전지, n형 반도체, 중합 반응 개시제, 축합 촉매의 도핑제
- 위험성
  - 독성 : 흡입 또는 피부 흡수 시 치명적일 수 있음. 가스에 노출 시 화상/상해/동상을 입을 수 있음
  - 인화성이 높은 물질로 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화, 폭발위험
  - 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성, 공기 중에서 자연발화/점화원 없이 폭발가능
  - 혼합금지 : 산, 할로겐, 산화제, 할로겐화 탄화수소화합물, 염소, 구리, 수분 (물과 격렬히 반응)
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 기침, 흉통과 가래, 호흡 곤란, 두통, 현기증, 구역질, 구토, 설사, 떨림, 빈맥, 저혈압, 청색증, 폐부종
  - 피부 : 자극, 화상, 발열, 청색증
  - 안구 : 자극, 화상, 동상, 눈 손상
  - 경구 : 오심, 구토, 복통, 설사, 위장 내부 화상
- 화재진압 요령
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼 거리 진화. 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거, 누출을 막을 수 없다면 안전거리에서 화재지역 주변을 물로 냉각시키고 불이 그냥 타도록 내버려 둘 것

- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

54) 옥시염화인 (Phosphorus oxychloride)

- 화학물질군 : 산 할라이드류
- UN번호 : 1810
- ERG대응지침번호 : GUIDE 137 (물반응성 - 부식성)
- 용도 : 염소처리제, 가소제, 가솔린 첨가제, 촉매제, 유기인 화합물 제조
- 위험성
  - 증기, 분진, 물질에 노출 시 심각한 상해, 화상, 사망을 초래할 수 있음, 연소성 물질을 점화시킬 수 있음
  - 금속과의 접촉으로 가연성 수소 가스가 발생할 수 있음
  - 혼합금지 : 산, 염기, 물, 알코올, 알칼리 금속, 이황화탄소, 디메틸폼아마이드, 기타 가연성 물질
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 화상, 기침, 가슴통증, 숨막힘, 호흡곤란, 오심, 현기증, 두통, 폐부종
  - 피부 : 자극, 화상, 통증, 홍반
  - 안구 : 자극, 눈물, 화상, 통증, 빛에 민감, 각막 혼탁, 시력상실
  - 경구 : 식도와 소화기 화상, 오심, 구토, 설사, 토혈, 저혈압, 냉습한 피부, 복강천공, 경련, 혼수
- 화재진압 요령
  - 누출이 화재와 관련이 없다면 물질에 직접 주수하지 않을 것
  - 물을 분사하여 온도를 낮게 유지하되, 물과 직접 접촉 않도록 할 것
  - 대형화재의 경우 무상주수로 증기를 가라앉히면서 화재지역을 다량의 물로 흠뻑 적심
  - 수로나 배수구로의 유출을 차단하고 누출액이 공여 있는 웅덩이에 물을 뿌리지 말 것

– 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고, 수로나 배수구로의 유출 차단

– 물질과 직접 접촉하지 않도록 할 것

– 소화제 : 분말 소화약제, 이산화탄소, 마른 모래

55) 이산화염소 (Chlorine dioxide)

- 화학물질군 : 무기 산화제, 강할로겐화제
- UN번호 : 9191
- ERG대응지침번호 : GUIDE 143 (산화제 – 불안정성)
- 용도 : 셀룰로즈, 종이펄프, 곡분의 표백물의 정수, 맛 및 냄새 제거 산화제, 살균제, 방부제
- 위험성
  – 마찰, 열, 오염에 따른 폭발 가능성 있음. 가연성물질을 발화시킬 수 있음
  – 화재 시 연소를 가속화시킴. 수분 존재 시 부식성/독성 증기 생성
  – 증기, 분진, 물질에 노출 시 심각한 상해, 화상, 사망을 초래할 수 있음
  – 혼합금지 : 유기물, 염, 인, 오염화인, 수산화칼륨, 황, 수은, 일산화탄소, 다이플루오르아민, 트라이플루오르아민, 당질
- 노출경로에 따른 인체유해성
  – 흡입 : 자극, 질식, 기침, 숨막힘, 후두부종, 두통, 현기증, 오심, 구토, 경련, 저산소증, 호흡곤란, 폐부종, 호흡정지
  – 피부 : 자극, 홍반, 통증, 화상, 액체 접촉 시 동상
  – 안구 : 자극, 화상, 누눌, 염증, 빛에 민감, 시력의 손상 및 상실
  – 경구 : 구강/위장 내 화상 유발 가능성, 오심, 구토
- 화재진압 요령
  – 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것(불가능 할 경우 타도록 두고 해당지역 철수)
  – 안전거리에서 대량의 물로 화재지역을 흠뻑 적심

- 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고, 수로나 배수구로의 유출 차단
- 소화제 : 물(분말소화약제, 포말은 사용하지 않는다.), 이산화탄소, 할론

56) 디보란 (Diborane)

- 화학물질군 : 알킬류 및 알릴류, 금속수소화물류
- UN번호 : 1911
- ERG대응지침번호 : GUIDE 119 (인화성가스 - 독성)
- 용도 : 고무 경화제, 환원제, 중간체, 중합 촉매제, 비닐 및 스틸렌제 중합의 기폭제
- 위험성
  - 독성 : 흡입 또는 피부흡수 시 치명적일 수 있음. 가스에 노출 시 화상/상해/동상을 입을 수 있음
  - 열, 스파크, 화염, 마찰, 충격, 오염에 의해 쉽게 점화하고 폭발 위험성 있음
  - 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성, 물 또는 습기 있는 공기와 접촉하면 점화될 수도 있음
  - 처리 수는 화재를 대형화 시키거나 폭발 유해성을 초래할 수 있음
  - 혼합금지 : 물, 할로겐화 화합물, 알루미늄, 리튬, 산, 산화제, 가연성 물질
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기 자극, 횡경막 통증, 숨차, 기침, 오심, 불규칙한 호흡 청색증, 중추신경계 기능저하, 폐부종, 폐렴
  - 피부 : 자극, 수포, 증기화된 액체 접촉 시 냉동화상, 동상 유발
  - 안구 : 자극, 눈물, 결막충혈, 시력의 손상
  - 경구 : 메스꺼움, 식욕감퇴, 타액 분비
- 화재진압 요령
  - 누출을 멈추게 할 수 없고 누출 가스에 불이 붙은 경우 화재진압을 시도하지 않을 것
  - 탱크화재의 경우 최대한 먼 거리 진화, 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것

- 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거. 유출을 막을 수 없다면 안전 거리에서 화재지역 주변을 물로 냉각시키고 불이 그냥 타도록 내버려 둘 것
- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 소화제 : 물 스프레이, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소, 소다회 혹은 석회

57) 산화질소 (Nitric oxide)

- 화학물질군 : 무기 산화제류
- UN번호 : 1660
- ERG대응지침번호 : GUIDE 124 (독성, 부식성 가스 – 산화제)
- 용도 : 질산의 제조, 레이온의 표백, 프로필렌, 메틸에테르의 안정제, 니트로실 카보닐의 제조, 약제
- 위험성
  - 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음. 가스에 노출 시 화상/상해/동상을 입을 수 있음
  - 비가연성 물질이나 강산화제로 연료를 포함하여 연소성 물질(나무, 종이, 기름, 옷가지 등) 여러 가지 물질과 함께 적극적/폭발적 반응
  - 대기중의 산소와 빠르게 결합하여 산화이질소 형성, 알칼리 금속과 반응 시 질산염 및 아질산염 형성
  - 액화가스 증기는 공기보다 무겁기 때문에 지면을 따라 확산
  - 혼합금지 : 이황화탄소, 일산화염소, 삼염화질소, 오존, 질소산화물, 환원제
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 화상, 기침, 두통, 혼란, 현기증, 오심, 호흡곤란, 경련, 불규칙한 심박동, 호흡곤란, 청색증, 폐부종
  - 피부 : 자극, 화상, 상처를 통해 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음
  - 안구 : 자극, 화상, 눈 손상
  - 경구 : 오심, 복통

- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
  - 화재의 확산을 막으면서 물질이 타도록 내버려 둔다. 꼭 소화해야할 경우 분무/무상 주수, 유출물을 가연성 물질과 가까이 두지 않을 것
  - 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
  - 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고 파손된 용기는 전문가 처리
  - 질식소화 시 건조한 모래 또는 흙을 사용할 것
  - 소화제 : 물만 사용(분말 소화약제, 이산화탄소, 할론은 사용 금지)

58) 니트로메탄 (Nitromethane)

- 화학물질군 : 유기아질산염류, 질산염류 및 질소화합물류
- UN번호 : 1261
- ERG대응지침번호 : GUIDE 129 (인화성 액체 - 극성, 수용성)
- 용도 : 코팅산업, 셀룰로스 화합물, 고분자 & 왁스의 용매, 고분자, 왁스, 연료 첨가제, 로켓 연료
- 위험성
  - 흡입, 접촉 시 피부와 눈에 자극 또는 화상을 일으킬 수 있음
  - 열, 스파크, 화염에 의해 쉽게 점화, 증기는 공기와 결합 시 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  - 증기는 점화원까지 이동하여 역화할 수 있음
  - 혼합금지 : 산화제, 산, 염기, 아세톤, 금속, 금속산화물, 아세톤, 아민
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 호흡기관의 염증, 어지러움, 두통, 호흡곤란, 폐부종, 청색증
  - 피부 : 자극, 홍반, 건조, 염증
  - 안구 : 자극, 눈물, 결막 충혈

– 경구 : 자극, 구역질, 구토, 설사, 두통, 숨참, 현기증, 졸음, 청색증, 신장 및 간의 손상

◉ 화재진압 요령

– 대형/탱크화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것

– 분무/무상 주수, 내알코올포 사용, 장비 접지, 점화원 제거 : 직사 주수 금지

– 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단

– 불이 꺼진 후에도 다량의 물로 인접 지역을 냉각시킬 것. 다량의 안개형 물 분무를 사용할 것

– 소화제 : 물, 내알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

59) 질산암모늄 (Ammonium nitrate)

◉ 화학물질군 : 무기 산화환원제류

◉ UN번호 : 1942

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 140 (산화성 고체)

◉ 용도 : 고체 로켓 발사화약의 산화제, 비료, 산화질소, 제초제, 살충제, 동결제, 폭약, 성냥, 촉매제, 의약품, 실험용 시약

◉ 위험성

– 열, 오염, 충격으로 인해 폭발할 수 있음. 밀폐공간에서 가열 시 폭발할 수 있음

– 용기가 열에 노출되면 파열 또는 폭발할 수 있음. 화재 시 연소를 가속화시킴

– 혼합금지 : 가연성 물질, 분말 금속, 알칼리 금속, 요소, 크롬, 구리염류, 유기물질, 황, 아질산염, 염기, 산, 염소산염, 환원제

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

– 흡입 : 기도자극, 기침, 메트헤모글로 빈혈증, 청색증, 경련, 빈맥, 호흡곤란, 폐부종, 사망

– 피부 : 자극, 피부염, 상처를 통해 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음

– 안구 : 자극, 손상

– 경구 : 위 장관 자극, 메트헤모글로빈혈증, 현기증, 두통, 오심, 구토, 설사, 무기력증, 청색증, 빈맥, 저혈압, 경련

- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것(불가능할 경우 타도록 내버려 두고 해당지역 철수)
  - 안전거리에서 대량의 물로 화재지역을 흠뻑 적심
  - 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고, 수로나 배수구로의 유출 차단
  - 화재에 노출된 용기는 안전 지역에서 물 스프레이를 이용하여 냉각시킬 것
  - 소화제 : 물(분말소화약제, 포말은 사용하지 않는다.), 이산화탄소, 할론

60) 헥사민 (Hexamine)

- 화학물질군 : 카밤산류, 할로젠화유기화합물류
- UN번호 : 1328
- ERG대응지침번호 : GUIDE 133 (인화성고체)
- 용도 : 접착제, 표백제, 세제, 살균/소독제, 전기도금, 발포제/기포제, 윤활유 첨가제, 산화제, 안정제, 노화방지제, 연화제/경화촉진제, 계면활성제, 가화제, 금속방청, 방부제, 안료, 도료, 잉크, 합성수지
- 위험성
  - 마찰, 열, 불꽃, 스파크 등에 노출 시 화재나 폭발을 일으킬 수 있음
  - 더스트는 공기와 섞여 폭발성 혼합물 형성 가능(제한된 공간에서 더스트 구름 발생을 피해야 함)
  - 혼합금지 : 산화제(질산염, 산화성산, 염소 표백제, 염소계 살균제 등), 산, 과산화나트륨
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 자극, 불안감, 가슴압박, 호흡곤란, 폐부종, 청색증
  - 피부 : 자극, 피부 과민성, 피부염, 화상, 수포
  - 안구 : 눈 자극, 결막충혈
  - 경구 : 위장자극, 오심, 구토, 설사

◉ 화재진압 요령

– 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것

– 분무/무상 주수, 일반포말 사용, 점화원 제거

– 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단

– 안전하게 할 수 있다면 용기는 화재진행 경로에서 제거할 것

– 소화제 : 물, 일반포말, 분말 소화약제, 이산화탄소

61) 과산화수소 (Hydrogen peroxide)

◉ 화학물질군 : 무기 산화제류

◉ UN번호 : 2015

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 143 (산화제 - 불안정)

◉ 용도 : 에폭사이드 가소제류, 물과 폐수처리, 구강세척제, 치약, 멸균 로션의 약학적 제조, 식품과 약제에서 표백과 살균, 우라늄 정제, 살균제, 가소제, 로켓 연료, 발포 고무, 글리세롤, 염소 제거제, 염색, 전기 도금, 금속의 정련 및 세척

◉ 위험성

– 증기, 분진, 물질에 노출 시 심각한 상해, 화상, 사망 초래 가능

– 마찰, 열, 오염에 따른 폭발 가능성 있음. 가연성물질(목재, 종이, 기름, 천등)을 발화시킬 수 있음

– 비가연성물질이나 분해할 때 산소를 방출하여 화재 시 연소를 가속화시킬 수 있음

– 혼합금지 : 일부 탄화수소, 산화성 금속, 철, 구리, 황동, 청동, 크롬아연, 납, 은, 망간, 환원제, 가연성물질, 아세톤, 에탄올, 글리세롤

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

– 흡입 : 호흡기 자극, 기침, 호흡곤란, 화상, 경련, 폐려, 폐부종, 두통, 어지러움, 구토, 설사

– 피부 : 통증, 홍반, 화상, 수포, 건조, 표백

– 안구 : 자극, 통증, 출혈, 화상, 각막 궤양, 시력상실

- 경구 : 구강/위장관 화상, 수포, 인후 및 위 내출혈, 무호흡, 두통, 어지러움, 허약, 사지마비, 경련, 쇼크

◉ 화재진압 요령

- 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것(불가능할 경우 타도록 두고 해당지역 철수)
- 안전거리에서 대량의 물로 화재지역을 흠뻑 적실 것
- 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고, 수로나 배수구로의 유출 차단
- 소화제 : 물(분말 소화약제, 포말은 사용금지), 이산화탄소, 할론

62) 염소산칼륨 (Potasium chlorate)

◉ 화학물질군 : 무기 산화제류

◉ UN번호 : 1485

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 140 (산화성고체)

◉ 용도 : 프린팅과 염색, 염료, 제약, 폭발물, 성냥, 불꽃제조술, 뇌관, 살균제, 산화제, 치약, 표백, 펄프 및 종이 제조

◉ 위험성

- 가연성 물질은 아니나 강산화제로 가연성 물질이나 산화성물질과 접촉 시 격렬한 연소반응이 일어날 수 있음
- 기계적인 충격에 민감, 화재/열에 장기간 노출은 폭발의 원인
- 타지는 않으나 화재의 강도를 증가시킴
- 혼합금지 : 산화제, 산, 환원제, 가연성물질

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

- 흡입 : 호흡기 자극, 메트헤모글로빈혈증, 청색증, 빈맥, 호흡곤란, 폐렴, 폐부종
- 피부 : 자극, 화상, 피부염
- 안구 : 자극, 결막염, 홍채가 탁해질 수 있음
- 경구 : 위장관 화상, 오심, 구토, 설사, 현기증, 두통, 졸음, 청색증, 경련, 사망

◉ 화재진압 요령

– 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것(불가능할 경우 타도록 두고 해당지역 철수)

– 안전거리에서 대량의 물로 화재지역을 흠뻑 적실 것. 물을 흘려 소화시킬 것, 웅덩이에 분사 금지

– 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고, 수로나 배수구 유출 차단

– 화재에 노출된 용기는 안전 지역에서 물 스프레이 이용 냉각

– 소화제 : 물(분말 소화약제, 포말은 사용 금지), 이산화탄소, 할론

63) 질산칼륨 (Potassium nitrate)

◉ 화학물질군 : 무기산화제류

◉ UN번호 : 1486

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 140 (산화성고체)

◉ 용도 : 부동액, 세제, 살균/소독제, 전기도금, 비료, 연료첨가제, 산화제/안정제/노화방지제, 의약품, 반도체, 고분자원료, 금속방청, 방부제, 안료, 도료, 잉크, 이온교환수지, 촉매, 치약, 성냥, 화약, 폭발물, 유리제품

◉ 위험성

– 비가연성 물질이나 연소성물질(나무, 종이, 기름, 금속 등)과 접촉 시 자연연소 또는 격렬한 분해

– 타지는 않으나 호재의 강도를 증가시킴

– 충격, 가열, 환원제와 접촉 시 화재 및 폭발 위험이 있음

– 혼합금지 : 가연성 고체, 자연발화성 및 금수성 물질, 인화성 액체

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

– 흡입 : 상기도 자극, 메트헤모글로빈혈증, 청색증, 경련, 빈맥, 호흡곤란

– 피부 : 자극, 불쾌감

- 안구 : 눈 자극, 불쾌감
- 경구 : 매스꺼움, 구토, 설사를 동반한 위장 염증

◉ 화재진압 요령

- 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것(불가능할 경우 타도록 두고 해당지역 철수)
- 미세한 물분무로 화재를 진압하고 인접 지역을 냉각시킬 것
- 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고, 수로나 배수구로 유출차단
- 화재에 노출된 용기는 안전 지역에서 물 스프레이를 이용 냉각
- 소화제 : 물(분말 소화약제, 포말은 사용 금지), 이산화탄소, 할론

64) 과염소산칼륨 (Potassium perchlorate)

◉ 화학물질군 : 무기산화제류

◉ UN번호 : 1489

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 140 (산화성고체)

◉ 용도 : 폭발물, 산화제, 사진술, 불꽃놀이, 고체 로케트 추진제의 산화제, 자동차 안전 에어백의 팽창제, 제약

◉ 위험성

- 비가연성물질이나 연소성물질(나무, 종이, 기름, 금속 등)과 접촉 시 자연연소 또는 격렬한 분해
- 충격, 가열, 산화성물질과 접촉 시 화재 위험이 있음
- 열 또는 오염으로 인해 폭발할 수 있음
- 혼합금지 : 환원제, 알루미늄류, 가연성 물질, 에탄올, 금속 분말, 황, 티타늄 수화물

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

- 흡입 : 호흡기 자극, 순환계 또는 중추신경계 장애, 신장 손상
- 피부 : 자극, 피부염, 수분 존재 시 피부 부식 및 조직 파괴 가속화

- 안구 : 자극, 손상
- 경구 : 소화기 자극, 신장 손상, 오심, 구토, 발진, 발열

◉ 화재진압 요령

- 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것(불가능할 경우 타도록 두고 해당지역 철수)
- 안전거리에서 대량의 물로 화재지역을 흠뻑 적실 것
- 화재에 노출된 용기는 다량의 물로 냉각, 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고, 수로나 배수구로의 유출 차단
- 소화제 : 물(분말 소화약제, 포말은 사용 금지), 이산화탄소, 할론

65) 과망간산칼륨 (Potassium permanganate)

◉ 화학물질군 : 무기산화제류

◉ UN번호 : 1490

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 140 (산화성고체)

◉ 용도 : 시약, 섬유 표백 및 염색, 세척, 물 정화

◉ 위험성

- 물질의 흡입, 섭취 또는 접촉(피부, 눈) 시 심한 상해, 화상 또는 사망을 일으킬 수 있음
- 열, 스파크, 화염, 오염에 의해 화재/폭발 위험 있음. 탄화수소와 폭발적으로 반응
- 고체 하이드록실아민과 접촉 시 즉각적인 흰 화염을 일으킬 수 있음
- 혼합금지 : 알코올, 아비산염, 브롬화물, 요오드화물, 유기물질, 금속파우더, 황, 과산화물, 환원제

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

- 흡입 : 호흡기 자극, 화상, 천공, 순환계 또는 중추신경계 장애, 신장 손상 유발 가능
- 피부 : 자극, 화상, 발진, 청색증, 외부 피부층의 경화, 피부염
- 안구 : 자극, 화상, 결막염, 각막 손상

- 경구 : 위장자극, 구역질, 구토, 화상, 천공

◉ 화재진압 요령

- 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것(불가능할 경우 타도록 두고 해당지역 철수)
- 안전거리에서 대량의 물로 화재지역을 흠뻑 적실 것
- 화재에 노출된 용기는 안전 지역에서 물 스프레이를 이용하여 냉각. 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고 수로나 배수구로 유출 차단
- 소화제 : 물(분말 소화약제, 포말 사용 금지), 이산화탄소, 할론

66) 염소산나트륨 (Sodium chlorate)

◉ 화학물질군 : 무기산화제류

◉ UN번호 : 1495

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 140 (산화성고체)

◉ 용도 : 제지용 펄프의 산화제, 표백제, 제초제와 고엽제, 염소산칼륨의 대체, 성냥, 폭약 불꽃과 꽃불신호, 직물 착색제

◉ 위험성

- 강산화제로 가연성 물질이나 산화성물질과 접촉 시 화재의 원인이 될 수 있고, 열에 의하여 폭발적으로 반응
- 화재 시 화재강도를 증가시키고 열, 오염, 마찰에 의해 폭발위험
- 혼합금지 : 산화제, 산, 환원제, 가연성물질, 암모니아 염류, 비소, 황, 금속분말

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

- 흡입 : 호흡기 자극, 상기도부종, 폐부종, 질식, 순환계/중추신경계/신장 손상
- 피부 : 자극, 홍반, 부어오름, 수포, 피부염
- 안구 : 자극, 결막염, 결막 충혈, 각막 혼탁
- 경구 : 자극, 구토, 구역질, 설사, 위장화상, 혈액용혈

◉ 화재진압 요령

– 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것(불가능할 경우 타도록 두고 해당지역 철수)

– 안전거리에서 대량의 물로 화재지역을 흠뻑 적실 것

– 화재에 노출된 용기는 안전 지역에서 물 스프레이를 이용하여 냉각. 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고 수로나 배수구로 유출 차단

– 소화제 : 물(분말 소화약제, 포말 사용 금지), 이산화탄소, 할론

67) 질산나트륨 (Sodium nitrate)

◉ 화학물질군 : 무기산화제류

◉ UN번호 : 1498

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 140 (산화성고체)

◉ 용도 : 면/담배/채소 작물의 비료, 유리, 냉매, 염료, 도기류의 에나멜, 질산의 제조, 방부제, 식품 첨가제, 살충제, 고기의 색 정착제, 폭발물 및 폭파제, 숙성제 및 고기의 방부제, 산화제, 화학적 중간체

◉ 위험성

– 비가연성 물질이나 강산화제로 가연성, 환원성 물질들과 반응 시 화재 및 폭발위험성 있음

– 혼합금지 : 산화물질, 유기물질

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

– 흡입 : 호흡기 자극, 메트헤모글로 빈혈증, 청색증, 경련, 빈맥, 호흡곤란

– 피부 : 자극, 피부염

– 안구 : 자극, 눈의 손상

– 경구 : 소화기염증, 메트헤모글로빈혈증, 청색증, 두통, 현기증, 혼수졸음, 허약, 설사, 운동실조, 구역질, 구토, 착란, 서맥, 호흡곤란

- 화재진압 요령
  - 대형화재의 경우 안전거리를 유지하고 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것(불가능할 경우 타도록 두고 해당지역 철수)
  - 안전거리에서 대량의 물로 화재지역을 흠뻑 적실 것
  - 연소 시 산소를 만들어 폭발적으로 반응함
  - 화재에 노출된 용기는 안전 지역에서 물 스프레이를 이용하여 냉각. 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고 수로나 배수구로 유출 차단
  - 소화제 : 물(분말 소화약제, 포말 사용 금지), 이산화탄소, 할론

68) 사린 (o-Isopropyl methyl phosphonofluoridate)

- 화학물질군 : 유기인산염류와 티오신산염류, 할로겐화 유기화합물
- UN번호 : 2810
- ERG대응지침번호 : GUIDE 153 (독성, 부식성 액체 – 가연성)
- 용도 : 화학전 무기(신경작용제)
- 위험성
  - 독성이 매우 강한 화합물로 중추신경계 손상을 가져옴
  - 가열 시 증기는 공기와 결합하여 폭발성 혼합물을 형성할 수 있음
  - 화재 시 증기 또는 물과 반응하여 독성/부식성 증기 생성, 금속과접촉 시 인화성 수소가스 방출
  - 혼합금지 : 건조한 표백제, 주석, 마그네슘, 강철, 알루미늄 도금한 카드뮴, 산, 염기, 구리, 황동
- 노출경로에 따른 인체유해성
  - 흡입 : 오심, 구토, 설사, 복통, 소/대변의 무의식적 배출, 흉부통증, 호흡곤란, 저혈압, 불규칙한 심박동, 시각장애, 경련, 사지마비, 폐울혈, 혼수, 사망
  - 피부 : 푸른빛 피부색, 접촉부위의 근육 뒤틀림, 발한, 심각한 손상 또는 사망

– 안구 : 자극, 눈물, 눈꺼풀 경련, 동공수축, 초점상실, 흐릿한 시야, 시각장애, 사망

– 경구 : 오심, 구토, 식욕감퇴, 복부경련, 설사, 두통, 구토, 현기증, 흐린 시야, 동공축소, 사망

◉ 화재진압 요령

– 소방관의 완벽한 보호가 요구됨 : 사용가능한 제독제(표백제, 알칼리)와 아트로핀을 지니고 있을 것

– 점화원 제거, 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입차단

– 화재에 노출된 용기는 방폭 장소에서 물 스프레이를 이용하여 냉각

– 냉각수 분사의 효과가 없다면 즉시 안전지역으로 대피할 것

– 소화제 : 물, 내알코올포말, 이산화탄소, 분말소화약제

69) 염화시안 (Cyanogen chloride)

◉ 화학물질군 : 무기 시안화물류

◉ UN번호 : 1589

◉ ERG대응지침번호 : GUIDE 125 (부식성가스)

◉ 용도 : 군사용 유독가스, 최루가스, 금속 정련, 고무합성, 살충제

◉ 위험성

– 독성 : 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 치명적일 수 있음

– 비가연성/비인화성 물질, 가열된 용기는 폭발할 수 있음

– 물과 격렬히 반응하고, 화재 시 시안화 가스를 포함한 자극성 또는 독성 가스 방출

– 혼합금지 : 물, 산, 염기, 암모니아, 아민, 산화제

◉ 노출경로에 따른 인체유해성

– 흡입 : 호흡기 자극, 기침, 과다호흡, 허약, 두통, 불규칙한 맥박, 오심, 구토, 폐 손상, 무의식, 청색증, 질식, 사망

– 피부 : 화상, 발진, 가려움, 궤양, 피부염, 상처를 통해 혈류로 유입 시 전신에 위험한 손상을 일으킬 수 있음

- 안구 : 자극, 눈물, 화상, 액체 접촉 시 냉동화상/동상
- 경구 : 구강/위 장관에 화학적 화상을 일으킬 수 있음

화재진압 요령

- 탱크화재의 경우 최대한 먼 곳에서 무인호스지지대 또는 방수포를 사용할 것
- 분무/무상 주수, 일반포말 사용, 유출물 또는 누출원에 대한 직사 주수 금지
- 수로, 하수구, 배수구로의 유출 차단, 지하실 등 밀폐된 장소로의 유입 차단
- 용기 내부로 물이 들어가지 않도록 하고 파손된 실린더는 전문가 처리
- 소화제 : 다량의 안개형 물 분무, 알코올포, 분말 소화약제, 이산화탄소

제3장

개인보호구, 방제장비 등 선정기준과 방법

제1절 개인보호구 선정 및 사용

제2절 방제대상별 방제약품 등 선정방법

1. 방제약품 종류 및 선정방법

제 3 장 개인보호구, 방제장비 등 선정기준과 방법

유해화학물질을 취급하는 사업장에서는 유해화학물질의 누출, 화재, 폭발을 대비하여 누출 및 외부로의 유출을 방지하기 위해 근본적인 설계로 화학물질의 제거, 화학물질의 배합비 조정, 치명적인 화학물질 사용금지, 사용량의 감소 및 저감, 화학물질의 독성 완화 등의 조치를 하고 있으며 그러함에도, 환경오염물질의 오염을 방지하기 위해 기계적, 물리적, 화학적, 생물학적 설비를 통하여 유해화학물질의 대기/수질/토양으로 누출방지를 위해 기계설비를 통한 공학적 대책을 꾀하고 있다. 그리고 마지막으로 이러한 유해화학물질의 인체 노출 및 흡수를 방지하기 위해 안전보호구를 착용하여야 한다.

그러함에도 불구하고 사고 시 발생되는 유해화학물질의 독성 및 2차적 피해(복사열, 폭발로 인한 과압, 악취 등)는 직접 취급하는 사업장 내 근로자 뿐만 아니라 1차 방제작업자, 제독작업자, 소산 및 대피 유도자, 피해반경 내 주민의 안전 및 주변 환경의 위협의 대상이 되고 있다.

이러한 유해성(hazard)는 근원적으로 제거 및 차단이 완전하지 않기 때문에 만일의 사고에 대비하여 최종의 방어수단인 개인보호구의 적정한 선정과 사고발생시 초동조치에 필요한 방제장비를 선정 및 준비가 필요하다.

제1절 개인보호구 선정 및 사용

개인보호구는 화학보호복과 호흡보호장비 등 여러 종류가 있다. 화학보호복도 작업의 형태와 보호수준에 따라 나뉘는데, 유해화학물질 취급종사자는 대부분 작업환경에서 착용 또는 사고발생 시 현장조치와 대피용으로 대부분 사용되어 진다. 이때에도 해당되는 물질의 특성을 충분히 고려하고, 사고 현장의 내용을 파악한 개인보호장비, 방제장비의 선정과 사용방법이 중요하다. 개인보호장구는 유해화학물질 취급자가 착용하여야하는 것으로 유해화학물질과의 직접적인 신체 접촉을 막아 주는 장비이다.

화학물질관리법에 의한 개인보호구(개인보호장구로 명명함)에는 호흡보호구, 보호복, 안전장갑이 있으나 이외에도 산업현장에서는 산업안전보건법에 의한 기타 안전보호구를 많이 착용하고 있다.

다만, 화학물질에 집중적으로든 국소적으로든 노출되는 것을 피하기 위해 화학물질 취급사업장에서는 상시적으로 개인보호구를 휴대, 착용하여야하며 현장 대피요원 및 제독요원, 피해반경에 있는 주민 역시 개인보호구를 휴대하여 신속하게 착용 후 작업 및 대피에 임하여야 인명적 피해를 최소화 할 수 있다.

아직도 사업장에서는 개인보호구의 비치능력이 부족한 실정이나, 사업장에서 개인보호구 구비에도 많은 비용이 소요되는 것도 무시 못 할 실정으로 이에 대한 대책이 필요하겠다.

1.1. 개인보호구 사용

개인보호구에는 유해화학물질로부터 인체노출을 차단하기 위해 개인보호구 착용이 필수로 요구되어진다. 개인보호구는 마스크, 방독면, 작업복, 보호장갑, 보안경등이 있다. 개인보호구의 구매·보급을 하기 위해서는 취급하는 화학물질의 특징과 시설유형을 확인해야 한다.

부식성 화학물질을 취급하는 작업장에서는 보안경을 착용하고, 콘텍트렌즈는 착용하여서는 안된다. 부식성가스 또는 액체가 렌즈를 투과하여 안구를 손상할 수 있다. 부식성 또는 피부흡수성이 강한 화학물질 도는 알레르기 반응물질의 경우 겹겹의 보호장갑을 착용하여야 한다. 아울러

제조사별로 다른 침투시간을 가지므로 조성을 잘 확인하여 적합한 보호장갑을 사용하여야한다.

보호장갑의 선택시 화학적내성, 침투시간, 밀착성, 물리적 내성 등도 고려하여야한다. 다음의 예는 한 물질로부터 침투되는 재질에 대한 특성이 보여진다.

<예시> ethylenediamine으로부터 보호력

구분(재질)	두께 (mm)	침투시간(min)
viton	0.23	0
Neoprene	0.46	396
Butyl Rubber	0.63	480
PVC	0.16	9
Nitrile	0.38	0

개인보호구는 구매 또는 보급으로 모든 사항이 종료되는 것이 아니라, 현장에서 운용되어지는 사용자를 대상으로 장비 보관시설의 위치와 장비의 수량 및 성능 등을 교육하고, 비상시 및 현장에서 평상시 사용되는 것으로 사용방법에 대해 지속적으로 교육을 실시해야 한다.

아울러 호흡보호장구는 늘 사용이 가능하고 적합한 상태로 유지되도록 관리되어야한다. 화학물질로 인한 비상상황시 해당 지역내 모든 인원이 사용할 수도 있는 조건이 발생할 수 있다 생각하고 관리해야 한다.

1.2. 개인보호구 착용 법적근거

화학물질 관리법에서는 유해화학물질을 사용하는 유해화학물질 취급 사업장 내에서는 다음과 같은 경우 반드시 보호장구를 착용하고 작업에 임하도록 하였다.

1.2.1. [화학물질 관리법 제14조 관련]

(유해화학물질 취급자의 개인보호장구 착용에 관한 규정 환경부고시 제2014-259호)

1) 제4조(사고대비물질 취급자의 보호장구 착용)

사고대비물질 취급자가 착용하여야 하는 호흡보호구, 보호복 및 안전장갑은 첨부1과 같으며, 「보호구 안전인증 고시」의 성능기준을 충족하여야 한다.

2) 제5조(사고대비물질 이외의 유해화학물질 취급자의 보호장구 착용)

사고대비물질 이외의 유해화학물질 취급자는「보호구 안전인증 고시」의 성능기준에 맞는 호흡보호구, 보호복 및 안전장갑을 착용하여야 한다.

3) 제6조(보호장구의 착용 및 착용의 예외)

가) 유해화학물질 취급자는 다음 각 호 어느 하나에 해당하는 경우해당 유해화학물질로부터 신체를 보호할 수 있는 적합한 보호장구를 착용하여야 한다.

① 실험실 등 실내 공간에서 유해화학물질을 취급하는 경우

② 유해화학물질을 다른 취급시설로 이송하는 과정에서 안전조치를 하여야 하는 경우

③ 흡입독성이 있는 유해화학물질을 취급하는 경우

④ 유해화학물질을 하역하거나 적재하는 경우

⑤ 눈이나 피부 등에 자극성 혹은 부식성이 있는 유해화학물질을 취급하는 경우

⑥ 유해화학물질 취급시설의 정비 · 보수작업을 하는 경우

⑦ 취급과정에서 화재 · 폭발의 위험성이 있는 경우

나) 유해화학물질 취급자는 제1항에도 불구하고 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우 보호장구를 착용하는 대신 유사시 즉시 착용할 수 있도록 근거리에 비치하거나 소지할 수 있다.

① 국소배기장치 등이 설치되어 가동되는 장소에서 유해화학물질을 취급하는 경우(호흡보호구와 보호복에 한한다.)

② 탱크로리 등 유해화학물질을 이송하는 차량 운전자가 운전 중일 경우

③ 유해화학물질이 밀폐용기에 저장되어 이송, 하역 · 적재 및 보관시 취급자가 흡입할 우려가 없는 경우(호흡보호구와 보호복에 한한다.)

④「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」 제2조제2호의 연구실에서 유해화학물질을 취급하는 경우

⑤ 유해화학물질의 위험요인으로부터 취급자를 보호할 수 있는 설비가 갖춰져 있거나 장치가 설치된 경우

4) 제7조(보호장구의 비치) 유해화학물질을 취급하는 사업주는 화학사고 발생시 누출 차단 등 신속한 초기 대응조치를 위하여 전면형 송기마스크 또는 공기호흡기를 비치해야 한다.

1.3. 개인보호구 사용시 주의사항

1.3.1. 사용시 주의사항

1) 사업장내 발생 가능한 위험의 종류, 근로자에게 발생할 수 있는 위험경로(흡입, 눈이나 피부 접촉 등)를 파악, 위험에 대한 노출수준, 근로자가 작업해야 할 작업시간 및 작업환경 등을 조사하여 적합한 보호복을 선택하여야 한다.

2) 화학위험상황이 발생될 수 있는 노출된 장소의 조건들에 적합한 사양을 고려한다.

3) 개인보호구 사용 및 교체, 종류, 방법, 사용 시 제한사항, 유지관리, 처분방법 등을 작업자에게 주기적으로 교육을 실시한다.

4) 개인보호구 이상 유무 검사와 개인보호구가 오염되지 않도록 깨끗한 곳에서 보관

5) 정화통, 안면부 필터 교환시기 및 유효기간 확인하고 관리한다.

6) 안전보건표지를 부착(근로자가 개인보호구를 착용하는 데 도움)한다.

7) 보호구를 공동 사용하여 근로자에게 질병 감염 우려시 개인 전용보호구를 지급(사업주 조치)한다.

8) 개인보호구 착용시에는 반지, 손목시계, 귀고리, 팔찌 등의 악세사리 제거하고 사용한다.

1.3.2. 개인보호구 근거리 비치 할 수 있는 경우

다음과 같은 경우 보호장구를 즉시 사용을 위해 근거리에 비치할 수 있다.

