W. 미래의 소방/방재 기술

RMS
김 원 국

미래의 소방/방재 기술

1. 석유, 화학 공장의 화재 및 폭발

석유, 화학 공장에서 화재 및 폭발에 대한 안전을 확립하는 일은 새삼 거론할 필요가 없이 매우 중요한 업무이다. 특히 기술이 매우 급격하게 변하고 있고, 생산 규모가 커지고 있으며, 공정 장치가 복잡하게 설계되고 있는 현 추세에서는 화재 및 폭발의 위험이 더욱 커지고 있다. 석유, 화학 공장의 소방/방재 기술의 미래를 소개하기에 앞서 이들 공장의 화재, 폭발 사고 사례를 분석하여 봄으로써, 방재 기술의 필요성을 인식하기로 한다. 다음은 Industrial Risk Insurers(IRI)에서 분석한 1978년부터 1980사이의 석유, 화학 공장의 화재, 폭발 사고 사례이다. 이 자료는 1982년 AIChE의 Chemical Engineering Progress 8월호 80쪽에서 발췌한 내용임을 밝힌다.

표1.1 사고유형 분포

사고유형	발생빈도(%)	재산손실(%)
폭발	23.4	66.2
화재	41.6	20.6
폭풍	14.1	8.1
기타	20.9	5.1
합계	100.0	100.0

표1.2 폭발 원인 분석

폭발 원인	빈도(%)
조정 불가능 화학 반응	20.0
사고에 의한 화학 반응	15.0
장비 (연소에 의한) 폭발	13.3
옥외 증기운 폭발	10.0
과압	8.3
분해	5.0
연소 불꽃	5.0
압력용기 누출	3.3
운전 미숙	3.3
기타	16.8
합계	100.0

표1.3 폭발 장소

장소	빈도(%)
옥내 공정 및 생산동	46.7
옥외 구조물	31.7
작업장	6.7
탱크 저장소	3.3
보일러실	3.3
기타	8.3
합계	100.0

표1.4 폭발 공정

공정	빈도(%)
화학반응 공정, Batch	26.7
탱크 저장	10.0
보일러	8.3
화학반응 공정, Continuous	6.7
압축(Compressor)	5.0
반응이 없는 공정지역	5.0
증발(Evaporation)	3.3
회수(Recovery)	3.3
이송(Transfer)	3.3
액화(Liquefaction)	3.3
기타	25.1
합계	100.0

표1.5 폭발 주요인

폭발 요인	빈도(%)
장비의 파열	26.7
인적 오류	18.3
부적합한 절차	18.3
잘못된 설계	11.7
대기중의 가연성 증기	11.7
밀집된 공정 장치	11.7
가연성 액체	8.3
부적절한 교환 시기	6.7
부적절한 환기	6.7
부적절한 연소 조절	5.0
부적절한 폭발압 배출	5.0
합계	100.0

표1.6 화재 원인

원인	빈도(%)
가연성 액체 혹은 기체	17.8
과열, 뜨거운 표면 및 기타	15.6
배관 결함	11.1
전기 파손	11.1
용접 및 절단	11.1
방화	4.4
기타	28.7
합계	100.0

표1.6 화재 발생 장소

화재 발생 장소	빈도(%)
옥내 공정 혹은 옥내 생산 시설	42.2
옥외 구조물	33.3
창고	6.7
기타	17.8
합계	100.0

표1.7 화재 발생 공정

화재 발생 공정	빈도(%)
혼합공정	8.9
저장	8.9
희석	6.7
조정실/컴퓨터실	6.7
화학 반응, 회분 공정	4.4
화학 반응, 연속 공정	4.4
가열	4.4
건조	4.4
기타	51.2
합계	100.0

표1.8 화재 발생 주요인

화재 발생 주요인	빈도(%)
스프링클러 및 물분무 설비의 결여	35.6
인적 요소	15.6
인화성 액체 존재	11.1
장비 및 용기의 파손	8.9
과다한 찌꺼기	8.9
공정 체증(Product Bottleneck)	6.7
스프링클러나 물분무 설비의 설계 결함	6.7
합계	100.0

이상의 사고 사례 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있겠다.

