

# 火災事例

## | Humber 정유공장 |

**2001**년 4월 16일 오후 2시 경, 영국의 정유공장인 Humber refinery에서 대형 폭발이 일어났다. 엄청난 폭음과 함께 시작된 이 사고는 배관 엘보 파열로 인한 가스누출로 추정되고 있다.

이 사고로 70여명이 부상당하고, 정유공장의 시설이 큰 피해를 입었으며, 이는 노후된 시설에 대한 체계적인 관리소홀로 발생한 사고로 보여 진다.





## 1. 일반사항

- 소 재 지 : 영국 Humber Estuary
- 발화일시 : 2001. 4. 16(월) 오후 2시 20분 경
- 발화장소 : 정유공장 내 포화가스플랜트(SGP)
- 인명피해 : 70여명 부상
- 재산피해 : 170톤의 LPG 손실 및 시설 파손
- 발화원인 : 배관 엘보 파열로 인한 가스누출

## 2. 시설개요

Humber Refinery는 Immingham에서 북서쪽 1.5km, South Killingholme에서 동쪽으로 0.5km 떨어진 Humber Estuary의 남쪽 제방에 위치한 480에이커 면적의 정유공장이다.

정유공장은 A160번 이차선 화물도로에 의해 나뉘어 지는데 서쪽 경계는 Eastfield Road와 인접하며 북쪽은 Lindsey Oil Refinery와 경계가 되는 철길이 있다.

Humber Refinery는 Conoco-Phillips사가 영국내에서 운영하는 유일한 정유공장으로서 운영에 필요한 설비 및 운송 기반시설을 충분하게 갖추고 있다. Conoco-Phillips사는 현장 직원 750여명과 프로젝트 또는 진행 중인 사업의 성격에 따라 유동적으로 도급 계약직원을 고용하고 있었다. 이 회사는 전국 각지에서 유류 소매 등의 관련 사업도 하고 있다.

### 2.1 정유공장의 역사

1966년 건설에 착수하여 1969년 완공되었으며, 1969년과 1970년 사이에 가동을 시작하였다. 정유공장의 초기 생산용량은 하루 9만 배럴정도였으며 연간 420만 톤이었으나, 1970년대 중반에 용량을 60% 증가시키고 석유 코크스 생산량을 50% 증가시키는 공사가 있었다. 공장 증설에 따라 이차 촉매제 리포머, 액화 촉매 열분해 장치, 알킬화 장치를 포함하는 휘발유 및 연료 생산에 주로 관련된 시설의 추가건설이 있었다. 정유공장에 대한 총 투자금액은 7억 5천만 달러가 넘었다.

## 2.2 관리구조

2001년 사고 당시, 6개의 부서 관리자 및 운영관리자 팀이 현장을 관리하고 있었다. 직업안전, 인사관리 및 경리부서 관리자는 운영관리자에게 보고하며, 운영관리자와 기술관리자는 정유공장 관리자에게 보고하도록 되어있었다. 이러한 관리자들은 정유공장 리더십 팀(RLT)에 소속되어 있었으며, 구성은 다음과 같다.

- (1) 생산 : 생산계획, 중앙통제실 운영 등을 통하여 생산을 최적화한다.
- (2) A~D 부분 : 각각 지정학적 영역 또는 공정플랜트의 그룹을 담당한다. 외부 운영자, 관리 등을 포함하여 플랜트 생산능력의 최적화를 담당한다.
- (3) 테크니컬 서비스 : 공정 기술자, 설계, 프로젝트, 점검을 담당한다.

## 2.3 Humber Refinery의 위험

현장의 잠재적인 대형사고 피해는 도미노 효과로 인해 인접한 Lindsey Oil Refinery의 운영에도 지장을 줄 가능성이 있어 중요하게 고려해야 한다. 가장 가까운 마을인 Immingham은 인구가 약 1만1천명으로 남동쪽 1.5km에 위치하고 있으며, 가장 인접한 거주지는 서쪽 500m지점의 South Killingholme(인구 1,100명), 북서쪽 1.5km지점의 West Killingholme(인구 300명)이다.

