회분식 반응기에 원료 투입 중 폭발사고

1. 사고개요

2007. 8. 25(토) 04:10분경에 전북 전주 소재의 ○○상사(주) 전주공장 회분식 반응기 상부맨홀을 열고 고체 원료를 투입한 후 용제인 톨루엔을 배관을 통해 투입하면서 맨홀 덮개를 닫는 순간 반응기 내부의 톨루엔 증기가 점화원에 의해 폭발하면서 맨홀 덮개가 재해자에게 충격을 가하여 사망한 사고임.

2. 사고물질 및 사고발생설비

혼합비율	인화점	발화점	폭발범위	비점
톨루엔	4℃	480℃	1.2~7.0%	111℃

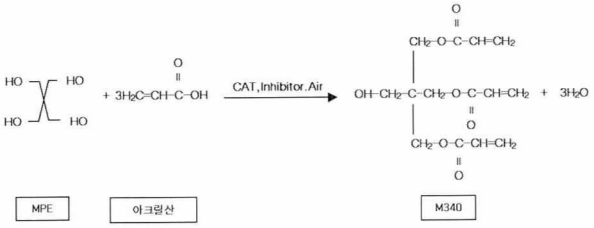
※ 사고발생공정 : 페인트첨가제 생산라인(반응기)

3. 사고발생공정 및 과정

가. 작업공정

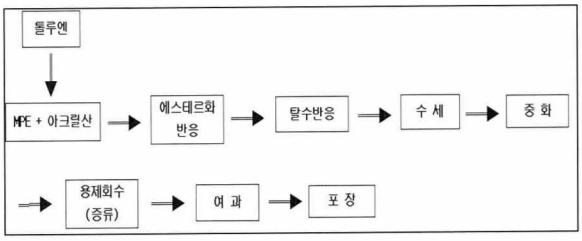
○ 고상 알콜(MPE)과 아크릴산을 원료로하여 에스테르화 반응으로 페인트 첨가제인 페인트첨가제 제품을 생산하는 공정으로서, 반응용제로는 톨루엔을 사용하며, 고상 알콜(MPE) 투입 후 용제를 투입함.

○ 반응식(MPE+아크릴산)



스팀을 공급해야 반응이 지속되는 흡열반응임.

○ 작업공정



○ 사고발생 단계는 MPE 등 주원료를 맨홀을 통해서 투입한 후 반응 용제인 톨루엔을 배관을 통해 공급하면서 맨홀을 덮는 과정 중에 발생 함.

나. 운전상황

○ 2007. 8. 25 04:00 ~ : 반응기에 페인트첨가제제품

원료를 맨홀을 통해 투입함.

○ 2007. 8. 25 04:10 ~ : 계량 탱크에 있는 톨루엔을 배관을 통해 투입 중 폭발 발생함.

※ 투입된 톨루엔 양은 1,800kg으로서, 당초 투입예정량은 5,547kg이였으나 폭발로 공급을 중단함.

○ 주원료의 하나인 아크릴산(3100kg)은 투입하지 않은 상태였음.

4. 사고원인(추정)

가. 폭발 위험분위기 조성

○ 고상의 부원료와 촉매를 투입하고 용제인 톨루엔을 배관을 통해 상부에서 낙하하는 방식으로 투입하는 도중에 발생된 톨루엔 증기가 가연물로 작용함. 톨루엔의 인화점은 4℃로써 당시 반응기 내부 온도가 43℃전후인 점을 감안하면 상당량의 증기가 생성되었을 것으로 사료됨.

○ 또한 톨루엔의 폭발 범위는 1.2%~7.0%로써 반응기 내용적을 (13㎥) 감안하면 투입된 톨루엔 총 1800kg 중 소량(0.55kg 이상)만 증발해도 폭발하한인 1.2%를 초과하여 충분한 폭발범위가 형성되었을 것으로 추정됨.

※ 폭발하한 : 공기중에 가연성 가스나 증기가 폭발을 일으킬 수 있는 최소 농도로서 %로 나타냄.

나. 점화원

○ 맨홀이 개방된 상태에서 톨루엔을 투입하고 무게 28.5kg인 맨홀 덮개가 닫힐 때에 위치에너지가 운동 에너지로 변환됨.

이때 운동에너지를 계산하면 약 139J의 에너지가 발생되며 이 운동에너지의 모두가 불꽃 에너지로 전환되지는 않고 10%(13.9J)정도만 불꽃 에너지로 변환되더라도 이 불꽃 에너지는 일반 탄화수소가 연소하기 위한 에너지(약 0.25mJ)보다 5만배이상 높은 에너지로서 점화원으로 작용하기에 충분한 에너지임.

