

# 화학사고 대응 체계의 개선 방안 연구

2024년 1월

소 방 청  
오 상 목

# 목차

## I. 서론

|                       |   |
|-----------------------|---|
| 1. 연구의 필요성 및 목적 ..... | 4 |
| 2. 연구의 범위 .....       | 6 |
| 3. 연구의 방법 .....       | 7 |

## II. 본론

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 1. 미국 대형 화학사고와 화학물질 규제의 변화 .....                         | 8  |
| 2. 미국의 화학물질 관련 제도 .....                                  | 22 |
| 3. 미국 Chemical Safety Board 화학사고 조사체계 .....              | 33 |
| 4. 미국 Chemical Safety Board 화학사고 보고서 사례조사 .....          | 42 |
| 5. Texas A&M Engineering Extension Service 훈련시설 조사 ..... | 66 |

## III. 결론

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 1. 화학사고 조사 체계 개선 .....                   | 75 |
| 2. 화학사고 팀 단위 훈련을 위한 화학사고 대응 훈련장 조성 ..... | 85 |

## IV. 수집자료 및 참고문헌

|               |     |
|---------------|-----|
| 1. 수집자료 ..... | 94  |
| 2. 참고문헌 ..... | 101 |

## 국외훈련개요

1. 훈련국 : 미국
2. 훈련기관명 : 미국 Atlanta 화재구조재단  
(Atlanta Fire Rescue Foundation)
3. 훈련분야 : 소방안전
4. 훈련기간 : 2022.8.27.~2024.2.26.

## 훈련기관 개요

|             |                                                                                                                                                                                                                                                           |                 |     |  |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----|--|
| 명 칭         | 미국 Atlanta Fire Rescue Foundation                                                                                                                                                                                                                         |                 |     |  |
| 소 재 지       | 1300 Joseph E. Boone Blvd NW, Atlanta, Georgia 30314                                                                                                                                                                                                      |                 |     |  |
| 홈페이지        | https://www.atlfrf.org/                                                                                                                                                                                                                                   |                 |     |  |
| 설립목적        | ○ 애틀랜타를 화재안전 분야에서 안전하고 준비된 전국 최고의 도시로 유지<br>○ 필수장비, 교육 및 지역 사회 참여를 제공하여 생명과 재산을 구하는 Atlanta Fire Department를 지원                                                                                                                                           |                 |     |  |
| 조 직         | ○ Board of Directors Executive Committee<br>○ Young Executives Board<br>○ Advisory Board Members<br>○ Head of Operations Roadie<br>○ Tax team<br>○ Regional External Affairs<br>○ Firefighter-Paramedic<br>○ Marketing Team<br>○ Engagement and Education |                 |     |  |
| 주요기능 및 연구분야 | ○ AFRD 후원을 유지하기 위해 지역사회의 참여 유도<br>○ AFRD 관내 1,100명 이상의 소방관에 대한 화재 훈련 프로그램, 기술 및 장비에 대한 재정지원<br>○ 화재예방 대책을 효과적으로 달성하기 위해 시민에 대한 화재안전 교육, 효과적인 화재 진압 활동 및 구조 서비스 등에 대한 교육을 제공<br>○ 애틀랜타 주정부, 소방서, 소방관련 연계기관들과 협력하여 공공 안전 및 소방관 복지와 관련된 문제에 대한 리더십과 영향력을 행사  |                 |     |  |
| 주요인사 인적사항   | ○ Shirley Anne Smith<br>- Executive Director Atlanta Fire Rescue Foundation<br>- Master in Public Administration from Nova Southeastern University<br>- Under 30 Nonprofit Leader award recipient                                                         |                 |     |  |
| 교섭창구        | Shirley Anne Smith, Executive Director                                                                                                                                                                                                                    |                 |     |  |
|             | 전 화                                                                                                                                                                                                                                                       | (404) 538-7112  | FAX |  |
|             | E-mail                                                                                                                                                                                                                                                    | info@atlfrf.org |     |  |
| 훈련경비        | 기관부담금 연간 USD 9,000                                                                                                                                                                                                                                        |                 |     |  |

# I. 서론

## 1. 연구의 필요성 및 목적

산업 발전과 함께 화학제품의 생산이 증가하면서 수많은 화학물질이 제품생산을 위한 원료로 사용되거나, 제품을 제조하는 공정에서 제품을 가공하기 위한 물질로 사용되기도 한다.

화학 산업에서 사용하는 물질은 인체에 무해하거나 안전상 위험이 없는 화학물질도 있지만, 고질소 비료로 사용되는 암모늄 나이트레이트(FANG)는 대량으로 보관중에 폭발하여 도시규모의 피해를 일으키며, 반도체 제조공정에 필수적으로 사용되는 불화수소는 누출 시 인명피해는 물론 농작물을 고사시키는 등 누출된 지역에 광범위한 피해를 일으키기도 한다.

물론 대부분의 화학물질이 각종 규제를 통해 안전하게 보관 되고 취급 되고 있지만 관리의 부실이나 기계적 결함 등의 이유, 또는 신규 화학물질에 대한 충분한 규제가 마련되지 않은 상황에서 대형 사고로 이어져 막대한 인명피해를 유발하기도 한다.

1984년 인도에서 보팔에서 발생한 메틸 아소시아네이트(MIC) 가스 누출 사고는 사고발생 직후 2,800여명이 사망하고 10년간 사망자가 2만 500명에 이르는 것으로 집계된 사고로, 사고 이후에도 기형아를 유발하는 등 심각한 문제를 초래하여 화학물질의 규제의 중요성을 세계적으로 인식시키고 화학물질 관리 체계의 대대적인 변화를 초래하였다.

미국에서는 보팔 사고 이후에도 계속해서 대형 화학사고가 발생하였으며 새롭게 발견된 문제를 해결하고 사고를 방지하기 위한 새로운 규제나 정책이 마련되었다.

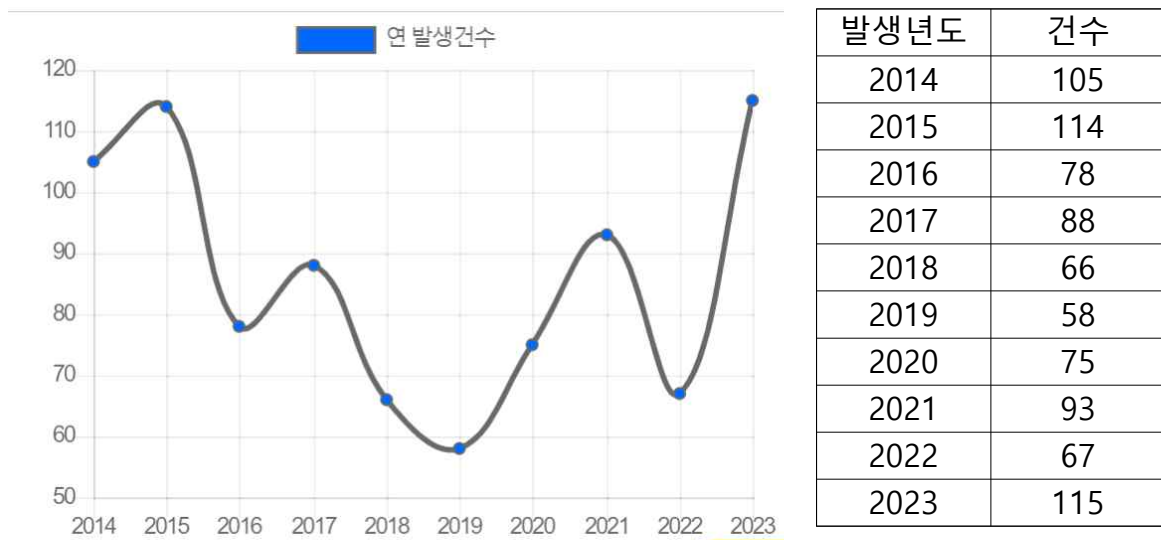
우리나라역시 화학 사고를 예방하고 대응하기 위한 규제와 정책을 시행하고 있으며 특히 2012년에 발생한 구미 사고의 계기로 화학사고에 대

한 규제와 대응을 강화하였다.

2013년 11월에는 화학재난 합동방재센터의 설치 및 운영에 관한 규정이 제정되고 12월9일 구미화학재난합동방재센터의 최소 설치 전국 7개소(시흥, 구미, 울산, 익산, 여수, 서산, 충주)가 운영중에 있다.

화학재난 합동방재센터는 2012년 경북 구미에서 불화수소가스 누출사고 이후 화학사고의 예방, 대비, 대응 및 복구업무를 종합적으로 수행하기 위해 환경부(환경팀), 소방청(119화학구조팀), 고용노동부(산업안전팀), 산업통상자원부(가스안전팀), 지방자치단체(지자체팀)의 협업기관으로 구성되어 있다.

구미 사고 이후 사회적인 관심과 화학물질관리법의 개정 등으로 규제가 강화되며 2014년에 105건 발생하였던 화학사고는 2019년에는 58건까지 줄어들는 추세를 보였으나 2023년에는 다시 115건까지 증가하여 화학사고에 대한 대비를 위한 노력은 지속적으로 필요한 것으로 보인다.



미국에서는 보팔 사고 이후에도 많은 인명피해를 동반한 대형 화학사고가 지속적으로 발생하였으며 사고이후 법률과 규제의 변화가 계속 나타났다.

대형사고이후의 미국의 규제변화와 현재 규제와 대응 노력을 살펴보고 사고 후 후속조치인 사고조사보고서를 통해 화학사고의 피해를 줄이기위한 미국의 제도를 분석하여 우리나라의 화학사고 대응능력을 개선하기 위한 방안을 제안하고자 한다.

## 2. 연구의 범위

본 연구는 위에서 언급한 연구의 목적을 달성하기 위하여 미국의 대형 화학사고 발생 사례를 살펴보고 사고가 제도 개선에 미친 영향을 분석하고 현재 적용되고 있는 미국의 규제와 제도를 비교하여 화학사고 대응을 위한 개선 방안을 연구하고자 한다.

제 I장 서론에서는 연구의 필요성과 목적 및 연구의 범위를 언급하였다.

제 II장 본론에서는 다음과 같은 사항들을 조사하였다.

첫째, 미국의 화학물질 규제제도에 영향을 끼친 역사적인 화학사고와 그에 따른 규제의 변화를 살펴보았다.

둘째, 미국의 유해화학물질을 안전하게 관리하고 사고를 예방 하기 위한 법령과 사고에 대비, 대응하기 위한 법령의 내용을 살펴보았다.

셋째, 미국에서 발생한 화학사고의 전문적인 조사를 위해 독립적으로 운영되고 있는 CSB의 설립배경과 CSB에서 실시하고 있는 화학사고 조사가 각기관에 미치는 영향을 조사하고 CSB에서 발간한 화학사고 조사보고서의 사례를 분석하여 CSB화학사고 조사보고서에 특징을 살펴보았다.

넷째, 텍사스 주의 TEEX에서 운영하는 화학사고 대응 훈련시설과 교육훈련 프로그램을 살펴 보았다.

### 3. 연구의 방법

본 연구는 문헌 연구를 주된 연구 방법으로 하여 선행 연구 논문의 일부를 참고하였고, 연구주제와 관련있는 CSB의 직원 및 TEEX의 직원들과 면담을 통하여 각 기관의 운영 현형을 도출 하였고, 특히 CSB의 사고조사 보고서가 유관기관에 끼치는 영향력을 조사하였다.

사고조사 보고서와 훈련시설을 시각적으로 표현하기 위해 조사보고서에 인용된 사진과 훈련시설의 사진을 적극 활용하였고, 미국의 사례와 국내 사례를 비교 하여 결론에 개선방안을 제시하였다.



## II. 본론

### 1. 미국 대형 화학사고와 화학물질 규제의 변화

#### 가. 보팔 가스 누출 사고(Bhopal disaster, 1984년)

##### 1) 사고개요

1984년 12월 2일에 인도 마디아 프라데시 주 보팔에 위치한 유니언 카바이드 인디아 리미티드(UCIL) 농약 공장에서 발생한 역사상 최악의 산업 사고 중 하나로 메틸 아소시아네이트(MIC) 가스가 공장에서 누출되어 큰 인명피해가 발생한 사고이다.

대량의 물이 MIC 저장 탱크에 들어가 화학 반응을 일으켜 탱크의 온도와 압력이 증가하고 저장탱크에 가해진 과도한 압력으로 저장탱크의 밸브가 파열되어 농약의 원료로 사용되는 MIC 42톤이 누출되었다.

가스 구름이 주변 지역을 뒤덮었으며, 50만 명 이상의 사람들이 MIC 및 기타 화학 물질에 노출되어 즉각적인 영향으로는 기침, 눈 자극, 호흡 곤란이 있었고, 장기적인 건강 영향으로는 폐 손상, 눈 문제, 생식계 등에 휴유증이 발생하였다.

2,800여명의 인근 주민이 사망하였으며, 인도의료연구협회는 사고 발생 10년인 1994년 까지 사망자 수가 2만 5000명에 이르는 것으로 집계하였다.

이외에도 12만 명이 실명, 호흡곤란과 위장장애 등 만성 질환을 앓았으며 유전자 돌연변이 아이들 출산이 보고되었다.

### <보팔사고 사상자 현황<sup>1)</sup>>

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>사고일자</b>                     | 1984.12.2.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>사고유형</b>                     | 화학사고(가스누출)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>사고지점</b>                     | 인도 마디아프라데시 주 보팔(유니온 카바이드)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>원인</b>                       | 유니온 카이드 보팔 공장의 E610 저장 탱크에서 아이소사아안화 메틸 누출                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>사망자<br/>(사고발생 3일<br/>이내)</b> | -1,754명 (공식통계, Lapierre)<br>-2,500명 (공식통계, C. Sathyamala GSP)<br>-3,000명 이상 (Jack Doyle GSP)<br>-3,000~6,000명 (H. Rajan Sharma GSP)<br>-3,800명 (Zavetovski, GSP)<br>-8,000명 (SB)<br>-8,000~10,000명 (Bhopal Medical Appeal)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>사망자<br/>(사고발생 3일<br/>이후)</b> | -15,000명 (1985-2003, Indian Council of Medical Research)<br>-16,000명 (Deaths up to 1998. SB)<br>-20,000명 (Over two decades. H. Rajan Sharma)<br>-20,000명 (1985년 이후, Survivors' and activists' organisations)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>장애 또는<br/>만성질환</b>           | -4,944명 (Curative Petition before Supreme Court, 2010)<br>-25,000명 (Indian Council of Medical Research/in Sharma GSP)<br>-32,000명 102,000 (Supreme Court order 1989)<br>-100,000명 이상 'suffered some injury or impairment from the incident, and as many as 587,000 were somehow adversely affected'. (Jack Doyle/GSP)<br>-120,000 (SB)<br>-95% of the affected population (531,881) are affected by some physical and mental health condition. (ICMR)<br>-The number of survivors with exposure induced chronic respiratory disorders alone was 100,000 and "25 to 30 % of the survivors have neurological and mental illnesses as a consequence of the disaster". The incidence of Lung, Eye, GIT and general morbidities was 4 to 5 times higher than a matched unexposed population. According to the MP Govt's 2008 Action Plan (GoI approved). |

1) Basic Facts & Figures, Numbers of Dead and Injured, Bhopal Disaster, THE BHOPAL MEDICAL APPEAL, 2024년1월26일접속,  
<https://www.bhopal.org/continuing-disaster/the-bhopal-gas-disaster/union-carbides-disaster/basic-facts-figures-numbers-of-dead-and-injured-bhopal-disaster/>



[그림 1] 유니온 카이드 보팔 공장<sup>2)</sup>



[그림 2] The Bhopal Gas Tragedy took place on the intervening night of December 2-3, 1984.<sup>3)</sup>



[그림 3] 유나이트 카바나이트 공장 그 주변<sup>4)</sup>

2) “1984 Bhopal Gas Tragedy: One Of The World's Major Industrial Accidents”, India News, 2024년1월26일 접속,  
<https://www.ndtv.com/india-news/bhopal-gas-tragedy-1984-one-of-the-worlds-major-industrial-accidents-4626867>

3) “1984 Bhopal Gas Tragedy: One Of The World's Major Industrial Accidents”, India News, 2024년1월26일 접속,  
<https://www.ndtv.com/india-news/bhopal-gas-tragedy-1984-one-of-the-worlds-major-industrial-accidents-4626867>

4) “Bhopal Gas Tragedy | World's Worst Industrial Disaster”, Merc, 2024년1월26일 접속,  
<https://youtu.be/FdyBy2s9I5c?t=673>

## 2) 규제 및 정책적 영향

보팔 재해는 화학 안전에 대한 대중의 의식을 높였으며 이 사건은 많은 기업들이 자발적으로 안전 기준을 향상시키고 더 강력한 위험 관리 관행을 채택하도록 촉진했다.

또한 화학 산업에서 엄격한 규제 조치와 안전 관행에 대한 더 큰 옹호로 이어져 미국의 시스템 개선에 지대한 영향을 미쳤고, 화학물질 안전 규정과 비상 대응 전략에 중대한 변화를 가져왔다.

○ 비상사태 계획 및 지역사회 알 권리에 관한 법(EPCRA, Emergency Planning and Community Right-to-Know Act) : 1986년에 제정된 EPCRA는 지역사회 및 지역 비상 대응 당국에 화학 물질과 화학 사고에 대한 정보를 제공함으로써, 화학 물질로 인한 잠재적 위험에 대해 인식을 높이고, 화학 사고 시 효과적으로 대응할 수 있도록 합니다.

| 구분            | 내용                                                                              |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 지역사회 비상 대응 계획 | 지역 비상 대응 계획을 수립하고, 비상 상황에 대비해 지역사회와 산업계가 협력하도록 규정                               |
| 화학물질 정보의 공개   | 화학물질의 보관과 사용에 대한 정보를 지역사회와 공공 당국에 공개하도록 요구                                      |
| 화학 물질 보고 요건   | 특정 양 이상의 위험 화학물질을 보유한 시설은 그 물질에 대한 정보를 지역 비상 대응 당국, 주 정부, 그리고 EPA에 보고           |
| 지역사회 알 권리 강화  | 지역사회 구성원들이 자신들이 사는 지역에서 사용되고 저장되는 위험 물질에 대해 알 수 있도록 하여, 비상 상황에 대한 준비와 대응 능력을 향상 |

○ 공정 안전 관리(PSM, Process Safety Management) 기준: 산업안전보건청(OSHA)에 의해 개발된 이 규정은 위험한 화학 물질의 방출을

예방하는 것을 목표로 하며, 특히 고위험 산업에서의 사용에 중점을 둔다.

| 구분         | 내용                                               |
|------------|--------------------------------------------------|
| 공정 위험 분석   | 정기적으로 위험성 평가를 수행하고, 잠재적인 위험을 식별 및 완화하는 절차를 마련    |
| 기술 안전 데이터  | 공정에 사용되는 모든 화학 물질, 기술 장비, 안전 시스템에 대한 포괄적인 정보를 보유 |
| 비상 대응 계획   | 잠재적인 화학 사고에 대비한 명확한 비상 대응 계획을 수립                 |
| 직원 훈련 및 참여 | 직원들에게 필요한 안전 교육을 제공하고, 공정 안전 관리에 직원 참여를 촉진       |

○ 위험관리계획(RMP, Risk Management Plans) : 1990년 청정공기법(Clean Air Act) 개정을 통해 미국의 위험 관리 계획(RMP)에 상당한 변화를 가져왔다.

| 구분                | 내용                                                                          |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 강화된 위험 평가         | 위험한 화학 물질을 취급하는 시설은 보다 철저한 위험 평가를 수행하여 잠재적 사고 시나리오를 식별                      |
| 개선된 비상 대비 및 대응    | RMP는 화학 물질 방출을 효과적으로 관리하기 위한 자세한 비상 대응 계획을 요구하며, 이는 지역 비상 서비스와의 조정을 포함      |
| 공공 정보 및 공개        | 시설은 취급하는 화학 물질과 관련된 위험에 대해 대중과 지방 정부에 정보를 제공                                |
| 예방 프로그램           | RMP 규칙은 안전 교육, 안전 장비 유지 보수 및 정기적인 안전 감사를 포함하는 강력한 사고 예방 프로그램을 시설에서 시행하도록 요구 |
| 고위험 작업에 대한 증가된 감독 | 특히 위험한 물질을 취급하는 시설은 안전 관리 및 비상 대응 계획에 대해 보다 엄격한 요구 사항을 충족                   |

## 나. 러브 캐널 사건(Love Canal disaster, 1970년대 말)

### 1) 사고개요

러브 캐널 사건은 뉴욕 주 나이아가라 폴스에 위치한 작은 마을 러브 캐널 지역에서 마을 사람들의 건강문제가 발생하며 1970년 말에 주목을 받게 되었다.

1940년대와 1950년대에, 화학 회사 후커 화학사(나중에 옥시덴탈 페트로리엄으로 인수)는 러브 캐널 지역에 약 2만 2천톤의 독성 폐기물을 매립하고 폐기물 위에 불투수성 진흙을 4피트로 두껍게 덮었다.

1950년대 후반, 이 지역 위에 학교와 주택이 건설되었으나 이 당시 매립지의 위험성에 대해 제대로 인지하지 못한 상태에서 화학폐기물 매립지 위에서 생활하던 지역 주민들에게 건강상의 문제가 1970년대 말에 본격적으로 드러나기 시작한다.

지역 주민들은 뚜렷한 이유가 없이 건강에 이상을 겪기 시작하고, 특히 아이들 사이에서 선천적 결함과 이상한 질병이 발생하자 1970년대 말에 전국적인 관심을 받기 시작했고 1978년 거주민 연합의 회장 로이스 깅스의 건강영향 조사가 시작되었다.



[그림 4] 러부커널 전경<sup>5)</sup>

1978년 8월에 이 사태가 미국 언론에 부각되기 시작하면 연방정부와 뉴욕 주정부는 조사를 실시했고, 매우 높은 수준의 화학 오염이 발견되었다. 이에 따라 지미 카터 대통령은 러브 운하를 연방 비상지역으로 선포하여 매립지 인근 주민들을 대피시키고, 오염된 지역을 정화하는 작업이 시작되었다.

<매립된 화학물질의 종류와 양<sup>6)</sup>>

| 화학물질 성상                       | 중량(t) | 화학물질 성상                     | 중량(t)         |
|-------------------------------|-------|-----------------------------|---------------|
| 산염화물(염화 벤조일 제외)               | 400   | 액체 이황화물(LDS/MCT)            | 700           |
| 염화 싸이오닐 및 황/염소 화합물            | 500   | 헥사클로로사이클로헥세인 (BHC, Lindane) | 6,900         |
| 염화 반응 산물(왁스, 기름, 나프탈렌, 아닐린 등) | 1,000 | 염화 벤젠                       | 2,000         |
| 도데실메르캡탄(DDM)                  | 2,400 | 염화 벤질                       | 2,400         |
| 트리클로로페놀(TCP)                  | 200   | 황화 수소 나트륨                   | 2,100         |
| 염화 벤조일                        | 800   | 기타                          | 2,000         |
| 염화 금속                         | 400   | <b>합계</b>                   | <b>21,800</b> |

5) <https://namu.wiki/w/%EB%9F%AC%EB%B8%8C%20%EC%BB%A4%EB%82%BC>, 2024.1.24.

6) <https://namu.wiki/w/%EB%9F%AC%EB%B8%8C%20%EC%BB%A4%EB%82%BC>, 2024.1.24.

## 2) 규제 및 정책적 영향

러브 캐널 사건은 환경오염의 심각성과 산업 활동이 공중 건강에 미치는 영향을 전 세계에 알리는 계기가 되었으며, 1980년에 제정된 “폐기물 종합 대응 보상 및 책임법” (CERCLA, The Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act) 또는 Superfund의 제정에 큰 영향을 미쳤다.

미국은 이 법을 통해 오염된 부지를 정화하는 데 필요한 자금을 확보하고, 오염을 일으킨 기업들에 책임을 물을 수 있는 법적 근거를 마련했습니다.

| 구분             | 내용                                                                                                        |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 오염된 부지 정화      | Superfund는 환경 보호청(EPA)에 오염된 부지를 식별하고, 정화하는 권한을 부여합니다. 이를 통해 건강과 환경에 위험을 주는 오염된 부지를 청소하고 복구할 수 있습니다.       |
| 책임과 비용 회수      | 이 법은 오염을 일으킨 기업이나 개인에게 청소 비용과 관련된 책임을 지우는 것을 목표로 합니다. 이는 "오염자 지불 원칙" (polluter pays principle)을 기반으로 합니다. |
| 비상 대응          | Superfund는 EPA에 긴급한 환경 위험 상황에 대응할 수 있는 권한과 자금을 제공합니다.                                                     |
| 자금 조달          | 이 법은 오염 부지 정화를 위한 연방 기금을 조성하기 위해 화학 물질 생산자와 사용자에게 세금을 부과합니다.                                              |
| 정보 공개와 지역사회 참여 | Superfund는 지역사회가 오염 부지에 대한 정보에 접근하고, 정화 과정에 참여할 수 있는 권리를 보장합니다.                                           |



## 다. 텍사스 시티 폭발 (Texas City disaster, 1947년)

### 1) 사고개요

1947년 텍사스 시티 재난 역시 미국 역사상 가장 치명적인 산업 사고 중 하나로 기록 된 사고로 1947년 4월 16일 갤버스턴 만의 남서쪽 해안선에 위치한 텍사스 시티 항구에서 발생했다.