주요 위험은 영국에서 운영중인 대부분의 정유공장에 일반적으로 존재하는 것으로서 인화성 액체 또는 가스가 고온·고압으로 누출되어 화재·폭발로 이어지는 것과, 다양한 독성물질 및 촉매의 누출로 인한 중독 위험이다.

보건안전환경(HSE) 팀은 현장 경계로부터 1km 이내에서 중요한 공사를 하는 경우에는 HSE에 문의하도록 하고 있었다. 이 구역은 또한 현장의 위험 및 비상시 행동 요령을 공지하기 위해 Conoco-Phillips사에서 제공하도록 되어있는 공공안내구역과도 일치한다.

정유공장은 환경문제에 많은 노력을 기울여 왔으며 저항제품 생산은 물론 1990년 이후 친환경 프로젝트에 1억 달러가 넘는 자금을 투자하였고 ISO 14001에 등록되어있다.

## 2.4 포화가스 플랜트

정유공장은 탄화수소를 처리하여 석유 코크스, 프로판/부탄(LPG) 및 휘발유, 경유, 항공유와 같은 다양한 제품을 생산한다.

여러 개의 작업 단위로 나눌 수 있는데 포화가스 플랜트(SGP)는 탄화수소 제품을 분리하는 작업단위이다. 2001년 4월 16일의 사고가 바로 포화가스 플랜트에서 발생하였다. SGP에는 3개의 증류탑이 있는데, 첫 번째 증류탑은 주로 X452와 X453 응축기로 이동하는 액체 및 증기에서 메탄, 에탄 및 프로판을 제거하는 탈에탄기 W413이다. 분리된 물질은 인화성이 매우 높으며, 분리된 증기는 냉각되어 주로 응축 프로판



이 된다. 응축되지 않은 증기는 정류공장의 연료가스설비로 보내진다. 그림 1에서 보듯이 4363번 배관은 탈에탄기의 상부와 응축기를 연결하는 배관이다.

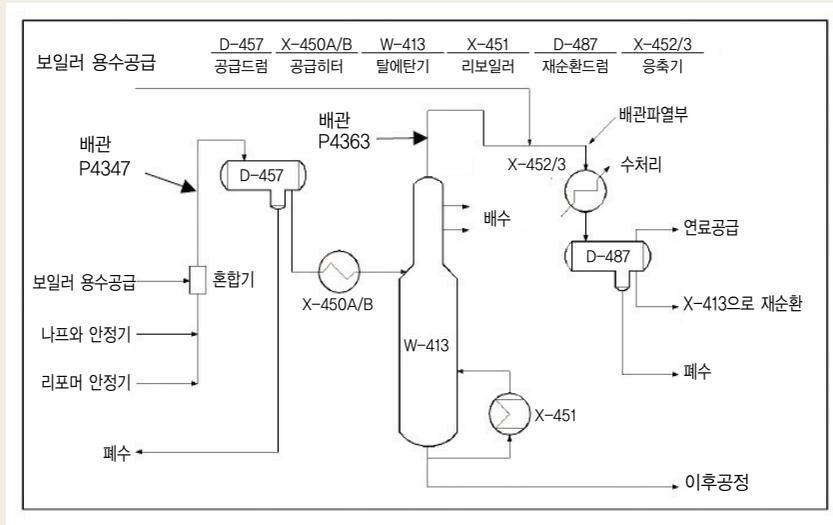


그림 1. 공정 흐름도

### 3. 화재상황

사고가 발생한 날은 부활절 연휴의 월요일이었으며, 오전 내내 SGP는 정상 가동 중이었고 중앙통제실 (CCR)에는 어떠한 경보도 없이 조용한 상태였다. 평일에는 800명의 인원이 근무하지만 이른 오후 현장에는 185명의 인원만이 있었으며, 대부분의 직원은 오후 3시에 근무교대를 하기 위해 건물 내에 있었고, 옥외에서 몇 명만이 작업하고 있었다.

