H공업(주) 폭발 화재

내부압력의 급격한 상승으로 합성탑 폭발

— 2차 폭발 방지를 위하여 플랜트 냉각시켜 —

사망 6명, 중상 4명, 재산피해 5억여원

1. 일반사항

- 건 물 명 : H공업(주)
- 소 재 지 : 경남 울산시 남구 소재
- 사고일시 : 1988년 5월 2일(월요일) 17시 5분경
- 발화위치 : 공장내 말로네이트(DIPM) 제조 플랜트
- 사고원인 : 과압에 의한 합성탑(반응조)의 폭발

2. 공장개요

경남 울산시에 위치한 당 공장은 1964년 8월에 설립된 이래 비료 분야를 시작으로 하여 중화학 공업 분야, 정밀화학 분야 및 기계 제작 분야 등을 두루 갖춘 국내 굴지의 종합화학 공장으로 성장하면서 오늘에 이르고 있다.

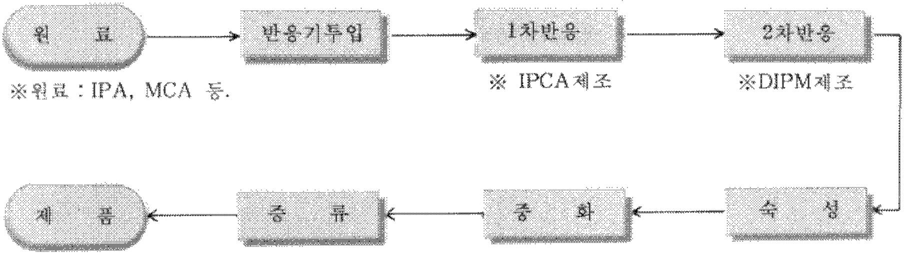
종업원은 생산직 400여 명과 사무직 200여 명으로 구성되어 있으며, 주요 생산물로서는 요소를 비롯, 멜라민, 콜린 클로라이드, 개미산, 디메틸 포름아마이드, 말로네이트 등 각종 화학 제품과 그 밖의 초저온 이중용기, 구형 탱크 및 화학 기기 장치류를 제작하여 국내 시장과 동남아, 유럽 등지의 세계 시장에 수출 판매해 오고 있다.

이번에 폭발, 화재 사고가 발생한 말로네이트(DIPM)제조 플랜트는 위의 여러 플랜트 중 한 부분으로서 개발부터 설계, 제작 및 생산 가동까지 전 공정이 자체 기술진에 의하여 이루어진 설비이며 1984년에 준공하여 1985년부터 정상 가동을 시작하였고, 그 동안 수주에 의한 생산 체계로서 필요시마다 가동해 오고 있었다.

3. 공정 요약

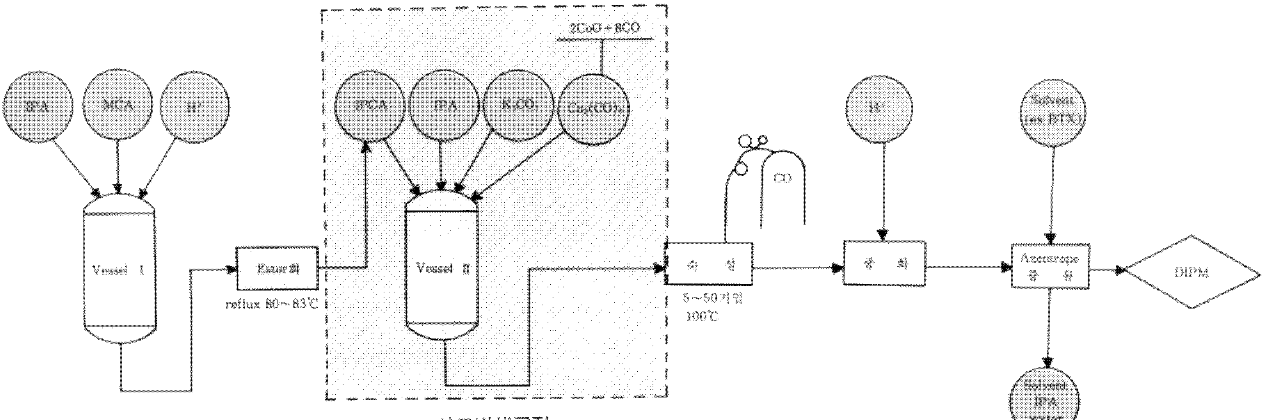
DIPM은 모노 클로로 초산(MCA)을 기본 원료로 하고, 여기에 수소, 일산화탄소 및 이소프로필 알콜(IPA) 등과 촉매를 가하여 고압 상태를 유지, 반응(발열 반응)시켜 만들며, 다시 톨루엔 등의 솔벤트를 투입, 증류하고 고순도의 제품을 얻게 되는데, 본 공정은 회분식(Batch)시스템으로 이루어져 있다.