① 석유, 화학 공장에서는 화재 및 폭발의 위험 비중이 가장 높다.
② 화재가 일어날 확률이 더 크지만, 피해는 폭발이 더 크다.
③ 큰 사고는 일어날 확률은 작고 피해 규모는 크다.
④ 폭발을 방지하기 위해서는 다음과 같은 방법이 있다.
   a. 공정위험분석(Process Hazard Analysis)을 철저하게 한다.
   b. 가능한 한 공간을 개방한다.
   c. 비상운전 상태를 고려한 압력방출변(Pressure Relief Valve)을 설 치한다.
⑤ 사고로 인한 주요 화재를 방지하기 위해서는 다음과 같은 방법이 있다.
   a. 공정지역내에서 인화물질의 사용 및 양을 통제한다.
   b. 고온 안전 기구의 설치를 강조할 것.
   c. 가능한 한 옥외에 공정을 설치한다.
   d. 모든 공정에서 화재가 발생 할 수 있다는 점을 명심할 것.
   e. 가능한 한 고정식 소화 설비를 설치할 것.
   f. 소방시스템이 없는 곳에 대한 화재 예방 계획을 세울 것.

실제로 석유, 화학 공장의 화재, 폭발 사고는 직원 뿐 아니라 시설에 노출되어 있는 주민들의 생명까지 위협하여 석유, 화학 공장의 안전관리를 법

으로 제정하기에 이르렀다. 이 법규가 Process Safety Management 인 것이다.

2. 석유, 화학 공장의 화재, 폭발 유형

방화 공학의 발전으로 말미암아 소방/방재 설계도 대상물의 화재 및 폭발 성상을 공학적으로 분석한 이후 분석된 화재 위험에 꼭 맞는 설계를 할 수 있게 되었다. 물론 아직도 관련 법규 및 기술 기준을 적용하는 경우가 대부분이긴 하지만 지속적으로 발전되고 있으며 그 사용 범위가 점차로 확장되고 있으므로 미래는 성능 위주의 소방/방재 설계가 주도하리라는 것에는 의심의 여지가 없다. 성능 위주의 소방/방재 설계는 방재 성능을 높여 줄 뿐 아니라 설치비용도 절감 할 수 있어 업계로부터 좋은 반응을 얻고 있다. 성능 위주의 소방/방재 설계를 가능하게 하려면 화재 및 폭발 성상을 예측하여야 하는데, 경제적으로 이를 수행하기 위해서는 컴퓨터 모델링 프로그램을 사용하게 된다. 다음은 석유, 화학 공장에서 일어날 수 있는 화재 및 폭발 현상과 이를 모델링하는 프로그램에 대한 소개이다.

① 액면화재(Pool Fire)

Pool Fire는 액체 상태의 연료가 연소하는 현상이다. Pool Fire의 경우 연소 시 방출되는 복사열의 크기를 계산하는 것이 화재 위험 요소를 예측하는 주요 요소가 된다. 여기서 방출 복사량의 크기를 결정하는 주요 요소는 다음과 같다.

- 단위 시간당 누출량
- Spill Control System 여부(Dike & Curb)
- Maximum Pool Diameter
- 노출된 시설까지의 거리
- 습도
- 풍속 및 풍향
- 연료의 연소 속도 및 연소열

Pool Fire의 경우 복사열의 계산은 Point Source Modeling 보다는 Solid Flame Modeling을 사용하는 것이 유리하다.

② 제트화재(Flame Jet)

제트화재는 연료가 내부 압력에 의해서 분출되는 상태에서 연소하는 현상으로, 화염의 길이와 화염으로부터 발생되는 복사열의 크기가 주요 관심사가 된다. 복사열의 계산에는 Point Source Modeling 방법이 사용되며, 제트화재의 크기를 결정 짓는 요소는 다음과 같다.

- 누출구의 크기 및 모양
- 용기 내부의 압력
- 연료의 연소 열량
- 누출구의 위치
- 풍향 및 풍속

③ 옥외증기운폭발(Unconfined Vapor Cloud Explosion)
옥외증기운폭발이란 옥외에서 누출된 공기 보다 무거운 가연성 가스나 증기가 폭발범위내의 증기운을 형성하여 점화원에 노출되면서 폭발하게 되는 현상을 말한다. 이 경우 폭발 범위내의 증기운 형성 범위를 예측하는 일이 중요하다. 증기운 확산 예측은 일반적으로 Puff Modeling을 사용하여 수행한다. 최근 CFD Modeling이 보편화되면서 이를 이용한 3차원 Modeling이 시도되고 있다. 확산 모델링의 범위를 결정 짓는 결정 짓는 변수는 다음과 같다.