14시 20분경, SGP 배관의 용수주입구 하류의 엘보에서 치명적인 사고가 발생하였다. 고압의 인화성 가스가 지나가는 직경 6in.의 P4363에서 파열이 발생하여 농도 90%의 에탄·프로판·부탄가스가 거대한 구름형태로 누출되었으며, 20~30초 후 가스가 점화되어 대규모 폭발과 화재가 발생하였다.

### 3.1 초기 누출과 폭발

목격자의 증언에 따르면 매우 큰 소음이 발생하면서, SGP에서 제트 분출처럼 보이는 증기가 플랜트를 가로질러 남동쪽 대각선 아래방향으로 분출되어 20~30초간 지속되었다고 한다.

직원용 버스를 운전하던 운전사는 굉장히 큰 “싹싹”하는 소리를 들었으며, 제트형태로 분출하는 증기를 보았다고 한다. 바로 “우지끈”하는 소리와 거대한 화구(Fireball)를 보았으며, 곧이어 폭발소리를 들었다고 한다. 이 때 버스의 전면유리가 모두 깨졌고, 측면창이 깨져 자신에게 쏟아졌다고 한다.

높은 위치에 있던 다른 목격자는 SGP 좌측열의 지면보다 높은 지점에서 매우 밝은 섬광을 보았다. 1~2초 후 폭발음과 함께 더욱 큰 섬광이 발생하였으며, 두 번째 섬광은 탈에탄기 탑의 중간부분에서 상부로 대각선 방향으로 이동하였다. 섬광은 대형 폭발과 함께 직경 30m가 넘는 화구로 이어졌다.

발화지점은 탈에탄기와 안정기 컬럼 사이의 병합·공급 드럼(Surge-feed drum) 인근이었다. 현장에 처음 도착한 Conoco-Phillips사 비상대응팀의 한 대원은 순노란 색의 화염이 탈에탄기 배관 컬럼의 2/3 높이 지점에서 맹렬하게 불타며 높은 압력으로 뿜어져 나오는 것을 보았다고 한다.

첫 폭발 후 10~15분이 지난 14시 35분경 추가적인 누출이 발생하여 화구가 다시 발생하였다. 화재는 더욱 커져서 대략 35~45m의 높이와 30m의 너비로 확대되었으며 안정기와 프로판·부탄 컬럼까지 확대되었다.

파열된 P4363을 통해 지나는 가스는 약 90%가 에탄·프로판·부탄으로 구성된 인화성이 강한 혼합물이다.

화재가 진행되면서 과열로 인해 여러 개의 다른 압력배관들이 강도가 약화되어 파열되었다. 이로 인해 추가적인 누출이 발생함으로써 화재에 연료가 공급되었으며, 약 15분 후 또 다른 화구가 발생하고 연속적으로 작은 화구들이 발생하였다.

### 3.2 현장에 대한 영향

사고로 인해 약 180 톤의 인화성 액체 및 가스와 정유과정 과정에서 발생하는 독성 수소 황화합물 가스가 0.5 톤이 조금 넘게 누출되었다. 이중 약 80 톤이 SGP 자체에서 누출된 것으로서 65톤이 가스였고, 15톤이 액체였다. 나머지 60톤의 가스와 40톤의 액체는 폭발 및 화재로 인하여 발생한 SGP에 연결된 주변 배관의 손상으로 인해 누출된 것이다. 이러한 누출은 밸브가 잠겨 화재가 멈출 때까지 공급되었다.

폭발 충격으로 인해 SGP는 심각한 피해를 입었으나 다행히 가로 175m 세로 80m 크기의 증기운이 폭발할 때 주변에 아무도 없었다. 폭발 후 이어진 화재로 인해 SGP에 추가로 심각한 피해가 발생하였다.

이 외에 폭발지점으로부터 400m 떨어져 있었던 건물도 심하게 손상되었으며, 운영직원용 식당건물도 심각한 피해가 있었는데 건물에 사람이 있었다면 깨진 유리창 때문에 심각한 부상이 발생했을 것으로 판단된다. 직원 식당, 점검서비스 건물, 간이화장실도 유리창이 깨지고 문과 천장이 파손되었으며 벽돌조각금이 가고 이탈되는 피해를 입었다.



