

총설

위험성 평가중 화재·폭발 지수 산정방법에 관한 고찰

A Study on Fire and Explosion Index in the Petro-chemical Plant

김진곤* 김광일**
Kim, Jin Kon, Kim, Kwang Il

목차

- | | |
|----------------|--------------------|
| I. 서론 | IV. 공정 지수 |
| II. 물질 및 공정 특성 | V. 화재, 폭발 지수 산정 절차 |
| III. 물질 계수 | VI. 결론 |

Abstract

The method has been proposed for the risk assessment of petro-chemical plant, specially which can evaluate relative risk levels on the materials and process-es. The each potential risk of materials and processes are derived numerically and combined these values, finally Fire and Explosion Index was found. Material factor was evaluated with the flammability and the reactivity and process factor with empirical factor called penalty. This F&EI can be performed for relative risk assesment at the whole plant and directly applicable at the line.

요약

본 연구는 석유/화학공장에서의 위험성 평가에 관한 것으로써, 특히 물질과 공정의 위험에 관한 상대적 평가를 수행할 수 있는 방법을 제시하였다. 즉, 물질의 위험과, 공정이 내포하고 있는 위험을 각각 고려하여 이를 종합화 하였으며, 최종적으로 화재, 폭발 지수를 산정하였다. 물질계수는 인화성과 반응성으로 산정하였고, 공정 지수는 penalty라 부르는 경험적 수치를 사용하였다. 이 F&EI는 쏘 공정에 적용하여 위험의 상대적 평가를 실시할 수 있으며 현장에서의 직접 적용도 가능하다.

* 기계설계학과 조교수(工·博)

** Professional Loss Control 전문위원(工·博)

I. 서론

1976년 이탈리아 Soveso에서 일어난 반응폭주에 의한 TCDD의 방출 사고, 1984년의 인도 Bopal에서 일어난 이소시아나산메틸의 유출 사고 등에서도 알 수 있듯이 화학공장에서 사고가 발생하게 되면 주변 사회로 미치는 영향은 대단히 크고 경우에 따라서는 사고 후 몇십년에 걸쳐 그 주변 사회에 영향을 계속 미치게 한다. 이런 것이 화학공장에서 일어나는 사고의 커다란 특징이다.

최근 우리나라의 석유화학산업은 그 규모가 확산 일로에 있고 이에 따른 사고의 발생 및 위험성 또한 증가 일로에 있다.

이러한 사고방지를 위해 산업안전보건법 등의 여러가지 법규의 규제가 있으나 현행의 법규는 과거의 사고를 자료로 하여 만들어졌기 때문에 매일 같이 변하는 기술의 발전에 대응할수 없는 실정이다.

따라서, 발생 가능성이 있는 여러가지의 위험에 대응하기 위해 위험성 평가(Risk Assessment) 수법의 연구를 통하여 정확한 잠재 위험 요소의 색출과 안전대책을 강구하여야 한다. 또한, 위험이 파악되었을 경우, 의사결정에 이용할 수 있는 Tool을 개발할 필요가 있다.

본 연구는 물질의 잠재적 위험과, 프로세스의 특성에 따른 종합적인 위험의 산출을 공학적으로 접근하여 위험을 상대적으로 평가할 수 있는 방법에 대하여 수행하였다.

II. 물질 및 공정 특성

일반적으로 화재 또는 폭발을 일으키는 위험성이 있는 물질을 위험성 물질(Hazardous materials)이라 칭하며, 그것들은 자체의 화학적 성질에 따라 가연성가스, 이연성물질, 가연성분체, 폭발성 물질, 자연 발열성 물질, 금속성 물질 및 혼합위험성 물질등 8가지로 분류할 수 있다.¹⁾

1) 가연성 가스 및 증기(Combustible gas and vapor)

상온에서 기체 상태인 가연성 가스(수소, ethylene, ammonia 등), 가연성 액화 가스(LP 가스,

액화 ammonia 등), 그리고 가연성 액체의 증기(ether, alcohol, benzene)등이 있다. 일반적으로, 가연성 가스 및 증기의 위험성 정도는 폭발한계, 최소발화 에너지, 발화 온도, 화염일주한계, 연소열 또는 분해열 등에 의하여 판정된다.

2) 가연성 액체 (Combustible liquid)

주로 액체표면에서 증기를 발생하며, 이 증기가 산소와 반응하여 화재나 폭발을 일으킨다. 따라서, 가연성 액체의 위험성은 그 인화점에(flash point) 따라서 분류된다.

3) 易燃性 물질

종이, 실 등의 섬유제품과 나무, 석탄 등이 이 분류에 속한다. 이러한 이연성 물질의 위험성은 발화온도와 연소열에 따라서 분류된다. 한편, 이러한 물질의 화재는 최초증발 또는 분해열에 의하여 생성된 가연성 가스에 착화되어 연소를 확대시킨다.

4) 가연성 분체

이연성 물질이 분체 또는 분무상태로서 공기속에서 분산되어 있는 상태에서 착화되면 분진폭발(Dust explosion)을 일으킬 위험이 있다. 이와같은 상태의 분진을 폭발성 분진이라 한다. 분진 폭발의 위험성은 주로 분진의 폭발한계농도, 발화온도, 최저발화 에너지, 연소열, 분진폭발의 최고압력, 압력상승속도, 그리고 한계산소 농도 등으로 나타낸다.

5) 폭발성 물질

고체 또는 액체의 응고상태에서 폭발성을 가진 화합물을 폭발성 물질(Explosive substance)라고 하며, 폭발성 혼합가스, 폭발성 분진으로 구분한다.