- 누출 속도
- 누출량
- 증기운의 밀도
- 증기운의 온도
- 풍향 및 풍속
- 대기 안정도
- 지표면 상태
- 대기압
- 고도

④ BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)
BLEVE 란 압력용기가 파열되면서 용기내의 연료가 짧은 시간 내에 기화하여 공중에 화구를 형성하는 현상으로써, 압력 용기 폭발에 의한 폭발압력의 형성과 함께 화구로부터 방출되는 복사열의 피해가 있다. BLEVE 영향의 계산의 경우 화구의 높이, 지름 및 연소 지속 시간 등이 폭발 압력

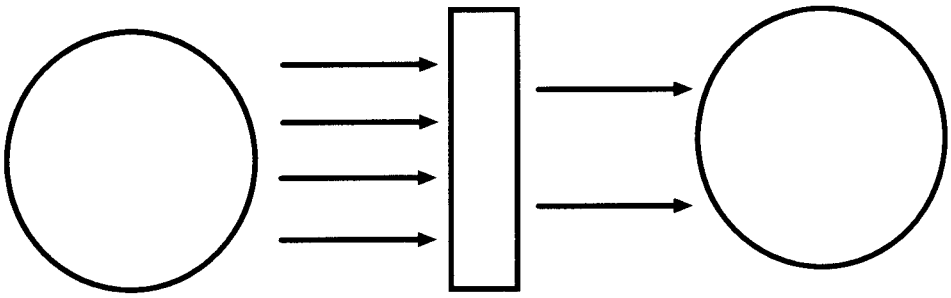
범위와 함께 주요 관심사가 된다.

⑤ Flash Fire

Flash Fire 는 옥외에 누출된 가연성 증기가 폭발압을 형성하지 않고 연소하는 현상으로써, Flash Fire 중심부에 있는 사람들은 중상 내지는 사망을 하게 된다. Flash Fire 에서는 UVCE의 경우와 같이 확산 범위가 중요한 위험인자가 된다.

3. 화재, 폭발로 인한 피해감도(Fire & Explosion Vulnerability)

2장에서는 석유, 화학 공장에서 일어날 수 있는 화재 및 폭발의 유형을 소개하였다. 그러면 이러한 사고에 노출된 사람 및 장비가 받는 피해에 대해서 알아 둘 필요가 있다. 전자의 작업을 Source Modeling 이라고 하며 후자의 작업을 Target Modeling이라고 한다. Source 와 Target 사이에 존재하는 것이 Barrier 즉 사고의 영향을 감소 시켜 주는 Mitigation 이라고 부르는데 이것은 다음 장에서 거론하기로 한다.



◁ Source ; 화재, 폭발, 및 독성 가스의 누출

◁ Target ; 부상, 사망, 재산 피해, 생산 중단으로 인한 간접 피해, 및 환경 피해

3.1 복사열로 인한 피해 감도

복사열로 인한 피해는 복사열의 강도와 노출되는 시간에 비례하여 커지게 되나, 피해를 줄 수 있는 복사열의 강도에는 분명 임계점이 있다. 다시 말하면, 임계점 이하의 강도로는 아무리 장시간 노출이 될지라도 피해를 줄 수 없다는 이야기다. 복사열로 인한 피해 감도를 요약하여 표시하면 다음 표와 같다.