사진 1. 사고 후 SGP의 피해현장(a)



사진 2. 사고 후 SGP의 피해현장 (b)



사진 3. 사고 후 SGP의 피해현장(c)



사진 4. 사고 후 SGP의 피해현장(d)

사진 1은 사고 후 SGP의 피해현장을 W314의 우측에서 촬영한 것이다.

SGP에서 175m 떨어진 건물 안에 있던 3명은 폭발로 인해 날아가 있으며, 그 중 한명은 머리를 문의 강화유리판넬에 부딪혀 유리가 깨질 정도의 충격을 받았다. 라커룸에 있던 한명은 방을 건너 날아가 떨어지면서 먼지로 인해 눈에 상처를 입고 유리파편으로 인해 안면부와 목에 상처를 입었다.

또한, 임시발판에서 일하던 용역직원들은 날아가 떨어지면서 기절하였으며, 폭발로 발생한 검은 그을음의 분진과 연기로 인하여 호흡기피해를 입었다. 다행히 모든 사람들은 치료를 받은 후 건강을 회복하였다.

사고로 인하여 정유공장은 수 주간 동안 가동을 중단하였다.

### 3.3 주변에 대한 영향

Humber Refinery에서의 폭발은 반경 1km 범위내의 주택과 사무용 건물도 피해를 주었다.

주변지역, 특히 South Killingholme의 주택 및 사무실의 유리창이 파손되는 심각한 재산 및 인명 피해가 있었다. 약 370건의 피해가 보고되었는데, 주로 유리창의 파괴와 천장 및 벽체의 균열이었다. 이 피해로 2명의 부상자가 병원에 입원하였다.

부상을 입지는 않았지만 쇼크와 고통의 징후를 보인 주민들이 있었으며, 공장 근로자와 인근 주민을 합쳐서 모두 71명의 부상자가 발생하였다.

지역 주민들은 커뮤니케이션 부족의 문제를 제기하였다. 그들은 유독가스의 누출이 있는지도 몰랐고, 그에 따라 자신을 보호하기 위해 취해야 할 조치도 알지 못했다. 문과 창문이 파괴된 경우에는 문과 창문을 닫으라는 일반적인 조치도 무용지물이었다.

지역 사업체들은 4월 16일이 은행 휴점일이라 대부분이 근무를 하지 않았다. 인접한 차고 건물은 유리창의 파손 및 천장의 타일과 환기설비 부품이 이탈되는 등의 피해를 입었다. 지붕은 원위치에서 이탈했다가

들보에 다시 안착한 것으로 보이며, 차고의 금속제 롤러 셔터 문이 심하게 일그러지는 피해가 있었다.

Humber Refinery에 인접한 Lindsey Oil Refinery의 건물들도 피해를 입었으나 다행히 공정플랜트는 피해를 입지 않았다.

폭발의 잔해물은 광범위하게 비산되었는데 A160번 2차선 화물도로 위에 어지럽게 널려진 잔해물로 인하여 진입하려 온 소방차의 진입이 늦어지게 되었다. 또한, 금속 외피와 가벼운 파편들은 500m에서 5km까지 날아갔다.

### 3.4 비상대응

Conoco-Phillips의 비상대응팀은 Humberside 소방대가 참여하는 가운데 화재진압을 하였으며, Lindsey Oil Refinery의 소방대도 기존의 상호 협력 체계에 따라 소화활동을 도왔다. 다음의 사건진행순서는 목격자의 증언을 토대로 작성되었다.

#### (1) 14시 20분

비상대응팀 대원들이 폭발음을 듣고 화재현장으로 출동하였으나 화재의 정확한 위치를 찾는데 어느 정도 시간이 소요되었다. 중앙통제실에서 화재가 방향족 장치의 수소압축기에 위치하므로 정유공장의 A도로로 향해야 한다고 무전으로 연락이 왔으나 대원들은 화염이 White Oils 구역에 위치한다고 판단하였다.

