

화학합성재료의 생산, 적재시설 방화안전시스템

(주)럭키여천공장환경안전부장 서정환

1. 화학합성 재료 생산공장의 특성

화학합성재료를 생산하고 있는 우리나라 석유화학공업은 지속적인 경제 발전과 더불어 울산, 여천, 대산에 대규모 콤비나트를 형성하면서 발전하여 생활용품에서부터 산업건재에 이르기 까지 일상생활에서 화학합성제품이 필수품으로 등장하게 되고 수요가 증대하면서 국가 주요 기간산업으로 성장하여 국가 경제 발전에 일익을 담당하고 있다.

석유화학공장은 기초원료에서 부터 최종제품에 이르기 까지 원.부원료의 공급체계가 계열화되어야 하는 특성으로 대단위 공업단지를 형성하게 되며 많은 시설투자비와 첨단기술의 집약체라고 할수 있어 선진국 산업분야라 할 수 있다.

그러나, 석유화학공장은 NAPHTHA를 분해하여 생산되는 각종 가연성 또는 유독성 물질을 원.부원료로 사용하고 이를 대량으로 저장.취급하고 있으며, 제조공정도 고온고압하에서 이루어지는 위험공정이 많아 위험물질의 누출로 인한 화재나 폭발의 위험이 높고, 사고발생시에는 대규모 재해로 확산되어 인근 공장에 까지 영향을 미칠 수도 있으며, 공장 위치가 도시와 인접해 있을 경우 지역 주민에게도 심각한 영향을 주게되고 환경오염의 이차적인 재해의 가능성도 높다고 할 수 있다.

또한, 최근 미국의 EXXON 공장등의 재해로 인하여 전세계적으로 제품의 수급 균형이 이루어지지 않아 석유화학제품의 품귀현상과 가격파동이 일어난 것처럼 중대재해로 인하여 공장을 장기간 가동 정지해야 하는 경우에는 해당공장 뿐만 아니라 원료의 수급 계열화의 특성으로 인하여 상류공장(UP STREAM)과 하류공장(DOWN STREAM)까지 가동정지 해야 하므로 국가경제와 관련산업에 미치는 영향은 매우 크다.

가. 설비의 특성

석유화학공장은 설비구조가 복잡하고 공정제어 방식이 첨단자동 SYSTEM 으로 구성된 장치산업으로 설계에서 부터 운전, 유지관리 까지 전문기술화가 되어야 하며 설비의 구성요소가 다양하여 서로 연관된 각 구성 요소에 대한 신뢰성을 확보하기 위해서는 고도의 기술과 숙련된 경험이 필요하다.

이러한 특성으로 인하여 석유화학공업은 다른 어느 산업분야보다 공장운영에 가장 우선적으로 고려하여야 하는 것이 안전관리이며, 생산의 기반은 안전임을 경영자나 종업원이 인식하여야 한다.

나. 공정관리

석유화학공장은 제품별로 제조공정이 다양하고 공정시설이 복잡하고 정밀하여 수많은 설비가 하나의 SYSTEM을 형성하여 가동하게 되므로 공정의 이해없이 위험요인을 관리하는 데에는 어려움이 많다.

한 단위공정에서의 TROUBLE이 여러 단계의 후단공정에서 어떠한 작용을 일으켜 위험요인으로 발전하게 되며, 어떠한 조건에서 어떤 형태로 물리 화학적 반응을 일으키게 되는지를 파악 하기에는 고도의 전문기술과 그 공정에 많은 경험이 있어야 잠재적인 위험요인을 찾아낼 수 있을 것이다.

따라서, 그 공정에 대한 오랜 경험과 공정 및 원.부원료의 특성에 대한 전문 지식과 이해가 없으면 공장을 가동하기 어렵다.