암모늄 나이트레이트(FGAN) 약 2,300톤을 실은 프랑스 등록 화물선 SS 그랜드캠프에서 발생한 화재와 그에 이은 폭발로 시작되었으며, SS 그랜드캠프의 화물칸에서 시작된 화재의 정확한 원인은 알려지지 않았지만, 담배나 불꽃에 의해 발생했을 것으로 추정된다.

SS 그랜드캠프의 폭발은 매우 컸으며, 인근 휴스턴의 창문을 부수고 루이지애나까지 느껴질 정도의 강력한 충격파를 만들었고, 15피트 높이의 해일을 일으키고 상당한 반경 내의 건물들을 완전히 파괴했다.

초기 폭발 후 하루 뒤, 또 다른 배인 SS 하이 플라이어가 폭발하여 파괴를 가중시켰다. 이 배 역시 암모늄 나이트레이트와 황을 싣고 있었다.

이 재난으로 인한 사망자 수는 출처에 따라 다르지만, 약 600명이 목숨을 잃고 3,000명 이상이 부상을 입었다. 폭발은 텍사스 시티 항구 주변에 광범위한 재산 피해를 야기하여 많은 건물, 주택, 기업을 파괴하여 사고 이후 대규모 구조 및 복구 작업을 촉발했다.



[그림 5] 텍사스 시티 폭발사고)



[그림 7] SS Wilson B. Keene, destroyed in the disaster's second explosion

## 2) 규제 및 정책적 영향

1947년 텍사스 시티 재난 후 강화된 위험 물질 취급 규정을 구체적으로 명시 할 수는 없지만, 이 사건은 미국에서 위험 물질 취급 및 산업 안전 규정을 강화하는 데 중요한 역할을 했다.

구체적인 규정 변화에 대해서는 기록을 찾지 못하였지만, 재난의 결과로 다음과 같은 일반적인 변화가 있었다.

| 구분                   | 내용                                                                                                                                                                                           |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 위험 물질 취급 규정 강화       | 산업 시설과 운송 수단에서의 안전 기준 향상을 목표로 위험 물질, 특히 화학 물질과 폭발성 물질의 취급 및 저장에 대한 규정을 강화                                                                                                                    |
| 산업 안전 규제 기관의 설립 및 강화 | 미국 내 산업 안전을 감독하는 기관의 역할을 강화하는 데 기여<br>- 1970년에 설립된 미국 OSHA은 사고 이후 변화의 일환으로 산업 재해를 줄이기 위한 규정과 지침을 개발하고 집행하는 주요 기관으로 자리 잡음<br>- 1970년에 설립된 EPA는 산업 활동으로 인한 환경 오염을 감시하고 규제하는 역할의 중요성을 강조하는 데 기여 |
| 응급 대응 및 재난 관리 개선     | 응급 대응 프로토콜, 훈련 프로그램, 그리고 재난 발생 시 효과적인 조정과 통신 시스템 구축에 대한 중요성이 강조                                                                                                                              |
| 공공 인식과 교육            | 산업 안전에 대한 공공의 인식을 높이는 계기가 되었으며, 이에 따라 산업 안전 교육과 공공 인식 캠페인이 강화                                                                                                                                |
| 지역사회 참여 및 정보 공개      | 지역사회의 참여와 활동에 대한 정보 접근성을 높이는 방향으로 산업 활동이 지역사회에 미치는 영향에 대한 투명성이 강조                                                                                                                            |

7) 텍사스 시티 폭발 사고, 나무위키

이러한 변화들은 미국 내에서 산업 안전 기준을 향상시키고, 재난 발생 시 대응 능력을 강화하는 데 중요한 역할을 했으며, 텍사스 시티 재난은 산업 안전 관리와 위험 물질 취급의 중요성을 강조하는 역사적 사건으로 기록되었다.

## 라. 웨스트, 텍사스 비료공장 폭발(2013년, West Fertilizer Company explosion)

### 1) 사고개요

웨스트 비료공장은 미국 텍사스주의 작은 마을인 웨스트에 위치하고 있었으며, 2013년 4월 17일 현지 시간으로 오후 7시 50분경에 규모 2.1의 지진으로 기록되는 강력한 폭발이 발생하였다.

이 폭발은 매우 강력하여 거대한 분화구를 만들었고 최대 50마일 떨어진 곳에서도 느낄 수 있었다.

폭발에는 암모늄 나이트레이트(FANG)가 관련되어 있었는데, 이는 흔히 사용되지만 매우 폭발성이 강한 비료 성분이다. 폭발의 정확한 원인은 처음에는 불분명했으나, 조사관들은 나중에 시설 내 불명확한 원인의 화재에 의해 암모늄 나이트레이트가 점화되었다고 결론지었다.

이 폭발로 인해 15명이 사망했으며, 그 중 대부분은 초기 화재를 진압하던 의용소방대원과 소방관이었다. 160명 이상이 부상을 입었고, 여러 건물이 손상되거나 파괴되었으며, 그 중에는 중학교, 요양원 및 여러 주거지가 포함되었다.

폭발은 지역, 주 및 연방 기관으로부터 대규모 긴급 대응을 촉발하여 폭발로 피해를 받은 마을은 전국에서 널리 지원과 기부를 받았다.

사건 이후, 주거 지역과 가까운 곳에 있는 위험 물질 저장 시설에

대한 규제 감독 부족에 초점이 맞춰졌습니다.

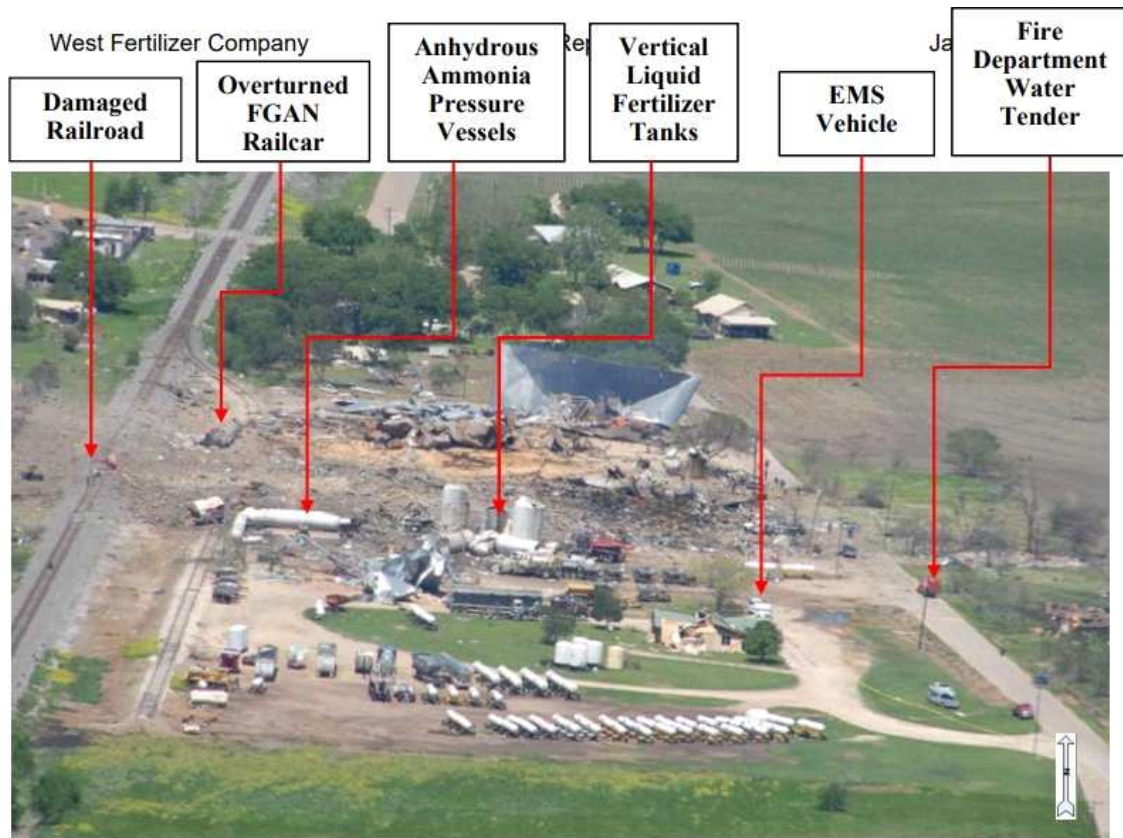


[그림 8] In this aerial photo, law enforcement and rescue personnel search the damage to an apartment complex from the explosion of the West Fertilizer plant on Thursday, April 18, 2013, in West, Texas. Smiley N. Pool / Houston Chronicle via AP



[그림 9] 사고후 웨스트 비료공장 전경, CSB 사고조사보고서(2016년)





[그림 10] Overview of Damage to WFC Facility, CSB 사고조사보고서(2016년)

## 2) 규제 및 정책적 영향

웨스트 비료 회사 폭발 사건은 위험 물질의 저장 및 취급과 관련된 규제 및 정책 환경에서 중요한 변화를 촉발하는 계기가 되었으며, 이는 재난을 방지하기 위해 개선된 안전, 투명성 및 지역사회 참여의 필요성을 강조하게 되었다.

이 폭발로 대량의 암모늄 나이트레이트를 저장하는 것의 위험이 드러났고, 이에 따라 암모늄 나이트레이트 저장에 대한 강화된 감독과 더 엄격한 규정 및 집행을 촉진했다.

또한 위험 물질 저장을 위한 안전 기준의 검토 및 업데이트를 촉발했으며, 이는 암모늄 나이트레이트와 같은 화학 물질의 취급, 저장 및 보안에 대한 지침을 재검토하는 것을 포함한다.

위험물 저장 시설의 배치 시 위험물의 폭발을 가정하여 인구 밀집 지역에 대한 위험을 최소화 할 수 있는 방향으로 고려가 되었고, 주거 지역, 학교 및 기타 공공시설과의 근접성에 관한 지역 구역 법을 강화할 필요성이 제기되었다.

사고 대응에 참여한 소방관의 사망사고가 발생한 이 재난은 특히 화학 사고를 다룰 때 위험에 직면하는 초기 대응자들을 위한 긴급 대응 계획 및 훈련의 중요성을 강조되었으며, 지역, 주 및 연방 기관 간의 조정과 능력을 향상시키기 위한 정책이 개발되었다.

이 사건은 폭발성 및 위험 물질 취급에 있어 효과적인 규제와 안전 조치의 필요성을 보여줬으며 아래와 같은 규제의 개선을 가져왔다.

| 구분                                                                             | 내용                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 비상 계획 및 지역사회 알 권리 법(EPCRA, Emergency Planning and Community Right-to-Know Act) | 화학 물질의 저장 및 취급에 관한 정보를 공개하도록 요구하도록 1986년에 제정된 이 법은, 기업에 위험 물질, 특히 암모늄 나이트레이트와 같은 물질의 저장량과 관련 정보를 지역 비상 계획 기관과 지역사회에 제공하도록 규정 |
| 직업 안전 및 건강 법 (OSHA, Occupational Safety and Health Act)                        | 작업장에서의 안전 및 건강 기준을 설정하고 집행하는 OSHA에 암모늄 나이트레이트를 포함한 위험 물질의 취급과 관련된 안전 규정을 포함                                                  |
| 화학 시설 반테러 법 (CFATS, Chemical Facility Anti-Terrorism Standards)                | 높은 위험도를 가진 화학 시설에 대한 보안 요건을 설정하도록 하는 CFATS에 암모늄 나이트레이트와 같은 폭발성 물질을 다루는 시설은 이 기준에 따라 추가적인 보안 조치 요구                            |

## 2. 미국의 화학물질 규제 제도

### 가. 유해화학물질 관리 및 유해화학물질 분류 제도<sup>8) 9)</sup>

미국의 유해화학물질에 관련된 법은 유해화학물질을 안전하게 관리하고 사고를 예방 하기 위한 법령과 사고에 대비, 대응하기 위한 법령이 개별적으로 존재하고 있다.

독성물질관리법(TSCA, Toxic Substances Control Act)과 산업안전보건법(OSHA, Occupational Safety and Health Act)은 유해화학물질 관리와 사고를 예방하기 위한 대표적인 법이며 비상계획 및 지역사회알권리법(Emergency Planning and Community Right-to-Know Act EPCRA)은 사고에 대응하기위한 대표적인 법령이다.

이외에도 아래 표<sup>10)</sup>와 같이 유해화학물질의 취급과 안전관리에 관련된 다양한 법규들이 운영되고 있다.

#### <유해화학물질 관련 법령>

| 관련법                                                         | 주요내용                                                                                            | 유관기관 | Code          |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------|
| 독성물질관리법<br>TSCA(Toxic Substances Control Act)               | 상업적으로 이용되는 기존 화학물과 신규 화학물질의 유해성을 심사, 평가하는 것을 목적                                                 | EPA  | 15 USC Ch. 53 |
| 산업안전보건법<br>OSHA(Occupational Safety and Health Act)         | -근로자에게 안전하고 건강한 사업장을 제공하는 것을 목적<br>-유해물질관리, 공정안전관리, 유해물질에 대한 안전자료 및 취급 주의사항, 유해물질 정보전달 기준 규정 포함 | OSHA | 29 USC Ch. 15 |
| 자원 보존 및 복구법<br>RCRA(Resource Conservation and Recovery Act) | 유해화학 폐기물의 처리에 관한 안전규정                                                                           | EPA  | 42 USC § 6901 |

8) EPA 홈페이지(<http://www.epa.gov>)

9) United States Code

10) 인하대학교(2016), 위험물질 사고유형 분석 및 안전관리 체계개선에 관한연구

|                                                                                                          |                                          |                                              |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------|
| 비상계획 및<br>지역사회알권리법<br>EPCRA(Emergency<br>Planning and<br>Community<br>Right-to-Know Act)                 | 긴급사태에 대비한 계획 수립과 유해화<br>학물질과 관련된 알권리를 규정 | State<br>Emergency<br>Response<br>Commission | 42 USC<br>Ch. 116 |
| 종합환경대응배상책임법<br>CERCLA(Comprehensive<br>Environmental<br>Response,<br>Compensation, and<br>Liability Act) | 방치된 오염원을 제거하는 것을 주된<br>내용                | National<br>Response<br>Center(NRC)          | 42 USC<br>Ch. 103 |

#### 1) 독성물질관리법(TSCA, Toxic Substances Control Act)

독성물질관리법(TSCA, Toxic Substances Control Act)는 화학 물질의 제조, 사용, 유통 및 폐기를 규제하여 인간의 건강과 환경을 보호하기 위해 1976년에 제정된 법률로 다양한 화학물질에 대한 규제와 정보 수집, 위험 평가, 그리고 필요한 경우 규제 조치를 수행할 권한을 환경보호청(EPA)에 부여하며 7차례의 개정이 이루어졌다.

주요 개정된 사항으로 1986년에는 학교에서의 석면 노출의 위험을 줄이기 위한 석면관리가 추가되었으며, 1988년에는 학교에서의 납오염과 그로인한 위험을 줄이는데 중점을 두었다. ‘

2016년에는 화학물질의 안전성 평가와 규제 절차를 강화하고, EPA의 화학물질 관리에 대한 권한과 책임을 명확히 하였으며, 화학물질의 우선 순위 지정, 위험 평가 및 필요한 경우 규제 조치의 과정을 개선 하는 등 TSCA의 중대한 개정이 이루어 졌다.

TSCA는 Title 15의 53 Chapter로 6개의 Subchapter로 구성되어 있으며 Subchapter 별 내용은 다음과 같다.



| 구분                                                                     | 내용                               |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| SUBCHAPTER I<br>CONTROL OF TOXIC SUBSTANCES                            | 화학물질의 안전한 사용과 규제에 대한 기본적인 규정을 제공 |
| SUBCHAPTER II<br>ASBESTOS HAZARD EMERGENCY RESPONSE                    | 석면에 대한 위험 대응을 규정                 |
| SUBCHAPTER III<br>INDOOR RADON ABATEMENT                               | 실내 라돈 감소를 위한 규정                  |
| SUBCHAPTER IV<br>LEAD EXPOSURE REDUCTION                               | 납 노출 감소와 관련된 규정                  |
| SUBCHAPTER V<br>HEALTHY HIGH-PERFORMANCE SCHOOLS                       | 학교 건물에서의 환경 품질과 관련된 규정           |
| SUBCHAPTER VI<br>FORMALDEHYDE STANDARDS FOR<br>COMPOSITE WOOD PRODUCTS | 학성목제 제품에 포함된 포름알데히드의 양을 규제       |

TSCA에서 한 가지 주목할 만한 것은 Inventory로 1975년 1월부터 제조, 가공 또는 수입되는 모든 물질을 TSCA Inventory에 등재되고 Inventory는 6개월마다 갱신되고 있으며 2023년 8월 기준으로 86,718<sup>11)</sup>개의 물질이 등록, 42,242개가 활성화 상태이다.

TSCA Inventory에 등재되지 않는 물질은 신규화학물로 취급되며 신규화학물질을 제조, 수입할 경우 90일 이전에 EPA에 사전제조신고(Pre-Manufacture Notification; PMN)를 해야 한다.

### 3) 산업안전보건법(OSHA, Occupational Safety and Health Act)

산업안전보건법(OSHA, Occupational Safety and Health Act)은 1970년에 미국에서 제정된 법률로 모든 근로자에게 안전하고 건강한 작업 환경을 제공하는 것을 목적으로 직장 내에서의 안전과 건강을 보장하기 위해 설계되었다.

11) <https://www.epa.gov/tsca-inventory/how-access-tsca-inventory>, 2024.1.24.

고용주는 노동자와 직장 안전을 보장하기 위해 독성 화학 물질에 노출, 과도한 소음 수준, 기계적 위험, 열이나 한랭 스트레스 또는 비위생적인 조건과 같은 안전 및 건강에 대한 인식된 위험으로부터 자유로운 고용 장소를 제공해야 한다.

OSHA는 물리적으로 유해하거나 건강에 위해가 나타나거나 단순 질식성으로 분류된 모든 화학물질을 유해물질로 정의하고, 유해물질 관리, 공정안전 관리, 유해물질에 대한 안전자료 및 취급 시 주의사항, 유해물질 정보전달 기준 등에 관한 규정을 포함하고 있다.

1984년 인도 Bhopal에서 발생한 사고를 계기로 기존의 OSHA 및 관련된 연방규칙들이 화학공정에서 발생할 수 있는 위험물질의 대규모 누출로부터 근로자를 충분히 보호할 수 없다는 것을 인지하였으며, 1989년 Houston 사고를 직접적 인 계기로 하여 공정안전계획(PSM, Process Safety Management) 표준(29 CFR 1910.119)을 도입했다.

PSM의 주요 구성요소는 위험분석, 시설의 안전하고 효과적인 운영절차, 시설 장비의 설치 및 유지관리에 관한 절차, 직원훈련, 비상대응 계획, 사고 조사, 공정 기술 및 장비의 상세한 정보, 프로세스의 변경관리 등으로 구성 되어 있다.

#### ○ 공정안전관리(PSM, Process Safety Management)

PSM(연방규칙 29 CFR 1910.119 Process safety management of highly hazardous chemicals)은 업종과 상관없이 부록(1910.119 App A- List of Highly Hazardous Chemicals, Toxics and Reactives (Mandatory))에서 정한 위험물질을 규정수량 이상 취급하는 모든 사업장에 대해 적용되며, 사업장으로 하여금 연방규칙에서 정하는 요소를 포함하는 공정안전관리체제를 구축할 것을 요구하는 제도이다.

PSM에서 정하는 위험물질은 인화성 가스, 인화성 액체 외에 약 130여종<sup>12)</sup>의 화학물질이다.

2가지 이상의 위험물질을 취급하더라도 각각의 물질이 규정수량보다 적은 양인 경우에는 PSM의 적용대상이 아니다. 만일 혼합된 상태의 물질을 취급하는 경우에는 PSM 부록에서 특별히 언급한 농도가 아닌 경우에는 일반적으로 통용되는 상용농도 이상의 물질로 환산하였을 때의 수량을 규정수량과 비교하여 적용대상 여부를 판단한다.

규정수량에 대한 비교수량의 산출기준: 위험물질 취급수량의 산출기준 위험물질을 규정수량보다 많이 취급하는가에 대한 기준은 단일 공정에서 한 번에 존재하는 양(보유량)을 기준으로 한다. 단일공정이란 내부적으로 서로 연결된 용기들을 포함한다.

사업장은 PSM 보고서를 OSHA에 제출할 의무는 없으나 OSHA의 감독관이 사업장을 방문하여 해당 보고서를 요구하였을 때 보여줄 수 있도록 갖추고 있어야 한다. OSHA가 보고서에 대한 제출이나 심사를 하지 않는 이유는 RMP 보고서의 항목들이 PSM에서 요구하는 항목과 거의 동일할 뿐만 아니라, 사업장이 EPA에 RMP 보고서를 제출하기 때문이다.

## 2) 청정대기법(CAA, Clean Air Act)

청정대기법(CAA, Clean Air Act)은 고정 및 이동 발생원으로부터의 공기 배출을 규제하는 포괄적인 연방법으로, EPA가 공중 보건과 공공 복지를 보호하고 유해 대기 오염물질의 배출을 규제하기 위해 국가 환경 대기 품질 표준(NAAQS)을 제정할 수 있는 권한을 부여한다.

1955년 대기오염관리법(Air Pollution control act)이 최초의 연

---

12) Appendix A to §1910.119—List of Highly Hazardous Chemicals, Toxics and Reactives

방 대기오염 법규로 제정되었으며 1970년에는 대기오염 물질 국가 배출기준을 제정하는 등 CAA으로 대대적으로 개정되었다.

CAA는 Title 42의 85 Chapter로 7개의 Subchapter로 구성되어 있으며 Subchapter 별 내용은 다음과 같다.

| 구분                                                                                                                                                                                                                                  | 내용                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| SUBCHAPTER I—PROGRAMS AND ACTIVITIES<br>Part A—Air Quality and Emission Limitations<br>Part B—Ozone Protection<br>Part C—Prevention of Significant Deterioration of Air Quality<br>Part D—Plan Requirements for Nonattainment Areas | 대기질 기준, 오존층을 보호하기 위한 조치, 대기질 저하 방지 프로그램, 대기질 개선 등을 규정    |
| SUBCHAPTER II—EMISSION STANDARDS FOR MOVING SOURCES<br>Part A—Motor Vehicle Emission and Fuel Standards<br>Part B—Aircraft Emission Standards<br>Part C—Clean Fuel Vehicles                                                         | 자동차등에서의 오염 배출기준, 항공기 배출기준, 청정연료 차량에 대한 규정                |
| SUBCHAPTER III—GENERAL PROVISIONS                                                                                                                                                                                                   | 법률의 일반적인 규정, 정의, 권한, 그리고 연방 정부, 주, 그리고 지역 당국의 책임         |
| SUBCHAPTER IV—NOISE POLLUTION                                                                                                                                                                                                       | 소음 오염과 관련된 규제                                            |
| SUBCHAPTER V—PERMITS                                                                                                                                                                                                                | 대기 오염원에 대한 허가 프로그램 및 요구                                  |
| SUBCHAPTER VI—STRATOSPHERIC OZONE PROTECTION                                                                                                                                                                                        | 오존층 보호를 위한 추가적인 조치와 규제                                   |
| SUBCHAPTER VII—AMERICAN INNOVATION AND MANUFACTURING                                                                                                                                                                                | 환경 보호를 보장하고 대기 질 기준을 준수하는 동시에 미국 산업에서의 혁신과 제조를 촉진하는 데 중점 |

1990년 CAA 개정안의 Section 112(42 USC § 7412)(r) 에는 위험관리계획(RMP, Risk Management Program)을 OEM(Office of Emergency Management)에서 관리하도록 규정하여 화학물질의 우발적인 누출방지 및 지역사회와 환경을 보호하기 위한 비상대응 실행을 개선하였다.

RMP는 시설의 잠재적인 화학 사고의 영향을 평가하는 위험 평가, 사고를 방지하기 위해 안전절차와 관리 방법, 교육을 포함하는 예방 프로그램, 사고 발생 시 대응하고, 지역사회와 협력하여 사고의 영향을 최소화할 수 있는 포괄적인 비상 대응 계획으로 구성된다.

○ 위험관리계획(RMP, Risk Management Program)

연방규칙 40 CFR 68(Chemical accident prevention provision)은 CAA 112(r)에 근거를 두고 제정되었으며 Subpart G에서 대상 사업장의 RMP제출 의무를 규정하고 있다.

CAA의 section 112(r)의 규제물질을 제조 공정에서 지정수량 이상으로 취급하는 경우 5년 마다 RMP를 수정하여 제출해야 하며 다음과 같은 내용을 포함해야 한다.