6) 자연발화성 물질

열원이 없이 상온에서 자연히 발열되어 연소를 일으키는 물질을 말한다. 자연발화(Spontaneous heating)를 일으키는 원인으로 분해열, 산화열, 중합열 등이 있다. 반응공정 과정에서 비교적 발화온도가 낮은 물질의 생성은 폭발사고의 위험도를 증대 시킨다.

7) 禁水性 물질

공기속의 습기를 흡수하든지 또는 수분에 접촉하면 발화 또는 발열을 일으킬 위험성이 있는 물

표 1. Operating deviations³⁾

질을 말한다.

8) 혼합 위험성 물질

2종 또는 그이상의 물질이 혼합 또는 상호 접촉하면 발화의 위험을 일으킬 수 있는 물질을 말한다. 위험혼합에는 3가지 경우를 들 수 있다.

- (1) 폭발성 혼합물 형성
- (2) 화학 반응을 일으켜 민감한 폭발성 물질 형성
- (3) 혼합과 동시에 연소 또는 폭발을 일으킴

이러한 위험성 물질은 범규상에 분류가 되어 있다. 이러한 분류는 공학적이라기 보다는 경험과, 소화 방법에 기초를 두고있다. 그러나, 화학 공장 내의 위험물질 분류는 물리적 특성에 기초를 둔 수치화를 요구하고 있다.

한편 석유화학공장은 위험측면에서 볼때 일반적으로 다음과 같은 구성요소를 갖고 있다.²⁾

- (1) 원재료의 저장
- (2) 화학반응
- (3) 생산물의 분리
- (4) 건조
- (5) 생산물의 후처리
- (6) 생산물의 저장
- (7) 생산물의 포장

이상을 살펴보면, 원재료, 중간 생성물 또는 최종생산물이 앞에서 명기한 위험적 요소를 내포하고 있으며 이들의 공정 또한 화학반응, 열교환 등이 고온 고압에서 진행되고 있다. 그리고 착화원 또한 다양한 형태로 존재하고 있다. 따라서 동일한 물질이라도 운전조건의 변화에 따라 화재, 폭발의 위험도가 변하므로 이들 공정에 대한 검토는 필수적이다. 일반적으로 위험적인 요소를 포함하는 단위공정(Unit Process)는 표 1과 같이 열거할 수 있다.

- (1) 발열반응
- (2) 위험물질을 포함하고 고온 및 고온하에서의 운전
- (3) 위험물질을 포함하고 저온에서의 운전
- (4) 물질 자체가 불안정한 물질의 출현
- (5) 물질의 폭발한계 부근에서의 운전
- (6) 고압에너지를 갖고 있는 대형 구조물

Major operating limits	Time
Flow	Contact time
Temperature	Sequence
Pressure	Design cycle
Chemical reactivity	
Mechanical reactivity	Local effects
	Distribution
Other operating limits	Mixing
Corrosion	Hot spot
Erosion	Overheating
Resistance	Resonance
Fouling	Stress on bearing /shafts
Cavitation	Lubricating faults
Vibration	Vortex generation
Hammer	Blockage
Loading	Slugs
Expansion	Sedimentation
Contraction	Stagnation
Thermal/mechanical shock	Adhesion
Cycles of activities	Crushing
Environmental factors	Grinding
	Separation
Material physical characteristics	Siphoning
Viscosity	etc.
Miscibility	
Melting /boiling points	Failure to contain materials
Density	Spillage
Vapour density	Leakage
Phase	Vented materials
Appearance	
Particle size	Construction
	Defective materials of construction
Chemical compositions	Plant incomplete
Hazard characteristics of mixtures	Plant unsupported
	Plant not aligned
Reactions	Plant not tight
Extent and type	Plant not level
Side reactions	Plant not clear
Catalyst behaviour, e.g.	
activity	Major deviation
toxicity	Start-up /shut-down
reactions	Maintenance /inspection
regeneration	Planned changes
decomposition	in normal operations
Planned /unplanned reactions	Supply /equipment failure
Contaminants including	Demand change
materials of construction	Unplanned ignition source
Corrosion products	Control disturbance
Catalyst	Loss of communication
Reactor runaway	Human error
Explosion	Climatic effects
Combustion	

화재, 폭발의 위험지수는 위에서 서술한 물질과, 공정이 갖고있는 위험성을 수치로 표기하여, 공정장치와 내용물에 대한 화재, 폭발 및 반응성의 잠재적 위험성을 단계적으로 평가하는 것이다. 위험분석시에 적용하는 양적인 수치는 경험에 의한 손실자료와 연구결과 얻어진 잠재적 에너지 및 적용하고 있는 손실방지 시행 상황등을 기초로 산정한다. 이의 산정 목적은

- (1) 잠재적 화재 및 폭발 사고 가능성을 상대적 수치로 환산하고
- (2) 사고를 발생시키거나, 증폭시킬 가능성이 있는 장치를 분류하기 위함이다.

Ⅲ. 물질 계수(Material Factor)

물질계수는 화재 / 폭발 지수와 다른 risk를 산출하는 기초적인 수치를 가지며, 물질의 연소와 화학반응의 정도와 화재 / 폭발을 일으키는 잠재적인 힘을 측정하는 척도이다. 이를 나타내는 방식은 다음과 같다.

