

爆發災害 豫防對策에 관한 小考

A Study on Prevention of Explosion Accidents

金 仁 成*
Kim, In Sung

The specific characters in recent Chemical processing and industrial plants are the handling of severe limit conditions such as high pressure, high and low temperature, high speed production and transportation, plant automation, and appearance of many new hazardous materials in numbers and quantity.

The possibilities of these characters causing the accident and environmental pollution in industrial activities become very high.

This paper describes the concrete policy to prevent the explosion accident out of the many accidents which are the subject of the safety engineering.

1. 머리말

근대 산업의 특징중에는 생산공정 가운데에 고압, 고온 또는 저온이라는 가혹한 극한 상태가 도입된 것과 생산 및 수송작업의 속도가 신속하게 되고 계장을 이용하는 자동화가 촉진된 것 그리고 새로운 위험성 물질이나 유해성 물질의 종류가 증가하고 이들의 취급량이나 저장량이 막대하다는 것 등을 들 수 있다.

이와 같은 특징들은 산업활동에 따라서 일어날 수 있는 재해나 공해의 종류가 좀 더 다양해지고 이에 따른 피해가 대규모일 가능성이 크다는 것을 예측케 하고 있다.

근대산업은 원칙적으로 공장이 위치하는 지역 주민이나 종업원의 생명이나 건강을 회생시키므로써 번영을 누리는 것은 허용되지 않는다. 원래 산업활동의 목적이 국민의 생활수준 향상과 복리 증진에 있다면 산업 그 자체가 무재해, 무공해이어야 하며 또한 이것이 기업경영에 대해서 부과된 중대한 사회적 책임의 일부분이어야 한다.

재해는 일반적으로 천재와 인재로 구분된다.

지진과 같은 천재에 있어서는 지각의 진동이나

용기등의 자연현상은 도저히 인력으로는 이것을 방지할 수가 없다. 그러나 지진에 의한 가옥의 파괴나 화재의 발생은 현대의 기술과 인간의 노력에 의해서 이것을 방지하는 것은 원칙적으로 가능한 것이다. 따라서 지각의 진동이나 용기와 같은 천재와 이에 따른 구조물의 파괴나 화재등의 인재와는 구별해서 생각할 필요가 있다.

근대 사업계에서 발생하는 각종의 재해 즉 안전공학의 대상이 되는 영역에 속하는 재해는 모두 인재이다. 인재는 원칙적으로 예방이 가능하므로 안전공학의 중요한 과제의 하나는 이를 인재가 발생하기 이전에 미리 예방하는 방법을 구체적으로 만들어 내는데에 있다.

여기서 안전 공학의 대상이 되는 각종의 재해 중에서 특히 폭발재해를 주로 취급해서 폭발의 발생을 예방하는 구체적인 대책을 살펴보기로 한다.

2. 폭발의 정의

일반적으로 폭발이라고 하면, 우선 큰 소리와 전물이나 장치의 파괴를 연상한다. 폭발시에 발생하는 큰 소리, 이론바 폭발음을 공기중을 전파

* (株)大宇엔지니어링 化工事業本部 次長

하는 압력파에 의한 것이고, 건물이나 장치의 파괴는 그들의 내부 압력 상승에 의한 것이다. 이와 같이 폭발은 어떤 공간에 있어서의 압력 급상승에 기인한다고 생각되지만 그렇다고 어느 정도의 시간으로 어느 만큼의 압력에 달했을 때 폭발이라고 할 수 있는가에 대해서는 명확한 정의는 없다.

압력의 급격한 상승을 초래하는 원인으로는 물리적인 것과 화학적인 것으로 구분해서 생각할 수 있다.

물리적인 압력의 급상승으로는 고압의 가스가 저압의 용기로 유입하는 경우나 밀폐된 용기내에 가득찬 가스 또는 액체가 열팽창을 일으킨 경우, 또는 액체의 유동으로 수격(Water Hammering) 현상이 발생하는 경우에 나타난다. 이 때문에 용기 또는 배관이 내압의 상승에 의해서 파괴되는 일이 있으나 이런 경우에는 압력의 급상승이 일어나도 폭발이라고 할 수 없다.

화학적인 압력의 급상승의 원인으로는 발열적인 화학반응이 일어나는 경우와 급격한 상 변화가 일어나는 경우가 있는데 이와 같은 경우 폭발이라는 현상이 나타난다.

예를 들면 가연성 물질의 연소나 불안정성 물질의 분해등 화학반응이 발열을 동반하면서 급속하게 일어나는 경우에는 반응열이 축적되어 온도가 급상승하고 발생한 가스의 압력이 급상승해서 폭발이 일어나게 되는 것이다.

혼합가스의 폭발, 가스의 분해폭발, 분진이나 분무의 폭발, 폭발성 물질이나 혼합 위험성 물질의 폭발 등이 모두 여기에 포함된다.