중앙통제실엔 창문이 없어서 TV 모니터로만 화재를 지켜보던 플랜트 책임자는 정유공장 전체경보기 울리도록 명령한 뒤 사건 지휘를 맡기 위해 중앙통제실을 떠났다.

선두지휘 차량과 소화 장비들이 현장에 도착하였다. 비상대원들과 운전원들이 직접 살수를 위해 물 포탑, 모니터와 호스를 설치하였다.

중앙통제실에서는 SGP의 밸브를 수동모드로 전환하여 닫아서 각 배관 사이의 흐름을 차단하였다. 화재현장에서는 SGP로의 공급이 다른 쪽으로 돌려졌고 SGP의 공급배관은 격리되었다.

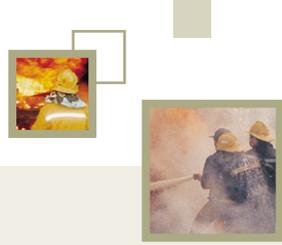
다른 운전원들은 탄화수소계 원료가 화재에 공급되는 것을 막는 예방조치로서 거의 모든 밸브를 잠갔다. 이 시점에 화재로 인한 열은 매우 강렬하였다.

#### (2) 14시 35분

두 번째 화구가 발생하였다. 대원들은 화구로부터 방출된 강렬한 열에 노출되었고 탈출하는 동안 고온의 연소 잔해가 그들에게 떨어졌다. 대원들은 휘발유 이송밸브를 차단할 수 없었다.

#### (3) 14시 40분

플랜트 책임자는 중앙통제실에 있던 생산 책임자를 호출하여 화재가 제어 불가능하므로 공장가동을 중단하라고 명령하였다. 생산 책임자는 권한을 받아 정유공장의 중대사고계획(Significant Incident



Plan, SIP)을 실행하였다. SIP팀의 대원들이 소집되었다. 소방대 지휘관은 현장의 모든 대원들이 안전하다는 것을 보고받았다.

(4) 14시 52분

Humberside 소방대는 10대의 장비와 소방대원들을 동원하여 Conoco-Phillips와 Lindsey Oil Refinery의 소방대와 함께 진화작업을 하고 있었다.

(5) 15시

중앙제어실에서 또 다른 차단 밸브를 확인하여 밸브를 닫았다. White Oils Field의 책임자는 구(舊) 주제어실에 도착하여 잔여 차단 밸브를 찾기 위하여 SGP 플랜트 및 공정도면을 확인하였다. 그는 차단밸브의 리스트를 작성하여 무전으로 현장에 전달해 화재에 공급되는 연료를 차단하도록 하였다.

이때 화재상황은 더욱 악화되었고 검은 연기가 발생하는 것을 미루어 볼 때 인근의 폐쇄 블로우다운(Closed Blow Down, CBD)장치에서 중유가 공급되고 있는 것으로 생각되었다. CBD의 현장 책임자가 무전을 받을 수 없었기 때문에 White Oils Field의 책임자는 그를 직접 만나서 CBD에 급유를 중단하라고 명령해야 했다. 이것은 정유공장 가동을 중단하는 표준절차의 일부였다.

White Oils 구역의 현장 운전원이 소방대원과 동반하여 SGP의 동쪽 쓰레기장에 추가 모니터를 설치하였다. 운전원은 cokers에서 나오는 오염된 배수를 저장한 탱크가 화재의 열로 인해 휘어지는 것을 알아차리고 근처에서 모니터를 가져와서 하소기 구역에 설치된 호스에 연결하여 소화작업을 하였다.

얼마 후, SGP 탈에탄기(W413)의 화재는 거의 진압되었으나 SGP 안정기(W414)의 동쪽에 위치한 파이프 랙의 화재는 계속되었다.

비상대응팀의 대원 2명이 SGP의 동편으로 가서 파괴된 라인을 확인하려 하였으나 화재가 너무 강하여 접근이 불가능하였다.