- 규제물질을 누출 사고 시 잠재적인 영향, 최근 5년간의 사고 이력, 최악의 경우 및 발생 가능한 누출사고의 세부적인 위험 평가
- 안전상의 주의사항 및 유지관리, 모니터링, 직원교육조치 등을 포함하는 예방프로그램
- 비상 대응 및 사고 발생 시 공공 또는 대응 기관(예: 소방서)에 알리는 절차를 설명하는 비상 대응 프로그램

6) 비상계획 및 지역사회 알권리법(EPCRA, Emergency Planning

and Community Right-to-Know Act)

비상 계획 및 지역사회 알 권리 법(EPCRA, Emergency Planning and Community Right-to-Know Act)은 인도 보팔 지역에서 메틸 아소시아네이트(MIC) 유출되어 2,000명 이상의 주민이 피해를 입은 것을 계기로 1986년에 제정되었으며, 화학 위험에 대한 비상 계획 및 지역사회 인식을 지원하고 촉진하는 것을 목적으로 한다.

EPCRA는 지역사회의 안전을 강화하고 화학물질에 대한 정보의 투명성을 높이기 위한 여러 조치를 포함하고, 화학사고에 대한 대비와 응급 대응, 그리고 공공의 알 권리를 중시 한다.

비상 계획 및 대응 강화 : 주 및 지역 단위에서 비상 대응 계획을 수립하고, 주 비상 대응 위원회(SERCs, State Emergency Response Commissions)와 지역 비상 계획 위원회(LEPCs, Local Emergency Planning Committees)를 구성한다. 특정 위험 화학물질을 다루는 시설은 해당 화학물질에 대한 정보와 비상 대응 계획을 이 위원회들에 제출해야 합니다.

사고 통보 : 위험한 화학물질의 우발적 방출이 특정 수준을 초과하는 경우, 적절한 비상 대응 조치가 신속하게 이루어질 수 있도록 시설은 즉시 해당 사실을 지역 및 주 당국에 통보해야 한다.

지역사회 알 권리 : 시설은 위험 화학물질에 대한 물질 안전 보건 자료(MSDS) 또는 화학물질 목록을 지역 비상 계획 위원회, 주 비상 대응 위원회, 그리고 지역 소방서에 제출해야 한다. 또한 위험물질을 사용하는 시설은 화학물질의 연간 재고를 정기적으로 보고하며, 이 정보는 지역사회와 비상 대응자들에게 공개된다.

독성 화학물질 방출 목록(TRI): 특정 시설은 특정 독성 화학물질

의 환경으로의 방출량을 연간 기준으로 EPA와 주에 보고해야 한다. 이 정보는 대중이 접근할 수 있는 독성 방출 목록에 포함되어, 화학물질의 사용과 방출에 대한 투명성을 제공한다.

EPCRA는 Title 42의 116 Chapter로 3개의 Subchapter로 구성되어 있으며 Subchapter 별 내용은 다음과 같다.

| 구분                                                  | 내용                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SUBCHAPTER I<br>EMERGENCY PLANNING AND NOTIFICATION | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 비상 대응 계획을 수립하고 실행하는 것과 관련된 규정</li> <li>- 주 및 지역 단위에서 비상 대응 계획을 수립</li> <li>- SERCs와 LEPCs를 구성.</li> <li>- 위험 물질의 우발적 방출 시 통보</li> </ul> |
| SUBCHAPTER II—REPORTING REQUIREMENTS                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 보고 요구사항으로 MSDS, 긴급 유해 화학물의 재고 양식 및 독성물질 유출 양식 규정</li> </ul>                                                                             |
| SUBCHAPTER III—GENERAL PROVISIONS                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 법률의 일반적인 규정, 정의, 권한, 면제 사항 등</li> </ul>                                                                                                 |

#### 4) 자원 보존 및 복구법(RCRA, Resource Conservation and Recovery Act)

1976년에 제정된 원 보존 및 복구법(RCRA, Resource Conservation and Recovery Act)은 위험 및 비위험 고체 폐기물의 적절한 관리를 위한 체계를 제공하는 연방법으로서, 환경보호청(EPA)에게 폐기물의 생성, 운송, 처리, 저장 및 처분까지 위험 폐기물을 통제할 수 있는 권한을 부여한다.

RCRA는 독성 폐기물 무단 방류를 방지하고 폐기물 감소, 보존 및 안전한 폐기물 처분을 장려하여 환경 지속 가능성을 촉진하기 위해 설계되었으며, 이를 통해 EPA가 석유 및 기타 유해 물질을 저장하는 지하 탱크에서 발생할 수 있는 환경 문제를 해결할 수 있도록 했다.

RCRA은 처음 제정 시에는 환경 피해를 방지하기 위한 매립지 폐기물 관리에 초점을 맞췄으나, 이후 위험 폐기물 관리를 포괄하도록 확장되

어 재활용과 에너지 및 자원의 보존을 장려하게 되었다.

#### 5) 종합환경대응배상책임법(CERCLA, The Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act)

1980년에 제정된 종합환경대응배상책임법(CERCLA, The Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act)은 일명 슈퍼펀드(Superfund)법으로 유해 물질 등으로 오염된 지역을 복원하는 것을 목표로 하며, 오염원과 관련된 사고, 유출, 그 밖에 급박한 상황 하에서의 통제 불가능하고 방치된 오염원(uncontrolled or abandoned)을 제거하는 것을 주된 내용으로 한다.

EPA는 오염원을 방출한 당사자를 확인하여 이들 책임자와 함께 오염원을 제거할 수 있고, 오염원을 배출한 책임자를 확인할 수 없거나 사고 당사자가 오염 제거비용을 지불할 능력이 없을 때는 화학 및 석유 산업에 부과된 세금으로 조성된 펀드를 활용하여 EPA가 오염원을 제거한다.

명령(orders), consent decrees(동의 명령), 그 밖의 협정(settlements)를 통하여 EPA는 사인들로 하여금 오염원을 제거 하도록 하거나 책임 있는 개인 또는 회사로 하여금 오염원의 제거와 관련된 비용을 배상하도록 할 수 있다.

### 나. 유해화학물질 취급시설의 설치 및 관리기준<sup>13)</sup>

#### 1) 유해화학물질 취급시설 설치 기준

미국의 경우 유해화학물질의 취급시설에 관한 기준은 미국표준협회(American National Standards Institute ANSI)의 비롯하여, 기계기술인협회(American Society of Mechanical Engineer ; ASME), 국제화재방지협회(National Fire Protection Association ; NFPA), 미국석유협회

---

13) 환경부 2013, 유독물 취급시설기준 및 관리기준 개선을 위한 연구



(American Petroleum Institute API) 등 분야별 전문기관에 의해 제정된 규격에서 규정하고 있다.

### <주요 시설별 규격기준>

| 시설구분                   | 규격기준                                                | 주요내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 안전거리                   | API 752<br>/<br>GAP 2.5.2                           | 단위공정시설, 저장탱크, 플레어스택(Flare stake) 등에 관한 시설간 안전거리에 관한 기준을 규정(최저 30ft ~ 최대 400ft)                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                        | NFPA 30 -<br>22.4.2.4                               | LP가스 용기와 클래스 I, II 급 및 클래스 IIIA 액체 저장탱크 또는 인화점 이상 온도에서 클래스 IIIB 액체가 들어있는 저장 탱크는 최소 수평간격 6m                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 방유제                    | NFPA 30 - 22                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 방유제 용량은 가장 큰 용량의 탱크가 모두 유출되었을 때의 액체용량 이상이어야 함</li> <li>- 2개 이상의 저장탱크를 둘러싸는 방유제의 용량은 방유제 구역 면적과 가장 큰 탱크를 제외한 탱크 용량 이용 계산</li> </ul>                                                                                                                                                                    |
| 저장탱크<br>규격             | API 12A, B, D, F                                    | 오일저장탱크(12A), 볼트식 탱크(12B), 대형 용접식 탱크(12D), 소형 용접식 탱크(12F)에 관한 규격을 규정                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 배관의 재질,<br>두께,<br>잔존연한 | ASTM                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 재질은 강도(Strength), 내식성(Corrosion Resistance), 인성(Toughness), 열충격성(Thermal Shock), 내마모성(Abrasion Resistance), 내산화성(Oxidation Resistance)을 고려하여 선정하도록 규정</li> <li>- 재질 종류별 규격별 선정기준과 약 120종의 재질 사양 규정</li> <li>- 재질별 용도별 배관 두께 및 허용차를 규정</li> <li>- 배관의 부식율과 잔여수명 결정 계산식, 예측 잔여수명에 따른 검사주기 규정</li> </ul> |
| 안전밸브,<br>파열판           | ASME SEC. VIII.<br>DIV.1,<br>PTC-25, UG-136,<br>137 | 안전밸브(pressure relief valve, safety valve)와 파열판(rupture disc) 의 최소 요구사항을 규정                                                                                                                                                                                                                                                                     |

## 2) 유해화학물질 취급시설 관리 기준

유해화학물질 전반에 적용할 수 있는 일반적이고 구체적인 관리 기준은 정하고 있지 않으나, 다만, OSHA에 근거한 미연방규칙(29 CFR\*)의 part 1910의 subpart H(Hazardous materials)는 아세틸렌, 수소, 산소, 이산화질소, 인화성액체, 무수암모니아 등 위험성이 높은 개별물질의 취급시설(보관용기와 탱크 등) 및 관리에 대한 기준을 규정한다.

29 CFR은 OSHA Section 6에 근거하여 제정되었고, 총 53 Part를 구성되며, 이 가운데 Part 1910에서 산업안전보건에 관한 일반기준을 규정한다.

Subpart Z(Toxic and hazardous substances)는 대기오염물질, 석면, 발암성물질 등 35종의 개별물질에 대한 유해위험성, 취급 작업 시 주의사항, 개인보호구, 노출허용기준 등에 관한 개별규정을 찾아 볼 수 있다.

### 3. 미국 Chemical Safety Board 화학사고 조사체계

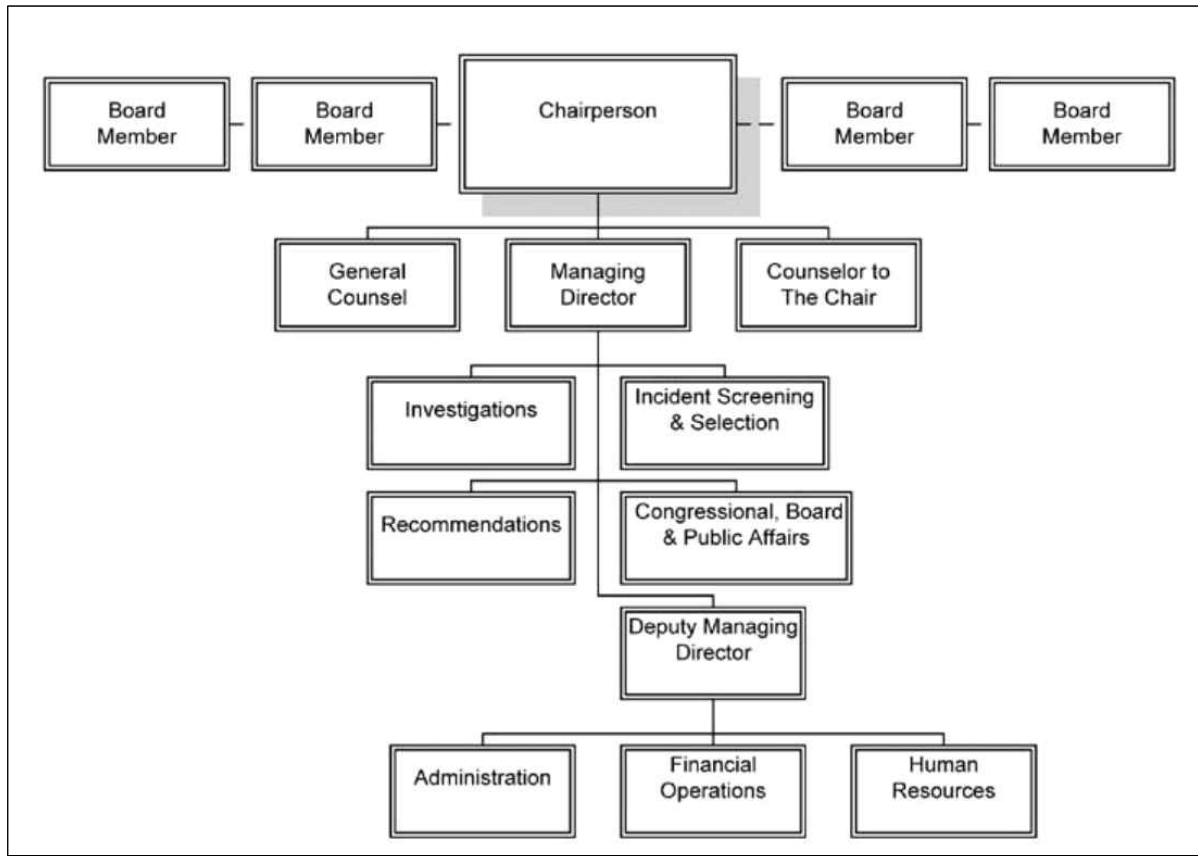
#### 가. CBS 개요

미국 화학 안전 위원회(Cheical Safety Board, CSB)는 1990년 청정 공기법 개정안에 의해 승인을 받아 1998년 1월부터 운영되기 시작한 화학 사고 조사를 담당하는 독립적인 연방 기관으로 워싱턴 D.C.에 본부를 두고 있다.

CSB는 대통령에 의해 임명되고 미국 상원에 의해 확정된 5년의 고정 임기를 가진 다섯 명의 위원으로 구성된다. 위원회 의장은 최고 경영자로서 기관 관리를 담당하며, 전체 위원회는 주요 예산 결정, 전략 계획 및 방향 설정, 일반 기관 감독, 그리고 조사 보고서 및 연구 승인을 담당한다.

---

14) 2012~2016 Chemical safety board Stragegic plan, CSB



[그림 11] 조직구성도<sup>14)</sup>

## 나. 설립 배경

CSB의 설립 배경은 1990년대의 여러 심각한 화학 사고와 이에 대한 대응의 필요성에서 비롯된다. 화학 산업 분야에서 많은 사고들이 인명 손실, 환경 피해, 그리고 경제적 손실을 초래했으며, 화학 산업의 안전 관리와 규제에 대한 국민적 관심이 증가되었다.

1990년대에 발생한 여러 대규모 화학 사고는 기존의 안전 관리 체계와 규제가 충분하지 않다는 것을 드러냈고 이에 따라, 독립적인 조사 기관의 필요성이 대두되었다.

## 다. 법률의 근거

미국 청정 대기법(Clean Air Act, CAA)에서 CSB의 설립과 관련된

부분은 1990년 청정 대기법 수정안선 112(r)(6)\*에 명시되어 있다. 이 섹션은 "위험 물질의 예방 프로그램 및 대응"에 대한 내용을 다루며, CSB의 설립, 그 임무, 조사 권한 등을 규정하고 있다. 섹션 112(r)은 특히 화학 사고의 예방, 감지, 그리고 대응과 관련된 규정을 포함하고 있으며, CSB는 이러한 화학 사고에 대한 조사를 담당하는 주요 기관으로 지정된다.

\* United state code Sec. 7412 - Hazardous air pollutants

CSB는 법적 집행 권한은 없지만, 그들의 조사와 권고는 화학 산업에 큰 영향을 미친다. CSB는 화학 사고의 원인을 독립적으로 조사하고, 사고를 예방하기 위한 구체적인 권고를 제공함으로써, 산업의 안전 표준을 개선하고, 공공의 안전을 증진하는 데 기여한다. 또한, CSB의 활동은 정부 기관, 의회, 그리고 산업계에 중요한 정보를 제공하며, 정책 결정과 법률 제정에 영향을 미친다.

## 라. CSB의 역할

CSB는 고정된 산업 시설에서 발생하는 화학 사고의 근본 원인 조사를 수행한다. 근본 원인은 일반적으로 안전 관리 시스템의 결함이지만, 해당 요인이 발생하지 않았다면 장비 고장, 사람의 실수, 예상치 못한 화학 반응 또는 기타 위험 등 사고를 방지할 수 있었을 모든 요인에 대한 조사를 수행한다.

CSB는 벌금이나 인용문을 발행하지 않지만, 산업안전 보건청(OSHA) 및 환경 보호국(EPA)과 같은 규제 기관, 산업 단체 및 노동 단체 등에 권고를 한다. CSB는 조사가 적절한 경우 규제 및 규제 집행의 효과를 검토할 수 있도록 비규제적이고 다른 기관으로부터 독립적으로 설계되었다.

CSB 조사 직원에는 화학 및 기계 엔지니어, 산업 안전 전문가 및 기타 민간 및 공공 부문에서 경험이 있는 전문가가 포함되어 있으며 많은 조사관들이 수년간의 화학 산업 경험을 가지고 있다.

수개월에 걸쳐 조사관들은 주요 결과, 근본 원인 및 권장 사항을 작성하기 전에 증거를 검토하고 이사회 구성원들과 협의하며 규정 및 업계 관행을 검토한다. 조사 과정은 일반적으로 6개월에서 12개월이 소요되며, 보고서는 위원회의 서면 투표를 통해 채택되거나 사건 현장 근처 또는 워싱턴 D.C.에서 열리는 공식 공개 회의에서 채택될 수 있다.

구체적인 사고에 대한 조사 외에도, 위원회는 이미 사고가 발생했는지 여부와 상관없이 보다 일반적인 화학 사고 위험에 대한 조사를 수행할 권한이 있다. 2002년에 발행된 Improving Reactive Hazard Management 보고서에서는 산업에서 통제되지 않은 화학 반응과 관련된 150건 이상의 심각한 사고를 검토했고, 이 조사는 OSHA와 EPA에 규제 변경에 대한 새로운 권고로 이어졌다.

#### **마. 사고발생 보고의무**

청정 대기법(Clean Air Act, CAA)은 특정 화학 사고의 발생을 규제 기관에 보고할 의무를 포함하고 있습니다. 이러한 보고 의무는 주로 CAA의 섹션 112(r)에 규정된 위험 물질 관리 프로그램(Risk Management Program, RMP)의 일부로 명시되어 있다. 섹션 112(r)은 위험 물질의 저장 및 사용으로 인해 발생할 수 있는 심각한 사고를 예방하고, 준비하며, 대응하기 위한 요구 사항을 제시한다.

## <사고발생보고서>

Expiration Date: 04-30-23  
OMB No. 3301-0001

### CSB Accidental Release Reporting Form

|                                                                                                                                                                                                     |                              |                                     |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| a1. Owner/Operator:                                                                                                                                                                                 |                              | a2. Name of Owner/Operator Contact: |               |
| a3. Title of Facility Contact:                                                                                                                                                                      |                              | a4. Mobile Phone Number:            |               |
| a5. E-mail Address:                                                                                                                                                                                 |                              | a6. Office Phone Number:            |               |
| <hr/>                                                                                                                                                                                               |                              |                                     |               |
| b1. Name of Person Submitting Report:                                                                                                                                                               |                              |                                     |               |
| b2. Title:                                                                                                                                                                                          |                              |                                     |               |
| b3. Mobile Phone Number:                                                                                                                                                                            |                              | b4. Office Phone Number:            |               |
| b5. E-mail:                                                                                                                                                                                         |                              |                                     |               |
| <hr/>                                                                                                                                                                                               |                              |                                     |               |
| c1. Facility Name:                                                                                                                                                                                  |                              |                                     |               |
| c2. Facility Street Address:                                                                                                                                                                        |                              | c3. City:                           | c4. Zip Code: |
| <hr/>                                                                                                                                                                                               |                              |                                     |               |
| d1. Time of Accidental Release:                                                                                                                                                                     |                              | d2. Date of Accidental Release:     |               |
| <hr/>                                                                                                                                                                                               |                              |                                     |               |
| e. Describe the accidental release:                                                                                                                                                                 |                              |                                     |               |
| <hr/>                                                                                                                                                                                               |                              |                                     |               |
| f. Indicate if one or more of the following consequences occurred during the accidental release.                                                                                                    |                              |                                     |               |
| Mark all that apply, to the extent known at the time of the incident.                                                                                                                               |                              |                                     |               |
| f1. Explosion:                                                                                                                                                                                      | Yes <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/>         |               |
| f2. Fire:                                                                                                                                                                                           | Yes <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/>         |               |
| f3. Death:                                                                                                                                                                                          | Yes <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/>         |               |
| f4. Serious Injury:                                                                                                                                                                                 | Yes <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/>         |               |
| f5. Property Damage:                                                                                                                                                                                | Yes <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/>         |               |
| <hr/>                                                                                                                                                                                               |                              |                                     |               |
| g: Name of the materials involved in accidental release using the Chemical Abstract Service (CAS) registry number(s) or other appropriate identifiers. (Add more lines if more than two chemicals.) |                              |                                     |               |
| g1. CAS Name and Number: _____                                                                                                                                                                      |                              |                                     |               |

g2. CAS Name and Number: \_\_\_\_\_

h. Amount of chemical(s) involved in the accidental release, if known. List chemical name and quantity released. (Use additional page(s) if necessary.)

h1. Quantity Released: \_\_\_\_\_

h2. Quantity Released: \_\_\_\_\_

i. Number of Fatalities: \_\_\_\_\_

j. Number of Serious Injuries: \_\_\_\_\_

k. Estimated Property Damage: \_\_\_\_\_

l. If known, did the accidental release result in an evacuation order to members of the general public or others? Mark "Yes" or "No."

Evacuation Order: Yes ☐ No ☐

11. Number of People Evacuated: \_\_\_\_\_

12. Approximate Radius of Evacuation Zone: \_\_\_\_\_

13. Type of individuals subject to evacuation order (i.e., employees, members of the general public, or both). Mark all that apply.

Employees Evacuated: Yes ☐ No ☐

General Public Evacuated: Yes ☐ No ☐

Signature: \_\_\_\_\_

Date

Print Name: \_\_\_\_\_  
First name Last name

## 바. CSB의 주요 보고서 분석

CSB는 1998년 Sierra Chemical의 고폭발물 사고 조사를 시작하면서 서부터 현재까지 121건의 보고서를 작성하였고 2건의 사고조사를 진행 중에 있다.

CSB의 사고조사보고는 특정 화학 사고가 발생한 구체적인 원인을 기술적 결함, 인적 오류, 안전 관리 체계의 미흡 등 다양한 요소를 포함하여 심층 분석하고 관련 기관에 재발 방지를 위한 권고를 포함하고 있다.

CSB의 재발 방지 권고 대상은 산업 현장 및 기업, 업계 협회 및 전문 기관, 규제기관(연방, 주 지방 정부 등), 공공 및 지역 사회에 걸쳐 여러 이해 관계자와 조직에 광범위하게 시행되고 있으며, 이러한 권고 사항은 사고 조사 결과에 기반하여, 사고의 원인을 명확히 파악하고 유사 사고의 재발을 방지하기 위해 마련된다.

비록 CSB의 권고사항이 강제적인 구속력을 가지고 있지는 않지만 권고사항을 발표한 이후로 이행상황을 지속적으로 추적하고 권고사항이 효과적으로 수행되고 있는지 권고사항이 완료될때까지 모니터링을 통해 관리하기 때문에 권고사항이 대부분 긍정적으로 완료 되고 있다.

CSB는 121건의 사고에 대해 990건의 권고사항을 발표하고 현재 완료된 권고사항은 826건, 이행 중인 권고사항은 164건으로 완료율이 83%에 이른다.

완료된 권고의 이행상태를 세부적으로 살펴보면 긍정적으로 이행된 상태인 C-AA(61%), C-AAA(5%), C-ERA(2%)가 68%로 상당히 높게 나타 났으며 권고사항이 더 이상 적용되지 않거나 다른 권고로 대체된 상태는 11%이며, 권고대상이 만족할만한 이행하지 못한 경우(C-UA/NRR)는 5%에 불과하다.



현재 권고를 이행중인 상태에서도 긍정적인 권고 이행상태를 보이는 O-ARAR(4%)와 O-ARE/AR(14%)가 대부분이며 권고대상자의 불충분한 이행상태는 보이는 것은 단 4건으로 대부분의 권고사항이 이행되고 있는 것으로 분석된다.

#### <SB Recommendations Statistics>

| 이행상태                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 건수  | 비율  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| Closed - Unacceptable Action/No Response Received                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 46  | 5%  |
| Closed - No Longer Applicable                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 65  | 7%  |
| Closed - Reconsidered / Superseded                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 36  | 4%  |
| Closed - Acceptable Action                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 601 | 61% |
| Closed - Acceptable Alternate Action                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 45  | 5%  |
| Closed - Exceeds Recommended Action                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 21  | 2%  |
| Open - Awaiting Response or Evaluation/Approval of Response                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 135 | 14% |
| Open - Acceptable Response or Alternate Response                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 37  | 4%  |
| Open - Unacceptable Response/No Response Received                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4   | 0%  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- C - UA/NRR : 이해관계자의 조치가 불충분하거나, 아예 응답을 받지 못한 상태</li> <li>- C - NLA : 권고사항이 더 이상 적용되지 않는 상태</li> <li>- C - R/S : 원래의 권고사항이 재고되거나 다른 조치로 대체되어 닫힌 상태</li> <li>- C - AA : 이해관계자가 권고사항에 대해 수용 가능한 조치를 취한 상태</li> <li>- C - AAA : 이해관계자가 권고사항에 대해 수용 가능한 대체 조치를 취한 상태</li> <li>- C - ERA : 이해관계자가 권고된 조치를 넘어서는 조치를 취한 상태</li> <li>- O - ARE/AR : 권고사항에 대한 이해관계자의 응답을 기다리고 있거나, 제출된 응답의 평가나 승인을 기다리는 상태</li> <li>- O - ARAR : 이해관계자가 제출한 응답이 수용 가능하거나, 대체 응답이 제출된 상태</li> <li>- O - UR/NRR : 이해관계자의 응답이 불충분하거나, 아예 응답을 받지 못한 상태</li> </ul> |     |     |

사고조사 보고서는 정책 입안자와 규제 기관에 중요한 정보를 제공하

여, 권고사항을 통해 화학 산업의 안전 관련 정책 및 규제를 개선하는 데 기여하고, 사고 조사 결과는 새로운 안전 기준이나 규제의 필요성을 명확히 하고 있다.