가. 공 정



〈그림 1〉

일반적으로 본 공정의 flow sheet는 <그림 1>과 같이 나타낼 수 있으며, 이번에 사고가 난 공정은 2차 반응 공정으로 추정된다. <그림 2>

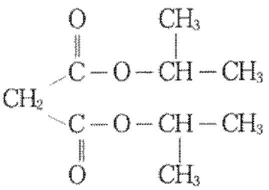


※ 사고발생공정

〈그림 2〉

※ 참고로 DIPM의 물성 등을 살펴보면 다음과 같다.

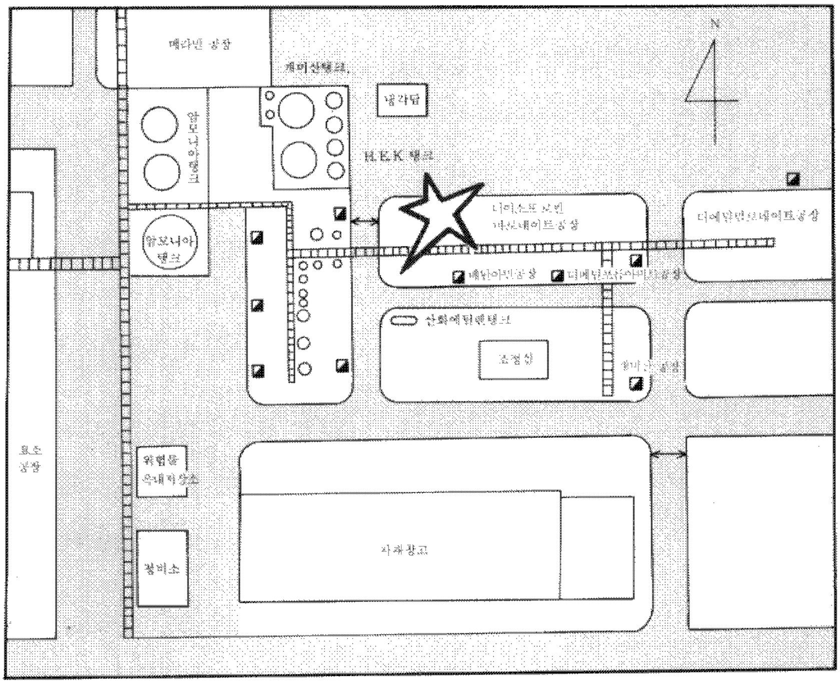
■ DIPM

- 관용명 : Diisopropyl malonate
- 화학명 : Propandioic acid－bis(1－methyl ethyl)ester.
- 구 조 :  ($C_9H_{16}O_4$)
- 성상 : 무색 액체(물에 녹지 않음, 유기 용제에 녹음)
  －비등점 : 223℃/760㎜Hg
  －비중 : 0.9912

나. 작업 순서 및 작업 조건

본 설비의 가동은 필요에 따라 간헐적으로 행해지기 때문에 원료투입 전 항상 반응조 내에 질소를 봉입, 기밀시험과 함께 반응조 내의 산소 유무 확인 검사를 실시한다.

이 검사가 끝나면 각 원료를 순서에 따라 반응조에 투입하여 교반하면서 반응을 진행시킨다. 이때 반응조 내의 압력은 14kg/㎠의 고압 상태로 운전되며, 발열 반응이므로 water jacket에



〈그림 3〉

의해 냉각되어 80℃를 유지하며 1~2시간 가량 숙성시키면 조제의 DIPM이 얻어진다.