이들 물질속에서 폭발적인 화학반응이 총면을 형성해서 진행할때 이것을 연소파(Deflagration) 혹은 폭평파(Detonation)라고 한다. 폭평파는 연소파에 비해서 전파속도가 대단히 빨라서 음속을 넘기 때문에 충격파를 발생하는 원인이 되고 또 한 파면의 순간적인 고압때문에 여기에 접촉하는 금속이나 유리 등 고체의 파괴를 촉진하게 된다. 이들은 파괴효과에 뚜렷한 차이가 있기는 해도 모두 압력의 급상승 현상으로서의 폭발이라는 개념속에 포함할 수 있다.

급격한 상의 변화가 일어나는 경우에도 폭발현

상이 발생하게 된다. 즉, 액상 또는 고상과 같은 용상으로부터 기상으로 급격히 변화하는 경우에는 그의 밀도가 1/100~1/1000로 감소하므로 체적의 큰 팽창이 일어나고 압력의 급상승 현상을 가져오게 한다. 또한 원자핵종의 변환을 동반하는 원자핵의 폭발도 있다.

그러나 실제 문제로서 폭발재해가 일어나서 피해가 발생하는 것은 용기나 배관 또는 탑조류가 폭발에 의한 압력상승에 의해서 파괴되기 때문에 폭발의 개념속에는 본래의 급격한 압력상승과 이에 의한 구조물의 파괴를 모두 포함해서 생각해야 한다.

결국 “폭발이란 화학 반응에 따라서 일어나는 압력의 급격한 상승 현상이다”라고 정의할 수 있으며, 여기서 화학변화라고 하는 것은 발열적인 화학반응과 흡열적인 상 변화를 모두 총괄해서 말한다.

3. 폭발재해의 유형

폭발재해에 의해서 일어나는 피해는 다양해서 피해의 모습을 정확하게 예측하는 것은 곤란하다. 예를 들면 피해자의 인수나 부상정도를 폭발이 일어나기 전에 예측하는 것은 불가능하고 이것은 전혀 우연에 의한 것이라고 할 수밖에 없다.

이에 대해서 폭발사고 그 자체는 일정한 원인과 경과를 거쳐서 발생하는 것이므로 폭발사고 발생의 과학적인 경위를 밝힐 수가 있으면 폭발사고 그 자체를 예방할 수도 있는 것이다.

폭발의 참된 원인과 경과가 충분히 밝혀진 사례를 정리해서 폭발 경과가 비슷한 것을 하나의 폭발의 유형으로 분류하면 모두 6종류의 유형이 있는 것으로 알려졌다.

3-1) 착화 파괴형

용기, 배관, 탑조류 등의 내부에 있는 위험성 물질에 착화원으로부터 에너지가 주어져서 착화되어 연소나 분해 등의 화학반응이 일어나기 때문에 압력이 급격하게 상승하므로서 용기의 파괴를 동반하는 폭발이다.

3-2) 누설 착화형

용기의 내부에 있는 위험성 물질이 밸브의 개방 또는 용기의 균열 등의 개구에 의해서 오리부가 누설되어 이것이 착화원에 접촉하므로써 폭발하거나 화재가 일어나는 경우이다.

3-3) 자연 발화형

화학 반응열이 축적되어 온도가 상승한 결과 반응속도가 증진되어 점점 온도가 상승하므로써 그 물질의 착화온도에 도달하기 때문에 자연발화가 일어나서 화재 또는 폭발이 일어나는 경우이다.

3-4) 반응 폭주형

화학 반응열이 축적되어 온도가 상승해서 반응 속도가 증진된 결과 그 물질의 증기압 또는 분해 가스 압력이 급격하게 상승하여 용기가 폭발적으로 파괴되는 것이다.

3-5) 열이동형

액체가 고온의 다른 물질에 접촉할 때 급속하게 열의 이동이 일어나서 액체는 가열되어 일시적으로 과열 상태가 되어서 급격한 기회를 동반한 증기 폭발을 일으키는 것을 말한다.

3-6) 평형 파탄형

밀폐용기내의 액체가 고압하에서 증기압의 평형을 유지하고 있을 때에 용기가 파괴되어 증기가 분출되면 내압은 급격하게 낮아져서 평형이 깨지기 때문에 액체는 일시적으로 불안정한 과열상태가 되어 급격하게 기화되기 때문에 나머지의 액체는 용기의 벽에 충돌하는데 이 충격 압력에 의해서 용기는 다시 파괴되어 심한 증기 폭발이 일어나는 경우이다.

4. 폭발 재해의 대책

재해 발생의 가능성이 있고, 이에 대한 대책을 세우고자 할 때는 먼저 채택할 수 있는 대책을 열거하고 그들 중 채택해야 할 대책이 어느 것인가를 판단해야 한다. 이때 사고의 요인 분석, 위험성 평가, 피해 예측 등을 실시하여 이른바 대

책의 근거가 명확히 애 들판 필요가 있다. 이 대책의 근거가 명확해야 비로소 재해예방, 긴급 대책, 방호 등의 계획을 세울 수가 있는 것이다.