사고조사 보고서의 대부분은 아래 표와 같은 형식으로 작성되고 있으며 대표적으로 대량의 인명피해가 발생한 사고조사보고와 많은 인명피해가 지속적으로 발생하여 산업계에 인식전환을 위한 보고서, 대중의 안전교육을 위한 교유자료 형식의 보고서 3건에 대해 중점적으로 살펴보고자 한다.

| 항목                                        | 내용                                                                            |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 개요<br>(Executive Summary)                 | 사건의 간략한 개요, 주요 발견 사항, 그리고 중요한 권고 사항을 제공합니다.                                   |
| 사고 배경<br>(Background)                     | 사고가 발생한 시설, 화학 물질, 관련 작업 과정, 그리고 사고 발생 당시의 환경 조건 등에 대한 정보를 포함합니다.             |
| 사고 설명<br>(Accident Description)           | 사고의 경위, 발생 시간대, 관련 사건 및 활동의 순서 등을 자세히 설명합니다.                                  |
| 원인 분석<br>(Root Cause Analysis)            | 사고의 근본 원인을 분석하고, 사고에 기여한 다양한 요인들을 설명합니다.                                      |
| 사고 결과<br>(Accident Consequences)          | 사망자, 부상자, 환경 피해, 재산 피해 등 사고의 직접적인 결과를 기술합니다.                                  |
| 안전 권고사항<br>(Safety Recommendations)       | 사고 재발 방지를 위한 구체적인 안전 권고사항을 제시합니다. 이는 해당 산업, 조직, 규제 기관 등에 대한 권고사항을 포함할 수 있습니다. |
| 부록<br>(Appendices)                        | 추가 정보, 기술적인 데이터, 참고 문헌, 조사 과정에서 사용된 방법론 등의 세부 정보를 포함합니다.                      |
| 그래픽 및 시각 자료<br>(Graphics and Visual Aids) | 사고 현장 사진, 도표, 그래프, 사고 재현 애니메이션 등을 포함하여 내용을 보다 명확하게 전달합니다.                     |

## 4. Chemical Safety Board 화학사고 보고서 사례조사

### 가. West Fertilizer Explosion and Fire (2013)

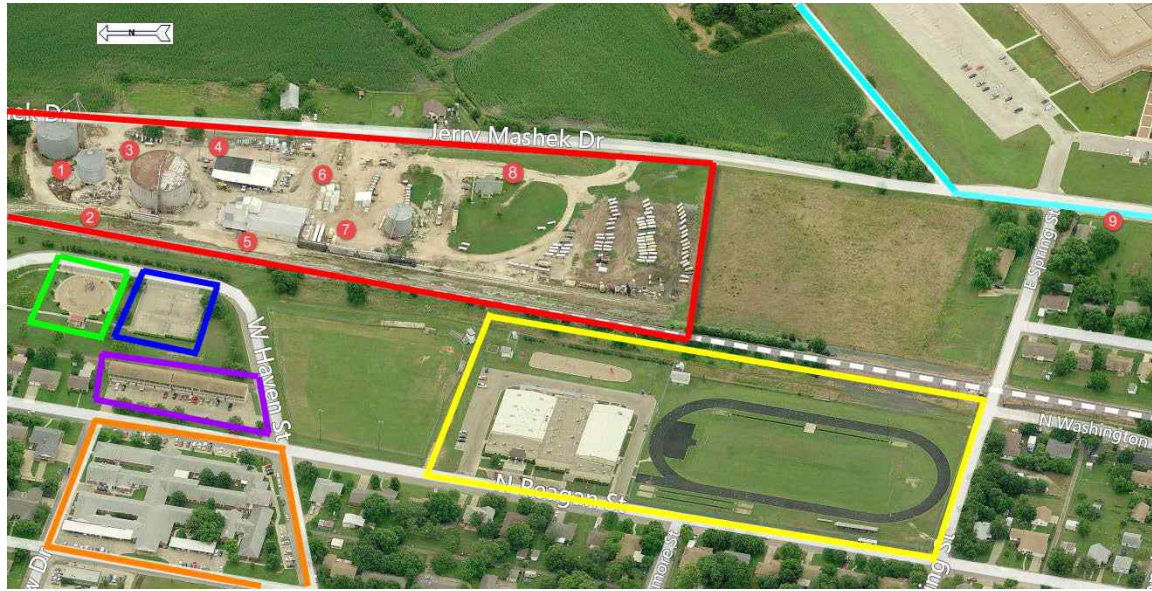
#### 1) 개요

2013년 4월 17일, 텍사스 주 웨스트에 위치한 웨스트 비료 회사(WFC)에서 화재와 폭발이 발생했다. 이 폭발로 인해 12명의 의용소방대원과 3명의 일반 시민이 사망하고, 260명 이상이 부상을 입었다. 폭발은 WFC 시설을 완전히 파괴하고 150개 이상의 외부 건물에 광범위한 피해를 입혔다.

폭발은 오후 7시 51분경 발생했으며, 화재의 첫 징후가 현지 911 응급 대응 디스패치 센터에 보고된 지 약 20분 후였다. 여러 지역 자원 봉사 소방대가 현장에 출동했으며, 현장에는 40~60톤(80,000에서 120,000파운드)의 비료 등급 암모늄 나이트레이트(FGAN)가 있었다. 폭발로 인해 손상된 구조물의 절반 이상이 철거되어 재건축을 위한 길을 만들었습니다. 철거된 건물에는 중학교, 고등학교, 22세대의 2층 아파트 단지, 145병상의 요양원 등이 포함되었다.

#### 2) 사고 배경 (Background)

○ 회사 구조 : 텍사스 주 웨스트에 위치한 해당 부지는 같은 가족이 소유한 두 회사로 구성되었다. 아데어 그레이н 주식회사는 곡물 거래에 종사했으며, WFC는 비료, 농업 화학제품 및 기본 농업 장비의 판매에 집중했다. WFC는 또한 비료 장비의 임대 및 분산 서비스를 제공했다.



| WFC Facility Legend |                                                      | Figures in Report                                           |
|---------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1                   | Grain Silos                                          | 2                                                           |
| 2                   | Location of Overturned FGAN Railcar (post-explosion) | 15                                                          |
| 3                   | Corn Silo                                            | -                                                           |
| 4                   | Office/Chemical Storage                              | -                                                           |
| 5                   | Fertilizer Building                                  | 3-5, 7                                                      |
| 6                   | Liquid Fertilizer Tanks                              | 16                                                          |
| 7                   | Anhydrous Ammonia Pressure Vessels                   | 6, 17, 21                                                   |
| 8                   | Scale House                                          | -                                                           |
| 9                   | Nearest Fire Hydrant                                 | -                                                           |
| City of West Legend |                                                      | Figures in Report                                           |
|                     |                                                      | Approximate Distance from Seat of Blast to Fenceline (Feet) |
|                     | West Fertilizer Company                              | 2-8, 12                                                     |
|                     | West High School                                     | 30                                                          |
|                     | West Intermediate School                             | 23-29                                                       |
|                     | Basketball Court                                     | 20                                                          |
|                     | Playground                                           | 19                                                          |
|                     | West Terrace Apartment Complex                       | 36                                                          |
|                     | West Rest Haven Nursing Home                         | 33-35                                                       |

**[그림 12] 2013 Overview of WFC Facility(2013년, WEST FERTILIZER COMPANY FIRE AND EXPLOSION, CSB)**

○ 곡물 저장 : 아데어 그레이는 농부들로부터 밀로와 옥수수를 구매하여 현장의 사일로에 저장했다. 곡물은 농부들의 트럭에서 구덩이로 이동되었고, 여기에서 오거를 통해 곡물 창고로 옮겨졌다.

○ 화학 및 비료 저장 : WFC는 두 개의 건물과 다양한 탱크를 운영했다. 하나의 건물은 농부들이 구매한 화학 물질을 저장하는 데 사용되었으며, 이에는 다양한 크기의 용기에 든 농약 및 제초제가 포함되었다.

1960년대에 건설된 다른 건물은 이아모늄 인산염, 황산 암모늄, 가리 및 비료 등급 암모늄 나이트레이트(FGAN)와 같은 건조 비료를 저장했다.

○ 무수 암모니아 및 액체 비료 : 무수 암모니아는 주로 트럭을 통해 시설로 운반되었으며(철도를 통한 운반도 가능), 액체 비료로 판매를 위해 저장되었다. 요소 암모늄 나이트레이트 용액이나 액체 인산염과 같은 액체 비료도 외부 탱크에 저장되어 농부들의 요구에 따라 혼합될 수 있었다.

○ 비료 건물 구조 : 비료 건물은 나무 프레임과 콘크리트 바닥으로 구성되었다. 이 건물은 1961년부터 점진적으로 건설되었으며, 1980년대에 제작된 씨앗 방이 포함되어 있었다. 이 방은 목재 래프터, 합판, 아스팔트 싱글로 구성된 지붕을 가지고 있었다.

○ FGAN 저장 : FGAN은 비료 건물 내의 합판 빈(bin)에 저장되었다. 서쪽 벽에는 두 개의 빈이 있었고, 북쪽 끝에는 하나의 주요 빈이 있었다. 주요 빈은 합판 시트와 목재 프레임으로 지지되었으며, 금속 막대로 보강되었다. 폭발 약 두 해 전, 주요 빈의 북쪽 벽 일부가 손상되어 철과 콘크리트로 보강되었다.

○ 먼지 관리 및 처리: 하역 작업 중 먼지를 관리하기 위해 WFC는 팬을 사용하고 때때로 암모늄 인산염에 식물성 오일 코팅을 적용했다. FGAN은 특히 습기가 있거나 습한 날에는 주의하여 취급되었으며, 이로 인해 습기를 흡수하고 용해되는 것을 방지했다.

### 3) 사고 설명 (Accident Description)

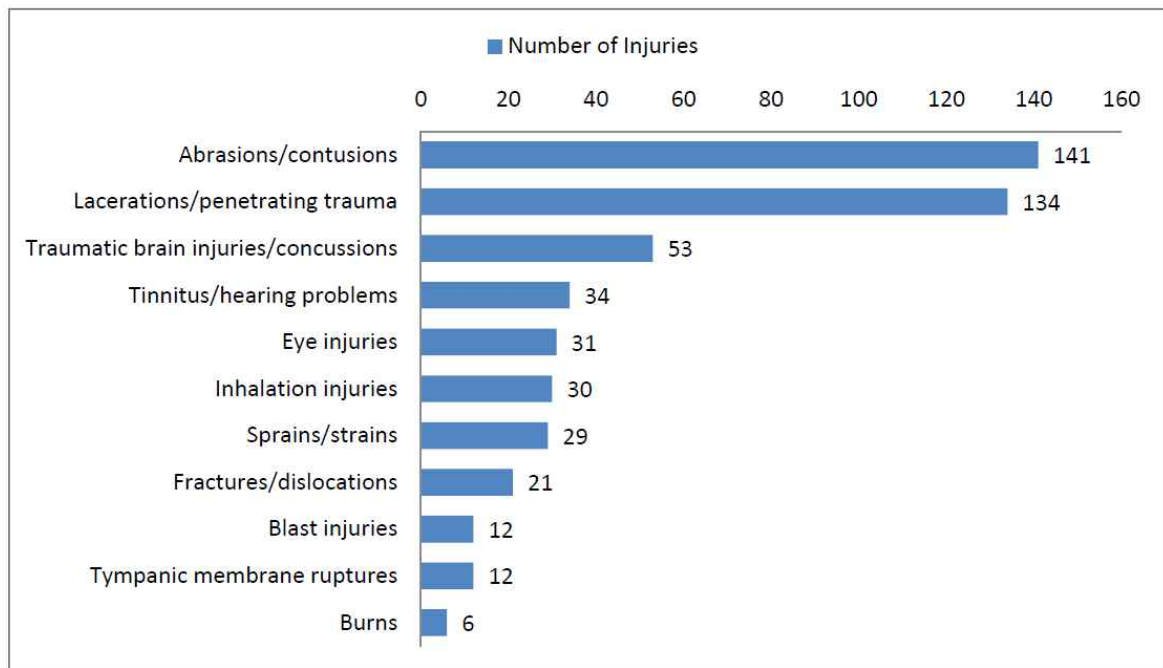
웨스트 경찰서, 델러스 소방구조서, 그리고 웨스트, 애보트, 브루스빌-에디, 머턴스, 나바로 밀스의 자원봉사 소방서(VFDs)와 관련된 다양한 개인들에 의해 여러 관점의 목격을 기술하여 사고 초기 현장의 상황을 파악 할 수 있도록 하였다.

○ 사건 시작 : 오후 7시 29분경, 시민들은 WFC 시설에서 연기와 불길의 징후를 현지 911 디스패치 센터에 보고했다.

○ 대응 및 화재 발달 : 응급 디스패처들은 웨스트 자원 봉사 소방서(WVFD)와 다른 소방서에 경보를 발령했다. 소방관들은 두 대의 소방차, 브러시 트럭 및 물 공급 트럭을 이끌고 도착했다. 목격자들은 화재가 비료 건물의 북동쪽 끝에서 남쪽으로 빠르게 확산되면서 강화되고 있다고 기술했다.

○ 사망자 및 부상자 : 초기 화재 보고 후 20분 내에 대규모 폭발이 발생하여 12명의 의용소방대원과 3명의 일반 시민이 사망했다. 사망 원인은 주로 폭발로 인한 골절, 둔기 충격, 또는 폭발력에 의한 부상이었다. 사망한 두 명의 시민은 근처 아파트 단지에 거주하고 있었고, 세 번째 사망자는 요양원에 거주하고 있었으며 사건 후 폭발의 충격으로 인한 부상으로 사망했다.

웨이코-맥레넌 카운티 공공 보건 지구의 보고서에 따르면, 이 사건으로 260명 이상의 부상자가 발생했으며, 이에에는 의용소방대원과 일반 시민이 포함되었다. 보고된 252건의 부상 중 76%가 발생한 위치를 식별했는데, 이는 구조물 내부 또는 외부였다. 부상당한 환자의 절반 이상이 구조물 내부(55%)에 있었으며, 나머지는 외부(13%) 또는 차량 내부(8%)에 있었다.



[그림 13] Number of Nonfatal Injuries, by Injury Type (Source: Waco-McLennan County Public Health District)<sup>15)</sup>

○ 재산 피해 : 웨스트 비료 회사(WFC) 시설의 완전한 파괴를 포함하여 상당한 재산 피해를 야기했다. 텍사스 보험부는 폭발 및 화재로 인한 총 재산 피해를 1억 달러로 초기 추정했다.

폭발로 인해 현장에서 화재진압을 하던 소방차와 여러대의 소방대원의 개인 차가 손상되거나 파괴 되었으며, 물탱크 차량은 분화구의 남동쪽에 위치했으며 폭발력으로 인해 약 6인치 남쪽으로 이동했다.

WFC 부지와 공원 사이의 철도 트랙도 폭발로 손상되었으며, 철도 트랙의 한쪽이 2피트 이상 이동시켜 트랙에 두드러진 곡선을 만들었다.

15) 2013, WEST FERTILIZER COMPANY FIRE AND EXPLOSION, CSB





[그림 14]WEST FERTILIZER COMPANY 사고 후 전경



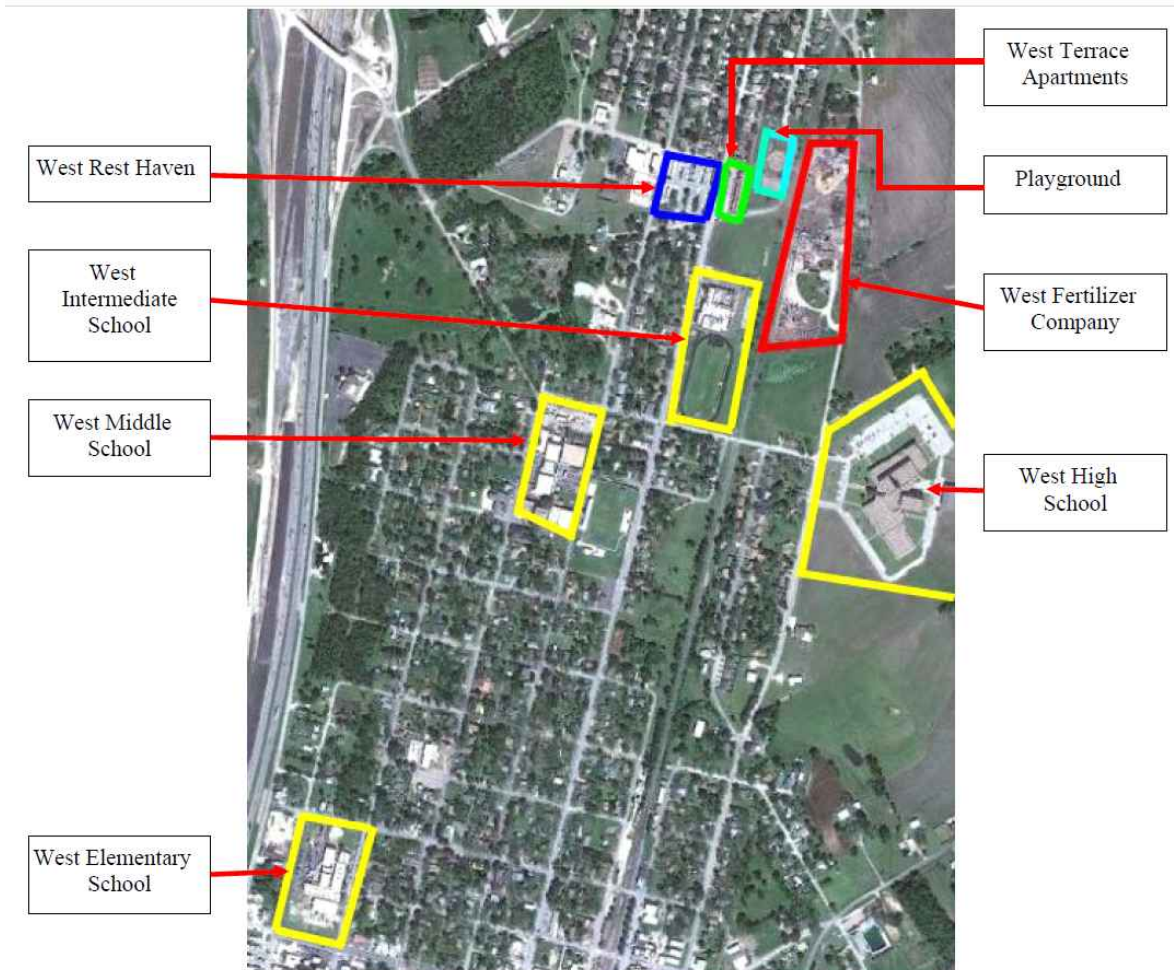
[그림 15]WEST FERTILIZER COMPANY 폭발로 손상된 철도 레일



[그림 16]WEST FERTILIZER COMPANY 폭발로 손상된 물탱크 차



WFC 인근에는 4개의 학교가 위치하고 있으며 폭발로 건물에 피해가 발행 하였으며, 일부 건물에 화재가 발생했다. 다행히 사건 당시 학교가 수업 중이 아니었기 때문에, 학생, 교사 및 기타 교직원의 피해는 없었으나 수업 중이었다면 사상자피해가 더 많았을 것으로 추정된다.



[그림 17] WEST FERTILIZER COMPANY 인근의 학교 배치

| School                   | Grades | Estimated Number of Students Enrolled | Estimated Number of Staff Members |
|--------------------------|--------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| West Intermediate School | 4-5    | 246                                   | 22                                |
| West Middle School       | 6      | 320                                   | 40                                |
| West High School         | 7-12   | 419                                   | 64                                |
| West Elementary School   | K-3    | 501                                   | 45                                |
| Total Occupants          |        | 1,486                                 | 171                               |



[그림 18] WS North Hallway, Looking Toward Northeast Exit Door (Source: ABS Consulting)



[그림 19] Interior of Burned Northeast Section of WIS





[그림 20] WMS Gymnasium (Source: ABS Consulting)



[그림 21] WMS Classroom 20 (Source: ABS Consulting)

#### 4) 원인 분석 (Root Cause Analysis)

CSB의 사고조사보고서의 4장에서는 암모늄 나이트레이트(FGAN)의 특성을 설명하고 WFC 화재 당시의 조건에서 암모늄 나이트레이트(FGAN)이 폭발할 수 있는 세 가지 시나리오를 제시한다. CSB는 저장소 구조와 기타 건축 자재, 그리고 자동 스프링클러 시스템의 부재가 폭발에 기여했다고 결론지었다.

비료 등급 암모늄 나이트레이트(FGAN): FGAN은 농업에서 널리 사용되며 비료의 주요 질소 원천으로 사용된다. 또한 특정 유형의 폭발물에도 사용된다. FGAN은 정상 조건에서 안정한 화합물이지만, 산화제로서의 특성 때문에 화재 상황에서 위험할 수 있다.

암모늄 나이트레이트(AN)의 특성과 위험성: FGAN의 주요 구성요소인 AN은 정상 조건에서 충격, 불꽃, 마찰에 대해 민감하지 않은 안정한 물질이다. 그러나 화재 상황에서는 통제 불가능한 화재, 독성 가스 생성과 함께 분해, 폭발의 위험이 있다. 유기물 또는 특정 무기 화합물질로 오염될 경우 AN의 폭발 위험이 증가한다.

WFC에서의 FGAN 폭발 시나리오: WFC 사건에서 FGAN의 정확한 거동은 불확실하지만, 보고서는 연료로 작용하는 물질로 오염된 FGAN과 FGAN 저장 공간의 열 축적 및 환기의 특성을 폭발에 기여하는 두 가지 요인을 식별하고 세 가지 가능한 폭발 시나리오를 제시한다:

- FGAN 더미 상단에서의 폭발
- 화재에 노출된 외벽을 따라 가열된 FGAN에서의 폭발
- 엘리베이터 구덩이에서 시작되어 주요 FGAN 빈으로 퍼진 폭발

WFC에서의 폭발로 이어진 구체적인 상황은 이 사건의 복잡한 성격과 관련된 여러 요인으로 인해 결코 정확히 결정될 수 없을 것이나, CSB는 화재 상황에서 FGAN의 예측 불가능한 행동이 폭발에 기여했다고 결론지었다.

#### 5) 상업용 부동산 및 책임 보험

폭발로 인한 보험 관련 손실은 약 2억 3천만 달러로 추정되며, WFC의 보험 가입 금액은 사고 피해액에 턱없이 부족한 100만 달러였다. 5장에서는 이와 같은 상황과 FGAN에 의해 초래된 위험을 파악하지 못한 보험사의 실패에 대한 CSB의 분석을 제시한다. 사건 당시 WFC를 보험에 가입시킨 회사는 시설의 안전 검사를 수행하지 않은 것으로 보인다.

#### 6) 본질적으로 더 안전한 기술

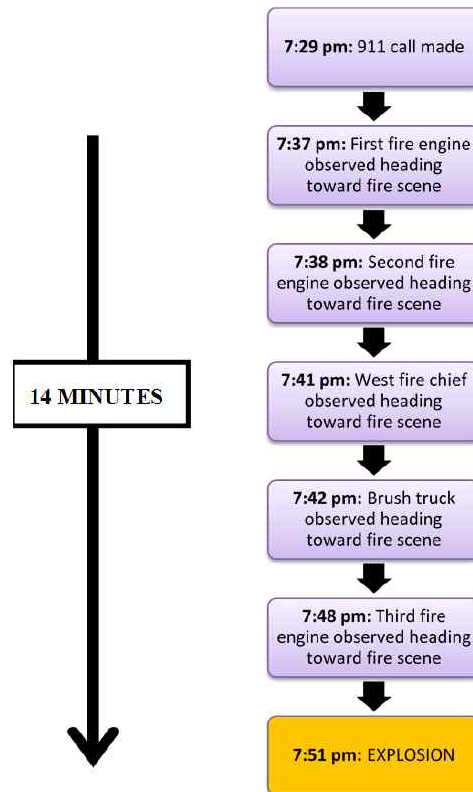
6장에서는 FGAN 사용 및 저장에 대한 본질적으로 안전한 접근 방법을 제안한다.

