

석유화학공업의 안전

곽 병 운*

I. 머릿말

화학공업은 화학적 변환과 물리적 분리 또는 혼합에 의해 원료물질을 변화시켜 제품을 생산하는 공업이다.

화학공장에서는 원료, 중간물질 및 제품 등 수많은 위험물질을 여러 공정에서 고온, 고압으로 취급하고 있음으로 인하여 화재, 폭발, 중독 등의 위험을 내포하고 있으며 설계자, 관리자 및 종업원은 기타 공업보다 위험을 파악하기가 어려운 실정이다.

화학공업에서의 재해는 위험물질의 누설·확산, 시설설계의 미숙, 작업자의 불안전한 행위, 오조작에 의한 이상반응 등에 의해 일어나며 화학공정을 안전하게 유지하기 위하여는 적절한 장치설계와 주의 깊은 공정제어 및 관리가 요구된다.

여기에서는 화학공업중 규모가 크고 재해 발생시 피해확대 위험이 큰 석유화학공업을 중심으로하여 일반적인 화재위험성과 공정시설의 배치, 장치의 위험성 및 안전대책등에 관하여 개괄적으로 언급하고 필요한 부분은 국내·외의 안전기준을 비교·검토하기로 한다.

II. 재해원인

1. 위험물질의 누설확산

석유화학공업에서의 화재, 폭발, 중독 등의 많은 사고는 배관, 밸브, 용기 등으로 부터 내용물의

누설에 의한 것이고 그 원인은 작업자의 단순한 미스나 구조재료의 불비, 메인テナンス 불량에 의한 열화, 부식에 따른 파손이 대부분이다. 더욱이 누설 위험물질이 기체이면 넓은 범위로 확산되어 피해를 확대시키게 된다. 누설원인은 아래와 같다.

(1) 배관, 밸브 등의 이송설비

가스켓드, 패킹 등의 seal재료의 부적정, 접속볼트의 조임불량, 배관 부식등에 의해 누설이 일어난다. 또한 플랜지 접속시에 녹이나 먼지등이 낀채로 접속하여 틈이 생기고 누설이 일어나는 경우도 있다. 특히 화학공업장치에는 광범위한 온도범위에서 운전되는것이 많고 운전개시 및 정지시에 플랜지등의 접속부가 온도, 압력변화로 볼트가 이완되어 누설하는 경우가 많다.

(2) 압축장치, 펌프등의 회전기계

압축장치나 펌프등의 회전기계는 진동으로 인하여 왕복식에서는 피스톤 취부너트 이완으로 실린더가 파손되고, 원심식에서는 케이싱내의 임펠러가 파손하여 내용물이 누설하는 경우가 있다. 기타 mechanical seal재료 부적정, 축수부의 급유부족으로 넣어 붙어 seal이 되지않아 누설하는 경우도 많다. 진동은 부속 배관에도 영향을 주며 특히 엘보 부분에 크게 영향을 미치고 유체 흐름의 난류(亂流), 분류(噴流)에 의한 영향이 겹쳐 대구경의 엘보가 파괴될 수도 있다.

(3) 탭, 탱크류

탭, 탱크류등은 정밀한 설계와 완성검사를 거치기 때문에 본체가 파손, 파열하는 경우는 드물지만 특수한 경우로 내부압력, 온도가 이상 상승하여 본체가 내압한도를 초과한 경우에 폭발적으로 파열

*正會員, 한국화재보험협회 위험관리부 課長

하여 내용물이 분출할 수가 있다. 그러나 통상 본체가 파열에 이르기 전에 용접부위, 용접영향부위, 부속노즐, 맨홀부위, 플랜지부위, 계측기의 각부분 등이 파손하여 내용물이 분출하는것이 대부분이다. 이러한 누설원인은 설계 잘못이라고 하기보다 점검불량에 의한 부식, 마모, 패킹불량, 볼트조임 불량 등이며 또한 운전중의 취급미숙에 의한 경우도 많다. 즉, 운전중에 급격한 냉각, 승온을 한다든지 진동에 의한 이완, 변형등에 의해 누설이 일어날 수도 있다.

(4) 열교환기류

열교환기의 누설은 튜브와 셸(shell)부에서 일어나며 튜브는 부식, 마모에 의한 천공(穿孔), 갈라짐, 확관부의 이완 등이고 셸의 경우는 플랜지의 가스케드, 패킹 삽입불량이나 파손, 볼트 이완에 의한 것이 많고 셸자체의 부식에 의한 천공은 많지 않다. 다만 튜브가 폐쇄되었을때 이상고온을 초래하여 파괴되는 경우도 고려하지 않으면 안된다. 열교환기의 튜브측이 천공될 경우는 고압측 내용물이 타 계열로 유입되기 때문에 주의하여야 한다.

(5) 가열로

화학공업에서의 가열로는 주로 노내에 설치한 배관중을 흐르는 유체를 연료로하여 연소시켜 고온도로 가열하는 직화 간접 가열기이다.

앞에서 언급한 각종 설비로부터의 누설은 점화원이 없으면 즉시 착화되지 않지만 위험물을 가열하는 가열로의 튜브가 파괴, 누설하면 바로 착화하고 폭발화재로 되는수가 많다. 가열로 튜브에서 누설이 일어나기 쉬운 부분은 튜브의 수열면, 용접부와 그 부근, 온도계와 노즐취부 부분등이다. 튜브 수열면의 천공, 팽출(膨出)은 튜브내에 스케일이 부분적으로 두텁게 부착되어 과열되고 응력부족으로 내압(內壓)에 견디지 못하여 일어난다. 또한 고온에서의 열피로(熱疲勞), 산화, 유황화합물, 바나듐, 일산화탄소 및 수소등에 의한 부식(corrosion), 침식(erosion) 작용으로 튜브두께가 점차 얇아져 파열에 이를 수도 있다.