표3.1 복사열로 인한 피해 감도

Incident Flux (kW/M2)	인명 피해	장비 손실
37.5	1분 노출 시 100% 사망, 10초 노출 시 1% 사망	장비 작동 불능
25.0	1분 노출 시 100% 사망, 10초 이내에 중상	목재가 점화됨
12.5	1분간 노출 시 1% 사망, 10초 이내에 1도 화상	플라스틱 용융, 목재 초기 점화
4.0	20초 이상 노출 시 고통을 느낌	
1.6	장시간 노출에도 불편함이 없음	

일반적으로 5 kW/M2을 부상 범위로, 10 kW/M2를 사망 범위로 정하고 있다. 이것은 미국의 DOT와 OSHA가 공동 개발한 사고영향 평가 컴퓨터 모델링 프로그램, 'ARCHIE' 에서 Injury Zone과 Fatality Zone의 값으로 제시되고 있다. 한편 NFPA에서는 화재에 노출된 압력용기의 BLEVE를 방지하기 위한 최대 허용 복사열 강도를 20 kW/M2로 규정하고 있다. 따라서 화재 시 20 kW/M2 이상의 복사열 에너지를 받게되는 압력 용기에는 물분무 설비(Water Spray System)를 가동 시켜 표면을 식혀 줌으로써 BLEVE 발생을 방지하여야 한다.

3.2 폭발로 인한 피해 감도

폭발로 인한 압력의 상승은 매우 짧은 시간에 일어나므로, 작은 압력에도 인명 및 시설에 큰 피해를 줄 수 있게 된다. 다음 표는 폭발 압력으로 인한 피해 감도 범위를 보여주고 있다.

표3.2 폭발 압력 피해 감도 범위

Overpressure (PSIG)	인명 피해	장비 손실
2.5 - 5	폐손상으로 인한 1% 사망 50% 이상 고막 파열 50% 비산물질로 인한 중상	건물과 공정 장비에 중대한 손실
1 - 2.4	1% 고막 파열 1% 비산물질로 인한 중상	보수 가능한 정도의 건물 피해와 건물 외장재 손상
0.5 - 1	비산 유리로 인한 부상	유리창 손상
0.15 - 0.30	비산 유리로 인한 경상	10% 정도의 유리 손상

4. 석유, 화학 공장의 방재설계 기본

석유, 화학 공장은 다루고 있는 물질이 위험물인 관계로 화재 및 폭발에 대한 선천적인 위험을 내포하고 있다. 이러한 잠재위험을 줄여 주거나 없애는 것은 불가하다. 따라서 방재 시스템은 사고가 일어날 확률을 줄여주고(preventive design)사고 시 사고의 영향을 최소화하여 주는 것이다(protective design).

화재 및 폭발 사고의 예방(prevention)은 사고가 일어날 확률을 줄여주는 것이다. 그러나 사고 발생 가능성은, 인간 실수 및 자연 현상 등 매우 다양하게 존재하므로 사전에 완벽하게 조정할 수는 없다. 다시 말해서 사고가 일어날 확률을 "0"으로 만들 수는 없다는 이야기다. 다음은 사고의 영향을 완화하여 주는 protective design 의 예이다.

- 화재의 진압 및 조정(Control or extinguish the fire)
- 피해범위의 최소화(Limit the extent of property involved)
- 인명 살상 가능성의 최소화(Reduce the potential for death or injury)

- 화재 구역 내에서 피해의 최소화(Minimize the damage to property within the fire-affected area)

가장 이상적인 방재 설계는 preventive design 과 protective design을 이상적으로 배합한 것이다. 다음은 planning 단계에서 건설이 완공되는 시점까지의 석유, 화학 공장의 방재 설계에서 고려하여야 할 주요 사항이다.

4.1 공장부지의 선정(Plant Siting)

사업장의 위치 선정은 최고 경영자의 결정 사항이고, 이 결정에는 마케팅, 원,부 자재 및 완제품의 운송, Upstream 과 Downstream 관계 등이 영향을 미치게 된다. 흔히 부지 선정에서 안전 관계자의 의견을 고려하지 않는 경우가 있는데, 이는 크게 잘못된 것이다. 최근 IMF 사태 이후 국내의 많은 기업이 외국자본에 합병 내지는 인수되는 과정에서 외국사들이 행한 대상 사업체에 대한 실사 내용을 살펴보면, 재무, 안전, 환경 등이 주요 골자를 이루고 있어, 그들이 부지 선정 시 안전과 환경 전문가의 의견을 충분히 반영하고 있다는 사실을 알 수가 있다. 다음은 장기적으로 고려하여야 할, 부지 선정 시 화재 안전에 관한 고려 사항이다.

