

## 화재사례

# 운전자 조작 실수로 인한 중합반응기 부속장치 폭발

### 1. 일반사항

- 건 물 명 : 폴리에스텔 공장
- 발화일시 : 1989년 8월 25일 01시 05분
- 발화위치 : 분공장동 중합공장 2층 중합반응기(PC-4호)
- 화재원인 : 중합반응기 부속장치 파손으로 누설된 위험물에 인화

### 2. 피해상황

- 재산피해 : 분공장 2층 중합라인 일부 시설 및 부속시설, 배전선로, 원자재 등 약 8억여원 추정
- 인명피해 : 없음

### 3. 공장현황

1953년에 설립된 이 회사는 1969년 말 현재위치에 폴리에스텔 공장을 건설하고 제품생산을 시작한 후 7차에 걸쳐 시설을 증설하였으며 현재는 약 2,000여명의 종업원이 근무하는 대단위 합성섬유 제조업체이다.

건물과 시설은 분공장을 중심으로 인접하여 합성섬유를 가공하는 세미공장과 톱공장, 기타 회수공장, 부산물 재생공장 및 지원설비 등 부속시설과 복지시설, 사무실 등이 분산 배치되어 있다.

또한 소화기를 비롯하여 옥내·외 소화전, 스프링클러, 포 소화설비, 할론 소화설비 등이 각 건물과 시설별로 적절히 분산되어 설치되어 있고 관리상태도 비교적 양호한 상태이다.

화재는 분공장동에서 발생하였으며 분공장 건물의 현황은 다음 <표-1>과 같다.

건물 현황

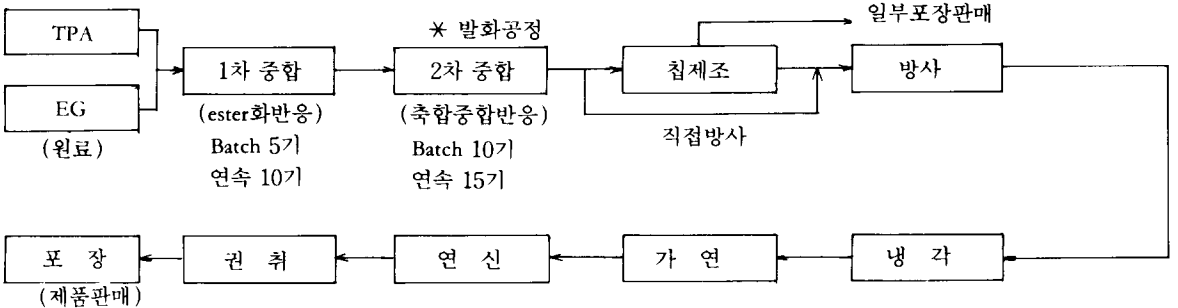
<표-1>

동명	구분	층별	면 적 (㎡)	용 도	구 조	소 방 시 설	건 축 년 도
분 공 장 동	지층		54	용 용 실	벽 : CBr25cm 이상 기둥 : R. C. 지붕 : Slab	소화기, 옥내 소화전, 옥외소화전 자동화재 탐지설비 등	1969년 이후 7차에 걸쳐서 증설
	1층	21,227.05	방사, 가연, 연신				
	2층	8,937.63	중 합, 방 사				
	3층	7,084.81	중 합				
	4층	2,652.08	"				
	5층	1,037.2	"				
	옥탑	56	계 단 실				
	계	41,048.77					

#### 4. 공정개요

공정의 대부분을 차지하고 있는 본공장동은 원료를 투입하여 중합하는 중합공정과 중합체를 방사하여 실을 생산하는 방사공정, 방사된 실을 가공하는 일반 섬유 가공공정으로 대별할 수 있다. (<그림-1> 공정도 참조)

<그림-1> 생산공정도



※ 제품의 종류(단 섬유, 장섬유)에 따라 섬유가공공정이 다소 차이가 있음.