가) 국소배기장치 등이 설치되어 가동되는 장소에서 유해화학물질을 취급하는 경우(호흡보호구)

나) 탱크로리 등 유해화학물질을 이송하는 차량 운전자가 운전 중일 경우

다) 유해화학물질이 밀폐용기에 저장되어 이송, 하역·적재 및 보관시 취급자가 흡입할 우려가 없는 경우(호흡보호구)

라) 유해화학물질의 위험요인으로부터 취급자를 보호할 수 있는 설비가 갖춰져 있거나 장치가 설치된 경우

1.3.3 개인보호구 점검시 체크사항

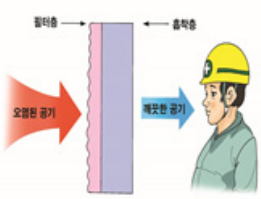
점검항목	점검결과
사업장 내에서 취급하는 유해화학물질에 맞는 개인보호구 구비 (화학보호복, 안면보호구, 보호장화, 보호장갑 등)	
개인보호장구의 보관장소(찾기 쉽고, 사고발생가능성이 높은 장소)	
개인보호장구 수량(화학물질관리법에서 정한 수량, 근로자수 등을 감안하여 비치)	
개인보호장구는 정품사용(유사 대체품 확인)	
호흡용보호구의 필터 정기교체(필터 유효기간 확인)	
필터 교체일 또는 교체예정일을 표기(방제함 전면에 유효기간과 수량을 표기하여 누구나 확인 가능하도록 조치)	

1.3.4. 개인보호구 종류

<표 3-1> 개인보호구 - 호흡보호장비 유형

구 분	호흡 보호장비	사용 장소
격리식 방독면		– 군에서 주로 사용(정화통 기능에 맞추어 사용) · 제독능력이 뛰어난 알루미늄 재질의 고농도용 정화통 · 전면형 안면부 재질은 무독성 실리콘 고무를 사용하여 피부 보호
직결식 방독면		– 사업장 또는 재난상황에 사용 · 제독능력이 뛰어난 알루미늄 재질의 중농도용 정화통 · 안면부 재질은 실리콘 고무
직결식 소 형 방독면		– 산업용독성물질에 범용으로 사용(사업장) · 제독능력이 뛰어난 저농도용 정화통 · 반면형 안면부 재질은 무독성 실리콘 고무
양압식 공기 호흡기		– 초동대응기관에 주로 사용하며, 전문교육이 필요 (소방, 군, 환경 등) · 압축공기를 300bar 이상으로 공급(약 30분 사용) · 감압밸브의 구조가 단순하게 설계되어 고장이 없으며 유지 관리 용이

<표 3-2> 개인보호구

보안면			정화통		
		호흡보호구는 공기공급식과 공기 정화식으로 나누며 얼굴 착용면에 따라 전면형, 반면형 등으로 구분			호흡보호구 필터는 오염된 공기속의 분전 등을 일차적으로 걸러줌
공기 공급식		양압식 공기 호흡기	방독 정화물		유기화합물용 할로겐용 황화수소용
		송기식 마스크			암모니아용
		정동식 마스크	방진 필터		특급
공기 정화식		전면형 마스크			1급
		반면형 마스크			2급

보호복		
	1형식 (가스차단)	완전 밀폐형이고, 환기밸브가 장착되어 있어 양압식 공기호흡기에 의해 보호복 팽창으로 외부공기 유입차단기능과, 현장 대응시 보호복 내부에서 손을 빼서 공기 호흡기, 무전기 관리 및 안면부를 닦을 수 있는 보호복을 선택하는 것이 중요
	2형식 (가스 비차단)	공기라인과 같은 양압의 호흡용 공기가 공급되는 가스 비차단 보호복
	3형식 (액체 차단)	– 일반적인 산업용 독성물질에 대한 범용에서 사용가능(화학보호복 재질과 호흡용 필터 유효기간 확인) – 모든 개인보호장비는 1회용으로, 보호복과 보호장갑, 보호장화, 방독면(직결소형식)으로 구성
	4형식 (분무 차단)	– 일반적인 산업용 독성물질에 대한 범용에서 사용가능(화학보호복 재질과 호흡용 필터 유효기간 확인) – 모든 개인보호장비는 1회용으로, 보호복과 보호장갑, 보호장화, 방독면(직결소형식)으로 구성
	5형식 (분무 차단)	분진 등과 같은 에어로졸에 대한 차단 성능을 갖는 보호복
	6형식 (미스트 차단)	미스트에 대한 차단 성능을 갖는 보호복

보호장갑					
	작업에 따른 골절상이나 마찰, 화상 등을 막아주고 손바닥이나 손가락을 보호하기 위하여 사용		유기화학물질용 안전장갑		내전압용 절면장갑

<표 3-3> 대응가스별 정화통의 종류

정화통 종류	색 명	적합한 마스크의 구성			규 격		대응가스의 종류	흡수제
		격리식	직결식	직결식 소 형	국가검정	KS		
할로겐가스	회색 흑색	◎	◎	◎	☆	☆	염소 및 할로겐류, 포스겐, 유기 및 산성가스	활성탄
산성가스	회색	○	○	○	-	☆	염산, 할로겐화수소, 탄산가스, 이산화질소, 산화질소	소다 알칼리제재
유기가스	흑색	◎	◎	◎	☆	☆	유기가스 및 증기, 이황화탄소	활성탄
일산화탄소	적색	◎	○	-	☆	☆	이산화질소, 일산화탄소	호프카리트 방습제
일산화탄소, 유기가스	적색 흑색	○	-	-	-	☆	일산화탄소, 화재시와 연기용	종합제재
암모니아	녹색	◎	◎	◎	☆	☆	암모니아	큐프라마이트
아황산가스	황적색	◎	◎	◎	☆	☆	황화수소 아황산가스	산화금속 및 알칼리제재
시안산 (청산)	청색	○	○		-	☆	시안화수소	
황화수소	황색	○	○	○	-	☆	황화수소 아황산가스	금속염류, 알칼리제재
옥화메틸	-	○	-	○	-	-	옥화메틸	-
아황산 유황	백색 황적색	◎	◎	◎	☆	-	아황산가스, 황의 증기 및 분진	-

*주 : ◎ 국가검정품(사용가능), O 현재 제조되어 있는 제품, ☆ 해당 규격이 있음

첨부1. 사고대비물질별 개인보호장구의 종류(제4조 관련)

<table>
<tr><th>번호</th><th>사고대비물질명</th><th>호흡보호구</th><th>보호복</th></tr>
<tr><td>1</td><td>포름알데하이드</td><td>전면형 유기화합물용
방독마스크 이상</td><td rowspan="13">화학물질용 보호복
3 또는 4 형식(전신)</td></tr>
<tr><td>2</td><td>메틸하이드라진</td><td>전면형 송기마스크 이상</td></tr>
<tr><td>3</td><td>포름산</td><td>전면형 유기화합물용
방독마스크 이상</td></tr>
<tr><td>4</td><td>메탄올</td><td>전면형 송기마스크 이상</td></tr>
<tr><td>5</td><td>벤젠</td><td>전면형 유기화합물용
방독마스크 이상</td></tr>
<tr><td>6</td><td>염화메틸</td><td>전면형 송기마스크 이상</td></tr>
<tr><td>7</td><td>메틸아민</td><td>전면형 암모니아용 방독마스크
이상</td></tr>
<tr><td>8</td><td>시안화수소</td><td>전면형 송기마스크 이상</td></tr>
<tr><td>9</td><td>염화비닐</td><td rowspan="3">전면형 유기화합물용
방독마스크 이상</td></tr>
<tr><td>10</td><td>이황화탄소</td><td>화학물질용 보호복 1형식
(안전장갑과 안전화가 포함된 일체형)</td></tr>
<tr><td>11</td><td>산화에틸렌</td><td rowspan="3">화학물질용 보호복
3 또는 4 형식(전신)</td></tr>
<tr><td>12</td><td>포스겐</td><td>전면형 송기마스크 이상</td></tr>
<tr><td>13</td><td>트리메틸아민</td><td>전면형 암모니아용 방독마스크
이상</td></tr>
<tr><td>14</td><td>산화프로필렌</td><td rowspan="2">전면형 유기화합물용
방독마스크 이상</td><td>화학물질용 보호복 1형식
(안전장갑과 안전화가 포함된 일체형)</td></tr>
<tr><td>15</td><td>메틸에틸케톤</td><td>화학물질용 보호복
3 또는 4 형식(전신)</td></tr>
<tr><td>16</td><td>메틸 비닐 케톤</td><td rowspan="4">전면형 유기화합물용
방독마스크 이상</td><td rowspan="11">화학물질용 보호복
3 또는 4 형식(전신)</td></tr>
<tr><td>17</td><td>아크릴산</td></tr>
<tr><td>18</td><td>메틸 아크릴레이트</td></tr>
<tr><td>19</td><td>니트로벤젠</td></tr>
<tr><td>20</td><td>파라-니트로톨루엔</td><td>전면형 유기화합물용 방독/1급
이상 방진 겸용 마스크</td></tr>
<tr><td>21</td><td>염화벤질</td><td rowspan="6">전면형 유기화합물용
방독마스크 이상</td></tr>
<tr><td>22</td><td>아크롤레인</td></tr>
<tr><td>23</td><td>알릴클로라이드</td></tr>
<tr><td>24</td><td>아크릴로니트릴</td></tr>
<tr><td>25</td><td>에틸렌디아민</td></tr>
<tr><td>26</td><td>알릴알코올</td></tr>
</table>

번호	사고대비물질명	호흡보호구	보호복
27	메타-크레졸	전면형 유기화합물용 방독/1급 이상 방진 겸용 마스크	화학물질용 보호복 3 또는 4 형식(전신)
28	톨루엔	전면형 유기화합물용 방독마스크 이상	
29	페놀	전면형 유기화합물용 방독/1급 이상 방진 겸용 마스크	
30	노말-부틸아민	전면형 암모니아용 방독마스크 이상	
31	트리에틸아민	전면형 암모니아용 방독마스크 이상	화학물질용 보호복 3 또는 4 형식(전신)
32	아세트산에틸	전면형 유기화합물용 방독마스크 이상	
33	시안화나트륨	전면형 송기마스크 이상	
34	에틸렌이민	전면형 복합가스용 방독마스크 이상 (유기화합물용+암모니아용)	
35	톨루엔-2,4-디이소시아네이트	전면형 유기화합물용 방독/1급 이상 방진 겸용 마스크	
36	일산화탄소	전면형 송기마스크 이상	화학물질용 보호복 1형식 (안전장갑과 안전화가 포함된 일체형)
37	아크릴일 클로라이드		화학물질용 보호복 3 또는 4 형식(전신)
38	인화아연	전면형 특급방진마스크 이상	화학물질용 보호복 5 또는 6 형식(전신)
39	메틸에틸케톤 과산화물	전면형 유기화합물용 방독마스크 이상	화학물질용 보호복 3 또는 4 형식(전신)
40	디이소시안산 이소포론	전면형 유기화합물용 방독/1급 이상 방진 겸용 마스크	
41	나트륨	전면형 특급 방진마스크 이상	
42	염화수소	전면형 아황산가스용 방독마스크 이상	
43	플루오르화수소	전면형 아황산가스용 방독마스크 이상	화학물질용보호복 3 또는 4 형식(전신)
44	암모니아	전면형 암모니아용 방독마스크 이상	
45	황산	전면형 아황산가스용 방독/1급 이상 방진 겸용 마스크	
46	질산	전면형 송기마스크 이상	
47	삼염화인	전면형 아황산가스용 방독마스크 이상	

번호	사고대비물질명	호흡보호구	보호복
48	플루오린	전면형 송기마스크 이상	화학물질용 보호복 1형식 (안전장갑과 안전화가 포함된 일체형)
49	염소	전면형 할로겐용 방독마스크 이상	화학물질용보호복 3 또는 4 형식(전신)
50	황화수소	전면형 황화수소용 방독마스크 이상	
51	아르신	전면형 송기마스크 이상	화학물질용 보호복 1형식 (안전장갑과 안전화가 포함된 일체형)
52	클로로술폰산		화학물질용보호복 3 또는 4 형식(전신)
53	포스핀		화학물질용 보호복 1형식 (안전장갑과 안전화가 포함된 일체형)
54	옥시염화인	전면형 아황산가스용 방독마스크 이상	화학물질용보호복 3 또는 4 형식(전신)
55	이산화염소	전면형 아황산가스용 방독마스크 이상	화학물질용 보호복 1형식 (안전장갑과 안전화가 포함된 일체형)
56	디보란	전면형 송기마스크 이상	화학물질용 보호복 1형식 (안전장갑과 안전화가 포함된 일체형)
57	산화질소		
58	니트로메탄	전면형 유기화합물용 방독마스크 이상	화학물질용보호복 3 또는 4 형식(전신)
59	질산암모늄	전면형 특급방진마스크	화학물질용보호복 5 또는 6 형식(전신)
60	헥사민		
61	과산화수소	전면형 유기화합물용 방독마스크 이상	화학물질용보호복 3 또는 4 형식(전신)
62	염소산칼륨	전면형 특급방진마스크	화학물질용보호복 5 또는 6 형식(전신)
63	질산칼륨		
64	과염소산칼륨		
65	과망간산칼륨		
66	염소산나트륨		
67	질산나트륨		
68	사린	전면형 송기마스크 이상	화학물질용 보호복 1형식 (안전장갑과 안전화가 포함된 일체형)
69	염화시안		

※ 모든 사고대비물질에 대하여 안전장갑은 화학물질용 안전장갑을 착용해야 함. 단, 화학물질용 보호복 1형식인 경우 제외

제2절 방제대상별 방제약품 등 선정방법

1 방제약품 종류 및 선정방법

방제란 사전적 의미로 예방을 통해 재앙의 근원을 막아 그런 일이 일어나지 않도록 하는 것이고 방재란 이미 일어난 일, 진행중인 재난에 대해 또는 일어날 것이 확실시되는 경우에 그 재난을 막거나 대처하는 것을 말할 수 있다. 그러나 넓은 의미에서 방제의 개념에 방재 활동의 의미도 포함되므로 우선 방제라는 용어를 사용하기로 한다.

1.1. 방제약품의 종류

국내에서 사용되고 있는 방제약품은 다양하며, 그 중 대부분의 방제약품은 반응성을 기준으로 중화제, 산화제, 환원제 및 흡착제로 나누어 볼 수 있다. 중화제로 사용되는 방제약품은 방제대상 화학물질이 산성인 경우는 염기성 방제약품으로 처리하고, 화학물질이 염기성인 경우에는 산성의 방제약품을 사용하여 중화를 목적으로 한다.

방제약품으로 중화제를 사용하는 경우는 누출된 화학물질이 물과 반응하거나 공기, 토양에 노출되었을 때 산성, 염기성 물질을 생성하는 경우이다. 대부분의 중화제는 약산, 약염기이며, 희석하여 사용하거나 비가연성물질과 혼합하여 사용하기도 하는데 이는 중화제를 사용하여 발생할 수 있는 2차 오염을 막기 위함이다.

구 분	방제약품명
염기성	수산화칼슘; 소석회(Calcium hydroxide, $Ca(HO)_2$), 산화칼슘; 생석회(Calcium oxide, CaO), 탄산칼륨(Potassium carbonate, K_2CO_3), 수산화나트륨; 가성소다(Sodium hydroxide, NaOH), 석회석(Calcium carbonate, $CaCO_3$), 중탄산나트륨(Sodium bicarbonate, $NaHCO_3$), 탄산나트륨; 소다회(Sodium carbonate, Na_2CO_3), 티오황산나트륨(Sodium thiosulfate, $Na_2S_2O_3$)
산성	아세트산용액(Acetic acid, CH_3COOH), 염산(Hydrochloric acid, HCl)

누출된 화학물질이 산화되기 쉽거나 환원되기 쉽다면 방제약품으로 환원제 또는 산화제를 사용하여 처리하는 것이 효과적이다.

구 분	방제약품명
산화제	차아염소산칼륨(Potassium hypochlorite, KHOCl), 차아염소산나트륨(Sodium hypochlorite, NaOCl), 차아염소산칼슘(Calcium hypochlorite, $Ca(OCl)_2$), 아질산나트륨(Sodium nitrite, $NaNO_2$)
환원제	활성탄소(Activated carbon, C), 중아황산나트륨(Sodium bisulfite, $NaHSO_3$), 아황산나트륨(Sodium sulfite, Na_2SO_3), 고도표백분;HTH(High test hypochlorite, $Ca(ClO)_2 \cdot CaCl_2 \cdot 2H_2O$), 고도표백분;STB(Super tropical bleach, $Ca(OCl)_2 + MgO$)

방제 메카니즘이 없는 유해화학물질은 흡착과 같은 물리적인 현상을 기대하는 방제약품을 사용한다. 유해화학물질의 특성에 따라 흡착제를 선택해야 한다. 일반적으로 유해화학물질이 유기화학물질일 경우에 흡착제로 활성탄을 사용하고, 무기물질은 질석, 건토, 건사와 같은 비가연성물질을 사용하며, 극성이 있는 유해화학물질에는 분말시멘트나 등을 사용한다. 이 밖에 사용되는 흡착제로는 벤토나이트(Bentonite), 규조토(Diatomaceous earth) 등이 있다.

1.2. 화학물질별 방제약품

유해화학물질중 사고가 빈번하게 발생하는 사고대비물질과 유통량이 많고 취급량이 많은 물질을 중심으로 살펴보기로 하자.

화학물질	방제약품
시안화수소 (Hydrogen cyanide)	– 방제약품 : 건토, 건사 또는 비가연성물질. 질석 또는 기타 흡수제 – 보호장비 : 양압식공기호흡기, 완전 밀폐형 화학보호복, 보호장갑(내산성)
암모니아 (Ammonia)	– 방제약품 : 약산(아세트산)용액, 질석, 건사 등의 비가연성 물질, 분말시멘트 – 보호장비 : 양압식공기호흡기, 완전 밀폐형 화학보호복
플루오르화수소 (Hydrogen fluoride)	– 방제약품 : 탄산칼슘, 중탄산나트륨, 석회분말, 질석, 건토, 건사, 비산회(flyash), 시멘트분말 등 비가연성 물질 – 보호장비 : 양압식공기호흡기, 완전 밀폐형 화학보호복
염화수소 (Hydrogen chloride)	– 방제약품 : 탄산칼슘, 중탄산나트륨, 석회분말, 질석, 건토, 건사, 시멘트분말 등 비가연성 물질 – 보호장비 : 양압식공기호흡기, 완전 밀폐형 화학보호복
과산화수소 (Hydrogen peroxide)	– 방제약품 : 건토, 건사, 시멘트분말 등 비가연성 물질 – 보호장비 : 양압식공기호흡기, 완전 밀폐형 화학보호복
황산 (Sulfuric acid)	– 방제약품 : 질석, 건토, 건사, 석회, 석회석, 탄산수소나트륨, 소다회, 소석회, 중탄산나트륨 등 – 보호장비 : 양압식공기호흡기, 완전 밀폐형 화학보호복
질산 (Nitric acid)	– 방제약품 : 질석, 건토, 건사 또는 비가연성 물질 – 보호장비 : 양압식공기호흡기, 완전 밀폐형 화학보호복

화학물질	방제약품
톨루엔 (Toluene)	- 방제약품 : 건토, 건사 또는 비가연성 물질, 질석 또는 기타 흡수제 - 보호장비 : 양압식공기호흡기, 완전 밀폐형 화학보호복
황화수소 (Hydrogen sulfide)	- 방제약품 : 중탄산나트륨, 석회석, 소다회, 질석, 건토, 건사 또는 비가연성 물질 - 보호장비 : 방독마스크, 양압식공기호흡기, 완전 밀폐형 화학보호복
염소 (Chlorine)	- 방제약품 : 중탄산나트륨, 석회, 소다회, 활성탄, 건토, 건사 등의 비가연성 물질 - 보호장비 : 방독마스크, 양압식공기호흡기, 완전 밀폐형 화학보호복

1.3. 화학물질 방제약품 및 반응성

다음은 주요 사고물질과 방제약품의 반응성에 대해 알아보자

1.3.1. 황산(Sulfuric acid)

1) 방제약품 : 수산화칼슘($Ca(OH)_2$), 탄산나트륨(Na_2CO_3)

2) 황산과 수산화칼슘의 화학반응식

H_2SO_4(황산) + $Ca(OH)_2$(수산화칼슘) →
$CaSO_4$(황산칼슘)↓ + $2H_2O$(물) + Heat

3) 황산과 탄산나트륨의 화학반응식

H_2SO_4(황산) + Na_2CO_3(탄산나트륨) →
Na_2SO_4(황산나트륨)↓ + H_2O(물) + CO_2(이산화탄소)↑ + Heat

4) 물과의 반응성

H_2SO_4(황산) + H_2O(물) →
H_2S(황화수소)↑ + H_2O(물) + $2O_2$(산소)↑

※ 물과 희석시 열 발생과 비산이 생기므로 황산에 물을 가하지 말 것. 즉, 물에 황산을 넣어 희석하거나 하여야 한다.

※ 황산 누출시 즉각 중화를 위해서 가성소다등의 강염기를 투여하는 것은 피해야한다.

1.3.2. 암모니아(Ammonia)

1) 방제약품 : 물(H_2O), 아세트산용액(CH_3COOH)

2) 암모니아와 물의 화학반응식

NH_3(암모니아) + H_2O(물) →
NH_4OH(수산화암모늄)

3) 암모니아와 아세트산용액 화학반응식

NH_3(암모니아) + CH_3COOH(아세트산용액) →
CH_3CONH_2(아세트아미드)↓ + H_2O(물)

1.3.3. 염소(Chlorine)

1) 방제약품 : 수산화나트륨(NaOH), 수산화칼슘($Ca(OH)_2$), 차아황산나트륨(Na_2SO_3) 등

2) 염소와 수산화나트륨의 화학반응식(알칼리 처리법)

Cl_2(염소) + 2NaOH(수산화나트륨) →
NaOCl(차아염소산나트륨)↓ + NaCl(염화나트륨)↓ + H_2O

3) 염소와 차아황산나트륨의 화학반응식(환원법)

Cl_2(염소) + $2Na_2S_2O_3$(차아황산나트륨) + $2H_2O$ →
$2NaCl$↓ + $Na_2S_4O_6$↓ + $2H_2O$

4) 물과의 반응성

가) 상온에서 물에 용해하여 소량의 염산(HCl)과 차아염소산(HOCl)을 생성

Cl_2(염소) + H_2O(물) → HCl(염산) + HOCl(차아염소산)
→ HCl(염화수소) + O(발생기산소)

나) 차아염소산은 열 또는 빛 등에 의해 쉽게 분해되어 발생기 산소와 유독성 염화수소를 생성

5) 금속과의 반응성 : 금속과 반응하여 염화물을 생성. 수분 존재시 부식작용이 촉진됨

6) 일산화탄소와의 반응성 : 독성가스인 포스겐 생성

CO(일산화탄소) + Cl_2(염소) → $COCl_2$(포스겐)

1.3.4. 시안화계열 화학물질(Cyanides)

1) 처리방법

가) 2차 생성물인 시안화합물을 제거하는 산화제로는 NaOCl(차아염소산나트륨), HOCl(차아염소산), $KMnO_4$(과망간산칼륨) 등이 있으며 산화제를 주입하여 pH를 10~11로 30분에서 60분간 반응 후 pH를 8~9로 낮추고 최종적으로 이산화탄소와 질소가스를 처리

NaCN(시안화나트륨) + NaOCl(차아염소산나트륨) →
NaCNO + NaCl

↓

NaCNO + 3NaOCl(차아염소산나트륨) →
N_2(질소) + $2CO_2$(이산화탄소) + NaOH + 3NaCl

나) 알칼리 염소처리법 : 시안계를 포함한 2차 생성물을 수산화나트륨 용액 등의 알칼리 용액을 첨가하여 pH를 높인 다음, 염소를 주입, 시안을 산화 분해시켜 이산화탄소와 질소로 변화시킴

CN(시안이온) + HOCl(차아염소산) + OH^-(수산화이온) →
CNO^-(시안산염) + Cl^-(염소이온) + H_2O(물) →
$2CNO^-$(시안산염) + 3HOCl(차아염소산) →
N_2(질소) + $2CO_2$(이산화탄소) + H_2O + HCl + $2Cl^-$

① 오존에 의한 산화처리방법도 가능함

2) 열 분해시 생성되는 유해물질

가) 액체인 경우 : 시안기(CN)의 유독한 연무와 질소산화물(NO_X) 방출

HCN(시안화수소) + 열 →
CN(시안기) + NO_X(질소산화물)

나) 고체인 경우 : 강산화제인 과산화나트륨(시안화나트륨인 경우), 일산화탄소(시안화칼륨인 경우), 시안계가스(CN–) 등이 발생

2NaCN(시안화나트륨) + O_2(산소) →
Na_2O_2(과산화나트륨)↓ + CN^-(시안이온)

3) 물과의 반응성

가) 물에 대한 용해도가 매우 높음, 고체의 경우 증기의 발생을 감소시키기 위해 물을 분무할 경우 유독성 시안화수소 발생

NaCN(시안화나트륨) + H_2O(물) →
NaOH(수산화나트륨)↓ + HCN(시안화수소)↑

1.4 방제약품 선정시 주의사항

1) 강산,강염기의 중화로 인한 발열 및 반응에 주의한다.

2) 약품의 특성 및 반응성을 고려하여 선정하고 투입순서에 주의한다.

3) 약품투입시 인체 및 환경에 미치는 영향을 고려한다.

4) 약품으로인한 2차 피해가 발생하지 않도록 주의한다.

5) 약품 취급시 안전보호장구를 착용하고 사용한다.

제4장

국내·외 화학사고 사례 및 예방대책

제1절 개 요

1. 최근 화학사고 현황
2. 화학사고의 기본이론
3. 폐가스처리공정의 개요 및 사고사례

제2절 화학사고 사례

1. 국내사고
2. 환경처리설비 사고
3. 국외사고

제 4 장 국내·외 화학사고 사례 및 예방대책

제 1 절 개 요

1 최근 화학사고 현황

1.1. 화학사고의 정의

환경부 화학물질관리법과 소방방재청(화학재난 합동방재센터의 설치 및 운영에 관한 규정[1]에서의 "화학사고"란 시설의 교체 등 작업 시 작업자의 과실, 시설 결함 · 노후화, 자연재해, 운송사고 등으로 인하여 화학물질이 사람이나 환경에 유출 · 누출되어 발생하는 일체의 상황을 포괄하여 정의 하고 있다.

산업안전보건법에서는 별도로 화학사고라는 정의가 없으나, 산업재해보상보험에 가입된 근로자를 대상으로 요양 신청된 전체의 산업재해 중 발생형태가 화학물질 누출·접촉, 화재, 폭발(파열) 사고 등 3가지 기준에 해당되는 경우 이를 화학사고로 예방목적에 의해 임의로 분류하고 있으며 이러한 분류는 국제노동기구(ILO)정의하는 "중대산업사고"의 예방관리가 주요 목적이다.

화학물질을 대량으로 사용하는 화학공장 등은 고도의 기술집약적인 장치산업으로, 여러 종류의 화학물질이 공정 내에서 원료·중간체·첨가제·용제 및 제품의 형태로 제조·사용·취급 및 저장되고

1) 소방방재청훈령 제343호, 2013.11.25, 제정

있고, 또한 독성물질 누출 또는 화재·폭발과 같은 중대산업사고가 발생하였을 경우에는 공장 내의 근로자는 물론 인근의 주민 및 환경에까지 막대한 피해를 끼치고 있고 해당사업장에서는 파손된 설비를 복구하는데 상당한 기간에 소요되므로 관련 산업에 필요한 원재료 수급 등의 차질을 가져와 국가 경제에 커다란 영향을 미치는 경우가 많다.

또한 이러한 사고는 사고유형 및 규모 등에 따라 해당국가 뿐 아니라 인접국가의 환경, 국민건강에도 영향을 미치는 경우가 있어 국제노동기구(ILO)에서는 국제적인 관리대상으로 구분하고 일반사고(산업재해)와 구분하여 중대산업사고(Major Industrial Accident)라 정의하고, "산업활동을 하는 과정에서 비정상적인 상태의 결과로 인한 위험물질의 누출(Release), 화재(Fire), 폭발(Explosion) 등의 발생으로 단기간 또는 장기간에 걸쳐 그 영향이 사업장내의 근로자뿐만 아니라 인근 지역주민이나 환경에까지 미치는 사고"로 규정, 예방활동을 전개하고 있다.

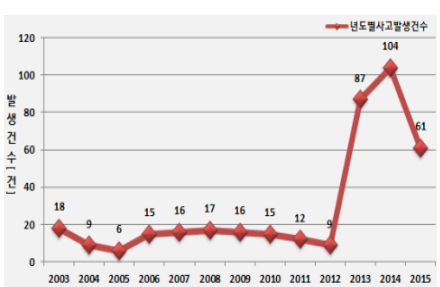
1.2. 최근 화학사고 발생현황[2)]

환경부에서 분석한 2003년부터 2015년 6월까지 국내 화학사고는 최근 3년간 발생건수가 급증하고 있으나 이는 2013년 "화학물질안전관리종합대책" 에 따른 사고발생 시 즉시신고제도 도입으로 신고건수가 증가한 것으로 판단된다.

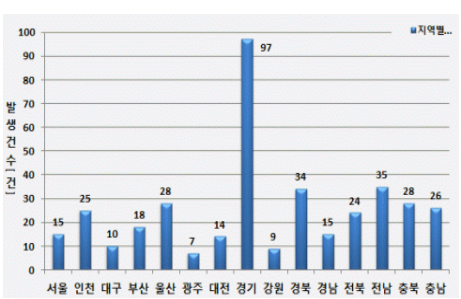
특히 '12년도 구미지역 불산 누출사고 이후 화학 사고에 대한 국민들의 관심도 증가도 영향을 미친 것으로 파악된다.

발생지역은 공장밀집 지역인 경기 시흥, 경기 안산, 인천, 전남 여수, 울산 등지의 사고발생건수가 많다.

<그림 4-1> 화학사고현황(2003~2015.6월)



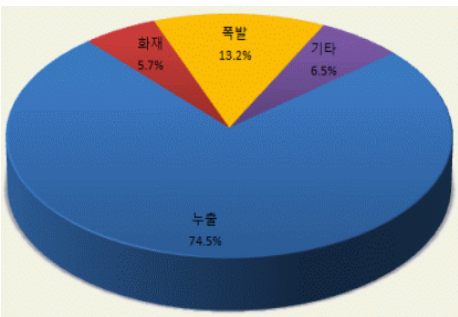
<그림 4-2> 지역별 사고발생(2003~2015.6월)



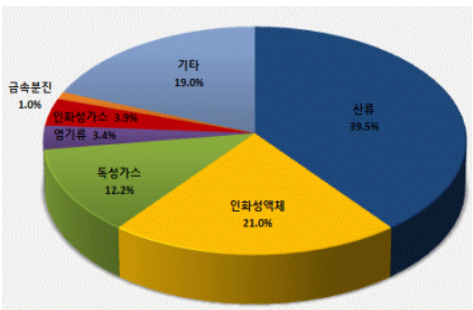
2) 환경부 화학물질안전원 통계시스템

사고 유형별 분석결과는 누출, 폭발, 화재 순으로 분류가 어려운 기타사고가 전체의 약 6.5%를 점유했으며, 사고 물질 중 산류는 염산(27.0%), 황산(21.1%), 질산(19.1%), 불산(9.2%)순으로 발생되고 인화성 액체로는 BTX(17.3%), DINP[3](7.4%), 포르말린(6.2%)순으로 독성가스는 암모니아가스(45.5%), 염소가스(24.2%)가 대부분을 차지하며 특히, 암모니아 가스의 누출로 인한 사상자가 30명에 이를 정도로 인적피해의 컸다.

<그림 4-3> 사고 발생형태별(2003~2015.6월)



<그림 4-4> 화학사고 물질별(2003~2015.6월)



1.3. 최근 화학사고의 일반적 특징

반도체 및 전자산업의 급속한 발달로 인한 신규화학물질이 증가함에 따른 기존의 화학업체가 아닌 반도체·전자산업에서의 화학사고가 급속히 증가하고 있으며 아울러 식료품 업종의 냉동기 냉매로 쓰이는 암모니아 등에서 사고가 빈발하고 있다. 발생형태는 화재·폭발 등이 아닌 누출사고가 비중이 가장 높아 해당 사업장 근로자와 인근지역 주민들의 피폭되는 사례가 증가하고 있다.

또한 최근 발생한 주요사고는 정상운전중인 아닌 정비·보수 시 주로 발생되고 있으며 그 주요사례는 아래와 같다.

1) 2014. 04. 09 전북익산의 (주)○○글로넷 농축탱크 폭발사고

2) 2014. 04. 15 경기도 안산의 ○○케미칼 반응기 폭발사고

3) 2014. 05. 09 포항의 (주)○○코 가스폭발사고

4) 2014. 05. 13 전남여수의 한국○○○(주) 열교환기 화재사고

5) 2015. 07. 02 울산광역시 ○○케미칼(주) 폐수처리 집수조 폭발사고

3) Diisononyl phthalate

또한 주요 생산공정이 아닌 폐수처리 등 부대공정의 사고가 증가되고 있다. 이러한 사고는 공정지역 및 생산설비에 비교하여 상대적으로 위험이 없다는 잘못된 사고(思考)로 인한 관리소홀로 인해 안전의 사각지대가 발생되고 있는 것으로 판단된다.

이러한 부대설비에서의 주요 사고 원인은 아래와 같다.

1) 위험성 인식부족

폐수집수조 등의 위험성을 간과하고 인화성증기에 의한 화재폭발 위험이 낮다는 안일한 생각에서 작업 전 인화성 증기의 제거 등 사전 안전조치 소홀

2) 안전수칙준수 및 작업관리 소홀

화기작업 전 위험물 확인·제거 등 안전규칙 미 준수, 생산공정과 비교 상대적 중요도가 낮은 부대설비 작업관리 소홀

3) 위험작업의 도급관리 미흡

용접 등 위험작업시 하청에 대한 화학물질 관련 위험정보제공 및 원·하청 안전조치 및 관리 미흡

2 화학사고의 기본이론

2.1. 화학사고의 형태

2.1.1. 독성물질 누출(Toxic Material Release)

가연성가스, 액화가스 또는 인화성 액체가 누출되면 대기 상태에서 증기운(Vapor Cloud)이 형성된다. 독성이 있는 물질일 경우에는 누출지점에서 인근지역으로 확산되므로 지역주민이나 주위환경에 대단히 위험한 상황을 야기할 수 있다.

따라서 독성물질이 누출되면 확산(Dispersion)이라는 현상에 초점을 맞추어 피해의 강도를 평가하여야 한다.

다음은 독성물질이 누출되었을 때 어떠한 피해가 유발되는지에 대한 요인들을 요약한다.

2.1.1.1. 누출조건

인화성 증기나 가연성 가스의 확산특성을 예측하는데 있어서 우선적으로 고려하여야 하는 것은 누출된 물질이 어떠한 상태에서 저장되었느냐 하는 누출직전의 상태를 파악하는 것이다.

예를 들면 누출 전에 가스 또는 액체상태로 저장되어 있는지, 그리고 저장온도와 압력상태 등에 따라 확산특성을 규명하는데 있어서 매우 중요한 인자로 작용한다고 볼 수 있다.

2.1.1.2. 확산

증기운의 확산은 2가지 조건에 의해 결정된다. 첫째는 누출되는 물질의 초기 움직임 형태이고, 둘째는 증기운으로 형성된 다음에 증기운의 농도와 무게이다.

누출초기에는 누출형태에 따라 확산이 좌우되므로 증기농도에는 크게 영향을 받지 않지만, 초기누출형태를 지난 다음부터는 대기에 의해 확산 형태가 좌우되므로 공기 중에 있는 가스 또는 증기의 농도와 무게가 확산형태를 규명하는 주요 요인이 된다.

독성물질 누출사고는 많은 사망자를 유발시키기도 하지만, 상해자수가 다수 발생하는 특성을 가지고 있으며 특히 독성물질 흡입에 의해 즉각적인 사망이나 중상을 입지 않더라도 장기적으로 건강장애를 일으켜 결국 사망사고로 연결되는 경우가 많다.

2.1.2. 화재(Fire)

인화성 액체 또는 가연성가스가 대기로 누출되었을 때 전기적인 스파크, 용접 불똥 또는 성냥불과 같은 외부의 점화원과 접촉하게 되면 화재가 발생한다.

일반적인 건물화재로 인한 피해는 발화지점을 중심으로 반경 200m 내외에 국한하여 발생하는 것이 보통이나, 산업현장에서의 화재는 상상을 초월할 만큼 그 피해규모가 막대할 수 있다.

산업현장에서 발생하는 화재는 다음과 같이 3가지 그룹으로 분류하여 화재특성을 정의하고 있다.

2.1.2.1. Pool Fire

Pool Fire는 인화성 액체가 지상으로 계속 누출하여 넓은 지역으로 번졌을 때 여기에 점화원이 있게 되면 넓은 지역에서 화재가 발생하는 경우를 말한다.

Pool Fire의 특징은 인화성 액체가 얼마나 오랫동안 누출되었는가와 인화성 액체의 포화증기압 및 인화점 등 물성에 따라 피해특성이 다르게 나타난다.

2.1.2.2. Flash Fire

연소하한계 농도보다 약간 높은 농도를 갖는 증기운에 순간적으로 점화가 되면 폭발이 일어나지 않고 화재가 발생하는 경우가 있는데 이런 화재를 Flash Fire라 한다. Flash Fire는 대기온도보다 낮은 비점을 갖는 가연성 화학물질에 한하여 발생한다.

이런 화재는 화염의 전파, 화재의 지속시간, 그리고 화재로 인해 발생되는 열량 등의 관점에서 볼 때 Fire Ball과는 전혀 다른 특성을 갖고 있다.

Flash Fire는 대기압 상태로 저장되거나 취급되는 가연성 화학물질에서 발생하는 것이 일반적이다. Flash Fire나 Pool Fire에 대한 피해규모는 주어진 시간동안 특정피해 대상물에 전달된 복사열의 크기에 의해 평가된다.

이와 같이 산업현장에서 화재사고가 발생하게 되면 폭발사고와 마찬가지로 피해크기가 막대하여 위험물에 의한 화재사고는 일반화재사고와 다른 특성을 갖고 있다.

2.1.2.3. Fire Ball

가연성 증기운이 강한 복사열이나 파편 또는 Blast wave interaction에 순간적으로 접촉하게 되면 둥그런 화염을 발생하는 화재가 발생한다. 이런 형태의 화재를 Fire Ball이라 한다.

Fire Ball의 대부분은 인화성이 강한 액체가 높은 압력에 저장되거나 취급되는 곳에서 발생한다. Fire Ball의 피해예측은 Fire Ball의 온도, 지속시간 및 크기에 좌우한다.

Fire Ball의 온도는 인화성 액체의 발열량, 발화방법 등에 따라 다르며, 일반적으로 인화성 액체의 경우는 1,100℃ 정도 그리고 폭발성 화학물질의 경우는 4,500℃까지 되는 등 다양하게 관찰되고 있다.

2.1.3. 폭발(Explosion)

폭발사고는 인화성 액체나 가연성가스 자체가 보유하고 있는 에너지 또는 열 특성 때문에 발생하기도 하고, 외부의 폭발충격파장이 원인이 되어 발생하기도 한다. 폭발사고의 형태는 국제적으로 크게 3가지로 분류하여 정의하고 있다.

2.1.3.1. 밀폐계 증기운 폭발(CVCE, Confined Vapor Cloud Explosion)

밀폐계 증기운 폭발(CVCE)은 장치나 건물과 같이 밀폐된 환경에서 발생하는 폭발을 말한다.