4-1) 해석 방법

사고의 요인 분석, 위험성 평가, 피해예측 방법은 실험에 의한 물질, 장치 시스템 등의 특성을 평가하는 실험적 해석법, 실제로 발생한 사고 예 또는 가상모델사고를 열거해서 그사고에 이르는 경과사고에 의한 피해 등을 현상에 준해서 추구하는 현상론적 해석법 및 사고 발생 결과를 시스템적으로 포착하는 시스템 안전 해석법등으로 대별할 수 있다.

이하에 보통 사용되고 있는 주요 방법의 특징을 간단하게 기술한다.

(1) 실험적 검토법

물질, 설비, 장치, 기구, 환경, 프로세스, 시스템 등의 특성을 실험적으로 조사하여 그들과 사고의 관련성을 분명히 하는 것이고, 요인분석, 위험성 평가, 피해 예측의 가장 기본적인 방법이다.

이 방법은 대상으로 하는 것의 얻고자 하는 Data 종류 등에 의해 다시 아래와 같이 분류할 수 있다.

a) 물질 측정

가연성 물질의 연소특성, 재료의 파괴특성 등을 측정하여 그 결과에 의한 물질의 위험성, 그 물질을 요소로 하여 사용하고 있는 설비 장치, 프로세스, 시스템 등의 위험성을 평가할 것을 목적으로 하고 있다.

b) 특성 시험

설비, 장치, 기구, 환경, 프로세스, 시스템 등의 특성을 실험적으로 측정하여 그들의 위험성을 평가하는 것이다.

c) 모델사고 실험

설비, 장치, 시스템 등에 있어서 모델사고를 발생시켜 그들의 위험성 및 그들을 구성하는 각 요소의 위험성 등을 평가하는 동시에 사고에 이르는 경과, 사고에 의한 피해 등을 조사하여, 그 결과를 요인 분석, 위험성 평가, 피해 예측에 쓸모 있도록 할 것을 목적으로 하고 있다.

(2) 현상론적 해석

사고 원인에게 그들에 의한 피해까지를 현상론적으로 검토하는 방법이며 모델사고 해석과 사고 사례 해석으로 구분한다.

a) 모델사고 해석

특정 재해를 상정하여 그 재해 원인에서 출발하고 경과, 결과 등을 재해 모델에 준해서 현상론적으로 추적하는 방법이고, 일반적으로 몇 가지의 변수를 설정하여 그들이 사고의 경과나 피해에 미치는 영향을 명확히 할 것을 목적으로 한다.

b) 사고사례 해석

재해에 따른 사고예를 열거하여 그 발생요인, 경과, 결과의 인과관계 등을 사고의 조사 방법에 준해서 현상론적으로 추정하는 방법이다. 이미 발생한 사고 원인이 추구에 사용되는 것이 가장 일반적인 방법이고, 이것으로 인해 얻어진 Data는 자주 시스템 안전해석의 기초로 사용된다.

(3) 시스템 안전 해석

설비, 장치, 기구, 환경, 프로세스, 시스템에 있어서의 위험성을 평가할 것을 목적으로 하는 방법이고, 발생한다고 예측되는 사고를 미연에 방지하여 재해가 발생되었을 때에 설비들을 적절하게 방호하는 계획을 세우는데 사용한다.

현재까지 많은 방법이 개발되어 있으며, 그중 주요한 것으로는 아래와 같은 것이다.

a) PHA(Preliminary Hazards Analysis)

조사 대상으로 내재하는 위험성을 평가하기 위해 제1단계로서 사용되는 해석으로 Checklist 등을 사용해서 위험에 관련되는 인자를 정성적으로 수집해서 위험성을 분류하는 것이다.

b) FHA(Fault Hazards Analysis)

몇 가지의 서브시스템으로 구성된 복잡한 전체 시스템의 안전성을 평가하는 것으로서 개개의 서브시스템의 안전성을 PHA등에 의해 평가하고, 그 서브시스템이 고장이 생길때 전체 시스템에 미치는 영향을 구하는 것을 최종 목표로한 해석법이다. 서브시스템을 구성하는 요소의 고장형태, 고장을, 그 고장이 서브시스템에 미치는 영향 등을 명확히 한다.

c) FMEA(Failure Modes and Effect Analysis)

FMEA는 시스템 안전해석 가운데서는 가장 넓은 용도로 사용되고 있는 것으로 정성적, 귀납적 해석방법이다. 조사 대상의 시스템에 영향을 미칠 것으로 생각되는 모든 요소의 고장을 분류, 해석해서 그것이 시스템에 미치는 영향을 검토하는 것이다.

요소의 고장종류는 많고, 모두를 상세하게 분류하는 것이 곤란하나 보통은 전달 및 수송 경로의 고장, 기동 및 정지를 포함한 작동고장, 오작동 등에 관한 명가지의 모양으로 분류한다.

또 이들 고장의 전 시스템에 대한 영향, 위험성 평가, 고장의 발견 방법, 복구방법 등을 추정한다.

d) CA(Criticality Analysis)

특히 위험도가 높다고 생각되는 요소에 대한 해석으로 보통은 몇 가지 분류에 의해 위험도를 평가한다. 위험도 평가에는 여러개의 계산식 또는 표를 사용하며, 얻어진 수치에는 어떤 한계를 설치하여 그보다 위험도가 높을 경우에는 설계변경이나 대책을 실시하게 된다.

e) ETA(Event Tree Analysis)

시스템의 각 요소가 전체의 위험도에 대한 관여의 정도를 귀납적으로 평가하는 방법으로서 일반적으로 사용되고 있다.