다. 설비의 안전성 확보

공정의 각 설비에 대하여 계획 및 설계단계에서 부터 공장내 각 부문 전문가로 구성된 자체 안전성 검토 TEAM 에 의해 체계적으로 설비의 안전성을 검토하는 것이 근원적인 설비의 안전성을 확보하는데 가장 효과적이라 할 수있다

석유화학공장 신.증설시에도 일반 산업분야와 동일하게 산업안전보건법, 소

방법, 고압가스안전관리법, 유독물법 등에 의한 기술 및 설비기준 등에 대한 유해위험방지 계획이나 기술검토 과정은 설비의 안전성 확보를 위한 최저 요건(MINIMUM REQUIREMENTS)에 불과하여 선진공업국에서 적용하고 있는 ASME, NFPA, API, ANSI, NEC등과 같은 국제적인 CODE나 기준에서 제시하고 있는 사항까지 검토하여야 한다.

라. 설비의 유지관리

석유화학 공장은 설계 및 설치과정에서 안전성을 확보 하였다 하더라도 가동하는 과정에서 열화, 부식, 진동 등으로 인하여 설비에 결함이 나타날 수 있으며 이를 그대로 방치 하게 되면 대형사고 유발의 잠재 위험 요인이 될 수 있다.

이러한 설비의 결함은 주기적인 검사에 의해서 발견할 수 있으며 검사과정에서 발견된 결함은 즉시 보완하여 최초 설치단계의 수준으로 유지관리 하여야 한다.

마. 기술 및 기능 향상

설비의 안전성을 확보하고 있다 하더라도 그 설비를 운전하는 운전 요원이 잘못 조작하거나 조업과정에서 이상상황이 발생할 때 즉시 적절한 조치를 취하지 못하면 사고로 발전하게 된다.

따라서 운전요원의 지속적인 교육훈련을 통하여 기술이나 기능향상을 기해야 함은 설비의 안전성 확보와 함께 석유화학 공장의 안전조업을 위한 기본이라 할 수 있다.

바. 비상대책 수립

석유화학 공장의 신.증설시 계획 및 설계단계에서 체계적으로 안전성을 검토하여 설비의 근원적인 안전성을 확보하였다 하더라도 설비의 제작, 설치, 운전, 검사, 정비과정에서 실수할 수 있는 경우가 있다.

우리는 안전조업과 설비의 유지관리에 많은 노력을 기울이고 있으나 석유화학 공장에서의 절대적인 안전을 기대할 수는 없다.

따라서 재해를 최소화하기 위해서는 예상되는 사고발생요인을 제어하는 비상대책이 필요하다.

비상대책에는 사고요인을 조기에 발견할 수 감지설비나 안전설비를 공정특성에 맞도록 설치하여야 한다.

또한 재해를 최소화 하기 위한 비상수급 요원의 임무, 조치방법, 조치절차등과 같은 비상 수습 대책도 포함시켜야 하며 비상수습 조치능력이 숙달되도록 주기적인 훈련계획도 포함시켜야 한다.

석유화학 공장의 주요 재해인 화학물질 누출, 화재, 폭발시에는 초기에 신속한 조치를 취하지 않으면 연쇄적으로 확산될 위험이 많으므로 이와 같은 비상대책 수립은 위험관리 측면에서 필수적이다.

또한 콤비나트 형태로 구성되어 있는 석유화학 공장은 PIPE LINE 을 통하여 원.부원료를 수급하게 되며 인근공장과 근접되어 있어 각 공장간의 협조하에 종합적인 비상계획이 수립되어야 하며 상호지원체제도 확립되어 있어야 한다.

2. 공정의 취약점

가. 원부원료 투입 및 공정제어

석유화학 공장의 특성에서 언급한 바와 같이 화학합성재료의 원.부원료가 가연성이나 유독성 물질을 사용하게 되며 제조공정도 대부분이 대규모의 BATCH 공정으로 설비구조가 복잡하고 매 BATCH 마다 원.부원료를 계량 투입하여야 하므로 투입비율의 정확성이 절대적으로 필요하다.