밀폐된 용기 내에 과잉 압력이 증가하게 되면 이와 같은 폭발사고가 일어나게 되며 이로 인해 충격파(Shock Wave)가 발생된다. 만약 용기 내에 인화성 액체가 있으면 충격파 또는 다른 점화원에 의해 화재를 동반하게 된다.

폭발된 탱크조각은 미사일과 같은 강력한 파괴력을 갖게 되어 주위에 있는 작업자를 사망시키기도 하고 다른 설비를 파괴하기도 한다.

이와 같은 파편에 대한 파괴력은 파편조각(미사일)의 모멘텀(Momentum)에 기초를 두어 평가되고 있다. 그리고 CVCE 사고피해는 충격파, 파편(미사일) 및 복사열 등에 의해 유발되며 이들의 강도는 화학물질의 총량과 폭발압력에 좌우되어 예측할 수 있다.

2.1.3.2. 개방계 증기운 폭발(UVCE, Unconfined Vapour Cloud Explosion)

개방계 증기운 폭발(UVCE)은 밀폐계 증기운 폭발(CVCE)과는 달리 옥외 작업장이나 야적장과 같이 개방된 장소에서 폭발이 일어나는 것을 말한다.

탱크, 용기 또는 배관 내에서 위험물질이 외부로 누출되어 공기와 혼합하면 증기운을 형성한다. 이때 증기운 속에 혼합되어 있는 가연성 증기 또는 가스의 농도가 폭발하한농도 이상이 되고, 점화원과 접촉하게 되면 증기운이 폭발하는 현상을 일으킨다.

이와 같은 UVCE는 개방된 상태에서 일어나기 때문에 넓은 지역에 피해를 주게 되고 따라서 대형사고로 발전될 가능성이 가장 높다.

UVCE의 폭발강도는 증기운 속에 혼합되어 있는 화학물질의 양과 점화원의 강도에 따라 다르게 나타난다. CVCE와 UVCE의 폭발력은 last wave의 특성, 예를 들면 과압(Overpressure), 과압-충격(Overpressure-impulse), 반사압력(Reflected Pressure), 충격지속시간(Duration of shock) 등에 따라 각각 다르다. 이중에서도 과압이 가장 중요한 변수이며, 과압의 크기는 화염전파 속도에 크게 좌우된다. 만약 화염전파를 방해하는 어떤 물체가 있다면 폭풍 영향을 크게 높이는 결과를 가져올 것이다.

2.1.3.3. 비등 액체 팽창 증기 폭발(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion, BLEVE)

비등 액체 팽창 증기 폭발(BLEVE)는 밀폐된 용기 내에 대기압보다 높은 압력상태로 저장된 액화가스가 외부로 갑자기 누출되면서 발생되는 폭발사고를 말한다. 이때 액화가스가 외부로 누출되면서 압력이 갑자기 낮아진 대기압 상태에 놓이게 되므로 인화성 액체가 "폭발적인 증발"을 일으켜 증기구름과 미스트(Mist)가 거의 동시에 발생하게 된다.

이와 같이 생성된 증기구름과 미스트가 어떤 점화원과 접촉하게 되면 Fire ball 또는 Flash fire가 형성되면서 BLEVE 사고가 발생된다. 생성과정은 어떤 원인에 의하여 용기가 갑작스럽게 파열되면서 일어며 발생단계는 다음과 같다

1) 액체가 들어있는 탱크의 주위에서 화재가 발생
2) 화재로 인한 열에 의하여 탱크의 벽에 가열
3) 액위 이하의 탱크 벽은 액에 의하여 냉각되나, 액의 온도는 올라가고 탱크내의 압력이 증가
4) 화염이 열을 제거 시킬 액이 없고 증기만 존재하는 탱크의 벽이나 천장에 도달하면, 화염에 접촉하는 부위의 금속온도가 상승하여 그 구조적 강도를 잃게 됨
5) 탱크는 파열되고 그 내용물은 폭발적으로 증발

이때 액체가 가연성이고 화재가 BLEVE의 원인이라면 탱크가 파열될 때 점화될 것이고 BLEVE가 화재에 기인한 것이 아닐 때에는 증기운이 형성되어 그 결과 증기운 폭발(VCE)을 일으킬 수 있다. 또한 증기는 피부에 화상이나 독성효과를 주는 등 인체에 해로울 수가 있다. BLEVE가 용기에서 일어날 때 액체의 일부분만이 증발한다. 그 양은 용기 내용물의 물리적, 열역학적 상태에 따라 달라진다.

2.2. 화재·폭발이론

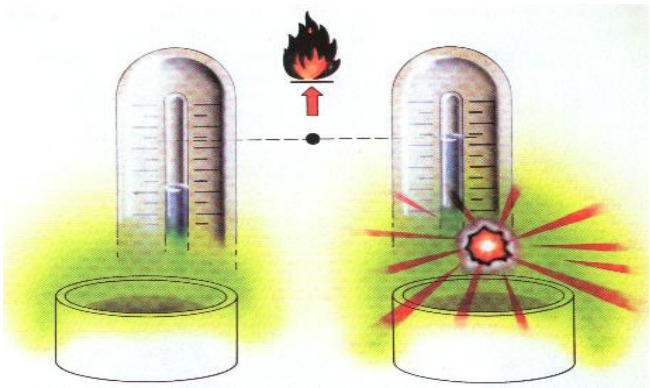
2.2.1. 주요 용어의 이해

2.2.1.1. 인화점(Flash Point)

점화원이 가해졌을 때, 어떤 액체가 점화할 수 있는 충분한 양의 증기와 공기의 폭발성 혼합물을 생성할 수 있는 최소온도를 말하며, 폭발하한치에 달하는 가연성 증기 농도를 생성할 수 있는 최저온도를 의미한다.

공정온도가 취급 액체의 인화점보다 높을 경우 폭발위험이 존재하게 된다.

<그림 4-5> 인화점의 의미



인화점이하의 온도 저증기농도, 폭발위험 없음	인화점이상의 온도 고증기농도, 폭발위험

2.2.1.2. 발화점(Auto Ignition Point)

별도의 점화원이 없어도 가연성물질을 계속 가열하면 자연적으로 발화되는 온도이다.

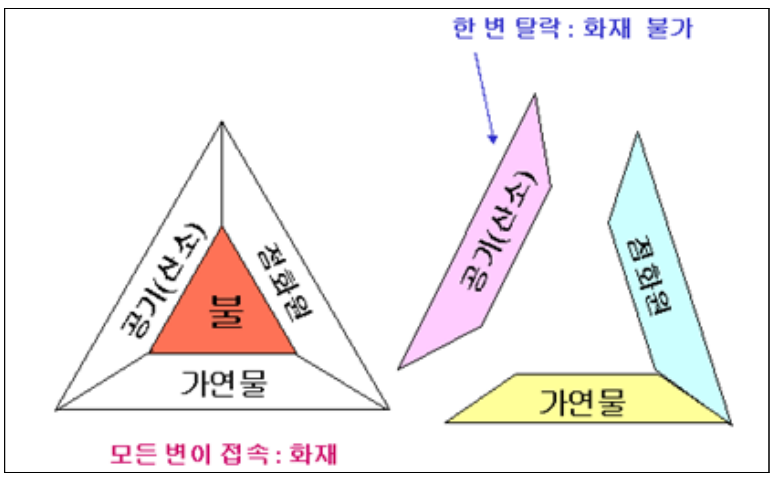
<표 4-1> 위험 물질별 인화점 및 발화점

구 분	인화점(℃)	발화점(℃)
메탄	-188	538
에탄	-135	515
부탄	-60	405
가솔린	-43	300
등유	35	229
경유	50~70	257
나프타	-49	288
아세톤	-17	558
톨루엔	4.4	480
크실렌	27.2	465
메틸알콜	11	385
에틸알콜	12.8	415
메틸에틸케톤(MEK)	-4	516

2.2.1.3. 화재(연소)의 3요소

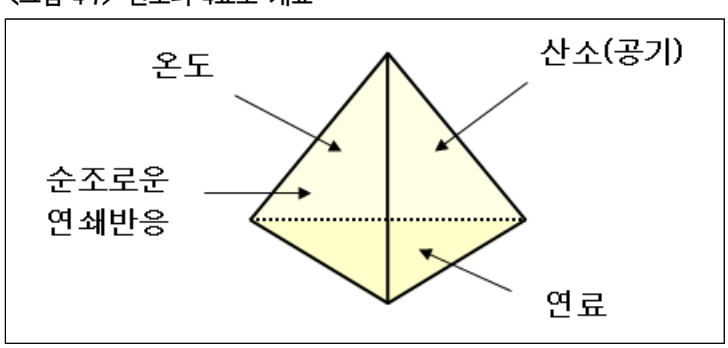
가연물, 산소(공기), 점화원을 연소의 3요소라 부르며, 이 중 어는 하나라도 없으면 연소가 이루어질 수 없으므로 이들 3요소 중 하나 이상을 제거하거나 격리 시키는 것이 곧 불을 끄는 소화의 원리이다.

<그림 4-6> 연소의 3요소 메카니즘



연소의 3요소 이외에 연쇄반응이 4번째 요소로 작용하며 이를 연소의 4요소라고도 한다.

<그림 4-7> 연소의 4요소 개요



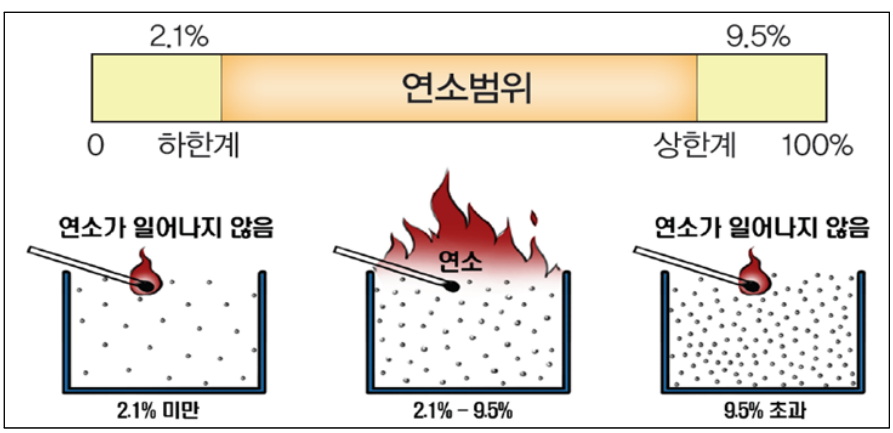
2.2.1.4. 연소범위(폭발범위)

가연물, 산소, 점화원의 3요소가 존재해도 연소 즉, 불이 붙지 않고 공기 중에 가연성 가스(또는 증기)가 일정범위의 농도에 있어야 연소가 가능한데 이를 연소범위 또는 폭발범위라고 한다.

공기와 혼합된 가연성 가스, 증기 또는 미스트는 특정범위 내에서만 폭발이 가능한데 극히 적은 양이 존재하는 폭발 하한(LFL) 이하에서 혼합물은 농도가 너무 낮고 매우 많은 양이 존재하는 폭발 상한(UFL) 이상에서는 농도가 너무 진하여 폭발이 발생할 수 없으므로 폭발하한과 상한 사이에서만 폭발이 가능한데 이러한 범위를 폭발범위라고 말하며 단위는 vol% 또는 g/m³으로 표시한다.

폭발범위는 물질마다 다른 특정치를 갖고 있으며 알려지지 않은 물질의 경우는 실험에 의하여 결정 될 수 있다.

<그림 4-8> 연소(폭발) 범위의 개요도



<표 4-2> 위험물질의 연소(폭발)범위

물 질 명	연소범위 (공기내의 부피%)	UFL - LFL
1. 산화에틸렌	3.6~100	96.4
2. 디보란	1~99	98
3. 아세틸렌	2.5~80	77.5
4. 수소	4.1~74	69.9
5. 트리클로로에틸렌	12~40	28
6. 일산화탄소	12.5~74	61.5
7. 메틸클로로포름	6.8~10.5	3.7
8. 카본디설파리드	1.25~44	42.8
9. 황화수소	4.3~45.5	41.2
10. 암모니아	15~28	13
11. 에틸알콜	3.3~19	15.7
12. 아세톤	2.5~13	10.5
13. 메탄	5.3~14	8.7
14. 에탄	3.2~12.5	9.3
15. 프로판	2.4~9.5	7.1
16. 부탄	1.8~8.4	6.6
17. 펜탄	1.4~7.8	6.4
18. 벤젠	1.4~6.7	5.3
19. 톨루엔	1.3~6.7	5.4
20. 가솔린	1.4~6.2	4.8

주의할 내용은 화재와 폭발은 동일한 것이며 단지 연소속도(확산속도)에서 차이가 있다. 이러한 이유로 연소범위와 폭발범위는 동일한 것이다.

연소 하한계를 LFL(Lower Flammable Limit), 연소 상한계를 UFL(Upper Flammable Limit), 폭발 하한계를 LEL(Lower Explosive Limit), 폭발 상한계를 UEL(Upper Explosive Limit)이라고 별도로 칭하고 있지만 실질적으로는 동일한 값을 가르키는 동일한 용어로 착오가 없기를 바란다. 일반적으로 연소(폭발) 상한값에서 하한값을 뺀 수치가 클수록 화재·폭발의 위험성(빈도)가 큰 물질이다.

2.2.1.5. 화재의 종류

1) A급 화재(일반화재)

연소 후 재를 남기는 종류의 화재로서 가장 일반적인 화재이며 나무, 종이 섬유 등의 가연물 화재가 이에 속하고 A급 화재는 보통 물을 함유한 용액으로 냉각, 질식소화의 효과를 이용하여 소화한다.

2) B급 화재(유류화재)

연소 후 재를 남기는 종류의 화재로서 유류, 가스등의 가연성 액체나 기체 등의 화재가 이에 속하고 포말, 분말약재를 사용, 질식소화의 효과를 이용하여 소화한다.

3) C급 화재(전기화재)

전기설비 등에서 발생하는 화재로서 수변전 설비, 전선로의 화재가 이에 속하고 C급 화재는 금수성 화재이며 전기적 절연성을 갖는 CO_2, 할론(Halon), 분말 등의 소화 약제를 이용하여 질식, 냉각, 억제소화 효과를 이용하여 소화한다.

4) D급 화재(금속화재)

금속 또는 금속분에서 발생하는 화재로서 이는 다른 화재에 비해 발생빈도는 높지 않으며 단체금속의 자연발화, 금속분에 의한 분진 폭발 등의 화재가 이에 속하며 D급 화재는 화재 시 높은 온도가 발생하며 냉각 시 장시간이 소요되기 때문에 일반적으로 소화 작업이 어려운 것이 특징이다. 또한 주수소화는 물에 의해 발열하므로 적응성이 없으며 건조사, 건조규조토 등을 이용하여 소화하는 것이 바람직하다.

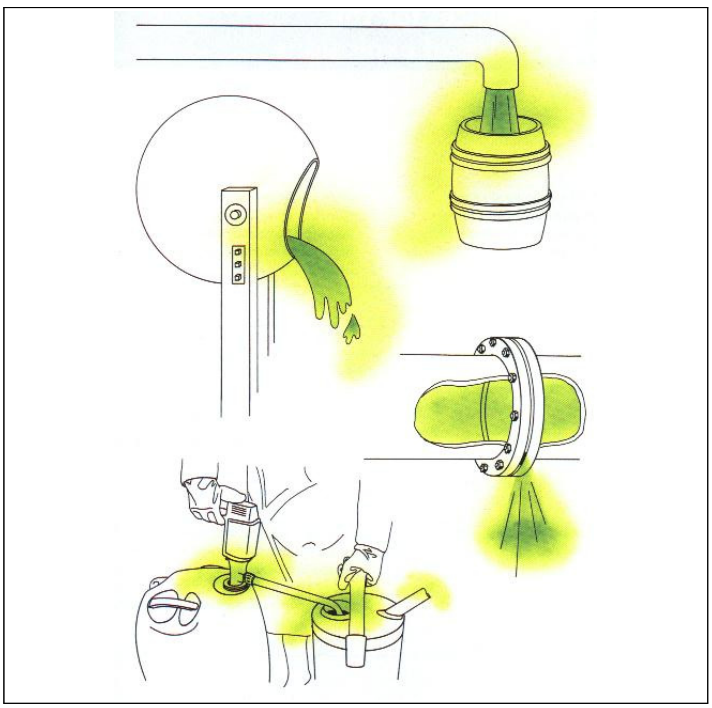
2.2.2. 가연성 가스, 증기 또는 미스트에 의한 화재·폭발 위험

가연성 가스 또는 액체를 생산, 취급, 저장으로 인하여 이들 가스, 증기 또는 미스트가 생성될 경우는 항상 폭발 위험은 존재한다. 인화성 액체는 어떤 액체의 증기 또는 미스트가 공기와 혼합하여 폭발성 혼합물을 형성하는 경우로서, 폭발성 혼합물은 가연성 가스, 증기 또는 미스트가 점화되어 폭발반응이 자동으로 확산 가능한 충분한 양(폭발범위)으로 존재하는 경우를 말한다.

1) 인화점 이상의 온도에서 액체로부터 가연성 증기가 발생된다.

2) 액체를 스프레이 할 경우 미스트가 발생된다.

<그림 4-9> 인화성 액체로부터 증기와 미스트 형성의 예



화재·폭발은 다음의 경우에 발생할 수 있으며, 아래의 3요소가 같은 장소에서 동시에 존재할 경우 발생하며 3요소 중 1개요소만 제거하면 폭발을 방지 할 수 있다.

1) 가스, 증기 또는 미스트가 폭발범위 내에 있을 경우(충분한 가연물과 공기존재)

2) 유효 점화원이 존재 할 때

이때 충분한 산소농도란 통상적으로 대기의 산소농도만으로 충분하며 어떤 가연성 가스, 증기 또는 미스트는 더 낮은 산소농도에서도 폭발이 가능하며 산소농도가 공기 중의 산소농도보다 높을 경우는 특별한 조치가 필요하다. 점화원의 종류는 대표적으로 아래와 같으며, 산업현장에서는 많은 점화원의 존재가 가능할 수 있다.

1) 고온물체의 표면

2) 화염, 불꽃, 불티

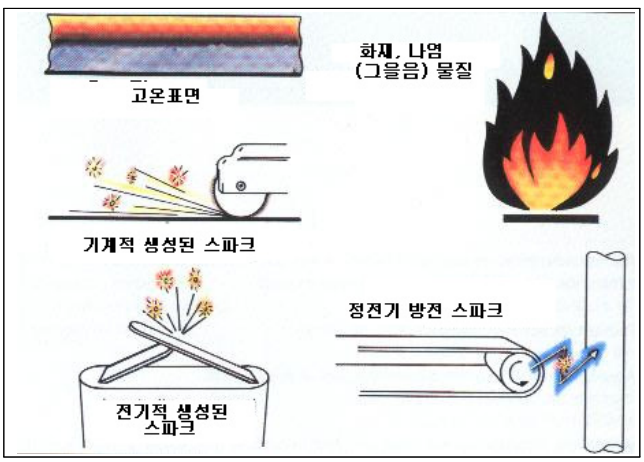
3) 기계적 충격 및 마찰열

4) 전기기계기구에서 발생하는 스파크

5) 정전기

6) 단열압축열, 자연발화

<그림 4-10> 가능한 점화원의 종류



3 폐가스 처리공정의 개요 및 사고사례[4)]

3.1. 개요

3.1.1. 폐가스란?

폐가스(Off gas)란 화학공정에서 원료 및 중간생성물을 저장 또는 취급하는 저장 탱크 등에서 발생하는 가스나, 안전밸브 등을 통해 분출되는 가스를 말한다. 즉, 상압으로 운전되는 저장탱크(지방족 및 방향족 탄화수소 액체 등을 저장)상부의 증기가 통 기관을 통하여 탱크 외부로 배출되거나, 압력용기 또는 반응기에 취급중인 가스(증기) 및 액체 성분들이 비정상적인 조건(온도 또는 압력 상승)에서 안전밸브 등을 통해 용기 밖으로 분출되는 가스(증기)를 말한다. 이렇게

4) 참고문헌: 1. 소각법에 의한 VOC 처리설비의 안전대책(한국산업안전보건공단 부산지역본부, 2003)
2. VOC방지설계지침(환경부, 2000)
3. 대기오염방지시설의 안전관리 실태 분석 및 개선방안,「황순용, 2006」
4. Safe design and use of vent collection systems for potentially flammable mixtures,「HSE, 2004」

대기로 배출되는 가스(증기) 성분들은 보통 화재 · 폭발 위험성이 있는 물질이거나 인체에 건강장해를 일으킬 수 있는 독성 또는 발암성 물질이기 때문에 대기로 배출 또는 분출되기 전에, 반드시 처리 설비를 거쳐 안전하고 무해하게 처리하여야 한다.

이러한 이유로, 산업안전보건법에서도 안전밸브 등으로부터 분출되는 인화성 가스나 독성물질의 경우에는 반드시 연소, 흡수, 세정, 포집 또는 회수 등의 방법으로 처리하도록 규제하고 있으며, 대기환경보전법에서도 상압저장탱크 및 공정에서 발생하는 휘발성 유기화합물(VOC, Volatile Organic Compounds)을 대기로 배출할 경우에는 반드시 VOC 처리설비를 거친 후, 대기로 배출하도록 규제하고 있다.

3.1.2. 폐가스 처리공정

폐가스는 일반적으로 연소/소각, 대기배출 및 흡수/흡착 방법 등을 통해 안전하고 무해한 가스로 처리되어 대기로 배출된다. 보통 안전밸브 등을 통해 분출된 인화성 가스(증기) 등은 플레어 시스템(Flare system)을 통해 스택에서 최종적으로 연소 처리된 후, 대기로 배출된다. 또한, 포스겐 또는 염화수소 등과 같이 연소 처리시 발암성 물질(다이옥신 등)이 생성되는 가스는 스크러버(Scrubber)를 통해 처리되는데, 이때는 폐가스 중의 유해성분을 중화 또는 흡수하는 액체가 탑 상부에서 살수되면서 액체(물 또는 NaOH 용액)에 흡수되고, 미 흡수된 가스는 대기로 배출되게 된다. 또한, 수소와 같이 분자량이 낮거나 확산속도가 빠른 물질들은 벤트 스택(Vent Stack)을 통해 대기 중으로 직접 배출시켜 처리한다.

그 외, 상압 저장탱크(증기압이 높은 탄화수소류를 저장하는 상압탱크)에서 발생하는 VOC등의 폐가스나 반응기(Reactor) 및 응축기(Condenser)등의 진공운전으로 발생하는 폐가스, 또는 각 설비의 개구부에 설치된 포집 설비에서 발생한 폐가스는 소각 또는 흡착 시설을 이용하여 처리한다. 소각처리시설은 연소산화 및 촉매산화를 통해 폐가스를 연소시키는 방법으로서 RTO 및 RCO등이 대표적인 설비이며, 흡착은 폐가스를 흡착제(활성탄 등)에 흡착시켜 처리하는 방법으로서 활성탄 흡착탑이 대표적인 설비이다. 이런 소각 또는 흡착 공정에서, 폐가스를 처리설비로 이송하는 구동원(Driving Force)은 처리설비 전·후단에 설치된 송풍기의 흡입력으로서, 폐가스를 연속적으로 흡입하여 배관 또는 덕트를 거쳐 처리시설로 이송한다.

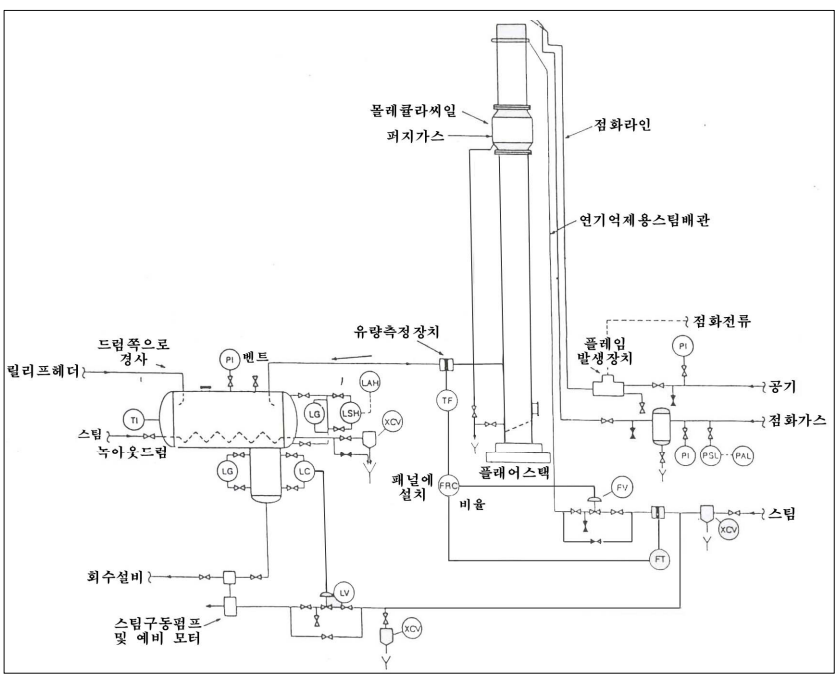
이밖에 저온으로 폐가스를 응축시켜 액체로 처리하는 방식과 미생물을 이용한 생물학적 처리방법 및 분리막 기술이 있다.

3.1.2.1. 플레어 시스템을 통한 연소처리

여수, 울산 및 대산에 위치한 대형 화학공장에서는 공정 중에 발생한 폐가스를 아래와 같은 플레어 시스템을 통하여 안전하게 처리하고 있다.

즉, 비정상 상태에서 발생하는 고압의 폐가스는 용기에 설치된 안전밸브를 통해 분출되고, 방출된 폐가스는 플레어 헤더(Flare Header, 주 배관)를 통해, 녹아웃 드럼(Knockout Drum)으로 유입되어 기/액 분리된 후, 가스성분은 밀봉드럼(Seal Drum)을 거쳐 플레어 스택 상부의 플레어 팁에서 연소되고, 연소생성물은 대기 중으로 배출된다.

<그림 4-11> 플레어시스템



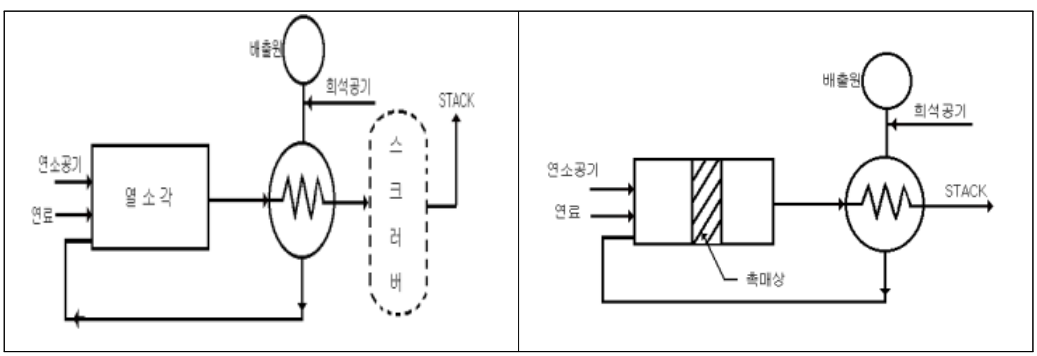
3.1.2.2. 열/촉매(산화) 소각처리

소각시설은 아래와 같이 폐가스를 고온으로 승온시켜 산화시키는 고온산화(열소각) 방식과 촉매를 이용하여 반응온도를 낮추고 효율을 높인 촉매산화(촉매소각) 방식으로 구분된다. 또한, 폐열을 이용하는 방식에 따라 열 교환(Recuperative)방식과 열 재생(Regenerative) 방식으로 분류된다.

먼저, 고온산화(열소각) 처리공정은 배출가스 중 VOC를 함유한 폐가스를 포집해서 예열하고, 연소실에서 고온으로 태워 처리하는 공정으로서, 폐가스(VOC 등)를 이송시켜 주는 폐가스 송풍기, 폐가스(VOC 등)를 혼합시켜 주는 혼합기가 있으며, 필요에 따라 연소용 연료를 공급해 주는 연료 송풍기, 연소실, 열 회수장치, 그리고 연소가스를 대기 중으로 배출시키기 위한 굴뚝(Stack)으로 구성되어 있다. 촉매산화(촉매소각)방법 역시 고온산화 공정과 매우 유사하나, 연소과정에서 촉매를 사용하여 연소온도 및 처리효율을 높인다는 차이점이 있다.

열교환(Recuperative) 방식은 폐열을 대기로 방출하기 전에 향류나 병류의 다관식 열교환기를 사용하여 열을 회수하는 방법이고, 열재생(Regenerative) 방식은 세라믹 등 축열재를 사용해서 연소시 열을 축열시키고, 이렇게 축열된 열을 이용하여 유입되는 가스의 온도를 높이는 방법이다. 열을 회수하는 측면에서 볼 때는 열교환 방식보다 열 재생식이 보다 효과적이고, 최근의 소각설비는 대부분 이러한 열재생 방식을 적용하고 있다.

<그림 4-12> 열 및 촉매 소각 시스템

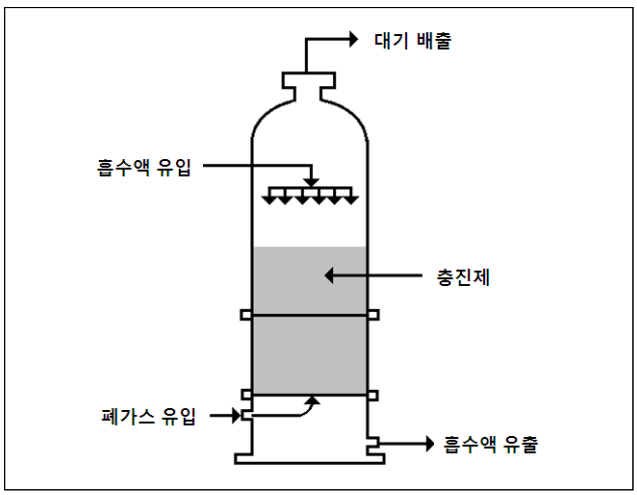


3.1.2.3. 스크러버(Scrubber)를 통한 흡수(중화)처리

스크러버를 통한 흡수처리는 아래와 같이 가스와 액체를 향류로 접촉시켜 폐가스 성분 중 가연성 또는 독성 성분을 흡수액에 흡수시켜 처리하는 방법이다. 즉, 기액 접촉으로 인해 폐가스 중 특정성분이 가스상에서 액상으로 물질전달 되는 현상을 이용하는 처리방법이며, 이때의 구동력은 가스와 액체간의 해당성분의 농도 구배이다.

흡수액로는 물, 가성소다 용액, 암모니아 또는 고비점 탄화수소 등이 있고 흡수하고자 하는 물질이 수용성이면 물을 사용하여 흡수하고, 벤젠 등과 같은 비수용성 물질은 고비점 탄화수소(Wash Oil)등을 사용하여 처리하여야 한다.

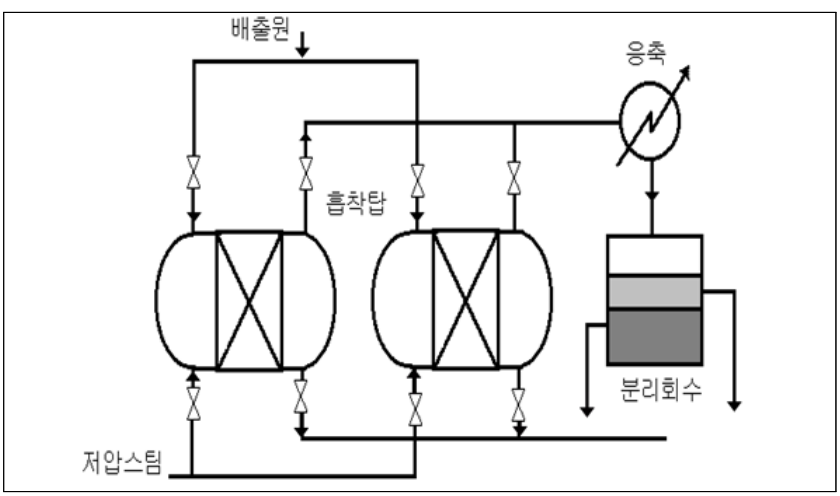
<그림 4-13> 흡수처리에 사용되는 스크러버 형태



3.1.2.4. 흡착시설을 이용한 폐가스 처리

흡착(Adsorption)이라 함은 폐가스 중 특정 성분(분자)이 고체표면에 접촉하여 부착되는 현상을 말한다. 흡착현상을 이용하면 가스, 액체 및 고체의 농도가 아주 낮을 경우라도 일정한 흡착제를 사용하여 선택적으로 제거할 수가 있다. 흡착은 고체의 표면 어디에서나 일어나고, 흡착제의 세공(Pore)이 많을수록 고체의 표면에서 흡착되는 양이 증가한다.

<그림 4-14> 흡착(재생) 공정



흡착공정은 흡착, 탈착 및 재생의 세 공정으로 구성된다. 흡착은 흡착물질과 흡착제가 접촉하여 흡착물질이 흡착제 표면에 부착되는 과정이고, 탈착은 흡착제에 흡착되지 않은 물질이 흡착제 표면으로부터 분리되는 과정이다.

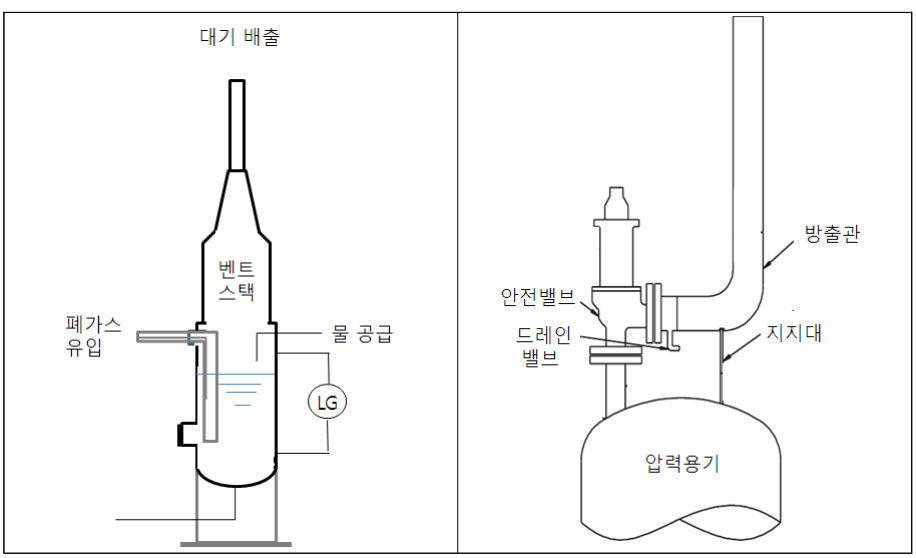
마지막으로, 재생공정은 흡착된 물질을 흡착제로부터 제거하는 공정으로서, 이런 재생을 통해서 대부분의 흡착제는 재사용할 수 있게 된다. 흡착제의 종류는 활성탄, 알루미나, 실리카겔, 제올라이트 등이 있다.

3.1.2.5. 벤트 스택을 통한 대기배출

벤트스택 및 방출관은 아래와 같이 비정상상태에서 안전밸브 등을 통해 분출된 가스 또는 증기를 연소/소각하지 않고 대기 중으로 안전하게 배출시키는 설비를 말한다.

주로 수소나 메탄같이 공기보다 가볍고 대기 중에서 확산되는 속도가 빠른 가스를 배출하는데 사용되고 또한, 연소/소각시 발암성 물질 등이 생성되는 물질을 처리하는 용도로도 사용된다. 이때는 1차적으로 스크러버를 통해 흡수 처리한 후, 벤트스택을 통해 대기로 배출시키는 방법으로 처리한다. 벤트스택 및 방출관을 통해 폐가스를 처리할 경우에는 스택 정상 또는 방출관 끝단에서부터 배출된 물질이 지표면에 도달할 때의 농도가 안전 및 환경기준을 충족시켜야 하므로, 스택(방출관) 위치, 직경(유속) 및 높이 선정에 주의를 기울어야 한다.

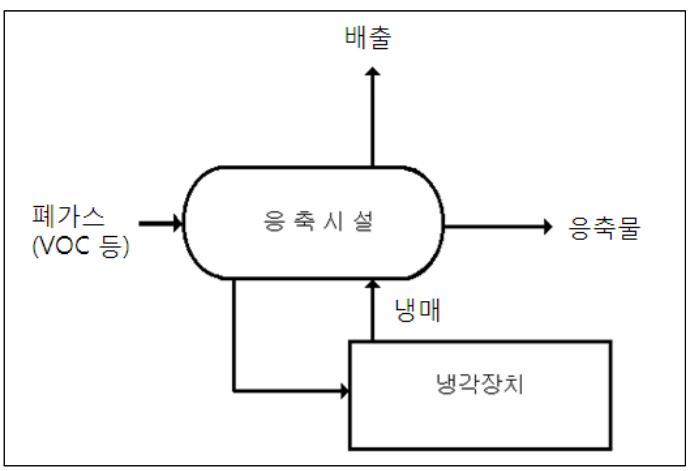
<그림 4-15> 벤트스택과 방출관



3.1.2.6. 냉각응축처리

냉각응축은 냉각조작에 의해 비응축성 가스로부터 폐가스를 분리해 주는 공정이다. 즉, 냉각응축은 일정한 압력에서 온도를 낮춰주거나 또는 일정한 온도에서 압력을 높여줌으로서 일어나게 할 수 있다. 응축은 크게 2가지 방법에 의해 수행되는데, 첫째는 분무탑이나 단탑에서 가스가 냉매와 직접 접촉 혼합되면서 응축되는 직접 응축 방법이고, 둘째로는 다관식 열교환기에서 관(Tube) 내로 냉매를 통과시켜 동체(Shell)를 지나는 가스를 응축시켜 주는 간접 응축방법이다. VOC 등의 폐가스를 응축시키는데 사용되는 냉매는 주로 냉수, 브라인(Brine), 염화불화탄소(CFC), 저온유체 등이 있으며 이들 냉매의 사용온도는 보통 냉수는 7 ℃, 브라인은 −35 ℃, 염화불화탄소는 −68 ℃ 이고, 질소나 이산화탄소와 같은 저온유체는 온도를 −195 ℃ 이다.

