

암모니아

1. 반응기 혼동으로 누출·폭발

□ 개요

- 일시 : 1989.7.6.
- 장소 : 유럽소재 화학물 제조소(비료, 암모니아, 메탄올 등 10여 종)
- 피해 : 2명 즉시 사망, 공장 근로자 3,000명, 인근 주민 50,000명 암모니아 노출
- URL : eMars

(<https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/abff77ec-d053-a4e5-e0b0-2e1152845dc3>)

□ 시설

- 15:30 Uraca의 펌프 양수 크랭크축 손상으로 구멍이 남
 - 액상 암모니아를 공급하며 압력을 300psi에서 3,400psi로 승압
- 소음을 확인하려 간 작업자 2인이 암모니아 중에 둘러싸임
 - 누출 최초 3분 동안 10톤의 내용물이 방출되었으며 통제 장치 없었음
 - 40분 후 보호복을 입은 구조대가 공급 펌프를 중단하고 나서야 누출 중단
- 암모니아 폼이 통제실로 퍼져서 통제 인원들은 알람 발령은 물론 공장 가동 중단할 시간도 없이 현장을 빠져나옴.
 - 10분 용량 비상용 호흡 장비에 의존해서 탈출.
- 구조작업 중 밀착 보호복을 착용하지 않은 소방관 5명은 안면부 화상을 입음.
- 총 28톤 암모니아 누출

□ 원인

- 액상 암모니아 승압 펌프 고장
 - 크랭크축이 과부하에 의한 재질 피로로 인하여 크랙이 생기며 고장나서 크랭크실 내부로 파손됨

□ 재발 방지대책

- 크랭크축이 휘어질 수 있는 유사 펌프에 대한 검사 철저
- 노후 크랭크축 교체
- 고압용기 관련 주요 기계류 확인 및 검사 실시
- 작동하는 원격 차단밸브를 액상 암모니아 공급시스템에 설치

2. 요소공장 고압부 암모니아 누설

□ 개요

- 일시 : 2011.4.2.
- 장소 : 유럽 소재 정밀화학품 제조소
- 피해 : 인명, 환경피해 없음(신속 조치)
- URL : eMars

(<https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/37a207e5-6a15-eb63-f33f-d01cc378177f>)

□ 사고

- 11:29~13:15, 요소 공장 고압부에서 25,000kg 암모니아 누출
 - 고압부 입구 배관에서 누설
- 밸브로 누설을 차단하고 수막으로 암모니아 침전

□ 원인

- 배관의 온도구배가 심해서 예기치 않은 고강도 마모 발생
 - 2010년 조업 중단 시 1.3배로 압력 측정을 실시하고 배관 두께도 측정하였으나 이상이 없었음

□ 재발 방지대책

- 유사 부분에 대한 정밀진단
- 결합 배관 교체
 - 이후 3, 9, 6, 12개월 경과 후 검사했으나 이상 없음
- 관련 배관은 12개월마다 검사

3. 열교환기 파열로 암모니아 누출

□ 개요

- 일시 : 2008.6.11.
- 장소 : 미국, 텍사스주 휴스턴 소재 굿이어 타이어사
- 피해 : 1명 사망, 6명 부상
- URL : CSB(<https://www.csb.gov/goodyear-heat-exchanger-rupture/>)

□ 사고

- 열교환기 파열로 암모니아 누출
 - 고압의 무수 암모니아를 냉매로 하여 합성고무 제조용 화학물질 냉각
- 파편으로 인근 보행 중이던 근로자 사망, 화학물질은 튜브, 냉매는 셀로 흐름
 - 파열된 열교환기 셸부분과 방출밸브 사이에 잠금 밸브 위치

