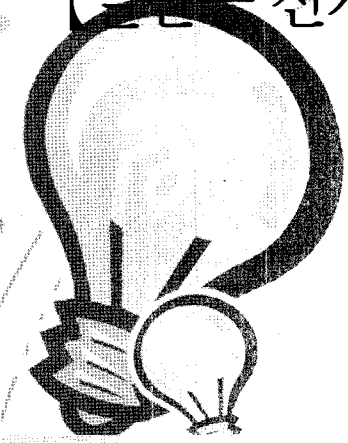
【일반용 전기기기 사용으로 인한 폭발사고】



글 _ 류 보 혁 (공학박사/기술사)
한국산업안전보건공단 경인지역본부 전문위원실장

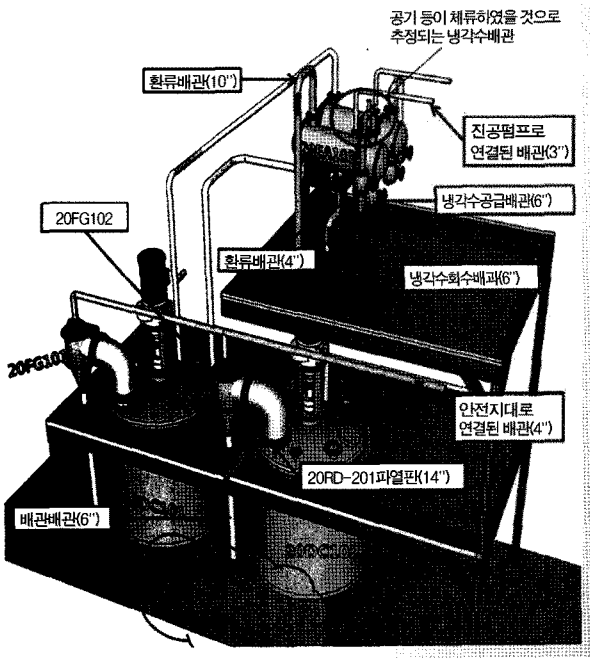
2011년 8월 17일(수) 14시 52분 경 울산 소재 ○○ 폴리스티렌 제조공정에서 정기보수 후 시운전 중, 중합조의 반응폭주로 인한 압력상승으로 파열판이 파열되면서 다량의 유증기가 분출된 상태에서 전기기기의 스파크가 점화원(추정)으로 작용한 증기운의 폭발로 작업 중이던 근로자 8명이 화상 등의 부상을 입은 사고임

※ 증기운 폭발 : 유증기가 대기 중에 구름형태로 있는 상태에서 점화원에 의해 순간적으로 모든 가스가 동시에 폭발하는 형상

* 최근 화학 공장에서 잦은 폭발사고가 발생하는 관계로 이번 달에는 비방폭형(일반형) 기기가 점화원으로 추정되는 화재폭발사고를 예로 하였음

▣ 사고 발생 과정

- 울산 소재 ○○ 폴리스티렌 제조공장에서, 2011년 8월 14일부터 8월 17일 까지 중합조의 응축기를 정기보수한 후, 시운전중인 2차 중합조에서 중합반응을 실시하는 과정에서 응축기 내의 이물질 존재 또는 체류하는 공기로 인한 에어포켓 현상 등으로 냉각수가 공급되지 않는 냉각실패로 인한 반응폭주에 의한 폭발로 인화성증기가 외부로 누출되었고
  - 외부로 누출된 인화성 증기의 증기운이 원인 미상의 점화원(응축기 주변의 비방폭구조 전기 패널 내부 스파크 등으로 추정)에 의하여 폭발이 발생하여
  - 작업 중이던 근로자 중 7명(5명 화상, 2명 찰과상), 탱크로리 기사 1명(찰과상) 등 8명이 부상을 당했고
  - 사고지점으로부터 약 200m 정도 떨어진 지점의 유리가 파손된 것으로 보아, 증기운 폭발시 약 200m 지점에 1kPa (유리 파열 압력) 이상의 폭발압이 미친 것으로 추정



▣ 사고발생 원인

⊙ 점화원 관리 미흡

- 인화성액체를 다량으로 취급하는 PS 제조공정과 인접한 곳에 비방폭구조 조작반이 설치되어 있어 증기운이 형성된 상태에서 비방폭구조 조작반이 점화원으로 작용하였을 가능성이 있음
- 탱크로리가 공정 내에 있는 상태로 시운전을 실시함으로 증기운이 형성된 상태에서 탱크로리의 엔진 등이 점화원으로 작용하였을 가능성이 있음