#### 7) 현장 대응

7장에서 CSB는 웨스트 의용소방대 WFC에서 사전 사고 계획이나 대응 훈련을 수행하지 않았으며, FGAN 폭발 가능성을 인지하지 못했고, 화재 현장에서 권장되는 사고 대응 조치를 취하지 않았으며, 위험 물질 대응에 대한 적절한 훈련이 없었다고 결론지었다.

FGAN 폭발 : WFC 시설에서의 FGAN 폭발은 15명을 사망하게 하고 260명 이상의 부상을 야기했다. 이 사망자 중 12명은 화재에 대응한 초기 대응인력(소방관 및 응급 서비스 인력)였으며, 그 중 8명은 웨스트 의용소방서(WVFD) 소속, 2명은 애보트 시 소방서 소속, 그리고 나머지는 머턴스와 나바로 밀스 소방서 소속이었다.

소방관 대응 및 사건 관리 : WFC에 도착한 소방관 및 기타 비상 대응자들부터 폭발까지의 사건 순서는 명확하지 않으나, 평가에 따르면 조정된 사건 지휘 시스템 및 사건 관리 시스템의 부재, 위험 물질에 대한 부적절한 교육 및 FGAN 폭발 위험에 대한 제한적인 지식이 있었음을 알수 있다.



[그림 22] Timeline of Events for Emergency Response to WFC Facility

사건 지휘 및 위험 평가의 부족 : 국가 사건 관리 시스템(NIMS)에서 훈련을 받은 비상 대응 인력 중 누구도 사건 지휘관(IC)의 위치를 공식적으로 수행하지 않았다. 이러한 리더십 및 위험 평가의 부족은 사건에 효과적으로 대응하지 못하는 데 기여했다.

비효율적인 사건 관리 시스템 : 비상 대응 인력은 효과적인 사건 관리 시스템 계획을 설정, 구현 및 조정하지 않았으며, 이는 인근 주민들의 대피를 보장할 수 있었을 것이다.

사전 사건 계획의 결핍 : 소방서는 WFC에서 FGAN에 대한 공식적인 사전 사건 계획 프로그램이 없었다. 일부 소방관들은 현장에 FGAN이 있음을 인지하고 있었지만, 화재 및 화학 비상 사태에 대비하기 위한 정기적인 훈련 연습이 없어 폭발 가능성을 예상하지 못했다.

## 8) 규제분석

8장에서는 FGAN 저장 및 취급을 규제하는 다양한 연방, 주, 지방의 관련 규정을 개괄하며, 또한 FGAN 시설이 이러한 기관들에 의해 어떻게 식별되고 규제되는지를 제공한다.

○ 오바마 대통령의 행정 명령 13650 : WFC 사건에 대응하여 발표된 이 명령은 화학 시설의 안전 및 보안 향상을 목표로 한다. 이는 국토안보부 장관, EPA 관리자 및 노동부 장관이 공동 의장인 화학 시설 안전 및 보안 실무 그룹의 설립을 이끌었으며, 이 그룹은 조정, 정보 공유 및 최선의 관행 식별을 강화하는 역할을 한다.

○ OSHA 폭발물 및 발파제 기준 : 1971년에 제정된 이 기준은 폭발물 및 발파제의 저장, 사용 및 운송을 규제하며, 다양한 등급의 AN(질산 암모늄)을 포함한다. 이는 1000파운드(약 0.45톤) 이상의 AN을 저장한 WFC 시설에 적용된다. 그러나 CSB는 WFC에서 OSHA의 1910.109<sup>16)</sup>(i) 기준이 FGAN에 적용되지 않았다는 사실을 발견하였으며, FGAN의 폭발물에 대한 인식 부족은 관련 안전 기준 준수 부재로 이어졌다.

| Fertilizer Name                   | Amount (in tons) |
|-----------------------------------|------------------|
| FGAN (fertilizer building)        | 40 to 60         |
| FGAN (railcar)                    | 100              |
| Anhydrous ammonia                 | 17               |
| Potash <sup>4</sup>               | 45               |
| Diammonium phosphate <sup>5</sup> | 70               |
| Diammonium phosphate and potash   | 25               |
| Ammonium sulfate <sup>6</sup>     | 60 to 70         |
| Zinc sulfate <sup>7</sup>         | 17.5             |

16) 29 CFR 1910.109은 주로 폭발물 및 발파제의 저장, 취급 및 운송에 관한 규정

○ DHS 화학 시설 대테러 기준 (CFATS, Chemical Facility Anti-Terrorism Standards) : 2007년에 제정된 CFATS는 FGAN을 저장하는 고위험 화학 시설을 취약성 평가와 보안 계획을 준비하도록 요구한다. 또한 FGAN을 5000파운드(약 2.27톤) 이상의 FGAN을 대량 저장하는 시설은 보고해야 합니다.

○ OSHA 공정 안전 관리 표준 : 1992년부터 시행된 이 표준은 독성, 반응성, 인화성 또는 폭발성 화학물질의 대규모 방출로 인한 결과를 방지하거나 최소화하기 위한 요구 사항을 포함하고 있으나, FGAN은 높은 반응성 등급에도 불구하고 PSM 표준의 고위험 화학물질, 독성 및 반응성 목록에 포함되지 않았다.

○ 소매 시설 면제기준(Retail Facilities Exemption) : WFC는 PSM 범위를 초과하는 양의 무수 암모니아를 저장했지만, OSHA의 소매 시설 면제 해석으로 인해 면제되었습니다. 사고 이후 OSHA는 PSM 표준 하에서 화학물질을 대량으로 저장하는 시설과 같은 WFC를 포함하도록 소매 시설 면제를 개정했다.

#### 9) 권고사항(Recommendations):

비료 등급의 질산암모늄(FGAN)과 같은 위험 물질의 취급 및 저장과 관련된 안전 및 규제 표준을 개선하기 위해 10개 기관을 대상으로 권고사항을 제시한다.

○ 미국 환경 보호국(EPA) : 비상 계획 및 지역사회 알 권리 법(EPCRA) 요구 사항에 대한 지침 문서를 개발하여, 어떤 화학 물질이 면제되고 어떤 것이 보고되어야 하는지, 비상 대응자가 1급 및 2급 보고서를 어떻게 사용해야 하는지, 포괄적인 LEPC 계획 요구 사항을 포함하여 연간 훈련 연습 및 드릴을 중점적으로 다룬다.

○ 미국 직업 안전 보건청(OSHA) : FGAN 시설이 많은 지역을



위해 폭발물 및 발파제 표준에 대한 지역 강조 프로그램을 개발하여 발행하도록하고, FGAN의 위험을 해결하기 위해 FGAN을 공정 안전 관리 (PSM) 표준에 추가하거나 OSHA 폭발물 및 발파제 표준을 수정하여 FGAN 저장 시설에 명확히 적용하도록 규제 변경을 요구한다.

- 국제 코드 위원회(ICC) : 질산암모늄의 저장 및 취급에 대한 국제 소방 코드에 장 또는 섹션을 개발하며, 자동 화재 감지 및 진압 시스템, 환기 요구 사항 및 안전한 분리 거리와 같은 요구 사항을 포함한다.

- 국토 안보부 및 연방 비상 관리청(FEMA) : FGAN 저장 시설에서 발생하는 사고에 대응하기 위해 소방부를 훈련시키는 자금 메커니즘을 만들고, 이는 FGAN 사고에 대응하기 위한 훈련 방안을 개발한다.

- 텍사스 소방 보호 위원회(TCFP) : FGAN에 특화된 최소 표준 및 훈련 프로그램을 개발하며, 위험 인식, 사전 사고 계획 및 현장 긴급 대응과 같은 측면을 다룬다.

- 텍사스 주 소방관 및 소방 마샬 협회(SFFMA) : FGAN 시설이 있는 관할 지역의 소방 부서 또는 상호 지원으로 대응하는 부서를 위한 FGAN 훈련 인증 프로그램을 개발한다.

- 텍사스 A&M 공학 확장 서비스(TEEX) : FGAN 및 기타 위험 물질 또는 화학 물질을 다루는 위험 물질 훈련 모듈을 개발하여 관리한다.

- 텍사스 보험부(TDI): 가연성 물질, 환기 및 분리 거리와 같은 측면에 중점을 두고 FGAN을 저장하는 농업 시설에 보험을 제공하는 회사들을 위한 지침을 개발한다.

- 엘도라도 화학 회사(EDC) : 고객들이 FGAN이 저장되거나 사용되는 장소에서 내부 모니터링 및 감사를 수행하도록 장려한다.

## 나. COMBUSTIBLE DUST HAZARD STUDY(2006년)

미국 화학안전 및 위험조사위원회(CSB)는 2003년 14명의 노동자가 사망한 세 건의 대형 가연성 먼지 폭발 사고 이후 일반 산업 분야에서의 먼지 폭발에 대한 연구를 진행하였다. 이 연구는 가연성 먼지 폭발이 미국 산업에 심각한 위험을 초래하며, 현재의 조치들이 이 위험을 충분히 해결하지 못한다는 결론을 도출하였다.

| 폭발장소(회사)                          | 발생일         | 피해현황             | 폭발물질            |
|-----------------------------------|-------------|------------------|-----------------|
| West Pharmaceutical Services, Inc | 2003.1.29.  | 사망 6명            | compound rubber |
| CTA Acoustics, Inc.               | 2003.2.20.  | 사망 7명,<br>부상 37명 | resin dust      |
| Hayes Lemmerz International       | 2003.10.29. | 사망 1명            | aluminum dust   |

1980년부터 2005년까지 미국에서는 281건의 가연성 먼지 폭발 사건이 발생하여 119명이 사망하고 718명이 부상을 입었다. CSB는 이러한 폭발사고와 2003년에 발생한 3건의 사고조사를 통해 폭발 사고의 공통적인 원인 요소들을 밝혀냈다.

먼저 먼지 폭발 위험을 통제하기 위한 포괄적인 연방 산업안전보건청(OSHA) 표준이 없었다. 기존의 OSHA 가연성 먼지 위험에 대한 규정은 대부분 사후적인 규제로 사고 예방을 위해서는 적절하지 못했다.

미국 방화협회(NFPA)는 가연성 먼지 폭발을 예방하고 완화하기 위한 포괄적인 표준을 발행하였으나, NFPA 코드를 표준의 채택하고 집행하는 것은 주 및 지방 관할구역에서 일관성이 없었다. 지역 소방 코드 관리자들은 종종 가연성 먼지와 같은 산업 위험을 간과했으며, 모든 주에서 균일한 소방 코드의 채택이나 집행을 요구할 수 있는 연방 입법 권한이나 기관이 없어, 미국의 소방 코드 시스템은 분산되고 일관성이 없으며 균일하게 적용되지 않았다.

물질 안전 보건 자료(MSDS)는 폭발 경고나 실질적인 예방 정보를 포함하지 않은 자료가 많아 일반적으로 가연성 먼지 위험에 대한 효과적인 정보 전달에 실패했다.

CSB는 OSHA가 NFPA 표준을 기반으로 일반 산업을 위한 포괄적인 가연성 먼지 표준을 발행하고, 위험 통신 표준(HCS)을 개정하여 가연성 먼지를 명시적으로 포함시킬 것과, 미국 국가표준기구 Z200.1 위원회에서 물질안전정보(MSDS)에 가연성 분진 위험에 대한 정보를 포함되도록 조사보고서에서 권고하고 있다.

#### 1) 분진폭발 기초

이 조사보고서의 3장에서는 산업 현장에서의 가연성 먼지 폭발의 잠재적 위험성을 강조하며, 먼지 폭발의 본질과 원인, 가연성 먼지의 특성, 그리고 먼지 화재와 폭발로 이어지는 조건들에 대해 기초적인 이해를 제공한다.

이 장에서는 일차 및 이차 먼지 폭발의 차이점을 설명하고, 덕트를 통한 먼지 폭발의 전파를 논의하며, 먼지의 폭발성에 영향을 미치는 다양한 요소들을 자세히 설명한다. 또한, 가연성 먼지의 폭발 가능성을 평가하는 데 필요한 주요 측정치들을 소개한다.

### <가연성 분진의 측정특성<sup>17)</sup>>

| Property        | Definition                                                   | ASTM Test Method                | Application                                                                                                                                                      |
|-----------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $K_{St}$        | Dust deflagration index                                      | ASTM E 1226                     | Measures the relative explosion severity compared to other dusts.                                                                                                |
| $P_{max}$       | Maximum explosion overpressure generated in the test chamber | ASTM E 1226                     | Used to design enclosures and predict the severity of the consequence.                                                                                           |
| $(dp/dt)_{max}$ | Maximum rate of pressure rise                                | ASTM E 1226                     | Predicts the violence of an explosion. Used to calculate $K_{St}$ .                                                                                              |
| MIE             | Minimum Ignition energy                                      | ASTM E 2019                     | Predicts the ease and likelihood of ignition of a dispersed dust cloud.                                                                                          |
| MEC             | Minimum explosible concentration                             | ASTM E 1515                     | Measures the minimum amount of dust, dispersed in air, required to spread an explosion.<br>Analogous to the lower flammability limit (LFL) for gas/air mixtures. |
| LOC             | Limiting oxygen concentration                                | ASTM standard under development | Determines the least amount of oxygen required for explosion propagation through the dust cloud.                                                                 |
| ECT             | Electrostatic charging tendency                              | No ASTM standard                | Predicts the likelihood of the material to develop and discharge sufficient static electricity to ignite a dispersed dust cloud.                                 |

## 2) 연구 설명 및 사례연구

4장에서는 CSB가 분진 폭발 사고조사 보고서를 작성하게 된 배경과 연구방법에 대해 소개하고 있다.

<sup>17)</sup> Dastidar et al. (2005).

2003년 화학안전보건위원회(CSB)는 세 차례의 중대한 분진 폭발 사고를 조사하며 이 사고들이 서로 다른 산업 분야에서 발생했지만, 많은 공통 원인을 공유하고 있다는 것을 발견했다.

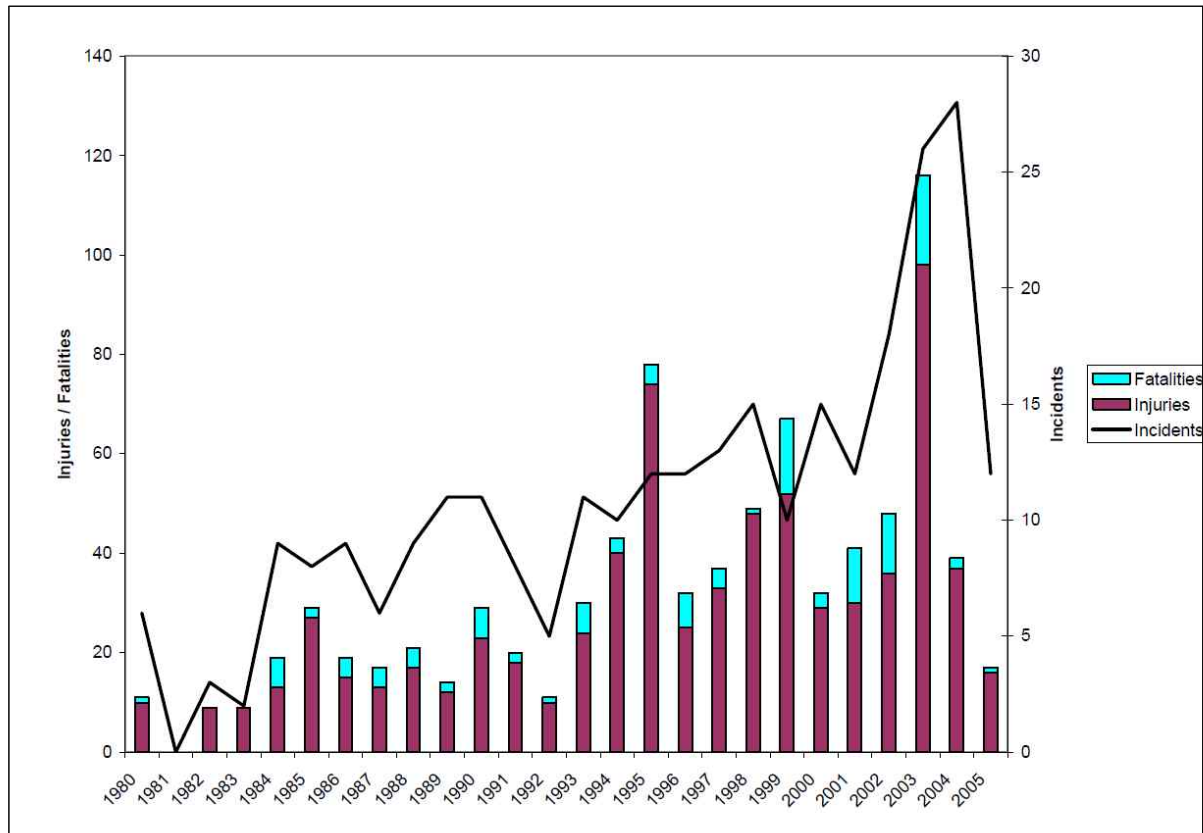
이는 일반 산업 전반에 걸친 광범위한 위험을 시사 했으며, CSB는 가연성 분진의 폭발 위험과 이를 줄이기 위한 기존 노력의 효과성에 대한 전국적 연구를 실시하기로 결정했다.

연구 범위는 일반 산업을 포함하며, 다양한 방법을 통해 정보를 수집하고 분석했으며, 연구는 세 건의 분진폭발 사고에 대한 심층 조사와 추가적인 네 건의 중대한 분진 폭발 사고에 대한 요약으로 구성된다.

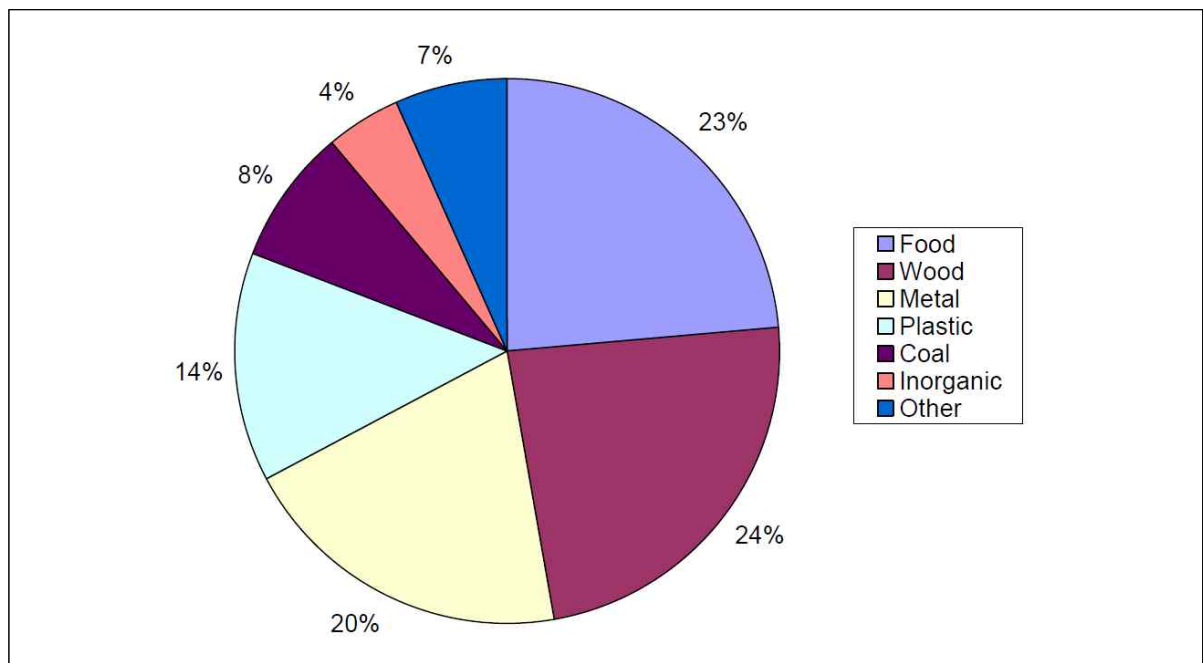
### 3) 분진폭발 사고 분석(1980년~2005년)

CSB는 1980년부터 2005년까지 미국 내 분진 폭발 위험의 범위를 파악하기 위해 분진 화재와 폭발의 역사를 조사했으며, 119명의 근로자 사망, 718명 부상 및 많은 산업 시설 파괴를 초래한 281건의 주요 가연성 분진 사건으로 가연성 분진 폭발사고가 중대한 산업 안전 문제임을 결론지었다. CSB가 활용한 데이터 출처는 아래와 같다.

- OSHA Integrated Management Information System database
- The accident database from ICHIME
- Lexis/Nexus periodical search
- NFPA One Stop Data Shop fire incident data
- National Fire Incident Reporting System
- CCPS Loss prevention symposia case studies
- CCPS Guidelines
- Data provided by Dr. Robert Schoeff
- CSB Incident screening article collection
- Industrial Fire World incident listings



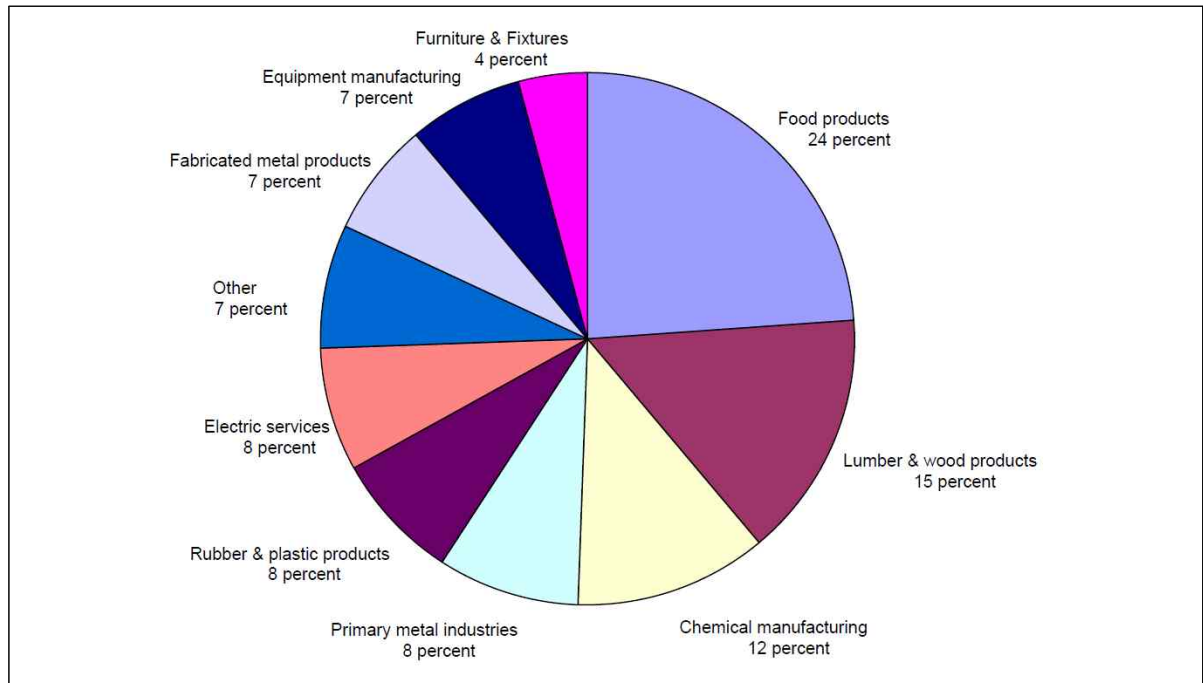
[그림 23] 연도별 사고 발생건수 및 사상자<sup>18)</sup>



[그림 24] 가연성 분진 사고의 물질별 분포<sup>19)</sup>

18) COMBUSTIBLE DUST HAZARD STUDY(2006년, CSB)

19) COMBUSTIBLE DUST HAZARD STUDY(2006년, CSB)



[그림 25] 가연성 분진 사고의 업종별 분포<sup>20)</sup>

#### 4) 위해물질정보전달과 분진폭발 예방

사고조사보고서의 6장에서는 OSHA의 위해물질정보전달 표준 (HCS)의 구성 내용에서 목지 먼지와 곡물 먼지는 유해 화학 물질로 간주된다고 명시하지만 가연성 분진의 위험성은 고려 하지 못하고 있다.

또한 OSHA는 위해물질정보전달표준(HSC)의 주요 전달 방법으로 MSDS를 지정했으나, MSDS가 제품 사용자에게 먼지 폭발 위험을 일관성 있게 또는 명확하게 전달하지 않는다는 것을 발견했다.

많은 MSDS가 먼지 폭발 위험에 대해 명확하게 경고하거나 필요한 예방 정보를 전달하지 못한다는 점을 강조하고, OSHA 유해위해물질정보전달 표준(HCS), ANSI, GHS와 같은 기타 표준에 분진 폭발에 대한 정보를 추가 해야한다고 평가한다.

20) COMBUSTIBLE DUST HAZARD STUDY(2006년, CSB)

## 5) 분진폭발 예방을 위한 소방코드 7장

7장에서는 과학 및 공학 전문가, 산업계, 노동조합, 규제 기관이 NFPA 자발적 합의 표준이 산업용 먼지 폭발을 예방하는 데 효과적인 기술 지침을 제공한다는 것을 인식하고 있음을 설명합니다.