중합공정은 주로 일본에서 수입한 원료인 TPA(Tere Phthalic Acid-백색분말)와 EG(Ethylene glycol-액체 위험물)을 혼합, 가온하여 1차중합(Ester화 반응)과 2차중합(축합중합 반응)을 거쳐 Polyester용융물을 생산하고 이를 다시 압출하여 Polyester-Chip을 만들며 일부는 Chip상태로 포장하여 동남아로 수출하고 일부는 방사공정에서 용융 방사하여 실을 생산한다. (공정중 중합반응기에서 생성된 Polyester용융물을 Chip으로 만들지 않고 바로 용융상태에서 방사하는 공정도 있음)

중합반응기에는 열매체 보일러에 의해 약 260℃ ~ 280℃ 까지 가온하여 반응하지만 진공반응이므로 공정중 정상적인 작업에 의한 폭발위험은 적은 편이다. 그러나 EG를 다량 연속으로 사용하는 위험물 취급장소이고 고온에 의한 반응을 하므로 전기시설은 방폭구조로 설치하였으며 콘트롤 룸 등은 별도로 구획되었고 주변에는 가연성 내장재나 화기사용시설은 없었다.

이번에 화재가 발생한 시설은 중합공정중 2차 중합반응기 PC-4호기의 부분이다. 특히 중합반응에서 미반응된 고온의 EG증기를 냉각 순환하여 재사용하거나 방출하는 중합반응기 부속장치인 냉각기(condenser)가 이번 사고의 주요원인이 된 것으로 판단된다.

#### 5. 화재상황

##### 가. 화재발생

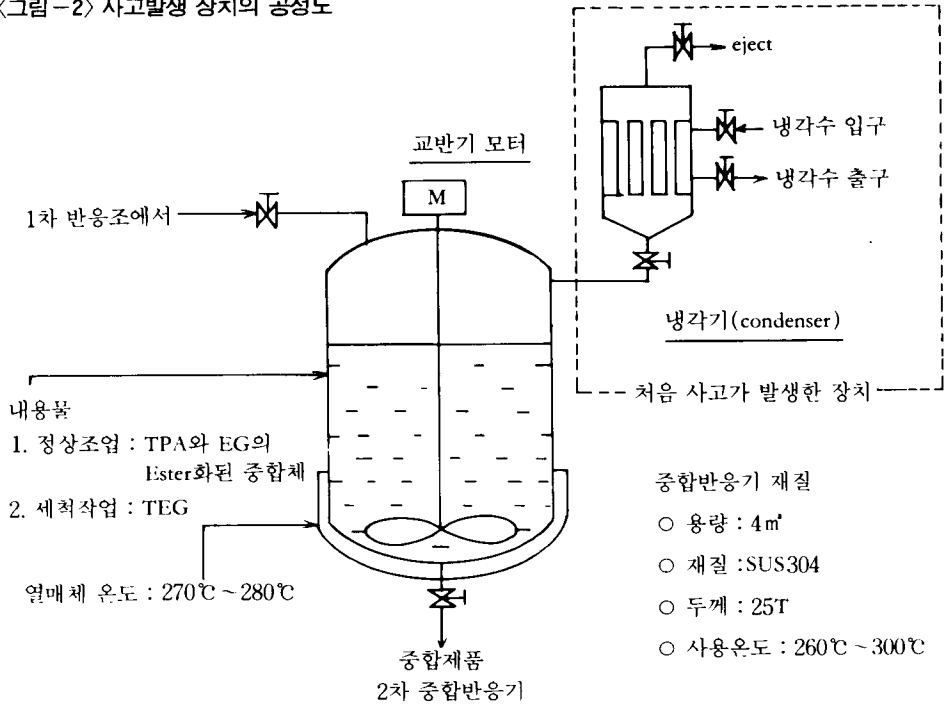
중합공장의 사고 중합반응기 주변에서 경비 근무중이던 경비원 P씨에 의해 처음 발견되었다. 화재를 발견한 경비원은 즉시 경비실로 연락하였고 이와 동시에 공장 내부에 설치된 발신기로도 경비실에 전달되어 경비실에서 소방서에 화재신고를 하였다.

화재는 본공장동 중합공장의 중합반응기 세척작업중 운전자의 조작 실수로 인하여 중합반응기(PC-4호)와 부속장치인 냉각기가 과압에 파손되면서 누설된 세척제 TEG(Triethylene glycol)에 인화되어 일어났다.

