

탱크 내부 세척 중 폭발 사고사례 (KOSHA-MIA-전북-2106)

본 OPL은 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있으니, 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

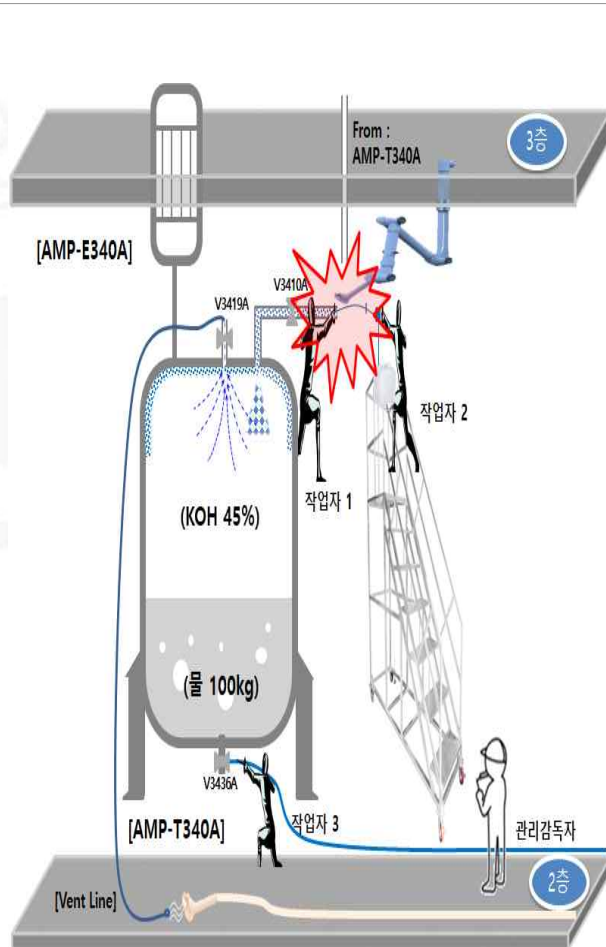
금번 사고는 **재해조사가 진행 중인 사안**으로 동종재해예방을 위하여 적시에 배부하오니 **참고용**으로만 활용해주시기 바랍니다.

탱크 내부 세척작업 중 폭발사고

< 재해개요 >

2021.07.08.(목) 17:13분경 경기도 시흥시 소재 OOO(주) AMP* 공장 내에 설치된 TSA** Crude 리시버 탱크의 내벽에 붙은 고형물(고체 부산물) 세척을 위해 탱크 상부 투입노즐(40mm)에 KOH 수용액(45%) 약 1.6kg을 자바라 호스(23mm)를 이용하여 주입 중 폭발과 화염이 발생하여 3명이 부상한 재해임

*AMP : AMine Plant, **TSA : TriSilylAmine



[사고발생 개략도]



[사고당시 KOH 수용액(45%) 주입
기구(플라스틱 용기 및 자바라호스)]



[작업자 안전보호구]

탱크 내부 세척 중 폭발 사고사례 (KOSHA-MIA-전북-2106)

1 사고발생 공정 및 물질

○ 사고발생 공정 : TSA 제조공정

- TSA 제조공정 Crude 리시버 탱크 청소(Cleaning)을 위해 상부 투입노즐(40mm)에 KOH 수용액(45%) 약 1.6kg을 주입 하던 중 약 1분도 경과하지 않아 폭발과 동시에 화염이 발생

○ 사고설비 : TSA crude receiver 탱크

설비명	크기 및 용량(m³)	설계압력(MPa)	설계온도(°C)	본체 재질
Crude Receiver	Shell : 600mmID X 600mmH, 0.246 Jacket : 642mmID X 500mm H, 0.012	Shell: 1.37/F. V Jacket: 10/-	Shell: 115/-85 Jacket: 115/-85	Shell: A240-316L Jacket: A240-304L

○ 사고발생 원인물질 :

물질명	인화점 (°C)	폭발범위 (%)	자연발화 온도(°C)	끓는점 (°C)	증기밀도 (공기=1)	최소 점화 에너지(mJ)	비고
트리실릴아민 (TSA, (SiH ₃) ₃ N)	-48	0.5 ~ 96.0	106 ~109	52.0	3.72	< 0.2	
모노디클로실란 (MCS, SiH ₃ Cl)	-90	4.6~98	21	-22.8	2.31	0.015	
실란 (SiH ₄)	자연 발화성	1.4~96	-50	-112	1.3	없음	
폴리실라잔 (Polysilazane)	-54	자료없음	자료없음	135	0.887 g/Cm ³	자료없음	
암모니아 (NH ₃)	Flammable Gas	16~25	651	-33	0.59	680	
수 소 (1333-74-0)	<-150(C C)	4~76	560	-253	0.069	0.017	

2 재해예방대책

○ 잔류물, 고형물내 가스 및 반응물(수소 등) 유무 확인 등 작업 절차 개선

- 현재 클리닝 작업 절차서 상에는 Oxidation 이후 온도 및 압력의 변화를 확인하도록 되어 있으며, 실제 작업시 온도 및 압력 변화가 없는 것을 확인하고 다음 단계의 작업을 실시하였음
- 그러나, 화학설비와 그 부속설비를 청소하는 경우 작업장 및 그 주변의 인화성 물질의 가스의 농도를 수시로 측정하여야 하나 절차서 어디에도 휴대용 가스 감지기 등을

탱크 내부 세척 중 폭발 사고사례 (KOSHA-MIA-전북-2106)

