

# 고압가스시설의 안전성 평가 기법개발 당면과제

김 두 환

한국산업안전공단 산업안전 연구원

안전기술 연구팀장

## 1. 서 론

일반고압가스 시설에서 취급되고 있는 가스 종류는 다종 다양해서 그 위험성도 매우크다. 특히 가연성가스, 독성가스, 지연성가스, 산소, 불활성가스, 특수가스등은 가스가 갖고있는 물성도 각양각색의 성질을 갖고 있다. 또 이와 같은 가스들을 제조, 저장, 운반, 판매, 소비에 이르기까지 취급하는 양태도 틀려 취급 조건에 따라 일어날 수 있는 가능성 있는 위험도 폭발, 화재, 중독, 파열, 질식 등 대형재해의 여러 형태로 나타날 수 있다는 사실을 근래 발생했던 고압가스 폭발화재에서 볼 수 있다.

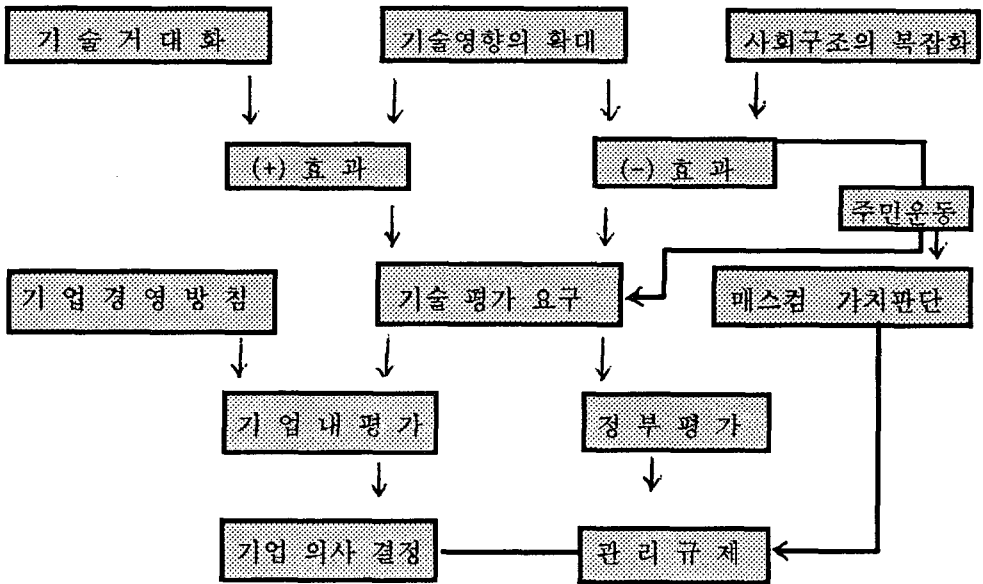
따라서 이들 물질이 고압가스 상태에 있고 운반 취급중 누설 확산에 따라서 그 피해액 범위도 막대하게 나타날 수 있다는 사실을 예상하지 않으면 안 될 것이다. 더욱이 반도체, 파일세라믹 등 첨단산업 분야에 광범위하게 사용되고있는 특수가스들은 종래 범용가스에비해 위험성이 커서 취급상에 보다 한층 주의가 요구되고 있다. 이러한 다양한 조건의 고압가스를 취급, 저장하는 시설의 안전성은 그 시설이 갖고있는 위험도를 객관적으로 안전성을 평가하고 파악하여 적절한 사전 안전대책이 항상 확보되지 않으면 안되는 시점에 와있다.

## 2. 사전 안정성 평가 및 기법개발의 필요성

### 가. 위험성 평가목적

위험성 평가는 플랜트 또는 시설에 발생할 가능성이 있는 최대손실액 위주로 보험업제에서 생각하는 평가의도로 재해가 발생할 경우, 재산손해와 영업활동에 방해받는 손해비용을 예상하는 것과 손해발생확률의 기초가 되고있는 보안시스템을 분석한 것이 선진 외국보험사에서 보는 위험성 평가 해석이고, 한국이나 일본의 경우 관청 지도형으로 대외적인 지역주민들의 진정 등 문제여론과 어려움에 빠질 수 있는 재해를 일으킬 가능성이 있는 RISK가 없도록 행정지도 목적으로 위험도를 평가하는 경우와 다른 한 가지는 자율보안형태로 기업자체가 화학 플랜트에서 예상되는 재해 발생으로 인한 손실 액은 어느 정도가 될 것이며, 손해발생을 예방하기 위해 사전에 어느 정도 안전투자를 해야 하는가를 판단하는 자료를 만들기 위해 위험도를 평가하는 경우의 2가지 목적이 있다고 본다.