각 요소가 정상적으로 작동하는 확률을 알 수 있다면 전체의 위험도를 판정할 수 있다.

f) FTA(Fault tree analysis)

FAT는 시스템 안전 해석에 사용되는 가장 일반적인 방법이며, 대상이나 경우에 따라서 다소 다른 것이 있다. 이 방법은 재해에 관계된다고 생각되는 모든 요소를 채용하여, 이 요소에서 출발하여 재해에 이르는 경로를 연택적으로 표현하고, 그것에 준해서 위험성을 평가한다.

4-2) 요인 분석

재해를 가져오는 사고에는 그 원인이 있다. 사고 원인을 모두 빠짐없이 열거하여 각각에 대해 검토하는 데는 먼저 이들의 다양한 대상, 사고 상태를 계통적으로 처리할 필요가 있다.

특정 사고를 가장하여 그것에 관련하는 물질이나 사상을 계통적으로 정리함으로써 그 사고에 결부되는 가능성이 있는 모든 원인을 들고 각 원인의 사고에 대한 재해에의 관여 방법을 해명하는 것을 요인분석이라 한다.

예를 들어 FTA에 의해 요인 분석하는 과정을 정리하면 다음과 같다. 밀폐 공간에 있어서의 가연성 혼합기 폭발, 이른바 가스 폭발에 관여하는 사상 $A_1 \sim A_{11}$ 이 존재한다고 하고 이들과 정상사상, E의 관계를 FT에 의해 표현하면 그림 1과 같다. 이 FT에서 And Gate(G_1, G_5, G_6, G_8)부분은 다음 사상이 일어나기 위해서는 그들에 이르는 모든 사상의 동시 발생이 필요하고 Or Gate(G_2, G_3, G_7)부분은 다음 사상이 일어나기 위해서는 그것에 이른 어떤 하나의 사상이 일어나면 된다.

그림1은 다소 간소화한 FT이지만 폐 공간에 있어서의 가스 폭발에 대해 A_9, A_{10}, A_{11} 이 없다면 화원이 존재하지 않으므로 가스 폭발이 일어나지 않는 것, A_7 즉 알아차린 시점에서 환기를 잘해주면 가스폭발이 일어나지 않는다는 것 등 가스 폭발의 요인 분석을 비교적 계통적으로 할 수 있다는 것을 보여 주고 있다.

FT를 이용하여 요인 분석을 하는 외에 사고

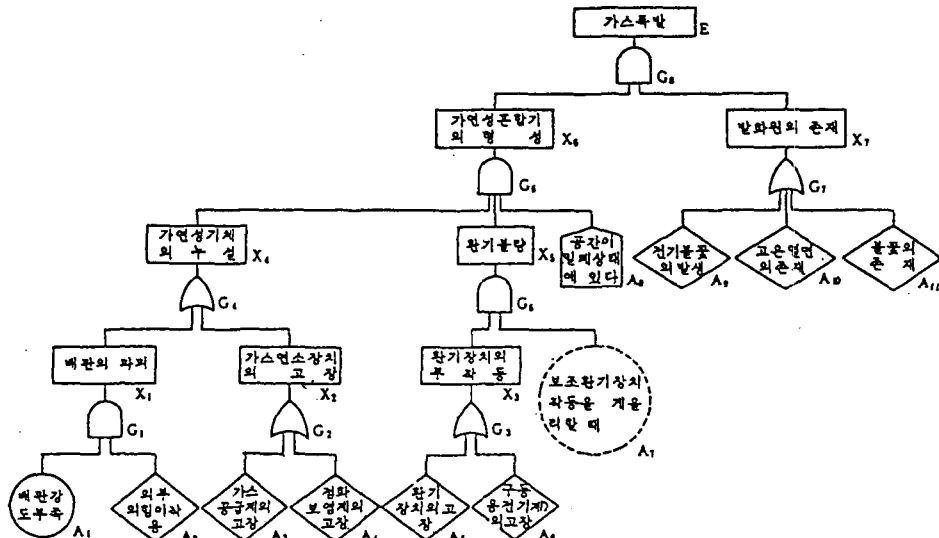
원인의 통계적 처리도 유력한 요인 분석 방법 중의 하나이다.

4-3) 위험성 평가

시스템, 장치, 물질, 상태, 동작 등의 사고 원인이 될 가능성을 검토하는 것이 위험성 평가이다. 사고 요인이 되는 가능성 표현에는 물리적 또는 화학적 성질, 특히 그들의 범위나 한계, 사고 발생 확률, 수명 등을 사용한다.

- a) 연소열
- b) 인화점
- c) 연소범위
- d) 발화점
- e) 연소속도
- f) 최소 발화에너지
- g) 소염거리
- h) 폭발과 특성
- i) 폭발 범위
- j) 폭발 위험지수

이들의 양을 적당한 함수에 의해 결합시킴으로써 가연성 물질의 위험성 평가를 보다 일반적으로 할 수도 있다.