NFPA 표준은 미국 전역의 주 화재 시스템에서 널리 사용되는 두 가지 화재 코드, 즉 NFPA의 Uniform Fire Code (UFC)와 ICC의 International Fire Code (IFC)의 기술적 요구 사항의 기초를 제공합니다.

이 장은 또한 이러한 표준들이 주 화재 코드를 통해 어떻게 법적으로 채택되고 집행되는지, CSB 조사를 통해 다양한 주에서 화재 코드의 채택 및 집행의 효과를 평가하는 결과, 그리고 이러한 코드가 가연성 먼지 화재와 폭발을 방지하는 데 미치는 영향을 설명합니다.

이 장은 전국적으로 일반 산업에서 먼지 폭발의 위험을 효과적으로 해결하고 줄일 수 있는 화재 코드 시스템의 능력에 대한 논의로 마무리됩니다.

## 6) 권고사항

10장에서는 OSHA와 미국 표준협회의 Z400.1 위원회에 분진 폭발 사고 예방을 위해 제도를 개선할 것을 권고하고 있다.

OSHA에는 분진 폭발 방지를 위해 NFPA를 기반으로 표준을 제정하고, 위해물질정보전달기준(HCS) (1910,1200)에 분진 폭발을 포함하도록 권고 있으며, 이외에도 분진 폭발을 인식하고 예방하는 교육을 제공할 것을 권고했다.

미국표준협회의에는 ANSI Z400.1 미국 국가 표준에서 MSDS에 가연성 먼지 위험, 안전 취급 방법 등을 포함하도록 권장한다.



## 다. Key Lessons for Preventing Incidents from Flammable Chemicals in Educational Demonstrations(2014년)

CSB의 조사 보고서 중 이례적인 것은 "교육용 시연에서 가연성 화학물질로 인한 사고 예방을 위한 주요 교훈"입니다.

2014년 발표된 이 보고서는 산업 현장이 아닌 교육 맥락에서 화학 안전에 초점을 맞추고 있어 눈에 띕니다. 가연성 화학물질을 사용하는 교실 시연 중 발생한 여러 사고로 인해 학생들이 부상을 당한 사건들이 조사의 계기가 되었습니다.

CSB가 이 교육 안전 문제에 주목한 것은, CSB의 목적이 전통적인 산업이나 제조 환경뿐만 아니라 다양한 환경에서 화학 안전을 개선하는 것임을 보여준다.

보고서는 두 가지 형식으로 작성되었으며 기존보고서의 형식에서 벗어나 1페이지 분량의 게시용 자료와 14페이지 분량의 교육용 자료로 작성하여 정보전달 대상자가 쉽게 접근 할 수 있도록 하였다.

게시용 자료에는 Key Lessons으로 4가지 주의사항을 제시하고 있다.

- ① 소량이 충분할 때 교육 시연에서 가연성 화학물질의 벌크 용기를 사용하지 마십시오.
- ② 교육 및 모든 참가자를 위한 적절한 개인 보호 장비 사용을 포함한 유해 화학 물질 취급이 필요한 경우 엄격한 안전 관리를 시행합니다.
- ③ 교육 시연을 수행하기 전에 종합적인 위험 검토를 수행해야 합니다.
- ④ 시연자와 청중 사이에 안전 장벽을 제공합니다.

교육용 자료에서는 Key Lessons과 'Discovery'에서 시연된 "Fire Tornado"의 사고 사례를 통해 실험실에서 사용하는 가연성 액체의 위험성을 알리고 시연자들이 시연장의 안전 조치를 철저히 할 것을 당부하고 있다.



## TOPIC: Hazards of Lab Demonstrations

Educational demonstrations involving flammable materials are often performed at schools or museums to engage students and visitors and stimulate their interest in science. These demonstrations typically use methanol or other flammable liquids as a fuel for combustion. In response to three separate incidents that injured both children and adults over an eight-week period in 2014, the U.S. Chemical Safety Board issued a safety bulletin titled, "Key Lessons for Preventing Incidents from Flammable Chemicals in Educational Demonstrations." With the start of a new school year, educators should familiarize themselves with The CSB safety bulletins and adopt the key lessons in order to avoid future serious incidents.

*"Demonstrators should prepare by asking themselves, 'What could possibly go wrong here?' and 'Is the benefit worth the risk?'"*

– CSB Board Member  
Kristen Kulinowski, Ph.D.

The CSB has identified a number of lab demonstrations involving flammable materials which have resulted in fires and injuries. Methanol, the hazardous chemical involved in all three of the incidents identified by the CSB, is classified as a highly flammable liquid, and users should adopt strict safety controls. The CSB has issued Key Lessons to prevent future lab incidents from occurring.

### Key Lessons to Prevent Future Lab Demonstration Incidents:

- > Do not use bulk containers of flammable chemicals in educational demonstrations when small quantities are sufficient
- > Implement strict safety controls when demonstrations require handling hazardous chemicals – including written procedures, effective training, and the required use of appropriate personal protective equipment for all participants
- > Conduct a comprehensive hazard review prior to performing any educational demonstration
- > Provide a safety barrier between the demonstration and the audience



*"It is our hope that our lessons will be more widely adopted so that during this upcoming school year no one is injured during classroom demonstrations."*

– CSB Chairperson  
Vanessa Allen Sutherland

### Additional Resources:

<http://www.csb.gov/key-lessons-for-preventing-incidents-from-flammable-chemicals-in-educational-demonstrations/>

[그림 26] Back to school safety alert(2014년, CSB)

## 5. Texas A&M Engineering Extension Service 훈련시설 조사

TEEX(Texas A&M Engineering Extension Service)는 Brayton Fire Training Field와 Disaster City에서 현장실습을 위한 세계최대의 규모와 시설을 유지하면서 실질적이고 효율적인 교육·훈련을 설계하고 있다.

### ○ 세부적인 시설현황

| 훈련시설명                        | 세부시설 및 교육 현황                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 위험물질<br>누출<br>훈련시설           | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Brayton Fire Training Field의 위험물질 처리를 위한 대응과정 교육훈련 시설</li> <li>· 위험물질누출사고 시 잠재적인 위험에 대한 인식 및 긴급 대응 요원이 위험에 노출되는것을 최소화하고 현장 대응 및 조치에 필요한 기술과 지식을 훈련하기 위한 과정</li> </ul>                                                                                                                                                                  |
| 특수화재<br>훈련시설                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Brayton Fire Training Field에는 항공기화재시설, 이동탱크로리 시설 등 특수화재 상황에 대처하기 위한 다양한 종류의 시설들이 설치됨</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                        |
| Disaster City<br>교육·훈련<br>시설 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Brayton Fire Training Field와 인접한 52acre(210,436m<sup>2</sup>) 부지에 건설된 탐색 및 구조훈련 시설</li> <li>· 재난 대응요원에게 정확한 기술과 현장 지식을 제공함</li> <li>· 다양한 종류의 재난과 붕괴상태를 경험할 수 있도록 설계된 실제와 유사한 크기의 모형들과 붕괴 구조물들은 재난을 담당하는 전문 기관이나 요원들에게 훌륭한 교육·훈련 장소</li> <li>· 주요시설로는 붕괴 구조물 현장, 건물잔해 더미 현장, 붕괴 구조물 처리기술훈련장, 교통수단 재난 훈련장, 공공건물 붕괴훈련장 등으로 구성</li> </ul> |

TEEX의 교육·훈련시설을 활용한 미국의 재난 훈련은 90%이상 실습 위주로 구성되어 있고 대부분이 실제상황과 유사하게 진행되며, TEEX의 Brayton Fire Training Field와 Disaster City는 재난 대응 요원들의 현

장 훈련에 필요한 모든 시설을 갖추고 있어 TEEX에 구비된 모든 종류의 시설에서 교육 및 훈련을 받고 현장에 대응하는 요원들은 훈련을 받지 못한 구조대원에 비해 정확하고 효율적인 대응능력을 보인다.

#### 가. Portable Extinguisher Fires(이동 소화기 훈련)

큰 유류 팬 화재설비와 3차원 유류 화재 시뮬레이터에서 교육생들은 드라이케미컬 소화용액을 이용하여 유류화재 진압 훈련하는 시설로 화재 종류별(Class A, B, C, D 및 K) 적합한 소화기 유형과 소화기 사용 기술(Pull, Aim, Squeeze, Sweep)을 훈련한다.



[그림 27] Portable Extinguisher Fires(teex.org)

#### 나. Aircraft Fires(항공기 화재 훈련)

항공기의 좌석, 양방향 날개, 꼬리 부분 등 다양한 곳에서 발생한 화재진화 훈련 시설로, 항공기 연료, 항공기 제작에 사용되는 재료, 그리고 좁은 공간으로 인한 항공기 화재의 고유한 도전에 대한 이해하고 항공기 주변에서의 화재에 대한 빠른 대응 및 승객 대피 방법, 항공기 화재 진압을 위해 설계된 특정 장비의 사용을 훈련하는 시설이다.



[그림 28] Aircraft Fires(teex.org)

#### 다. Process Complex Fires(석유화학공장화재)

2층 구조물로 화학공정상 설비를 재현 놓았으며 소화수와 폼약제 등 여러 가지 타입의 소화 약제를 동시에 사용하여 화재를 진압하는 능력과 기술을 배양하기위한 훈련시설로 다음과 같은 훈련내용을 포함한다.

- 사고진행의 이해(Understanding the Process) : 공장의 설계를 분석하고, 시설 내의 화학물질에 대한 물질 안전 데이터 시트(MSDS)를 인식하며, 전형적인 작업 및 잠재적인 편차를 이해
- 위험 평가(Risk Assessment) : 화재 확산의 잠재력, 폭발 위험, 화학물질 누출 위험 및 인근 구조물 또는 인구에 대한 잠재적 영향을 식별
- 화재 역학(Fire Dynamics) : 화재구성의 3요소(연료, 산소, 열)을 이해하고 다른 화학 물질이 화재 행동에 어떻게 영향을 미치는지 인식
- 화재 진압 기술(Firefighting Techniques) : 증기 분산, 폼 응용 및 에이전트 선택 (질식소화약제, 물, CO2 등)과 같은 기술 교육
- 장비 사용(Equipment Usage) : 고확산 폼 생성기, 질식소화약제 및 화학 물질 노출용 특수 수트와 같은 장비 숙달 및 장비점검
- 안전 규정(Safety Protocols) : 안전 구역 및 대피 경로를 설정





[그림 29] Process Complex Fires(teex.org)

#### 라. Compressor Station Fires(고압 설비 화재)

밀폐된 공간에서 고압 용기의 누출된 헤드와 오일 드럼의 누출에 대응하기 위한 시설로 다음과 같은 훈련내용을 포함한다.

- 압축기 스테이션 이해(Understanding Compressor Stations) : 압축기 스테이션의 기능, 그들의 레이아웃 및 그 안에 포함된 장비의 이해
- 위험 평가(Risk Assessment) : 압축기 스테이션에서의 잠재적 위험, 예를 들면 가스 누출, 고압 장비 및 전기 구성 요소를 식별
- 압축기 스테이션의 화재 역학(Fire Dynamics in Compressor Stations) : 화재가 어떻게 발생하고 퍼질 수 있는지, 그리고 천연가스 화재를 다룰 때의 특별사항 고려
- 화재 진압 기술(Firefighting Techniques) : 화재를 진압하기 위한 모범 사례를 다루며, 거품, 질식소화약제 및 기타 소화제의 사용을 포함하여 훈련
- 장비 능숙도(Equipment Proficiency) : 압축기 스테이션 비상 사태에 필요할 수 있는 특수 장비를 이해하고 사용
- 안전 규정(Safety Protocols) : 가스 흡입, 폭발 및 고압 위험과 같은 독특한 안전 사고를 인식

- 비상 조정(Emergency Coordination) :시설 직원과 협력하며, 종료 절차를 이해하고 비상 사태 중 효과적인 의사소통을 보장하는 것



[그림 30] Compressor Station Fires(teex.org)

#### 마. Chemical Complex Fires(화학단지 화재)

여러 가지 타입의 소화약제를 동시에 사용하여 화재를 진압하는 훈련이 이루어지며, 화세제어, 대원방호, 연료차단 등에 훈련 시설로 다음과 같은 훈련 내용을 포함한다.

- 화학 공정 이해(Understanding Chemical Processes) : 화학 복합단지에서의 다양한 공정을 인식하고 관련 재료를 이해
- 위험 평가(Risk Assessment) : 독성 화학물질의 누출, 폭발 및 반응성 화학 사고와 같은 잠재적 위험을 식별
- 화재 역학(Fire Dynamics) : 화학공정에서 화재가 어떻게 발생하고 퍼지는지, 그리고 화학물질을 포함한 화재에 의해 나타나는 독특한 현상을 파악
- 화재 진압 기술(Firefighting Techniques) : 화학 복합단지에서의 화재를 진압하기 위한 모범 사례를 배우며 거품, 불활성 가스, 질식 소화약제 및 기타 전문 소화제의 사용을 훈련
- 장비 능숙도(Equipment Proficiency) : 화학 비상 상황에 맞춤형 장비를 이해하고 운영

- 안전 규정(Safety Protocols) : 화학 노출, 호흡 위험 및 격리 위반과 같은 본질적인 안전 도전을 인식
- 비상 조정 및 통신(Emergency Coordination and Communication) : 시설 직원과 협력하며, 비상 중단 절차를 이해하고 사건 동안 명확한 의사소통을 확보



[그림 31] Chemical Complex Fires(teex.org)

#### 바. Special Hazard Area Fires(특수 위험지역 화재)

여러 가지 누출 지점의 진압훈련으로 협력과 팀워크를 위한 교육 훈련 시설로 다음내용을 포함한다.

- 특수 위험 지역 이해(Understanding Special Hazard Areas) : 독특한 재료, 공정 또는 장비로 인해 높은 위험으로 간주되는 지역을 인식
- 위험 평가(Risk Assessment) : 이러한 지역에서의 가연성 액체, 가스, 반응성 화학물질 등의 본질적인 위험을 식별
- 화재 역학(Fire Dynamics) : 이러한 지역에서 화재가 어떻게 발생하고 확산될 수 있는지, 화학물질로 인한 독특한 화재형상을 이해
- 화재 진압 기술(Firefighting Techniques) : 이러한 도전적인 지역에서 화재를 진압하기 위한 모범 사례 훈련
- 장비 능숙도(Equipment Proficiency) : 고위험 지역의 비상 상황에 맞춤형 전문 장비로 직접 운영



- 안전 규정(Safety Protocols) : 특수 위험 지역에서 작업할 때 안전의 중요성을 강조하는 것, 보호 장비, 안전 접근 및 대피 절차에 대한 교육
- 비상 조정 및 통신(Emergency Coordination and Communication) : 다른 기관의 사고 대응인력이나 시설 직원과 효과적으로 협력하고, 도전적인 조건에서 명확한 의사소통을 유지하는 방법 훈련



[그림 32 <Special Hazard Area Fires(teex.org)>

#### 사. Pump Alley Fires(펌프라인 화재진압)

밀봉 플랜지 누수를 나타내는 더블펌프 세트를 포함하여 여러 호스 라인의 조정과 팀워크 학습은 훈련 시설로 다음내용을 포함한다.

- 레이아웃 이해(Understanding the Layout) : 펌프 골목의 전형적인 레이아웃과 그 안의 장비를 인식
- 위험 평가(Risk Assessment) : 누출 가능성 고압 시스템 및 펌프로 옮겨지는 물질들을 포함하여 펌프라인의 독특한 위험을 식별
- 화재 역학(Fire Dynamics) : 펌프 라인에서 화재가 어떻게 발생하는지, 확산의 잠재력 및 가연성 액체 화재와 관련된 특성의 이해
- 화재 진압 기술(Firefighting Techniques) : 이러한 지역의 화

재를 처리하기 위한 전략과 전술, 폼 및 기타 전문 소화제의 사용 훈련

- 장비 능숙도(Equipment Proficiency) : 펌프 라인의 가연성 액체 화재 및 기타 비상 사태에 설계된 장비를 사용
- 안전 규정(Safety Protocols) : 폭발, 독성 노출 및 기타 위험을 고려하여 안전한 접근을 확보
- 비상 조정(Emergency Coordination) : 공장 직원 및 기타 긴급 대응자와 협력방안



[그림 33] Pump Alley Fires(teex.org)

#### 아. Tank & Dike Fire(탱크 및 방유제 훈련장)

직경 30피트의 지붕 없는 탱크 1기와 직경 12피트 지붕 없는 탱크 2기, 방유제로 구성되어 있어 탱크에 저장된 위험물의 누출로 인해 발생되는 방유제 화재 재현실험을 할 수 있는 시설이다.



[그림 34] Tank & Dike Fire(teex.org)

#### 자. LNG Fires(액화천연가스 화재)

세계 최대의 액화천연가스 화재 훈련설비이며, 선박하역 또는 생산 공장의 경우를 예상한 훈련 시설이다.



[그림 35] LNG Fires(teex.org)

### III. 결론

#### 1. 화학사고 조사 체계 개선

##### 가. 국내 화학사고 조사 체계<sup>21)</sup>

국내에서는 화학사고와 관련하여 소방청, 환경부, 고용노동부, 산업통상자원부 등 여러부처에서 관련 법률에 의거 사고조사를 실시하고 있다.

소방청은 위험물 안전관리법 제 22조의2에서 위험물 누출 등의 사고 조사에 근거하여 위험물 사고조사위원회 운영 매뉴얼을 통해 위험물 사고 조사를 실시하고 있다.

환경부는 화학물질관리법 제45조에서 화학사고의 원인 규명을 위해 화학사고 영향조사를 실시 할 수 있도록 규정하고 하고 있으며 구체적인 사항은 환경부 훈령 1305호 ‘화학사고 조사단 구성·운영 및 영향조사에 관한 지침’에 의해 조사 업무를 수행 하고 있다.

이외에도 직접적인 화학사고를 조사하는 것은 아니지만 고용노동부는 산업안전보건법 제25조의 안전보건관리규정에 의한 사고조사와, 산업통상자원부의 고압가스 안전관리법 제26조의2에서 가스사고조사위원회를 구성하여 화학물질로 발생한 사고를 포함하여 조사 하고 있다.

##### <부처별 화학사고 조사 관련법령>

| 구분      | 조사기관        | 소관법령      | 기술지원      |
|---------|-------------|-----------|-----------|
| 환경부     | 환경청, 합동방재센터 | 화학물질관리법   | 안전원       |
| 소방청     | 지역 소방관서     | 위험물질안전관리법 | 한국소방안전기술원 |
| 고용노동부   | 지방고용청       | 산업안전보건법   | 안전보건공단    |
| 산업통상자원부 | 한국가스안전공사    | 고압가스안전관리법 |           |

21) 김성범, 화학사고 원인조사를 위한 조직 및 전문성 제고방안, 충남대학교, 2018, pp 12~15

## 1) 위험물안전관리법

소방청은 위험물안전관리법에 의거 위험물의 누출, 화재·폭발 등의 사고 상황이 발생할 경우 목격자의 신고에 따라 사고대응을 하고 위험물로 인한 사고의 원인 및 피해 등을 조사하여야 한다.

사고신고는 위험물의 유출 상황을 발견한 자가 즉시 소방 및 경찰 또는 관계기관에 신고하는 것으로 규정되어 있다. 위험물 관련 사고 상세내용은 아래 표와 같다.

### <위험물안전관리법의 위험물 사고 조사>

| 구분   | 주요내용                                                                                                                                                                                                              |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 적용범위 | 위험물의 정의(위험물안전관리법 제2조) : “위험물”이라 함은 인화성 또는 발화성 등의 성질을 가지는 것으로서 대통령령이 정하는 물품을 말한다.                                                                                                                                  |
| 조사내용 | 사고조사(위험물안전관리법 제22조의2) : 소방청장, 소방본부장 또는 소방서장은 위험물의 누출·화재·폭발 등의 사고가 발생한 경우 사고의 원인 및 피해 등을 조사하여야 한다                                                                                                                  |
| 조사기관 | 사고조사위원회(위험물안전관리법 제22조의2) : 소방청장, 소방본부장 또는 소방서장은 제1항에 따른 사고 조사에 필요한 경우 자문을 하기 위하여 관련 분야에 전문지식이 있는 사람으로 구성된 사고조사위원회를 둘 수 있다.                                                                                        |
| 사고신고 | 사고신고(위험물안전관리법 제27조) : ① 제조소등의 관계인은 당해 제조소등에서 위험물의 유출 그 밖의 사고가 발생한 때에는 즉시 그리고 지속적으로 위험물의 유출 및 확산의 방지, 유출된 위험물의 제거 그 밖에 재해의 발생방지를 위한 응급조치를 강구하여야 한다.<br>② 제1항의 사태를 발견한 자는 즉시 그 사실을 소방서, 경찰서 또는 그 밖의 관계기관에 통보하여야 한다. |

위험물안전관리법에서는 소방청장, 소방본부장 또는 소방서장이 위험물 사고 조사에 필요한 자문을 받기 위해서 관련 분야에 전문지식이 있는 사람으로 “위험물사고조사위원회”를 비상설로 운영하며, 사고조사의 목적은 위험물 사고에 대한 발생 원인을 규명하여 유사사고의 재발을 방지함을 목적으로 한다.

### <위험물사고조사위원회 주요절차><sup>22)</sup>

| 구분   |  | 주요내용        | 주요절차                                                                                                                            | 비고                                                                                                        |
|------|--|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 단계   |  |             |                                                                                                                                 |                                                                                                           |
| 예비조사 |  |             | 위험물 사고 발생<br>↓<br>예비조사<br>↓<br>예비조사보고<br>↓<br>※위원회 운영여부 결정 (아니오) → 예비조사 종결<br>(네) ↓                                             | ○ 위원회 운영 대상에 해당하는 사고에 대한 원인조사<br>○ 사고조사위원회 운영 여부 결정을 위한 조사<br>* (위원회 운영 여부) 사고원인, 발화원, 위법사항 등이 명확하지 않을 경우 |
|      |  |             | 위험물사고조사위원회 회의<br>※ 예비조사 결과 분석<br>※ 추가조사 여부 결정<br>(네) ↓ (아니오) → 현장조사<br>↓<br>현장조사<br>↓<br>현장조사분석<br>↓<br>최종보고서 작성<br>↓<br>보고서 제출 | ○ 사고조사계획 수립<br>○ 현장조사 준비<br>○ (필요시)중간보고 등<br>○ 원인분석 : 인적, 장비, 공정상, 물질 요인 등<br>○ 원인분석을 위한 자료 수집 및 면담       |
| 최종보고 |  | 조사결과/대책안 발표 |                                                                                                                                 | ○ 운영 대상 기준에 따른 운영권자(소방청장, 소방본부장 또는 소방서장)에게 보고                                                             |

22) 소방청, 위험물 사고조사위원회 운영 매뉴얼, 2023

자문위원의 구성은 위원장을 포함하여 7명 이내로 구성하고 있으며 소속 소방공무원, 한국소방산업기술원의 임직원 중 위험물 관련 업무에 5년 이상 종사한 자, 한국소방안전원의 임직원 중 위험물 관련 업무에 5년 이상 종사한 사람, 위험물로 인한 사고에 학식과 경험이 풍부한 사람으로 구성된다.

위험물안전관리법에서는 위험물을 제1류 산화성 고체, 제2류 가연성 고체, 제3류 자연발화성 물질 및 금수성 물질, 제4류 인화성액체, 제5류 자기반응성물질, 제6류 산화성 액체로 구분하여 관리하고 있다.

위험물안전관리법의 대상이 되는 물질은 주로 화재와 관련되는 물질의 성질로 인화성과 발화성을 주요 기준으로 대상을 구분하고 있어 인체나 환경에 대한 위해성을 고려되지 않고 있어 5명의 사망자가 발생하여 사회적으로 관심을 일으킨 2012년 구미 불산 누출 사고도 위험물안전관리법 상의 사고조사 대상으로 적용되지 않는다.

### <소방청 위험물 사고의 정의><sup>23)</sup>

지정수량 이상의 위험물을 저장 또는 취급하는 장소(이동탱크저장소와 무허가 위험물 저장·취급 장소를 포함한다) 또는 운반용기에 수납된 위험물을 지정수량 이상으로 차량에 적재하여 운반하는 차량에서 해당 위험물의 화재, 폭발, 누출, 확산 등의 사고를 말하며, 제조소등의 안에서 발생한 화재 및 폭발사고의 발화원 및 착화물이 위험물이 아닌 사고도 포함한다.”

구미 불산 누출사고처럼 인명피해가 발생하는 사고 현장은 대부분 소방에 신고되고 대부분의 사고 현장에 소방대원이 투입되어 사고 수습에 관여하고 있으나 위험물안전관리법상 위험물로 분류되지 않은 화학물질의 사고는 소방에서 조사할 수 있는 권한이 제한된다.

23) 소방청, 위험물 사고조사위원회 운영 매뉴얼, 2023

이는 현장에 최우선적으로 도착하여 현장활동을 수행해야하는 소방의 입장에서는 사고 원인 분석에 대한 정보에 제한적으로 접근 할 수 밖에 없고 유사한 사례의 대응전략을 세우는데 약점으로 작용된다.