1. 반응열에 의한 물질의 위험성 평가⁴⁾

어느 물질에 대한 형성 엔탈피(Enthalpy of formation)가 알려져 있다면, 정해진 생성물에 대한 반응열은 계산할 수 있다. 또한 산소와의 반응으로부터 얻어지는 연소열도 구할 수 있다. 그러나 이러한 열역학적인 추정은 잠재적인 폭발성만을 나타낼 뿐 복합물의 민감도(sensitivity)는 나타내지 않는다. 왜냐하면 이러한 계산은 에너지 방출양에 관한 것이지 방출율에 관한 것이 아니기 때문이다. 그러나 이 자체로 물질의 잠재적인 위험을 나타내는 수준을 비교하는데 유용하다. 잠재적인 위험에너지의 계산은 ASTM에서 개발한 컴퓨터 프로그램 CHETAH⁵⁾, REITP⁶⁾ 혹은 NASA에서 개발한 CEC71⁷⁾로 할 수 있고, 이는 다음의 4가지의 criteria를 가지고 위험성의 등급을 나눌 수 있다.⁸⁾

(1) 복합물(compound)의 각각의 요소(element)와 그들의 구조적 관계로 얻는 열역학적 data를 사용해 최대 방출에너지를 갖고 위험을 나눈다.

반응열에 기초한 잠재적 위험의 등급

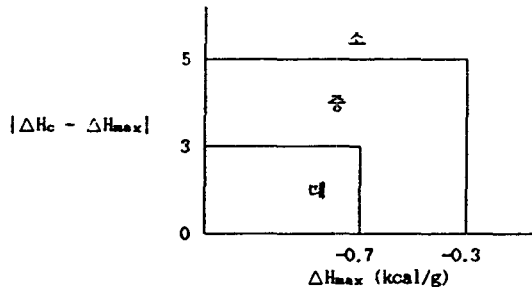
잠재적 위험도	최대 발열량(kcal/g)
낮음	-0.3 보다 큼
중간	-0.3 에서 -0.7
큼	-0.7 보다 적음

(2) 최대반응열과 완전연소에서 연소열과의 비교⁹⁾

분해열(Q1)=생성물 생성열-원계의 생성열
연소열(Q2)=완전연소시의 생성물 생성열-원계의 생성열

$$1g당\ 최대\ 분해열 : \Delta H_{max} = -Q_1 / M$$

$$1g당\ 연소열 : \Delta H_c = Q_2 / M$$



(3) Oxygen balance에 의한 등급

잠재적 위험도	oxygen balance percentage
낮음	240 이상 또는 -160 이하
중간	240과 120 또는 -160과 80사이
높음	-80과 120 사이

(4) 에너지에 의한 잠재적 위험 등급

$$Y = 10\Delta H_{max}^2 W / n$$

$$\Delta H_{max} = \text{최대 분해열}$$

W=물질의 무게

n=몰 수

위험 등급	Y
낮음	30이하
중간	30-100
높음	110이상

2. 인화성 및 반응성에 따른 물질의 위험성 평가 미국의 NFPA(National Fire Protection Association)는 code325M, 또는 49에서 인화성 액체, 기체 및 고체에 대한 화재의 위험특성을 인화성(Flammability), 반응성(Reactivity)등으로 나누어 표시하고 있다. 이들은 다시 0-4까지 5등급으로 분류된다.¹⁰⁾

(1) 인화성(Flammability) : Nf

연소성 지수로 불리우며, 이 지수는 화재 소화방법과 밀접한 관련이 있다

Nf=0 : 불연 물질

Nf=1 : 착화가 일어나기 전에 가열을 요한다. Water fog로 소화가 가능

Nf=2 : 착화가 일어나기 전에 약간(moderately)의 가열을 요한다. 물질을 인화점이하로 냉각시키기는 water spray 를 사용하는 소화방법 채택

Nf=3 : 일반적인 온도조건 하에서 착화한다. 낮은 flash point로 물은 비효율적인 소화방법이다.

Nf=4 : 매우 높은 인화성 물질이다. 저장 tank 에 냉각수의 공급을 요한다.

소화 방법으로 물의 사용은 flash point가 100° (37.8℃) 이상일때 효과적이다.

(2) 반응성(Reactivity) : Nr

반응성 지수로 부르며, 물질, 혼합물, 화합물의 상온하에서의 불안정성의 정도를 결정한다.

Nr=0 : 화재에 노출된 상태에서도 안정되고, 물과 반응하지 않는다.

Nr=1 : 압력과 온도의 상승에 불안정하고, 물과 반응하여 에너지를 방출하지만, 격렬하지는 않다.

Nr=2 : 일반적으로 불안정하고, 쉽게 화학적 변화를 갖는다. 상온과 압력에서 급격한 에너지 방출이나, 격렬한 화학적 변화가 있다. 물과 격렬한 반응을 하고, 물과의 혼합물은 잠재적인 폭발력이 있다.

Nr=3 : 밀폐공간에서 강한 초기조건을 주었을 때 폭발을 일으킨다. 높은 온도, 압력에서 열과 충격에 민감하다. 열 없이도 물과 폭발적인 반응을 한다.

Nr=4 : 상온, 상압에서 쉽게 폭발한다. 부분적인 열과 기계적 충격에 민감하다.

이 분류는 DTA(Differential Thermal Analysis)에 의한 분해개시온도를 사용한다.

분해개시온도(℃)	Nr
> 400	0
305 - 400	1
215 - 305	2
125 - 215	3
< 125	4

한편, 분진의 폭발은 NFPA code68에 표기되어 있다(표2)

표 2. 분진폭발의 위험 등급

Hazard Class	Kst(bar · m/sec) for weak ignition source (energy approx 10W · sec)	Kst(bar · m/sec) for strong ignition source (energy approx. 10,000W · sec)	Maximum rate of pressure rise is Hartmann apparatus psi/sec
St-1	≤ 100	≤ 200	≤ 7,300
St-2	101-200	201-300	7,300-22,000
St-3	> 200	> 300	> 22,000

이 중 두번째항을 분진 폭발의 위험 기준으로 사용하며, 이를 종합하여 표 3과 같은 수치를 제시하였다. 이 계수는 인화성 보다 반응성에 기준을 두고있다. 즉 반응성이 강한 물질일수록 위험의 수준이 커지고, 강한 불안정성 물질에 대해서는 인화성의 정도에 무관하다.