(6) 안전밸브, 파열판으로부터의 가스분출

안전밸브나 파열판이 작동하여 가스를 분출할때 플레어 라인에 접속되어있는 경우는 문제가 없으나 대기방출시는 충분한 주의가 필요하다. 특히 수소

가스는 정전기에 의해 착화하는 경우가 많기 때문에 방출위치를 고려하지않으면 안된다.

2. 점화원

화재나 폭발의 원인은 위험물질이 공기중으로 누설되어 폭발성 혼합기를 형성하고 일정 에너지(활성화 에너지)가 주어졌을 때 일어나는 것으로 이 에너지를 점화원이라 하고 방재대책상 중요한 위치를 차지하고 있다.

점화원의 종류는 철제공구, 기계등의 충격, 마찰, 나화(裸火), 고온물체, 자연발화, 유체의 단열압축시 유체의 온도상승에 따른 발화, 불꽃방전, 아크방전과 같은 전기적 불티, 정전기 등이 있다.

3. 이상반응

대부분의 화학반응은 온도가 10℃ 상승할 때마다 반응속도가 약 2배로 증가하게 된다. 즉 발열반응에서 일정한 반응속도를 유지하기 위하여는 반응온도가 50℃에서 60℃로 증가되면 2배의 열을, 70℃로 증가하면 4배의 열을 제거해주어야 한다. 이러한 이유 때문에 반응냉매의 온도보다 14℃이상 높은 온도에서 batch식(회분식)반응을 일으키는 것은 불안정하다고 한다.

만일 발열 화학반응에서 냉각시스템의 냉각능력을 초과하게 되면 반응온도가 상승하고 이에 따라 반응속도가 증가되며 반응속도의 증가에 따른 다량의 발열이 반응속도를 더욱 촉진시키는 악순환이 되풀이 되면서 견잡을 수 없이 급격한 화학반응이 일어나게 된다. 이러한 화학반응을 이상반응(또는 폭주반응; runaway reaction)이라 한다. 이상반응의 결과 반응기 내부는 증기압 상승, 몰(mol)수 증가, 열팽창 등에 의해 높은 압력이 발생하게 된다. 이 압력은 비상배출장치(emergency venting)를 통하여 원활히 배출되지 못하였을때 반응기는 폭발하게 된다.

실제로 반응기내에서 일어나는 이상반응의 형태는 단순하지는 않다. 예를들면 앞에서 설명한바와 같이 니트로화 반응, 산화반응과 같이 온도상승에 의해 큰 발열을 수반하는 반응으로 이행하는 경우

나 미반응물 또는 반응생성물의 열분해가 개시하는 경우, 반응성 용매를 사용하는 프로세스에는 용매가 관여하는 경우도 있다. 이상반응이 일어나는 요인은 다음과 같은 것이 있다.

- (1) 반응속도에 대한 인식부족
- (2) 반응열 제어에 대한 대책부족
- (3) 촉매등의 농도 부적합
- (4) 제열능력의 부족(냉각수, 교반기등의 능력부족)
- (5) 이물질의 사고적 혼입
- (6) 희석제나 불활성 물질의 잘못 사용
- (7) 유틸리티 설비의 고장에 의한 제열 정지
- (8) 원재료의 주입량, 주입속도 잘못
- (9) 부생물의 축적
- (10) 계장설비(計裝設備)의 고장 또는 측정점의 부적당

위험물질의 누설화재는 초기진화되어 소규모 화재로 끝나는 경우가 많은 반면 이상반응은 폭발을 수반하는 대사고로 발전되어 사회적인 문제가 되는 수가 많으며 구미에서나 일본에서는 이에 대한 실험연구가 많이 이루어지고 있다.

이상반응에 의한 국내외의 재해사례는 아래와 같다.

[사례1] 인도, 보팔시의 MIC누출사고(1984. 12)

MIC저장탱크에 물이 유입되어 반응 억지제인 포스겐과의 반응으로 염산을 생성. 생성된 염산이 철관과 반응하여 촉매 역할을 하는 염화철(FeCl)을 합성함으로써 MIC중합반응을 가속화 시키고 그에 따른 온도상승으로 MIC증기압이 상승하여 안전밸브를 통하여 대기로 방출되었다.

[사례2] L사의 무수황산(SO₃)탱크 폭발사고(1986. 12)

SO₃탱크에 DME(Dimethyl ether)를 주입하여 MS(Dimethyl sulphate)를 1차 합성반응 시키던중 탱크가 폭발하였다. 원인은 계량장치없이 수동조작에 의한 DME주입으로 인한 과다 주입, 냉각수 기주입으로 반응열의 제어가 곤란하여 반응이 급격히 진행되면서 압력상승으로 탱크가 폭발되었다.