<그림 4-16> 냉각응축 처리공정



3.1.2.7. 생물학적(BIO) 처리

생물학적 처리 방법은 미생물을 이용해서 폐가스 중 탄화수소를 이산화탄소, 물 그리고 무기질로 변환시켜 주는 방법이다

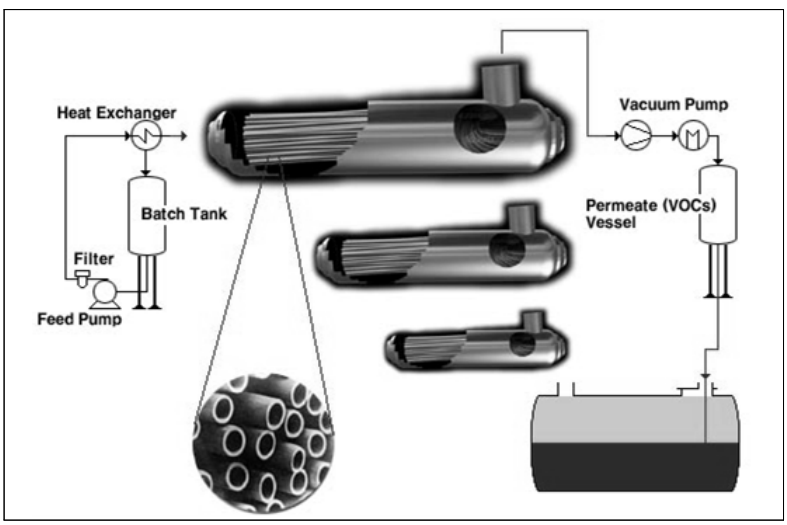
생물학적 처리에는 흙이나 퇴비를 충전재로 사용한 바이오 필터가 사용되는데, 이러한 필터에는 VOC 등의 폐가스를 무해한 물질로 변환시켜 주는 미생물을 포함하고 있다. 탑은 미생물 특성(혐기성 또는 호기성)에 따라, 대기와 밀폐되어 있거나 개방되어 있으며 한 개 또는 여러 개의 탑이 사용될 수 있다. 탑에는 배양된 미생물들이 있으며 활성탄, 알루미나 등이 포함될

수 있다. 일반적으로, 알데히드, 케톤, 알콜, 에테르나 유기산 등은 분해속도가 빠르나 할로겐 화합물의 분해속도는 느린 편이다.

3.1.2.8. 분리막 기술

분리막 기술은 반투과성 막을 사용하여 폐가스로부터 VOC등의 탄화수소 성분을 선택적으로 분리하는 방법이다. 분리막 기술은 염소계 탄화수소나 염화불화탄소 등 과거에 회수하기 어려웠던 성분들을 회수하는데 효과적이다. 이때, 반투과성 막은 합성 고분자로 만들며 분리시의 구동력(Driving force)은 막 사이의 막간차압(Trans Membrane Pressure)를 이용한다. 일반적으로, 진공펌프를 사용하여 막 모듈내의 압력을 낮게 유지한 상태에서, 폐가스가 막 모듈을 통과하면서 VOC등 특정 성분만 막을 통해서 별도로 포집되고, 막을 통과하지 못한 다른 성분(공기 등)들은 막 모듈을 그대로 통과해 대기로 배출되는 원리이다.

<그림 4-17> 분리막을 이용한 폐가스(VOC) 처리공정



3.2. 사고사례

3.2.1. 연소・소각공정의 사고

3.2.1.1. p-Xylene의 누출 및 화재사고

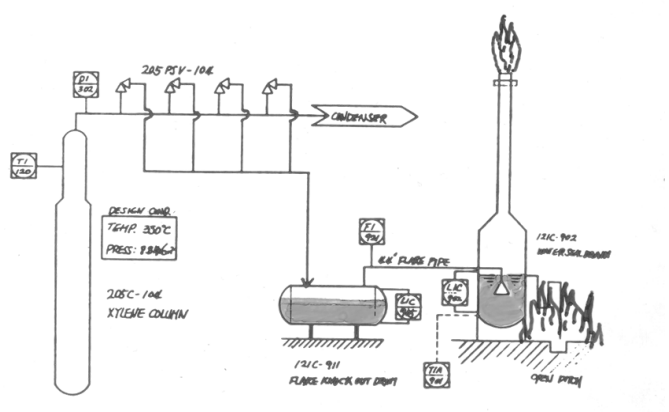
○ 사고개요

- 1996년 6월 4일 22:37분경 BTX공장 Xylene Column 상부에 설치된 Pilot 형 안전밸브가 작동하여 고온(약 235℃)의 p-Xylene 증기가 약 1시간 반 동안 방출되면서 플레어 스택 하부에 있는 밀봉드럼(Seal drum)의 물(35℃)과 접촉하고, 녹아웃드럼(Knockout Drum)에서 밀봉드럼(Seal drum)까지 이송중의 배관에서 열손실로 증기 상태의 p-Xylene이 상당량 응축되어 밀봉드럼(Seal drum)의 액위를 높이고 결국 Overflow Line(3″)을 통하여 Open Ditch로 많은 양이 누출되어 화재 발생

○ 사고원인

- p-Xylene이 Ditch로 누출되어 점화원(정전기로 추정)에 의해 화재발생
- 녹아웃드럼(Knockout Drum)에서 밀봉드럼(Seal Drum)간의 거리가 너무 멀어 증기의 재액화가 발생하고, 재액화된 p-Xylene액체가 Open Ditch로 이송 중 그 양이 많아 Overflow되면서 Open Ditch 주변에서 화재발생

○ 사고상황 요약도



[화재가 발생한 플레어 스택 시스템]

○ 예방대책

- 녹아웃 드럼용량을 검토하여, 일정 수위 이상일 경우 하부에 설치된 펌프가 자동으로 작동되어 드럼의 액체를 이송하는 시스템을 구축
- 녹아웃 드럼에서 플레어 스택까지의 거리가 멀 경우, 이송 중 재 액화될 수 있으므로, 녹아웃 드럼과 플레어 스택중간지점에 녹아웃 드럼을 추가로 설치
- 밀봉 드럼의 Overflow Line(3″)은 배수로(Ditch)에 직접 연결하고, 배출 시, 주위로 비산되지 않도록 Funnel 직경 및 연결방법 고려

3.2.1.2. CDU Flare Knock-Out Drum 화재

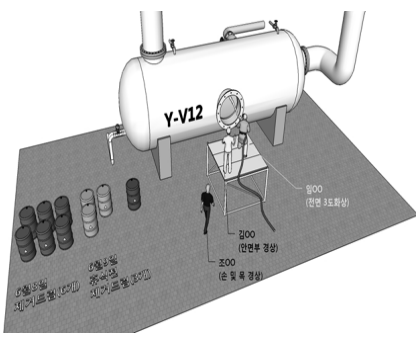
❍ 사고개요

- 2009년 6월 9일 10시경 ○○(주)의 CDU Flare 녹아웃드럼(Knock- Out Drum, Y-V12) 내부 청소작업을 위해 근로자 2명이 녹아웃드럼 내부에 들어가서 황화철 등이 함유된 슬러지 제거작업을 실시하던 중, 연기로 추정되는 증기가 발생하여 녹아웃드럼 외부로 나온 다음 다시, 녹아웃드럼 입구에서 소화 호스를 이용하여 드럼 내부로 물을 분사하던 중 황화철의 발화로 추정되는 화재로 인한 화염에 근로자 3명이 화상을 입은 재해임

❍ 사고원인

- 6년 동안 퇴적된 황화철 슬러지 층은 매우 조밀한 입도로 인하여 견고한 퇴적층을 만들었으며, 이로 인하여 퇴적층 내부까지 물이 충분히 침투되지 않아 가연성인 H_2S 및 탄화수소계 물질이 세정되지 않아 가연물로 작용
- 슬러지층 내부까지 수분이 침투되지 않은 상태에서 드럼 내부의 물을 배수하고, 작업자가 녹아웃드럼 내부에 들어가 철제 삽을 이용하여 전날 보다 빠른 속도로 (약 30 분간 3 드럼을 제거) 작업하는 동안 건조상태의 황화철이 대기중의 산소와 접촉
- 황화철의 자연발화에 의하여 가연성의 황과 함께 이산화황이 발생되며 흰 연기가 발생하였고, 반응이 점차 진행되며 녹아웃드럼 내부에 황의 폭발범위(35~1400 g/㎥)가 형성되고 이때 자연발화에 의한 열에 의하여 점화 후 화재・폭발이 발생한 것으로 추정

❍ 사고 상황 (사진)



[녹아웃 드럼 세정작업]



[화재가 발생한 녹아웃 드럼]

❍ 예방대책

- 황화철이 포함되어 있는 저장탱크를 개방하는 경우에는 가연성의 증기 또는 가스 등이 공기와 접촉하지 못하도록 질소 등의 불활성가스로 치환하고, 청소하는 경우에는 탱크 내에 물을 충분히 채워 가연성의 증기 및 가스를 제거
- 녹아웃드럼으로부터 제거된 황화철 스케일, 분진, 퇴적물 및 슬러지 등은 공기와 접촉하여 발화되는 것을 예방하기 위해 안전한 장소로 옮기기 전까지는 물에 담아 보관
- 삽 등의 작업공구를 철제로 사용할 경우에는 Non-Spark 재질의 공구를 사용하여 기계적인 점화원을 제거

3.2.1.3. RTO 폭발사고

○ 사고개요

- 2002년 5월 30일 17시 24분경 탱크터미날의 저장탱크의 휘발성 유기화합물질(VOC) 소각설비(RTO)를 설치 완료 후 설비업체에서 시운전 중 VOC물질을 흡입하는 덕트에서 폭발이 발생하여 저장탱크와 RTO 사이의 연결된 덕트 일부 및 연소설비 본체 일부가 파손된 사고

○ 사고원인

- 고농도의 벤젠이 RTO로 유입되고 RTO 내부의 스파크 및 고온에 의해 점화
- 부두에서 벤젠을 탱크로 입고 받고 있는 중에 탱크의 Breather 밸브가 열려 RTO로 연결된 덕트를 통해 벤젠증기가 RTO로 유입되고 RTO설비에서 정전기 또는 스파크(로터가 회전하면서 기계 측면에 부딪혀 발생)에 의해 폭발하였거나 또는 RTO설비 상부의 내부온도(약800℃)에 의해 점화되고 이후, 덕트에서 폭발이 발생하여 저장탱크와 RTO 사이의 연결된 덕트 일부 및 연소설비 본체 일부가 파손

○ 사고 상황(사진)



[폭발사고가 발생한 RTO 하부]



[벤젠 저장탱크 상부의 손상]

○ 예방대책

- 덕트에 비상시 파열되는 파열판을 RTO 전단 흡입부에 설치하여 덕트에서 폭발이 발생할 경우 설비를 보호
- RTO 전단부와 FLAME ARRESTOR 후단부에 설치하여 가스 농도측정기에서 측정하고 VOCs의 농도가 LEL 25% 이상 유입시에는 공기를 흡입하는 배관을 추가 설치하여 VOCs 농도를 LEL 25%이하로 유지하기 위한 장치를 설치
- 송풍기 고장시 덕트배관내부에 가스가 체류하여 농도가 높아지는 것을 방지하기 위하여 예비 송풍기를 설치
- 송풍기 고장 또는 RTO내부의 온도가 비정상적으로 승온될 경우 덕트내부의 가스를 긴급배출하기 위한 긴급방출배관을 설치

3.2.2. 흡수/흡착공정의 사고

3.2.2.1. 염화수소 누출사고

○ 사고개요

- 2008년 5월 3일 16시 32분경 154 kV 수전시설의 Lightning Arrestor(낙뢰 충격 보호장치) 소손으로 정전된 후, 가동 정지하는 과정에서 응축기의 공급되는 냉매가 공급 중단되어, HCl Splitter Column(T-220)의 안전밸브에서 배출된 염화수소에 근로자들이 폭로되어 가벼운 과민 증상을 나타낸 사고

※ 염화수소의 비점은 -85 ℃이며, 허용농도는 5ppm

○ 사고원인

- 정전에 의한 냉동시스템의 가동정지로 HCl Splitter Column Condenser에 냉매의 공급이 중단되고 HCl Splitter Column 내부의 압력이 상승하여 안전장치인 안전밸브가 작동되어 염화수소가 배출
- 안전밸브 및 파열판의 토출측이 스크러버(중화시설)에 연결되어 있지 않고 그대로 대기로 배출되어 배출된 염화수소에 인근 회사 근로자들이 폭로됨

○ 사고 상황(사진)



[토출된 안전밸브 및 파열판]



[안전밸브 토출 및 고사된 주변잔디]

○ 예방대책

- 안전밸브 및 파열판의 토출측을 스크러버에 연결하여 방출되는 염화수소를 중화처리하여 안전하게 배출
- HCl Splitter Column의 압력을 조절하는 조절밸브의 Fail Position을 FC(Fail Close)에서 FO(Fail Open)으로 변경

3.2.2.2. 활성탄 탑 화재사고

○ 사고개요

- 2002년 5월 25일 10시 50분경 액상 화학물질을 저장 판매하는 탱크터미날의 MEK저장탱크에서 폭발사고가 발생하여 탱크지붕이 파열된 사고

※ 탱크 제원은 1,050cm(직경) × 1,227 cm(높이), SS41

※ MEK의 인화점은 -6.7 ℃ 이며, 발화점은 516 ℃

○ 사고원인

- MEK가 활성탄 상에서 산화, 중합반응을 일으키고 이때 반응열이 활성탄을 이상 가열시켜 활성탄이 착화하면서 저장탱크 상부의 MEK 증기상에 인화되어 탱크 지붕이 파열

※ 활성탄의 착화온도는 약 400~500 ℃ 정도로, 활성탄내에 용제가 침적할 경우에는 착화온도가 200 ℃이하로 낮아짐(문헌 참조)

※ Ketone계 용제, 특히 MEK, MIBK 등은 활성탄 표면에서 산화분해가 일어나며 큰 발열을 발생하고, MEK가 산화되어 유기산이 생성되려면 그 열량은 대개 2,000~5,000 Kcal/kg으로 통상의 흡착열을 훨씬 넘는 큰 열량이 발생하고, 이 발열량이 활성탄층 내에 축적되면 활성탄의 온도가 상승하며, 이것이 다시 반응을 촉진시켜 온도가 급격히 상승되어 발화점에 도달

○ 사고 상황(사진)



[폭발사고가 난 MEK저장탱크 상부]



[탱크상부에 설치된 활성탄 흡착탑]

○ 예방대책

- 활성탄의 원료는 coconut(야자)보다 가급적 탈착성능이 우수한 Coal(유연탄)을 선정하고 활성탄층 내의 열방출성을 고려하여 입상활성탄보다 조립활성탄을 사용
- 활성탄 흡착시설과 저장탱크 사이의 벤트 배관에 화염방지기를 설치하여 흡착제에서 발생되는 화염이 탱크내부로 전달되지 않도록 조치
- 활성탄 흡착시설(흡착이 시작되는 부위)에 온도계를 설치하여 일정온도 이상일 경우 활성탄을 교체

3.2.2.3. PSA공정 정비작업 중 화재·폭발 사고

❍ 사고개요

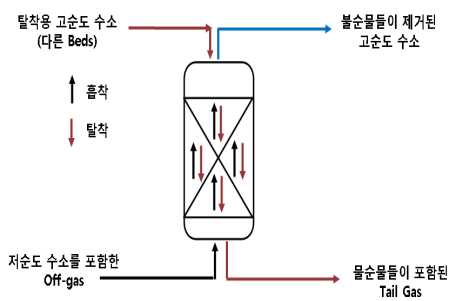
- 2010년 12월 20일 09시 15분경 OO에너지(주) 중질유 분해공장 PSA공정(Pressure Swing Adsorption)에서 1번 Bed 정비작업을 마치고 가동준비 중 배관에서 Off-gas(수소 약 86.5%)가 누출되면서 화재·폭발사고가 발생하고, 주변의 보온재를 덮은 비닐로 화재가 전파되어 1명 사망 및 6명 부상(3명 중상, 3명 경상)한 사고

※사고 발생 PSA 공정: 저순도 수소(Off-gas ; Feed Gas) 속에 포함된 불순물은 높은 인입가스압력에 의해 흡착되고 낮은 압력에서 내보며, 흡착단계 동안 모든 불순물은 걸러져서 99.9%의 H_2를 생산하고, 탈착단계 동안 불순물(Tail Gas)은 흡착제로부터 불어내는(Blow-off) 공정

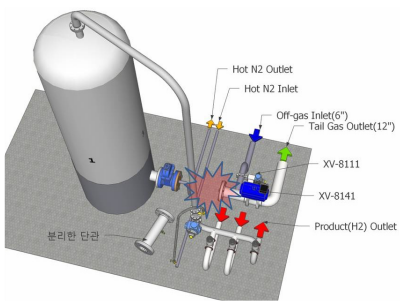
❍ 사고원인

- PSA공정 Bed의 내부 질소 퍼지를 위해 Off-gas 유입 배관을 Bed로부터 격리하고, Off-gas(수소 약 86.5%, 21 kg/㎠)의 누출을 예방하기 위해 배관 말단부에 맹판을 체결
- 맹판 체결시, 배관 명세에 있는 맹판(300 Lb 플랜지(볼트 구멍 개수 : 16개, 두께 : 49.3 mm))과 상이한 부적절한 맹판(볼트 구멍 개수 : 8개, 두께 : 5 mm, 비규격제품)을 사용하여, 플랜지 접합면이 상호 밀착되지 않은 상태(8개 볼트 중 4개만 체결)에서 On/Off Valve(XV-8111)가 순간 작동하여, 다량의 인화성가스가 플랜지사이로 분출되면서 분출대전에 의해 화재와 동시에 폭발이 발생

❍ 사고 상황(그림)



[PSA 흡착 및 탈착 운전방법]



[화재·폭발이 발생한 PSA BED 하부]

❍ 예방대책

- 맹판을 체결할 경우에는 배관의 규격에 맞는 맹판을 사용하고, 모든 볼트를 규격에 맞게 체결하여 플랜지 접합면으로부터 인화성가스가 누출되지 않도록 조치
- 정비작업시 On/Off Valve는 오작동, Error 등에 의해 언제든지 열릴 우려가 있으므로 On/Off Valve를 작동하는 에너지원을 제거하는 등의 방법으로 오작동, Error 등에 의해 On/Off Valve가 열리지 않도록 조치하여야 함
- 작업허가증을 발급할 경우에는 현장의 각종 안전조치 사항을 직접 확인하고, 과련 안전조치 사항을 모두 준수하였을 경우에만 작업허가증을 발급하는 등 안전작업허가제도를 철저히 준수하여야 함

3.2.3. 대기벤트 공정의 사고

3.2.3.1. 액화부탄 누출 및 화재·폭발 사고

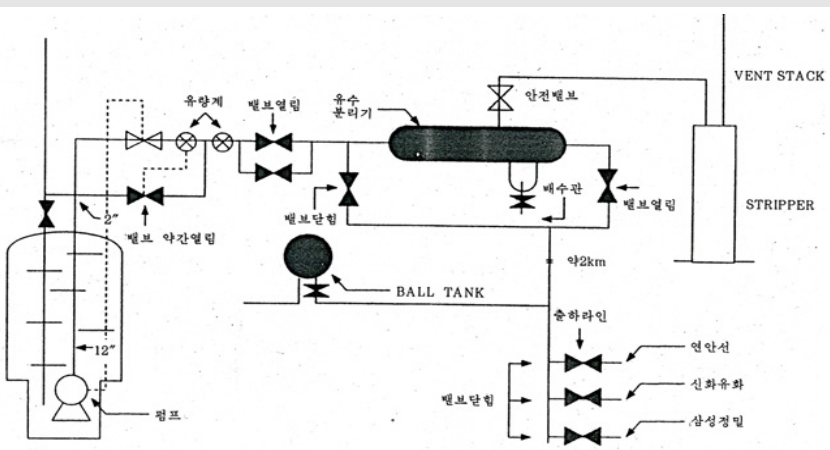
○ 사고개요

- 1995년 9월 지하 암반 액화석유가스 저장시설에서 삼성정밀화학 및 탱크로리 이층전용 볼탱크로 액화부탄을 출하하기 위하여 액송펌프(C4)를 가동하고 출하라인의 유량조절밸브(FCV)를 여는 것을 시도하던 중, DCS에 순간 정전(컴퓨터 리셋 현상으로 재부팅)이 발생하여 밸브가 열리지 않자 2 km 떨어진 현장 조정실에 차량으로 이동하여 응급조치를 하려 하였으나, 이미 유수분리기내의 압력이 21 kg/cm^{2}까지 상승하여 유수분리기기의 안전밸브(설정압력: 18 kg/cm^2)가 작동하여 지상 15 m의 높이에 설치되어 있는 벤트스택으로 부탄이 방출되어 체류 하였고, 미상의 점화원에 의해 인화되어 화재가 발생한 사고

○ 사고원인

- 정전으로 UPS(Uninterruptible Power-supply System) 전력이 공급되고 있던 중, 작업자가 실수로 DCS 전원을 차단시킴
- 유량제어 밸브(FCV)를 닫아 높고 수동으로 조작하는 방법으로 운전하던 중 출하라인의 밸브를 닫아 놓은 채, 지하 암반내의 액송펌프를 가동하여 액압이 상승함
- 압력상승에 따라 유수분리기의 안전밸브가 작동하여 방출관을 통하여 벤트스택으로 액화부탄이 방출됨
- 체류중인 부탄가스가 공기와 폭발범위를 형성하였고, 벤트스택과 약 30 m 이상 떨어진 현장사무실의 미상의 점화원(전기스위치 등의 전기스파크로 추정)에 의해 인화되어 화재가 발생함

○ 사고 상황(그림)



[액화부탄 출하 계통도]

○ 예방대책

- 안전밸브 후단의 방출관의 높이는 부탄이 방출 후, 지표면에 도달했을 때의 농도(착지농도)의 25%이하가 되도록 그 높이를 선정
- 작업자의 실수로 DCS 전원이 차단되지 않도록 주의

제2절 화학사고 사례

1 국내사고

1.1. 불화수소(HF, Hydro Fluoride)저장용기 누출사고

1.1.1. 사고개요

(주)○○글로벌 구미공장은 산안법에 의한 공정안전관리(PSM) 대상에서 제외되어 있던 사업장으로 중국에서 생산된 불화수소(100%)를 탱크 컨테이너(Tank Container)에 저장시켜 국내에 반입한 후 물과 희석시켜 불산을 생산 · 공급하는 중소기업이다.

탱크 컨테이너에서 생산설비로 불화수소를 이송하기 위하여 밸브를 연결하는 작업 중 불화수소가 누출되었고, 그로 인하여 현장에서 작업 중이던 4명의 근로자와 펌프수리업체 직원 1명이 사망하였다. 탱크 컨테이너에서 계속 누출된 불화수소는 인근 사업장과 지역주민, 사고를 수습하던 관계자들에게도 영향을 주어 사망 5명, 입원치료 12명, 건강검진 7,162명, 농작물 237.9ha, 가축 3,209두, 차량 1,138대 등의 막대한 피해를 입혔다.

이 사고를 통해서 불화수소 및 불산의 위험성에 대하여 많은 근로자들이 인식하게 되었고, 비상시 대응 및 조치에 대해 많은 문제점이 도출되어 개선이 필요하게 되었다.

<그림 4-18> 사고공장 모습



1.1.2. 사고발생 공정

생산제품은 화학약품 또는 LCD 생산공정 원료로 사용되는 5~50% 불산이며 생산공정은 다음과 같다.

<그림 4-19> 생산공정 개략도



1) 재료입고

중국에서 수입한 액체상태의 불화수소를 차량으로 운반하여 공장 야적장에 입고시킨다.

<그림 4-20> 입출하를 위해 옥외 대기중인 탱크 콘테이너(Tank Container)

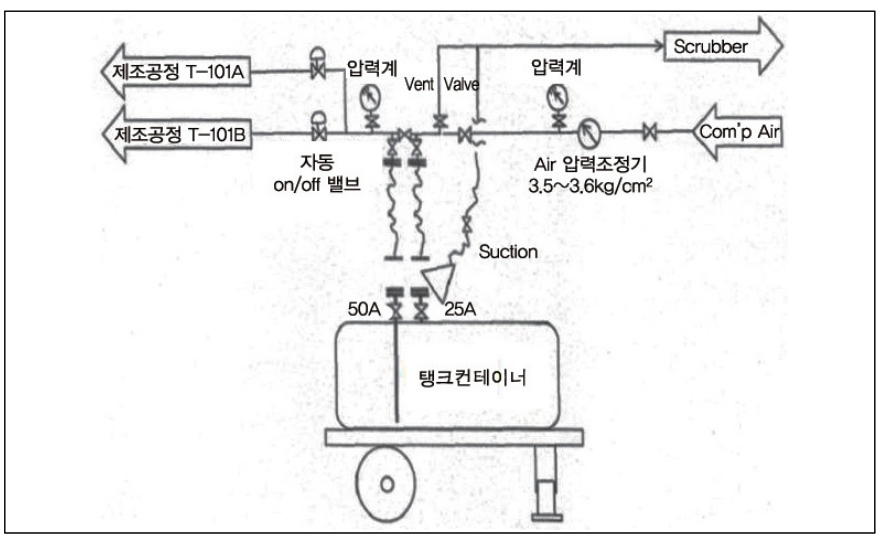


2) 사고발생 공정

배관을 이용하여 탱크 컨테이너와 희석설비를 연결한 후 공기압축기의 압력을 이용하여 탱크 컨테이너 내부의 불화수소를 희석설비로 공급한다.

공급된 불화수소를 순수한 물과 섞어 불산을 생산한다. 탱크 컨테이너의 불화수소가 모두 이송되면 연결된 배관을 해체하여 기존의 저장탱크 배관을 마감처리 후 새로운 탱크 컨테이너에 연결하여 생산을 시작한다.

<그림 4-21> 불화수소 이송작업 배관 흐름도



<표 4-3> 불화수소 탱크콘테이너 배관 연결 및 분리 방법

연결방법	분리방법
① 탱크 컨테이너 배관(25A)의 맹판(Blind Flange)을 제거한 후 압축공기 공급라인을 체결한다. 이때 국소배기장치 후드를 근접시켜 유해가스를 빨아들인다. ② 탱크 컨테이너의 배관(50A) 밸브가 잠긴 상태에서 맹판을 제거한 후 불화수소 라인에 연결한다. ③ 탱크 컨테이너의 배관(50A) 밸브를 서서히 개방한다. ④ 압축공기 공급밸브를 열고 압력조정기의 적정압력($3.5kg/cm^2$)을 확인 후 압축공기를 공급한다. ⑤ 압축공기의 공급압력이 $3.5kg/cm^2$에 도달 시 운전실에 연락하여 불화수소 자동밸브를 열고 불산을 제조한다.	① 불화수소 자동밸브를 잠근다. ② 압축공기 공급밸브를 잠근다. ③ 탱크 컨테이너의 잔여 압력을 제거하기 위해 국소배기장치 후드를 접근시켜 빨아 들인다. ④ 연결 시와 반대로 압축공기 공급라인과 불화수소 라인을 분리시키고 맹판을 체결한다. 이때, 국소배기장치 후드를 접근시켜 잔여가스를 빨아들인다. ⑤ 체결상태를 확인 후 안전덮개를 덮어 반출한다.

1.1.3. 사고분석

1.1.3.1. 사고발생 과정

1) 사고발생 전

사고발생 전날인 9월 26일 불화수소 탱크 컨테이너(18ton) 1호를 희석설비에 연결하여 불산 생산을 시작하였고, 사고발생일인 9월 27일 오후 2시 30분경 생산이 완료되었다.

4명의 작업자가 탱크 컨테이너 1호에 연결된 배관을 해체하기 위하여 잔류 불화수소를 제거하는 등 마감처리를 위한 준비를 진행

2) 사고발생

탱크 컨테이너 1호에 연결된 플렉시블 배관을 해체하여 탱크 컨테이너 2호에 연결하여야 하므로 작업자 중 일부는 저장탱크 1호의 압축공기 공급라인을 제거하는 작업을 실시하였고, 나머지 작업자는 저장탱크 2호의 밸브 후단에 체결되어 있는 맹판을 제거하는 작업을 하고 있었다. 이때, 고장 난 펌프를 수리하는 수리업체 직원이 방문하였고, 저장탱크 2호 위에 있던 작업자 중 한명이 저장탱크 옆으로 내려와 수리업체 직원과 수리에 관해서 이야기를 나누었다. 탱크 컨테이너 2호에서 "픽"소리와 함께 앞을 볼 수 없을 정도로 운무가 발생하였다.

3) 사고발생 후

사고 탱크 컨테이너에서 조금 떨어진 곳에서 원료저장조를 점검하고 있던 작업자가 사무실 직원에게 불화수소의 누출사실을 알리고 119에 신고하였다.

불화수소에 노출된 작업자들 중 3명은 화장실에서 급히 몸을 씻고 대피하였고 나머지 직원들도 공장에서 외부로 대피하였다. 하지만, 공장 내에 있던 8명 중 5명이 사망하였다.

1.1.3.2. 사고발생 원인추정

1) 설비적 측면

(1) 손잡이를 쉽게 조작하는 형식의 밸브로 설치

사고가 발생한 불화수소 이송용 탱크 컨테이너는 불화수소를 공정으로 공급하기 위해 조작하는 50A 밸브 및 25A 밸브 2개가 장착되어 있다. 불화수소 이송용 50A 밸브와 불화수소를 같이 압송하기 위한 공기용 25A밸브는 볼밸브이며 조작 핸들은 레버(Lever)로서 작업자가 한손으로 레버를 젖히면 쉽게 열리는 구조로 되어 있어 작업자의 오작동에 의한 밸브 열림/닫힘 조작을 쉽게 할 수 있는 문제가 있다.

<그림 4-22> 탱크 컨테이너(Tank Container)에 설치된 50A밸브 및 25A밸브



(2) 탱크 컨테이너 조작밸브 보호용 박스가 작업자가 밸브를 오작동 시킬 위험이 높은 구조로 설치됨

작업자가 작업 중 탱크 컨테이너에 부착되어 있는 불화수소 조작밸브를 조작하기 위해서는 밸브 보호용 박스의 턱을 밟은 상태에서 쪼그려 조작하는 구조로서 턱의 폭이 3cm 정도로 발로서 턱을 밟고 작업하는 동안 작업자 자신의 몸의 불균형으로 앞으로 미끄러지면서 레버로 된 밸브 손잡이를 젖히면서 밸브가 개방되었고 이로 인해 다량의 불화수소가 누출되기 시작한 것으로 추정된다.

<그림 4-23> 불화수소 이송밸브 및 Air 공급밸브를 둘러싸고 있는 밸브박스



<그림 4-24> 작업자가 미끄러지면서 밸브를 작동시키는 듯한 자세(CCTV 화면)



(3) 불화수소와 같은 독성물질을 옥외에서 입·출하 작업 실시

불화수소와 같은 독성물질을 취급하는 입·출하 설비를 사고 누출시를 대비한 방호설비가 없는 옥외에서 작업함으로써 누출 시 급속한 주변 환경으로 대류 확산되어 환경 및 인근 주민의 건강에 심각한 영향을 미쳤다.

<표 4-4> 환경오염 조사결과('12.10.9, 환경부 보도자료)

■ 대기 분야
- 사고당시(9.28) : 사고지점 1ppm(09:30)→불검출(14:40 이후) 주거지역불검출(01:40 이후)
- 사고이후(10.6) : 사고지점 및 주거지역 불검출(7개 지점)

■ 수질 분야
- 하천수(10.1) : 수돗물 수질기준(1.5mg/L) 이하(4개 지점)
- 지하수(10.2) : 음용지하수 기준(1.5mg/L) 이하(3개 지점)
- 해평·구미광역 취·정수장(10.4) : 수돗물 수질기준(1.5mg/L) 이하
- 봉산리 마을 도랑 수질(10.5) : 수돗물 수질기준(1.5mg/L) 이하

■ 토양 분야
- 토양조사(10.2) : 토양오염 우려기준(400mg/kg) 이하(7개 지점)

2) 인적 측면

(1) 작업안전수칙의 미준수

앞에서 설명된 "불화수소 탱크 컨테이너 배관 연결순서"에서 탱크 컨테이너와 희석설비를 안전하게 연결하는 순서가 정해져 있으나 순서를 무시하고 불화수소 및 공기배관의 맹판(Blind Flange)을 모두 개방함으로서 사고로 이어지는 잘못이 있었다.

(2) 개인보호구를 착용하지 않은 상태에서 입 · 출하 작업 실시

불화수소 및 불산을 취급하는 작업 시 보호복 및 호흡용 보호구, 내산성 안전장갑 등 취급 물질에 맞게 적절한 보호구를 착용하고 작업하여야 함에도 불구하고 탱크 상부에서 밸브조작을 하던 2명의 작업자 모두가 보호구를 착용하지 않은 채 작업을 함으로서 누출된 불화수소에 중독되는 사고를 당한 것이다.

3) 관리적인 측면

(1) 재발방지 대책의 부재로 인한 동일사고의 반복

2009년 6월 30일 동사업장 출하탱크에서 Loading Tank Lorry와 고압 호스를 체결한 후 Loading 도중 Flange 접속부의 Packing부위가 펌프압력에 의해 순간적으로 불산이 분출하면서 작업자의 얼굴과 가슴에 화상을 입는 사고가 발생하였음에도 동일한 장소에서의 사고가 재발하였다.

(2) 감지, 경보설비 설치 등 비상조치 계획 및 대응 부재

독성물질이 외부로 누출될 경우 신속히 대피하거나 조치할 수 있도록 감지설비 및 경보설비를 설치하고 주기적인 훈련을 통한 비상대응이 가능하도록 하여야 하지만 이러한 비상조치계획이 마련되지 않은 채 입 · 출하 작업이 평상시와 같이 이루어지고 있었음을 알 수 있다.

작업자의 보호구 착용, 외부확산에 대비한 훈련 실시, 비상조치계획에 의한 관련기관과의 비상연락체계 구축, 작업자의 불화수소 노출에 대비한 응급조치약품 비치, SCBA(Self-Contained Breathing Apparatus) 등의 전면보호형 보호구 비치 등 기본적인 비상 대비 · 대응수준은 취급하는 물질의 유해 · 위험성에 비해 매우 취약하였다고 판단된다.

(3) 작업자에 대한 교육 실시 미흡

사고발생 당일의 CCTV에 포착된 내용에서 작업자들이 보호복, 안전모, 방독면 등의 보호구를 착용하지 않고 작업하는 모습에서 결국, 안전의 확보는 최종적으로 근로자의 판단과 그 행동에

지배된다는 관점에서 보면 작업자들의 안전의식을 향상시키기 위한 안전보건교육이 미흡하였음을 알 수 있다.

1.1.4. 사고발생 원인

1) 작업안전수칙이 준수되지 않았다

탱크 컨테이너와 희석설비를 안전하게 연결하는 순서가 정해져 있으나 순서를 무시하고 불화수소 및 공기배관의 맹판을 모두 개방하였다.

2) 인적인 오류를 유도하기 쉬운 밸브가 설치되었다

탱크 컨테이너에 부착되어 있는 불화수소 이송용 밸브가 볼밸브이고 조작손잡이가 Lever형태로 설치되어 작업자가 작업 중 작업자의 무게에 의하여 손잡이가 젖혀지면서 밸브가 개방되고 대량의 불화수소가 누출되었다.

3) 밸브조작 박스가 작업자로 하여금 미끄러지는 구조로 설치되었다

작업자가 통상적인 탱크 컨테이너위에서 작업을 하기 위해서는 조작밸브 박스의 벽상부에 발을 딛고서 입 · 출하 작업을 할 수 밖에 없는 구조로 설치되어 있어 작업자의 몸무게에 의해 미끄러지면서 실수로 밸브를 조작하게 된 것으로 판단된다.

4) 개인보호구를 착용하지 않았다

불화수소 및 불산을 취급하는 작업 시 보호복 및 호흡용 보호구, 내산성 안전장갑 등 취급물질에 맞게 적절한 보호구를 착용하고 작업하여야 함에도 불구하고 보호구를 착용하지 않아 사고로 다수의 근로자가 사망하였다.

5) 누출확산 방지를 위한 재해설비가 설치되지 않았다

불화수소와 같은 독성물질이 외부로 방출될 경우를 대비하여 저장이나 포집시설 및 처리설비를 설치하여야 하지만 이러한 확산을 방지하는 시설이 설치되어 있지 않았다.

6) 감지, 경보설비가 설치되지 않았다

급성독성물질이 외부로 누출될 경우 사업장내부 및 인근사업장의 근로자, 지역사회 주민들이 신속히 대피하거나 조치할 수 있도록 감지설비 및 경보설비를 설치하여야 하지만 설치되어 있지 않았다.

7) 지역의 비상대응을 위한 커뮤니케이션이 없었다

사업장내부에서 발생한 사고가 인근 사업장 또는 지역에 영향을 미칠 수 있는 유해위험물질을 취급하는 경우에는 비상 시 지역에서의 대응을 위한 비상연락망 구축, 지역과의 커뮤니케이션 강화를 위한 사업장 정보제공 등이 상시 운영되도록 비상조치계획이 수립되어야 하나 이러한 부분에 대한 계획이나 지역과의 커뮤니케이션이 없어 누출사고로 인한 2차 재해가 확대된 원인이 있는 것으로 판단된다.

8) 작업자에게 안전보건교육이 미흡하였다

사고발생 동영상을 분석한 결과 작업자 3명이 입 · 출하작업을 수행하면서 3명 모두 작업에 적합한 보호복을 착용하지 않았을 뿐만 아니라 2명이 착용한 마스크도 분진용이었다. 이러한 형태의 작업방식을 일상적으로 수행한 것으로 볼 때 안전보건교육이 적절하게 이루어지지 않았음을 알 수 있다.

1.1.5. 동종사고 예방대책

1.1.5.1 기술적 대책

1) 독성물질 이송 탱크의 입·출하방법 개선

불화수소와 같은 독성물질을 취급 · 저장하는 시설에 대한 입 · 출하방법을 근본적으로 개선하기 위해서는 입 · 출하 시설을 옥내에 설치하고 입 · 출하 방법을 자동화하도록 개선하는 것이 필요하다. 또한 입 · 출하 시 발생 가능한 누출사고에 대비하여 누출된 불화수소를 포집하여 중화처리 할 수 있는 시설을 기본적으로 갖추어야 한다.

(1) 모든 입 · 출하작업은 옥내에서 실시한다.

(2) 옥내 작업장에서 입 · 출하를 위한 밸브조작은 수작업을 최소화하도록 한다.

(3) 비상시를 대비한 SCBA(Self-Contained Breathing Apparatus)를 비롯한 전면보호용 보호구와 공기호흡장치를 구비한다.

(4) 옥내 작업장은 누출사고를 대비하여 자동으로 포집하는 설비와 중화설비를 설치한다.

(5) 누출사고 발생 시 경보설비를 설치하고 비상조치계획에 의한 비상연락망을 가동하도록 한다.