PC-4호 중합반응기는 회사 자체의 생산 감축 계획에 의하여 생산을 중단하고 반응기 내부에 붙어있는 polyester 용융물을 세척하는 작업을 실시하던 중이었다.

세척작업의 과정은 중합반응기의 내부온도와 압력을 유지하고 작업의 효율을 높이기 위하여는 중합반응기에 부착된 냉각기의 냉각수 수온을 적절히 조절 운용하여 TEG를 순환시키면서 일정시간을 유지한 후 중합반응기의 출구로 세척된 물질을 배출하면 세척작업은 일단 완료된다(<그림-2> 참조).

〈그림-2〉 사고발생 장치의 공정도



이날도 전날 오후 4시 25분경부터 시작한 세척작업은 먼저 polyester 중합체에 대하여 용해성이 좋은 TEG 4m³를 중합반응기에 주입하고 교반하면서 TEG의 비점에 가까운 280℃까지 온도를 상승시킨 상태로 유지하고 있었으나 중합반응기의 부속장치인 냉각기의 조작 실수로 인한 이상상태를 미처 발견하지 못하여 고온과 과압에 의해 균열된 냉각기의 Shell에서 TEG증기가 누설되어 공장내부에 확산되었고 냉각기 파손때 발생한 것으로 추정되는 전기불꽃에 인화되어 중합공장 2층과 3, 4층 일부 시설이 소실되었으며 전기배선 피복을 태우고 주변으로 연소되어 콘크리트 돔 및 원자재 등 약 1,000㎡의 건물소실로 추정손실 약 8억여원의 재산피해를 내고 긴급출동한 소방대에 의하여 약 30분만에 완전 진화되었다.

#### 나. 진화

화재발생직후 화재를 인지한 공장내 야간 근무자 100여명과 기숙사에 있던 종업원 200여명이 동원되어 공장내 비치된 소화기와 옥내소화전으로 진화작업을 하였으나 위험물인 EG와 TEG 및 진전피복에 의해 급속히 연소확대되어 갔다. 그러나 곧 이어서 화재신고를 받고 출동한 인근 소방파출소의 소방대에 의해 일단 연소확대세가 지지하면서 곧이어 본사에서 동원된 화학소방차 등 소방장비와 소방대에 의해 화재발생 30여분만에 완전히 진화되었다.

나행히 이날 화재사고에서 인명피해는 없었다.

#### • 소방대 출동 현황

자위소방대 : -야간근무자 : 100여명

-기숙사 종업원 : 200여명

소방서(소방파출소 포함) : -소방관 : 109명

-소방차 : 22대(화학차 3대 포함)

#### 다. 화재원인

전날부터 계속된 세척작업으로 중합반응기 상부의 냉각기 shell이 조작실수로 회로가 폐쇄된 상태에서 고온에

의해 형성된 높은 압력으로 균열되면서 내부에서 누설된 세척제 TEG에 인화, 연소 확대된 것으로 판단된다.

사고 후 관계자가 현장을 확인한 결과 냉각기의 냉각수 입출구가 모두 폐쇄되어 있었다고 한다. 정상적인 작업으로는 중합반응기의 내부온도를 280℃까지 상승시키면서 열손실을 줄이기 위하여 냉각수의 유입을 차단하고 냉각수 온도상승에 따른 냉각기 내부압력 팽창을 방지하기 위하여 냉각수 출구는 개방하여야 함에도 이날 근무자의 착오로 냉각수 회로를 폐쇄하여 shell이 균열, 파손된 것으로 추측된다. (포화증기의 압력 60kg/cm에서 포화온도는 274.3℃임) 원인을 정리하여 보면

첫째, 통상 냉각기의 냉각수 입출구의 위치는 냉각기 출구쪽에 냉각수가 유입되고 냉각기 입구쪽에 냉각수가 유출되는 것이 정상이나 이 사고기기는 그 위치가 바뀌어 설치되어 있었기 때문에 중업원의 착각으로 각기 냉각수 입구를 폐쇄한다는 것이 입출구를 모두 폐쇄하였고 이로 인하여 온도상승에 따라 형성된 고압에 의해 냉각기가 파손에 이르게 된 것으로 생각된다.