(6) 15시 30분 직전

White Oils Field의 책임자는 화재보호장비를 착용하고 수막보호를 받으면서 누출지점을 파악하기 위해서 손상배관부분에 가까스로 접근할 수 있었다. 그는 배관의 두 군데에서 누출하는 곳을 발견하였고 유동촉매 열분해 장치와 극저온장치 사이의 고압배관이 차단되었음을 확인하였다. 이를 바탕으로 그는 급속차단밸브(slam-shut valve)가 동작하여 공급이 차단되었어야 함에도 불구하고 극저온 장치의 파열된 배관에서 연료가 계속 공급된다고 결론지었다. 극저온장치에 연결된 3개의 차단밸브를 잠갔더니 화재가 상당히 줄어들었다.

화재는 14시20분 발생하여 15시 30분에 일차 제어를 할 수 있었고 17시 10분에는 대부분 진화되었으며 21시 01분에 Humberside 소방대가 완전진압 되었다고 선언하였다.

병합·공급 드럼의 화염은 가스를 모두 소진시키기 위해 일부러 방치되었고 다음날 진화되었다. 현장 밖의 비상경보(공공 경보)는 사고 중 한번도 울리지 않았다. Conoco-Phillips사에 따르면 이

현장 밖의 비상경보는 발생할지도 모르는 독성 가스 누출을 위한 것이라고 한다. 이번 사고는 경보도 없이 즉각적으로 일어났고, 현장 밖 비상계획은 발효되지 않았다.

Humberside 소방대외에, 다른 비상단체들도 사고를 진압하기 위해 중대한 노력을 기울였다. 경찰은 정유공장 주변의 도로를 차단하였고, 인근 거주자들은 창문을 닫고 주택 내부에 머무르도록 통보받았으며, 구조차는 현장으로 소환되었고, 지역 병원은 중대사고대응절차를 시작하였다. 사고지역의 재산 피해는 막대하였으나, 다행히 심각한 부상자는 없었다.

## 4. 사고분석

폭발사고의 주 원인은 탈에탄기(W413)로부터 SGP의 열교환기(X452)로 이어지는 P4363으로 알려진 직경 6 in. 배관의 침식과 부식이다. 파열은 원래 설계의 일부가 아니었던 용수주입구의 하류 및 직근부에서 발생하였다.

파열된 엘보가 포함된 배관이 사고현장에서 수거되어 금속학적으로 시험되었다. 이 배관 부분에는 엘보에서 670mm 상류에 있는 용수주입구도 붙어있었다.

시험의 결과는 엘보 외벽에서 '침식-부식'으로 인하여 엘보의 두께가 내부압력을 견디지 못할 정도로 얇아지게 되어 파열되었다는 것을 보여주었다. 파열부 주위의 두께는 약 7~8mm에서 최소 0.3mm까지 얇아져 있었다. 파열이 발생했을 때 파국적으로 폭발하며 개방되어(사진 6참조) 배관의 내용물이 최대방출형태로 누출하였다.

박막화의 범위는 엘보와 그 직근 배관부인 것으로 파악되었다. 박막화의 패턴은 용수주입구와 용수가 흘러가는 경로, 그리고 엘보의 바깥쪽 내벽에 나타났다. 금속학적 시험결과 부식되지 않은 배관부위는 내부에



사진 6. 배관이 파열된 현장 모습



흑철황화물로 코팅되어있는 것으로 밝혀졌다. 이것은 '패시베이션' 층('passivation' layer)으로 코팅으로 서 탄소강 벽의 추가적인 부식을 막는 역할을 한다. 그러나 용수주입을 하게 되면서 보호코팅막이 씻겨져 내려가게 되었고 배관은 부식에 그대로 노출되었다. 그러므로 엘보에는 침식/부식이 일어날 수 있게 되었고, 배관의 박막화가 진행되어 결국 파열되었다.

#### 4.1 SGP에서의 물 세정 적용

공정흐름에 용수를 주입하는 것은 염분 또는 수화물을 용해시키기 위한 것이었다. 염분 또는 수화물은 설비 내에 누적되어 공정흐름을 막아 배압을 발생시킬 수 있기 때문이다.