원부원료 투입비율의 정확성과 반응 운전조건을 정확히 통제하지 못하게 되면 이상반응(RUN AWAY REACTION)을 일으켜 위험 물질의 누출로 인한 화재 및 폭발의 위험이 따르게 된다.

또한 반응완료후 미반응물질의 회수를 위한 진공과정에서 대기중의 산소유입 등으로 인한 후단공정에서의 폭발 위험성도 높다.

나. 설비의 열화

BATCH 공정 특성상 반응과정에서 가압과 진공, 가열과 냉각의 연속적인 반복 공정으로 인하여 반응기 등의 설비가 열충격 (THERMAL SHOCK)과 피로현상 등의 누적으로 연속공정 설비보다 열화현상이 심하다.

다. 정전

반응과정에서 정전될때 반응기의 교반기가 정지되거나 냉각수 공급이 중단되면 이상반응을 일으키게 되어 매우 위험한 상황으로 발견할 수 있다.

라. 건조공정의 위험성

화학합성 재료 제조공정의 대부분이 현탁 또는 유화중합 반응을 하게 되므로 다량의 물을 사용하게 된다.

반응후 입자상의 제품과 물이 혼합되어 있어 제품을 회수하기 위하여 물을 분리한 후 입자상의 제품에 함유된 미량의 수분을 제거하기 위하여 고온의 공기로 건조하게 된다.

ABS나 EPS 등 인화성이 높은 미립자 상의 제품은 고온 공기에 의하여 발화되어 화재를 일으킬 위험이 있다.

마. 저장 SILO의 위험

화학합성 제품을 공기로 이송하게 되면 관과의 마찰로 인하여 많은 정전기를 발생하게 되며 전하량이 축적되어 점화원으로 작용할 수 있게 된다.

또한 제품에 잔유되어 있는 원부원료가 저장 SILO내에서 유리되어 SILO 상단에 축적되므로써 화재나 폭발을 일으키기도 한다.

바. 화재시 유독성 및 매연 발생

원.부원료의 성분에 따라 화재시에 유독성 물질이 생성되거나 입자의 밀도가 커 다량의 매연을 발생하게 되며 산소가 부족하여 진화에 어려움이 따르게 되어 대형화재로 발전되거나 진화작업시 중독 또는 질식위험이 많다.

사. 운전중 인화성, 가연성 물질의 누출

석유화학공장의 원.부원료는 대부분 유해물질이면서 CLASS I, II GRADE의 인화성 또는 가연성 물질로 정기 TURN-AROUND 기간외에는 정상 운전중에 펌프류 및 반응기류의 GRANDPAKING 또는 MACHANICAL SEALING의 마모로 소량의 위험물질이 지속적으로 누출되어도 즉시 조치가 불가능하므로 주위에 점화원이 있을 경우에는 화재 또는 폭발의 위험이 있으며, 특히 반응기나 열교환기의 현열로 사용되는 열매유 등은 인화점 이상에서 취급하는 물질로 TURN-AROUND 기간 동안 HOT BOTTING 잘못으로 정상조업 중에 FLANGE 등의 부위에서 누출, 보온에 축적되어 있다가 고온의 자체열로 자연발화하여 대형사고를 유발할 수 있다.

「인화성 및 가연성 액체의 분류」 - NFPA기준

종 류	분 류	인 화 점	비 등 점
인화성 액체	CLASS I A	< 22.8 °C	< 37.8 °C
	CLASS I B	< 22.8 °C	≥ 37.8 °C
	CLASS I C	≥ 22.8 °C	< 37.8 °C
가연성 액체	CLASS II	60.0 °C > CLASS II ≥ 37.8 °C (인화점)	
	CLASS IIIA	93.0 °C > CLASS IIIA ≥ 60.0 °C (인화점)	
	CLASS IIIB	≥ 93.0 °C	NONE

아. 가연성분진의 화재 및 폭발

화학합성제품은 수요자 요구 또는 제품용도에 따라 POWDER로 생산하거나 제

립공정, 건조공정, 선별공정, 포장과정에서 이송시 또는 기계적인 마찰, 충격으로 BEAD나 PELLET가 파쇄되어 생성된 분진은 정전기, 고온, 배출 및 집진시설에 적절한 관리가 이루어지지 않으면 설비 내부에서 발화하여 대형 화재 및 연쇄적인 분진폭발의 위험이 있다.