둘째, 냉각기의 폭발상태로 보아 냉각기 내부에서 고온상태로 있던 위험물 TEG증기가 냉각기의 파열과 동시에 공장내부로 누설 확산되었고 파열된 냉각기 파편이 시설 주변의 전선을 절단하면서 순간적으로 발생한 전기 합선에 의한 불꽃이 누설된 TEG 증기에 인화하여 연소 확대된 것으로 추정된다.

EG와 TEG의 물리적 성질은 <표-2>와 같다.

<표-2> EG와 TEG의 물질적 성질

구분 성질	Ethylene Glycol	Tri Ethylene Glycol
화학식	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> , CH <sub>2</sub> OHCH <sub>2</sub> OH	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> , HO(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> O(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> O(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> OH
비 중	1.1155(20℃)	1.1254(20℃)
비 점	197.5℃	287.4℃
융 점	-12℃	-5℃
증기압	0.5mm(20℃)	<0.01mm(20℃)
인화점	116℃	166℃
발화점	118.5℃(개방)	174℃(개방)
비 열	0.561(20℃)	0.528(28~33℃)
특 성	○ 무색 무취의 액체 ○ 증발속도가 아주 낮다	○ 무색 무취의 액체 ○수산기와 에테르기를 각 2개씩 갖고 있으므로 용제로서 우수함

## 6. 문제점

사고의 직접 원인이 된 사고 냉각기의 냉각수 입출구 밸브 위치가 일반적인 시설과 달리 반대로 바뀌어 설치되어 있었는데 이를 교체하지 않고 그대로 다른 냉각기와 함께 사용하여 근무자가 무심코 정상상태와 같은 것으로 혼동하여 조작한 것이 폭발에 이르게 된 것으로 생각된다. 물론 설비의 특수성에서 었는지 모르지만 안전과 관계되는 이러한 유형의 시설은 가능하면 같은 기준에서 설계 제작되어 운전자가 착오없이 손쉽게 운용할 수 있도록 할 필요가 있다. 특히 이렇게 특별한 구조의 상태로 운전되는 시설은 운전 개시전 관련 운전자의 교육과 운전중 운전책임자의 수시확인이 있어야겠다.

작업자의 근무 교대시에는 시설의 특별한 구조와 현재의 운전상태 등 사소한 사항이라도 빠짐없이 다음 근무자에게 인계하여 근무에 착오가 없도록 하여야겠다.

사고는 예고가 없다. 항상 교육, 훈련과 확인, 점검을 철저히 하고 불량한 사항은 바로 보완하여 사고를 미연에 방지하도록 하여야 할 필요가 있다.



사진1. 반응기부속장치의 폭발로 파괴 절단된 반응기와 전선배관들.  
(전선 절단시 쇼트에 의한 불꽃이 화재의 원인이 된 것으로 추정됨)

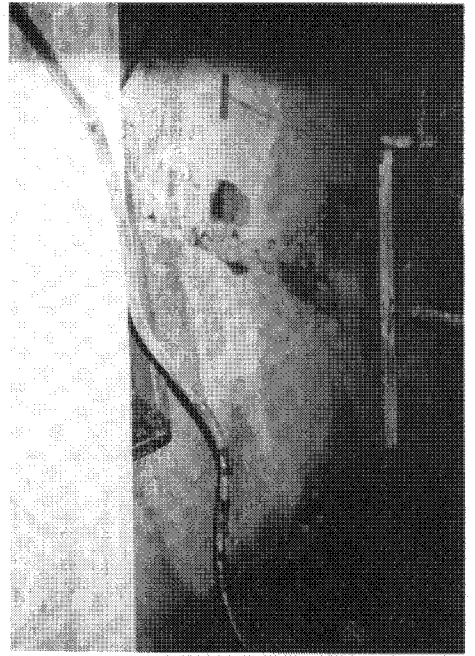


사진2. 반응기부속장치 폭발시 폭풍압에 의해 파손된 내부벽(시멘트 벽돌조)

사진3. 4. 화재확산으로 연소피해를 입은 주변 장치와 콘트롤 판넬 내부장치.