IV. 공정 지수

석유/화학 공장에서의 공통적인 process unit 는 다음과 같다.¹²⁾

- 1) batch 혹은 semi batch operation
- 2) 다목적 plant
- 3) 쉽게 변경이 가능한 형상
- 4) 넓은 범위의 화학 반응
- 5) 신속한 제품 생산

일반적인 위험은 다음과 같다.

- 1) 작업장에서의 일반적 위험
- 2) 독성
- 3) 전기장비, 용접 등과 같이 특별히 명기되지

많은 작업과 관련된 위험

4) 화학 반응과 관련된 위험

5) 물질과 운전조건이 결합되서 나타나는 위험
이 중 핵심적인 것은 화학 반응에 의한 위험과 운전조건에 의한 위험이라고 할 수 있다. 화학반응에 의한 위험은 1) process의 화학적인 면과 운전의 조건에 대한 정의와 2) 화학 반응의 잠재적 위험을 우선적으로 고려해야 하며, 운전에 의한 위험은 1) 운전조건에 따른 물질의 인화성을 규명하고, 2) 점화원을 규명해야 한다.

위험한 반응은 다음과 같이 요약할 수 있다.

* 발열 반응³⁾

1. Hydrogenation

Hydrolysis

Isomerisation

Sulphonation

Neutralisation

2. Alkylation

Esterification

Oxidation

Polymerisation

Condensation

3. Halogenation

4. Nitration

일반적으로 다음과 같은 종류의 흡열반응은 위험의 정도가 낮다.

* 흡열 반응

1. Calcination

2. Electrolysis

3. Pyrolysis or Cracking

이러한 반응의 종류에 따라 공정에 관한 위험에 대한 정도의 평가는 달라질 수 있으며, 한편 위험 물질의 취급, 이송 및 저장도 고려를 해야 한다. 그리고, 인화성 액체나 가스를 취급하는 건축물 내부의 개방여부가 위험도에 영향을 미치고, 공정 단위 건축물에서의 통로와 인화성 및 가연성 액체의 누출을 고려해야 한다.

이밖에 화재, 폭발 사고를 일으킬 수 있는 특수한 공정조건이며, 손실사고의 일차적인 원인이 되는 주요는 다음과 같으며, 이들 또한 앞서 서술한 여러 사항과 더불어 공정의 위험평가에 중요한 요

소가 된다.

1. 독성물질은 비상조치에 장애의 요소가 된다

2. 대기압 이하에서의 압력 공정은 공기 흡입의 위험이 있다.

3. 공기의 흡입으로 인화범위 내 또는 근처에서의 운전.

4. 분말의 이송, 혼합, grinding, 포장 등 분진발생과 관련된 공정단위의 운전

5. 대기압 이상에서의 운전 조건

6. 저온의 작동으로 재료의 취성 및 인성의 저하

7. 인화성 및 불안전성 물질의 저장양

8. 재료의 부식 및 마모에 의한 운전의 불안정

9. Joint 및 packing에서의 인화물질의 누출

10. 연소 가열기의 사용으로 인화성 물질의 점화온도 촉진

11. 가연연성 매체를 사용하는 열교환기

12. 대형 회전기기

이외에 여러 사항이 있을 수 있으나 본 연구는 위의 사항에 제한되어 있다. 즉 공정의 전체적인 평가는 물질과 본질에서 서술한 공정 조건과의 조합된 상태에서 이루어 진다. 이러한 공정 조건의 수치화는 Dow chemical에서 그들의 경험을 토대로 penalty라 부르는 계수로 작성된 것이다. 본 연구에서는 우선적으로 Dow에서 제시한 수치를 적용하고자 한다.

V. 화재, 폭발지수 산정 절차

화재 및 폭발지수를 산정하기 위해서는 다음의 절차를 수행해야 한다.

첫째로는 정밀한 공장 배치도, 공장 계통도가 있어야 하며, 둘째로는 위험 평가를 위한 지침이 있어야 한다. 예를 들면 표 3과 같은 물질계수 지침과 같은 것이다. 공정에 대해서도 동일한 것이 요구된다. 셋째로는 이들을 계산하고, 분석/평가하는 과정이 요구된다. 이러한 일련의 수행에서 중요한 평가 지침을 살펴보면 다음과 같다.

일본 노동성에서 제시한 위험도 평가 산정 기준¹³⁾은 표 4에서 보는바와 같이 물질의 인화점을 기준으로 물질계수를 정하고, 운전온도, 압력 및 용량의 영향을 고려하여 종합적인 상대적 수치를 정

표 4. 일본 노동성의 위험도 판정기준¹²⁾

	A(0)	B(2)	C(5)	D(10)
물 성	30≤FP 석유류	30<FP	가연성 가스 LPG, 가솔린	
운전 온도 (°C)	<250	-	250≤	
운전 압력 (kg/cm ²)	<10	10≤200	200≤	
용 량 기체(m ³)	<100	100≤500	500≤1000	1000≤
액체(kl)	<10	10≤50	50≤100	100≤

위험도

16점 이상-위험도 높음

11-15점 -주변상황 및 타설비 관련 고려

1-10점 -위험도 낮음

하였다. 이 방식은 매우 간결하고, 현장 근무자도 직접적용이 가능하고, 화재 및 폭발지수가 절대적 수치가 아닌 상대적 수치이므로 이러한 방법도 충분한 타당성이 있다고 사료되나, 앞절에서 제시한 여러 공정상의 특성에 따른 영향이 너무 단순화 되어있다.