※ 맨홀 부분 일부의 고무라이닝이 찢어져 있음.

다. 기 타

○ 작업 절차서 미준수

- 톨루엔을 맨홀이 개방된 상태에서 투입하도록 작업 절차서에 명시 되어 있으며 또한 작업표준서에는 반응기 온도가 43℃에서 원료를 투입하게 되어 있으나 작업지시서에는 35℃에서 투입하게 되어 있는 등 작업 절차가 불일치

○ 공정도면과 설비 미일치

- 공정도면에는 반응기에 내부 Coil이 설치되어 있으나 설비에는 미설치되어 있으며 맨홀 상부에 국소배기장치가 설치 된 것으로 명기되어 있으나 설비에는 미설치됨.

○ 교육의 미흡

- 설비를 운전하는 운전원들은 운전 중에 발생될 수 있는 위험성들을 예측 및 조치가 가능하도록 충분한 교육이 실시되어야 하나 미흡함.

5. 동종사고예방대책

가. 원료투입 작업방법의 개선

○ 인화성 물질(톨루엔)을 투입할 때 맨홀 덮개를 닫은 상태에서 투입되도록 작업 절차서 및 작업방

법의 개선이 요구됨.

○ 고체원료를 투입하는 노즐과 차단밸브를 별도로 설치하고 깔데기를 통해서 원료를 투입한 후에 차단밸브를 잠그는 형태로 설비 및 운전 방법으로 변경하고 맨홀 상부 국소배기장치를 설치함.

○ 상부에서 톨루엔이 낙하하면서 비산되지 않도록 반응기 하부에서 주입하거나 반응기 벽면을 타고 흘러 내릴 수 있도록 주입구의 형태를 변경하는 것이 필요함.

※ 최대 로딩속도 : 배관 또는 연결부에서 최대 유속은 7m/sec 또는(0.5/d)m/sec(여기서 d= 인입배관 내경 meter) 중 작은 값으로 제한한다.

※ 정전기 재해예방에 관한 기술지침(KOSHA Code E-6-2007) 참조

나. 맨홀 덮개 개선

○ 맨홀 덮개를 유압식으로 개선하여 작업자가 직접 개폐하지 못하도록 개선이 요구되며 작동 스위치는 맨홀에서 충분한 거리를 두고 방폭형으로 설치

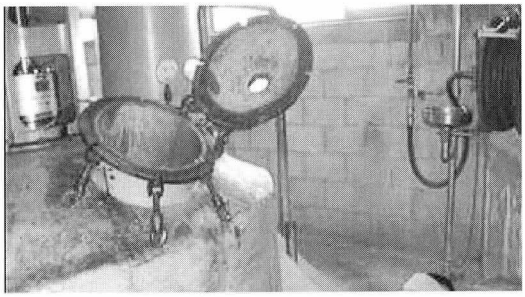
다. 교육훈련의 강화

○ 설비를 운전하는 운전원들에게는 운전대상 설비에서 일어날 수 있는 폭발과 화재 등과 같은 위험에 대한 예측을 할 수 있도록 특별안전보건교육훈련의 강화가 필요함.

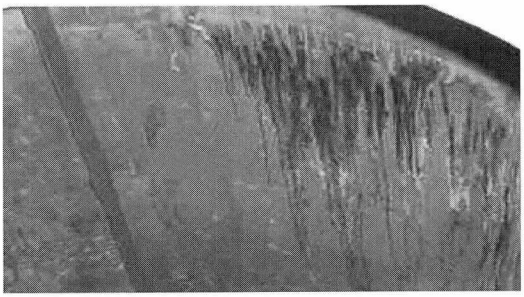
라. 공정설비와 도면의 일치화(As-Built화)

○ 공정도면과 실제 설비의 일치가 요구되며 설비 변경시 P&ID등 공정 자료의 보완이 요구됨.

6. 사고 사진

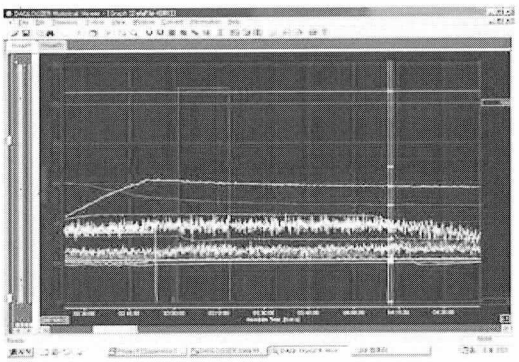


[재해자를 충격한 맨홀 뚜껑]



[내부 폭발한 반응기 내부]

[반응기 상부 맨홀 뚜껑]



[반응기의 온도 모드]