

삼불화질소 충전장 퍼지판넬 화재사고사례(20.2.2.) KOSHA-MIA-202005

본 OPL은 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있으며, 금번 발생한 사고사례는 동종재해 예방을 위하여 적시에 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

삼불화질소(NF<sub>3</sub>) 충전장 퍼지판넬 조작 중 가스누출 화재

< 재해개요 >

2020년 2월 2일(일) 04:15경 000사업장 삼불화질소(NF<sub>3</sub>) 충전장에서 재해자가 튜브트레일러에 충전된 NF<sub>3</sub> 가스를 빈 트레일러로 보내는 가스 균압 이송작업 후 배관에 잔류된 가스를 제거하기 위해 퍼지(purge)판넬의 밸브를 조작하던 중 트레일러의 튜브에서 누출된 NF<sub>3</sub> 가스가 고압으로 방출되면서 화재가 발생, 얼굴 및 손 등에 화상을 입은 사고임.



[튜브 트레일러 균압 작업장]



[사고가 발생한 수동 퍼지판넬 주변]

1 재해발생 과정

○ 재해발생 과정

- 튜브트레일러 충전장에서 재해자는 기 충전된 트레일러 튜브에 대한 고압 가스용기 재검사 전 튜브를 비우기 위해 빈 튜브트레일러로 압력차를 통한 가스 균압 이송작업을 실시함.
- 트레일러 튜브 압력이 균일하게 될 때까지 가스를 이송한 후, 튜브를 연결하기 위해 체결하였던 배관 내부에 잔류된 NF<sub>3</sub>가스를 제거하기 위해 헬륨가스로 퍼지 작업 전 트레일러튜브밸브들을 모두 차단하였으나, 이중 한 개의 밸브가 완전히 차단되지 못했음.

**삼불화질소 충전장 퍼지판넬 화재사고사례(20.2.2.) KOSHA-MIA-202005**

- 이후 퍼지 작업 시 트레일러 연결배관 내에 잔류된 NF<sub>3</sub>가스를 벤트배관으로 배출시키기 위해 퍼지판넬의 밸브를 조작하던 중 튜브에서 누출된 NF<sub>3</sub>가 고압으로 급속히 방출되면서, 판넬로부터 화염분출과 함께 화재로 확대되어 사고가 발생함.

**2 삼불화질소(NF<sub>3</sub> ; Nitrogen trifluoride)란?**

○ 물성 및 독성치

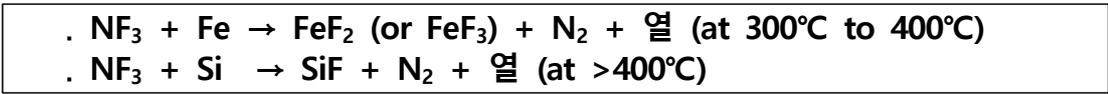
물질명	CAS No.	분자량	폭발범위	LC50(ppm)	TWA(ppm)	가스밀도(공기=1)
NF <sub>3</sub>	7783-54-2	71.002	해당없음	6700(Rat, 1시간흡입)	10	2.5

○ 용도 및 특징

- 반도체 에칭이나 반도체 및 액정 표시장치(LCD) 공정장비 내 챔버를 세정하는 특수 가스
- 무색의 산화성가스이며 상온에서는 안정함.
- 산소보다 강력한 산화성이 있는 조연성가스임.(Oxypotential ; NF<sub>3</sub>=1.6 / O<sub>2</sub>=1)

○ 화재 위험성

- 300℃ 이상의 고온에서 NF<sub>3</sub>는 대부분의 물질과 활발하게 반응하며, 주위의 고분자 물질이나 금속들과 반응하여 반응열이 발생함.
- NF<sub>3</sub>의 압력이 높아짐에 따라 가연성 물질의 발화온도는 낮아짐.
- 열이나 전기 등에 노출될 경우 폭발성을 지니고 가연성물질 뿐만 아니라 금속도 점화시키며, 특히 고온에서 금속과 격렬하게 반응하는 특성이 있음.