- 지역 사회의 위치
- 지형
- 소화용수
- 이웃 공장의 종류 및 거리
- 증설, 확장 계획

4.2 공장배치(Plant Layout)

적합한 공장 배치는 화재의 피해를 줄여줄 뿐 아니라 폭발을 방지해 줄 수도 있다. 화재, 폭발 안전을 고려한 공장배치에서는 다음의 사항을 유의하여야 한다.

- 안전 이격 거리(복사열, 폭발압력)
- Elevation
- Drainage

- 주풍향(Prevailing Wind Direction)
- Flare Stack 과 Process Area
- Furnace 와 Process Area
- 위험도에 따른 공정 분류
- Passive Fire Protection System
- Spill Control System
- 비상탈출로 제공
- 수동진화작업 접근로

Flare Stack은 공정지역의 아랫바람쪽(Down Wind Direction)에, Furnace는 공정지역의 윗바람쪽에(Up Wind Direction) 설치하여야 한다. 이것은 바람의 방향을 고려하여 flare에서 방출되는 복사열로부터 공정 지역을 보호하고, 공정지역에서 누출된 가연성 가스가 furnace의 점화원에 노출되는 것을 최소화하기 위함이다. 충분한 이격이 불가능한 경우 다음과 같은 fire protection system으로 보호하는 것도 가능하다.

- 방화벽(Fire Rated Wall)
- 방폭벽(Blast Resistant Wall)
- Water Curtain
- Water Spray System
- Dike & Curb
- Burn Pit

공장 부지가 협소하여 탱크와 탱크 사이의 이격이 충분하지 못한 경우 물분무 설비나 Burn Pit의 설치를 고려하는 것이 바람직하다.

4.3 건축자재(Construction Material)

적합한 건축자재의 선택은 화재 전파 및 화재로 인한 피해를 최소화시킬 수 있다. 목재나 플라스틱류와 같은 가연성 건축자재는 그 자체가 연료가 될 수도 있으며, 화재의 확산을 이롭게 할 수도 있다. 뿐만 아니라 이들 가연성 자재들은 연소 시 독성물질을 방출하기도 하여 종업원의 안전 피난이나 소방대원의 소방활동을 방해하기도 한다. 가능한 한 가연성 자재의 사용을 억제하여야 한다. 그러나 알루미늄이나 철재와 같은 건축재는 연소를 확산시키지는 않지만 내열성이 떨어지는 단점을 갖고 있어 특별한 주

의가 요구되어 진다. 특히 이러한 자재들이 구조재로 쓰인 경우, 화재에 노출되면 붕괴될 위험이 있어 화재 확산의 위험성이 존재하게 된다. 따라서 이러한 경우, 내화 피복 및 물 분무 설비 등의 보호 조치가 필요하다. 내화 피복재의 선정 시에는 내화 온도 및 시간 등을 고려하여야 하는데 이것은 가연물질의 연소 온도 및 속도 그리고 누출량과 관계가 있다. 특히 이들 내화피복재의 내화 성능을 판단할 경우에는 가연물질의 연소 특성에 맞는 시험방법인지를 확인하여야 한다. 일반적으로 석유, 화학 공장에서의 내화 피복은 다음을 포함하여야 한다.

- 인화성 혹은 가연성 액체를 취급하는 용기의 구조재(기둥, 빔, 용기 Skirt 및 saddles).
- Control Room 이나 Motor Control Center.
- 보호된 피난로
- 고위험공정지구를 나누는 벽체 및 담.

4.4 피난로(Exit & Exit Routes)

공장에 비상사태가 발생하게 되면 비상대응 팀을 제외하고는 신속하게 대피하여야 한다. 따라서 공장내 근무하고 있는 종업원에 대한 가장 기본적인 안전 대책은 피난이라고 할 수 있다. 종업원의 수, 비상구의 크기, 피난 거리, 피난 방향 등이 기본적으로 확정되어야 하고, 화재영향 평가 및 독성, 가연성 가스의 확산 모델링 결과를 기초로 피난로를 설정하여야 한다. 전체 피난에 소요되는 시간이 체류 가능 시간 보다 짧아야 하며, 만약 피난 시간이 체류 가능 시간을 초과하게 되면, 피난로를 다시 설정하든지, 체류 가능 시간을 연장 할 수 있는 방책을 마련해야 한다.