사고당시 SGP에는 2개의 용수주입구가 있었다. SGP의 본 설계에서는 P4347배관의 공급 드럼 앞에 있는 공급라인의 유체 속에 용수를 주입하는 주입구가 있었다. 이것은 공급유체속에서 알려진 부식물질을 제거하기 위해 계속해서 사용되었다. 다른 주입구는 P4363 배관(그림 1참조)의 상부배관에 있었다. 이 주입구는 본 설계의 일부는 아니었으나 공장 가동이 시작된 후 곧 추가되었다.

P4363 주입구의 설치와 사용은 제대로 문서화되지 않았다. 1980년대 초반부터 1995년 까지 간헐적으로 필요할 때만 사용하거나 아예 사용하지 않기로 결정될 때까지 이 용수주입구는 지속적으로 사용되었다는 증거가 남아있다. 간헐적 사용으로의 변화는 변경관리(Management of Change, MoC) 절차에 따르지 않았으므로 부식 잠재력에 대한 어떤 평가도 없었다. 2000년 2월, 상부 설비에서 P4363의 주입구로 용수공급라인의 오리피스 크기를 증대시키는 변경관리절차가 진행되었다. 이러한 변화로 인해 기존의 오리피스 사이즈와의 차이로 인해 용수의 유량이 낮아지는 결과가 생겼다. 그러나 이때 용수주입구가 하류 배관에 미치는 영향에 대한 재평가의 기회를 가지지 못했다.

2000년 또는 2001년 초반에 P4363의 용수주입구가 다시 지속적으로 사용되기 시작하였다.

#### 4.2 용수주입구의 설계 - P4363 배관(파열된 배관)

공장이 가동된 후 얼마 되지 않아 염분과 수화물이 열교환기 X452/453에 누적되어 고장을 일으켰다. 이것은 본래 설계된 P4347 세정기로의 세정용수 공급이 예상했던 것보다 효율적이지 못했다는 것을 의미했다. 이것을 해결하기 위해, 1981년 11월경 문제에 대한 세부적인 연구 끝에, Conoco-Phillips사는 탈탄기 컬럼과 열교환기 사이, 즉 P4363 배관의 증기 흐름에 물을 주입하기로 결정하였다.

용수주입구는 P4363배관위에 있는 기존의 1in. 배기구에 물을 주입함으로써 만들어졌다. 오른쪽으로 휘어지는 엘보에서 670mm 상류지점이었다. P4363배관은 지면에서 9m 높이에 있었다. 이때 주입관이나 다른 분산장치 없이 용수를 제트 형태로 주입하였다.

이 변경사례는 당장의 고장을 고치기 위한 '빠른 수리'의 전형이다. 기존의 배기 밸브를 이용하여 물을 주입한 것은 편의주의적인 생각이었으며, 이 수리를 위해 공정중단시간이 거의 또는 아예 없었다는 것을 의미한다.

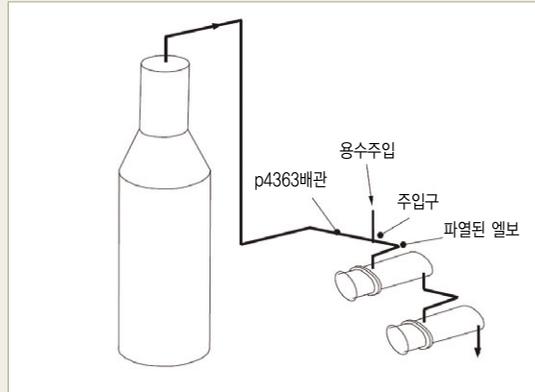


그림 2. SGP의 배관 개념도

이 '빠른 수리'는 변경사항을 위한 기술 공문을 요구하는 변경관리 시스템에 제대로 운영되지 않았기 때문에 가능하였다. 따라서, 변경관리 시스템이 실행되었더라면 몇가지 규정에 대하여 변경의 필요성과 그 효과에 대해 평가할 수 있었을 것이었다.