(6) 작업자에게는 주기적으로 비상대비훈련을 실시하고, 사용물질에 대한 위험성을 인식시키도록 교육하여야 하며, 보호구 사용 및 착용 방법을 주기적으로 교육하여야 한다.

2) 조작밸브형식 개선

작업자가 밸브의 손잡이를 밟더라도 개방되지 않도록 밸브의 종류를 개선한다면 사고발생 위험이 낮아질 것이다.

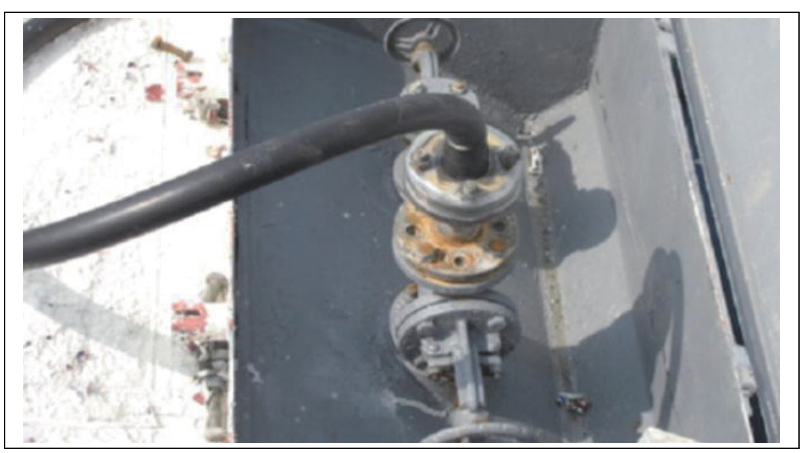
(1) 볼 밸브(Ball Valve)를 글로브 밸브(Globe Valve) 또는 게이트 밸브(Gate Valve)로 교체 (사진 참고)

(2) 필요하다면 이송중의 오작동을 방지하기 위해 밸브 손잡이에 자물쇠 설치를 통한 임의 조작을 방지하는 이중잠금밸브 구조로 개선도 필요하다고 판단된다.

<그림 4-25> 사고발생 탱크 컨테이너 (Tank Container)에 설치된 볼 밸브



<그림 4-26> 임의 개방 위험이 적은 게이트밸브



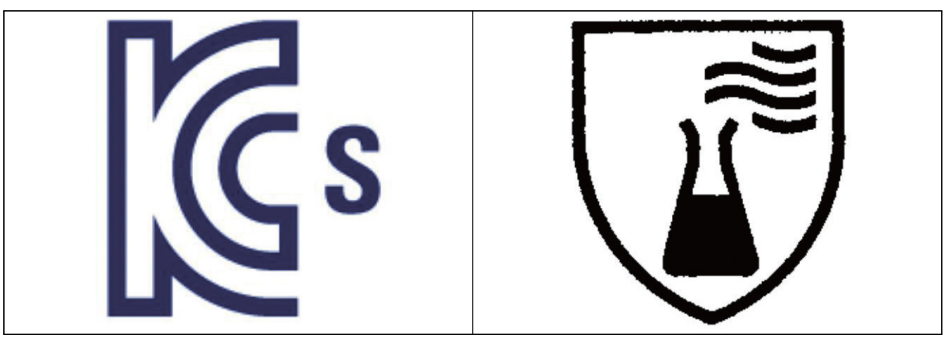
1.1.5.2. 관리적대책

1) 해당 작업에 적합한 개인보호구의 착용

사고 발생과정을 알 수 있는 CCTV를 분석하는 과정에서 작업자들이 방진마스크를 착용하고 작업하는 모습이 보였다. 이는 사업장에서의 독성물질에 관한 무지와 인식능력이 얼마나 저하되어 있는가를 여실히 나타내는 모습이라고 판단된다. 따라서 이러한 독성물질을 취급하는 작업을 할 때는 반드시 작업방법과 취급물질의 성상을 파악하여 전면형 보호마스크와 보호의, 보호장갑 등을 작업장에 구비하여 사용하고, 주기적으로 교육을 실시하여 작업자의 인식능력 저하를 방지하고 적응성을 높이도록 하여야 한다.

해당 작업은 급성독성물질, 부식성물질을 사용하는 공정이기에 해당 물질에 적합한 내산성 보호복 및 방독마스크, 내산성 안전장갑 등 취급 물질에 맞게 적절한 보호구를 착용하고 작업하여야 한다. 또한, 보호구 선정 시에는 안전인증 제품을 선정하여야 한다.

<그림 4-27> 안전인증 표시(왼쪽)[5] 및 화학물질 보호성능 표시(오른쪽)



2) 작업안전수칙 준수

규정된 작업안전수칙을 준수하기 위해서는 작업자로 하여금 필요한 작업안전수칙이 무엇인가를 인식하도록 하는 것이 필요하다. 이러한 작업안전수칙은 기본적으로 안전작업절차로부터 시작된다. 사업장에서는 작업에 필요한 작업방법을 기술한 작업절차서를 만들어 주기적으로 문제점을 보완해 가면서 작업자들에게 교육을 실시하여야 한다.

입 · 출하작업도 매우 중요한 작업의 일환으로서 다루어져야 하고 이를 주기적으로 평가할

5) 보호구 의무안전인증 고시(2012-83호). 고용노동부 ; 2012

수 있는 위험성평가 방법을 자체적으로 개발하여 시행하여야 한다. 이러한 안전작업절차를 통하여 개발한 작업안전수칙을 작업자가 가장 잘 인식할 수 있는 장소에 게시하여 작업자의 안전의식능력을 향상시키도록 하여야 하며 작업안전수칙에 포함하여야 할 내용은 다음과 같다.

(1) 입 · 출하 작업시 취급되는 물질 성상을 반영하여야 한다.

(2) 안전한 작업방법을 포함하여야 한다.

(3) 적합한 보호구의 착용에 관한 사항을 포함하여야 한다.

(4) 노출 시 응급조치 사항, 비상대피처 등을 명시하여 비상상황에서의 대응능력을 향상시키도록 하여야 한다.

(5) 안전작업을 유도할 수 있도록 하여야 한다.

1.1.5.3. 비상조치계획의 수립 및 주기적인 훈련실시

1) 비상대비 및 대응 능력강화

불화수소와 같은 독성물질을 취급하는 사업장은 무엇보다도 누출확산의 문제에 대비한 비상조치계획을 수립하여야 한다.

(1) 전 근무자의 사전교육계획

(2) 비상 시 대피절차와 비상대피로의 지정

(3) 대피 전에 주요공정설비에 대한 안전조치를 취해야 할 대상과 절차

(4) 비상대피 후의 전 직원이 취해야 할 임무와 절차

(5) 피해자에 대한 구조 및 응급조치 절차

(6) 내 · 외부와의 통신 체계 및 방법

(7) 비상조치 시의 총괄부서 및 조직

(8) 사고발생 및 비상대피 시 보호구 착용지침

(9) 주민홍보계획

(10) 외부기관과의 협력체제

2) 감지, 경보설비의 설치를 통한 비상대응 능력강화

독성물질이 외부로 누출될 경우 누출을 감지하여 사내 및 인근 사업장에 신속히 알릴 수 있도록

감지설비 및 경보설비를 설치하여 작업자뿐만 아니라 인근 사업장, 인근 주민, 관계기관이 공동 대응하도록 하는 것이 필요하며 주기적인 훈련을 통한 대응능력을 키워야 한다.

1.1.5.4. 안전보건교육의 실시

공정의 근로자에게 자신이 취급하는 화학물질의 유해 · 위험성 등을 알려줌으로써 화학물질 취급 시 발생될 수 있는 재해나 직업병을 사전에 예방하고 불의의 사고에도 신속히 대응하도록 하기 위해 화학물질의 명칭 · 성분 · 함유량 · 안전보건상의 취급주의 사항 등을 적은 물질안전보건자료(MSDS)를 비치하고 작업자에게 안전교육을 실시할 필요가 있으며 작업범위, 작업내용, 작업순서 등에 관한 전반적인 사항을 작업자가 충분히 이해하고 작업에 임할 수 있도록 전체 작업을 지휘 할 수 있는 관리감독자를 지정하고, 관리감독자에 의한 교육 및 작업 중 지도 · 감독이 필요한 것으로 판단된다.

1.1.6. 사고교훈

작업자 사망 5명, 입원치료 12명, 건강검진 7,162명 등 인체 및 환경에 막대한 피해를 준 사고의 시작은 작업자의 단순한 실수와 취급설비의 설계미스에서 발생하였다. 작업자가 작업 안전수칙의 순서대로 작업을 수행하지 않았고, 잘못 설치된 밸브 형태로 작업자가 실수로 밸브 손잡이를 잘못 밟아 저장되어 있던 불화수소의 누출이 시작되었다. 또한, 초기에 적절한 대응이 이루어지지 않으면서 상당한 양의 불화수소가 누출되었다.

<그림 4-28> 불화수소의 누출로 인해 인근지역으로 확산되는 모습



이번사고가 발생되고 대응과정까지 얻은 교훈은 다음과 같다.

첫째, 작업안전수칙을 작성하여 근로자들에게 교육을 시켜야 하며 작업 시 관리감독자 등 작업지휘자를 지정하여 작업순서, 보호구 착용 등 작업에 관련된 내용을 관리하여야 하겠다.

둘째, 공장의 설계단계에서부터 설비에 대하여 전문가가 검토하고 검토내용을 반영하여 설치한다면 초기비용은 다소 증가하더라도 대량 누출 시 피해를 최소화 할 수 있을 것이다.

셋째, 위험물질을 취급하는 사업장은 화재 · 폭발 · 누출 등 여러 유형의 사고에 대비하여 비상시 대응할 수 있도록 시나리오를 작성하고 그 내용을 교육하고 실제 훈련을 통하여 연습하여야 하겠다.

넷째, 비상 시 조치를 위한 지역과의 커뮤니케이션을 강화하여 관계당국과의 비상연락망 가동, 비상 시 조치를 위한 사업장 정보 공유, 인근 주민들에게 알 권리를 보장할 수 있는 시스템 구축 등이 필요한 것으로 판단된다.

1.2. 냉동기 암모니아(NH_3) 누출 폭발사고

1.2.1. 사고개요

2014년 2월 13일(목) 경기도 남양주시 소재 ○○○(주) 도농공장에서 급속 동결 실내유니트 쿨러에서 암모니아 가스가 누출된 후 미상의 점화원에 의해 폭발이 발생하여 1명이 사망, 3명이 부상을 입고 인근지역 주택가까지 암모니아 가스가 확산된 사고임

<그림 4-29> 폭발사고로 파손된 급속동결실 외부 모습



○○○(주) 도농공장은 1967년 9월 설립되어 아이스크림, 유제품, 발효유를 생산하고 있으며 2공장에서는 아이스크림류를 생산하고 있다. 2014년 1월 당시 약 320명의 근로자가 근무하고 있으며 폭발사고는 2공장의 급속동결실에서 냉매로 사용되는 암모니아 가스가 누출되어 발생하였다.

암모니아는 응축압력이 낮고, 증발잠열이 커 냉매로서의 성능이 프레온계에 비하여 우수하고 가격이 저렴하여 냉매로 많이 사용되고 있으나 취급부주의로 인한 폭발위험성이 있고, 인체에 독성이 있어 그 사용과 취급에 주의가 필요하다.

1.2.2. 사고발생 공정

1) 생산공정 흐름도(아이스크림 제조공정)

원유입고 → 첨가제 배합 → 살균/저장 → 아이스크림 충진 → 급속동결 → 포장 → 저장/출하

<그림 4-30> 아이스크림 제품 급속동결실 투입라인



2) 사고원인 물질

냉매는 냉동 사이클의 작동유체로서 저온의 물체에서 열을 흡수하여 고온의 물체에 열을 운반해 주는 매개체를 말하며, 이산화탄소, 암모니아, 염화메틸 등이 주로 사용되었으며 최근까지는 프레온을 사용했으나 오존층 파괴 문제로 대체물질의 개발이 이루어져 사용되고 있다. 이들 기화하기 쉬운 냉매를 액체로 하여, 그것이 기화할 때 주위로부터 기화열을 빼앗는 현상을 이용한 것이 냉동기의 원리이다.

금번사고의 원인물질인 암모니아의 물질정보는 아래와 같다.

- CAS번호 : 7664-41-7
- 용 도 : 비료, 질산, 냉동용 냉매

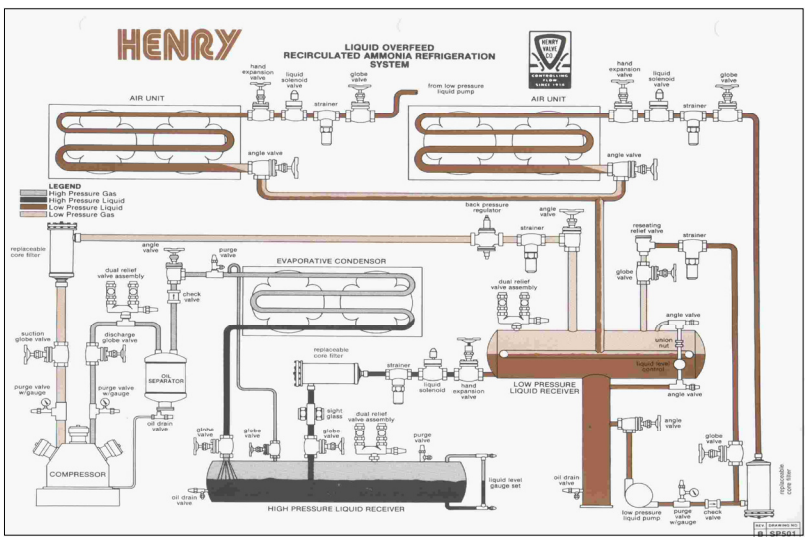


- NFPA지수 : 보건 3, 화재 1
- 녹는점 : -78℃, 끓는점 : -33℃
- 폭발범위 : 15 ~ 28%
- 증기압 : 1,013kPa, 증기밀도 : 0.59
- 노출기준 : 25ppm

3) 암모니아 냉동설비

밀폐된 공간 속의 온도를 주위의 온도보다 낮게 하기 위해 전동기로 압축기를 운전하여 기체상태인 냉매를 압축해서 응축기로 보내고 이것을 냉동기 밖의 물이나 공기 등으로 냉각해서 액화한다. 이 액체상태의 냉매가 팽창밸브에서 증발기로 분사되면 급팽창하여 기화하며 주위로부터 열을 흡수하여 특정 공간을 주위의 온도보다 낮게 냉각한다. 기체로 된 냉매는 다시 압축기로 돌아와서 압축되어 액체상태가 된다. 이와 같이 반복되는 압축 · 응축 · 팽창 · 기화의 4단계 변화를 냉동사이클이라고 한다.

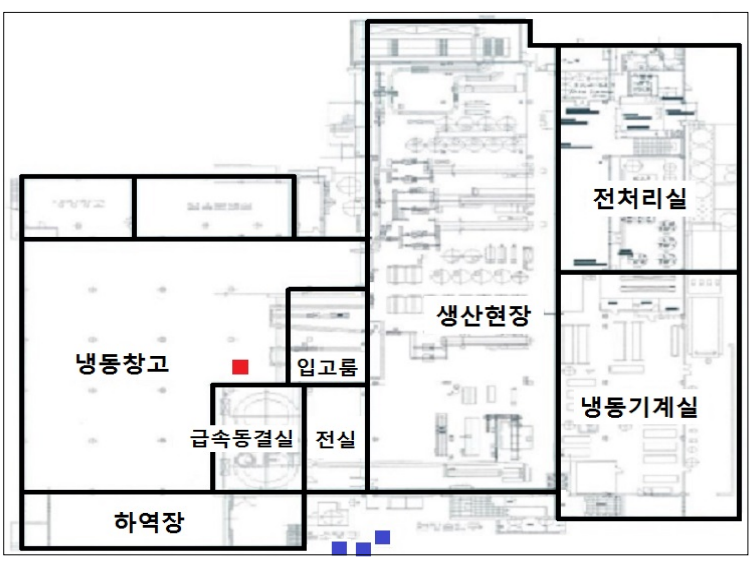
<그림 4-31> 암모니아 냉동설비 개요도[6]



4) 공장설비 배치도 및 사고당시 사망 및 부상자 위치

사고로 인해 사망1명, 부상자 3명이 발생하였으며 그 위치는 아래와 같다.

<그림 4-32> 사고당시 사망자(■) 및 부상자들(■)의 위치



6) 출처 : Henry Valve Co.

1.2.3. 사고분석

1) 사고발생 전

2013. 12월에서 2014. 1월에 걸쳐 제2공장에 대하여 생산실 내부 환경개선공사를 실시하였고 2014. 2. 1. 시운전 가동 후 2. 3. 부터 생산을 재개하였다.

2014. 2. 13(목) 09:20분경 생산실에서 작업중이던 직원이 갑자기 암모니아 냄새가 나자 「○○○○○○ 아이스크림 라인」의 직원들을 대피시키고, 09:40분경 생산팀장에게 생산현장에서 냄새가 난다는 보고를 하였다. 10:00분경 생산팀장이 현장에 도착해 보니 일부 직원은 대피한 상태였고 암모니아 냄새가 나는 것을 확인하여, 생산실 내 다른 곳에 있는 나머지 직원을 대피시켰으며, 10:10분경 2층 사무실로 올라가 1공장의 환경안전팀 및 공무팀에 연락을 하였다. 10:30분경 약 500 m 떨어진 제1공장의 환경안전팀 직원들과 공무팀 직원들이 현장에 도착하여, 급속동결실로 통하는 냉매 배관 상의 밸브 2개를 잠그고, 암모니아 리시버 탱크로 공정내 암모니아를 회수(Suction)하는 작업과 급속동결실내 누출부위를 찾는 작업을 수행하였다.

환경안전팀 직원 및 생산본부장 등이 급속동결실 내부를 확인한 결과, 암모니아 냄새가 심하게 나서 11:00분경부터 공장 외부로 암모니아가 확산되는 것을 방지하기 위하여 급속동결실 전면과 출하장 주변에 소화전을 이용하여 물을 뿌리는 등 암모니아 희석작업을 실시하였고 폭발 발생 전까지 약 2시간 동안 희석작업을 계속 실시하였다.

정상 출근 후 작업을 하다 대피했던 ㈜△△△△(○○○(주)의 2차 협력업체) 현장소장과 재해자는 식사 후 평소에 실시하던 제품 이송 작업을 위해 12:57분경 작업장소로 다시 들어갔다.

2) 사고발생 전

13:04분경 급속동결실에서 폭발이 발생하면서, 급속동결실의 내부벽체 및 기둥이 붕괴되었고, 냉동창고, 출하장 및 생산실(생산 현장) 내장재 일부 등이 파손되었으며, 급속동결실 전면에 설치되어 있던 액화질소탱크(14㎥)가 전도되었고 출하장에서 희석 작업 중이던 직원 3명이 폭발에 의한 비래물 등에 의하여 다리골절 등을 당하여 병원으로 이송되었다.

3) 사고발생 후

13:08분경 소방대가 도착하여 소화 및 인명구조작업을 수행하였고, 13:25분경 소방대가 암모니아 저장탱크에서 냉동창고 등으로 연결되는 암모니아 배관상의 차단밸브를 잠그고, 암모니아 유출여부를 확인하였다. 18:52분경 소방대가 지게차 출입문 근처에서 붕괴된 건물 잔해 또는

폭발압에 의한 사망자을 발견하여 이송하였다.

1.2.3.1. 사고발생 원인추정

목격자 진술에 의하면 급속동결실에서 심한 냄새가 난 것과, 현장 확인 결과 유니트 쿨러와 인접하여 위치한 암모니아 냉매 배관의 보온을 위해 설치한 녹색 비닐 테이프에 화염 흔적이 많은 것 등을 종합하여 보면, 사고 당일 오전 09:00 경부터 급속동결용 유니트 쿨러의 코일(Coil) 부분에서 암모니아 가스가 약 4시간 동안 계속 누출되어 밀폐구조인 급속동결실 내부에 체류된 것으로 추정된다.

국립과학수사연구소의 조사결과는 "유니트 쿨러의 1번 팬 블레이드가 파손되면서 쿨러의 코일을 손상시켰고 그 손상부위로부터 암모니아 가스가 누출된 것"으로 발표함

<그림 4-33> 파손된 유니트쿨러 1번 팬 블레이드와 손상된 코일



점화원은 가동 중인 유니트 쿨러의 전기구동 팬 모터, 급속동결실내 온도센서, 급속동결기(드럼)에 부착되어 있던 인터록 등 센서류가 비방폭형 전기기계 · 기구로 설치되어 점화원으로 될 가능성이 있으며, 국립과학수사연구소에서는 "일반적으로 전기기계 · 기구의 전기스파크, 정전기 등이 점화원이 될 수 있다고 언급은 하고 있지만, 이번 사고의 점화원은 원인불명"으로 결론지음.

1.2.4. 사고원인

1) 폭발위험이 있는 장소의 구분 설정 및 관리 미흡

암모니아 등 인화성 가스를 취급하는 장소가 개방된 공간이 아닌 경우에는 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준으로 정하는 기준(KS C IEC 60079-10-1)에 따라 가스폭발 위험장소로 설정하여 관리하여야 하나 재해발생 사업장에서는 암모니아를 취급하는 급속동결실, 냉동기계실 등을 폭발 위험장소로 설정하지 않았다.

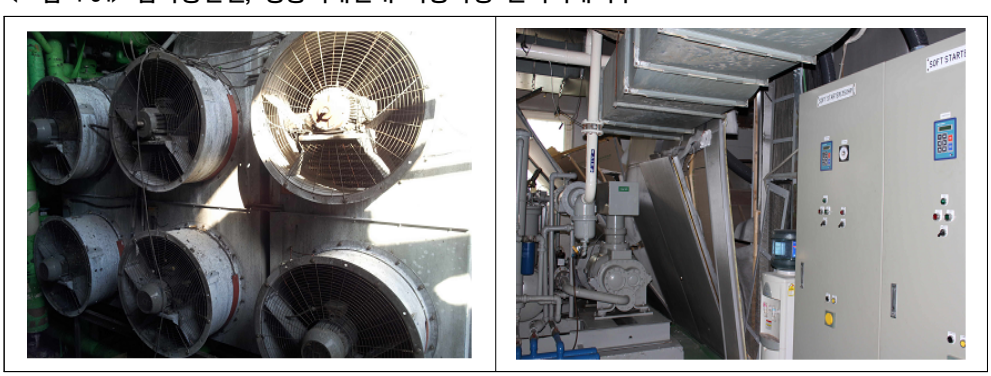
<표 4-5> 폭발위험장소의 구분의견

① KS C IEC 60079-10-1 및 API RP505 등의 기준에는 암모니아가 개방된 공간으로 누출할 경우 누출 시 빠르게 확산되어 폭발 분위기 형성이 되기 어려우므로 폭발위험장소로 구분하지 않음. 밀폐된 공간에 대한 언급은 없음 ② 「고압가스 안전관리법 시행규칙」 별표 7 제1호다목3)에 따라 암모니아 냉매의 냉동제조시설은 전기방폭설비 설치를 제외 ③ 그러나, 산업통상자원부 질의회시(에너지안전과, 2013. 12. 26)에서는 「고압가스 안전관리법」 및 「산업안전보건법」에 따라 전기방폭설비의 설치 기준을 각각 다르게 적용할 경우에는 각 법률에서 정한 기준을 모두 적합하도록 설치하여야 한다고 답변하였음

2) 폭발위험이 있는 장소에서 비방폭형 전기기계기구 사용

암모니아 사용장소 등 가스폭발위험장소에서는 적합한 방폭성능을 가진 방폭구조 전기 기계·기구를 선정하여 사용하여야 하나, 급속동결실 유니트 쿨러용 팬 모터(12개), 관련 전기배선, 센서류 및 냉동기계실의 전기기계·기구를 비방폭형으로 설치 사용하였다.

<그림 4-34> 급속동결실, 냉동기계실내 비방폭형 전기기계기구



3) 사고시 작업중지, 근로자대피 및 보고조치 미흡

암모니아 누출로 인한 중독 및 폭발 위험 등 산업재해가 발생할 급박한 위험이 있을 때에는 즉시 작업을 중지시키고, 근로자를 작업장소로부터 대피시키는 등 필요한 안전 · 보건상의 조치를 하여야 하나 그러하지 않았다.

① 생산실 내의 근로자는 모두 대피시켰으나, 환기를 실시하지 않았고 유니트 쿨러의 전원을 차단하지 않았으며 제품 출하를 담당하는 협력업체의 근로자를 안전한 장소로 대피시키지 않았음

② 고압가스안전관리법 26조 4항에 의거 가스시설이 손괴되거나 가스누출로 인하여 인명대피나 공급중단이 발생한 사고시 즉시 한국가스안전공사 등 관계 기관에 사고 통보 등의 의무가 있지만, 즉시 보고하지 않았음

4) 협력업체 직원을 포함한 비상조지계획 미흡

비상조치계획(소방훈련계획)에는 화재폭발이나 암모니아 등 독성물질 누출 시 자사 직원만을 대상으로 피난 훈련계획 등이 수립되어 있으나, 협력업체 직원을 포함하고 있지 않아 이번 암모니아 누출사고 발생 시 협력업체 직원의 대피가 소홀하였다.

1.2.5. 동종사고 예방대책

1) 폭발위험장소구분도 작성 및 적정한 관리

인화성 액체의 증기나 인화성 가스 등을 제조 · 취급 또는 사용하는 장소, 인화성 고체를 제조 · 사용하는 장소에 대하여는 폭발 위험장소로 설정하여 관리하여야 한다. 암모니아가스의 경우는 인화한계 농도의 최고한도(28vol%)와 최저한도(15vol%)의 차가 13%[7] 이므로 인화성 가스에 해당된다.

암모니아를 개방된 공간이 아닌 장소에서 취급하는 경우에는 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준으로 정하는 기준 (KSC 60079-10-1)에 따라 가스폭발 위험장소구분도를 작성하고, 이에 따라 적정하게 관리하여야 한다.

7) 산업안전보건법 시행령 별표10, 비고의 인화성가스 정의

2) 폭발위험장소에서 방폭형 전기기계기구 선정 및 사용

암모니아 취급 장소 등 가스폭발위험장소에서 전기 기계 · 기구를 사용하는 경우에는 적합한 방폭성능을 가진 방폭구조 전기 기계 · 기구를 선정하여 시공하고, 정상적으로 그 성능이 유지되도록 적절하게 관리하여야 한다.

<표 4-6> 폭발위험장소 등급에 따른 전기기계·기구의 선정기준

위험장소	분류[8]	사용가능한 전기기기의 방폭구조
가스폭발 위험장소	0종 장소	- 본질안전방폭구조(ia,ib) - 그 밖에 관련 공인 인증기관이 0종 장소에서 사용이 가능한 방폭구조로 인증한 방폭구조
	1종 장소	- 내압방폭구조(d), 압력방폭구조(p), 충전방폭구조(q), 유입방폭구조(o), 안전증방폭구조(e), 본질안전방폭구조(ia,ib), 몰드방폭구조(m) - 그 밖에 관련 공인 인증기관이 1종 장소에서 사용이 가능한 방폭구조로 인증한 방폭구조
	2종 장소	- 비점화방폭구조(n) - 0종 장소 및 1종 장소에서 사용 가능한 방폭구조 - 그 밖에 2종 장소에서 사용하도록 특별히 고안된 비방폭형 구조

8) 0종 장소 : 상시 폭발한계 내의 농도가 되는 장소(예 : 용기내부)
1종 장소 : 빈번하게 한계농도범위가 될 수 있는 장소
2종 장소 : 사고로 또는 드물게 위험하게 되지만, 앞의 장소와 비교적 근접된 장소로, 가스폭발분위기의 생성확률에 따른 위험장소의 설정은 아래표에 따른다.

위험장소 구분	가스폭발분위기의 생성 시간(확률)	비고
0종장소	1,000 시간 초과/연(10 %)	1년은 8,760 시간이지만 10,000 시간으로 하여 가스폭발분위기의 생성확률을 %로 계산함
1종장소	10 ~1,000 시간/연(0.1~10 %)	
2종장소	1 ~10 시간 미만/연(0.01~0.1 %)	
비위험장소	1 시간 미만/연(0.01 %)	

* 출처 : KOSHA GUIDE E - 143 - 2013 "위험성 평가를 기반으로 하는 인화성 액체 취급 장소의 폭발위험장소 설정에 관한 기술지침"

<표 4-7> 폭발등급 및 발화온도 구분

구분	T1	T2	T3	T4	T5	T6
IIA	아세톤 암모니아 일산화탄소 톨루엔 프로판 벤젠 메탄올	에탄올 무수초산 부탄 에틸렌 프로필렌	가솔린 헥산 이소프렌 헵탄	아세트알데히드 옥탄		아질산메틸
IIB	석탄가스 부타디엔	에틸렌옥시드	황화수소			
IIC	수성가스 수소	아세틸렌			이황화탄소	질산에틸

1.2.6. 사고교훈

암모니아 가스는 독성가스이면서 동시에 인화한계 농도의 최고한도와 최저한도의 차가 13%인 인화성 가스에 해당된다. 암모니아 가스는 독성이 강해 그 인화성은 간과되는 경우가 많았다. 암모니아 가스는 냉매로서의 우수한 특성과 경제성 때문에 음식료품 제조업체, 냉동창고 등에서 냉동설비용 냉매로 많이 사용되었다. 그러나 대부분의 업체에서 암모니아의 폭발위험을 잘 알지 못하여 암모니아 사용 장소를 폭발위험장소로 설정하지 않고 있는 실정이다.

유럽 탄화플루오르 기술협회의 조사에서도 볼 수 있는 것처럼 암모니아 가스에 의한 폭발사고도 전 세계에서 종종 발생하고 국내에서도 환경부의 사고통계('13~'15.6월)에서도 암모니아에 의한 사상자가 약 30명에 이른다.

따라서 암모니아 가스를 사용 · 취급하는 업체에서는 암모니아 사용 장소를 폭발위험장소로 설정하고 이에 따른 전기기계 · 기구는 방폭형을 설치하여 관리하여야 할 것이다.

<표 4-8> 암모니아 주요 사고사례

번호	날짜	사고유형	국가	사망	중상	부상	사고개요
1	2014.7.31	누출	한국	1		21	조선소 선박수리 중 용기 누출
2	2014.2.13	폭발	한국	1		3	식품회사 냉동기 누출 폭발
3	2013.9.7	누출	인도	7	4		식품 냉동창고 누출
4	2013.8.30	누출	중국	15	6	20	냉동창고 누출
5	2013.8.6	누출	우크라이나	5	8	20	화학공장 저장고 수리 중 누출
6	2013.4.7	폭발	인도	3			유제품공장 냉동기 폭발
7	2013.2.13	누출	인도	1	2		생선가공공장 냉동기 누출
8	2013.2.24	누출	오스트리아		62		냉장창고 누출
9	2011.11.12	폭발	인도	3	1		얼음공장 암모니아탱크 폭발
10	2011.5.12	폭발 누출	대만	10	27		대만 어선 폭발 후 파이프에서 누출
11	2011.1.30	누출	프랑스	1			유조선 냉동설비 누출
12	2009.11.27	누출	미국	1	1	2	화학공장내 주유소 누출
13	2009.7.15	누출	미국	1			탱크로리 누출
14	2009.6.20	누출	미국	1	4		가금류 가공공장 누출
15	2009.6.9	폭발	미국	4	20	18	식품공장 NG 폭발 후 누출
16	2009.5.14	누출	미국	2			냉장창고 누출
17	2008.11.20	폭발	에쿠아도르	5		30	어선 냉동시스템 파이프 파손 폭발
18	2008.1.22	폭발	이탈리아	1	1		아이스링크 냉동설비 폭발
19	2007.9.2	누출	미국	1	1		정육가공공장 냉동설비 누출
20	2006.10.31	누출	미국	1	1		식품공장 냉동설비 누출

1.3. 트리클로로실란(TCS) 누출 · 화재 사고

1.3.1. 사고개요

2013년 5월 21일(화) 10:41분경 경북 OO시 소재 SiH_4 등 무기화학제품 생산업체인 OOO(주)의 원료 합성공장에서 당 공장 소속 근로자 2명과 감독자 1명이 반응기 후단 필터 정비 작업을 하던 중 필터 플랜지를 분리하고 필터 카트리지를 꺼내는 과정에서 화재가 발생하여 수 분간 연소 후 자연 소멸되었으며 케이블 트레이에 옮겨 붙은 잔불은 회사와 소방서에 의해 11시20분경 진화된 사고임

<그림 4-35> 실란(SiH_4) 제조공정 전경



사고가 발생한 회사는 1988년에 설립되었으며 2005년부터 산업용가스인 실란(SiH_4)등을 생산하여 국내 반도체 제조회사에 공급하여왔다. 회사에서는 이 사고를 통해서 트리클로로실란(TCS)의 누출시 발화 위험성에 대하여 재인식하게 되었고, 퍼지작업 과정에서의 화재예방 조치에 대해서도 많은 문제점을 인식하게 되었다.

이러한 문제점 인식과 개선의 필요성에 따라 필터의 교체로 인한 위험을 근원적으로 개선하기 위한 태스크포스(TF)를 구성하여 설비개선을 추진하였으며 이 결과, 많은 보완이 이루어져서 향후에는 해당 공정이 보다 안전한 상태로 운전될 예정이다. 다행히 인명피해는 없었으며 케이블 트레이 및 상부 탱크 보온재 일부가 소손되고 인근지역 환경피해도 없었다.

1.3.2. 사고발생 공정

1) 실란(SiH_4) 제조공정

실란제조공정은 실리콘 메탈과 사염화실란($SiCl_4$: STC) 및 수소(H_2)를 반응시켜 모노실란(SiH_4)을 생산하는 공정이다.

<표 4-9> 반응식

$$Si + 3SiCl_4(STC) + 2H_2 \rightarrow 4SiHCl_3(TCS)$$
$$2SiHCl_3(TCS) \rightarrow SiCl_4(STC) + SiH_2Cl_2(DCS)$$
$$3SiH_2Cl_2(DCS) \rightarrow 2SiHCl_3(TCS) + SiH_4(MS)$$

실리콘분말(Si), 사염화실란($SiCl_4$), 수소(H_2)를 가열하여 유동층 반응기 안에서 반응시켜 삼염화실란($SiHCl_3$)을 생성한다. 이때 미반응 규소금속 분진은 미분제거 공정으로 이송되어 백필터와 드레인 탱크를 통해서 슬러지는 폐기물 처리된다.

삼염화실란을 증류에 의해 분리하고, 촉매 존재 하에 불균화 반응시켜 이염화실란(SiH_2Cl_2)을 얻는다. 이때 생성되는 이염화실란에는 사염화실란와 삼염화실란의 혼합물도 혼합되어 있기 때문에 증류·정제해서 순수한 이염화실란으로 만든다. 제조된 이염화실란은 불균화반응 촉매를 사용하여 삼염화실란과 모노실란(SiH_4)을 얻게 되며 혼합물은 한 번 더 증류탑을 거쳐 모노실란을 삼염화실란과 이염화실란에서 분리하여 고순도의 모노실란을 제조한다.

※ 사고발생 설비인 필터는 삼염화실란을 제조하는 공정에서 발생한 미반응 규소분진을 처리하기 위한 Si Drain Tank(T-121)의 기능상 내부 압력(2.5MPa)을 제거하기 위한 탈압과정에서 벤트라인으로 배출될 수 있는 규소 메탈 분진을 필터링하여 제거하기 위한 설비임

2) 사고원인 물질

금번 사고의 관련물질은 아래와 같다.

(1) 삼염화실란(Tri Chloro Silane $SiHCl_3$: TCS)

(2) 수소(H_2)

(3) 규조금속(Si Metal)

(4) 사염화실란(Silicon Tetra Chloride $SiCl_4$: STC)

금번 사고의 원인물질인 삼염화실란, 수소, 규조금속의 물질특성은 아래표와 같다.

<표 4-10> 삼염화실란(Tri Chloro Silane $SiHCl_3$: TCS)

CAS No.	10025-78-2	분자량	135.45
유해성, 위험성	인화성, 급성독성물질	그림문자	
NAPA 등급	보건: 3, 화재 : 4 , 반응성 : 2	증기밀도	4.7(공기=1)
점화에너지	0.017 mJ	자연발화온도	185℃(문헌에 따라 104℃)
인화점	-27℃	증기압	594 mmHg (25℃)
연소범위	1.2 ~ 90.5 %	화학적 안전성	- 원거리 점화가능성 있음 - 중합하지 않음 - 쉽게 점화됨
개인보호구	호흡용보호구, 보안경, 보안면, 내화학성 보호의, 보호장갑 등	독성	LD_{50} 1,030 mg/kg (경구, 쥐)
이상반응유무	물 및 수분과 접촉시 SiO_2, H_2, HCl이 발생		

<표 4-11> 수소(H_2)

CAS No.	1333-74-0	분자량	2.0
유해성, 위험성	인화성 물질, 고압가스	그림문자	
NAPA 등급	보건: 0, 화재 : 4 ,반응성 : 0	증기밀도	0.07(공기=1)
점화에너지	0.02 mJ	자연발화온도	571.2 ℃
인화점	-27℃	증기압	1,240,000 mmHg(25℃)
연소범위	4 ~ 76 %	화학적 안전성	- 극인화성 - 쉽게 점화됨 - 중합되지 않음
이상반응유무	상온, 상압에서 안정		

<표 4-12> 규소금속(Si Metal)

CAS No.	7440-21-3	분자량	28.09
유해성, 위험성	자료없음	증기압	-
NAPA 등급	보건: 0, 화재 : 0 ,반응성 : 0	증기밀도	해당안됨
비중	2.33	비점	2355℃
연소범위	-	화학적 안전성	- 상온 상압에서 안정 - 분진과 공기혼합물은 발화할 수 있음.
이상반응유무	상온, 상압에서 안정		

<표 4-13> 사염화실란(Silicon Tetra Chloride $SiCl_4$: STC)

CAS No.	10026-04-7	분자량	169.89
유해성, 위험성	피부 부식성/자극성	증기압	236 mmHg(25℃)
NAPA 등급	보건: 3, 화재 : 0 ,반응성 : 2	증기밀도	5.9(공기=1)
비중	1.5	비점	56℃
연소범위	-	화학적 안전성	- 화재위험은 무시할 수 있음 - 중합하지 않음
이상반응유무	상온, 상압에서 안정		

3) 사고설비 목록

(1) 규소배출 탱크(Si Drain Tank, T-000)

원료반응공정에서 백필터에 의해 걸러진 미반응 규소분진을 저장하여 STC 및 TCS를 제거한 뒤 폐수처리장으로 보내 Si를 처리하기 위한 탱크이다.