통해 잔류물, 고형물내 가스 및 반응물(수소 등) 유무를 확인하는 절차는 명시되어 있지 않고, 또한 고착화된 고형물 내에 포함된 Polysilazane 등과 같은 고체 불순물이 KOH 수용액 및 물과 반응하여 수소 등의 인화성 가스가 발생할 수 있다는 경고 문구도 확인되지 않음

- 절차서 내에 잔류물과 고형물에 의한 발생 가능한 가스(수소 등)를 확인하는 절차를 명확히 명시하고, 작업 중 KOH 수용액 농도에 따른 반응 위험성 및 발생 가능한 인화성 가스에 대한 위험성과 그에 따른 안전조치(정전기 발생 예방, 질소 퍼지 지속 실시 등)를 포함할 필요가 있음
- 추가적으로 다음 사항을 절차서 내에 구체적으로 명시할 필요가 있음
 - 물 투입 시간 및 방법
 - 각 단계별 온도와 압력을 확인하는 시점
 - 잔류물과 고형물내 가스 및 반응물(수소 등) 유무 확인 방법 및 시점

○ 작업 절차서에 따른 안전작업 실시

- 사업장 작업절차서에는 1층에서 2층으로 옮긴 이동식 정량펌프를 사용하여 탱크 상부 안전밸브 전단에 설치된 V3419로 물 150kg 및 KOH 수용액(45%) 42kg을 투입 하도록 되어 있으나, 사고 당시 물은 탱크 하부의 노즐(V3436A)을 이용하여 100kg을 주입하였고, KOH 수용액(45%)는 플렉시블 호스를 제거하고 주입 노즐을 설치하여 자바라 호스로 작업자가 수동으로 직접 주입하는 등 작업 절차서를 준수하지 않았음
- 작업절차서에 따라 작업을 실시했다면, 이동식 정량펌프를 사용하여 물이 투입된 노즐과 동일한 탱크 상부 노즐로 KOH 수용액(45%)이 투입되어 탱크 내부의 고착된 고형물 대부분이 물과 KOH 수용액에 의해 중화처리 되었을 것이고, 또한 작업자가 흡착포를 이용하여 양손으로 직접 노즐을 막는 작업도 없었을 것으로 판단됨
- 따라서, 사업장에서는 반드시 작업절차서에 따라 안전하게 작업할 필요가 있으며, 부득이하게 작업방법을 변경하여야 할 경우, 위험성 평가를 반드시 실시해야 함

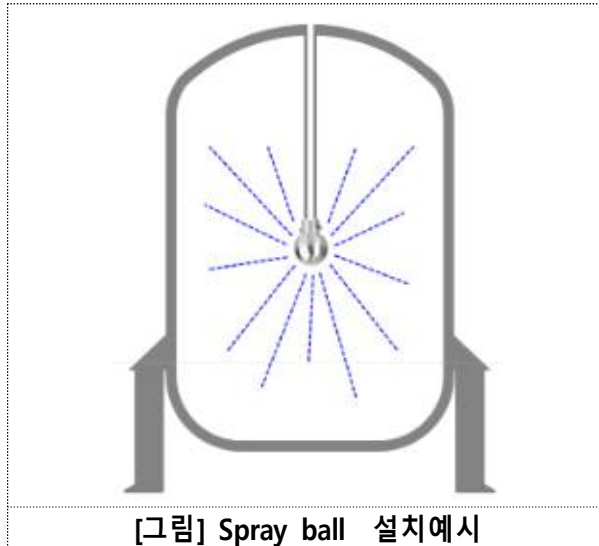
○ 정전기 발생 예방 안전조치 실시

- 장치 및 설비의 개조·수리 및 청소 등의 작업 시 인체에 대전된 정전기에 의한 화재 또는 폭발 위험이 있는 경우에는 확실한 방법으로 접지를 실시하고 정전기 대전방지용 안전화 착용, 제전복 착용, 정전기 제전용구 사용 등의 조치를 하거나 작업장 바닥 등에 도전성을 갖추도록 개선하는 등 대전된 정전기가 축적되지 않도록 하여야 함

탱크 내부 세척 중 폭발 사고사례 (KOSHA-MIA-전북-2106)

○ 설비 개선 방안

- 탱크 내부 클리닝 시 탱크 상부 벽면 및 상부 노즐 내에 부착된 고형물 중화 및 제거가 용이하도록 물 주입시 등에 사용할 수 있는 Spray Ball(또는 Nozzle) 설치와 같은 개선이 필요함



[그림] Spray ball 설치예시

- 또한, 작업 중 발생할 수 있는 인화성 가스(수소 등)를 감지하기 위한 감지기를 설비 인근에 추가로 설치할 필요가 있음
- 현재 설치된 반응기처럼 이동이 가능한 형태로 제작하여 유지보수 전용실에서 개별적으로 유지보수 및 세척 작업 실시(물, KOH 수용액 등의 투입 물질 공급배관은 고정형으로 설치)

○ 공정 개선 방안

- 대기 중의 공기를 투입하여 Oxidation 과정을 실시할 경우, 공기 중에 포함된 수분으로 인해 설비 내의 잔류물, 고형물내의 고체 불순물(Polysilazane, TSA, MCS, SiH_4 등)이 반응하여 수소가 발생할 위험성이 있으므로, 설비 Cleaning 작업시에는 수분이 없는 Dry air(예:CDA 등) 사용하여 Oxidation 과정을 실시하도록 공정을 개선할 필요가 있음(고형물의 대기 노출 차단)
- 또한, 현재 Tank에 대한 Cleaning 주기가 수립되지 않았으므로, 기술적·경험적 근거를 바탕으로 Cleaning 주기를 명확히 수립할 필요가 있음
(예 : 10 Batch 공정마다 Tank Cleaning 실시 등)