자. 각종 계측기기 ERROR 발생

석유화학공장의 주요설비인 반응기류, 교반기류, 탑류, 열교환기류, 용융설비류, 건조설비류, 분리장치류는 온도, 압력, 농도, 유량 등의 각종 계측장치에 의해 대부분 REMOTE CONTROL로 운전되고 있으나 SEAT LEAK, PLUG UP, LIMIT S/W 오작동 등의 CONTROLLER 자체결함과 전자파의 간섭, AIR FLOW의 HUNTING 등으로 오지시, 동절기의 AIR LINE 동결로 제어불능 등의 외부 결함에 대한 사전예측의 한계성으로 이차적인 잠재위험요인이 존재 할 수 있다.

3. 위험 관리

가. RURN AWAY REACTION 관리

이상반응 현상은 원료 투입후 반응개시제가 과다 투입되거나, 반응 과정에서 적정온도 이상으로 가열될 때에는 급격한 반응을 일으키며 정전으로 인하여 반응기의 교반기가 가동정지 될 때에는 반응기 내부의 온도가 균일하지 못하여 부분 과열반응을 일으키게 된다.

이상반응시는 반응기 내부의 온도 상승으로 인한 압력 상승으로 안전밸브 작동하여 대기중으로 위험물질을 배출하게 된다.

이러한 이상반응시는 신속히 이상반응 원인을 추적하여 이상반응을 억제시키기 위하여 반응기를 냉각하거나, 반응억제제(KILLING AGENT)를 주입하여 반응을 정지 시켜야 한다. 특히, 정전시에 대비하여 충분한 용량의 비상발전기를 설치하여 정전시 주요 기기에 즉시 전원을 공급하여 교반기 가동정지로 인한 이상반응을 제어하여야 한다.

나. 위험물질의 누출관리

원. 부원료가 가연성 물질이므로 누출 가능성이 있는 기기 주위에 가스감지기를 설치하여 누출시 조기 감지하고 SPRINKLER와 연동시켜 누출 물질로 인한 화재나 폭발을 방지하여야 한다.

다량의 가연성물질 취급공정에는 가연성물질의 누출로 인한 화재 발생시 고온의 열에 노출되어 기기나 철 구조물의 강도가 저하되어 붕괴 될 때 대형화재로 발전할 위험이 있으므로 3 시간 내화성능으로 주요 기기와 철 구조물에는 내화처리를 하여야 한다.

다. 소화설비

가연성 물질을 취급하고 있는 공정지역의 필수적인 소화설비는 자동식 물분무설비이다.

다량의 가연성 물질을 취급하고 있어 보유 에너지가 크므로 위험물질의 누출시나 화재발생시 다량의 소방용수를 일제히 대량으로 살수할 수 있는 소화설비를 설치하여 초기 조치 및 진화하지 않으면 인근 설비에 까지 확산 되어 대형사고로 발전하게 된다.

따라서 석유화학 공장의 소방설비는 4시간 이상 공급할 수 있는 수원을 확보하고 최대 사용량 이상의 소방용수 공급설비와 LOOP화된 지하배관 및 자동화된 DELUGE SPRINKLER SYSTEM 을 갖추어야 한다.

최근에는 가스감지가와 연동시켜 작동되도록 보완하고 있다.

라. 정전기 관리

화학합성 재료는 입자 또는 PELLET TYPE으로 생산되므로 일반적으로 BLOWER를 통한 PNEUMATIC 이송방법을 사용하고 있다.

석유화학제품의 특성이 이송 과정시 관내에서 마찰로 인하여 많은 정전기가 발생하게 된다.