[그림 1] 폐공간에 있어서의 가스폭발 FT

4-4) 피해 예측

기상 폭발에 의한 피해는 폭발이 일어난 방이나 장치 뿐만이 아니고, 인접하는 구조물, 경우에 따라서는 상당히 멀리 있는 것에도 영향이 있다. 또 그 피해에는 물적인 것 이외에도 인적인 것이 포함될 때가 많다. 사고 발생에 이르는 경과, 그 정도, 사고 발생시의 주위 건물설비, 사람의 배치

등을 상정하여 피해를 예측하는 것이 피해 예측이다.

기상 폭발의 피해 예측에 있어서 각종의 피해 크기를 예측하며 이에 대한 적절한 대책을 세우고 폭발시의 피해를 최소한으로 하기 위해서는 다음과 같은 피해의 종류, 검토사항 및 피해를 수치적으로 예측하는 과정이 필요하다.

〈표 1〉

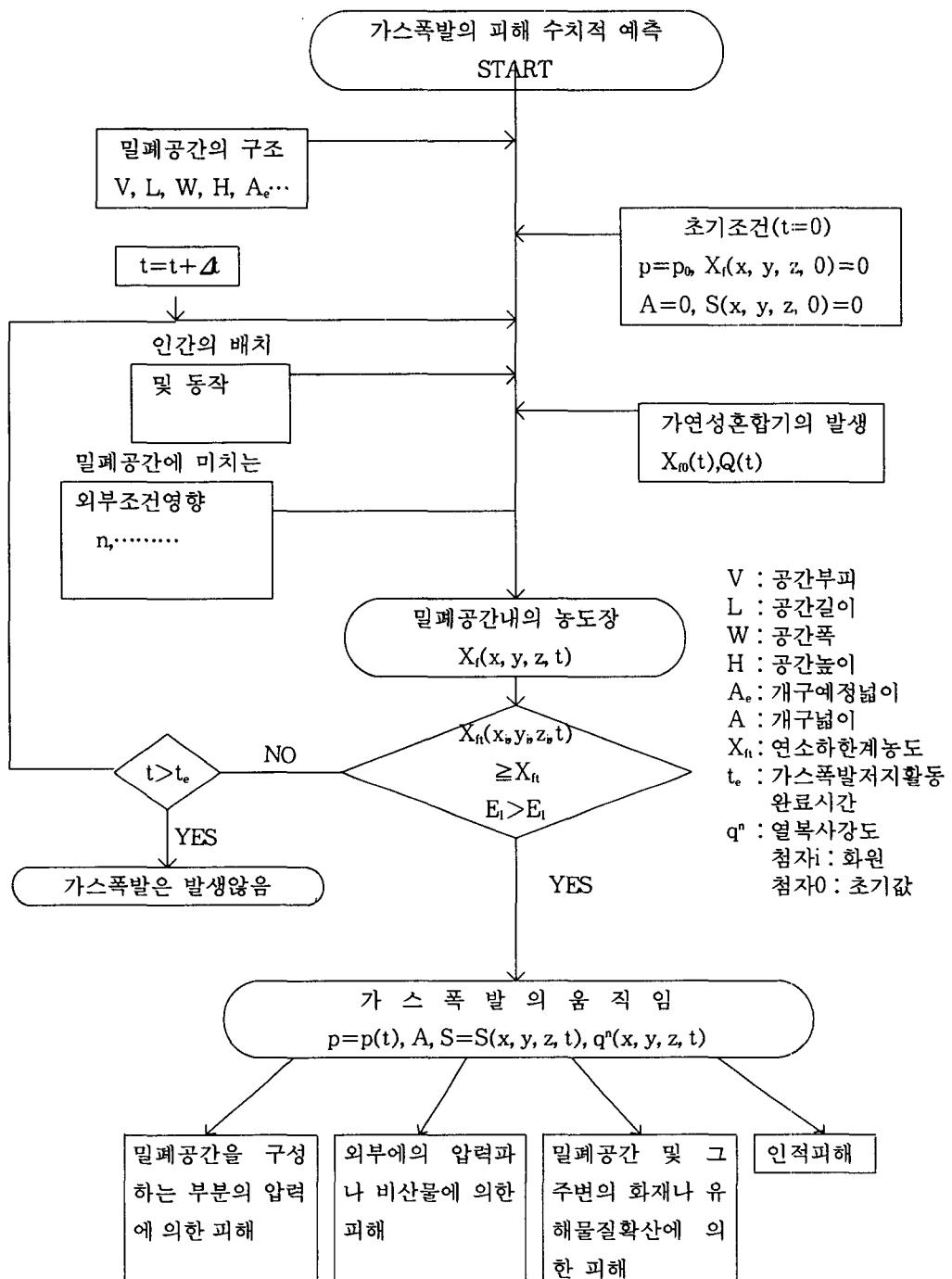
기상 폭발에 의한 피해

대 책	피해의 종류
폭발이 일어난 구조물	내부 압력상승에 의한 변형, 파괴, 폭발시의 연소에 의한 소손 폭발에 수반하여 발생한 화재에 의한 소손
폭발이 일어난 구조물과 인접된 구조물	압력에 의한 변형, 파괴, 폭발에 수반하여 발생한 화재에 의한 소손 압력파에 의한 변형, 파괴, 비산물의 충돌에 의한 변형, 파괴
폭발이 일어난 구조물로 부터 다소 떨어진 곳에 있는 물건	압력파에 의한 변형, 파괴 비산물의 충돌에 의한 변형, 파괴
사 람	폭발에 의한 사상 폭발에 수반하여 발생한 화재에 의한 사상 비산물의 충돌에 의한 사상