4.5 수계소화설비

물은 아직까지 가장 많이 사용하고 있는 소화매체이다. 물은 다른 소화약재에 비하여 상대적으로 저렴하고, 구하기 쉬우며, 냉각능력이 크다. 또한 다른 첨가제와 함께 사용할 시 거의 모든 화재에 사용할 수 있다. 수계소화 설비는 소화용수 공급 시스템(Fire Water Supply System)과 소화용수 배급 시스템(Fire Water Distribution System)으로 나뉜다. 공급 시스템은 소화용수원 및 펌프로 구성되고 배급 시스템은 배관 및 블록밸브로 구성된다. 수계소화 설비의 설계에서 가장 기초가 되는 작업은 최대소화

용수량(Maximum Fire Water Demand)을 구하는 일이다. 왜냐하면 이것이 확정되어야만 소화용수저장 탱크, 펌프 및 배관의 크기가 결정 될 수 있기 때문이다. 최대소화용수량은 화재 시나리오별 화재영향평가를 수행하여 Protection 범위를 설정하고 이에 필요한 소화용수량을 추정한다. Single Fire Case에서 가장 많은 소화용수를 필요로 하는 시나리오를 선택하여 화재 지속 시간을 계산하여 필요한 전체 소화용수량을 구한다. 이러한 방법은 성능 위주의 소방 설계(Performance Based Fire Protection Design)로써 현재 보편화되고 있는 추세이다. 이전에는 공장의 생산 능력과 이전 화재 경험 등을 기초로 하여 최대 소화 용수량을 산정 하였었다.

4.6 물분무설비 및 스프링클러 설비(Water Spray and Sprinkler System)

물분무 설비는 화재에 노출된 설비를 보호하는 냉각 용도와 누출된 가연성 증기운이 점화원 쪽으로 이동하는 것을 막아주는 Water Curtain 용도로 나뉜다. 전자의 경우는 Exposure Protection 혹은 Water Spray 설비라고도 불리우는데, 최근에는 압력용기 뿐 아니라 대기압 탱크, 펌프, 주요 밸브류 등에도 폭넓게 적용되고 있는 실정이다. Water Spray 설비의 설계 시에는 살수 밀도와 작동 방법 등의 결정이 중요한 인자가 된다. 특히 살수 밀도는 protection 의 성패를 좌우하는 중요 인자가 되는데 노출되는 복사열의 크기 및 보호하고자 하는 위험물의 종류 및 저장 상태 등에 따라 변하게 된다. Water Spray System은 Pilot Head, Rate of Rise Heat Detector 및 복사열 감지기 등을 사용하여 자동으로 작동되게 한다. Water Curtain 의 작동 원리는 가연성 가스나 증기를 물분사를 통한 공기의 유입을 이용하여 가스의 농도를 희석시켜 줌으로써 증기운이 점화원으로 이동하는 것을 막아주는 것이다. 따라서 Water Curtain을 설계 할 때에는 점화원과 누출원의 위치에 따른 Water Curtain Line의 위치, 물분사 속도 및 노즐의 위치, 가스 감지기의 위치 등을 고려하여야 한다.
Sprinkler System을 설계할 때에는 헤드의 열특성(작동 온도 및 감도), 헤드의 배열, 물분사량, 분사 각도 및 형태 및 시스템의 종류(건식, 습식 혹은 Pre-Action Type) 등을 고려하여야 한다. 이 때 연료의 연소 특성과 함께, 실내화재 모델링 결과를 참고하여야 함은 물론이다.