## 2) 화학물질관리법

화학물질관리법에서 조사하는 화학사고는 화학물질 취급시설의 교체 등 작업 시 작업자의 과실, 시설 결함·노후화, 자연재해, 운송사고 등으로 인하여 화학물질이 사람이나 환경에 유출·누출되어 발생하는 모든 상황을 대상으로 이루어진다.

조사내용은 화학사고의 원인, 규모, 경과 및 인적·물적 피해사항, 화학물질의 특성 및 유해성·위해성, 화학사고 발생 지역의 인근 주민과 환경에 대한 영향, 화학물질의 노출량, 추가 적인 사고발생 가능성 등을 고려하여 수행 한다.

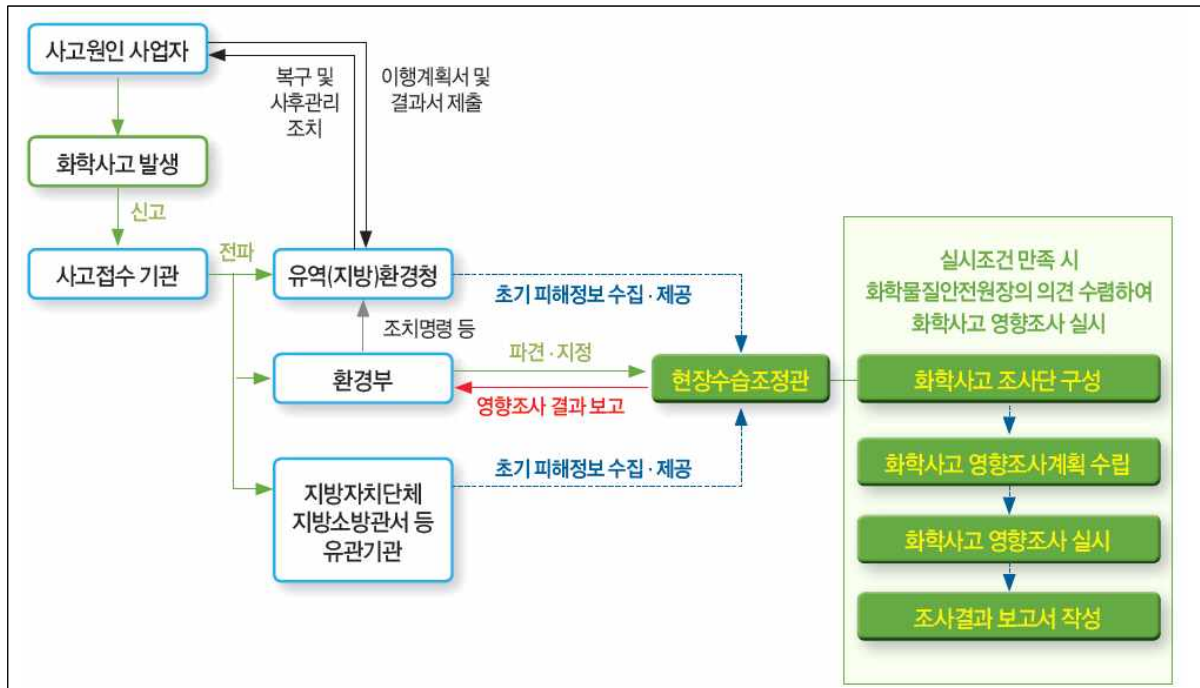
화학사고 발생 시 해당 화학물질을 취급하는 자가 즉시 관할하는 지방자치단체나 소방관서에 즉시 신고하도록 규정하고 있으며 종사자의 신고에 따라 사고 조사를 수행하며, 대규모의 재난이 발생하거나 인명피해가 발생하는 등 일정기준을 넘어서는 사고에 대해서는 ‘화학사고 조사단’을 구성하여 화학사고 영향조사를 실시한다.



## <화학물질관리법의 사고 조사>

| 구분   | 주요내용                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 적용범위 | 화학사고 정의(화학물질관리법 제2조) : “화학사고”란 시설의 교체 등 작업 시 작업자의 과실, 시설 결함·노후화, 자연재해, 운송사고 등으로 인하여 화학물질이 사람이나 환경에 유출·누출되어 발생하는 모든 상황을 말한다.                                                                                                                                                           |
| 조사내용 | 화학사고 조사(화학물질관리법 제45조)<br>1. 화학사고의 원인, 규모, 경과 및 인적·물적 피해사항<br>2. 화학사고 원인이 되는 화학물질의 특성 및 유해성·위해성<br>3. 화학사고 발생지역 인근 주민의 건강 및 주변 환경에 대한 영향<br>4. 화학사고 원인이 되는 화학물질의 노출량 및 오염정도<br>5. 화학사고 원인이 되는 화학물질의 대기·수질·토양·자연환경 등으로 이동 및 잔류 형태<br>6. 화학사고가 추가로 발생할 가능성<br>7. 그 밖에 화학사고의 피해구제에 필요한 사항 |
| 조사기관 | 화학사고 조사단(화학물질관리법 제45조) : 환경부장관은 영향조사를 수행하기 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 제44조에 따른 현장수습조정관을 단장으로 하는 화학사고 조사단을 구성·운영할 수 있다                                                                                                                                                                       |
| 사고신고 | 사고신고(화학물질관리법 제27조) : 화학사고가 발생하면 해당 화학물질을 취급하는 자는 즉시 관할 지방자치단체, 지방환경관서, 국가경찰관서, 소방관서 또는 지방고용노동관서에 신고하여야 한다.                                                                                                                                                                            |

화학사고 조사단은 단장을 포함하여 20명 이내의 관계기관의 정부위원과 관련 전문가인 민간위원으로 구성하며, 정부위원은 유역(지방)환경청, 국립환경과학원, 화학물질안전원, 조사지역의 지방자치단체 및 보건환경연구원, 그 밖의 관계 행정 및 연구기관, 공사·공단 등 관계기관 또는 관계기관에 소속한 전문가 중에서 유역(지방)환경청장이 임명하도록 되어 있어 초기대응에 참여하는 소방분야의 인력은 참여가 제한적인 것으로 보인다.



[그림 36] 화학물질관리법의 사고 조사<sup>24)</sup>

### 3) 고압가스안전관리법

고압가스 안전관리법에서는 사람이 사망한사고, 사람이 부상당하거나 중독된 사고, 가스누출에 의한 폭발 또는 화재가 발생한 사고 등이 발생하였을 때 사업자등이 즉시 한국가스안전공사에 통보하도록 하고, 사고 재발 방지와 가스사고 예방을 위해 사고조사를 할 수 있도록 규정한다.

24) 환경부, 화학사고 조사단 구성·운영 및 영향조사 안내서, 2015.

## <고압가스 안전관리법의 사고 조사>

| 구분   | 주요내용                                                                                                                                                                                              |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 적용범위 | 조사대상(고압가스 안전관리법 제26조)<br>1. 사람이 사망한 사고<br>2. 사람이 부상당하거나 중독된 사고<br>3. 가스누출에 의한 폭발 또는 화재사고<br>4. 가스시설이 손괴되거나 가스누출로 인하여 인명대피나 공급중단이 발생한 사고<br>5. 그 밖에 가스시설이 손괴(損壞)되거나 가스가 누출된 사고로서 산업통상자원부령으로 정하는 사고 |
| 조사내용 | 사고조사(고압가스 안전관리법 제26조) : 한국가스안전공사는 사고재발 방지와 그 밖의 가스사고 예방을 위하여 필요하다고 인정하면 그 원인과 경위 등 사고에 관한 조사를 할 수 있다.                                                                                             |
| 조사기관 | 가스사고조사위원회(고압가스 안전관리법 제26조의2) : 산업통상자원부장관은 중대한 가스사고의 조사를 위하여 필요하다고 인정되는 때에는 가스사고조사위원회를 구성·운영할 수 있다.                                                                                                |
| 사고신고 | 사고신고(고압가스 안전관리법 제26조) 사업자등과 특정고압가스 사용신고자는 그의 시설이나 제품과 관련하여 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사고가 발생하면 산업통상자원부령으로 정하는 바에 따라 즉시 제28조에 따른 한국가스안전공사에 통보하여야 하며, 통보를 받은 한국가스안전공사는 이를 시장·군수 또는 구청장에게 보고하여야 한다.         |

### 나. 미국의 화학사고 조사체계

미국은 본문에서 기술한바와 같이 여러 정부기관이 화학물질 규제 업무에 관여하고 있으며, 특히 화학사고 발생 시에는 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)과 화학안전 및 위험조사위원회(Chemical Safety and Hazard Investigation Board, CSB)가 주요한 역할을 담당하고 있다.

평상시 EPA가 미국 내 환경오염과 대기, 물, 소음, 폐기물, 유해물질, 방사성물질의 6개 분야에 관한 오염예방에 대해 여러 대책을 수립하며 화학물질 사고에 대응하기 위한 비상대응계획을 개발하는 등 주도적으로 화

학사고 관련 업무를 수행하지만 화학사고 발생시에 CSB가 개입하게 되면 화학사고 조사의 우선권을 CSB로 넘어가게 된다.

또한 CSB와 EPA는 업무의 중복을 피하기 위해 MOU를 체결하여 다음과 같은 기준을 만족하는 화학사고가 발생할 경우 사고 발생 정보를 즉시 공유하고, 각 기관은 현장에 대표를 보낼지 여부를 결정하여 다른 유관기관에 통보한다.

- 근로자, 일반 대중 또는 초동 대응자의 사망을 초래하는 경우
- 3명 이상의 근로자, 일반 대중 또는 초동 대응자가 입원하는 결과를 초래하는 경우
- 현장에서 중대한 피해를 입히는 경우
- 현장 외부 재산 피해 또는 대규모 대피 또는 주요 교통로 폐쇄와 같은 기타 중대한 외부 결과를 초래하는 경우
- 공중 건강, 안전 또는 환경에 심각한 위협을 제시하거나 중대한 공중 관심 사건인 경우

두 기관 모두 현장에 대표를 보내기로 결정한 경우, 두 기관의 대표는 가능한 한 빨리 접촉하여 다른 사고, 대응, 규제 및 조사 기관과 함께 각 기관의 특정 법적 책임에 일치하게 현장 활동을 조정할 것입니다.

사고대응이 진행되는 도중에는 CSB의 조사관이 EPA의 현장조정관(OSC)에게 정보를 제공하고 조치사항에 협조해야 하며, 구조활동 중 책임 소관에 제약이 발생하는 경우는 EPA 현장조정관(OSC)이 CSB 조사관에게 도움을 주어야 한다.

CSB의 조사관 구성은 특정한 사고의 복잡성과 필요에 따라 달라질 수 있으나, 화학 및 공정 안전 전문가, 공학(화학, 기계, 전기) 전문가, 산업 안전 보건 전문가, 환경 전문가, 조사 기술자 등 다양한 분야의 전문가들이 참여하는 40여명의 인력으로 구성된다. 우리나라의 각 부처에서 운영하는 조사관들이 해당분야의 전문가로만 구성되는 것과 대조적이다.

## 다. 화학사고 조사체계 개선방안

CSB의 화학사고 조사 방식과 대한민국의 화학사고 조사 체계를 비교하며, 대한민국의 화학사고 조사 체계의 보완점을 고려할 때 다음과 같은 점들을 개선사항으로 도출 하였다.

1) 독립성 강화: 화학사고 조사 결과의 신뢰성을 높이고 사고 원인 규명과 재발 방지 대책 마련에 있어 보다 효과적으로 수행하기 위해서는 CSB처럼 대한민국 내에서도 화학사고 조사의 독립성을 강화하여 사고 조사를 규제 기관으로부터 분리하여, 조사의 중립성과 객관성을 확보하는 것이 중요하다.

2) 전문성 향상: 화학산업 현장이 복잡하고 사고가 발생하는 원인은 여러 복합적인 요인이 작용하기 때문에 화학, 공학, 산업 안전 등 다양한 분야의 전문 지식이 통합적으로 활용될 수 있도록 여러 분야의 전문가가 참여가 필요하다.

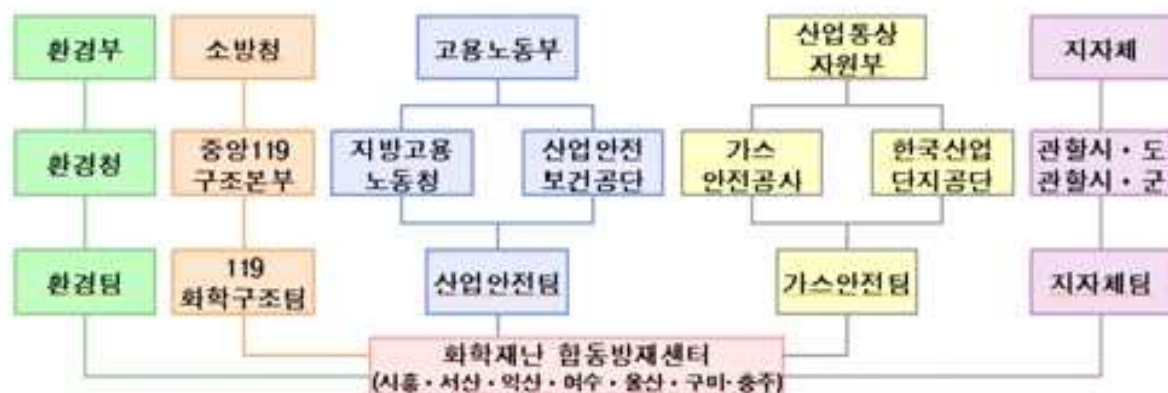
3) 공개성 및 투명성 증대: 화학사고 조사의 궁극적인 목적은 유사한 사고가 다시 발생하지 않도록 하는 것으로, CSB는 조사 결과 보고서를 완전하게 공개함으로써 목적달성을 이루고 있으나, 우리나라의 경우는 사고와 관련된 부처가 다양하여 사고조사를 주관하는 부서가 없는 등 다양한 원인으로 화재조사 보고서가 완전하게 공개되지 않고 있다. 산업 안전 향상을 위한 공공의 인식 제고와 참여를 촉진 하기 위해서는 미국처럼 조사 내용 전체가 투명하게 공개 될 필요가 있다.

4) 조사 후 조치의 실효성 강화: 조사 결과와 권고사항의 실행력을 강화하기 위해, 권고사항의 이행 상황을 정기적으로 평가하고 공개하는 CSB의 권고사항 모니터링하는 시스템을 도입이 필요하다.

5) 예방 중심의 접근: CSB의 조사는 재발 방지를 위한 권고에 중점을 둡니다. 화학사고 조사를 넘어, 예방 중심의 접근을 강화할 필요가 있다.

사고 원인 분석뿐만 아니라, 예방을 위한 체계적인 리스크 관리와 안전 교육 프로그램의 발전이 요구된다.

이러한 화학사고 조사의 개선사항을 적용하기 위해서는 부처간 협업조직으로 설치된 “화학재난 합동방재센터”의 실례를 따라, 화학물질 규제기관의 모든 업무범위를 포괄적으로 다룰 수 있도록 소방청, 환경부, 고용노동부, 산업통상자원부, 지자체가 모두 참여하는 기관으로 “화학재난 합동조사위원회(가칭)”를 구성하는 것을 제안한다.



[그림 37] 화학물질관리법의 사고 조사<sup>25)</sup>

## 2. 화학사고 팀 단위 훈련을 위한 화학사고 대응 훈련장 조성

중앙 중앙소방학교는 이론교육 등 기본교육을 실시할 수 있는 본관과 다중 이용시설의 화재 진압훈련을 위한 복합고층건축물 화재진압훈련장, 붕괴현장의 구조 대응을 위한 붕괴사고대응훈련장, 각종 기술 및 장비활용법을 습득할 수 있는 중합 훈련장, 구급대원 훈련을 위한 응급구조교육센터 등 소방업무와 관련된 다양한 전문 교육 프로그램을 운영하기 위한 시설을 갖추고 있다.

또한 지상 2층, 연면적 437㎡의 화학물질 사고 훈련장은 1층에 옥내저장소, 고압가스누출, 파이프라인, 드럼누출 훈련이 가능하며 야외훈련장에서

25) 환경부, 화학사고 조사단 구성·운영 및 영향조사 안내서, 2015.

는 옥외저장소, 탱크로리 누출 및 화재, 옥외 배관 화재 등 위험물 화재시의 구체적인 진압방법을 교육하고 있으나 화학사고의 대응보다는 위험물 시설에서의 화재 진압에 중점을 둔 훈련을 실시하고 있다.



[그림 38] 2024년 중앙소방학교 위험물 화재 훈련장

중앙소방학교의 교육과정은 계급별 기본교육과 구조, 구급, 화재대응의 업무 중심의 전문직무교육이 주로 편성되어 있으며, 각 과정별 위험물 및 화학사고 대응 교육이 부분적으로 실시되고 있고 화학사고에 특화된 교육으로는 화학사고 대응능력 1급 과정이 구조대원(화학 경력채용) 및 화학사고 대응능력 2급 자격 취득자를 대상으로 아래표와 같은 교육내용으로 운영되고 있다.

화학사고 대응능력 1급 과정의 교육 내용을 살펴보면 총 70시간의 교육시간 중 이론교육이 29시간, 참여식 교육이 34시간으로 실습식 교육에 좀더 많은 시간을 할애하고 있다. 그러나 참여식 교육의 교육내용을 살펴보면 화학물질의 식별 탐지가 4시간, 화생방대응장비 훈련이 5시간이고, 과정 숙달을 위해 10시간, 종합복습에 10시간을 배정하고 있다.

화학사고 대응능력 1급 과정은 자격 취득이라는 과목의 특수성 때문에 팀단위의 전술적인 훈련보다는 개인의 장비운영 숙달에 중점을 두고있어 화학사고 대응 팀단위 전술훈련과정은 찾아 보기 어렵다.

<2024년 중앙소방학교 교육훈련 계획>

| 분야                          | 교과목       | 주요내용                                      | 시간 |    |    |    |
|-----------------------------|-----------|-------------------------------------------|----|----|----|----|
|                             |           |                                           | 총계 | 이론 | 참여 | 기타 |
| 총 계                         |           |                                           | 70 | 29 | 34 | 7  |
| 공통 역량<br>(8.6%)             | 기초소양      | ○ 국정철학, 공직자의 자세, 사회적 가치, 국정기조 적극행정, 인문학 중 | 6  | 6  |    |    |
| 직무<br>(현장)<br>역량<br>(78.6%) | 안전사고 예방교육 | ○ 훈련장 소개 및 안전사고 예방교육                      | 1  | 1  |    |    |
|                             | 사고대응      | ○ 화학물질 사고대응의 이해                           | 2  | 2  |    |    |
|                             | 방사능사고(테러) | ○ 방사능사고(테러) 대응절차                          | 3  | 3  |    |    |
|                             | 생물사고(테러)  | ○ 생물사고(테러) 대응절차                           | 3  | 3  |    |    |
|                             | 화학사고(테러)  | ○ 화학사고(테러) 대응절차                           | 3  | 3  |    |    |
|                             | 화생방사고(테러) | ○ 화생방보호장비(PPE) 운영 및 관리                    | 2  | 2  |    |    |
|                             | 화학사고 대응방안 | ○ 국내 화학사고 실상과 대응방안                        | 3  | 3  |    |    |
|                             | 물질식별탐지    | ○ 물질식별·탐지(안전조치)                           | 5  | 1  | 4  |    |
|                             | 대응장비      | ○ 화생방대응장비(차단·제독·중화)                       | 7  | 2  | 5  |    |
|                             | 잠재위험      | ○ 위험물질의 특성 및 잠재 위험                        | 3  | 3  |    |    |
|                             | 숙달훈련      | ○ 화학사고 대응능력 1급 과정 숙달훈련 및 토의               | 13 |    | 10 | 3  |
|                             | 종합복습      | ○ 화학사고 대응능력 1급 과정 종합복습                    | 10 |    | 10 |    |
| 기타<br>역량<br>(12.8%)         | 입교식       | ○ 입교식 및 교육과정 안내                           | 2  |    |    | 2  |
|                             | 문화·체육     | ○ 문화·체육의 날 행사                             | 4  |    | 4  |    |
|                             | 교육과정 토의   | ○ 화학사고 대응능력 1급 과정 운영에 관한 개선사항 및 발전방안 등    | 1  |    | 1  |    |
|                             | 교육성과 측정   | ○ 설문조사(모바일 및 기타 설문조사)                     | 1  |    |    | 1  |
|                             | 수료식       | ○ 수료식                                     | 1  |    |    | 1  |

현장대응활동을 담당하는 119화학구조센터나 일선소방관서의 화학구조대는 별도의 훈련시설이 마련되지 않고 주기적으로 화학사고 대응 훈련을 통해 절차식 훈련을 실시하고 있다. 훈련 장소는 가상의 사고대상물을 지정하거나 관할 구역의 화학물질을 취급하는 소방대상물에서 사고 상황을 가



정하여 훈련을 실시한다.



훈련장 구성



탐지 식별



구조대상자 구조



제독



누출차단



화학물질 제거 및 제독

[그림 38] 대구소방안전본부 유튜브 채널, 대구소방 119특수 구조대 화학사고 대응훈련, 2017년

소방기관 이외에 화학사고 대응 훈련을 전문적으로 실시하는 대표적인 곳은 화학물질안전원이 있다. 화학물질안전원은 2020년부터 야외훈련장과 AR 훈련시스템을 확보 하고 현장실습 위주의 교육을 실시하고 있다.

화학물질안전원에서 운영하는 야외 훈련장 설비는 3개의 장소로 저장시설 훈련장, 제조시설 훈련장, 운반시설 훈련장으루 구분하여 운영하며 소방, 군, 경찰, 해경 등 대응기관별 맞춤형 소방훈련과정을 제공하고 있다.

2024년 화학물질안전원의 교육 편성을 살펴보면 보면 소방대원을 대상으로는 3일 과정의 교육을 연간 4회 실시하여 96명을 교육하고, 119특수구조대를 대상으로 1일 과정을 연간 9회 실시, 108명을 교육할 계획이다.



[그림 39] 화학물질안전원 야외훈련장

- 저장시설 훈련장 : 염소·암모니아 등을 취급하는 고온·고압 설비에서 발생하는 다양한 누출 상황 훈련
- 제조시설 훈련장 : 인화성 및 부식성 액체·기체를 취급하는 설비에서 발생하는 복합적인 누출 상황 훈련
- 운반시설 훈련장 : 염산·황산 등 부식성 액체를 저장탱크↔탱크로리로 이송 시 발생하는 누출 상황 훈련





[그림 40] 화학물질안전원 야외훈련장(면적 8,557m<sup>2</sup>)



[그림 41] TEEX 훈련장 (면적 약 60,000m<sup>2</sup>)

화학물질안전원의 훈련장은 화학사고를 대응하는 소방, 경찰, 해경 등

현장대원이 화학사고 현장을 간접체험 할 수 있는 기회를 제공하고 어느 정도 공정의 복잡성을 고려하여 설계되었으나 위 그림에서 화학물질안전원과 TEEX의 훈련 사진에서 보는 것처럼 화학물질안전원의 훈련장은 실제 화학사고의 현장성을 완벽하게 재현하지 못한 것으로 생각된다.

국내에는 현장실습이 가능할 정도의 대규모의 화학사고 훈련시설이 갖추어져 있지 않다. 뿐만 아니라 중앙 및 시도소방학교의 소방훈련시설에는 119화학구조센터 및 화학구조대의 팀단위 전술을 훈련할 시설이 미흡하다. 화학물질안전원에서 운영하는 훈련장은 화학물질안전원의 교육프로그램으로 운영되고 있어 다양한 소방전술을 훈련하기 위한 적합하지 않다.

화학사고는 그 규모와 영향력에 따라 대규모 인명 피해와 환경 파괴를 초래할 수 있는 매우 심각한 사고이다. 이러한 사고에 효과적으로 대응하기 위해서는 현장 대응 인력의 전문성과 대응 능력을 체계적으로 강화하는 것이 필수적이다. 이를 위해, 대규모 화학사고 훈련 시설의 필요성은 매우 크며, TEEX 훈련 시설 운영 현황을 통해 이를 잘 이해할 수 있다.

TEEX는 대규모 재난 및 화학사고 대응 훈련의 선두주자로, 실제 화학사고와 유사한 조건에서 다양한 시나리오를 통한 실습 중심의 교육을 제공한다. 이러한 훈련은 대응 인력이 실제 사고 현장에서 겪을 수 있는 다양한 상황에 대해 실전 같은 경험을 쌓게 해 주며, 이를 통해 재난 발생 시 신속하고 효과적으로 대응할 수 있는 능력을 키우는 데 매우 중요하다.

그러나 현재 국내외 많은 훈련 시설에서는 화학사고 대응보다는 화재 진압에 중점을 두고 있으며, 화학사고에 특화된 팀단위 전술 훈련 과정이 부족한 실정이다. 화학사고 대응 능력을 높이기 위해서는 개인의 장비 운영 숙달뿐만 아니라, 팀 단위의 전술적인 훈련이 매우 중요하다. 이는 대규모 화학사고 발생 시 다양한 기관과의 협력 및 조정 능력을 포함하여, 신속하고 효과적인 대응 전략을 수립하고 실행할 수 있는 능력을 개발하는 데 필수적이다.

이러한 교육효과를 만족하기 위해서 대규모 화학사고 훈련 시설이 갖추어야 할 요소로는 다음과 같이 제안한다.