이를 다시 중화, 증류 과정을 거쳐 고순도의 제품을 만들며, 대략 1회에 1ton 정도를 생산하는 것으로 되어 있다. 이렇게 하여 얻어진 DIPM은 주로 농약(살충제)의 중간체로 또는 의약품(간장약), 페인트의 중간체 등으로 사용된다.

4. 화재상황

폭발을 일으킨 말로네이트 합성탑(반응조)은 높이 2.7m, 직경 1.9m, 두께는 윗면이 22㎜, 밑면 19㎜, 측면 17㎜의 강철판 재질로서 설계압력 20kg/㎠(시험압력 30kg/㎠)및 설계온도 150℃로 제작되었으며 그 밖의 안전 장치로서 수동 조작에 의한 반응온도 조절장치가 설치된 입상탑 형태의 설비이다. 말로네이트 공장의 동, 서, 남쪽에는 다른 생산 시설과 설비, 배관들이 근접하여 복잡하게 얽혀 있으며 그 주위는 위험물 탱크 등이 몇기 설치되어 있다 <그림 3>. 다만, 북쪽은 50여미터 떨어진 곳에 냉각수 탑만 있을 뿐 공지로 되어 있어 폭발 당시 각종 배관 등의 파편이 주로 이쪽으로 날아 갔기 때문에 파편충격으로 인한 인접시설의 2차 폭발은 없었다고 한다.

이날 사고가 나기 전 현장에는 설비의 재가동(start-up)을 위하여 개발 책임연구원 등 본

설비의 개발에 참여했거나 핵심 운전 요원인 엔지니어 6명이 작업을 하고 있었으며, 관계자의 말에 의하면 당일 작업은 순서에 따라서 질소봉입 및 기밀시험, 반응조 내의 산소 유무 확인까지는 순조롭게 진행되었던 것으로 알려지고 있다. 그러나 그 이후의 상황은 현장 근무자 모두가 사망함으로써 알 길이 없다.

따라서 본 사고의 원인을 확정짓기는 어려우나 장치의 재질, 성능 및 반응 mechanism과 관계자로 부터 입수한 자료에 따르면 폭발은 발열반응에 의하여 반응조 내의 온도가 상승하는 것을 제어하지 못함으로써 내부압력이 급격히 상승하여 일어난 것으로, 또한 화재는 폭발충격으로 발생한 스파크가 반응조 내의 가연성 물질에 인화되어 일어난 것으로 추정하고 있다.

폭발 당시 사무실 및 각 플랜트 현장에 근무하고 있던 종업원들은 갑자기 "꽝"하는 굉음과 폭발 풍압에 의한 심한 진동을 경험했으며 곧 이어 말로네이트 공장 쪽에서 화염이 치솟는 것을 목격할 수 있었다고 한다.

5. 소화 활동 상황

사고가 나자 현장 상황을 확인한 안전 관리실 요원들은 즉시 소방서에 유선 통보하는 동시에 경보 설비를 작동시켜 공장 내부에 긴급 상황을 알리고, 공장에서 보유하고 있는 화학소방차 2대를 출동시켜 소화작업에 착수하였으며 화재의 진행을 막기위한 근원적 조치로서 원료공급 배관의 주 밸브를 차단했다.

한편, 당 공장에 인접해 있는 울산 지방해운항만청에서는 폭음에 의하여 사고를 인지하고 자체 무전기를 이용하여 소방서에 즉시 연락을 취함으로서 공공 소방차로 하여금 신속하게 출동토록 하는데 기여했으며 마찬가지로 울산 시내의 여러 인접 공장에서도 보유하고 있는 소방차를 지원 출동시켜 소화작업에 가담했다.

소화작업이 시작될 당시에는 다른 반응탱크들의 연쇄폭발 위험과 화학물질이 타면서 내뿜는 유독가스 때문에 화점으로의 접근에 어려움을 겪었으나 화재상황이 점차 파악되면서 소화작업이 적극 전개되기 시작했다.