<표 4-14> 규소배출 탱크 세부사양

명칭	크기	운전/설계온도	운전/설계압력	재질
배출탱크	0.8m(D) x 3.5m(L)	200℃/400℃	2.5MP/3.5MP	A240-316L

(2) 필터(FLT-000A)

Si Drain Tank(T-121) 중상부에 연결되어 있는 필터는 T-121에 포함된 기상물질을 스크러버로 보내는 배관에 설치되어 기상물질에 섞여 들어가는 규소분진을 제거하기 위한 것으로서 정기적인 청소가 필요하다. 필터는 A/B 2개가 있어 교대로 사용하고 청소하며 청소시 필터 전단 밸브를 차단하고 필터 상부의 1/2″ 배관을 개방하여 내부기체를 배출한 뒤 분해하여 청소한다.

<표 4-15> 필터(FLT-000A)사양

외형	사용재질	내용적	저장물질	플랜지등급	스케쥴No
ID6.35cm × L50cm	SUS316L	1,538.9㎤	Si/STC/TCS	600ℓb	40

1.3.3. 사고분석

1.3.3.1. 사고발생 과정

사고당일 08:30분경 T-121의 규소분진을 T-000탱크 하단의 규소처리탱크(T-002)로 이송하기 위하여 Board Man이 Field Man에게 T-000 탈압을 지시하여 필터 전단의 밸브 2기를 오픈하고, 탈압 작업을 약 1시간 진행하였다. 약 한 시간 정도 탈압을 진행 시 T-000의 압력이 정상적으로 감압되어야 하나, 현장에서 PI-001을 확인한 결과 1.5MPa임을 확인하였다.

09:25분경 Board Man이 교대조장에게 안전작업허가 발행을 요청하였다. 이후 09:30분경 교대조장이 Field Man들에게 작업내용 지시 및 안전교육을 실시하였다(안전작업허가 시간은 10:10분경). 09:40분경 Board Man이 T-000의 탈압 중 압력계의 오지시(1.5MPa Holding)가 의심되어 교대조장에게 보고하였다.

※ 교대조장과 Field Man은 현장에 압력게이지(PG)를 PI-001 하부 Drain 노즐에 임시로 설치하여 탈압된 상태(0.3MPa)를 확인함

09:47분경 교대조장과 Field Man은 T-000 내부를 질소로 감압(0.3MPa => 0.1MPa)하여 압력 퍼지를 2회 실시하였으나, 3회째 실시에 0.3MPa로 가압후 필터가 완전히 막혀 감압이 진행되지 않았다. 10:00분경 Field Man이 T-000 필터 플랜지의 너트를 1~2바퀴 풀어 Flange 덮개를 조금 이격시킨 후 가스검지기로 가연성 가스의 누출여부를 확인한 결과 가스검지기에서 감지 징후가 없어 작업허가서 발행을 요청하였다.

10:30분경 T-000 Filter 교체 작업 시작하고 잠시 후 분진이 조금 날리기 시작하였고 곧 화염이 분출되었다.

※ 분출된 화염은 곧 소멸하였고 전기케이블에 옮겨 붙은 불이 일부 진행되고 있었으나 주수 소화시 전기적 위험 및 물과의 접촉으로 인한 수소발생 위험으로 소화를 진행하지 않고 현장에서 상황을 파악함

이후 10:41분경 합성공정을 Shut-down 하고, 10:46분경 대외기관에(소방서, 경찰서) 신고

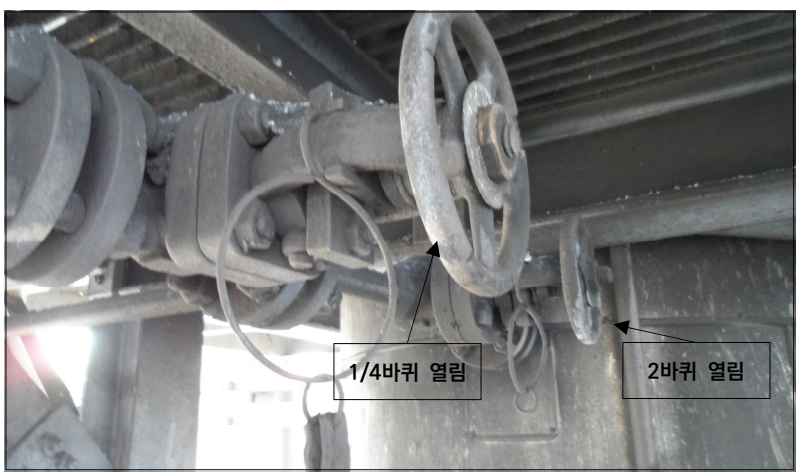
하였다. 10시 48분경 T-121 주위의 화재가 거의 소멸되고 덕트 내의 케이블에 붙은 불이 일부 관찰되었으나, 10시 59분경 소방차가 현장에 도착하여 케이블에 일부 진행되고 있던 잔불에 대한 소화를 시작하여, 11시 04분경 화재가 진행되고 있던 케이블 트레이에 대한 1차 소화를 완료하였고, 11시 20분경 전기 케이블 트레이 잔불 정리 및 진화를 완료하였다.

1.3.3.2. 사고발생 원인추정

1) T-000내부로부터 가압된 가연성 혼합기체의 누출

T-121 탱크내부의 압력이 완전히 감압되지 않은 상태에서 T-000과 연결된 필터(FLT-000A) 전단에 설치된 두 개의 차단밸브가 실리콘 분말 등에 의해 완전히 닫히지 않은 상태로서 탱크내부의 압력이 필터에 미칠 수 있는 상태에서 필터 청소작업이 진행되어 가연성기체가 방출될 수 있었다.

<그림 4-36> 필터(FLT-121A) 전단 차단밸브



2) 가연성 물질 및 폭발분위기 형성

T-000 탱크 내부에는 인화성물질인 수소와 TCS가 있었으며 탱크내 온도와 해당온도에서의 증기압, 기체 분압을 감안하였을 때 사고직전의 2회 감압퍼지(0.3MPa→0.1MPa) 후 탱크내부의 퍼지 후 탱크내 수소와 TCS는 총 12.38 + 0.27 = 12.65% 존재한 것으로 계산되고 수소 및 TCS의 혼합가스 연소범위를 확인한 결과 수소 및 TCS의 혼합가스가 누출되어 공기 중에 3.81% 이상 존재하고 점화원이 있는 경우에는 폭발할 수 있는 것으로 파악됨

3) 점화원 추정

(1) 자연발화

내용물에 포함된 TCS(Trichloro Silane)는 극인화성의 가연성물질이며 자연발화온도가 사업장에서 보유한 MSDS를 기준으로 185℃로서 운전온도 보다 낮아 누출될 경우 대기중의 산소와 접촉해서 자연발화 할 수 있다.

(2) 정전기

정전기는 다양한 원인에 의해 발생할 수 있으며 축적 후 조건이 완성되면 방전하게 되고, 방전시 가연성 혼합기가 존재하면 발화원이 될 수 있다. 사고발생시 Si 분진이 함유된 가스가 분출 · 충돌되는 과정에서 정전기가 축적된 후 방전되어 점화원으로 작용하였을 가능성이 있으며, 필터측 플랜지에 본딩이 생략된 점, TCS와 수소의 점화에너지가 0.017mJ 및 0.02mJ로 매우 낮은 점을 고려할 때 충분한 가능성이 있다.

※ 분출대전 : 가스상의 내용물들이 밸브의 좁은 틈, 필터와 카트리지 사이의 틈으로 분출되었으므로 정전기가 발생할 수 있음

※ 충돌대전 : 실리콘 금속 분진이 분출되는 과정에서 밸브, 필터벽 등과 충돌하여 정전기가 발생할 수 있음

※ 마찰대전 : 작업자가 착용한 방진작업복이 비전도성으로 작업시 마찰 등에 의해 정전기가 발생할 수 있음

(3) 종합적인 판단결과

드레인 탱크 내부에 가연성 물질이 체류하고 필터로 연결되는 배관의 차단밸브가 완전히 닫히지 않은 상태에서 필터의 분해 및 내부 카트리지 제거작업이 수행되었다. 이 과정에서 탱크 내용물이 필터를 통하여 외부로 누출되면서 공기와 가연성의 혼합가스를 형성한 후 자연발화 또는 정전기 등의 점화원에 의해 발화되었으며 탱크 내부 압력이 완전히 해소된 뒤 연소가 중지된 것으로 판단된다.

1.3.4. 사고발생 원인

1) 작업계획 및 작업허가 방법 미흡

고인화성 물질이 가압된 저장탱크(화학설비)와 관련된 보수작업을 수행함에 있어 발생할 수

있는 위험에 대비한 충분한 내용의 작업계획서가 마련되어 작업허가시 확인하지 않았다.

① 작업대상인 가압된 용기의 압력이 완전히 해소되지 않은 상황에서의 대책이 마련되지 않았음

② 정확한 가스감지 수단이 명시되지 않았음

2) 인화성가스 측정방법 부적절

① 탱크내부의 가스를 측정하기 위한 안전한 방법이 없어 필터 플랜지의 너트를 풀고 플랜지 덮개를 이격시킨 후 이동식으로 용기외부에서 가스를 측정했다.

② 인화성가스의 농도를 작업시작 30분전인 10:00경 1회만 실시하여 작업수행 중에 발생하는 가스누출에 대한 감지 수단이 없었다.

③ 측정대상 가스인 수소, TCS 전용가스 검지기를 사용하지 않고 가연성 가스감지기를 사용하여 측정의 신뢰성이 낮았다.

<그림 4-37> 가연성가스 검지기



3) 정비보수작업 위험성평가 실시 미흡

인화성물질이 가압된 탱크와 연결된 필터의 보수작업에 있어 해당 작업과 관련된 충분한 위험성 평가가 미흡하여 작업허가시 필요한 조치가 이루어지기 어려웠다.

① 탱크내부압력이 완전히 배출되지 않았을 경우의 위험성

② 퍼지시 내부의 인화성분위기가 완전히 제거할 수 있는 퍼지량에 대한 평가

③ 필터가 막혀 탱크잔압을 완전히 해소할 수 없을 경우에 대한 위험 및 대책

④ 점화에너지가 작은 가스의 누출에 있어 점화가능성 및 정전기 관리

⑤ 압력이 가해져 있는 필터의 카트리지 분리시 발생할 수 있는 물리화학적 위험

⑥ 규소분진으로 인한 밸브의 잠금 불량 상황에서의 위험성

4) 계측장치의 설치 및 정비상태 미흡

① 해당 설비내부의 상태를 파악하기 위해 온도계, 압력계 등을 설치하였으나, 사고발생 당시 정상작동하지 않아 근로자가 정확한 계측값을 알지 못한 상태로 작업을 수행하는 등 정비 및 관리상태가 미흡하였다.

② 퍼지작업 수행시 임시압력계를 설치하였으나 지시범위가 0~5MPa까지로 작업범위인 0.1~0.3MPa에 비해 과도하게 넓고 검교정 기록도 없어, 측정오차 및 계기오차가 발생하여 정확한 계측이 어려웠다.

<그림 4-38> 질소 퍼지시 사용된 압력게이지



1.3.5. 동종사고 예방대책

1) 작업계획서 작성 철저

인화성물질이 가압된 탱크 및 주변설비에 관한 작업은 화재 등에 의한 근로자의 위험을 방지하기 위해 아래의 내용을 포함하여 작업계획을 작성하고 그 계획에 따라 작업을 실시해야 한다.

① 탱크 내부 및 작업대상 설비의 압력을 해소할 수 있는 방법

② 잔압이 해소되지 않았을 경우의 대책

③ 내부압력을 측정할 수 있는 수단의 확보

④ 측정계기가 불량할 경우 선택할 수 있는 대체 수단의 확보

⑤ 탱크내부의 인화성물질 제거를 위한 적정 퍼지량의 확보

⑥ 퍼지 후 탱크내부 인화성물질 제거상태를 확인할 수 있는 수단의 확보

⑦ 만일의 사고가 발생할 경우 필요한 비상조치의 마련

2) 인화성가스 측정방법 마련

① 탱크내부의 가스를 측정해야 할 경우 플랜지를 개방하여 누설되는 가스를 측정하지 말고, 온라인 측정을 하거나 누출량을 최소화 할 수 있는 안전한 구조의 측정구를 사용하여 내부 가스를 측정하여야 한다.

② 인화성가스의 변동요인이 있을 경우 또는 조건이 변동될 때마다 측정할 수 있어야 한다.

③ 가스검지기는 측정대상 가스에 적응성이 있거나 환산치가 있는 가스감지기를 사용하여야 한다.

3) 정비보수작업 수행시 위험성평가 및 대책마련

위험작업으로 지정되지 않았다 하더라도 위험설비와 관련된 정비보수 작업시의 작업여건을 반영한 Job Safety Analysis와 같은 방법을 통하여 위험한 상황이 발생하지 않도록 하여야 하며, 인화성물질이 가압된 탱크와 연결된 필터의 보수작업시 아래 사항들에 대한 검토 및 대책을 작업허가에 반영해야 한다.

① 탱크내부압력이 완전히 배출되어야만 작업을 수행

② 퍼지시 내부의 인화성분위기가 완전히 배제될 수 있는 퍼지량 평가 및 적용

③ 필터가 막혀 탱크잔압을 전혀 해소할 수 없을 경우 바이패스 배출배관 검토

④ 점화에너지가 작은 가스가 내부압력에 의해 누출될 경우 정전기로 인한 자연발화 가능성 검토

⑤ 분체로 인한 밸브의 잠금불량 상황에서의 대체수단 마련

4) 계측장치의 정비철저 및 추가설치

해당 설비에 설치된 온도계, 압력계 등은 정비 및 관리를 철저히 실시하고, 1기가 오작동해도 정상측정이 가능하도록 추가로 1기를 설치하고, 측정게이지는 측정대상의 값에 적합한 Full Scale의 계기를 선정해야 한다.

5) 필터(FLT 000A/B) 설비 개선

필터에는 전 · 후단에 압력계 등을 설치하여 필터가 완전히 막히기 전 적절한 시기에 청소작업을 실시할 수 있도록 하고, 필터가 막히는 등 정상작업이 곤란할 때를 대비하여 예비용 벤트배관을 설치하는 등 설비를 개선해야 한다.

1.3.6. 사고교훈

화재위험이 높은 자연발화성물질을 취급하는 공정에서의 정비 · 보수 작업은 물질이 누출될 개연성을 항상 갖고 있기 때문에 작업과정에서 위험이 매우 높다고 할 수 있다. 이러한 사고의 원인을 근본적으로 해결하지 않고서는 사고재발의 위험도 높기 때문에 여러 가지 측면에서 검토가 필요하다.

1) 근원적인 공정개선

이 사고와 관련된 공정은 공정부산물을 처리하는 과정에서 고형분진의 발생 및 처리가 불가피하여 빈번한 정비보수가 필요로 하였다. 정상적인 운전에서 빈번한 정비보수가 필요하다는 것은 그만큼 사고위험을 증가시키기 때문에 공정개선을 통하여 수작업에 의한 정비보수의 필요성을 줄이는 방안이 필요하였다.

이러한 교훈을 바탕으로 사고 발생 사업장은 회사자체 전문가와 외부전문가들로 TF팀을 구성하여 공정개선에 착수하였고, 그 결과 약 6개월 후에 기존의 문제점들을 개선한 공정을 개발하였다. 개발된 공정은 공정안전보고서 심사를 통하여 일부 미비점을 보완한 후 기존 공정보다 훨씬 더 위험이 감소되고 근원적으로 안전한 상태에서 공정운전을 할 수 있게 되었다.

2) 작업전 내부 잔류가스의 철저한 확인

화학물질을 취급하는 화학설비의 정비에 있어 내부 잔류물질은 완전히 배출되고 내부물질로 인한 위험성은 없어야 한다. 이러한 내부물질의 잔류여부는 플랜지를 개방하는 방법이 아닌 작업구간의 게이지나 온라인 가스감지기를 사용하는 등 안전한 방법으로 이루어져야 한다.

3)정비보수작업에 대한 위험성평가

정비보수작업은 여러 가지 현장요인에 의해 작업상의 위험이 매우 높다고 할 수 있다. 이러한 정비보수 작업의 위험성은 작업 전에 해당 관계자들로 하여금 충분히 평가되어야 하며, 평가된 위험요인에 대해서는 사고로 이어지지 않도록 적절한 안전조치가 확보되어야 한다.

<표 4-16> 유사사례 1 : 자연발화성 물질 취급공정 누출

발생일시	2013년 8월 18일 10시 43분경
사고장소	경북 상주시 소재 (주)OOOO
피해내용	폭발 및 화재
사고개요	실란(SiH_4)제조 공정에서 반응기전단의 공급배관에 부착된 플랜지부분에서 삼염화실란($SiHCl_3$)과 모노실란(SiH_4)이 포함된 가스가 누출되어 개방공간 폭발 후 누출점에서 수 시간 동안 연소화재가 지속됨(삼염화실란은 수분 접촉시 염산과 수소발생)
피해상황	폭발에 의한 누출장소 주위건물 파손 및 화재에 의한 누출공정 소손
사고원인	플랜지로부터 누출된 공정물질이 수분과 접촉하여 부식성물질을 생성하고 플랜지부위와 체결볼트에 부식이 진행되었으며 어느 순간 볼트와 플랜지가 공정압력을 이기지 못하게 되어 플랜지가 일시에 파단 되고 공정상의 발화성물질 누출

<표 4-17> 유사사례 2 : 자연발화성 물질 저장 실린더 밸브로부터 가스누출

발생일시	2013년 5월 22일 14시경
사고장소	경기도 시흥시 정왕동 소재 OOO(주)
피해내용	화재
사고개요	특수가스 제조공장의 실란 출하장에서 충전을 마친 47ℓ 실란 실린더 용기의 밸브 토출구로부터 실란 가스가 누출되면서 자연발화하고, 내용물 완전누출 후 연소 중지됨
피해상황	실린더의 밸브부위가 완전히 소손
사고원인	밸브의 고장에 의한 것으로서 밸브 예방정비 부족, 수명에 따른 정기교환 미실시, 품질검사 미비 등의 복합적 원인으로 추정

1.4. 유기용제 취급용기 폭발사고

1.4.1. 사고개요

2012년 8월 23일(목) 충북 청주시 소재 ○○(주) 청주공장에서 용매(1,4-Dioxane)를 회수하는 과정에서 폭발이 발생하여 8명이 사망하고, 3명이 부상을 입은 폭발사고이다.

<그림 4-39> 폭발사고가 발생한 OLED 재료생산부 공정 모습



○○(주) 청주공장은 Display 재료인 감광제, OLED와 IT필름, 소형전지 등을 생산 · 공급하는 사업장이다. 2012년 8월 23일(목) 오전 10시 10분 경 ○○(주) 청주공장의 OLED(Organic Light Emitting Diode) 재료 생산팀에서 반제품인 P2 Crude(OLED 재료용) 재결정 작업 중 용매로 사용한 1,4-Dioxane을 200ℓ 드럼으로 회수하는 과정에서 폭발이 발생하여 00(주) 청주공장 소속 근로자 9명과 협력업체 소속 근로자 2명이 부상을 입어 그 중 8명이 사망하고 3명이 부상을 당한 사고다.

이 사고를 통해서 Display 재료에 사용되는 1,4-Dioxane의 위험성에 대하여 많은 근로자들이 재인식하게 되었고, 변경관리절차의 준수와 정전기 관리에 대해 많은 문제점이 도출되어 개선이 필요하게 되었다. 인명피해는 사망 8명(협력업체 직원 2명), 부상 3명이고, 물적피해는 사일로 3기가 파손되고 인근지역 피해는 없었다.

1.4.2. 사고발생 공정

1) OLED 재료 제조공정

P2 Crude는 전류가 흐르면 빛을 내는 형광성 유기 화합물(OLED) 재료로 사용되며 공정은 원료 계량 · 투입 → 반응 → 증류 → 재결정 → 여과 → 건조 → 최종제품검사 → 제품 포장 → 출하 등의 단계로 구성된다.

<그림 4-40> OLED 재료생산부공정 전경



2) 사고원인 물질

(1) P2 Crude

PLG-000의 중간제품인 P2 Crude에 대한 MSDS(자체)는 작성되어 있으나, 물리·화학적 특성 및 화재·폭발 특성에 대한 자료는 알 수 없음

<표 4-18> P2 Crude 물성

물질명	폭발범위(%)	인화점(℃)	발화점(℃)	증기압mmHg
P2 Crude	자료없음	자료없음	자료없음	
1,4-Dioxane (1.4-디옥산)	2 ~ 22	12	180	40

(2) 1,4-Dioxane의 물리·화학적 성상

① 화학적 안전성: 공기, 빛과의 접촉 시 또는 장기간 보관 시 폭발성 과산화물이 형성될 수 있음

② 열분해생성물 : 탄소 산화물

③ 열, 화염, 기타 스파크를 피할 것

3) 사고설비 목록

◉ 반응기(MX-0000), 응축기(CN-0000), 리시버 탱크(RT-0000), 용기(Drum)

<표 4-19> 사고관련 설비사양

설비명 (Item No.)	용량	압력(MPa)		온도(℃)		재질	비고
		운전	설계	운전	설계		
반응기 (MX-0000)	1㎡ (ID:1200mm H:850mm)	F.V~0.2	F.V~0.3	-15~150	-25~200	A516Gr.60 +G.L	Shell (101PF/1,4-Dioxane)
	(ID:800mm H:760mm)	0.4	0.5	-15~150	-25~200	A516Gr.60	Jacket (Brine)
응축기 (CN-0000)	1㎡ (ID:1200mm H:850mm)	F.V~0.2	F.V~0.3	-15~150	-25~200	A516Gr.60 +G.L	Shell 1,4-Dioxane)
	HTA : 15	0.4	0.5	-15~150	-15~200	A516Gr.60 +G.L	Tube (CHW)
리시버 탱크 (RT-0000)	0.5 ㎥ (ID:900mm H:800mm)	F.V~0.2	F.V~0.3	70	90	SB410 +G.L	
용기 (Drum)	212 ℓ (ID:570mm H:849mm)	ATM	0.3	AMB	AMB	냉연압연 강판	

1.4.3. 사고분석

1.4.3.1. 사고발생 과정

사고가 발생한 P2 Crude 재결정 공정에서 작업하던 작업자 3명은 폭발사고로 전원 사망함에 따라 당일 작업 진행내용을 시간대별로 구체적으로 파악할 수 없어 CCTV 동영상을 이용하여 작업을 추정함에 따라 출근시간 이후 피해자들 행적을 세세하게 파악하는 것은 불가능하였다.

사고당시 설계 · 설치 총괄 협력업체 직원 2명을 포함하여 총 8명이 사고 발생공정 인근에 신규로 설치된 OLED 반응기 2기에 대한 점검을 실시함에 따라 사고로 인한 사상자의 피해는 컸다.

당일 신규설비 점검작업에 투입되었던 부상자 000의 진술에 따르면 사고 당일 오전 9시에 출근하였으며, 출근 후 P2 Crude 재결정 작업은 전일부터 이어져 온 작업임에 따라 당일 작업과 관련된 별도의 업무지시 및 미팅은 없었다고 한다.

또한, 부상자의 당일 작업은 사고가 발생한 P2 Crude 재결정 작업이 아니라 반응기 2기 증설과 관련된 설비점검 업무였기 때문에 폭발 당시에는 폭발장소와 약 4 m 가량 떨어진 후면 계단 아래쪽에서 점검 작업을 준비 중에 있었다고 진술하였다. 따라서 목격자는 폭발 당시 P2 Crude 재결정 작업자의 당시 상황을 정확하게 볼 수 없었고, 단지 폭발직전의 작업상황은 평상시와 같았으며 이상 징후는 없었다고 기억하고 있었다.

리시버 탱크의 회수절차는 반응기(MX-0000) 안의 P2 Crude에서 용매인 1,4-Dioxane을 분리하기 위해서는 MX-0000의 온도를 1,4-Dioxane의 끓는점인 101 ℃ 이상으로 승온·가열하여야 하나, 감압상태에서는 끓는점이 낮아지는 원리를 이용하여 진공상태에서 80 ℃로 승온시켜 용매(1,4-Dioxane)를 증발

증발된 1,4-Dioxane의 증기는 응축기(CN-0000)에서 냉각되어 액상으로 응축하여 액화된 1,4-Dioxane은 분리기(Separator)를 거쳐 리시버탱크(RT-0000)로 이송되어 저장되며 리시버탱크의 액위가 약 1/2 (250 ℓ) 가량 되면 하부 배출밸브를 수동으로 개방하여 1,4-Dioxane을 1층의 Portable 용기 또는 빈 드럼으로 회수된 1,4-Dioxane 용매는 반응공정으로 재투입 하는 공정을 거친다.

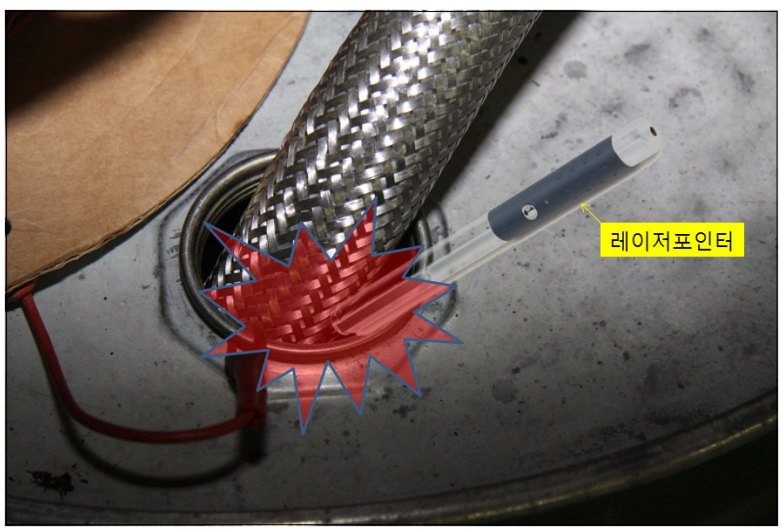
1.4.3.2. 사고발생 원인추정

리시버 탱크로부터 드럼으로 이송된 1,4-Dioxane은 드럼 내에서 Vapor가 발생하게 되며, 발생된 Vapor는 대기 중으로 개방되어 있는 드럼 주입구를 통해 확산되어 드럼 주입구 주변에서 폭발한계(2~22%) 농도를 형성한 것으로 추정되며, 폭발한계 내의 인화성가스는 정전기·기계적·전기적 점화원이 존재하는 경우 즉시 점화되어 폭발 또는 화재가 발생하게 된다. 당일 드럼 주입구로부터 발산되는 1,4-Dioxane의 증기를 제거하기 위하여 국소배기장치를 사용한 것으로 추정되나 후드의 위치, 국소배기장치의 제어풍속 등에 따라 1,4-Dioxane 증기를 제거하는 정도가 달라질 수 있다.

사고 현장에서 촬영된 CCTV를 보면 당일 작업자는 제전복이 아닌 개인별로 자유복(청바지 등 합성섬유제로 추정)을 입고 분주히 이동하는 장면이 곳곳에서 포착되었다. 이에 따라 사고발생 원인을 추정하여 보면, 1,4-Dioxane 증기로 폭발분위기가 조성된 상황에서 작업자가 플렉시블 호스를 꺼내거나 또는 호스 근처로 접근하는 순간 정전기가 방전되어 주위의 인화성가스가 폭발한 것으로 추정된다.

※ 10시10분14~15초까지의 CCTV 영상을 보면 드럼 앞에 서 있던 작업자가 드럼 쪽으로 상체를 구부리는 순간 폭발이 일어남

<그림 4-41> 맨손 또는 금속성 레이저포인터 근접에 의한 정전기 방전(추정)



사고 작업자들의 복장은 일반복을 착용하여 최소 인체에 축적된 정전기의 전위가 1,200V를 초과하게 되므로 허리를 구부린 작업자가 맨손으로 드럼 주입구에 근접하였다면 정전기가 드럼 주입구 등으로부터 인체로 불꽃 방전을 하여 폭발이 발생할 수 있다. 특히 손에 금속성의 레이저 포인터(3V, AAA×2EA)를 잡은 상태로 플렉시블 호스에 근접하는 경우에는 이러한 정전기 방전을 가속시킬 수 있다.

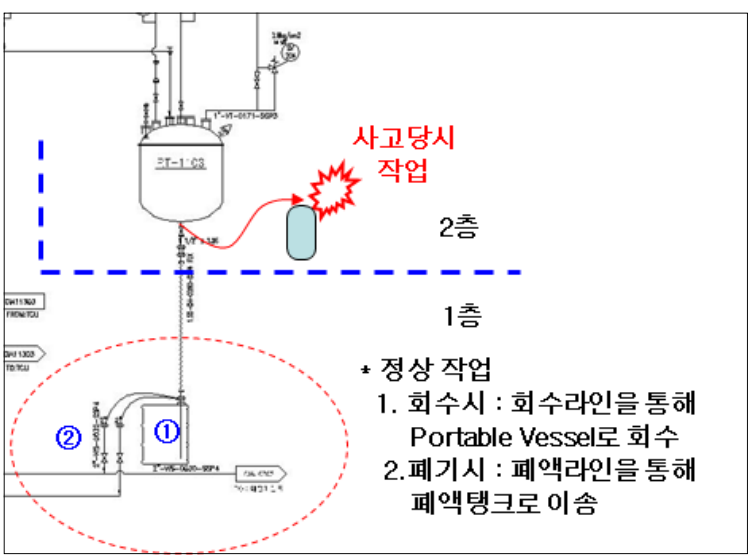
1.4.4. 사고발생 원인

1) 변경관리 절차 미준수

당초 설계된 용매회수 작업 방법을 변경을 하여 작업을 수행하는 경우에는 변경관리절차에 따라 위험성 평가를 실시하고 안전조치를 마련 후 작업하여야 하나 임의로 작업을 변경하여 실시하였다.

설계의도는 리시버탱크 내의 1,4-Dioxane 회수는 1층에 위치한 이동식 용기로 회수하는 것이었으나 사고당시에는 리시버탱크 내의 1,4-Dioxane 회수를 1층에 위치한 Portable vessel로 회수하지 않고 동일 층(2층)에 빈 드럼에 회수

<그림 4-42> 용매 회수 절차



PSM 대상설비 변경요소 관리내규에 따르면 공정, 기술, 작업절차, 설비 등을 변경할 때에는 변경요소 관리 절차에 따른 안전성 검토 및 점검 등을 실시하여 변경에 따르는 위험을 미연에 방지하고, 도면이나 운전절차서 등의 문서는 현장과 일치되도록 하여야 한다고 규정하고 있다.

따라서 초기 설계의도와 달리 1,4-Dioxane 용매를 2층에서 빈 드럼을 이용하여 회수하고자 하는 경우에는 "변경관리 위원회"를 구성하여 변경사항을 심의한 후 그 결과를 기록하고 변경관리에 관한 자체감사를 수립 · 시행하여야 하나 이러한 절차를 준수하지 않았다.

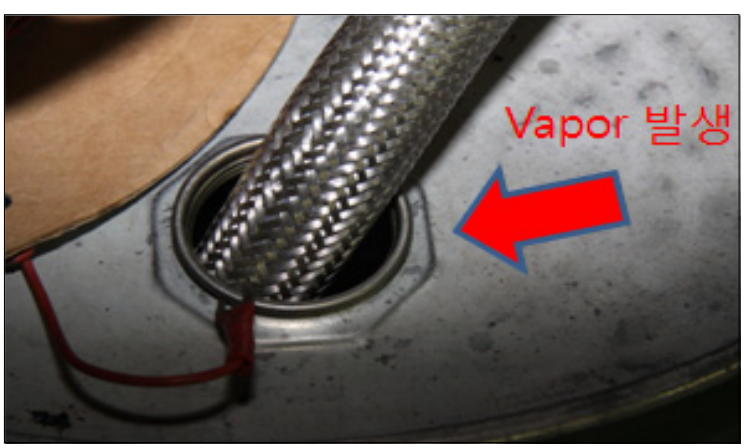
<그림 4-43> 1층의 이동식 용기모습



2) 인화성 액체 취급 시 안전조치 미흡

인화성 액체를 취급하는 때에는 인화성 액체의 증기에 의한 폭발분위기가 조성되지 않도록 환기 또는 불활성화 조치를 실시하여야 하나, 사고 발생 당시 질소를 이용하여 리시버탱크 내의 1,4-Dioxane을 빈 드럼으로 회수하는 과정에서 1,4-Dioxane의 증기가 드럼 주입구와 호스와의 틈새를 통해 외부로 유출된 후 드럼 주입구 주변의 공기와 혼합하여 폭발 분위기가 조성된 것으로 판단된다.

<그림 4-44> 드럼 주입구와 플렉시블 호스와의 간극



3) 정전기 발생 억제 조치 미흡

인화성 액체를 취급하는 경우에는 정전기로 인한 화재 · 폭발이 발생되지 않도록 취급설비에 접지 등의 조치를 실시하여야 하나 접지를 실시하지 않음에 따라 다음의 세 가지 상황을 고려할 수 있다.

<표 4-20> 정전기 발생경로 추정

접지 미실시에 따른 정전기 방전	
①	비도전성 플렉시블 호스를 이용하여 1,4-Dioxane을 드럼으로 이송하는 과정에서 인체대전에 의한 정전기적 방전
②	비도전성 플렉시블 호스를 드럼으로부터 꺼내는 순간 드럼 주입구와 비도전성 플렉시블 호스 간의 전위차에 의한 정전기적 방전
③	비도전성 플렉시블 호스의 말단에서 드럼내부로 1,4-Dioxane이 분출되며 발생하는 정전기적 방전

4) 안전운전절차에 대한 지식 부족

공정 운전 중 생산성 향상 또는 운전의 편리성 등을 고려하여 설비 또는 작업방법 등이 변경될 경우에는 변경요소 관리지침에 따라 변경을 실시하고, 그에 따른 안전운전절차와 위험성평가 결과에 대한 교육을 근로자에게 실시하지 않아 안전운전절차에 대한 지식이 부족한 것으로 추정된다.

1.4.5. 동종사고 예방대책

1) 비계획작업 또는 임시작업에 대한 변경관리 절차 준수

위험물을 드럼 등에 주입하는 설비를 사용할 때에 정전기에 의한 화재 또는 폭발 등의 위험이 발생할 우려가 있는 경우에는 접지, 도전성페인트, 유속의 제어, 방폭형 전기기계기구의 사용 등 점화원 관리를 철저히 하여야 한다. 해당 설비에 대하여 접지가 상시 보증될 수 있도록 확실한 방법으로 접지를 하거나, 용기의 이동 등으로 접지가 상시 보증될 수 없는 경우 정전기 방지용 페인트 등의 재료를 사용하여 정전기의 축적을 예방하여야 한다.

1,4-Dioxane과 같은 인화성 액체를 취급하는 장소에서는 유체의 유동·마찰·분출 등에 의한 정전기 발생을 억제하기 위하여 호스는 반드시 도전성 재질을 사용하고 충전 노즐과 호스는 본딩을 실시하여 등전위를 유지하며, 금속제의 드럼 용기는 접지를 실시하도록 한다.

2) 폭발 또는 화재 예방을 위한 통풍 · 환기 조치

1,4-Dioxane과 같은 인화성 액체를 취급하는 장소에서는 증기의 발산에 의한 폭발·화재를

예방하기 위하여 증기의 농도가 폭발한계 내에 들어가지 않도록 적절히 통풍 또는 환기 등의 제거 조치를 하여야 한다. 아래의 방법을 참고로 하여 당해 공정에 적합한 방법을 단독 또는 복합적으로 적용하여 사용하는 것이 필요하다.

1,4-Dioxane의 회수는 밀폐된 전용의 용기에 회수토록 하고, 이송 과정 중에서 발생하는 증기 또는 가스의 원활한 배출을 위해 벤트 구멍을 설치한 후 이로부터 배출되는 증기나 가스는 흡착탑, 스크러버 또는 소각설비 등 적절한 처리설비를 거치도록 하여야한다. 인화성 액체의 증기 발산을 억제할 수 있도록 질소 등을 이용하여 불활성가스로 치환한다.

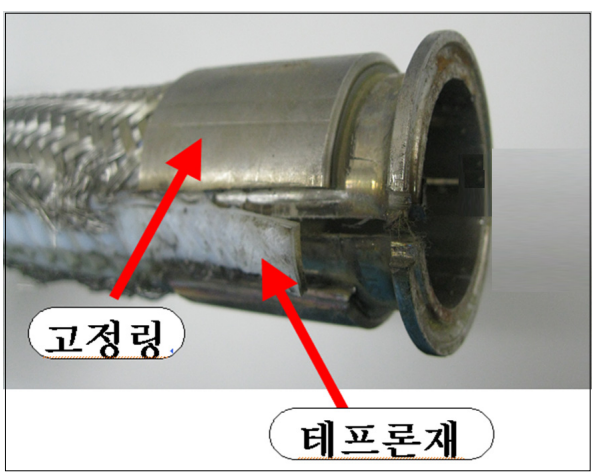
3) 정전기 등 점화원 관리 철저

1,4-Dioxane을 리시버 탱크로부터 드럼으로 회수하는 과정에서 초기 설계의도와 달리 2층에서 빈 드럼을 이용하여 용매를 회수하고자 하는 경우에는 공정안전보고서 안전운전계획의 변경관리 지침에 의거하여 변경관리 절차를 준수하여야 한다.

<표 4-21> 변경관리 절차 요약

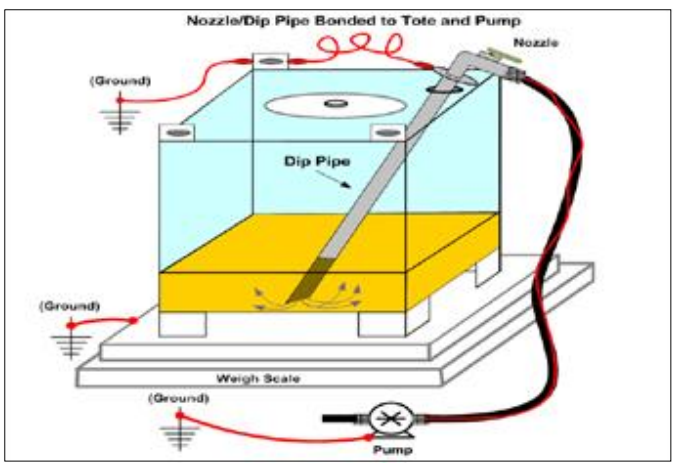
공정안전보고서 안전운전계획 변경관리 절차	
①	변경을 수행함으로서 추가되는 위험이 없도록 제안된 변경내용에 대한 위험성을 충분히 검토
②	변경의 결과로서 요구되는 새로운 절차와 자료 등을 검토하여 개정
③	변경에 관련된 안전운전절차서, 공정안전자료, 공정운전, 정비교육교재 및 설비·정비대장 등의 서류를 수정 또는 보완
④	위험성평가, 안전운전절차, 공정안전자료 등 업데이트된 내용에 대한 근로자 교육

<그림 4-45> 현장에서 사용된 비도전성 호스 구조



또한 용기의 충전은 접지가 되어 있는 배관이 바닥까지 연장되도록 구성하는 것이 바람직하며, 바닥까지 연장되어 있지 않는 경우 충전 파이프가 말단으로부터 약 150 mm 가량 잠길 때까지 1 m/s 또는 그 이하의 낮은 속도로 충전하여야 한다.