발생된 정전기가 축전되어 방전시 착화원으로 작용치 못하도록 전하량을 최소화 하기 위한 결속 (BONDING)과 접지(GROUNDING)가 되어 있어야 한다.

또한, 주기적으로 이송 LINE의 전하량의 측정과 접지 상태를 확인하기 위한 접지 저항을 측정하여 필요하다면 추가적인 설비를 하여야 한다.

또한, 분진폭발 가능성 및 인화성이 높은 미세한 입자상의 제품에 대해 다음과 같은 적절한 설비 및 관리가 이루어져야 한다.

○ 건물의 구조

- 취급설비가 건물 내에 있는 경우에는 최소한 불연성 구조 및 폭발 고려하여 EXPLOSION DOOR 등의 설치
- 벽면의 굴곡부를 적게 하여 분진이 누적되지 않도록 하고, 누적된 분진은 청소 및 제거가 용이한 설비(DUST CLEANING COLLECTOR) 설치

○ 설비의 구조

- 동력기계 및 계측기기는 적절한 방폭설비로 선정
- 장치의 내압설계 (EXPLOSION PROOF DESIGN)
(화학합성재료의 최대폭발압력 : 5.9 ~ 10.2 bar gauge)
- 적정 폭발압력방산구 (EXPLOSION PRESSURE RELIEF) 설치
- 송배풍기, 덕트, 콘베이어 등의 내부, 연결부위에 분진의 누적을 방지할 수 있는 구조

○ 물질의 첨가 또는 대체

- 질소, 탄산가스를 주입하여 산소농도관리
: 질소 (5 ~ 9 %), 탄산가스 (8 ~ 12 %)
- 대전방지제, 규조토(집진시설) 등의 투입
- 정전기의 발생이 적은 재질 및 전도성 또는 대전방지처리를 한 재질사용 (CANVAS 등)

- 이물질(금속 등) 혼입에 의한 충격 및 마찰 SPARK 관리
 - MAGNETIC SEPARATOR 류
 - METAL DETECTOR
- 설비(ROTARY VALVE, SCREW FEEDER, CONVEYER 등)의 국부과열 감지
 - BEARING 부위에 온도감지기 설치
 - 비정상적인 회전 또는 TENSION의 감지
- 분진의 화재 및 폭발방지설비
 - 폭발억제장치 (EXPLOSION SUPPRESSION SYSTEM)
 - : 설비의 온도, 화재, 압력을 조기감지(0.5 초)하여 화염 전파속도 이상으로 억제재(중탄산가스, 하론, FM-200(CFC) 투입
 - 폭발전파방지장치
 - : ROTARY VALVE의 SHEAR PIN, SCREW FEEDER의 CHOKE, ISOLATION VALVE(RAPID-ACTION SLIDE VALVE) 등

마. 저장 SILO 관리

제품 저장 SILO에는 일정기간 BULK제품을 저장하게 된다.

갓 생산된 제품에는 잔유 MONOMER나 첨가제 등에 잔존되어 있는 가연성 물질이 유리되어 SILO 상부에 축적되어 연소범위내에 들어가는 경우 정전기 등에 의해 점화되어 화재나 폭발을 일으키는 경우가 많다.

이러한 화재나 폭발을 예방하기 위하여 SILO 하부에 공기나 질소를 주입하여 가연성 물질이 축적되어 연소범위를 조성하지 않도록 잔유 가연성 물질이 제거될때까지 PURGE 하여야 한다.

바. 진화시 안전장비

화학합성 재료의 연소시 발생하는 유독성 물질과 매연, 산소 부족 등으로 인한 진화작업시 중독 및 질식사고를 예방하고 효율적인 진화작업을 위하여 적

정 수량의 공기통이 부착된 호흡장비(SCBA)를 확보하고 있어야 한다.

4. 화학합성 제품의 저장시설

화학합성 재료는 대부분이 쉽게 발화되고 확산되는 특성 (PVC는 자기 소화성)을 갖고 있으며 화재시 유독성 물질의 생성과 매연 등으로 초기에 진화하지 못하여 화재가 확산되는 경우에는 진화가 거의 불가능하다.