[사례3] H공업의 DIPM합성탱크 폭발사고(1987. 5)

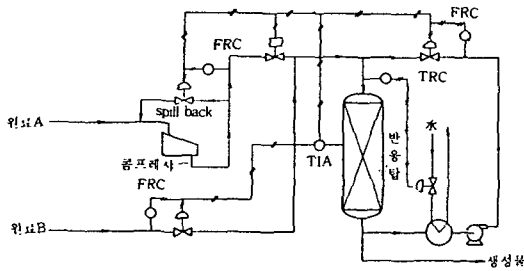
DIPM(Diisopropyl malonate)합성을 위해 반응기에 1차 합성된 IPCA(Isopropyl chloro acetate), IPA(Isopropyl alcohol) 및 촉매를 투입하여 교반하면서 반응을 진행하였으며 이 반응은 발열반응으로 운전 기준온도인 75℃를 유지하기 위해 반응기내 냉각코일에 냉각수를 공급하여 반응온도를 유지하도록 되어있었으나 반응개시 약 4시간후 폭발하였다. 그 원인은 원료 또는 촉매 주입량의 부정확, 수동조작에 따른 냉각수량 조정 지연등에 의해 반응기내의 온도가 기준온도를 초과하고 이에 따라 이상반응이 일어나 급격한 온도상승과 함께 탱크설계압력을 초과하여 폭발한것으로 추정.

이상반응을 제어하기 위한 대책은 신규 프로세스 계획단계에서 반응특성(반응속도, 발열량)이나 취급물질의 열위험성 평가에 대한 연구가 충분히 이루어져야하며 연구결과를 기초로 하여 안전한 공정설계가 되어야 한다.

우리나라의 고압가스안전관리법 시행규칙(별표 2)에서도 이에 대한 자세한 안전기준을 정하고 있다. 즉 현저한 발열반응 또는 부차적으로 발생하는 2차 반응에 의해 폭발재해 가능성이 큰 반응설비(특수반응설비)는 이상상태가 발생할 경우 원재료의 공급차단, 내용물 긴급방출장치, 불활성가스, 냉각용수 또는 반응정지제등을 공급하기위한 장치를 설치하고 반응설비내의 온도, 압력 및 유량등의 내부반응감시장치를 설치하도록 하고있으며 안전을 위해서는 이중 2가지 이상의 방법으로 조치하는 것이 바람직하다 하겠다.

[그림1]은 발열반응 공정제어 flow sheet의 한 예로서 통상 운전시의 온도제어는 반응생성물의 일부를 냉각하여 반응탑으로 되돌리는 방식이다. 어떤 원인으로 이상반응이 발생하고 촉매층의 온도가 급상승하면 이미 순환냉각으로는 불가능하기 때문에 원료 송입을 차단하는것이 최선의 방법이다. 이 시스템에서는 온도가 어느 설정치를 초과하면 자동적으로 원료A의 긴급차단밸브를 닫고 동시에 콤프레샤의 spill back밸브 및 순환냉각라인을 완전히 열도록 인터록(Interlock)되어 있다. 이 인터록에서는 원료A만 차단하지만 프로세스에 따라서는 원료B도 동시 차단하고 콤프레샤도 자동적으로

정지시키며 나아가서는 반응탑의 내용물을 계외의 기기(Dump tank 등)로 배출하는 방식이 보다 안전한 방법이다.



[그림1] 발열반응의 공정제어시스템

Ⅲ. 안전대책

석유화학공업의 안전대책은 취급물질 및 반응의 위험성 평가, 장치의 배치, 재료, 계측 및 제어설비, 방재설비, 운전관리, 발화원의 억제, 점검 및 정비등 광범위하여 전문야를 다룰수는 없으므로 여기서는 몇가지 부분에 국한하여 언급하기로 한다.

1. 배치(Lay-out)

1-1. 공장배치

공장배치계획은 플랜트 안전설계의 기본사항이다. 장치등의 배치는 공장의 기능성을 만족하여야 함과 동시에 위험성이 높은 시설의 방호, 공장밖으로의 영향 억제, 사고발생시의 2차적인 재해방지, 피해의 국소화등 방재면에서의 요구도 만족하지 않으면 안된다.

옥외 플랜트는 크게 제조시설지역, 원료, 제품의 저장지역, 입출하시설 지역 및 유틸리티시설 지역으로 구분하여 배치한다. 제조시설 지역은 보통 일단의 집적된 공정으로 된 단위블럭으로 구분하고 각 단위블럭은 정방형 보다는 가급적 화재, 폭발에 노출되는 장치의 양을 적게하고 소화작업을 위한 모든 방향에서의 접근이 용이하도록 길고 좁은 장방형으로 하되 블럭간의 간격을 통로에

의해 충분히 유지하는것이 바람직하다.

1-2. 단위공정의 배치

단위공정은 공장에서 가장 위험한 지역으로 인화성·불안정한 물질, 발화원, 그리고 고온·고압의 장치들로 구성되어 있다. 이들 단위공정은 화재, 폭발시의 복사열, 폭발압 및 미사일 효과에 의한 피해를 최소한으로 감소하기 위하여 서로 안전한 거리를 유지하여야 하나 이 거리를 어느 정도 유지하여야 하는가는 공장의 입지조건이나 아래 여러가지 특성에 따라 좌우되므로 일률적으로 정하기가 상당히 어려운 문제이다.