<그림 4-46> 이동식 용기에 인화성 액체 이송시의 안전조치



인체의 움직임 등에 의한 정전기 발생을 억제하기 위하여 제전복 착용, 습도 유지관리 등의 안전조치도 정전기를 제어하는데 효과적이다.

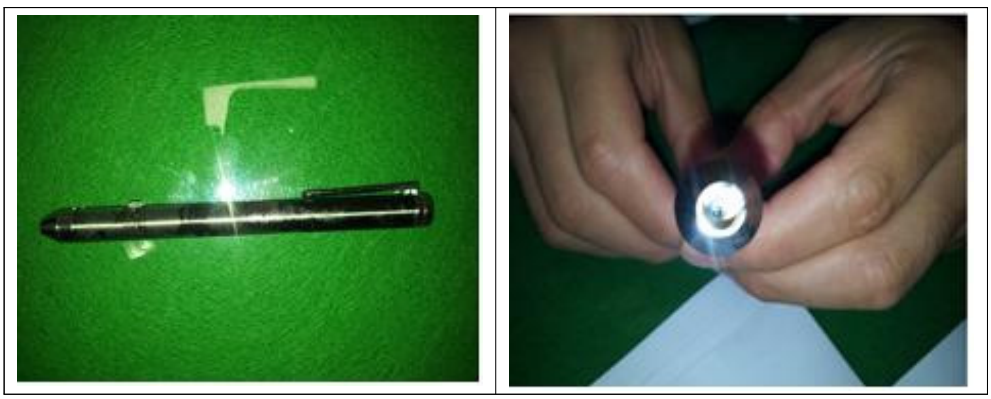
인화성 액체의 증기 및 가스 등을 취급하는 폭발위험장소 내에서 취급하는 모든 전기기계기구는 방폭형 전기기계기구를 사용하도록 하고, 비방폭형 전기기계기구(예: 손전등 등 전기기계기구) 사용을 엄격히 통제하여야 한다.

4) 1,4-Dioxane 회수용 드럼의 액위 확인방법 개선

해당 설비에 설치된 온도계, 압력계 등은 정비 및 관리를 철저히 실시하고, 1기가 오작동해도 정상측정이 가능하도록 추가로 1기를 설치하고, 측정게이지는 측정대상의 값에 적합한 Full Scale의 계기를 선정해야 한다.

밀폐된 금속 드럼의 경우 용기 내의 액위를 확인하기 위하여 플렉시블 호스를 꺼내 들고 손전등 등으로 직접 확인하는 방법은 전기적 점화원에 의한 화재·폭발의 우려가 있으므로 근본적으로 액위를 확인할 수 있는 레벨게이지 또는 저울 등을 설치하여 사용하는 것이 바람직하다.

<그림 4-47, 48> 현장에서 발견된 레이저포인터



5) 변경에 따른 안전운전절차 및 위험성평가 교육 철저

공정 운전 중 생산성 향상 또는 운전의 편리성 등을 고려하여 설비 또는 작업방법 등이 변경될 경우 변경요소 관리지침에 의거하여 변경을 실시하고, 그에 따른 안전운전 절차와 위험성평가 결과에 대한 교육을 근로자에게 실시하여야 한다.

1.4.6. 사고교훈

1,4-Dioxane을 200ℓ 드럼으로 회수하는 과정에서 발생한 대형 폭발사고로 소속 근로자 9명과 협력업체 소속 근로자 2명이 부상을 입어 그 중 8명이 사망하고 3명이 부상을 당한 이번 대형 폭발사고의 발생부터 대응까지의 과정에서 얻은 교훈은 다음과 같다.

1) 작업방법, 생산공정 등이 변경된 때에는 변경관리절차를 준수하여야 한다

2011년부터 가동을 운전을 시작한 공정에서 생산공정 변경, 생산량 증가 등으로 당초 설계된 작업 방법, 공정 등을 변경시에는 변경관리 절차에 따라 해당 분야 전문가가 위험성 평가를 실시하고, 그 결과에 따라 안전조치를 마련하고, 위험성 평가 결과, 변경된 작업절차 등에 대한 교육을 근로자에게 실시하여야 한다. 또한 생산 Cycle이 짧은 반도체 공정의 특성이 있다 하더라도 회분식공정의 운전변경은 반드시 공정안전관리제도에서 정하는 절차를 준수하여 안전을 확보한 후 운전하도록 하여야 한다.

- Batch 공정의 운전절차 준수
- 신제품 또는 신공정 개발에 대한 검증철저

- 위험성평가와 변경관리
- 위험공정에 대한 자동제어 기능 강화
- 설비의 제작기준과 정비체제 강화
- 옥내 Ventilation과 방폭설비 준수
- 기술교육과 교대근무 관리 철저
- 계량설비의 자동화 및 수작업에 대한 안전성 확보

2) 폭발분위기가 조성되지 않도록 점화원 관리를 철저히 하여야 한다

인화성 액체를 취급하는 때에는 인화성 액체의 증기에 의한 폭발분위기가 조성되지 않도록 불활성화, 환기 등의 조치 후에 작업을 실시하여야 한다. 인화성 액체를 드럼 등에 주입하는 설비를 사용할 때에는 정전기에 의한 화재 · 폭발 등의 위험이 발생할 우려가 있는 경우에는 접지, 본딩 등을 실시하고, 방폭형 전기기계기구의 사용 등 점화원 관리를 철저히 하여야 한다. 특히, 인체의 움직임 등에 의한 정전기 발생을 억제하기 위하여 제전복 착용, 습도 유지관리 등의 안전조치도 정전기를 제어하는데 효과적이다.

3) 실질적인 재해예방이 가능한 안전보건경영시스템을 구축하여야 한다

사고발생 한달 전 사고발생 공정 옆에 위치한 LCD재료 생산공정에 대한 안전보건진단 결과 도출된 설비 변경관리절차 준수, 정전기 예방조치 등의 지적사항을 전체 공장에 수평전개를 통해 적용할 수 있는 시스템이 구축되지 않은 것이 본 사고의 원인 중에 하나인 것으로 판단된다.

<표 4-22> 유사사례 1 : 유기용제 사용 반응기 세정작업 중 화재발생

발생일시	2005. 2. 25(목) 18:40
사고장소	경기도 의왕시 ○○○○○
피해내용	1명 사망
사고내용	합성수지실 수지제조공정 내에서 수지제조 작업을 종료한 후 피재자가 반응기 내부를 유기용제(xylene)로 세정작업을 하던 중에 「펑」하는 소리와 동시에 화재가 발생
원 인	반응기의 세정작업 시 유동 및 분출 정전기의 방전에 의해 화재

<표 4-23> 유사사례 2 : 회분식반응기 용제에 의한 폭발

발생일시	2007. 8. 25(토) 04:10
사고장소	전북 완주군 봉동읍 ○○○○○
피해내용	1명 사망
사고내용	회분식 반응기상부 맨홀을 열고 고체 원료를 투입한 후 용제인 톨루엔을 배관을 통해 투입하면서 맨홀 덮개를 닫는 순간 반응기 내부의 톨루엔 증기가 점화원에 의해 폭발하면서 맨홀 덮개가 재해자에게 충격을 가하여 사망한 사고
원 인	톨루엔 증기가 폭발하한인 1.2%를 초과한 상태에서 작업자가 맨홀 뚜껑을 닫는 과정에서 발생한 충격이나 작업자의 정전기에 의해 발생

2 환경처리설비 사고

2.1. 축열식 산화설비(RTO, Regenerative Thermal Oxidizer) 운전 중 폭발사고

2.1.1. 사고개요

2009년 9월 26일(토) 09:20분경 경주시 안강읍 소재 (주)○○○의 신규로 설치된 폐유정제시설인 감압정제유 공정에서, 공정에서 발생하는 폐가스인 비응축가스를 소각하는 시설인 축열식 연소 산화장치(RTO, Regenerative Thermal Oxidizer)를 가동하면서 RTO 전단에 설치된 기액분리장치(V-103)의 상부경판에서 RTO로 가는 플랜지에 잘못 설치된 파열판을 같은 경판에 설치된 Blind Flange로 옮겨 설치하던 중 폭발사고가 발생하여 상부경판에서 작업하던 근로자 2명이 사망하고 가액분리기를 비롯한 설비 일부가 폭발로 인해 파손되는 사고가 발생

<그림 4-49> 사고설비 모습

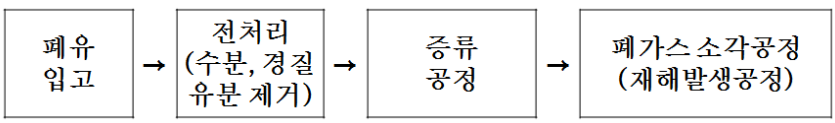


2.1.2. 사고발생 공정

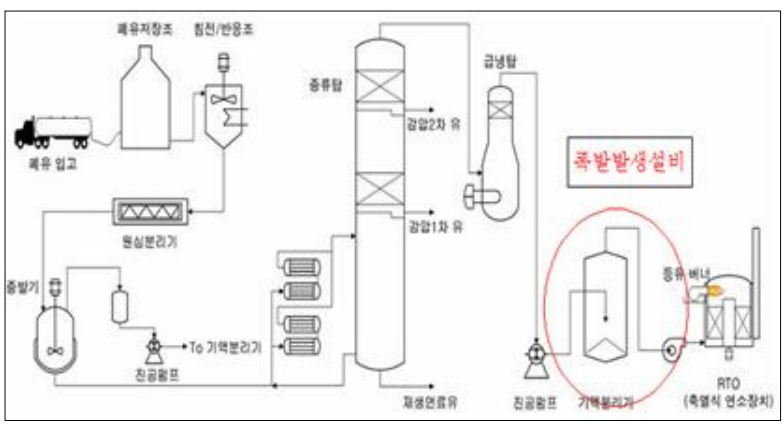
1) 사고발생 공정

감압정제유공정은 일반 공장에서 수거한 폐윤활유 및 폐유기용제를 상압저장탱크에 일시 저장

하였다가 펌프를 이용하여 공정으로 투입시켜 진공을 유지시키면서 고온으로 가열한 다음 증발된 기체를 냉각시켜 필요한 제품을 생산하는 공정이다.



<그림 4-50> 감압정제공정 흐름도

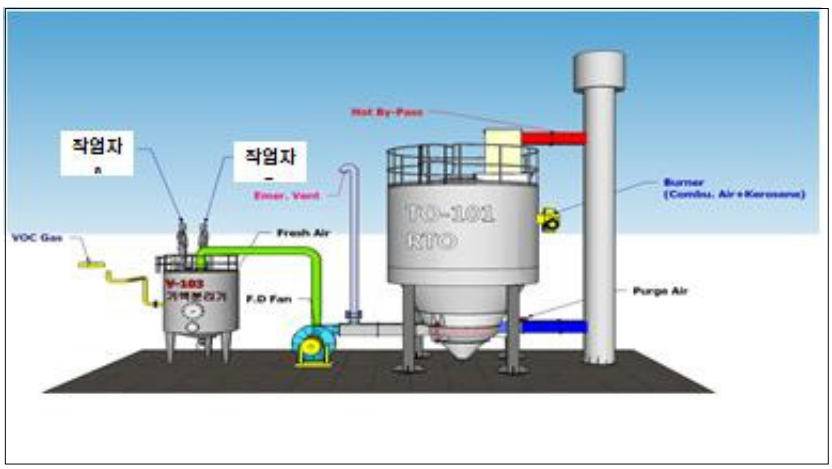


2) 사고발생 설비

축열식 연소산화설비(RTO, Regenerative Thermal Oxidizer)는 감압정제공정에서 배출되는 악취 및 VOC(Volatile Organic Compounds)를 고온에서 반응하여 무해한 H_2O와 CO_2로 산화, 분해시켜 휘발성유기화합물의 배출허용기준 이내로 배출하는 처리시설이다.

폐유의 감압정제과정에서 발생하는 가스 중 응축기(Quenching Column)에서 응축되지 않는 비응축가스는 Vacuum Pump의 흡인력에 의해 가액분리기로 이송되어 액체 성분을 분리하고 FD Fan을 거쳐 RTO의 Rotary Wing에서 연소 소각된 배출가스로부터 열을 회수 후 승온되어 연소실에서 소각처리 되고 그 후 배출되면서 도입 가스와 열교환을 반복하게 된다.

<그림 4-51> 폭발사고가 발생한 RTO설비



2) 사고원인물질

금번사고의 원인물질의 물질정보는 아래표와 같다.

<표 4-24> 배출되는 악취 및 VOC(Volatile Organic Compounds)물질

ㅇ 비응축가스					
물질명	CAS No.	인화점(℃)	폭발범위(%)	발화점(℃)	증기압(mmHg)
벤 젠	71-43-2	-11	1.2~7.8	498	75 at 20℃
톨루엔	108-88-3	4	1.1~7.1	480	28.4 at 25℃
경 유	68334-30-5	38	1.3~6	177	2 at 20℃
휘발유	8006-61-9	-43	1.2~7.6	280~456	-

2.1.3. 사고분석

2.1.3.1. 사고발생 과정

가액분리기에서 분리된 비응축가스는 상부 경판 노즐에 연결된 토출배관(8″)을 통하여 RTO로 이송되나 이 연결 플랜지 부분에 설치되어선 안될 파열판이 설치되어 가액분리기에서 비응축가스가 RTO로 토출되지 않아 가스의 흐름이 원활치 않고 가액분리기 전단의 공정측에서 가스가 역류되는 현상을 근로자가 확인한 후 파열판을 분리하여 인접 노즐에 재설치하기 위한 작업을 하기 위해 작업자 2명이 가액분리기 상부 경판에서 공정이 가동중인 상태에서 스패너 및 라쳇 렌치를 이용하여 파열판 및 맹판이 각각 설치된 플랜지(2곳)의 Bolt/Nut 해체작업을 실시함

- 09. 9. 21(월)~9. 23(수)까지 감압정제 설비 점검 및 정비 · 보수작업 실시
- 09. 9. 24(목) 18시경 가액분리기 상부 경판 가스토출배관(8″)에 파열판 설치작업 시작
- 09. 9. 25(금) 16시경 감압정제시설 재가동되었으나 공정에서 배출되는 비응축가스가 RTO에서 처리되지 못하고 진공펌프의 토출배관에서 가스가 누출되는 현상을 목격함
- 09. 9. 26(토) 9시 3분경 파열판의 설치위치를 잘못 알고 설치한 것 같다는 작업자의 말에 따라 RTO 설비를 피재자 중 1인(반장)이 점검하는 과정에서 RTO 전단의 가액분리기 상부설비를 점검하고, 이후 또 다른 피재자(정** 사원)가 합류하여 가액분리기 상부에서 파열판 및 맹판이 각각 설치된 플랜지(2곳)의 Bolt/Nut 해체작업을 작업을 실시
- 09. 9. 26(토) 9시 23분 40초 가액분리기 폭발

<그림 4-52> 가액분리기 폭발장면(현장 설치 CCTV 화면)



2.1.3.2. 사고발생 원인추정

1) 인화성 물질 및 폭발 분위기 형성 경로 추정

일반적으로 폐유 발생처(자동차 정비소 등)에서 수집해 온 폐유에는 자동차 나 각종 공장 기계설비 등에서 나오는 폐윤활유뿐만이 아니라 물, 메탄올, 아세톤, 메탄올, 크실렌, 톨루엔 또는 각종 Solvent류가 혼입되어 있음. 따라서 주 생산품인 재생연료유를 정제하는 과정에서 이와 같은 생산품보다 가벼운 물질이나 무거운 물질들은 제거되는데, 1차적으로 물과 슬러지가 제거되고, 진공하에서 승온하여 나머지 탄화수소류를 제거한다. 이때 증발된 탄화수소류는 진공

펌프 이전에서 대부분 응축되어 액화되나 일부 응축되지 않고 진공펌프에서 토출되는 증기(Vapor)는 VOC(Volatile Organic Compounds: 휘발성유기화합물)로서 환경처리 설비인 축열연소설비(RTO, Regenerative Thermal Oxidizer)로 보내져 소각처리 된다.

소각에 의한 비응축성가스 처리 시 연소장치로 유입되는 비응축성가스의 농도는 안전을 위하여 일반적으로 폭발한계 하한(LEL: Lower Explosive Limit)의 25%이하를 유지하도록 설계하고 있다. 사고 설비 역시 가액분리기 측면부의 Fresh Air Damper를 통해 외부 공기가 유입되도록 하여 폭발한계 하한의 25%이하가 되도록 의도하였으나, 사고 발생시에서는 가액분리기 상부의 Outlet Nozzle이 파열판으로 차단되어 있음으로 인해 F/D Fan(FA-01)의 입구측에서 야기되는 부압이 가액분리기로 미치지 못하여 Fresh Air가 유입되지 못한 것으로 추정된다. 이로 인해 가액분리기에는 공정에서 배출되는 Vapor 상태의 비응축성가스가 고농도로 농축되어 있었던 것으로 추정된다.

그러나 사고발생 후에 RTO설비와 관련한 자동조절밸브의 On/Off상태를 보면 가액분리기 측면에 설치된 Fresh Air Damper(AD-01)는 열려 있었고 현장에 설치된 판넬에 나타난 Fresh Air Damper조작밸브의 운전모드는 수동으로 설정된 것을 감안해볼 때 작업자들이 가액분리기에서의 작업을 위해 Fresh Air Damper를 조작하여 열어둔 상태로 작업을 하려고 했던 것으로 추정할 수 있다. 또한 사고발생과정이 녹화된 동영상을 보면 작업자가 가액분리기 상부로 올라가서 제일 먼저 작업한 것이 맹판이 설치된 노즐(8″)의 볼트를 푼 것으로 판단되며 이때 외부공기와 접촉이 가능한 것으로 추정된다.

따라서 공정이 가동중인 상태에서 피재자들이 가액분리기 상부의 Outlet Nozzle의 파열판을 제거하면서 F/D Fan의 흡입력으로 인하여, Fresh Air Damper와 Nozzle Flange부의 틈으로 외부 공기가 유입되면서 비압축성 가스가 희석되는 과정에서 폭발한계에 이른 것으로 추정할 수 있다.

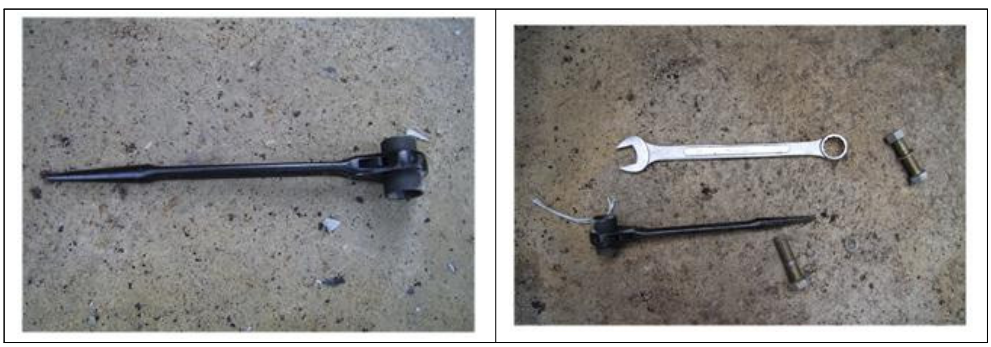
2) 점화원 추정

① 마찰에 의한 기계적 스파크(Spark)

8inch 크기의 파열판(Rupture Disk)은 가액분리기 상부 Nozzle과 RTO 전단의 F/D Fan으로 연결된 배관(NPS 200A)사이에 설치된 것으로, 하중을 지지한 적절한 지지대가 없는 이 배관의 하중으로 인해 파열판은 가액분리기 상부 Nozzle에 압착된 상태였을 것으로 추정

따라서 이러한 파열판을 분리하는 과정에서 현장에서 발견된 스패너 및 라쳇 렌치(Ratchet Wrench)을 사용하면서 금속재질의 Nozzle Flange나 배관 Flange부와의 마찰에서 기계적 스파크가 발생하여 점화되었을 가능성이 있음

<그림 4-53> 가액분리기 상부에서 작업자들이 사용한 스패너와 라쳇 렌치



② 정전기

파열판으로 인해 흡입구 측이 막혀 무부하 상태로 운전하던 Forced Draft Fan(흡입 유량 : 150㎥/min)이 파열판이 일부 제거되면서 협소하게 개방된 단면을 통해 급속도로 유입되는 VOC로 인해 개스킷(Gasket)으로 절연된 파열판이나 Flange부 선단에 축적된 정전기가 순간 방전되어 점화되었을 가능성이 있음

2.1.4. 사고발생원인

1) 직접원인

① 가연물은 폐유정제시 발생하는 비응축성 가스 중에 포함된 휘발유, 벤젠, 톨루엔 등의 인화성가스

② 점화원은 파열판 및 맹판 분리 작업 중에 사용한 스패너 등에 의해 발생한 정전기 및 마찰에 의한 스파크

2) 간접원인

① 공정가동중인 상태에서 안전조치없이 설비분리 · 개조작업 실시

– 아무런 안전조치 없이 인화성가스가 포함된 가동중인 설비에서 공구를 이용한 설비의 분리 및 개조작업을 실시함으로서 폭발사고가 발생함

② 작업전 작업에 필요한 안전작업절차 미작성

– 인화성물질을 취급하는 공정에서 응급조치나 보수, 분리 및 개조작업시에는 안전작업허가를 득한 뒤에 작업에 필요한 안전조치를 위해 안전작업 요령을 작성하여야 하나 이에 필요한 조치를 하지 않고 작업을 하다 사고가 발생

③ 작업자의 안전장치에 대한 무지와 작업방법에 대한 교육 미실시

– 작업요령을 작성한 뒤에 작업자에게 사전에 충분한 안전교육을 실시하여야 하나 이에 대한 실적을 확인할 수가 없으며 파열판에 대한 용도나 설치장소 등의 설비를 운전하는데 필요한 기본적인 상식이 결여된 상태에서 작업을 실시하였음

2.1.5. 동종사고 예방대책

1) 위험물 등이 포함된 설비가 가동중인 상태에서 작업금지

가동중인 설비에서 인화성가스가 포함된 용기에서 공구를 이용하여 개방 및 보수작업을 하는 것은 정전기나 스파크로 인해 화재폭발 사고를 직접적으로 야기시키는 행위이므로 설비가 가동중인 상태에서의 작업을 금하는 것이 필요하다.

2) 설비가 가동중인 상태에서의 분해·개조작업시 안전조치 실시

필요에 의해 가동중인 설비의 분해 · 개조작업시에는 사전에 관계 근로자에게 작업방법 및 순서를 정하여 교육을 철저히 하고 작업대상 설비에서의 누출 사고를 예방하기 위한 사전준비를 철저히 하여야 한다. 근본적으로는 설비를 가동중단하고 분해 · 개조작업을 하는 것이 필요하다. 또한 설비에서의 작업시는 용기내부의 인화성물질을 완전히 제거한 후에 작업을 하여야 하며 가스검지기를 설치하여 수시로 인화성 가스의 농도를 측정하여야 한다.

3) 근로자에 대한 교육실시

설비 가동전 대상공정 및 안전장치에 대한 교육을 철저히 하여 정상가동이나 비상시 작업자가 필요한 대응을 안전하게 할 수 있도록 하여야 한다.

4) 안전작업절차 확립

설비에서의 정상작업이나 이상작업 시 발생가능 한 화재나 폭발을 방지하기 위해 작업절차를 확립한 뒤에 공정을 가동하여야 하며, 설비이상 시에 필요한 응급조치를 위해서 안전작업허가서를 발행한 뒤에 작업에 필요한 안전절차를 수립하여 시행하여야 한다.

2.1.6. 사고교훈

인화성폐가스 소각설비는 생산설비 대비 상대적으로 안전하다는 잘못된 사고(思考)로 인해 공정설비에 못 미치는 설비관리, 보전활동 수준 등 관리소홀과 운전실수, 설부 보수 중 내부 체류 인화성가스에 인한 화재 · 폭발 우려가 크다. 이러한 잘못된 사고로 최근 환경설비 관련 화학사고가 증가하고 있은 점은 우리에게 시사하는 바가 크다.

특히 휘발성유기화학물(VOCs : Volatile Organic Compounds)을 대기압 분위기에서 소각처리하는 과정에서 정비 · 보수작업시 취급물질의 화재 위험성에 대한 인식 부족, 안전작업절차 미 준수 등으로 인한 화재 · 폭발 위험성이 높은 고위험 설비이다.

향후 이러한 기상의 상태의 고농도의 가연성 물질을 보유한 기액분리장치 정비 · 보수작업시에는 폭발 · 화재 위험성이 항상 존재하고 있으므로 반드시 해당 생산공정을 정지하고 설비내부 위험물을 제거하거나 불활성가스로 치환하는 등 위험물을 제거한 안전한 상태에서 정비보수 작업이 이루어 져야 한다.

2.2. 폐수집수조 폭발사고

2.2.1. 사고개요

'13. 5. 20(월) 10시 10분경 울산광역시 ○○○(주)의 제2 폐수 집수조에서 다른 공정에서 유입된 폐수 중의 탄화수소가 폐수 이송용 수직펌프의 회전축과 부싱(Bushing)의 마찰열 또는 스파크로 추정되는 점화원에 의해 폭발 및 화재가 발생하여 10여분 만에 진화된 사고임

<그림 4-54> 사고설비 모습

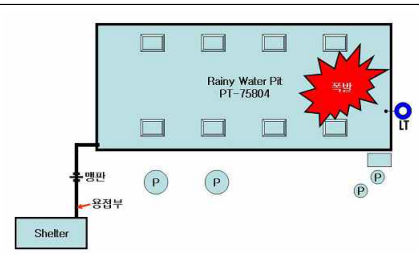


2.2.2. 사고발생 공정

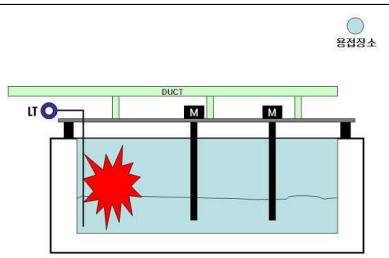
1) 발생과정

- 03:00 폐수집수조의 펌프A로 자동운전
- 08:15 펌프B수리작업을 위한 MCC차단기(Breaker) 잠금조치 작업 실시
- 09:30 일반작업허가에 따라 협력업체 작업자3명이 펌프B의 분해를 실시하여 해체완료 후 휴식을 위해1 집수조 건물에서 휴식장소로 이동
- 09:40분경 펌프C를 기동
- 10:8분경 펌프C를 운전하다가 펌프A로 전환하여 기동
- 10:10분경 집수조에서 폭발 및 화재가 발생

<그림 4-55> 사고발생 폐수집수조 개요도



평면도



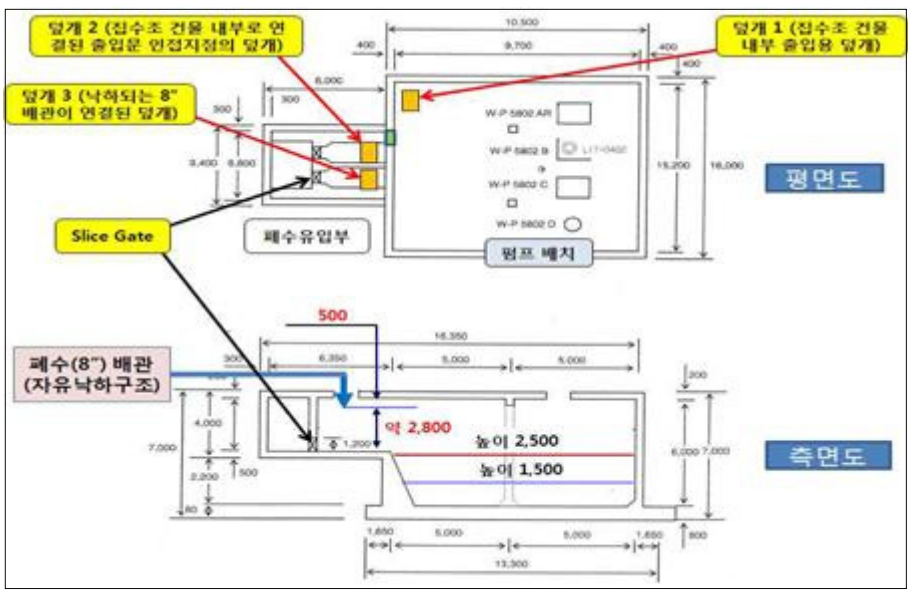
측면도

2) 사고발생 폐수집수조

◉ 폐수집수조(W-S000 : #2 Collection Pond)

- 규격 : 폭 10,000 × 길이 15,500 × 깊이 8,000 (㎜)
- 연결공정 : No.0 CDU, No.1 BTX, 연구소, 실험실, 식당 등
- 폐수집수조에서 발생하는 가스는 흡수탑 및 축열식소각로(RTO)를 통해 소각처리
- 폐수배관 중 8″ 배관은 약 2,800 mm 정도 자유 낙하하는 상태로 설치되어 있으며(그림 참조), 동일한 구조로 자유 낙하되는 3″ 배관은 미사용 상태였음

<그림 4-56> 폐수집수조 설치 도면



2.2.3. 사고분석 및 추정원인

집수조 내부는 각종 공정으로부터 탄화수소가 함유된 폐수가 유입되므로 폐수로부터 증발된 인화성가스 및 집수조 내부와 연결된 배기팬 가동으로 공기가 유입되므로 폭발범위를 형성할 가능성이 있으며, 점화원만 제공된다면 화재폭발 사고 이어질 수 있는 위험장소로 점화원 추정은 아래와 같다.

(1) 펌프A(WP-0000AR) 가동 중 이상으로 인한 점화 가능성

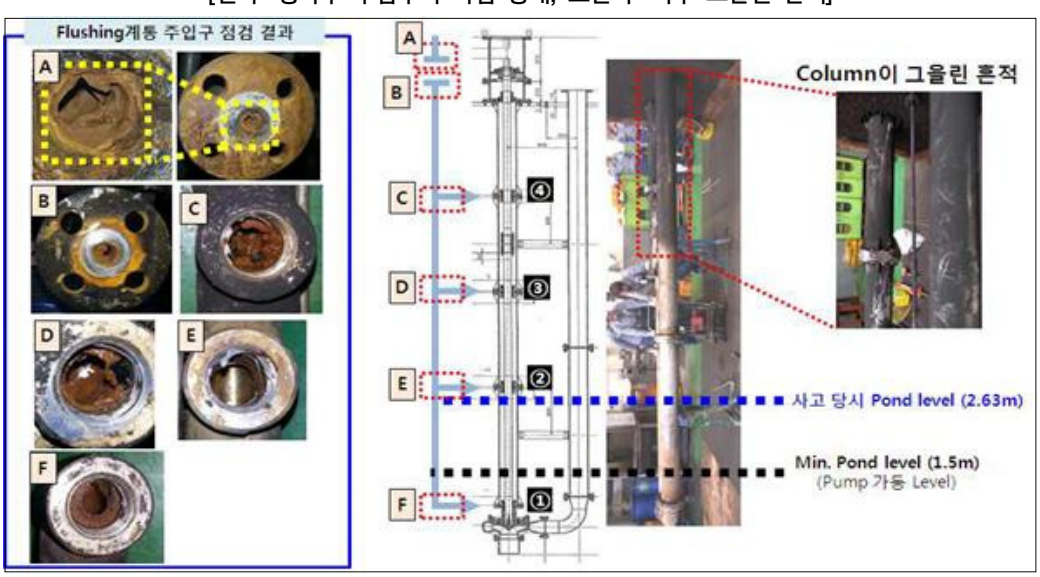
◉ 2013년 6월 3일 펌프A 인양 후 분해검사 실시 결과 2-1표와 같은 상황이 확인됨

<표 4-25> 사고후 펌프확인 결과

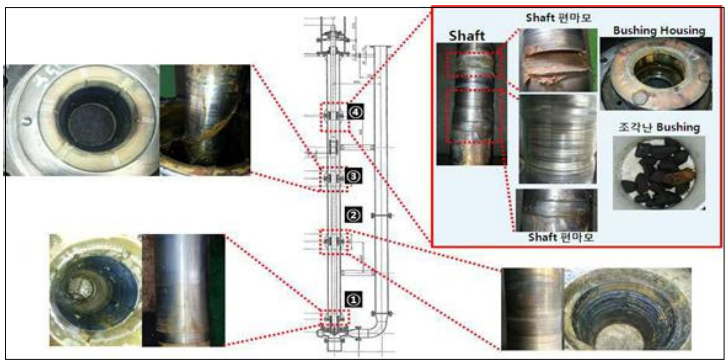
외부 점검결과	내부 점검결과
① 부싱 냉각수(Bushing Flushingwater) 공급 배관에 Fouling(침전)발생 흔적 있음 ② 수직축 지지용 배관(Column Pipe)상부에 그을린 흔적 있음 ※ 집수조 내부 폭발 후의 화재로 인한 흔적임 ③ 사고 당시 집수조 액위는 약 2.63m 이었으며, 1번 Bushing만 수중에 잠긴 상태였음	① Pump 축의 Bearing 역할을 하는 Bushing 중 가장 상부 측인 4번 Bushing(Carbon Graphite 재질)은 Shaft와 심한 마찰로 여러 조각으로 파손됨 ② Shaft는 Bending되었고(Run-out:4.56mm), Bushing Housing과 심하게 접촉되어 편마모 발생됨 ③ 4번 Bushing Housing의 냉각수 주입구(Flushing Port)는 이물질로 막혀있었음

<그림 4-57> 펌프A(WP-0000AR) 외부 점검결과

[왼쪽: 냉각수 주입구의 막힘 상태, 오른쪽: 외부 그을린 흔적]



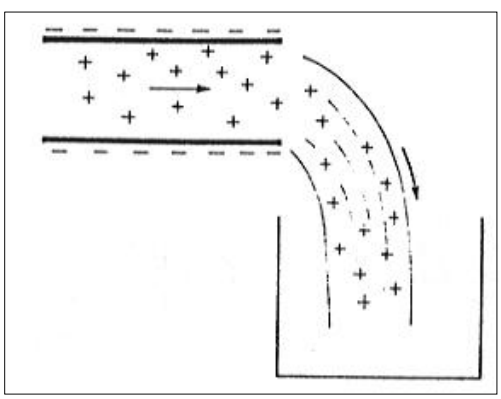
<그림 4-58> 펌프A(WP-0000AR) 수직축 점검결과
[4번 부싱의 파손상태 및 해당 축의 마모상태]



(2) 폐수 유입에 따른 정전기로 인한 점화 가능성

일부 폐수배관(8″ 배관)이 침액배관이 아닌 집수조 상부 맨홀에 직결되어 이러한 배관을 통해 유입되는 폐수는 유입 시의 유동대전, 분출 시의 분출대전 및 낙차로 인한 교반(진동)대전 등으로 발생된 정전기 자체가 <그림 4-59>와 같이 직접 점화원 역할을 하였을 가능성이 있음

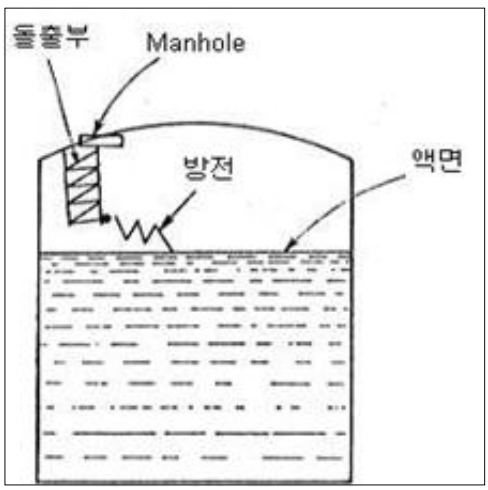
<그림 4-59> 배관에서의 정전기 발생 개념도



(3) 폐수액면에 축적된 정전기가 집수조 내부의 돌출된 도체간 방전

폐수배관을 통해 폐수 유입 시 발생되는 유동대전, 분출대전 및 집수조 유입 시의 교반대전 등에 의해 발생된 정전기가 폐수면에 축적되어 유동되면서 폐수조 내부의 돌출된 도체(미상)와의 사이에 방전이 발생하여 <그림 4-60>과 같이 점화를 일으킬 가능성 있으나, 이번 사고는 수직축의 마찰열에 의한 가능성이 높은 상태임

<그림 4-60> 액표면에서의 정전기가 방전되는 상황의 개념도



(4) 전기설비에 의한 점화 가능성

집수조 피트 내부에는 전원이 투입되는 계기(액위계는 Air bubble 타입임) 또는 전기설비가 없고, 집수조의 피트 외부(펌프 설치지점 및 폐수 유입부)는 전체가 폭발위험지역으로 구분되어 비방폭형 전기설비가 없으며, 또한 방폭형 전기설비의 이상에 의한 점화 흔적이 발견되지 않으므로 전기설비에 의한 점화가능성은 희박한 것으로 판단됨

(5) 다른 작업에 의한 점화 가능성

집수조 내부에서 펌프 해체 및 수리 작업을 하던 작업자 3명은 폭발사고 발생 약 10분전에 해당지역을 떠난 상태이고 별다른 작업이 없어 가능성이 희박한 것으로 판단됨

2.2.4. 동종사고 예방대책

1) 연료(가연물) 통제

(1) 집수조에 탄화수소 유입 방지

집수조에 고농도의 탄화수소 또는 고분자의 탄화수소가 가능한 한 유입되지 않도록 해당 공정에서 유수분리 또는 증발 등을 통한 처리 또는 우회하도록 조치할 필요가 있다. 현재 집수조 구조상 고분자 탄화수소를 배출할 수 없으므로 주기적으로 집수조 내용물을 Sampling 및 분석하여

탄화수소의 농축량 증가 시 Vacuum Car 등을 이용하여 제거하도록 할 필요가 있다.

(2) 집수조 탄화수소 농도 관리

집수조 내부(폐수 인입부 근처)에 인화성가스감지기를 설치하고, 집수조 내부의 탄화수소의 농도가 상시 폭발하한농도(LEL)의 25% 이하로 유지되도록 집수조 내부의 탄화수소 농도가 증가될 경우에는 공기를 강제로 주입하는 등의 조치와 함께 RTO 측의 배기팬의 풍량을 증가시키는 등의 조치가 필요하다. 또한 집수조 건물 내부 및 외부에 가스감지경보용 경광등 및 사이렌을 설치하여 작업자들이 대피할 수 있도록 조치할 필요가 있다.