〈표 2〉

피해 예측의 주요 문제점

예측 사항	검토를 요하는 사항
압력상승에 기인하는 피해	가연성혼합기의 형성상황 여러가지 상태의 혼합기 중에서의 화염전파상태 화염전파에 미치는 구조물내의 상황, 영향, 압력 상승시의 취약부파괴 개구부가 있는 공간내의 화염전파와 압력상승 압력에 의한 구조물의 변형, 파괴
압력파, 비산물에 의한 피해	압력파의 발생 압력파의 전파, 반사, 간섭 압력파에 의한 구조물의 변형, 파괴 물제의 비산 물체의 충돌에 의해 받는 충격력
화재, 유해물질의 확산에 의한 피해	가스폭발에서 화재에의 전이 화재성질 물질의 이동, 확산 유해물질의 발생
인적 피해	가스 폭발방지를 위한 행동 규준, 피난유도 인적피해발생의 조건



[그림 2] 가스 폭발의 피해를 수치적으로 예측하는 순서

5. 안전 설계

요인분석, 위험성 평가, 피해예측 등에 의해 폭발대책의 필요성을 검토하고 결과에 준해서 안전설계를 해야 한다. 안전설계를 실시하는데 있어 필요로 하는 기술 및 지식은 방대하여 일일이 언급할 수 없지만 기상폭발에 대한 안전설계 기초에 대해 다음과 같은 대책의 실례를 든다.

5-1) 예방 시스템

예방 시스템은 어떤 이상이 없다면 일어나지 않는 대상에 대해서 취해지는 것이며, 그 폭발에 이르는 가능성성이 있는 이상을 감소시켜 이상적으로는 가능성 제로로 하기 위한 것이다.

기상 폭발은 어떤 공간에 있어서 가능 조건이 만족되고, 어떤 발화원에 의해 착화한 경우에 발생한다. 따라서 예방 대책으로는 이 발생과정에 이르지 못하게 하는 방법을 들수 있어, 공간에 있어서 항상 가연성 조건에 있지 않게 하고 발화원을 관리해야 하는 것이다. 기상 폭발의 예방 시스템은 이상의 두가지 대책을 실시하는 것이다.

(1) 가연조건의 성립 저지

연소범위내에 있는 혼합기체, 부유분진, 분무가 존재하지 않는다면 가장 폭발은 일어나지 않는다. 따라서 연소 범위내에 있는 혼합기체 형성을 저지할 목적의 대책으로서는

i) 용기나 배관계의 열화를 검출하고, 이를 막고 혹은 교환하여 가연성 기체의 누설을 저지한다.

ii) 휘발성의 액체 또는 기체를 밀봉하여 가연성 기체 발생을 억제시킨다.

iii) 반응에 의해 가연성 기체가 발생하는 가능성을 검토하고, 반응을 억제 또는 발생한 기체를 밀봉한다.

iv) 휘발성의 액체 또는 고체를 불활성 기체를 이용하여 공기로부터 차단한다.

v) 환기에 의해 가연성 기체의 농도 상승을 억제한다.

등이 있다. i)~iii)의 대책은 가연성 기체의 발생 저지를 목적으로 한 것이고 iv), v) 대책은 가연성 기체가 존재하더라도 연소범위내에 가연성 혼합기체가 형성되지 않도록 하는 것을 목적으로 한다.

위와 같은 대책을 실시하는 시스템을 모두 기상폭발의 예방 시스템이라 한다.

(2) 발화원의 관리

가연조건이 성립되고 여기에 발화원이 존재하면 폭발하게 된다.

발화원의 종류는 다음과 같다.

가. 전기적인 발화원 - 전기불꽃, 정전기 불꽃

나. 고온 발화원 - 고온 표면, 열복사

다. 충격적인 발화원 - 충격, 마찰, 단열 압축

라. 화학적인 발화원 - 나화, 자연발화

발화원의 관리 방법으로는

i) 전기 불꽃이 발생할 가능성이 있는 기구는 사용을 자제한다.

ii) 정전기의 발생을 저지한다.

iii) 발화온도 이상의 고온이 되는 기구를 두지 않는다.

iv) 화기를 방지하고 자연발화 물질은 열이 축적되지 않도록 통가한다.

등이 있다.

가연조건이 성립되는 가능성이 있는 곳인데 완전히 발화원을 격리할 수 없는 경우가 있다. 이와 같은 경우에는 발화원에서 일단 발화하여 화염이 형성되더라도 벽면이나 좁은 틈 등을 두어 화염전파의 지속을 막아야 한다.