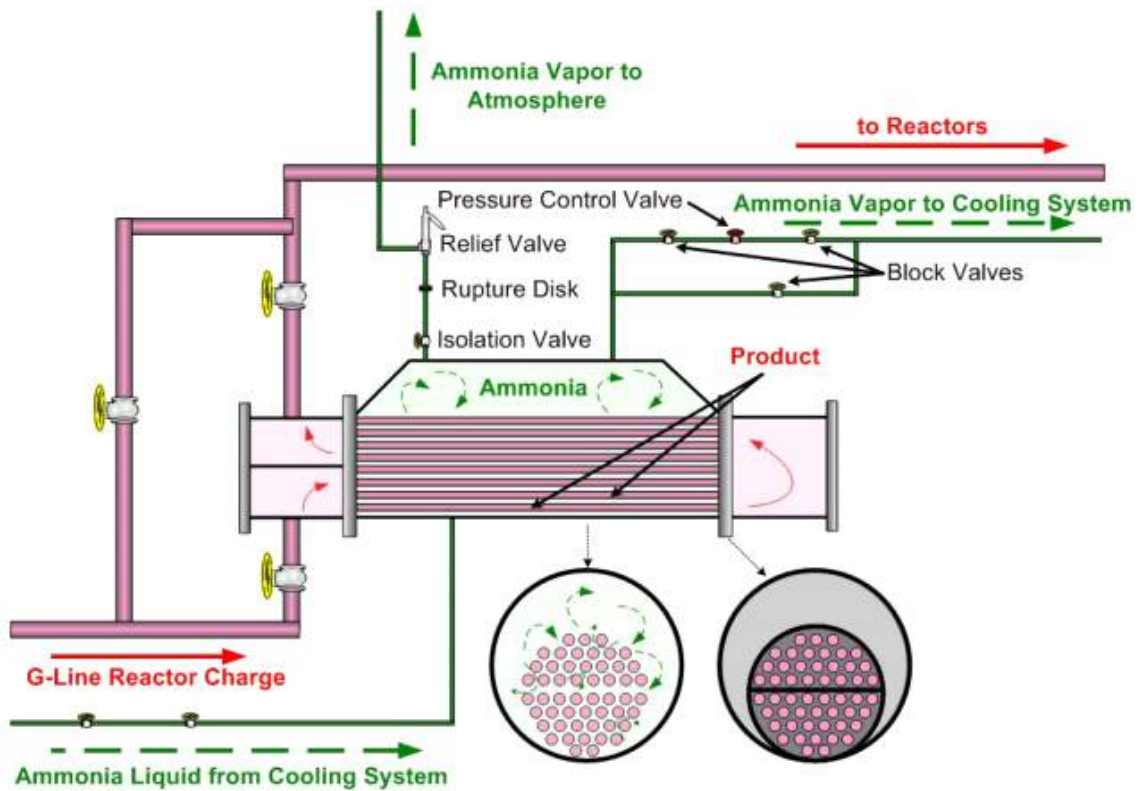


그림2 그림 암모니아 열교환기

□ 원인

- 작업자가 유지보수를 위해 차단밸브를 잠가서 방출밸브가 차단됨
- 작업 후 스팀 라인을 튜브 부분에 연결하여 배관 청소
 - 스팀이 열교환기 튜브 부분을 흐르면서 액상 암모니아를 가열하여 내부압력 상승
 - 방출밸브가 차단되어 열교환기 내부압력이 지속 상승되며 마침내 파열됨
- 전사적인 경보시스템이 있었으나 근로자들이 이를 신뢰하지 않음
- 전자 बै지로 작업자 출입을 관리하였으나 사고 당시에는 고장나서 영향지역 내 인원 즉시 파악 실패
- 유지보수 절차서 미이행
 - 작업 전후 허가서 서명
 - 유지보수 중 기기에 대한 LOTO(Lock Out / Tag Out)*
 - * 정비, 청소, 수리 등 작업 수행 시 해당 기계 운전 정지 후 다른 사람이 기계를 조작하는 것을 방지하기 위해 기동장치에 잠금장치 하거나 표지판을 설치하는 등의 조치

□ 재발 방지대책

- 작업자 수 정확히 파악
 - 해당 지역 작업자를 모두 파악하지 못하여 수 시간 후 매몰자 발견
- 유지보수 완료작업 철저
 - 파열된 교체를 4:30 완료하였으나 차단 밸브를 잠가둔 채로 스팀 청소를 실시해서

다음날 7:30 열교환기가 파열됨

* 교대 시 정해진 양식의 인수인계서 필요

○ 압력기기 차단 해제 철저

- 작업 완료 후에도 해당 기기 차단을 풀지 않음

4. 액상암모니아 탱크 유지보수 후 폭발

□ 개요

○ 일시 : 1989.7.7.

○ 장소 : 유럽 소재 화학물 제조시설

○ 피해 : 배관을 비롯한 인근기기 손상

○ URL : eMars

(<https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/b8aa399f-09a8-abc7-8564-104e8799729b>)