(1) 취급하는 물질의 형태와 반응 또는 공정의 형태

(2) 운전압력과 온도

(3) 물질의 양

(4) 구조물의 형태

(5) 전체 제조공정에 대한 단위공정의 비교가치

(6) 폭발시의 신뢰성을 감안한 소방설비

(7) 화재진압, 기타 비상조치를 위하여 필요한 공간 등

우리나라의 고압가스안전관리법 시행규칙(별표 2)에서는 처리능력 100톤 이상의 고압가스시설을 갖춘 석유화학공업자등(고압가스 특정제조시설이라 함)은 고압가스설비를 통로, 공지등으로 구분된 안전구역안에 설치하되 안전구역내의 고압가스설비는 다른 안전구역내에 있는 고압가스설비와 30m 이상의 거리를 유지하고 당해 제조소의 경계와 20m 이상의 거리를 유지토록 일률적으로 규제하고 있다.

반면 외국의 안전거리에 대한 권장 기준은 NFPA(National Fire Protection Association), API(American Petroleum Institute), OSHA(Occupational Safety and Health Administration), IRI(Industrial Risk Insures)등 여러 방재단체에서 비교적 시설의 위험도에 따라 세부적으로 정하고 있으며 기준중에서 IRI기준을 <표1>과 <표2>에 소개한다.

그러나 현실적으로 우리나라의 석유화학공장은 국내외의 안전거리 기준에 비추어 볼때 국토의 협소, 공업단지 조성상의 입지조건등 여러 요인에 구애 받아 대체로 조밀하게 배치되어 있으며 이로

〈표1〉 General Recommendations for Spacing in Petrochemical Plants

Minimum Distance in Feet	Process Unit—HH	Process Unit—LH	Tank Farms—HH	Tank Farms—LH	Product Wharves—LH	Ship'g. & Rec'g.—HH	Ship'g. & Rec'g.—LH	Service Buildings	Fire Pumps	Emergency Controls	Water Spray Controls	Turret Nozzles	Emergency Flares	Pilot Plants	Large Cooling Towers	Fire Hydrants	Fired Process Heaters
Process Unit—(High Hazard)	200								250	100	50			200	150		50 to 100
Process Unit—(Low Hazard)	100	5C							150	50				200	100		50
Tank Farms—(High Hazard)	250	25A	1 1/2 dia. larger						250		100			250	250		200
Tank Farms—(Low Hazard)	200	100	1 dia. larger	1/2 dia. larger					200					200	200		200
Product Warehouse (Low Hazard)	150	50	250	100	50				200					200	150	50 to 250	100
Shipping & Receiving (High Hazard)	200	200	150 ²	100	150	50			150	100	50			200	200		200
Shipping & Receiving (Low Hazard)	150	100	100	50	20	50	—		100	50				150	150		100
Service Buildings	200	100	200	100	100	150	100	See bldg. chart	100					200	100		100
Boiler Area	200	150	200	150	100	200	100		—					200	100		100

〈표2〉 Recommended Spacing Within Process Units

Minimum Distance in Feet	React.	Comp.	Tanks	Fract. Equip.	Cont. Rooms
Corridor	25				
Compressor House	4C				
Intermediate Storage Tanks (High Hazard) Rundown-Feed	100 to 200	100 to 200	17 dia.		
Distillation Equipment	50	30	100		
Control Rooms	50 ⁶ to 100	50 to 100	100	50 to 100	10

하여 화재, 폭발시 연쇄적으로 피해확대될 가능성이 높다. 이러한 취약성을 보완하기 위하여는 설계시설을 보다 강화하여 2차적인 피해확대를 최소화하는데 노력할 필요가 있다. 예를 들면 직화 사용하는 열분해로는 위험공정과 상당한 안전거리를 유지하여야 하나 그렇지 못할 경우 열분해로 위에 스팀커튼이나 물분무설비를 설치하여 노르터의 사고를 타 시설에 확대되지 않도록 차단할 방법이다.

2. 장치 지지 구조물

화재, 폭발, 바람, 지진등으로 인한 공정장치 지지 구조물의 붕괴는 장치의 도파, 파손으로 위험물질의 방출을 초래하여 재해를 확대시키는 원인이 되기 때문에 설계시에는 이들 위험에 대처할 수 있도록 설계되어야 한다.

물분무설비가 설치된 장소에서는 화재노출위험으로부터 구조재를 보호하도록 하여야 하나 폭발위험이 큰 지역에서는 물분무설비가 손실을 받을 수 있으므로 주요 구조재인 강철과 장치지지(내력 부재)는 적어도 2시간이상의 내화도를 유지하도록 내화피복되어야 한다. 피복재료는 폭발, 풍화, 부식 및 강한 소화수의 직접적인 방수에도 견딜 수 있어야 한다. 우리나라에서는 현재까지 지지구조물에 대한 내화규제가 없었으나 산업안전보건법 시행규칙에서 이에 대하여 규정할 예정으로 있다.

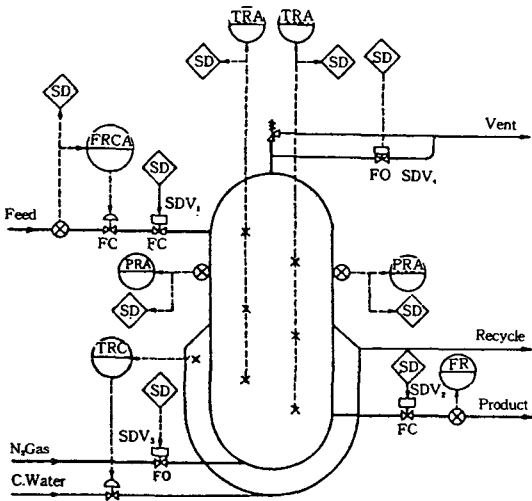
3. 반응기, 탑 등의 취급

3-1. 반응기

화학공정에서는 프로세스의 이상상태를 조기에

발견하여 손실을 최소화 하고 또한 위험한 상태가 되었을때 안전하게 플랜트를 정지하여 사고를 방지할 수 있도록 각각의 장치특성에 적합한 계장설계(計裝設計)가 요구된다.