전자는 기술적 평가, 후자는 안전투자계획으로 볼 수 있다.



현대사회는 대형사고가 발생하면 순식간에 막대한 피해가 나오게 되고 지역주민들에게 공포감을 주어 사회적 물의가 일어나게 되며 기업도 어려움을 당하는 경향이 많으므로 과학적인 안전성 평가에 대해서 국민은 물론 기업 측에도 심도 깊게 생각지 않으면 안될 위치에 처해 있다.

#### 나. 화학공장의 사전안전평가

화학공장은 대량의 가연성 물질이나 가스를 보유하고 있어 사고가 발생할 경우 인명피해, 공장의 파손, 환경파괴 등 기업의 명예가 실추되는 등 많은 피해를 가져오게 된다. 따라서 기업은 안전화를 향해서 많은 노력을 하게 되고 설비의 안전화 시스템의 다중화 등 다양한 설비의 안전투자를 많이 하게 되고, 인간의 안전행동화에 적극적인 추진을 시도하고 있다고 볼 수 있다.

그러나 구미 여러 나라들은 경영 층의 강한 안전책임의식 아래서 안전대책이 실시되고 있으나, 우리 나라는 안전책임의식을 갖고있는 자는 현장의 중간 관리자로서 근로자들을 설득하고, 위로는 경영 층을 설득시켜 어쩔 수 없이 따르는 형태의 안전책임은 결국 현장관리 감독자가 책임만 떠맡게 되는 것과는 많은 차이가 있는 것이다.

규제완화정책 추진으로 법이 개정되고 안전관리자의 자격도 다양한 부분의 유사자격자로 대체됨에 따라 각종 사고가 빈번하게 발생되고 규제전보다 훨씬 재해자가 증가하고 있어 이에 대비한 안전정책상의 부재라는 여론도 많이 일고 있다. 세계적인 추세가 그렇게 대비해 왔듯이 중대 재해가 발생하고 나면 강한 법적 조치나 행정상의 제재를 가하고 있다. 1982년 EC의 세베소지령 파셀조약, 1986년 미국의 SARA TITLE III 개정 계기가 그 좋은 일 예다.

따라서 각 회사에서는 사용되는 화학물질의 위험성을 파악하여 process 조건을 결정하고 사내 안전규정에 process 위험성평가를 계획단계부터 검토하여 이에 대응한 방재대책의 타당성과 기능을 확인하는 제도를 정하여 운전시 행동화되도록

분류하고, 그 중요도에 따라 안전설계를 행하도록 하고 있다. 즉, 재해상정은 대상으로 하는 시설이 내진성이나 안전방재설비에 대한 배려가 일체 없는 전무상태에서 화재폭발을 일으켜 유독가스 누설확산을 가상적으로, 최대규모 재해를 상정하여 최종적으로 재해에 이르지 않도록 적절한 설계에 활용하는 방법을 목적으로 신설되는 시설에 대한 예방대책적 성격이 있다.

방재아세스먼트는 화학공장시설에 대해서 종종 예방대책이나 사고의 국한대책 등 안전방재대책이 실시되는 것을 전제로 재해 상정을 행하는 것으로 기존 설비가 주 대상이 된다. 부근 주민에 대한 영향 경우를 조사하여 사회적으로 허용되지 않는 경우 시설의 근본적인 개선이 필요하게 된다. 재해 발생으로부터 확대하는 경로에 따른 안전 방재대책으로 영향범위피해에 따른 안전방재상 문제점의 도출로 피해방지대책을 수립하는데 이용된다.

그 일 예가 미국의 다우케미칼의 위험성 평가제도로 1964년에 도입되어 1987년 6번째 개선에 주안점을 두고 물질계수 결정이 온도와 반응성의 효과를 얻어 정확하게 응용되고 생산과정위험에 대한 Back Data 활용에 도움을 주는 실 예가 되고 있다.