한편, 그림 1과 같이 화재 및 폭발지수를 산정한 다. 그리고 일반 공정위험 및 특수공정 위험에 대한 penalty는 표5와 같다. 압력 및 용량에 대한 penalty는 그림 2, 그림 3, 그림 4, 그림5에서 구할 수 있다. 이는 표 5와 같은 양식을 구성하여 화재 및 폭발지수를 산정하고, 표6과 같은 기준으로 위험의 정도를 정한다.

한편, 시작점이 되는 공정단위의 선정은 일정한 기준은 없지만 다음과 같은 사항을 고려할 수 있다.¹⁴⁾

- 1) 물질의 화학적 에너지
 - 2) 공정 단위 내의 위험물의 양
 - 3) 자본투자 밀도
 - 4) 공정 입력 및 밀도
 - 5) 화재 및 폭발을 일으킬 수 있었던 과거 기록
- 다음에 에틸렌프랜트중, Ethylene Splitter Section의 화재, 폭발지수의 산정 및 안전대책의 예를 열거하여 본다.

VI. 에틸렌 프랜트의 화재, 폭발지수의 산정 및 안전대책 검토

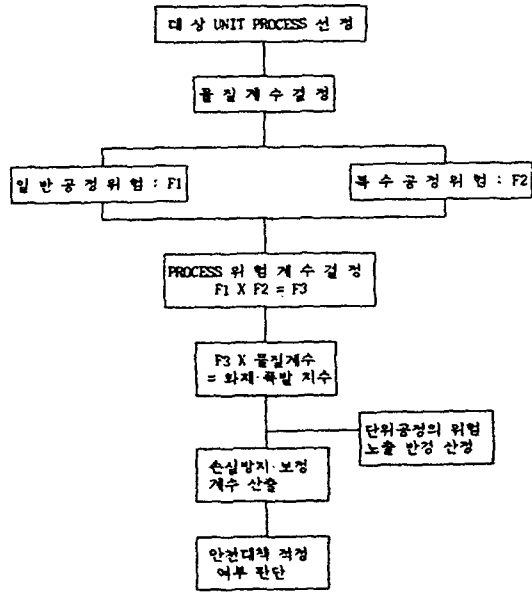


그림 1. 화재·폭발지수 및 안전대책 적정여부 판단순서

1. 대상프랜트 : OO지구 석유화학프랜트
2. 각 프로세스의 List
 - 1) Cracking Furnace Section
 - 2) Condensate Treating Section
 - 3) Quench Oil Section
 - 4) Quench Water Section
 - 5) Feed Preparation Section
 - 6) C. G. Compressor Section
 - 7) C₃ Fractionation Section
 - 8) Dehydrator & Hydrogenation Section
 - * 9) Ethylene Splitter Section
 - 10) Cold Fractionation Section
 - 11) Ethylene & Propylene Refrigeration Section
 - 12) Propylene Fractionation Section
 - 13) Dilution Steam Generation Section
 - 14) Gasoline Hydrogenation Section
 - 15) Ethylene Storage Section
 - 16) Mixed C₄ Storage Section
 - 17) NGL Storage Section

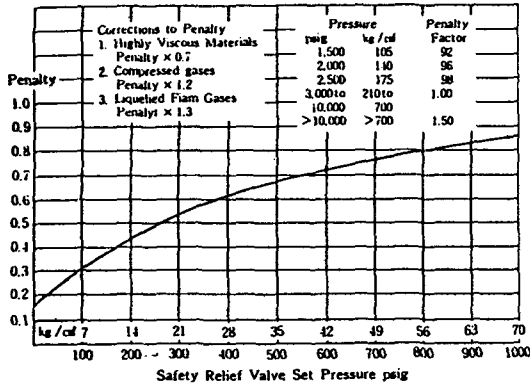


그림 2 인화성 및 가연성 액체의 압력 PENALTY⁽¹¹⁾

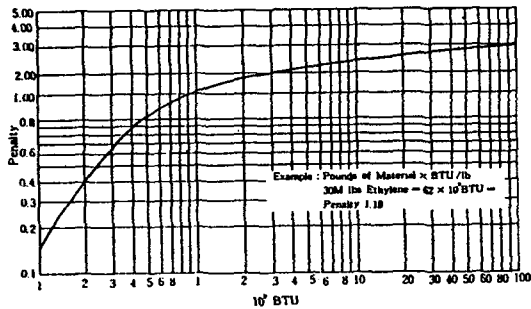


그림 3 공정내 가연성 가스 또는 액체의 용량에 따른 PENALTY⁽¹¹⁾

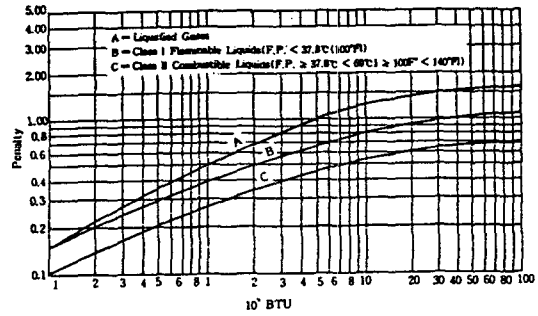


그림 4 저장소내 가연성 가스 또는 액체의 용량에 따른 PENALTY⁽¹¹⁾

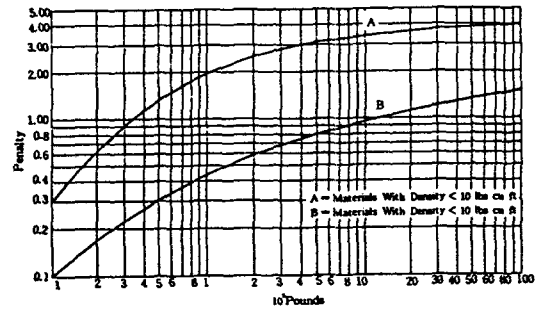


그림 5 저장소내 가연성 고체 또는 공정내 분진의 용량에 따른 PENALTY⁽¹¹⁾

- 18) LPG /PG Storage Section
- 19) LN /Propylene Storage Section
- 20) NGL Storage Section
- 21) PFO Storage
- 22) LN /ARU Storage Section
- 23) FRN Storage Section