특히 반응기는 타 단위조작에 비하여 발열 또는 흡열을 수반하는 경우가 많고 또한 반응속도가 온도 의존성이 크기 때문에 온도, 압력, 유량에 대한 제어가 중요시 된다. 반응기에 대한 계장예를 [그림2]에 도시한다.



TRA : 온도기록경보계(국부이상온도를 검지할 수 있는 수량)

PRA : 압력기록경보계(원칙으로 2점 이상)

FRCA : 유량기록제어경보계(송입계통마다 1점이상 계측)

SD : 긴급차단회로

SDV : 긴급차단밸브(방출밸브)

: 조절밸브

: 안전밸브

: 검출기

프로세스 정상시 : SDV₁, SDV₂ → 개방

SDV₃, SDV₄ → 폐쇄

온도 또는 압력상승 : SDV₁, SDV₂ 폐쇄 후 SDV₄ 개방 후 SDV₃ 개방

[그림2] 반응기의 계장(예)

반응기는 회분식(Batch type)과 연속식(Continuous type)으로 대별된다. 회분식은 반응물질을 한번에 투입하고 반응이 끝난후 생성물을 배출하기 때문에 온도조절이 어렵고 조작은 주로 수동이기 때문에 이상반응위험이 높다. 회분식에서의 이상반응은 원료공급을 차단함에 의해 제어될 수 없으므로 비정상적인 높은 온도제어는 주로 반응기 냉각

설비와 벤팅(Venting)에 의존하거나 반응억제제 또는 냉매주입, 냉매속으로 내용물 배출등으로 제어하여야 한다. 이러한 제어상의 어려움 때문에 교반에 의해 반응기내를 일정 조성과 온도로 유지하는것이 중요하다. 반응기내에서의 반응물질의 불균일한 분포는 국부가열, 미반응물질의 축적, 부반응을 유발할 수 있고 교반이 정지되면 반응이 중지되거나 속도가 느려져 반응물질이 축적되었다가 고온, 고농도로 된 상태에서 교반이 재개되었을 때 반응은 통제할 수 없게된다. 따라서 교반장치이상시는 반응물질의 유입을 중지하고 경보를 울릴 수 있는 제어시스템이 필요하다.

반면 연속식은 반응물질의 공급과 생성물의 배출이 일정하게 연속적으로 이루어지므로 공정흐름중의 물질조성, 온도, 압력에 대한 비정상적인 조건은 제어가 용이하며 이상반응에 대한 위험은 비교적 적다.

반응기에서의 일반적인 운전 및 보수상의 안전지침은 아래와 같다.

(1) 운전개시

운전을 개시할 때는 먼저 불활성가스(질소 등)로 내압 및 기밀시험을 실시한후 맹판제거, 안전밸브, 계장관계 등이 정상상태인가를 확인한 후 운전기준에 따라 시행한다.

(2) 운전정지

사전에 필요한 제반 준비를 하고 조작순서에 따라 진행하여야 하며 다음 사항에 유의한다.

○ 급격한 유량, 압력, 온도변화를 피한다.

○ 가연성물질의 누설, 넘침시의 대책을 세운다.

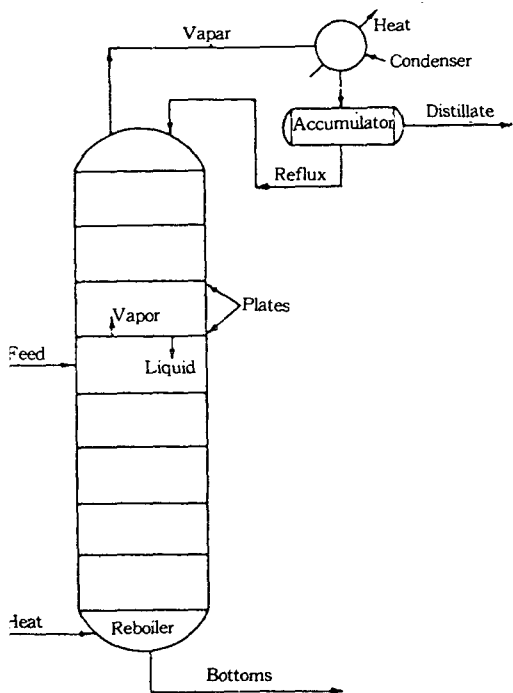
○ 운전자 및 관계자 이외의 출입을 금지한다.

○ 잔류물을 제거한 후 스팀이나 불활성 가스로 장치내 가스를 완전 제거하고 필요에 따라 물 등으로 세척한다.

○ 개방하는 경우는 우선 최상부, 최하부의 맨홀을 열고 자연통풍에 의한 냉각을 한후 가스탐지기로 유독가스, 가연성가스 및 산소농도를 측정하고 안전을 확인하면서 작업을 한다.