영국 ICI 사의 Mond 법은 다우기법을 폭넓게 확장하여 사용되고 있다. 일본의 경우는 노동성 방식 HIKIDA 법, 가나가와현 방식 등이 있다. 네델란드에서는 공장내의 안전을 규제하는 Labour Condition Act 와 plant 외의 안전을 규제하는 Nuisance Act 가 있어 plant의 작업안전 Report 와 신설 공장의 External Safety Report 제출 등을 의무화시켜 잠재위험 지수산출법에 의한 수치가 일정치 이상의 공장에 대해서 제재를 가하고 이들 서류내용에는 설비명, 사용물질, 프로세서 파라메타와 잠재위험성을 포함한 process설명, 운전, 보수검사 등의 순서, 교육훈련, 비상시 계획 등의 위험성 관리 내용 및 합리적인 예견 가능한 사고의 동정을 제출토록 하여 지역정부에서 사전안전성검토를 행하고 있다. 독일은 안전규제가 고도로 체계화되어 대단히 엄격하며, 법적으로 안전성을 요구하고 있다. EC 지령이상의 규제를 강화하여 사전안전평가율이 가장 높다. 미국은 화학공장의 사고 방출 잠재위험성 및 대응능력을 평가하여 지역에 긴급시 계획을 세워 의무부과를 하고 있다. SARA TITLE III 는 긴급시 통보의무를 규정하고 있다. 기업의

해야한다.

이러한 일련의 과정을 안전화시킨 강제규정이 PSM 제도이다. 이와 같은 제도는 사전에 안전성을 확고하게 유지시킬 수 있는 계기가 될 수도 있다. 안전에 저해요인을 사전에 평가하여 이것을 개선토록 함으로써 안전을 달성할 수 있도록 가스 안전성평가의 도입을 활성화시킬 수 있는 한국형 가스 안전성 평가 기술 지침 매뉴얼을 만들어 사전에 안전관리가 철저히 제시되는 것을 행동화 되도록 만들 필요가 있다.

우리들은 흔히 안전을 확보하기 위해서 방재경보설비, 소화설비를 작동시키는 제어시스템만 잘되면 모든 것이 해결될 것이라고 연상한다. 특히, 석유화학공장에서는 가스 위험물을 대량 저장하고 취급하고있는 중에 재해가 발생하여 초기 대응에 실패하면 중대재해로 발전할 가능성이 있으므로 이러한 사태가 발생하지 않도록 사전에 해결할 필요가 절대적이다. 따라서 화재나 폭발에 따른 사고를 일으키지 않도록 하는 방법이 최선의 안전대책이다. 설비의 사전 안전성평가대책은 이러한 점에 중요성을 갖고 있다.

바로 생산과정에서 사용되는 물질의 위험성을 정확하게 평가하여 운전시에 정상으로 대응할 수 있고, 예상되는 사고형태와 원인을 예측하여 대안을 세우면 사고의 확대예측과 안전추진체제는 효과를 얻을 수 있을 것이다.

따라서 이러한 위험은 단시간에 추정하기 어려우므로 확산 시뮬레이션을 행함으로써 태세를 예상할 수 있도록 하여 대비책의 강구가 용이하도록 되어있다.

이와 같이, 화학공장의 가스나 위험물질 사용할 때 우선의 안전성확보가 근로자와 지역주민의 건강안전환경에 대한 책임 있는 태도를 스스로 보여줌으로써, 국민들의 안전 인식을 향상시키고 협조를 도모할 수 있는 방안을 제시할 수 있다.

그러므로 공장의 안전화에 관한 인적 요소의 효과적인 운영을 위한 사전평가로 인적예방법지 대책입안, Top의 안전의 의지력과 리더십, 안전조직화 등이 뒤따라야한다.

일본은 화학공장 시설로부터 재해에 영향을 평가하기 위하여 중요도 분류와 방재평가가 이뤄지고 있다. 중요도 분류는 위험한 시설의 잠재위험성을 평가하여

사고 방출시 화학물질종류, 양, 방출시각 및 지속시간, 알려진 위험성, 건강장해의 의료대책 등을 통보토록 하고 있다.

이와 같이 그 나라를 대표하는 사전안전성평가 기법이 개발되어 보급됨으로써 가스 안전관리에 만전을 기하게 될 것이다.

현재 각 산업현장이나 각 가정 등에서 일반적으로 사용되고 있는 LPG, LNG 등은 고압가스 안전법, 산업안전보건법 등에서 관계기준에 따라 시설비 제작 단계부터 안전성을 검토하도록 의무화시키고 있으며, 설치된 시설에 대해서도 안전진단이나 정기 안전점검 등을 통해서 안전의 유지, 확보가 되도록 시행을 의무화시키고 있으나 특수가스는 그렇지 못한 실정이다. 그러나 기존 화학설비 제조시설의 위험물, 가스등을 취급하는 공정에 대해서는 공정 안전관리의 효율화를 위하여 정성적이고 정량적인 평가 시스템을 적용, 관리하도록 96년부터 99년까지 매년 전 공정의 25%씩 공정안전보고서를 작성하여 제출 심의를 받도록 산업안전보건법상에 의무화시키고 있다.