5-2) 긴급 시스템

이상이 발생될 수 있고 또 그것이 원인이 되어 기상폭발의 발생 가능성이 있는 경우에 대책으로 사용되는 시스템의 긴급 시스템이다.

긴급 시스템은 보통 이상을 발견하여 경보를 울리는 동시에 필요한 대책을 세울 수 있도록 되어 있다.

임박한 폭발에 필요한 대책으로서는 그 폭발의 저지와 폭발이 일어난 경우를 상상한 피난이 있다.

여기서는 이상의 발견 및 경보 방법에 대해서 언급하고 긴급시에 있어서의 폭발저지 및 피난 방법에 대해서 기술한다.

(1) 이상의 발견

이상의 발견에는 어떤 의미에서는 이대로는 폭발에 이른다는 예지가 포함되어 있다. 따라서, 그 수단으로서 사용하는 감지 장치의 선택, 그작동 조건은 위험성 평가 결과에 따라 실시해야 한다.

감지 대상은 대개의 경우 가연성 조건의 성립

에 이를 수 있는 가능성 물질의 농도, 압력, 온도 등의 변화이고 드물게는 발화에 이르는 상황변화에 대한 것이다. 이상 발견에 사용되는 수단은 모두 보통의 계측에 사용하는 것과 같은 원리에 의하는 것이고 그 분류 방법도 계측에 있어서의 것과 같아도 된다.

(2) 경보

사고가 생길 이상을 발견했을 때, 인간에게 필요한 처치를 하도록 지시하는 표시 또는 음성이 경보이다. 경보를 할 경우에는 다음과 같은 사항에 주의한다.

- i) 경보의 필요성
- ii) 경보의 시기
- iii) 경보방법 및 내용
- iv) 경보의 효과

경보의 필요성을 검토하는 데는 위험성이 판단, 폭발이 일어날 때까지의 경과 예측을 할 필요가 있다. 기상 폭발의 경우에는 그 상태가 계속되고 아무런 조치도 취해지지 않으면 중대한 지장을 주고 폭발에 이를 가능성이 높을 때 경보를 발할 필요가 있는 것이다. 경보 시기는 사람이 동작하고, 필요한 조치를 취할 수 있는 시간 여유를 고려해서 결정하여야 한다.

경보를 발하는 방법은 경보양식, 내용, 시기, 장소 및 관련되는 사람에 따라 달라져야 하지만 다음 몇 단계로 나누어 발하도록 하는 것이 이상적이다.

i) 이상 전체에 관한 경보

그 장치 시스템에 관련하는 사람 특히 운전하고 있는 사람의 주의를 환기시켜야 할 경보이고 계기상의 표시, 램프 등에 의해 알리는 것만으로도 충분하다.

ii) 사고로 연결될 가능성이 있는 경우의 경보

이상 상황이 운전원만으로는 처리하기 어려울 경우나 처리하지 못하게 된 단계에서 발하는 경보로 관계자 모두에게 주지시킬 수 있는 표시 또는 음성을 이용한다.

iii) 사고 발생이 상당한 확률로 예상되는 단계에서 발하는 경보

그 장치나 시스템의 긴급 대책에 관계가 없는 사람들을 조급히 피난시키기 위한 경보이고, 적절한 피난 순서나 경로에 대해서도 지시할 필요가 있다.

iv) 사고 발생이 확실해진 경우의 경보

모든 사람들의 피난을 요청하기 위한 것으로 피난 순서나 경로에 대해 지시하여야 한다.

(3) 폭발저지

이상이 발생한 경우, 긴급 대책에 있어서의 폭발 저지방법도 기본적으로는 예방 대책의 경우와 같으며 폭발 저지에는 가연 조건성립의 저지 또는 발화원의 배제를 행하여야 한다.

(4) 피난

사고 발생이 확실하다고 예측될 경우에는 긴급 시스템을 작동시켜 대책을 세우는 방법으로 모든 사람을 안전한 곳으로 피난시켜야 한다.

피난하는 곳은 폭발지점과 가깝더라고 폭발에 대해 보호되어 있는 곳 또는 폭발지점에서 멀어 그 영향이 거의 없는 곳이라야 한다.

5-2) 방호 시스템

예방 시스템이나 긴급 시스템이 그 능력을 충분히 발휘하지 못하고 불행하게도 사고가 발생하는 것을 상정하여, 사고 발생시의 피해를 되도록 줄이기 위해 설치하는 시스템이 방호 시스템이다.

방호 시스템에 의한 대책에는 폭발이 일어난 구조물내의 압력 상승을 억제해서 파괴로부터 보호하고, 폭발현상이 다른 부분으로 확산되지 않도록 국소화하며, 폭발에 의해 발생한 압력파나 비산물로부터 설비나 사람을 보호하는 데에 목적이 있다.

여기서는 압력상승의 억제, 화염 및 폭평파의 전파저지 및 압력파 및 비산물로부터의 방호에 대해서 기술한다.