3-2. 증류탑

비점차가 있는 혼합물을 가열하여 각성분으로 분리하는 조작을 증류(蒸溜)라고 한다. 응축된 액체



[그림3] 정류탑

증류탑으로 역류시키는 것을 환류(Reflux)라고 이 액을 상승하는 증기와 향류(向流) 접촉시켜 류하는것을 정류(精溜)라고 한다.

인화성 액체 증류탑 운전중에는 폭발범위 상한상으로 되나 정비를 위하여 개방되었을때 공기가 입되어 폭발범위내로 들어가게 되며 만약 불활성하지 않은 상태에서 작업을 하거나 운전을 개시하면 위험이 따르게 된다. 또한 증류성분중에 격렬분해, 폭발적인 반응 또는 중합의 위험이 있는분이 기상 또는 액상에서 축적되면 위험상태를 래할 수 있다.

(1) 운전개시

탑의 제어방식에 따라 차이가 있으나 일반적으로 다음 순서로 한다.

○ 수증류: 탑내에 물이 들어가도 좋은 경우 물을우고 실제로 가열하여 탑내 온도를 높이고 수증류를 한다. 이러한 모의운전 동안 계기 조정, 펌프동을 점검한다.

○ 퍼지(Purge): 물이 들어가도 좋을 때는 스팀을 기타의 경우는 질소등의 불활성 가스로 탑내

공기를 축출한다. 탑내 잔류산소는 2%이하로 하는 것이 보통이다. 스팀퍼지를 한 후 온도가 내려가면 탑내압이 진공으로 되기 때문에 주의한다.

○ 탑내 압력조정: 압력조정밸브가 있는 것은 미리 규정압력에 계기를 맞추어 둔다.

○ 냉각수, 냉매의 사용: 응축기에 냉각수 또는 냉매를 통하여 둔다.

○ 탑내 건조: 많은 수분이 남아있는 상태에서 가열된 기름이 들어가면 급격히 비등하여 체적이 팽창하기 때문에 트레이(tray)를 파손할 위험이 있으며 저온 증류탑의 경우는 빙결 위험이 있기 때문에 완전히 건조시켜 둔다.

○ 원료주입: 원료는 처음 설계치의 1/4~1/2의 유량으로 주입하는것이 보통이다. 탑저에 액이 차면 리보일러에 열을 가하되 급격한 가열은 피한다. 잠시후 Reflux drum에 액이 차면 환류를 시작한다. 드럼의 액이 비지 않도록 주의한다.

○ 탑정, 탑저물의 분리: 리보일러의 열량 및 환류량을 증가시킨다. 탑내 온도차가 생기고 탑정물 및 탑저물의 조성이 규격에 맞으면 제품으로 분리한다.

(2) 운전정지

○ 원료주입량을 서서히 감한다.

○ 환류량 및 리보일러의 열을 서서히 감소시킨다.

○ 원료공급을 멈추고 규격의 제품이 들어가지 않도록 탱크를 바꾸어 탑정, 탑저물을 빼낸다.

○ 리보일러 및 환류를 중지한다.

○ 탑의 정지가 일시적인 경우는 탑저 및 Reflux drum내의 액을 그대로 두고, 정지후 탑내 점검을 하는 경우는 탑 및 드럼내의 액을 완전히 제거한다.

○ 응축기의 냉각수 및 펌프를 정지한다. 탑내의 액을 배출한 후 내부압력을 제거하고 스팀 또는 불활성가스로 내부의 증기를 퍼지한다.

○ 탑 출입구의 배관, 밸브 및 플랜지 부분에는 맹판을 삽입하고 타 장치와의 차단을 완전히 한다.

○ 맨홀, 핸드홀을 개방하는 경우 탑내에 공기가 들어간다는 내부에 황화철, 중합물이 있으면 발화나 폭발을 일으킬 수 있기 때문에 주의한다.

3-3. 열교환기

열교환기는 넓은 의미로는 2개의 유체간에 서로 열교환을 시키는 장치를 말하며 사용 목적에 따라 냉각기, 응축기, 리보일러, 증발기, 가열기등이 있으며 운전시 주의할 점은 다음과 같다.

○ 공정의 유체가 가연성일 때는 미리 질소등의 불활성가스, 물, 수증기등으로 공기를 제거한 후 치환한다. 특히 Shell Cover부에는 에어포켓이 남아 있기 쉽기 때문에 벤트, 드레인밸브를 이용하여 충분히 치환한다.

○ 관련장치, 기기와의 라인업(가동하는 상태)를 재확인 한다.

○ 냉각기, 응축기에서는 냉각액이나 냉매를 증발기에서는 열매의 유통을 개시한다. 리보일러등에서 출구밸브가 닫힌채 증발액이 열매보다 먼저 들어가면 승압, 파열할 위험이 있으므로 증발액 입구밸브를 닫고 출구밸브를 먼저 열어두어야 한다. 냉각기, 콘덴서등은 냉각축의 스타트를 선행한다. 특히 액체를 취급하는 경우 냉각액축 출입구밸브를 닫은 채 고온축을 서비스하는 것은 절대 피하여야 한다.

○ 열교환기의 운전이 개시되면 관측, shell축 출입구 온도, 유량 및 관련장치들의 상황을 확인하여 운전조건을 재조정한다.

○ 열교환기나 주위 배관의 진동에 조심한다. 특히 응축기에서 응축이 급격히 일어나는 경우는 강한 진동이나 음향이 생기기 때문에 주의가 필요하다.