- 24) Flare Knock-Out Drum Section
- 25) Flare Stack Section
- 26) Compressed Air Section
- 27) Water Storage Section
- 28) Emergency Storm Water Basin Section
- 29) Substation Section

3. 대상 단위 프로세스의 선정(Ethylene Splitter Section) 및 주요기기 List

Designation	BP	FP	IGT	MOL WT.	TEMP (F)	PRESS (psi)	MATERIAL
9-2 Reaction Gas Effluent Cooler	-45	< 20	871	44	113	77.3	Propane
9-3 Steam From T-471 To T-481	-155	< 20	842	28	-67.2	101.6	Ethylene
9-4							

위험성 평가중 화재·폭발 지수 산정방법에 관한 고찰

Steam From A-470 To T-481 9-5	-155	-204.6	842	28	-85.9	89.8	Ethylene
T-481 Ethylene Reflux Sub Cooler 9-6	-155	< 20	842	28	-56.2	161.2	Ethylene
T-471 Ethylene Spliter Intermediate Reboiler 9-7	-155	< 20	842	28	-56.2	161.2	Ethylene
M-471 Ethylene Spliter Intermediate Reboiler Condensate Drum 9-8	-155	< 20	842	28	-56.2	161.2	Ethylene
A-470 Ethylene Spliter Bottm 9-9	-155.02	-204.6	842	28	-85.9	89.8	Ethylene
T-470 Ethylene Spliter Reboiler 9-10	-155.02	-204.6	842	28	-44.5	103.73	Ethylene
T-470 Ethylene Spliter Reboiler 9-11	-155.02	-204.6	842	28	-34.6	232.3	Ethylene
P-474 A/S Etane Recycle Pumps 9-12	-127.49	GAS	882	30	-44.86	162.61	Ethylene
P-478 A/S Ethylene Product Pumps 9-13	-155.02	-204.6	842	28	-36.0	259.3	Ethylene
Line From T-412 to A-470 9-14	-155.02	-204.6	842	28	-63.94	109.8	Ethylene
M-470 Ethylene Spliter Reboiler Subcooler 9-15	-155.02	-204.6	842	28	-34.6	232.3	Ethylene
T-412 Ethylene Refrigerant Subcooler 9-16	-155.02	-204.6	842	28	-74.4	109.86	Ethylene
M-650 Ethylene Refrigerant Condenser Condensate Drum 9-17	-155.02	-204.6	842	28	-34.6	227.6	Ethylene
T-650 Ethylene Refrigerant Condensor Condensate Drum 9-18	-155.02	-204.6	842	28	-0.58	498	Ethylene
Line From T-650 To M-660 9-19	-54.4	-141.6	851	42	-40	157.3	Ethylene

김진곤 · 김광일

M-475 Erhylene Product Condensate Drum 9-20	-155.02	-204.6	842	28	42.8	101.5	Ethylene
T-475 Ethylene Product Vaporizer No.4 9A-1	-155.02	-204.6	842	28	14	597.41	Ethylene
M-640 Ethylene Refrigerant Surge Drum	-155.02	-204.6	842	28	-36.0	227.6	Ethylene

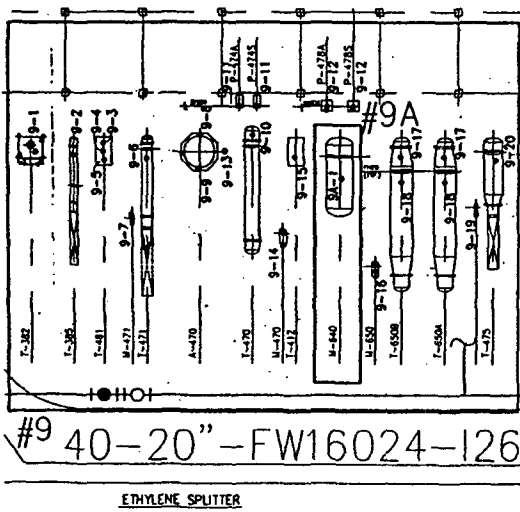


그림 6. Ethylene-Splitter Section Lay Out

4. 대상 공정계통도 : 그림 6

5. 물질계수(Material factor)

취급물질이 Ethylene & Propane 이기 때문에 물질계수를 산정하면 다음과 같다.

이중에서 물질계수가 높은 값을 취하면, MF는 24이다.

6. 일반공정 위험 및 공정 특수위험의 각요소 Penalty 附與 : 표 7

7. 손실지수(Damage factor)의 산정 : 0.89 (Fig. 7 참조)

8. 화재, 폭발지수(F&EI)의 산정 : 표 7.