(1) 압력상승의 억제

방호 대책으로서의 구조물내의 압력 상승 억제 방법에는 구조물내의 기체를 폭발 발생과 동시에 구조물 밖으로 방출하는 것과 소화제를 폭발 발생과 동시에 구조물내에 살포하여 화염전파를 중단시키는 것을 목적으로 하는 것이다.

방압 시스템은 충분한 속도로 기체를 방출시킬 수 있어야 한다. 방압 시스템에는 Bustingdisk, 폭발물 또는 폭발시에 파괴될 수 있도록 설계된 측약벽 등이 있다. 안전 밸브로 일컫는 종류의 시

스템은 일반적으로 기체방출의 질량이 적어, 내부에서 기상폭발이 일어난 경우의 설비 방호에는 부적당하다.

발화후 화염이 전파되어 구조물이 파괴될 때까지의 시간은 예기치 못하는 사상으로서 구조물내에 소화제를 살포해서 화염 전파를 중단시키는 시스템에는 발화 또는 화염전파를 검출하는 장치가 포함되어 있고, 그 장치와 소화제 살포장치가 연동이 되도록 한다.

발화 및 화염전파의 검출에는 주로 압력상승 또는 연소시의 발광을 이용한다.

(2) 화염 및 폭광파의 전파저지

어떤 장치나 구조물내에서 폭발이 일어난 경우에 관로 등에 의해 접속되고 있는 다른 부분이나 장치에 화염이 전달되어 여기서 폭발이 일어나는 수가 있다. 이때 관로에 의해 화염 전파를 저지할 목적으로 Flamearrester나 소화제 살포장치를 이용한다.

Flamearrester를 화염전파저지에 이용할 경우, 화염전파 저지 능력은 소염소자와 가까워지는 화염 속도에 의존하고 혼합기의 종류에는 거의 의존하지 않는다. 소화제는 화염이 장치에 달하기 전에 감지하여 화염이 전파하는 전방에 살포하도록 한다.

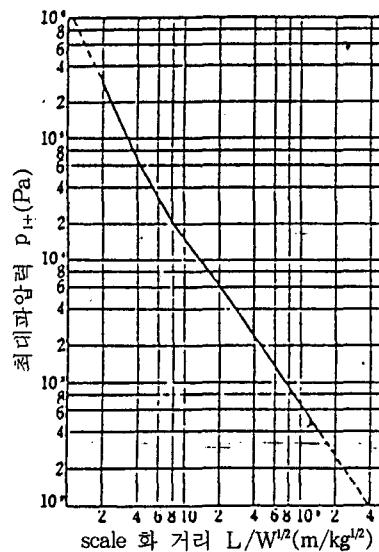
화염전파는 기상의 조건에 따라서는 폭광파로 전이하는 경우도 있는데 이때는 보다 넓은 공간에 폭광파를 방출하여 통상의 전파 화염으로 만든 후 철망이나 필터 등에 의해 소염시킨다.

(3) 내폭벽과 안전거리

기상 폭발이 발생할 가능성이 있는 장치나 설비 부근에 구조물이나 사람을 배치할 필요가 있을 때 만일의 폭발에 의한 피해를 입지 않도록 내폭벽을 설치하는 경우가 있다.

내폭벽설계에 있어 평가해야 될 힘은 폭발시에 발생하는 압력파에 의한 힘과 발생하는 비산물의 충돌에 의한 힘이다.

폭발에 의해 발생하는 압력파의 강도는 폭발에 관여하는 물질량이 동일한 경우라도 각각 다르다. 그러나 내폭벽의 설계를 위해서는 우선 누설량을 추정하고 TNT수율을 20% 정도로 해서 그림3를 이용, 폭심으로부터 거리에 따른 압력파의 강도를 계산한다.



[그림 3] TNT폭발시의 최대 압력

한편 비산물에 관해서는 만일 화학장치가 적절하게 설계되어 있다면 폭발시에는 취약부가 파괴될 것이고 이에 따른 파편의 비상을 고려하면 된다.

기상 폭발이 발생하더라도 그보다 멀리 떨어져 있으며 중대한 피해를 입지 않는다고 생각해도 좋은 거리가 안전거리이다.

안전거리의 추정에는 발생하는 압력파의 강도, 비산물의 속도 예측 등이 필요하다.

6. 맷음말

화학공장을 비롯한 모든 산업공장에서 가연성 기체나 가연성 분체를 다룰 때에는 누설에 이은 화재, 폭발 재해에 대해 그 대책을 생각해 두어야 한다. 이때 대책을 세우고 실행하는 사람들은 각종 대책 수립시의 근거, 현상을 이해하는데 필요한 지식을 습득해 두어야 한다. 열 및 물질의 이동에 관한 기본 지식을 바탕으로 위험성 물질의 형성, 발화현상, 화염의 전파기구, 폭광파의 전파기구 등에 관한 이해가 필요하다.

폭발에 의한 피해정도를 예측하기는 힘들다. 그러나 그 발생과정을 이해하고 저지함으로서 폭발의 예방대책은 세울 수 있다. 이때 과학적인 분석 방법, 수치로서의 제시방법 등이 반드시 병행하여야 한다.