그러므로 각 시설의 위험성을 객관적으로 파악하고 이에 따른 안전대책을 종합적으로 나타내는 정량적 위험성 평가 기법이 필요하다. 현재 각 사업장에서는 표준화된 정량적인 평가방법이 없어 가스시설에 대한 본격적인 평가가 이루어지지 않고 있다고 생각된다. 종합적인 안전대책을 추진하기 위해서 한국형 기법개발이 요구된다.

### 3. 결 론

1. 고압가스시설 정량적인 안전 평가기법의 개발과 매뉴얼화가 시급히 만들어져야 한다. 이를 위한 시설적인 평가나 방재 안전체제 측면에서 시급히 범용적이고 사용하기 편한 안전성 평가기법이 개발되어 실제 실용화할 수 있도록 검증, 보급되어야 한다.

2. 이와 같은 고압가스시설의 정성적이고 정량적 안전기법개발 Task 팀의 구

성위원회 조직과 범국가적 측면에서 지속적인 평가 기법개발 재원 확보가 이뤄져야 한다.

3. 관련 법규의 체계적인 조문통일과 안전관리 확보가 되도록 개정, 강화되어야 한다.

### 참 고 문 헌

1. 김두환 : 물질의폭발위험성과 위험평가 실예, 화학공학회, 국제세미나, 1994.
2. 김두환 : 화학공장의 잠재위험성 평가실태동향과 예방안전 대책방안, 한일기술사 심포지엄, 1993.
3. 한국산업안전공단 : 위험물저장 시설, 국제워크샵, 1996.
4. 한국산업안전공단 : 화학물질 안전보건 훈련매뉴얼, UNEP, 1997.
5. 노삼규외 3인 : 화학공장의 위험성평가를 위한 화재폭발 지수산정 프로그램 개발, 한국산업안전학회, 1993.
6. 우에하라 : 석유화학 콤비나트에 있어 방재 시스템, 화학공학회 국제세미나, 1994.
7. 가나가와대학 : 일반고압가스 시설의 위험성평가 수법개발 사업 보고서, 1991.
8. 일본가스 보안협회 : 가스누설 방지에 관한 보고서, 1991.
9. AIChE : HAZARDS ASSESMENT GUIDE LINE, 1985.

## A. 화재, 폭발지수 응용 위험도 평가(콤비너트 시설)

1. 대상플랜트 선정 : ○○지구 석유화학플랜트, Ethylene Spliter

2. 각 공정 List

3. 대상 단위공정 선정

4. 대상공정 계통도

도면 별첨

5. 물질계수 : DOW Chemical 물질계수지침서에 의함(제6판)

ethylen : MF:24, HC:20.8, Nh:1, Nf:4, Nr:2, FP:Gas, B.P:155

6. 일반공정 및 특수공정 위험요소 가점 부여 [표 참조]

7. 손실지수 산정 : 0.89

8. 화재폭발지수 산정 (Fire & Explosion Index) : NFPA분류방식, DOW Chemical 화재 폭발지수 적용 참조)

9. 손실방지 보정계수 산출

공정관리제어(C<sub>1</sub>)

비상전원 0.98    냉각 0.99    폭발조절 0.98    비상가동정지 0.98

Computer Control 0.99    Inter Gas 0.96    운전조건/생산 0.94

반응성 0.91

---


$$C_1 = 7.73$$

물질거리대책(C<sub>2</sub>)

Remote Control Valve 0.98    Pump/Blow Down 0.98

배출 0.98    Interlock 0.98

---


$$C_2 = 3.92$$

방화설비(C<sub>3</sub>)

누출금지 0.98    Structural Steel 0.98    지하탱크 0.91    소화수공급 0.97

특별설비 0.91    스프링클러시스템 0.97    Water Curtain 0.98    Form 0.94

소화기 0.95    Cable Protection 0.98

---


$$C_3 = 9.57$$

보정계수 C<sub>n</sub> = C<sub>1</sub> × C<sub>2</sub> × C<sub>3</sub> = 288.54



10. 단위공정 위험노출 반경 산정  $F \& EL \times 0.84 = 185.47ft$

11. 손실계수 산정  $(F_3 \times MF) = F \& EL$

$MF = 24, F_3 = F_1 \times F_3 = 9.2$   $F_3$  가 8보다 크면 8로 가정

Damage factor 0.88

손실보정계수  $Cd = C_1 \times C_2 \times C_3$

$$Cd = 0.7575 \times 0.9035 \times 0.6418 = 0.438$$

Damage factor  $0.88 \times Cd(0.4380) = 0.39$

방재시설 설치로 88%의 손실에서 39% 손실로 감소됨.