○ NF<sub>3</sub>의 연소에 영향을 미치는 요인

- 단열압축(Adiabatic compression)

- NF<sub>3</sub>의 갑작스런 압력증가는 급격한 온도의 증가를 초래함. 급격한 온도 상승은 NF<sub>3</sub>와 접촉해 있는 물질과의 온도교환(냉각)에 필요한 충분한 시간이 부족하기 때문에 고온의 NF<sub>3</sub>는 분해되어 더 격렬하게 반응하는 물질로 되거나 비금속물질의 자연발화\*를 일으켜 금속의 연소로 확대될 수 있음.

\* 갑작스런 가스압력 증가로 온도가 급속하게 높아지며, 열의 출입이 없는 단열과정임. 예를 들어 밸브의 급속 개방으로 고압의 가스가 투입되어 밸브 출구측이 급격히 가압될 때 단열압축이 발생할 수 있음.

삼불화질소 충전장 퍼지판넬 화재사고사례(20.2.2.) KOSHA-MIA-202005

- 고체입자 혼입
  - $NF_3$ 와 함께 빠른 속도로 유동하는 고체입자(solid particle)는 플라스틱과 고분자화합물 같은 민감한 물질의 자연발화를 초래할 수 있음.
- 배관 내 흐름
  - 배관의 과도한 굴곡 및 급격한 흐름방향 변화 또는 유동마찰(flow friction)로 인해 발생하는 열에 의해  $NF_3$ 와 접촉해 있는 물질(금속 포함)의 자연발화온도에 도달하여 발화가 일어날 수 있음.
- 기계적 충격
  - 유량조절장치(밸브 등)의 급격한 조작은 국부적인 가열을 초래하며, 플라스틱과 고분자화합물 같은 민감한 물질의 자연발화를 초래할 수 있음.

3 사고 발생 원인 및 대책

○ 사고 원인 (단열압축에 의한 온도상승으로 발화 후 화재)

- 급속한 밸브 개방으로 기계적 충격이 일어나 국부적으로 열이 생성될 수 있으며, 단열압축으로 밸브 출구측의 압력상승이 급격한 온도 상승을 야기하였음.
- 또한, 고농도의  $NF_3$ 가 고압으로 방출되면서 비금속 재질의 배관 부속품이 먼저 발화되어 금속(스테인레스) 재질의 연소를 초래\*하였으며, 금속 연소의 전파가 화재로 확대된 것으로 추정됨.

\* Kindling effect : 플라스틱, 폴리머 및 윤활제 등 금속보다 자동발화온도(AIT)가 낮은 물질의 연소로 금속 연소가 시작되는 현상이며, 5 bar미만의  $NF_3$  압력에서도 스테인레스강과 탄소강의 금속 연소가 전파될 수 있음.

○ 유사사고 사례

2009년 11월 4일 일본 시모노세키 미쓰이화학(Mitui Chemicals)에서  $NF_3$ 를 튜브 트레일러(튜브 17기 장착)에 튜브 2~3기씩 충전하던 중 튜브별로 압력 차이가 발생하여 튜브별로 압력을 동일하게 유지하기 위해 모든 튜브의 밸브를 동시에 개방하자 더 높은 압력으로 충전된 튜브에서  $NF_3$ 가 빠르게 밸브를 통해 이동하면서 밸브 내에서 단열압축 또는 마찰에 의해 열이 발생하여 밸브가 반응에 의해 녹으면서 화재 폭발이 발생함. 이 사고로 인해 주민 9명, 협력업체 1명이 부상을 입고, 공장동 및 인근 주택을 포함하여 100동이 손상, 36대의 차량이 손상을 입은 사고임.

삼불화질소 충전장 퍼지판넬 화재사고사례(20.2.2.) KOSHA-MIA-202005

○ 재발방지 대책

- 안전작업절차 보완 및 개선

- 사전 위험성평가를 통해 NF<sub>3</sub> 취급, 제거 및 퍼지 시 위험요소를 확인하고, 이를 작업절차에 반영한 수정 및 보완이 이행되어야 함.

- 근로자 교육훈련 강화

- 이번 사고와 관련하여 실시한 위험성평가 및 작업절차 보완내용에 대한 교육이 실시되어야 하며, 작업절차 숙달 및 이상 상황 발생 시 대응능력 향상을 위한 훈련도 병행되어야 함.

- 현장설비 개선

- 급속한 개방이 가능한 Ball valve를 Slow motion type 밸브로 교체
- 트레일러 튜브밸브 자동 원격 개폐장치(권장사항)