소화에는 주로 물과 약간의 포약제(light water)가 쓰였으며 그 때의 상황은 자체 보유 소방차 2대와 말로네이트 플랜트 주위에 설치되어 있는 옥외소화전을 전부 가동하기만 해도 화재를 진압할 수 있었으나 갑작스런 소화후에 흔히 발생할 수 있는 잔열에 의한 재폭발 위험을 배제할 수 없기 때문에 불길을 그대로 두어 배관 등에 잔류한 가연성 물질(원료 등)을 태워 없애면서, 한편으로는 화열로 인한 여타 설비의 2차 폭발을 막기 위하여 인접한 플랜트에 살수로써 복사열을 냉각시키는데 주력하였다고 한다.

이번 화재에서 당 공장 방화관리 요원들은 다량의 물을 씀으로 인해 부족되는 물 양을 해결하기 위한 방편으로 집수 배출구를 폐쇄하여 소화 주수에 사용된 물이 배수로에 다시 고이게 하여 이를 소화용수로 재활용하는 기지를 발휘, 사고가 더 이상 확대되지 않도록 하는데 결정적인 역할을 한 것으로 평가되고 있다.

이 사고에 동원된 연인원은 120여 명의 소방관과 공장직원 150여 명, 기타주변 공장에서 지원 출동한 70여 명 등 총 450여 명에 달했으며, 소방차는 펌프차 7대를 비롯 총 37대가 출동하였으나 직접 소화 작업에 투입된 차량은 15대 정도이고 나머지는 예방 주수하거나 비상 대기한 상태였다.

이 화재는 발화 후 1시간 20분만에 진화되었다.

6. 피해 상황

이 폭발화재로 현장에서 작업중이던 책임연구원 및 엔지니어 등 6명이 사망하고 그 부근에 있던 종업원 4명이 중상을 입었다. 또한 폭발충격으로 인하여 DIPM 플랜트와 트리메탈아민 탱크 1기 및 냉각탑이 거의 전파되고 20여 미터 떨어진 자재창고의 외벽 슬레이트 1,000여 장이 파손되었으며 500여 미터 반경 내에 있는 건물의 유리창, 담벽과 인접 플랜트의 배관 일부가 손상을 입어 5억여 원(기계 4억천여 만원, 건물 3천여 만원)의 직접적인 재산손실을 가져왔다.

한편 당 공장은 전 건물, 기계시설 및 동산 등에 대하여 총 보험금액 467억여 원에 부보되어 있는 것으로 알려졌다.

7. 문제점 및 대책

가. 문제점

앞에서도 언급한 바와 같이 사고 당시의 상황을 정확히 알 수는 없으나 여러가지 정황으로 미루어 대체로 다음과 같은 문제점이 도출되고 있다.

(1) 설계, 제작상의 문제점

(가) 반응온도를 제어할 수 있는 자동온도조절장치의 미설치(수동 조작에 의함)

(나) 반응조(합성탑)의 재질, 강도의 취약

(다) 안전밸브의 작동압력 설정 및 비상벤트(emergency vent) 조치 미흡

(2) 조작 및 유지 관리상 문제점

(가) 반응조의 냉각 순환 계통의 이상.

(나) 반응조내의 불충분한 purge

(다) 밀봉장치인 mechanical seal의 노후.

(라) 작업순서 및 조작 오류

〈소화용수를 재 활용케한 배수로〉
플랜트 주위에 둘러 설치된 배수로의 배출구(시진중앙 부분)를 막아 집수된 물을 소화용수로 재사용 하였다.

나. 대 책

안전한 화학공정을 위하여 NFPA에서는 다음과 같은 지식 및 요건을 제시하고 있다.

첫째, 시스템 전체 반응에너지를 파악할 것

둘째, 에너지 방출속도를 파악할 것

세째, 열 및 충격 감도 데이터를 평가할 것

네째, 에너지 방출속도를 제어하기 위한 공정을 설계할 것 즉,

○ 반응속도를 증가시킬 수 있는 촉매성 불순물 또는 추적 화합물(trace compounds)에 대하여 주의할 것.

○ 시스템에서 높은 에너지 물질의 응집 또는 증가를 막을 것－물질 수지를 계산할 것.

○ 뜻하지 않은 방출물을 안전하게 수용할 수 있는 공정을 설계할 것.

따라서, 이상에서 제시된 조건들에 접근하는 것이 위의 문제점에 대한 대책이 될 것이다.