○ **실제 화학사고를 모사한 다양한 시나리오 기반 훈련:** 훈련 시나리오는 현장의 다양성을 반영하여 실제 화학사고 발생 시 다양한 조건과 상황에 맞춘 대응 능력을 강화할 수 있도록 설계되어야 한다. 이를 통해 대응 인력은 특정 화학물질의 누출, 화재 발생, 독성 물질의 확산 등 다양한 상황에서의 대응 전략을 숙달할 수 있다.

○ **현장과 유사한 환경에서의 실습:** 대규모 화학사고 훈련 시설은 가능한 한 실제 사고 현장과 유사한 환경을 조성하여야 한다. 실제 화학물질을 사용하는 실습, 복잡한 구조물 내에서의 훈련은 대응 인력이 실제 사고 상황에서 겪을 수 있는 스트레스와 압박감을 경험하게 함으로써, 실전과 같은 대응 능력을 키울 수 있도록 한다.

○ **다기관 협력 및 팀워크 향상 프로그램:** 대부분의 사고가 119로 접수됨에 따라 초기 현장 대응이 소방에서부터 시작되고 있으나 화학사고 대응은 다양한 기관이 협력이 필수적이다. 화학사고가 확대되는 것을 방지하기 위해서는 초기 대응자인 소방대원의 유관기관의 협력 및 조정 능력을 배양할 수 있는 교육프로그램을 운영할 수 있도록 하여 환경부, 경찰, 의료기관 등 다양한 기관이 참여할 수 있는 훈련프로그램을 주도적으로 운영해야 한다.

○ **최신 기술과 장비의 도입 및 활용:** 대규모 화학사고 대응 훈련 시설은 최신의 기술과 장비를 도입하고 활용하여야 한다. 이는 대응 인력이 최신 장비의 사용 방법을 숙지하고, 고도화되는 화학사고 대응 기술을 습득할 수 있게 해 준다. 또한, 훈련 과정에서 드론, 로봇 기술, 실시간 데이터 분석 등을 활용하여 대응 인력의 기술적 능력을 강화할 수 있다.

○ **지속적인 교육 및 평가 시스템:** 대규모 화학사고 대응 능력은 지속적인 교육과 평가를 통해 유지되고 강화될 수 있다. 훈련 시설에서는 정기적

인 교육 프로그램과 함께, 실습과 훈련을 통한 성과를 평가하는 시스템을 마련해야 한다. 이를 통해 대응 인력은 자신의 능력을 지속적으로 점검하여 수준을 유지하고 새로운 기술을 습득 할 수 있도록 한다.

이와 같은 요소들을 갖춘 대규모 화학사고 훈련 시설은 대응 인력의 전문성과 대응 능력을 체계적으로 강화할 수 있는 기반을 마련해 주고, 이러한 시설의 운영과 발전은 궁극적으로 대규모 인명 피해와 환경 파괴를 예방하고, 재난 발생 시 신속하고 효과적인 대응을 가능하게 하는 중요한 역할을 할 것이다.

## IV. 수집자료 및 참고문헌

### 1. 수집자료

#### ○ CSB 화학사고 조사보고서 리스트

| Accident                                                | Location            | Accident Occurred On | Final Report Released On | Accident Type                                      |
|---------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|
| Sierra Chemical Co. High Explosives Accident            | Mustang, NV         | 98.01.07             | 98.09.23                 | C h e m i c a l Manufacturing - Fire and Explosion |
| Union Carbide Corp. Nitrogen Asphyxiation Incident      | Hahnville, LA       | 98.03.27             | 99.02.23                 | Confined Space - Asphyxiation                      |
| Herrig Brothers Farm Propane Tank Explosion             | Albert City, IA     | 98.04.09             | 99.06.23                 | Chemical Distribution - Fire and Explosion         |
| Morton International Inc. Runaway Chemical Reaction     | Patterson, NJ       | 98.04.08             | 00.08.16                 | Reactive Incident                                  |
| Sonata Exploration Co. Catastrophic Overpressurization  | Pitkin, LA          | 98.03.04             | 00.09.21                 | Oil and Refining - Fire and Explosion              |
| Concept Sciences Hydroxylamine Explosion                | Allentown, PA       | 99.02.19             | 02.02.01                 | Reactive Incident                                  |
| Bethlehem Steel Corporation Gas Condensate Fire         | Chesterton, IN      | 01.02.02             | 01.12.06                 | C h e m i c a l Manufacturing - Fire and Explosion |
| Tosco Avon Refinery Petroleum Naphtha Fire              | Martinez, CA        | 99.02.23             | 01.03.21                 | Oil and Refining - Fire and Explosion              |
| Hazards of Nitrogen Asphyxiation                        | 게시용                 | 03.06.25             | 03.06.25                 | Confined Space / Asphyxiation                      |
| Management of Change                                    | 게시용                 | 98.11.25             | 01.08.28                 | 게시용                                                |
| DPC Enterprises Festus Chlorine Release                 | Festus, MO          | 02.08.14             | 03.05.01                 | Release                                            |
| Third Coast Industries Petroleum Products Facility Fire | Brazoria County, TX | 02.05.01             | 03.03.06                 | Chemical Distribution - Fire and Explosion         |
| Georgia-Pacific Corp. Hydrogen Sulfide Poisoning        | Pennington, AL      | 02.01.16             | 02.11.20                 | Release                                            |
| Improving Reactive Hazard Management                    | 게시용                 | 00.08.01             | 02.10.08                 | Reactive Incident                                  |
| Motiva Enterprises Sulfuric Acid Tank Explosion         | Delaware City, DE   | 01.07.17             | 02.08.28                 | Hot Work Explosion and Fire -                      |
| BP Amoco Thermal                                        |                     | 01.03.13             | 02.05.20                 | Oil and Refining -                                 |

|                                                                                     |                   |          |          |                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------|----------|---------------------------------------------|
| Decomposition Incident                                                              | Augusta, GA       |          |          | Reactive Incident                           |
| Sodium Hydrosulfide : Preventing Harm                                               | 게시용               | 04.07.15 | 04.07.15 | 게시용                                         |
| D.D. Williamson & Co. Catastrophic Vessel Failure                                   | Louisville, KY    | 03.04.11 | 04.03.12 | Release                                     |
| Catalyst Systems Inc. Reactive Chemical Explosion                                   | Gnadenhuetten, OH | 03.01.02 | 03.10.29 | Reactive Incident                           |
| First Chemical Corp. Reactive Chemical Explosion                                    | Pascagoula, MS    | 02.10.13 | 03.10.15 | Reactive Incident                           |
| Kaltech Industries Waste Mixing Explosion                                           | New York, NY      | 02.04.25 | 03.09.30 | Reactive Incident                           |
| Environmental Enterprises Hydrogen Sulfide Release                                  | Cincinnati, OH    | 02.12.11 | 03.09.17 | Release                                     |
| BLSR Operating Ltd. Vapor Cloud Fire                                                | Rosharon, TX      | 03.01.13 | 03.09.17 | Flammable Vapor                             |
| After Katrina : Special Precautions Needed During Oil and Chemical Facility Startup | 게시용               | 05.09.08 | 05.09.08 | Oil and Refining - Fire and Explosion       |
| Honeywell Chemical Incidents                                                        | Baton Rouge, LA   | 03.07.20 | 05.08.08 | Release                                     |
| CTA Acoustics Dust Explosion and Fire                                               | Corbin, KY        | 03.02.20 | 05.02.15 | Combustible Dust Explosion and Fire         |
| West Pharmaceutical Services Dust Explosion and Fire                                | Kinston, NC       | 03.01.29 | 04.09.23 | Combustible Dust Explosion and Fire         |
| Isotec/Sigma Aldrich Nitric Oxide Explosion                                         | Miamitownship, OH | 03.09.21 | 04.08.24 | Chemical Manufacturing - Fire and Explosion |
| Technic Inc. Ventilation System Explosion                                           | Cranston, RI      | 03.02.07 | 04.08.20 | Chemical Manufacturing - Fire and Explosion |
| Removal of Hazardous Material from Piping Systems                                   | 게시용               | 04.01.13 | 04.07.15 | 게시용                                         |
| Praxair Flammable Gas Cylinder Fire                                                 | St. Louis, MO     | 05.06.24 | 06.06.15 | Chemical Distribution - Fire and Explosion  |
| Marcus Oil and Chemical Tank Explosion                                              | Houston, TX       | 04.12.03 | 06.06.06 | Chemical Manufacturing - Fire and Explosion |



|                                                  |                   |          |          |                                                    |
|--------------------------------------------------|-------------------|----------|----------|----------------------------------------------------|
| MFG Chemical Inc. Toxic Gas Release              | Dalton, GA        | 04.04.12 | 06.04.11 | Reactive Incident                                  |
| Sterigenics Ethylene Oxide Explosion             | Ontario, CA       | 04.08.19 | 06.03.30 | C h e m i c a l Manufacturing - Fire and Explosion |
| Acetylene Service Company Gas Explosion          | Perth Amboy, NJ   | 05.01.24 | 06.01.25 | C h e m i c a l Manufacturing - Fire and Explosion |
| Giant Industries Refinery Explosions and Fire    | Gallup, NM        | 04.04.08 | 05.10.26 | Oil and Refining - Fire and Explosion              |
| Hayes Lemmerz Dust Explosions and Fire           | Huntington, IN    | 03.10.29 | 05.09.27 | Combustible Dust Explosion and Fire                |
| Bethune Point Wastewater Plant Explosion         | Daytona Beach, FL | 06.01.11 | 07.03.13 | Flammable Vapor                                    |
| Formosa Plastics Vinyl Chloride Explosion        | Illioopolis, IL   | 04.04.23 | 07.03.06 | C h e m i c a l Manufacturing - Fire and Explosion |
| DPC Enterprises Glendale Chlorine Release        | Glendale, AZ      | 03.11.17 | 07.02.28 | Release                                            |
| Combustible Dust Hazard Investigation            | 게시용               | 04.10.01 | 06.11.09 | Combustible Dust Explosion and Fire                |
| Valero Delaware City Refinery Incident           | Delaware City, DE | 05.11.05 | 06.11.02 | Confined Space / Asphyxiation                      |
| Positive Material Verification : Prevent Errors  | 게시용               | 05.07.28 | 06.10.15 | Oil and Refining - Fire and Explosion              |
| Formosa Plastics Propylene Explosion             | Point Comfort, TX | 05.10.06 | 06.07.20 | C h e m i c a l Manufacturing - Fire and Explosion |
| CAI / Arnel Chemical Plant Explosion             | Danvers, MA       | 06.11.22 | 08.05.13 | Community Impact                                   |
| EQ Hazardous Waste Plant Explosions and Fire     | A p e x , NC      | 06.10.05 | 08.04.16 | Community Impact                                   |
| Synthron Chemical Explosion                      | Morganton, NC     | 06.01.31 | 07.07.31 | Reactive Incident                                  |
| Emergency Systems for Shutdown Chlorine Transfer | 게시용               | 02.08.14 | 07.06.14 | Release                                            |
| Partridge Raleigh Oilfield Explosion and Fire    | Raleigh, MS       | 06.06.05 | 07.06.12 | Hot Work - Explosion and Fire                      |
| Universal Form Clamp Co. Explosion and Fire      | Bellwood , IL     | 06.06.14 | 07.04.10 | Flammable Vapor                                    |

|                                                                                |                     |          |          |                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|----------|--------------------------------------------|
| BP America (Texas City) Refinery Explosion                                     | Texas City, TX      | 05.03.23 | 07.03.20 | Oil and Refining - Fire and Explosion      |
| Imperial Sugar Company Dust Explosion and Fire                                 | Port Wentworth, GA  | 08.02.07 | 09.09.24 | Combustible Dust Explosion and Fire        |
| T2 Laboratories Inc. Reactive Chemical Explosion                               | Jacksonville, FL    | 07.12.19 | 09.09.15 | Reactive Incident                          |
| Allied Terminals Fertilizer Tank Collapse                                      | Chesapeake, VA      | 08.11.11 | 09.05.26 | Community Impact                           |
| Little General Store Propane Explosion                                         | Ghent, WV           | 07.01.30 | 08.09.25 | Flammable Vapor                            |
| Barton Solvents Flammable Liquid Explosion and Fire                            | Des Moines, IA      | 07.10.29 | 08.09.18 | Chemical Distribution - Fire and Explosion |
| Valero McKee Refinery Propane Fire                                             | Sunray, TX          | 07.02.16 | 08.07.09 | Oil and Refining - Fire and Explosion      |
| Barton Solvents Explosions and Fire                                            | Valley Center, KS   | 07.07.17 | 08.06.26 | Chemical Distribution - Fire and Explosion |
| Veolia Environmental Services Flammable Vapor Explosion and Fire               | West Carrollton, OH | 09.05.04 | 10.07.21 | Flammable Vapor                            |
| Kleen Energy Natural Gas Explosion                                             | Middletown, CT      | 10.02.07 | 10.06.28 | Flammable Vapor                            |
| Packaging Corporation Storage Tank Explosion                                   | Tomahawk, WI        | 08.07.29 | 10.03.04 | Hot Work - Explosion and Fire              |
| Seven Key Lessons to Prevent Worker Deaths During Hot Work In and Around Tanks | 게시용                 | #VALUE!  | 10.03.04 | 게시용                                        |
| ConAgra Natural Gas Explosion and Ammonia Release                              | Garner, NC          | 09.06.09 | 10.02.04 | Flammable Vapor                            |
| CITGO Refinery Hydrofluoric Acid Release and Fire                              | Corpus Christi, TX  | 09.07.19 | 09.12.09 | Release                                    |
| INDSPEC Chemical Corporation Oleum Release                                     | Petrolia, PA        | 08.10.11 | 09.09.30 | Release                                    |
| Hoeganaes Corporation Fatal Flash Fires                                        | Gallatin, TN        | 11.01.31 | 12.01.05 | Combustible Dust Explosion and Fire        |
| Oil Tank Safety Study                                                          | Weleetka, OK        | 10.04.14 | 11.10.27 | Community Impact                           |
| Texas Tech University Chemistry Lab Explosion                                  | Lubbock, TX         | 10.01.07 | 11.10.19 | Reactive Incident                          |

|                                                                                |                     |          |          |                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|----------|---------------------------------------------|
| DuPont Belle Toxic Chemical Releases                                           | Belle, WV           | 10.01.23 | 11.09.20 | Release                                     |
| Goodyear Heat Exchanger Rupture                                                | Houston, TX         | 08.06.11 | 11.01.27 | Chemical Manufacturing - Fire and Explosion |
| Bayer CropScience Pesticide Waste Tank Explosion                               | Institute, WV       | 08.08.28 | 11.01.20 | Chemical Manufacturing - Fire and Explosion |
| Xcel Energy Company Hydroelectric Tunnel Fire                                  | Georgetown, CO      | 07.10.02 | 10.08.25 | Confined Space / Asphyxiation               |
| AL Solutions Fatal Dust Explosion                                              | New Cumberland, WV  | 10.12.09 | 14.07.16 | Combustible Dust Explosion and Fire         |
| Tesoro Anacortes Refinery Fatal Explosion and Fire                             | Anacortes, WA       | 10.04.02 | 14.05.01 | Oil and Refining - Fire and Explosion       |
| Silver Eagle Refinery Flash Fire and Explosion and Catastrophic Pipe Explosion | Woods Cross, UT     | 09.01.12 | 14.04.14 | Oil and Refining - Fire and Explosion       |
| NDK Crystal Inc. Explosion with Offsite Fatality                               | Belvidere, IL       | 09.12.07 | 13.11.14 | Community Impact                            |
| Carbide Industries Fire and Explosion                                          | Louisville, KY      | 11.03.21 | 13.02.07 | Chemical Manufacturing - Fire and Explosion |
| Donaldson Enterprises, Inc. Fatal Fireworks Disassembly Explosion and Fire     | Waipahu, HI         | 11.04.08 | 13.01.17 | Reactive Incident                           |
| E. I. DuPont De Nemours Co. Fatal Hotwork Explosion                            | Buffalo, NY         | 10.11.09 | 12.04.19 | Hot Work - Explosion and Fire               |
| West Fertilizer Explosion and Fire                                             | West, TX            | 13.04.17 | 16.01.28 | Chemical Distribution - Fire and Explosion  |
| Caribbean Petroleum Refining Tank Explosion and Fire                           | Bayamón, PR         | 09.10.23 | 15.10.21 | Chemical Distribution - Fire and Explosion  |
| Horsehead Holding Company Fatal Explosion and Fire                             | Monaca, PA          | 10.07.22 | 15.03.11 | Chemical Manufacturing - Fire and Explosion |
| Chevron Richmond Refinery Fire                                                 | Richmond, CA        | 12.08.06 | 15.01.28 | Oil and Refining - Fire and Explosion       |
| Millard Refrigerated Services Ammonia Release                                  | Theodore, AL        | 10.08.23 | 15.01.15 | Release                                     |
| US Ink Fire                                                                    | East Rutherford, NJ | 12.10.09 | 15.01.15 | Combustible Dust Explosion and Fire         |
| Key Lessons for Preventing Incidents from Flammable Chemicals in Educational   | Reno, NV            | 14.09.03 | 14.10.30 | Community Impact게시용                         |

|                                                                  |                      |          |          |                                             |  |
|------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|----------|---------------------------------------------|--|
| Demonstrations                                                   |                      |          |          |                                             |  |
| Delaware City Refining Company                                   | Delaware City, DE    | 15.11.29 | 17.05.18 | Oil and Refining - Fire and Explosion       |  |
| Freedom Chemical Release Industries                              | Charleston, WV       | 14.01.09 | 17.05.11 | Release                                     |  |
| ExxonMobil Refinery Explosion Torrance                           | Torrance, CA         | 15.02.18 | 17.05.03 | Oil and Refining - Fire and Explosion       |  |
| AirGas Facility Fatal Explosion                                  | Pensacola, FL        | 16.08.28 | 17.04.20 | Chemical Manufacturing - Fire and Explosion |  |
| Williams Olefins Plant Explosion and Fire                        | Geismar, LA          | 13.06.13 | 16.10.19 | Chemical Manufacturing - Fire and Explosion |  |
| Tesoro Martinez Sulfuric Acid Spill                              | Martinez, CA         | 14.02.12 | 16.08.02 | Release                                     |  |
| Macondo Blowout and Explosion                                    | GULF OF MEXICO, MI   | 10.04.20 | 16.04.20 | Oil and Refining - Fire and Explosion       |  |
| DuPont La Porte Facility Toxic Chemical Release                  | La Porte, TX         | 14.11.15 | 19.06.25 | Release                                     |  |
| Pryor Trust Fatal Gas Well Blowout and Fire                      | Pittsburg County, OK | 18.01.22 | 19.06.12 | Explosion and Fire                          |  |
| Enterprise Pascagoula Gas Plant Explosion and Fire               | Moss Point, MS       | 16.06.27 | 19.02.13 | Chemical Distribution - Fire and Explosion  |  |
| Arkema Inc. Chemical Plant Fire                                  | Crosby, TX           | 17.08.29 | 18.05.24 | Chemical Manufacturing - Fire and Explosion |  |
| Packaging Corporation of America Hot Work Explosion              | Deridder, LA         | 17.02.08 | 18.04.24 | Hot Work Explosion and Fire                 |  |
| MGPI Processing, Inc. Toxic Chemical Release                     | Atchison, KS         | 16.10.20 | 18.01.03 | Release                                     |  |
| ExxonMobil Baton Rouge Refinery Chemical Release and Fire        | Baton Rouge, LA      | 16.11.22 | 17.09.18 | Oil and Refining - Fire and Explosion       |  |
| Philadelphia Energy Solutions (PES) Refinery Fire and Explosions | Philadelphia, PA     | 19.06.21 | 22.10.11 | Oil and Refining - Fire and Explosion       |  |
| Sunoco Logistics Partners Flash Fire                             | Nederland, TX        | 16.08.12 | 22.09.28 | Hot Work Explosion and Fire                 |  |
| Loy Lange Box Company Pressure Vessel Explosion                  | St. Louis, MO        | 17.04.03 | 22.07.29 | Community Impact                            |  |

|                                                              |                     |          |          |                                             |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|----------|----------|---------------------------------------------|
|                                                              | MO                  |          |          |                                             |
| AB Specialty Silicones, LLC                                  | Waukegan, IL        | 19.05.03 | 21.09.24 | Release                                     |
| Evergreen Packaging Paper Mill - Fire During Hot Work        | Canton, NC          | 20.09.21 | 21.09.24 | Release                                     |
| Aghorn Operating Station Waterflood Hydrogen Sulfide Release | Odessa, TX          | 19.10.26 | 21.05.21 | Release                                     |
| Midland Resource Recovery Explosion                          | Barbour County, WV  | 17.05.24 | 19.12.17 | Reactive Incident                           |
| Watson Grinding Fatal Explosion and Fire                     | Houston, TX         | 20.01.24 | 23.06.29 | Explosion and Fire                          |
| Wacker Polysilicon Chemical Release                          | Charleston, TN      | 20.11.13 | 23.06.15 | Chemical Manufacturing - Fire and Explosion |
| LyondellBasell La Porte Fatal Chemical Release               | La Porte, TX        | 21.07.27 | 23.05.25 | Release                                     |
| Bio-Lab Lake Charles Chemical Fire and Release               | Lake Charles, LA    | 20.08.27 | 23.04.24 | Reactive Incident                           |
| Husky Energy Superior Refinery Explosion and Fire            | Superior, WI        | 18.04.26 | 22.12.29 | Oil and Refining - Fire and Explosion       |
| Kuraray Pasadena Release and Fire                            | Pasadena, TX        | 18.05.19 | 22.12.21 | Hot Work - Explosion and Fire               |
| TPC Port Neches Explosions and Fire                          | Port Neches, TX     | 19.11.27 | 22.12.19 | Explosion and Fire                          |
| Wendland 1H Well Fatal Explosion                             | Burleson County, TX | 20.01.29 | 23.12.26 | Explosion and Fire                          |
| KMCO LLC Fatal Fire and Explosion                            | Crosby, TX          | 19.04.02 | 23.12.21 | Chemical Manufacturing - Fire and Explosion |
| Foundation Food Group Fatal Chemical Release                 | Gainesville, GA     | 21.01.28 | 23.12.11 | Release                                     |
| Didion Milling Company Explosion and Fire                    | Cambria, WI         | 17.05.31 | 23.12.06 | Explosion and Fire                          |
| Yenkin-Majestic Resin Plant Vapor Cloud Explosion and Fire   | Columbus, OH        | 21.04.08 | 23.11.30 | Explosion and Fire                          |
| Intercontinental Terminals Company (ITC) Tank Fire           | Deer Park, TX       | 19.03.17 | 23.07.06 | Explosion and Fire                          |
| Optima Belle Explosion and Fire                              | Belle, WV           | 20.12.08 | 23.07.06 | Chemical Manufacturing - Fire and Explosion |

## 2. 참고문헌

- ① 박춘화(2018), 한국형 화학사고 대응 교육훈련 체계 연구, 한국산업기술대학교 지식기반 기술에너지대학원
- ② 김보현(2010), 소방의 CBRNE 테러 교육훈련 프로그램 개발에 관한 연구, 서울시립대학교 도시과학대학원 방재공학과
- ③ 경상북도 119특수구조단(2017), CBRNE 특수재난사고 대응체계 분석 및 발전방안 연구
- ④ 김기형(2011), 석유화학 재난대응 종합교육훈련 프로그램에 관한 연구, 정부학연구(제17권)
- ⑤ 이현승, 김보경, 윤이, 박춘화(2019), 한국형 화학테러·사고 대응 교육훈련 체계 기반 연구, 한국테러학회보 제12권 제3호
- ⑥ 고문수, 장현준, 성춘모, 이훈기, 이봉우, 신동일(2021), 화학물질 안전관리를 위한 위험물 사고 발생보고서 개선연구, KIGAS Vol 26, No 1
- ⑦ 김성범(2018), 화학사고 원인조사를 위한 조직 및 전문성 제고방안, 충남대학교대학원 과학수사학과
- ⑧ 환경부(2015), 화학사고 조사단 구성·운영 및 영향조사 안내서
- ⑨ 유병태(2021), 화학사고 원인 조사를 통한 화학물질 안전관리 개선방안 연구, KOSDI
- ⑩ Homeland Security(2019), National Response Framework(Fourth Edition)

- ⑪ Jeff Johnson(2023), TEEK Aims to Make Disaster Training Almost Like the Real Thing, American Chemical Society
- ⑫ CSB(2006), COMBUSTIBLE DUST HAZARD STUDY, INVESTIGATION REPORT
- ⑬ CSB(2013), WEST FERTILIZER COMPANY FIRE AND EXPLOSION(15 Fatalities, More Than 260 Injured), INVESTIGATION REPORT
- ⑭ CSB(2021), Fatal Liquid Nitrogen Release at Foundation Food Group, INVESTIGATION REPORT
- ⑮ CSB(2021), Foundation Food Group Fatal Chemical Release. INVESTIGATION REPORT
- ⑯ CSB(2005), BP America (Texas City) Refinery Explosion, INVESTIGATION REPORT
- ⑰ CSB(2022~2026), Strategic Plan