9. 손실방지 보정계수 산출(Loss Control Credit Factors)

(1) 工程管理(Process Control : C1)

a) 비상전원(Emergency Power) : 0.98

표 5. 물질계수 산정 지침¹⁾

반 응 성 (불안정성)						
액체, 기체(연소성)	NFPA325M or 49	Nr=0	Nr=1	Nr=2	Nr=3	Nr=4
불연 물질	Nf=0	1	14	24	29	40
FP > 93.3℃	Nf=1	4	14	24	29	40
37.8℃ ≤ FP < 93.3℃	Nf=2	10	14	24	29	40
FP < 37.8℃, BP ≥ 37.8℃	Nf=3	16	16	24	29	40
FP < 22.8℃, BP < 37.8℃	Nf=4	21	21	24	29	40
가연성 분진						
St-1(Kst ≤ 200 bar m/sec)		16	16	24	29	40
St-2(Kst ≤ 201-300 bar m/sec)		21	21	24	29	40
St-3(Kst ≤ 300 bar m/sec)		24	24	24	29	40
가연성 고체						
40mm 이상의 두께	Nf=1	16	16	24	29	40
40mm 미만의 두께	Nf=2	21	21	24	29	40
foam, fiber, powder	Nf=3	24	24	24	29	40

* FP: Flash point

* BP: Boiling point at standards temperature and pressure.

표 6. Ethylene Splitter Unit Process의 물질계수

물질	MF	Hc BTU/lb(x10 ⁻³)	Nh	Nf	Nr	F·P	B·P
Ethylene	24	20.8	1	4	2	Gas	-155
Propane	21	19.9	1	4	0	Gas	-45

표 7. 화재 및 폭발 지수 산출

공장: ○○지구프랜트 단위공정: Ethylene Splitter 일자: '93.7.2			
취급물질 및 공정			
물질명: Ethylene & Propane		Ethy	Prop
운전상태: Normal Operation		Penalty	Penalty
물질계수: 24, 21			
1. 일반공정위험			
기본계수			
(1) 발열반응(0.3-1.25)		0.5	0.75
(2) 흡열반응(0.2-0.4)		0.4	0.5
(3) 물질 취급 및 이송(0.25-0.9)		0.5	0.5
(4) 밀폐 또는 실내 공정 단위(0.25-0.9)		0.3	0.3
(5) 통로		0.3	0.2
(6) 배수 및 유출확산 방지(0.25-0.5)		0.5	0.5
일반공정위험계수(F1)		2.5	2.25
2. 특수공정 위험			
기본계수			
(1) 독성물질(0.2-0.8)		0.2	0.2
(2) 대기압 이하의 압력(<500mmHg)			
(3) 폭발범위 부근에서의 운전		0.5	
□ 불활성물질 □ 비불활성물질			
a. 인화성액체 저장			
b. 공정이상 & Purge Failure			
c. 상시 폭발범위 내			0.8
(4) 분진 폭발(0.25-2.0)			
(5) 압력, 운전압력		1.2	1.2
(6) 저온(0.2-0.3)		0.3	0.3
(7) 가연성, 불안정성 물질양			
lbs Hc=BTU/lb		1.18	0.4
a. 공정내 액체 또는 가스			
b. 저장소내 액체 또는 가스			
c. 저장소내 가연성 고체/공정내 분진			
(8) 부식, 마모(0.1-0.75)			
(9) 누출-접합부, Packing(0.1-1.5)		0.3	0.4
(10) 연소가열기			
(11) Hot oil 열교환기(0.15-1.15)			
(12) 회전기			
특수공정 위험계수 F2		3.68	3.3
단위공정 위험계수(F1×F2=F3)		9.2	7.43
화재/폭발지수(F3×MF=F & EI)		220.80	156.03

표 8. F & EI에 의한 위험정도 구분

F & EI	위험정도
1-60	Light
61-96	Moderate
97-127	Inter Mediate
128-158	Heavy
159>	Severe

損失指數(DAMAGE FACTOR)

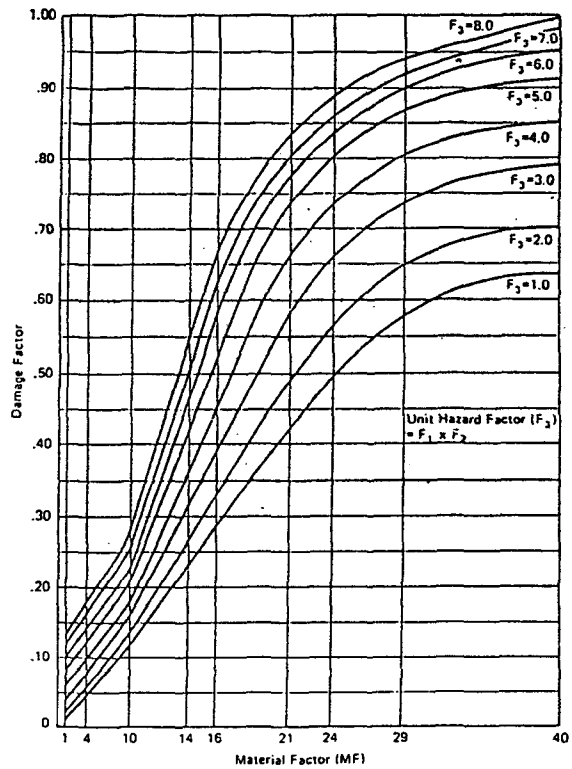


그림 7. 손실지수의 산정도

- b) 냉각(Cooling) : 0.99
 - c) 폭발조절(Explosion Control) : 0.98
 - d) 非常稼動停止(Emergency Shutdown) : 0.98
- 98
- e) Computer Control : 0.99
 - f) Inter Gas : 0.96
 - g) Operating Instruction /Procedures : 0.94
 - h) 반응성 화학물질의 검토 : 0.91

C1 Sub Total : 7.73

(2) 物質隔離(Material Isolation : C2)