특히 대규모 적재시설에는 철저한 방화대책을 수립하여야 한다.

제품 저장용 건물의 벽이나 지붕등의 가연성 자재 사용여부, 지붕높이, 단위 저장시설의 면적, 매연 및 열 배기시설, SPRINKLER 나 FIRE CURTAIN 등을 방화 안전 측면에서 고려하여야 한다.

가. 건물자재

- 가연성 건물 (30% 이상의 목재나 가연성 자재로 건축)
- 불연성 건물 (철이나 불연성 자재로 건축된 건물)

나. 천정높이

천정의 높이는 화재시 진화나 방화관리 측면에서 고려하여야 한다.

천정 높이가 10M 이거나 제품 적재 높이가 6 M 이상인 경우 SPRINKLER NOZZLE의 설치위치는 천정으로 부터 10 CM ~ 45 CM 간격을 두고 설치하는 것이 화재시 가장 효율적으로 살수 할 수 있다.

이상적인 단위 저장시설은 천정높이가 7 ~ 8 M 로 불연재료로 건축하고 제품 적재 높이를 5 ~ 6 M 로 유지하는 것이 좋다.

다. 저장시설 면적

방화관리 측면에서는 저장 시설의 용량이 적은 것이 화재시 제품등의 손실을

고려 할 때 유리하다.

고 발열량의 제품 저장시에는 화재시 급속히 확산되므로 1000㎡ 마다 방화벽을 설치하여야 한다.

화재위험이 낮은 제품 저장시설의 경우에도 단위저장 시설면적이 3000㎡ ~ 5000㎡ 를 초과해서는 안된다.

라. 매연 및 열 배기구

저장시설의 지붕배기구는 일차적으로 화재시 매연과 열을 제거하기 위함이다.

화재시 신속히 매연을 제거함으로써 진화작업 하는데 시야를 넓히게 된다.

SPRINKLER를 설치하는 경우에는 살수되는 물이 연소열을 흡수하게 되므로 배기구를 통한 열배기는 고려치 않아도 된다.

또한, 많은 매연을 발생하는 물질의 저장 시설에는 유리창을 설치해서는 안 된다.

바닥면적대 배기구의 권장비율

- | | |
|---------------------|---------|
| ○ 화재위험이 낮은 저장물 | 1 : 150 |
| ○ 화재위험이 보통의 저장물 | 1 : 100 |
| ○ 5M 이상의 가연성 물질 적재시 | 1 : 50 |
| ○ 화재위험이 높은 저장물 | 1 : 30 |

전동기에 의한 강제 배기설비는 정전시 충분한 배기 능력을 발휘할 수 없으므로 가연성 물질 저장시설에는 자연배기 시설이 바람직하다.

마. FIRE CURTAIN

화재시 SPRINKLER를 신속히 작동시킬 수 있는 저장시설에는 FIRE CURTAIN이

나 DRAFT CURTAIN 을 설치하면 CURTAIN 구역내에 매연과 열을 포집하여 전지역으로의 확산을 줄일 수 있다.

CURTAIN BOARD 는 1 M ~ 1.5 M 길이의 불연재료로 설치하여야 한다.

바. 소방시설

저장시설에는 자동식 SPRINKLER 를 설치하여 화재 발생시 자동으로 작동되어 살수될 수 있도록 하여 진화 및 확산을 방지하여야 한다.

적제제품의 특성을 고려하여 열 감지기 또는 연기 감지기와 연동시키는 것이 바람직하다.

제품에 물이 오염되지 않도록 하기 위하여 SPRINKLER는 폐쇄형을 사용하고 있으며 최근 선진공업국에서는 고발포 FOAM을 살포하여 진화 및 화재 확산을 방지함은 물론 살수로 인한 제품의 오염도 예방하고 있다.

석유화학 계통도