4.7 포움시스템(Foam System)

일반적으로 물은 기름보다 가벼우므로 순수히 물만을 사용하여 유류 화재를 제압하기는 어렵다. 그러나 일부 발화 온도가 매우 높은 Heavy Oil 이나 수용성 연료의 경우, 물분사 입자를 작게 하여 분사하면 유류의 온도를 낮추어 지속적인 연소를 저지할 수 있다. 그러나 대부분의 유류 화재의 경우 발화 온도가 낮고, 수용성이 아니기 때문에 포소화약제(Foam Agent)를 사용하여야만 진화 할 수 있다. 포소화 약제에 의하여 포말형태로 변한 물은 연료의 온도를 낮추어 주고, 산소의 유입을 차단하고 증기 발생을 억제하게 되므로 효과적으로 화재를 진압할 수 있다. 또한 포움은 화재를 진압할 뿐 아니라 재 점화되는 것을 막아 주어 2차 화재를 예방하기도 한다. 포원액은 농축액으로 되어 있으며, 종류별로는 단백포, 합성포, 필름형성포, 알콜포 등이 있으며 물과의 희석 농도는 3% 와 6% 가 있다.

4.8 Dry-Chemical System

드라이 케미칼 소화약제는 연소연쇄반응을 차단하여 소화 시켜주는 원리로써, 단독으로 사용되기도 하고 포움시스템에 섞어서 사용하기도 한다. 파우더 상태의 약제를 방출 시켜야 하므로 약제 탱크와 노즐과의 거리에 제한이 있게되며, 약제를 이동시킬 수 있는 압력을 공급하여야 한다. 따라서 이 약제는 소화기에 많이 사용되고 있다. 많이 사용되고 있는 드라이 케미컬에는 다음과 같은 것들이 있다; Sodium Bicarbonate, Potassium Bicarbonate, Mono-ammonium Phosphate.

4.9 가스계 소화설비

가스계 소화 설비는 질식 효과와 연쇄반응 차단을 통해 소화를 시켜주는 원리이다. 가스계 소화설비에는 할론 1211, 할론 1301, CO2, 청정 소화 약제 등이 사용되고 있다. 할론 1301의 경우 지구의 오존층을 파괴하기 때문에 최근 새로이 개발된 청정소화약제로 대체되고 있다. 가스계 소화 설비가 전역방출식으로 사용되는 경우, 유효소화 농도의 유지가 매우 중요하다. 따라서 적정한 소화 약제량의 계산과 함께 실의 밀폐도를 사전에 점검하여야 한다. 실의 밀폐도를 점검하고, 소화 농도 유지 시간을 예측하는 데는 Door Fan Test 가 매우 효과적이다.

4.10 화재 탐지 및 경보

화재 탐지 및 경보 시스템은 화재를 조기에 탐지하여 전파하는데 그 목적이 있다. 따라서 화재 탐지 및 경보 시스템은 다음의 기능을 포함하여야 한다.

- 화재를 신속하고 신뢰성 있게 탐지하여야 한다.
- 사람들에게 화재 상태를 알려서 대피하거나 필요한 행동을 취하게 하여야 한다.
- 고정자동소화설비를 작동시킨다.
- 방재설비의 효과를 높이기 위하여 공정 정치나 시스템을 정지시킨다.

화재 탐지기는 화재의 종류 및 탐지 목적에 따라 선택 될 수 있으며 그 종류는 다음과 같다.

- 열감지기(고정식, 보정식)
- 연감지기
- 불꽃 감지기
- 공기채집식 감지기

석유, 화학 공장에서는 화재 탐지기 이외에도 가연성, 독성 가스의 탐지기가 사용되고 있다. 이들 가스 탐지기는 설치 위치가 매우 중요한데 위치 설정 방법에는 Point Source 방법과 Area Detection 방법이 있으며 많은 경우 이들이 혼합되어 사용된다. 최근에는 Beam Type Detector를 사용하여 Area Detection을 구성하는 것이 보편화되어 가고 있다.