- a) Remote Control Valve : 0.98
- b) Dump /Blow Down : 0.98
- c) 배출(Drainage) : 0.98
- d) Interlock : 0.96

C2 Sub Total : 3.90

(3) 防火設備(Fire Protection : C3)

- a) 漏出感知(Leak Detection) : 0.98
- b) Structural Steel : 0.98
- c) 지하탱크(Buried tank) : 0.91
- d) 소화수 공급(Water System) : 0.97
- e) 특별설비 : 0.91
- f) Sprinkler System : 0.97
- g) Water Curtain : 0.98
- h) Foam : 0.94
- i) 소화기 : 0.95
- j) Cable Protection : 0.98

C3 Sub Total : 9.57

補正計數 Cn : C1 x C2 x C3 = 288.54

10. 단위공정 주위의 위험노출 半徑산정 : F & EI x 0.84 = 185.47 M

11. 안전대책 적정여부 판단 : 표 9.

표 9. 안전대책 적정여부의 판단 구분

Cn-F & EI	안전대책 판단	위험성
100 >	안전대책 과잉	거의 없음
100-50	안전대책 적정	경미
50-0	안전대책 보완	위험
0--50	안전대책 재검토	위험 대
< -50	안전대책 재설계 및 재시공	매우 위험

12. Ethylene Splitter 단위공정의 안전대책 판정

Cn-F & EI = 67.74 이므로 표 9. 에서 안전대책은 適定이며 위험성은 경미하다고 판단 할수 있다.

13. Ethylene Splitter 단위공정의 각 항목별 결과치

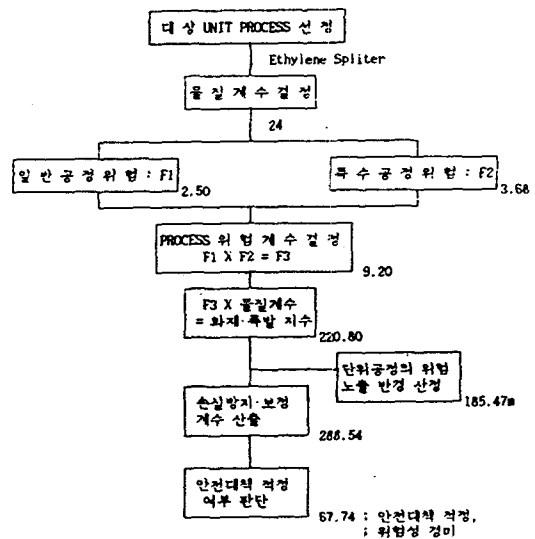


그림 8. Ethylene Splitter 단위공정의 각 항목별 결과치

Ⅶ. 결론

본 연구는 석유/화학 공장에서의 위험성 평가에 관한 방법 중 화재, 폭발 지수의 산정과, 이의 응용 가능성에 대하여 논하였다. 화재 및 폭발 지수는 Dow의 방식을 그대로 적용하여도 충분하나, 특히 공정에 관련된 penalty의 수치에 대해서는 일부 논란의 여지가 있다. 가장 중요한 원인으로 이러한 수치를 정당화 할 수 있는 현장의 실제적인 자료를 확보하고 있지 않다는 것이다. 위의 수치들은 이론적인 배경이 아닌 여러 공장에서 나타난 사고자료 및 실제 data를 근거로 작성된 것이다. 따라서 본 연구의 효과적인 수행을 위해서는 이러한 국내자료의 확보가 필수적이라 할 수 있다. 그러나 화재 및 폭발 지수가 상대적인 값의 비교이기 때문에 본 연구에서 제시한 수치를 그대로

로 현장에 적용해도 무리한 결과가 유도되지 않은 것을 제시하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단의 목적기초과제 “석유 화학단지의 위험성 평가 및 주변지역의 토지이용 안전계획”의 연구결과이다. 이 지면을 통하여 재 단관계자 제위께 심심한 謝意를 표합니다.

참 고 문 헌

1. 김용욱, 최신 화공안전공학, 형설출판사, 1991
2. N Gibson, 'A Strategy for Process Safety in the Fine Chemical and Speciality Chemical Industries,' Hazard X, IChemE, 1989
3. G.L. Wells, Safety in Process Plant Design, George Goldwin, 1979
4. P.A. Carson, C.J. Mumford, The Safe Handling of Chemicals in Industry, Vol. 2, Longman Science & Technical, 1988
5. W.H. Seaton, E. Freeman and D.N. Treweek, 'CHETAH-theASTM Chemical Thermodyn-

위험성 평가중 화재·폭발 지수 산정방법에 관한 고찰

- amic and Energy Release Evaluation Program', ASTM DS51, 1974
6. 大内博史, 宇田川玲子, 吉田忠雄, '혼합위험예측을 위한 개량 프로그램 REITP2 응용', 안전공학, 22, 12, 1983
7. S. Gordon and B.J. McBride, 'Computer Program for Calculation of Complex Chemical Equilibrium Composition, Rocket Performance, Incident and Reflected Shocks, and Chapman-Jouget Detonation', NASA SP-273, 1971
8. D.N. Treweek, Ohio J. Science, 78(5), 1978
9. 吉田忠雄, 田村昌三, 반응성 화학물질과 화공품의 안전, 대성출판사, 1988
10. NFPA, National Fire Code : Code 325M, 49, 1985
11. AIChE, 'Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide(The Dow Index)', 6th Ed., 1987
12. P.A. Carson, C.J. Mumford, The Safe Handling of Chemicals in Industry, Vol. 1, Longman Science & Technical, 1988
13. 일본 노동성
14. 서정환, '화학공장 위험분석 및 평가기법', 위험관리세미나, 1992