(3) 집수조 출입 시 가스농도 측정

집수조 내부에 상시 가동되는 포위식 및 외부식 후드가 설치되어 발생되는 가스가 배출되고 있으나, 배기팬 가동 중단 등에 따른 유해 및 위험가스의 체류가 우려되므로 집수조 내부에 출입할 경우에는 내부의 가스농도를 측정하여 이상이 없는 상태에서 들어가고, 또한 집수조(펌프 설치지역)에 출입한 상태에서 가스감지경보기가 작동되는 경우에는 즉시 대피하도록 운전절차에 반영하여 관리할 필요가 있다.

2.2.5. 사고교훈

여러 공정의 폐수를 동시 처리하는 경우 생산공정 별 상이한 정비기간 등으로 정기적인 정비·보수가 이루어지지 않아 운전 중 파손 등으로 인한 사고위험이 높은 점을 감안, 폐수펌프, 환기팬(Blower) 등에 대한 설비 보존활동 수준의 상향이 필요하다.

최초 설치 시 내구성이 긴 제품으로 선택하여 자체 운전수명을 높이거나, 정기 보전작업이 지연될 경우 진동 등 설비상태에 대한 모니터링 등 관리활동 강화, 장기적으로는 Stand-by 개념의 예비설비 보유 확대를 통한 설비 보전수준의 강화가 요구된다.

이와 더불어 공정용 폐수집수조 밀폐구조 내부에는 인화성가스검지기 설치로 내부 위험분위기 상시 모니터링 및 제어를 통해 폭발하한농도(LEL)의 25% 이하로 유지하고, 집수조 외부에 가스감지경보용 경광등 및 사이렌 등 경보설비 설치와 가스검지기 연동을 통해 설정농도 초과시 신속한 경보를 통해 내부 및 인근 작업자 대피 유도하는 등 폐수처리 설비의 위험성을 인식하고 비상시를 대비한 안전설비, 경보설비 등의 설치가 필수이다.

2.3. 공공하수처리시설 폭발사고

2.3.1. 사고개요

2011.12.09(금) 15:30분경 경기도 의정부시 공공하수 처리시설 내 소화조 기계실 지하 1층에서, 배관지지 작업 중 작업자가 인화성 가스가 폭발범위 내에 있는 것을 인지하지 못한 상태에서, 점화원으로 추정되는 라이터를 켜는 순간 화재 · 폭발이 발생된 사고임

<그림 4-61> 지하 1층에서 인화성 가스(메탄)가 폭발하여 소화조 건물 및 시설이 반파된 전경



(사진출처 : 의정부시청 공공하수 처리시설 하수처리과)

2.3.2. 사고발생 공정

1) 사업장 개요

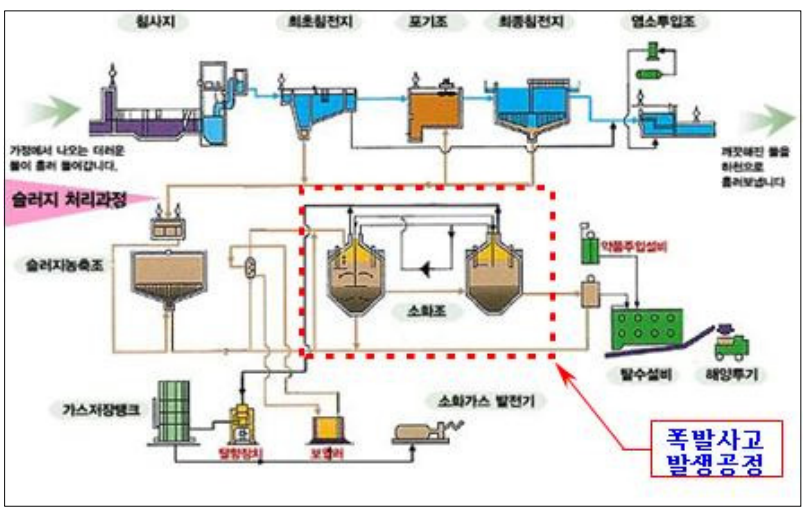
사고 사업장은 의정부시에서 발생하는 오염된 생활하수를 방류수질 기준에 적합하게 처리한 후 하천에 방류하여 수질오염방지 및 공중위생을 향상시켜서 주민의 생활환경을 깨끗하게 유지시키는 공공사업을 운영

2) 재해발생 공정

폭발사고가 발생한 공공하수 처리시설 내 소화조는 농축 슬러지(오니)중에 유기물을 혐기성

미생물을 이용하여 유기물 등을 분해해서 슬러지를 감량하고, 이때 발생한 소화조 발효 소화가스(메탄가스 등)를 소화조 가온용 보일러를 가동하는 연료로 사용하고 있으며, 전체 폐수(오니)처리 공정도에서 소화조는 다음과 같은 공정에 해당됨

<그림 4-62> 폐수(오니)처리 공정도



3) 소화조 발효 소화가스(인화성 가스 등)의 조성 비율

성분	메탄(CH_4)	탄산가스 (CO_2)	질소 (N_2)	황화수소 (H_2S)	수소(H_2)
비율	60%	30%	약 10% 이하		

- 메탄가스의 인화점 : −188℃, 발화점 : 538℃
- 메탄가스의 폭발범위(연소범위) : 폭발 하한계(LFL) 5.0Vol%, 폭발 상한계(UFL) 15.0Vol%

2.3.3. 사고분석

사고는 2011.12.9(금)에 발생되고 사고조사는 2012.1.4(수)에 실시된 관계로 사고당시 작업들의 진술에 의한 사고발생 과정은 다음과 같이 정리됨. 사고당일 오후 13:30~14:30경에 공공하

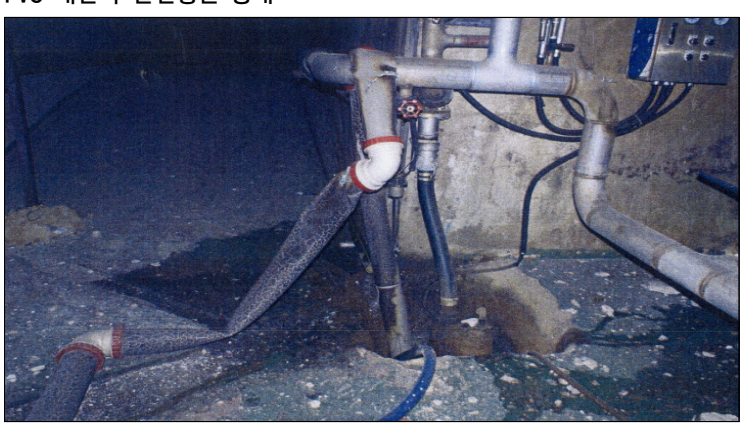
수처리시설 중 소화조 기계실 지상 1층에 설치된 세퍼레이터(수분분리기)에서 지하 1층 집수정까지 연결하는 PVC 배관작업을 마치고 근처에서 휴식을 취하고 있었음

휴식을 취하고 있던 작업자중 1명이 15:30분경 소화조 기계실 지하 1층으로 단독으로 내려가서 PVC 배관을 점검하는 도중 지지상태가 불량한 배관을 나일론 끈으로 묶고 가위로 절단한 후 나이론 끈의 끝단부를 가열하여 풀리지 않도록 하기 위해 휴대용 라이터를 켜는 순간 지하 1층에 설치된 배관에서 누출되어 체류되고 있던 인화성 가스(메탄가스 등)에 점화되어 폭발사고가 발생

폭발사고로 발생한 화염에 의해 해당 작업자는 전신에 화상을 입었고 폭발압력에 의해 지하 1층(폭발장소)의 천장(콘크리트)에는 구멍이 뚫렸으며 폭발장소의 상부인 지상 1층에 설치된 소화조 기계 · 설비가 충격과 파편으로 파손되고 건물 벽의 일부가 반파되는 등 인적 · 물적 사고가 발생되었으며, 재해발생과정을 요약하면 다음과 같다.

PVC 배관 추가 연결작업 → PVC 배관 연결부 또는 트렌치(개구부)에서 인화성가스(메탄가스 등) 누출 → 피재자가 PVC 배관 지지작업 실시(나일론 끈으로 묶는 작업) → 나일론 끈의 끝단부가 풀어지지 않도록 라이터 불로 녹이는 작업을 하기 위해 라이터를 켬 → 작업장소인 지하 1층에 체류되어 있던 인화성가스(메탄가스 등)에 점화되어 폭발사고 발생

<그림 4-63> 소화조 지상 1층 배수구/배기구(70cm×45cm)를 통해서 지하 1층으로 연결된 PVC 배관(지름 10cm)으로 화재·폭발 시 화염에 의해 PVC 배관이 열변형된 상태



2.3.4. 사고발생 원인

1) 체류된 가연성가스 누출경로

소화조의 가스교반 순환펌프(블로워)에서 발생된 수분이 포함된 인화성 물질(기체 · 액체 · 메탄가스 등)을 제거하기 위해 지상 1층에 설치된 세퍼레이터(수분분리기)와 지하 1층의 집수정까지 추가로 연결 시공한 PVC 배관 이음부에서 누출되었거나, 트렌치(개구부)가 개방된 상태에서 지하 1층에 설치된 다른 기존의 배관이음부에서 인화성 가스(메탄가스 등)가 누출되었을 가능성이 있음

※ 가스교반 순환펌프(블로워) : 소화조의 슬러지에 포함된 유기물의 분해반응을 활성화시키기 사용하는 것으로 소화조 상부에 설치 사용

※ 세퍼레이터(수분분리기) : 가스교반 작업 시 발생하는 인화성가스(메탄가스 등)와 수분을 분리하기 위하여 지상 1층에 설치한 기계장치

2) 폭발사고 발생과 점화원

위의 원인에 의해 누출된 인화성가스(메탄가스 등)가 지하 1층의 제한된 밀폐된 공간에 체류된 상태에서 피재자가 라이터(불꽃 점화원)를 사용

<그림 4-64> 가스폭발이 발생한 소화조 지하 1층에서 피재자가 PVC 배관지지 작업 중 화기(라이터)를 사용하여 작업하였을 것으로 가정하여 재연한 모습



2.3.5. 동종사고 예방대책

1) 화학설비와 그 부속설비의 개조·수리 및 청소작업 시 안전조치 철저

화학설비와 그 부속설비의 개조 · 수리 및 청소 등을 위하여 해당 설비를 분해하거나 작업하는 경우에는 다음과 같은 안전조치를 하여야 함

① 작업책임자를 정하여 해당 작업을 지휘하도록 하여야 함

② 작업 장소에 위험물질이 누출되지 않도록 할 것

③ 작업장 및 그 주변의 인화성 액체의 증기나 인화성 가스의 농도를 수시로 측정할 것

2) 화재 및 폭발 위험장소에서 가스농도측정 및 통풍·환기 실시

인화성 액체의 증기, 인화성 가스 등이 존재하여 폭발이나 화재가 발생할 우려가 있는 장소에서는 체류하는 가스가 축적되지 않도록 통풍 · 환기 등의 조치실시

※ 가스의 농도가 인화 하한계 값의 25% 이상으로 밝혀진 경우에는 즉시 근로자를 안전한 장소에 대피시키고 화기나 그 밖에 점화원이 될 우려가 있는 기계·기구 등의 사용을 중지하며 통풍·환기 등을 실시

3) 화재·폭발의 위험이 있는 장소에서 화기사용 금지 교육

가연성 가스를 이송하는 화학설비 및 배관 등이 있는 지역에서는 화재 · 폭발이 발생할 수 있는 위험장소 이므로 어떠한 경우라도 점화원이 될 수 있는 화기(라이터, 용접작업, 마찰열 등) 작업을 하지 않도록 안전교육 실시

4) 인화성 가스를 이송하는 배관의 누출방지관리 철저

인화성 가스를 이송하는 배관을 추가로 설치(임시설치 포함)하는 경우에는 가스가 누출되지 않도록 철저히 시공하도록 하고 기존에 설치된 배관은 배관이 녹슬거나 노후도가 진행됨에 따라 가스가 누출될 가능성이 있으므로 주기적으로 점검 · 측정하여 사고가 발생하지 않도록 관리체계를 확립

2.3.6. 사고교훈

외주 작업의 경우 실질적인 작업자는 현장의 위험성에 대해 알지 못하고 그간의 작업 경험에 의해 작업한다는 가정아래 작업 전 사전 교육을 통해 작업현장의 위험성, 금지행위 등 정보를 제공하고 작업 전 가스 농도측정, 중식 같은 작업 중단 후 재개 전에도 다시 가스 농도를 측정하는

등 원청사의 안전보건 책임을 이행하여야 한다. 특히 일반적으로 폐수처리설비의 가연성가스의 발생여부를 모르고 공정지역 및 생산설비 대비 상대적으로 안전하다는 사고에 익숙한 정비보수작업자의 경우가 많음을 간과해서는 안된다.

향후에는 모든 외주 협력업체에 의한 작업시에는 현장 출입전 교육, 장비확인 등 아래의 사항에 대한 관리를 철저히 하여야 한다.

- 작업전 당일 작업을 위한 외주 협력업체별 안전교육을 강화하고, 위험지역의 화기작업등 위험작업에 대해서는 작업현장에 맞춘 주의 및 준수사항에 대해 집중전달
- 외주 협력업체별 반입 장비에 대한 꼼꼼한 확인을 통해 해당 작업에 필요하지 않거나, 안전장치 미부착, 외형등에 심한 손상이 발견된 불안전한 장비는 현장 반입을 원천 차단
  - 특히, 전기용접케이블, 전선 등은 절연피복 상태를 전수 확인하여 절연상태 불량, 도선노출 부위 등이 있는 경우 즉시 절연테이핑 또는 전반적인 상태 불량 시 반입금지
- 용접, 용단, 절단, 사상 등 화기작업에 따른 불티 비산방지포, 작업에 필요한 개인 보호장구 보유 및 착용상태도 확인하고 출입전 전원착용 등 조치

3 국외사고

3.1. 영국 Flixborough 사이클로헥산(Cyclohexane) 증기운 폭발사고

3.1.1. 사고개요

1974. 6. 1(토) 16:53분 영국의 Flixborough에 위치한 Nypro(UK)사의 카프로락탐(나일론의 원료) 공장(7만 t/y)에서 임시 배관의 파열로 인해 비등점 이상으로 운전 중인 사이클로헥산이 누출되어 200톤 이상 누출량 중 30톤이 증기화되고 누출 후 45초 후에 증기운 폭발이 발생되어 공장전파, 사망 28명, 부상 400명(주민포함), 경제적 손실이 1974년 미화 기준으로 약 5,000만 달러에 이르는 막대한 피해가 발생되고 유럽과 미국의 화학공장 안전기준이 대폭 강화되는 계기가 된 대형 폭발사고임

<그림 4-65> 사고전 · 후 공장모습



사고전



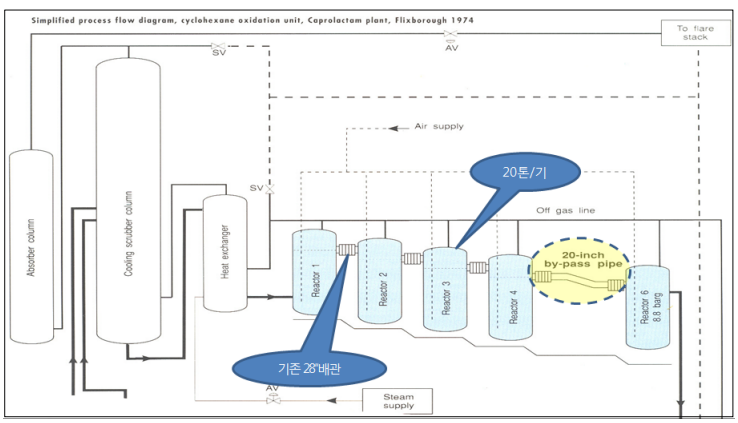
사고 후

3.1.2. 사고발생 공정

연간 카프로락탐(나일론의 원료) 70,000톤 생산용량으로 155 ℃, 8.8 bar에서 Cyclohexane을 산화시켜 Caprolactam을 생산하도록 설계되었으며, 6개의 연속된 반응기(1/2″ 탄소강과 내부에 1/8″ 스테인리스강 크레드) 중 1개에서 누출이 발견되어 수리를 위해 반응기를 연속공정에서 분리하고 전후단의 반응기를 잇는 20″ 의 임시배관 설치작업을 사고발생 2달 전에 실시하고 운전 중 사고 당일 임시배관 파열로 고온의 Cyclohexane이 누출되어 일정시간 경과 후 대규모

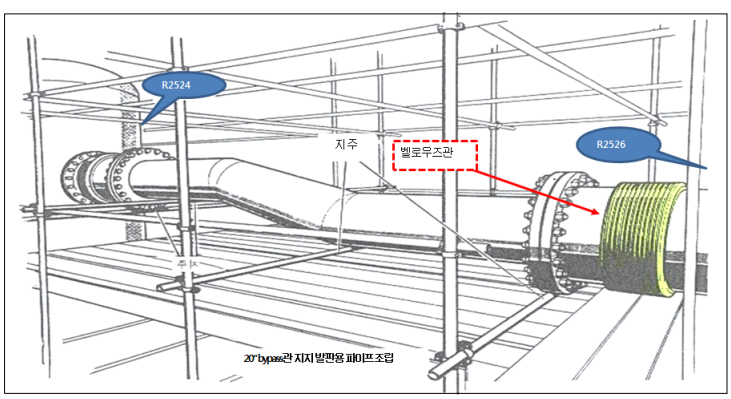
증기운폭발(Vapor Cloud Explosion) 발생

<그림 4-66> 반응기 주변 개략도



임시배관은 당초 28″ 배관의 공장 예비배관이 없어 보유 중인 20″ 벨로우즈배관으로 설치함

<그림 4-67> 임시배관 설치상태



3.1.3. 사고발생 원인

1) 28″ 배관 대신 무자격자의 잘못된 계산에 의한 20″ 임시 벨로우즈로 설치

2) 임시배관의 파열시 피해예측 및 대응시나리오 전무

3) 기존배관 보다 적어진 배관규격에 의한 과압발생, 과도한 길이의 임시배관의 임시고정 등에 의한 진동발생으로 대형배관 파열조건 가속

4) 150℃이상의 고온 Cyclohexane이 200톤 이상이 누출되어 약 45초 후 30톤의 증기운이 발생되어 전체 공장에 퍼짐

5) 확산된 30톤의 증기운이 원인 미상의 점화원에 착화되어 개방계증기운폭발(UVCE, Unconfined Vapour Cloud Explosion) 발생

3.1.4. 동종사고 예방대책

동종사고 예방대책으로는 공정설비의 변경관리 시에는 당초 설계 및 건설시 기준을 준수해야 하며 어떠한 상황에서도 본래의 설계기준에 못 미치는 변경은 불허되어야 한다는 것이며, 이는 철저히 준수되어야 하는 원칙이다. 대형 증기운 폭발사고의 규모와 피해를 경험한 유럽과 미국 등에서는 관련규정, 연구 등 후속조치가 시행되는 시발점이 됨

1) 증기운 폭발에 대한 연구 시작

2) 에너지에 관한 특별보험사와 분야가 탄생

3) 보험적 측면에서 에너지재해에 대한 기술적인 접근이 이루어짐

4) 설비변경(MOC, Management Of Chang)의 위험을 인식

또한 이러한 사고가 미친 영향은 매우 광범위함

1) 잠재위험성이 큰 시설에 대한 사회적 관리 및 위치설정

2) 잠재위험성 물질의 저장인가, 압력용기시스템에 대한 법규제

3) 잠재위험성이 큰 시설의 관리조직, 안전성과 생산성과의 중요도 비교

4) 기술기준 및 법규의 적용, 플랜트에 있어서의 저장량의 제한

5) 제어 및 기타 건물의 설계와 배치 및 플랜트의 제어 및 계장

6) 결함을 발견한 후의 플랜트의 재가동

7) 플랜트 및 프로세스 변경에 대한 관리

8) 플랜트 출입에 대한 보안관리 및 긴급시의 대책 등

3.1.5. 사고교훈

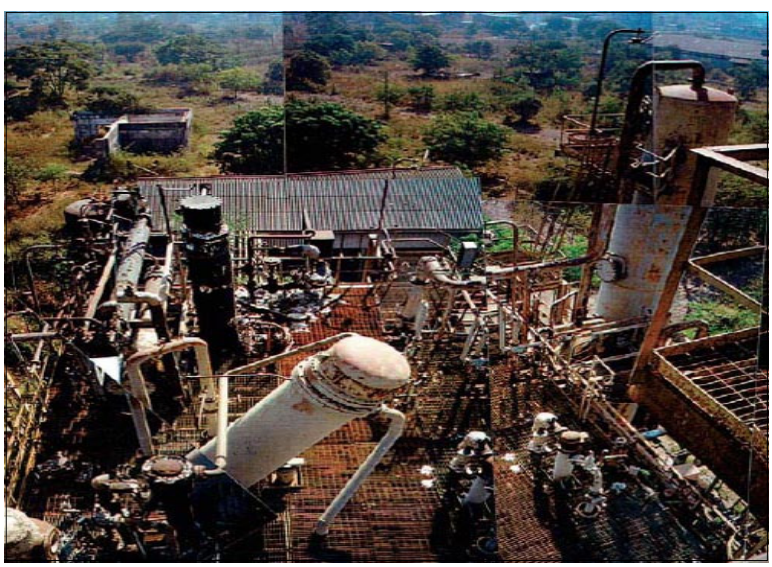
당시 사고조사보고서에 적시된 "어떠한 변경도 원래 공장과 동일한 기준으로 설계, 건설, 유지되어야 한다" 라는 원칙은 어떠한 경우가 있더라도 철저한 준수되어야 한다. 이러한 사소한 원칙의 미준수가 사망 28명, 부상 400명 이상이며 전파된 공장은 복구되지 못하고 영구 폐쇄되는 참혹한 결과를 초래한 것이다.

3.2. 인도 아이소시안화 메틸(Methyl isocyanate, MIC) 누출사고

3.2.1. 사고개요

1984년 12월 2일 인도중부의 보팔(Bhopal)에 있는 Union Carbide India Ltd의 MIC(Methyl isocyanate) 저장탱크에서 독성물질인 MIC가 약 30톤이 대기로 누출·증발되어 공장 근로자 및 주민 중 약 2,000명 이상이 사망하고 5,000명 이상이 중상을 입었으며 10만명 이상의 피난민이 발생한 금세기 최대의 화학사고이다.

<그림 4-68> 사고 공장모습



3.2.2. 사고발생 공정

1) 발생과정

① 평소, 지하에 설치된 탱크 3기(각 100 ton)에 MIC가 저장되었고, MIC 자체가 휘발성이 강하기 때문에 탱크주위에 냉매를 공급하여 MIC증발을 억제하고 탱크내의 온도를 0 ℃로 운전함(탱크에는 온도계 및 액면계만 설치됨)

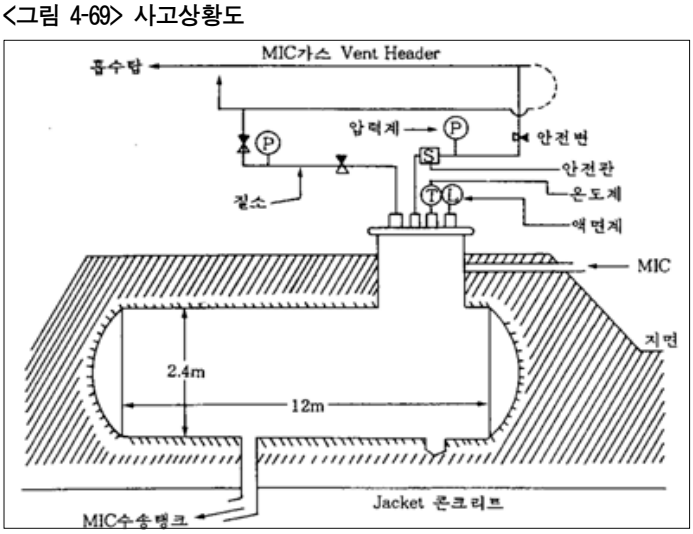
② 만약, 탱크의 온도상승으로 MIC의 증기압이 40 psig가 되면 안전밸브가 작동되고, 배출된 MIC(증기)는 일단 스크러버(흡수액으로 가성소다(NaOH)를 사용)를 통과하고 이후, 미 흡수된 가스성분은 플레어 스택(Flare Stack)에서 연소처리 되도록 설비가 구성됨

③ 사고당일 MIC 지하 저장탱크 3기중에서 첫 번째 탱크에는 MIC가 비어 있었고 두 번째 탱크는 약 15톤의 MIC가 있었으며, 마지막 탱크에는 약 45톤이 저장되어 있었음

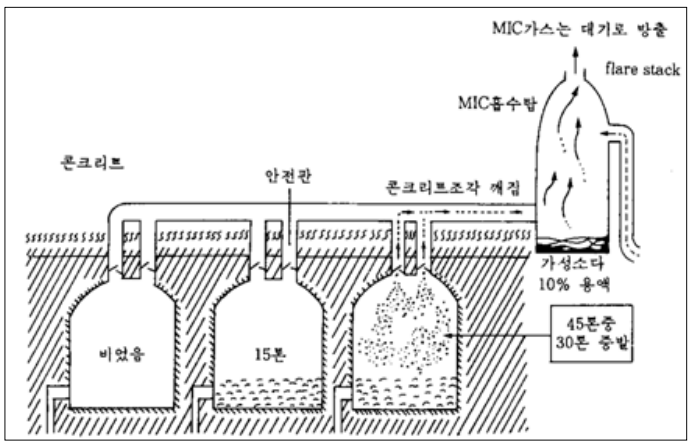
④ 또한, 스크러버와 플레어스택간의 연결배관은 이를 보수하기 위해 해체되어 있었고, MIC가스 흡수제인 가성소다 용액은 스크러버에 공급되지 않았으며, 탱크주위에 공급되어야 할 냉매는 순환되지 않음

⑤ 위 상황에서, 저장탱크에 저장된 MIC는 온도가 상승하여 증기가 발생되고, 발생된 MIC 증기압이 40 psig를 초과하여 안전밸브를 통해 스크러버로 배출되었고, 스크러버에서 흡수액(가성소다 용액)이 공급되지 않아, 중화처리 되지 않은 상태로 그대로 대기로 누출됨

<그림 4-69> 사고상황도



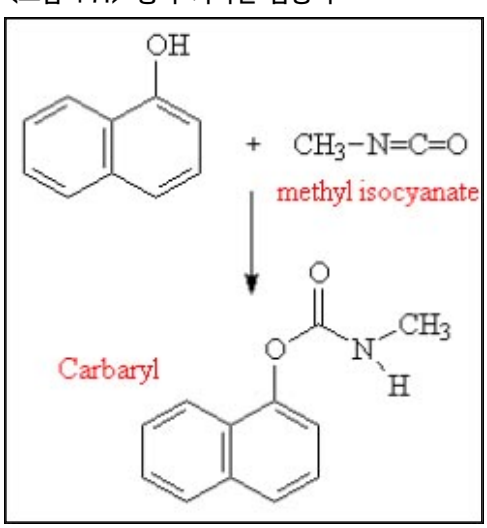
<그림 4-70> MIC 누출경로



2) 원인물질

MIC의 비점은 39.1 ℃ 이며, 허용농도는 0.02 ppm(0.04ppm에서 사람이 5분 이상 견딜수 없고, 21ppm에서 사람이 사망하는 독성물질임. UCC(Union Carbide Corporation, 유니언 카바이드 코어퍼레이션)에서는 살충제로 널리 사용되었던 농약인 카바릴(Carbary l: 상품명–세빈, Sevin) 제조과정은 1–나프톨(1–naphthol)과 메틸이소시아네이트(methyl isocyanate)의 1단계 반응으로 제조된다.

<그림 4-71> 농약 카바릴 합성식



3.2.3. 사고발생 원인

여러 안전장치들이 제대로 관리되지 않아 사고 당시 제대로 동작하지 않았다. 사고를 방지할 수 있거나 그 피해 규모를 줄일 수 있었던 안전장치들을 살펴보면 다음과 같다.

1) 공장에는 메틸 이소시아네이트가스를 정화할 수 있는 살수 장치가 설치되어 있었으나 메틸 이소시아네이트 가스가 유출되는 배관 높이까지 닿을 수 있도록 설계되지 않았다.

2) 3개의 탱크 중 하나는 비상 상황을 대비하여 비어 있어야 하는데, 사고가 일어난 날 밤에는 모든 탱크가 차 있었던 것으로 추정된다. 미국, 일본, 독일의 시설에서는 메틸이소시아네이트 가스를 필요한 만큼만 생산하여 즉시 사용하거나 단기간만 저장했지만, 보팔 공장에서는 10월 7일 이전에 생산된 6.4 톤의 메틸이소시아네이트 가스와 더불어 10월 22일까지 생산된 가스가 모두 보관되어 권장 보관용량의 60%(미국 웨스트버지니아의 같은 공장에서 권장하는 저장 용량은 50%였음)를 훨씬 넘어 약 87%가량 차 있었다.

3) 가성소다를 이용하여 가스를 중화하는 가스세정기가 제대로 작동하지 않았다. 일부 직원들은 가스세정기가 수리 중이었다고 증언했으나 회사 측은 12월 3일 아침 가성소다 탱크의 온도가 손으로 직접 만지기 어려운 섭씨 60도 정도였던 것으로 미루어보아 작동했다고 주장한다. 미국 공장에는 보조 가스세정기가 있지만 보팔에는 한 개밖에 설치되지 않은 것으로 미루어볼 때, 가스세정기의 용량이 낮아 작동을 했더라도 유출된 가스의 일부만 중화할 수 있었을 것으로 판단되어진다.

4) 가스세정기를 거친 가스는 배관을 따라 소각탑(flaretower)에서 소각되도록 되어 있었지만 가스세정기에서 소각탑으로 연결되는 배관이 '수리 중' 이라는 이유로 연결이 해제되어 있었다. 또한 소각탑에서도 화염이 꺼져 있었기 때문에 배관이 연결되어 있었더라도 소각처리가 불가능 했다.

3.2.4. 동종사고 예방대책

공정 통기배관(Process Vent Header)과 안전 배기밸브 배관(Relief valve vent heade)은 탱크 안 압력을 조절하는 역할을 한다. 공정통기 배관에는 특별히 질소를 주입하는 질소 공급 라인이 연결되는데, 이는 탄소강 배관이 사용되었다. 탄소강 배관의 주성분인 철은 메틸 이소시아네이트의 화학반응(발열성 삼량화 반응; exothermic trimerization; 열을 내면서 삼합체로 변환

되는 중합 반응)에 촉매로 작용하여 반응 생성물이 배관에 침착되어 배관을 막히게 할 수 있다. 안전을 위해서는 스테인레스강 배관 사용이 권장되지만, 보팔 공장에서는 비용 절감을 위해 탄소강 배관에 질소를 주입하여 반응을 억제하는 방법이 사용되었다.

다른 두 계통은 펌프에 의해 작동되는 순환 계통으로 모두 애초 설계와는 다르게 사용되었다. 먼저 전송계통 배관은 살충제 합성 공정에 메틸이소시아네이트 가스를 공급하는 역할을 하는데 전송 펌프에 의해 순환되도록 설계되어 있다. 하지만 이 전송 펌프가 고장 나면 가스 유출 위험이 높아지기 때문에 전송 펌프를 사용하지 않고 메틸이소시아네이트 가스를 공급하는 다른 방법이 사용되었다.

전송 펌프를 차단하고 공정통기 배관의 밸브를 닫은 뒤, 탱크 안의 압력을 높이면 전송 펌프에서 탱크로 돌아오는 배관을 따라 역으로 메틸이소시아네이트 가스를 공급할 수 있다. 이는 설계 당시에 고려된 절차가 아닌데, 이 방법이 사용되면서 질소가 통기 배관에 충분히 들어가지 못하게 되어 결국 배관에 반응 생성물들이 침착되게 되었다.

이런 이유 때문에 배관 청소가 주기적으로 수행될 수밖에 없었으며 이는 1984년 사고를 유발하는 하나의 중요한 원인으로 추정된다. 배관 청소를 할 때에 새어나온 물이 탱크로 유입되면서 메틸 이소시아네이트의 격렬한 화학반응을 유발한 것으로 추정되기 때문이다.

보팔사고를 종합해 보면 가장 큰 문제점은 3가지로 구분될 수 있으며 그에 따른 대책은 다음과 같다.

1) 당초 설계기준 및 운전절차의 준수

독성물질 제조공정은 엄격한 안전기준을 적용한 설계가 이루어 져야 하며 당초 설계기준의 변경은 원칙적으로 금지되어야 하고, 부득히 변경 필요시 철저한 공학적 검토와 그에 상응한 안전조치마련, 사전 위험성평가를 통한 안전성을 담보하여야 한다.

2) 안전장치는 비상시 작동이 가능토록 설비보전 및 철저한 현장관리 필요

안전장치의 기능해제는 바로 공장정지를 의미하며, 안전장치의 기능상실에도 공장을 가동시키는 것은 있을 수 없다. 안전장치 기능상실로 인한 공장 가동중지를 막기 위해서 안전장치는 설비보존 강화, Stand-by개념의 이중화(Dual)를 통한 즉시 대체 등이 이루어질 수 있도록 설비 수준을 향상시켜야 한다.

3) 비상조치계획 및 훈련강화

최악의 시나리오를 가정한 주민경보체계 등 비상조치계획 등 대규모 사고를 대비한 종합적인 대책이 마련되어야 한다. 아울러 주기적인 훈련을 통해 작동성을 강화하여야 하고 인근주민들과의 정기적인 간담회, 정보제공 등 확대강화가 필요하다.

3.2.5. 사고교훈[9)]

보팔 공장에서는 1984년의 치명적인 사고 이전에도 이미 여러 건의 사고가 발생했다. 또한 안전상의 많은 문제점이 1982년 5월 유니언 카바이드 본사에서 파견한 조사팀에 의해 이미 지적되기도 했다. 밸브가 새거나 차단장치를 사용하지 않고 필터를 청소하는 것, 고장난 압력게이지와 살수장치 같은 많은 문제점이 지적되었지만 적절한 조치가 취해지지 않았다.

유니언 카바이드는 미국 공장에 비해 훨씬 낮은 안전 기준을 보팔 공장에 적용했다. 설계와 다르게 시스템이 변경되었다. 사고를 대비한 조기경보 체계를 제대로 구축하지 않았으며, 사고 발생 이후에도 제대로 된 정보를 전달하지 않아 사고 처리와 피해자 치료에 큰 혼란을 불러왔다.

공장의 여러 시설은 제대로 관리되지 않았고, 작업 지침이 부실하거나 제대로 지켜지지 않았다. 시설의 많은 부분이 고장나 있거나 수리 중이었고, 인원 감축으로 인해 적정 근무 인원의 절반만 작업에 투입되었다. 흔히 우리가 "안전 불감증"이라는 말을 사용하는데, 인도 보팔사고는 총체적인 안전 불감증의 전형적 사례로 매우 참혹한 결과를 불러왔다.

보팔 사고는 시스템 설계와 운영에서 안전기준 준수와 기업의 윤리의식, 그리고 정부의 관리·감독 의지가 얼마나 중요한지 잘 보여준다. 또한 주위에 유독물질 시설이 있는 경우에, 지역사회도 이러한 시설이 제대로 운영되고 있는지 관심을 기울여야 하며, 사고가 발생했을 때의 다양한 상황에 대해서도 실행 가능한 대책을 마련해두어야 함을 일깨워준다.

---

9) Agarwal, A. and S. Narain (editors), "The Bhopal Disaster," *State of India's Environment 1984-85: The Second Citizens' Report,* p.207, 215 (1985)
R. Varma and D. R. Varma, "The Bhopal disaster of 1984," *Bulletin of Science, Technology, &Society, 25*(1): 37-45 (2005).

참고문헌

- 고용노동부고시 화학물질의 분류·표시 및 물질안전 보건자료에 관한 기준
- 공정안전보고서, 한국산업안전보건공단; 2013
- 물질안전보건자료 (실란, TCS), 안전보건공단 및 제조사
- 불화수소 물질안전보건자료. 한국산업안전보건공단 MSDS
- 사고대비물질 키인포가이드. 환경부, 화학물질안전원; 2014
- 산업안전보건법. 고용노동부; 2012
- 산업안전보건용어사전. 한국산업안전보건공단; 2006
- 선박안전법 : 2012
- 위해관리 계획서 작성자 교육과정. 화학물질안전원; 2015
- 유해화학물질 교육 강사 양성과정. 화학물질 안전원; 2015
- 유해화학물질 안전교육과정. 화학물질안전원; 2014
- 장외영향 평가서 작성자 교육과정. 화학물질안전원; 2015
- 중대해재 조사의견서, 한국산업안전보건공단; 2013
- 화학물질 취급안전. 안전보건공단; 2014
- 화학물질관리법. 환경부; 2014
- 화학물질의 분류 표시 등에 관한 규정. 국립 환경원 고시; 제 2014-45호
- 화학사고 대응과정(담당자) 교육과정. 화학물질안전원; 2015
- 화학사고 수습과정(담당자) 교육과정. 화학물질안전원; 2015
- 화학사고 예방과정(담당자과정). 화학물질안전원; 2015
- 환경설비 화재·폭발 예방매뉴얼. 안전보건공단; 2015
- Agarwal, A. and S. Narain (editors), “The Bhopal Disaster,” State of India’s Environment 1984-85: The Second Citizens’ Report, p.207, 215 (1985)
- ISO 1496-3. the International Organization forStandardization; 1995
- Kenneth Block and Briana Jung, "The Bhopal disaster," Hydrocarbon Processing, June 2012
- KOSHA Guide P-21-2010『불산취급공정의 안전에 관한 기술지침』 한국산업안전보건공단; 2010
- R. Varma and D. R. Varma, "The Bhopal disaster of 1984," Bulletin of Science, Technology, &Society, 25(1): 37-45 (2005)

알 림

본 기술서의 전자파일은 한국환경공단 인터넷 홈페이지에서 내려받기 하실 수 있습니다.

□ 자료 있는 곳

- 홈페이지 주소 : http://www.keco.or.kr
- 주요사업>환경인프라>상하수도시설 설치・운영>자료실
  (* 카테고리 검색에서 '환경기술개발 및 보급' 선택)

□ 준비사항

- Adobe Reader

□ 문의처

- 주소 : 인천광역시 서구 환경로 42(경서동 종합환경연구단지)
  한국환경공단 환경안전센터 담당자
- 전화 : 032) 590-4712

환경기술전문서(2015)

(유해화학물질 안전관리 및 개인보호장구 선정 안내서)

2015년 12월 인쇄

2015년 12월 발간

발행인 한국환경공단

비 매 품