⊙ 운전표준서 미흡

- 중합조의 응축기는 해체 후 재체결시 열교환기의 Tube 측에 공기가 들어가므로 시운전전에 공기를 제거하는

작업을 실시하여야 하는데 "운전표준서"에 관련 내용이 포함되어 있지 않아 Tube 측의 공기를 제거하는 것이 미흡하였음

- 또한, "PS 비상시 운전표준"에 중합조의 온도가 상승하는 원인으로 "응축기 냉각수 측에 에어포켓(Air Pocket)이 발생하여 응축기 냉각효율 저하"에 대한 내용이 포함되어 있지 않아 중합조의 온도가 급격히 상승하는데 응축기의 냉각수 측의 공기를 제거하는 조치를 하지 않았음

⊙ 반응억제제 투입시점 및 투입설비 부적절

- 중합조의 온도조절을 실패할 경우 반응 억제제인 에틸벤젠을 즉시 투입하여 반응폭주를 방지하여야 하는데 에틸벤젠의 투입시점이 늦어 반응폭주를 방지하지 못했음
- 에틸벤젠을 수동으로 투입하도록 되어 있어 비상시 신속히 에틸벤젠을 투입할 수 없었음
- 또한, 중합조의 압력이 상승한 상태에서 에틸벤젠을 투입함에 따라 에틸벤젠 투입펌프의 토출압력 부족으로 반응억제제인 에틸벤젠이 원활하게 투입되지 않았음

⊙ 파열판 배출 연결부 부적절

- 파열판의 토출배관이 사이클론으로 연결되어 있는데 사이클론 하부에 대기배출 배관(6")이 설치되어 있어 파열판이 파열되면서 고온의 유증기가 안전지대로 배출되지 않고 공정 내에서 증기운을 형성하여 폭발 · 화재가 발생하였음

▣ 사고예방대책

⊙ 점화원 관리 철저

- 인화성액체를 다량으로 취급하는 PS제조공정과 인접한 곳을 폭발위험장소로 구분하고, 이에 따라 적절한 방폭성능을 가진 전기기계기구를 설치하여야 함
- 인화성액체가 누출될 경우 점화원이 될 수 있는 탱크로리 등은 시운전 및 정상운전시에 공정 내로 들어가지 않도록 관리하여야 함
- 만약, 탱크로리 등이 공정 내로 들어갈 경우에는 인화성증기의 농도를 확인하여야 하며, 공정 내에서 탱크로리 등을 정차할 경우에는 탱크로리 등의 엔진을 정지시켜야 함

⊙ 운전표준서 보완

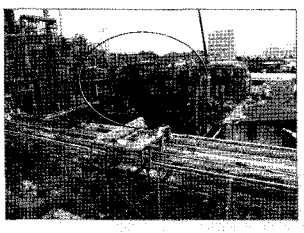
- 중합조의 응축기는 해체 후 재체결시 Tube 측에 공기가 들어가므로 재체결 후 냉각수를 공급할 경우 공기를 제거할 수 있도록 관련 "운전표준서"에 반영하여야 함
- 또한, "PS 비상시 운전표준"에 중합조의 온도가 상승하는 원인으로 "응축기 냉각수 측에 에어포켓(Air Pocket)이 발생하여 응축기 냉각효율 저하"를 포함시켜 중합조의 온도가 급격히 상승할 경우 응축기 냉각수 측의 공기를 즉시 제거할 수 있도록 하여야 함

⊙ 반응억제제 투입시점 보완 및 투입설비 개선

- 중합조의 온도조절을 실패할 경우 반응억제제인 에틸벤젠을 투입하여 반응폭주를 방지하여야 하므로 에틸벤젠의 투입시점을 "운전표준서"에 정확히 명기하고, 교육 · 훈련을 실시하여 이상발생시 작업자가 즉시 에틸벤젠을 투입할 수 있도록 하여야 함
- 또한, 에틸벤젠을 자동으로 투입할 수 있도록 개선하고, 중합조의 압력이 상승할 경우 에틸벤젠의 투입이 원활하지 않을 수 있으므로 "비상 에틸벤젠 투입펌프"는 정상운전 압력이 아니라 비상시 중합조의 압력을 기준으로 적절한 토출압력을 가진 펌프를 선정하여야 함

⊙ 파열판 토출배관 연결부 개선

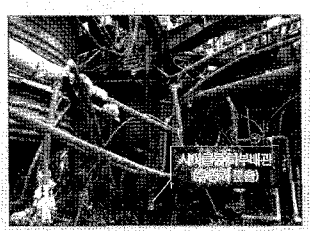
- 파열판에서 배출되는 위험물은 연소, 흡수, 세정, 포집 등의 방법으로 안전하게 처리하여야 함
- 다만, 고압상태의 위험물이 대량으로 배출되어 연소, 흡수, 세정, 포집 등의 방법으로 완전한 처리가 불가능할 경우 외부로 직접 배출할 수 있으나 이 경우에도 안전한 장소로 유도하여 배출하여야 함 ❖



【사진 1】 사고발생 PS제조공정 전경

【사진 2】 사고발생 중합조

【사진 3】 1, 2차 중합조의 응축기



【사진 4】 사고발생 2차 중합조