12. 안전대책 적정 여부

Cn - F & EL	안 전 대 책	위 험 성
100 >	안전대책 과잉	거의 없음
100 - 50	안전대책 적정	경미
50 - 0	안전대책 보완	위험
0 - 50	재 검토	위험 大
< 50	재설계, 재시공	매우 위험

13. Ethylene Splitter 단위공정의 안전대책 판정

$Cn - F \& EL = 67.74$  적정 위험성 경미

※ 주 : 상세한 것은 한국과학재단 「석유화학단지의 위험성 평가 및 주변지역의 토지이용 안전계획」 (1993) 참조할 것

## B. 일반고압가스시설 위험도 평가

1. 잠재위험도 산출
2. 보안방재 평가
3. 사업장 평가

### 평가순서

=====

- 가. 평가대상시설 단위화(고압가스제조시설, 저장시설, 소비시설)
- 나. 물질계수의 결정
- 다. 조작 및 양계수 산출 결정(Process형태, 온도, 압력 물질계수, Process Unit, 입출하빈도, 가스처리능력(양) 및 양 산출(가연성, 독성, 산소불활성))
- 라. 유니트별 잠재위험도 산출
- 마. 시설의 잠재위험도 결정
- 바. 보안방재면 평가계수 산출  
보안체제, 방재능력, 레이아웃, 경과연수 변화, 입지환경
- 사. 판정 평가
  - (1) 최종 평가치에 의한 판정
    - 잠재적 위험도 (A)
    - 사업장 평가 ( $A \times 1 - C/100$ )
  - (2) 평가내용에 의한 판정 (별지 판정표 활용)

평 가 치 (A)	잠재위험도	평 가 치 (A)	잠재위험도
125 이상	대단히높다	60 이상	대단히 높다
100이상 - 125미만	아주 높다	50이상 - 60미만	아주 높다
75이상 - 100미만	높 다	40이상 - 50미만	높 다
50이상 - 75미만	중 ·	30이상 - 40미만	중
25이상 - 75미만	낮 다	25이상 - 50미만	낮 다
25 미만	아주 낮다	25 미만	아주 낮다

위험성 평가 체크리스트 비교

구분	미국보험협회 1975	DOW Chemical 1976('87)	일본노동성생서 1976	HIKIDA법 1975	일본 神奈川현 1992(고압가스시설)	한국 KISCO	미국화학자협회 (MCA) 1985
인지 조건	plant side 3.5% 10개 항목	-	지리적 조건, 주변 시가지 등 3개항, 완충지대 1개항, 지반조건, 지형 2 개항		임지환경 6개항	기술자료 검토, 설계 배치도, 지형 질도, 지형 등 검토	3개항
레이 아웃	plant layout 2.0%, 10개항	9개항	9개항		4개항	일반배치 12개항	작업장소 23개, 구내(홀로 등) 8개
건조 물(인 인전 설계	구조물 3.3%, 10개항	17개항	기기실비구조 10 개항, 정조인전설 계 4개항, 내화구 조 3개항			7개항	건물 5개항
원료 중간 제품	원료중간제품품질 20.2%, 9개항	인화성 분진가스 9개항, 원료 4개 항, 최종제품 9개 항	위험성물질 3개항 원재료운영 6개항			원료 8항	원재료 15개항
프로 세스	프로세스평가 10.6%, 8개항	화학물질 등 21개 항	기기실비 10개항			19개항	반응 17개항, 배 치계획 4개항
수송 지장	유닛operation (단위조작) 수송 지장 4.4% 8개항	저장수송 10개항	저장 Tank 10개항 보관운반조각 5개 항				
장치	기기31.1% 10개항	기계류 15개항	이상대비설비 2개 항, 설비관리운영 기준 8개항, 오조 작 방지 17개항, 운 전관리 3개항, 운 전차단기준 4개항		방재능력 9개항, 경과년수 3개항	배관16항 장치12항 배출 6항 계장설비 18항	장치 23항, 계장 11항, 조작 12항, 고장 4항, 전기 1 5항, 보일러 11항 배관 13항, 기계 장치 등 24항