4. 콘트롤룸(Control Room)

석유화학공장에서는 제품의 순도나 성분등 동일한 품질의 제품을 연속적으로 생산하기 위하여 온도, 압력, 유량등의 반응상태에 대한 계측과 자동제어가 이루어져야 한다. 반응상태를 설정된 조건에서 벗어나지 않도록 일정하게 제어한다는 것은 품질관리 뿐만 아니라 안전을 위하여도 중요한 사항이며 이러한 공정제어는 콘트롤룸에서 이루어지고 있다.

고압가스안전관리법(시행규칙 별표2 및 동자부고시 제85-130호)에서도 고압가스 특정제조시설의

계기실에 관한 기준을 정하고 있으나 FMS(Factory mutual system : 미국)에서 보다 자세한 안전기준을 제시하고 있으므로 이 기준을 중심으로 요약 소개한다.

4-1. 위치

규모가 큰 콘트롤룸은 노출위험으로부터 적당한 거리를 유지하고 필요시는 방호벽을 설치하여 최대한의 보호조치를 취하여야 한다. 콘트롤룸으로부터 공정설비나 저장시설까지의 안전거리는 장치의 위험성(취급물질의 상태, 반응형태, 운전압력 및 온도, 장치내의 물질량등)과 콘트롤룸의 중요도등의 개별 특성에 따라 결정토록 한다.(고압가스안전관리법에서는 특수반응설비와 15m 이상의 거리를 유지하도록 함)

4-2. 구조 및 소방설비

(1) 콘트롤룸은 불연재료로 구획된 건물 또는 가능한 한 전용건물에 설치한다. 만일 공장건물내 설치할 때는 1시간이상 내화도의 방화벽으로 구획(공정지역이 화재, 폭발위험이 없는 경우는 제외)하고 공정지역이 폭발위험이 있다면 그 방화벽은 내폭발압(耐爆發壓) 구조로 한다.

(2) 건물외부로 부터 노출위험이 있는 벽은 화재, 폭발에 견딜 수 있는 무창벽을 사용한다.(고압가스안전관리법에서는 운전관리상 필요한 최소한의 창문 설치시 망입유리를 설치토록 함)

(3) 천정은 불연재료로 하고 만약 천정속이 전선관, 케이블덕트, 공조시설등으로 사용될 때는 쉽게 제거할 수 있는 천정판넬등의 접근수단이 강구되어야 한다.

(4) 콘트롤룸이 LPG, 에틸렌과 같은 인화성가스 또는 증기가 침입할 위험이 있는곳에 위치할 때는 최소 0.1 in H₂O의 정압(正壓)을 유지하여야 하며 가압을 위한 급기구는 가연성가스가 흡입될 위험이 없는 안전한 위치에서 지상 9m 이상의 높이로 설치한다.

(5) 고가(高價)이거나 중요한 콘트롤룸은 천정속, 공조시스템의 배기덕트내, 전선, 케이블덕트 설치부분등에 연감지기를 설치하고 중앙제어설비, 컴퓨터설비등의 중요설비에는 CO₂ 또는 할론소화설비를 설치한다.

5. 긴급 방출장치

석유화학설비에서는 정전등 긴급사태가 발생한 우의 위험물 방출, 운전개시나 정지시의 위험물 출 및 정상 운전시의 설비로부터 발생한 폐기를 방출할 필요가 있다. 이들 방출장치는 다음과 같이 대별할 수 있다.

(1) Flare stack

가연성가스, 가연성 독성가스(연소에 의해 무해 되는것)를 연소처리하여 대기로 방출하는 장치로 전한 연소와 방사열의 영향을 고려할 필요가 다. 고압가스안전관리법에서는 flare stack 바로의 지표면에 미치는 복사열이 $4,000\text{Kcal/m}^2\cdot\text{hr}$ 하가 되도록 규정하고 있으며 FMS의 기준에서 제조, 저장 또는 유틸리티지역으로부터 90m이 떨어져 설치하도록 권장하고 있다.

(2) Vent stack

독성이 없고 공기보다 가벼운 가스를 대기로 출하는 장치이다. FMS의 기준에 의하면 인화성 스 방출시 방출구는 착화원 또는 방출구 높이 상에 위치한 노출된 장치로부터 방출배관직경의 0배이상 거리로 떨어져 위치하고, 인화점 -7°C 만의 인화성액체 방출시는 착화원, 중요건물 구부로부터 수평거리 45m 이상(인화점 -7°C 이상 때는 23m) 떨어져 위치 하도록 하고 있다.

(3) Blow down

고휘발성의 위험물용기로부터 위험물을 방출할 액체를 방출하는 편이 빠르게 감압할 수 있어 전할때가 많다. 방출된 위험물은 Blow down 탱크 Knock-out 드럼으로 들어가 냉각등 안전조치 취하면서 발생한 가스는 flare stack에서 처리할 이때 knock-out 드럼의 용량이 초과되어 액체 분이 flare stack에 유입되면 위험하게 되므로 기기준(API RP521) 등에 따라 드럼용량이 설계 가야 한다.

3. 소방대책

석유화학공업에서 물분무설비와 같은 고정식 화설비는 인화성 물질의 누출로 인한 화재의 화 및 피해확대 방지에 상당한 효과를 기대할

수 있다. 그러나 폭발을 선행하는 사고시의 효용성 에 대해서는 의문이 제기되고 있고 그로 인하여 설치비용 대 효과면에서의 경제적 이유로 소화설비 설치여부 결정이나 공저장치의 보호범위가 설계자 나 시설주의 선택에 따라 결정되어지고 있는것이 현실이다.