플랜트 설계자들이 수행한 최초의 위험성평가 연구에서 시설 변경이 누출로 이어질 수도 있으므로 현장의 변경을 통제할 절차과정을 시행할 것을 권장하였었다.

잠재적인 부식 환경에서 배관으로 지속적인 제트형태의 용수주입이 이뤄지는 상황에서 기술자들이 배관 전체에 대한 침식의 영향에 대해 자각했어야 했다. P4363의 용수주입구의 위치가 배관 파열의 가장 큰 요인이었다.

## 5. 문제점과 대책

### 5.1 배관 점검관리

Conoco-Phillips사는 효과적인 SGP의 배관 점검 체계를 세우는데 실패하였다. 사고당시의 점검 체계는 당시의 산업 수준에 비해서 한참 떨어진 수준이었다. 또한 플랜트내의 다른 부분에 대한 경험 지식을 사용하지 못해 SGP 배관의 점검 필요성을 알지 못하였다. 오랜 시간 충분한 배관 상태에 대한 자료를 수집하여 점검 데이터베이스에 집적하고, 배관의 안정성과 향후 점검요구사항의 평가를 얻었어야 했다. 이러한 사항이 빠진 점검 체계 및 평가는 불충분한 것이다.

배관 점검관리를 위한 대책은 다음과 같다.



- (1) 효과적인 배관 점검 체계가 고위험 배관에서 필수적인 대형사고 예방대책이다.
- (2) 점검 체계는 최소한 현재 업계의 준수한 표준수준에 맞아야 한다.
- (3) 점검 주기를 정할 때는 공정 상태와 지난 점검 결과에 대한 적당하고 충분한 정보에 바탕을 두어야 한다.

## 5.2 변경 관리

P4363배관의 용수주입구의 설계 및 설치과정은 변경관리 평가를 받지 않았다. 변경 관리 평가를 제대로 받았더라면 용수주입구의 설치로 인한 하류 배관의 부식 위험을 파악할 수 있었을 것이다. 비슷하게 플랜트의 가동기간 중에 용수주입구를 간헐적으로 사용하다가 지속적인 사용으로 변화했을 때에도 관리 평가를 받지 않았다. 용수주입구의 사용빈도는 배관 부식률의 중요한 변수이다. 용수주입구를 사용한 기간동안에 지속적으로 더욱 자세하고 빈번한 점검을 통해 배관의 안정성을 감시했어야 했다.

변경관리를 위한 대책은 다음과 같다.

- (1) 플랜트 시설 및 공정의 변화를 고려하는 효율적인 변경관리 체계가 대형사고 예방에 필수적이다.
- (2) 새로운 플랜트의 가동 및 운영초기에 발생하는 ‘빠른 수리’ 과정에서 생긴 변경사항이 고려되었는지에 대한 특별한 주의가 필요하다.

## 5.3 부식 관리

Conoco-Phillips사의 SGP에 대한 부식 관리는 철저함이나 체계적인 면에서 P4363의 파열을 막기에 충분하지 못하였다. 1992년에 용수주입구 인근의 탄소강 배관의 취약성에 대한 구체적 정보를 입수한 후에, 정유공장의 정규직 부식 기술자를 고용하고, 구간별로 부식을 검토하고 공정 흐름을 추출하고 부식 탐침을 이용하여 부식정도를 모니터링 하는 등의 긍정적인 조치가 있었다. 그러나 이러한 조치로 인해 자료 수집과 조사를 불충분하게 수행하여 SGP의 잠재적 사고요인인 부식을 파악하는데 실패하는 실수를 저지르게 되었다.

부식관리를 위한 대책은 다음과 같다.

- (1) 주요 위험 시설의 부식을 효율적으로 관리하기 위해서는 체계적이고 철저한 부식 관리 체계가 필요하다.
- (2) 그러한 체계에서는 부식으로 인한 열화 메커니즘에 대한 모든 정보가 파악되고 대응되고 있는지를 확인해야 한다.
- (3) 기준이 충분히 준수되고 유지되는지를 확인하기 위해 관련 전문가를 포함한 충분한 정보원이 확보되어야 한다.