4.11 Spill Prevention & Control

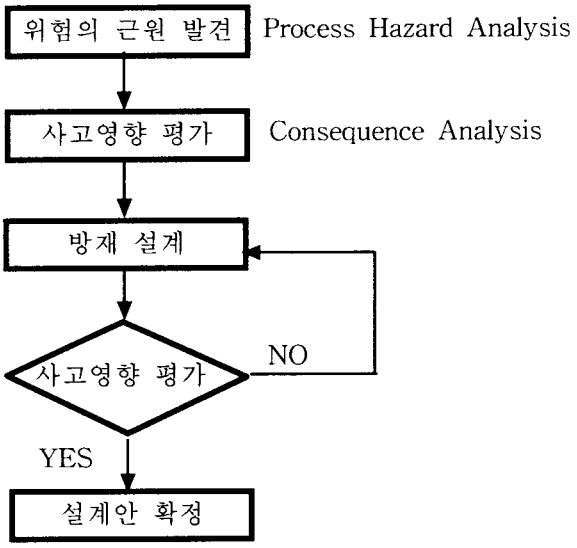
위험물질이 흘러나오는 것을 방지하는 것은 안전 설계 목적임과 동시에 안전 운전의 목적이 된다. Dike, Sub-Dike, Trench 및 Curb 등이 Spill Control System을 구성하고 있다. Dike의 경우 최대 탱크 용량의 100%를 수용할 수 있어야 하고, 다이크내의 Slope는 탱크 측에서 다이크 쪽으로 1%이상이어야 하는데, 밸브가 있는 쪽은 예외이다. Sub-Dike는 통상적으로 탱크 저장량의 10%에 해당하는 누출량을 저장할 수 있어야 한다. 우리 나라의 경우 공정 지역보다 고도가 높은 곳에 위험물을 저장하고 있는 경우가 있으나, 이는 Spill Control 차원에서 볼 때 매우 불리하다. 탱크 측에 레벨알람(LAHH)을 설치하는 것도 Spill을 방지할 수 있는 좋은 방법

이 될 수 있다.

5. 소방/방재 설계 및 관리의 새로운 방향

5.1 방재설계

이전의 소방/방재 설계는 법규 및 기준을 그대로 따라 가는 방법이었다면 미래의 새로운 방향은 화재 위험을 공학적으로 분석하고 여기에 적합한 시스템을 구축하는 이른바 "성능위주의 소방설계(Performance Based Fire Protection Design)"이 될 것이다. 이미 해외에서 건설되고 있는 석유, 화학 공장의 경우 Performance Based Fire Protection Design을 요구하고 있다. 석유, 화학 공장의 성능위주의 소방 설계 절차는 다음과 같다.



한편 정량위험성평가 기법이 보편화되면서, 정량화 된 위험을 기본으로 한 방재 설계도 시도되고 있다. 이 기법은 성능위주의 방재 설계를 바탕으로 하되 위험의 크기에 따라 방재 시설의 투자 여부를 결정하는 방법으로써, 이미 원자력발전소에서는 시행 단계에 들어갔다.

5.2 방재관리

5.1의 마지막 부분에서 설명한바와 같이, 정량위험성평가(Quantitative Risk Management) 방법의 보급은 방재 관리 부문에서의 위험관리(Risk Management)를 가속시키고 있다. 앞으로는 공장의 모든 위험이 정량화된 수치로 관리될 것이다. 공장의 최고 책임자는 방재 부문의 투자를 결정할 때에 새로운 방재시설의 설치 전후의 위험의 크기를 비교해 볼 것이며, 궁극적으로 회사가 허용할 수 있는 위험의 범위(Acceptable Risk Criteria)를 설정해 놓은 후, 이 범위를 벗어나는 것에 중점적인 투자를 하게 될 것이고, 투자 우선 순위 역시 위험의 크기 순으로 결정 될 것이다.

6. 결론

방화공학은 이미 공학의 한 분야로 정착하였다. 더 이상 소방/방재 설계를 법규와 경험에서 얻은 지식에 의해 수행하지 않게 될 것이다. 물론 우리 나라에서도 성능위주의 소방/방재 설계가 법적인 지위를 얻기 위해서는 시간과 노력이 필요하겠지만, 이미 우리 나라에서도 부분적이나마 성능위주의 소방/방재 설계를 인정하기 시작했다. 얼마 전 여의도에서 발생한 지하 공동구 화재 사고는 우리가 나아가야 할 방향을 명확하게 제시하고 있다. 더 이상 법규에만 의존하여 소방/방재 설계 및 관리를 수행 할 경우, 많은 손실을 감수해야할 것이다. 이제는 여러분들이 근무하고 있는 현장에 잠재하고 있는 위험을 자발적으로 발견하여 그 위험이 수용 가능한 범위에 드는지를 판단하고 그렇지 아니할 경우, 위험을 감소시킬 수 있는 방안을 강구하여야 할 것이다. 안전은 기술이다.