현행 소방법령에서는 현저하게 소화가 곤란한 위험물제조소등에 소화설비 설치를 규정하고 있으며 위험물 저장탱크에 대한 소화설비는 비교적 세부적으로 규제하고 있으나 막상 위험도가 높은 공정장치에 대해서는 구체적 시설기준이 미흡하여 공정지역 외곽에 포소화전이나 모니터노즐만을 설치하는 경우가 많다. 그러나 이러한 설비는 석유 화학공업 화재시의 높은 복사열과 폭발위험에 따른 소화작업자의 접근곤란, 공정지역 심부(深部)화재시 장치들로 인한 살수방해등으로 소규모 화재시의 소화활동에 국한 이용될 수 있을것으로 판단된다.

인화성액체, 가연성가스를 취급하는 석유화학공 장에 대한 NFPA, FMS 등의 소화대책은 주로 스프링클러 또는 물분무설비를 적극 권장하고 있다.

물은 일반적으로 인화점 93°C 미만의 인화점을 가진 인화성액체와 가연성가스를 소화할 수는 없 다. 그러나 스프링클러/물분무설비는 장치나 구조 재를 냉각함으로써 구조재의 열적 팽창에 따른 변형과 탱크, 배관의 파열을 방지할 수 있다.

FMS에서의 스프링클러/물분무설비의 설치기준 을 보면 화재시 상당한 피해를 초래할 수 있는 양의 인화성액체 또는 가연성가스를 취급하는 장치에 설치토록 하고 있으며 그 양은 옥내시설인 경우 하나의 용기 용량이 757 l 이상이거나 바닥면적 252m^2 에서 전체 취급량이 7570 l 이상이며 옥외 시설일 때는 옥내 시설보다 2~2.5배로 정하고 있다. 또한 소화전이나 모니터노즐은 이들 설비의 보조수단으로 설치하거나 위에서 정한 양이하의 소규모 장치에 한하여 설치를 권장하고 있으며 폭발위험이 상존하는 곳에서는 주요 소화설비밸브 및 기타 구성요소에 대하여 보호벽을 설치하여 폭발로 인한 파편등으로부터 보호되도록 하고 있다.(구체적 시설기준은 Loss prevention data 7-1 4 참조)

석유화학공장의 공정과 지원설비가 다양하고 광범위하여 소방시설의 설치범위를 안전과 비용측면을 고려하여 적절한 기준을 정한다는것은 매우 어려운 일이기는 하나 주요 위험장치에 대하여는 안전을 우선하여 고정식 소화설비로 보호하는것이 필요하다 하겠다.

IV. 맺는말

지금까지 석유화학공업의 화재, 폭발 위험성과 안전대책에 관하여 개괄적으로 언급하였다. 석유화학공업의 재해방지대책을 요약한다면 우선 무엇보다 중요한 것은 공정의 연구개발, 설계, 건설의 각단계에서 안전을 위한 기본적인 요구조건을 중요시 하여 반영함으로써 사람의 행동이 부적절하더라도 설비나 장치측에서 이를 보완하여 재해에 이르지 않도록 하는 본질적 안전화를 도모하여야 한다.

다음으로 각 공정별 작업단계마다 안전작업원칙이 모두 포함되고 이해하기 쉬운 운전매뉴얼(operating manual)을 마련하여 종업원들로 하여금 숙지케 하고 지속적인 훈련을 실시함으로써 부주의한 행동에 따른 사고 유발을 방지하며 비상시 응급대책을 원활하게 수행할 수 있도록 되어야 한다.

제도적으로는 석유화학공업의 안전과 관련된 법규가 소방법, 고압가스안전관리법, 산업안전보건법등에서 분야별로 부분적이고 피상적으로 다루고 있으며 설계자는 주로 외국의 여러 안전기준에 따라 설계가 이루어지고 있는 실정이기 때문에

설계자에 따라 안전대책에 차이가 발생하는 경우가 많다.

복잡·다양화한 석유화학공업에 대한 종합적이고 세부적인 안전기준을 어느 특정 법규에서 정하기는 사실상 곤란한 문제이다. 따라서 정부기관, 방재전문단체, 학계 및 전문가들이 협력하여 외국의 안전기준을 검토하고 국내 실정에 적합한 보편적인 시범기준을 수립함으로써 관련업체가 자발적으로 이를 설계에 적용토록하고 또한 경험이 풍부한 전문방재단체가 정기적인 안전점검을 실시, 위험요소를 개선해 나간다면 우리나라 석유화학공업의 안전이 더욱 확실해질것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 日本中央労働災害防止協會, 化學工場安全管理指針, 昭和 56年 8月.
2. 日本労働省安全衛生部安全課, 化學プラントの安全, 昭和 53年 6月.
3. 飯塚義明, 反應危險性評價法における問題点, "安全工學", Vol 28. No.5, 1989.
4. 林年宏, 20リットル 反應容器による反應暴走實驗, "安全工學", Vol 28. No.5, 1989.
5. FMS, Loss prevention data, 7-14, 43, 45, 47, 48, 1987.
6. NFPA, Industrial Fire Hazards Handbook(Chapter 31, Chemical processes), Second Edition.
7. NFPA, Fire protection Handbook(Chapter 10, Chemical processing Equipment), Sixteenth Edition.