□ 사고

○ 액상 암모니아 저장탱크 하부교체 유지보수 작업 후 사고 발생

- 1989.7.5. 탱크 하부 교체 완료

- 7.6. 저녁 시간, 탱크를 채우려 했으나 과충전 및 주입구 플랜지에서 누설 발생

- 충전 중단 후 플랜지를 수리했으나 탱크 충전 시도는 보고하지 않음

* 교대하면서 탱크는 비었다고 감독자는 기록

- 7.7. 안전작업허가서를 탱크 추가 수리를 위해 발행함

* 절단기로 배관 절단 중 탱크 폭발로 상부가 날라감

※ 사고 후 임시로 탱크로리로 원료 공급하며 생산 계속

□ 원인

○ 인적오류로 탱크 충전 시도를 보고하지 않음

- 내부 커뮤니케이션 부적절

- 작업허가서 절차 부적절

- 직원 교육 미흡

○ 암모니아 증기 폭발은 절단 배관의 연마작업 시 발생한 불꽃 점화임

□ 재발 방지대책

○ 절차서 개선

○ 커뮤니케이션 개선

○ 직원교육 개선

○ 배관 압력 배출 배관 재설계

5. 압축기에서 암모니아 누출

□ 개요

- 일시 : 1999.11.29.
- 장소 : 유럽 소재 식료·음료 제조소
- 피해 : 압축기의 조절밸브 등 파손, 인근 주차장 주민 호흡기 문제 유발
- URL : eMars

(<https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/e52b9edf-5ad1-8e0d-d9f1-8c330cc23cb2>)

□ 사고

- 압축기에서 암모니아 누출
 - 감지기 및 환풍기가 즉시 작동하였고, 비상경보로 즉시 발령
 - 해당 건물을 즉시 격리하고 암모니아는 개인보호장비를 갖춘 작업자가 물로 처리함

□ 원인

- 물/얼음 분리기의 액상 암모니아 공급 밸브가 제대로 닫히지 않음
 - 액위로 조절되는 밸브
- 액위 조절 밸브에 부착된 경고기가 작동하지 않음
- 탱크에 과류가 발생하고 액상 암모니아가 압축기로 유입되어서 막히고 이에 따라 암모니아와 윤활유가 플렌지로 유출됨

□ 재발 방지대책

- 플로팅 스위치를 매 3개월 마다 점검
- 밸브 작동을 확인할 LED 표지장치 설치
- 제작자에 의한 플랜지 추가 점검

6. 암모니아 제조유닛 폭발 및 화재

□ 개요

- 일시 : 2010.7.24.
- 장소 : 유럽 소재 비료 제조 및 저장시설
- 피해 : 5명 부상(150억 피해)
- URL : eMars

(<https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/f8c4af35-d462-cb6e-1c6e-634009c396c9>)

□ 사고

- 암모니아 제조유닛에서 공급 배관 폭발과 이은 화재 발생
 - 제조시설 및 인근 설비가 폭발 과압 영향

□ 원인

- 최근 교체된 실의 플렌지에서 누설된 합성가스가 점화됨
 - 합성가스 300°C, 150기압

□ 재발 방지대책

- 암모니아 관련 모든 조업지역에 대하여 폭발 위험성 재검토
 - 폭발성 가스 취약 지역, 폭발이 발생한 지역
 - 광신호, 소리신호 등에 의한 경보
- 고압 합성가스 배관에 불필요한 연결부위 제거 확인 검토
- 정부의 법규 기준에 맞게 설치되었는지 재검토

7. 암모니아 저장탱크에서 누출

□ 개요

- 일시 : 2005.1.4.
- 장소 : 도소매용 저장 및 배송처
- 피해 : 1명 사망, 탱크 파손
- URL : eMars

(<https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/1e6b85d6-cdb3-6b70-0fd0-c48c780deb49>)

□ 사고

- 암모니아 저장탱크 폭발 및 누출
- 암모니아 액위를 높이기 위해 저온 암모니아를 배출 배관을 통해 저장탱크로 이송하기로 함
 - 탱크 상부의 암모니아 공급을 중단하고 냉각 압축기 가동
 - 배출 배관 탱크 쪽 밸브를 열고 반대쪽은 1/4만 개방
 - * 이 작업 중 2인의 조업자는 무선을 주고받으며 3m 플랫폼 상, 하부에서 각기 업무 수행
- 플랫폼 위의 작업자가 배관의 배출 배관을 열자 이상한 잡음이 들려서 밸브를 잠그고 자리를 피함
 - 5분 후 큰 소리가 나면서 암모니아 가스 분출
- 사고 발생 26시간 후 누설 멈춤
 - 10만m³ 정도 누출

□ 원인

- 암모니아 수용액이 암모니아와 혼합되며 반응열이 발생하고 이로 인하여 암모니아가 동시에 기화되며 사고 발생

□ 재발 방지대책

- 탱크 냉각기술 사용

8. 법정검사 중 암모니아 공장 폭발

□ 개요

- 일시 : 1988.6.9.
- 장소 : 유럽 소재 화학회사
- 피해 : 1명 사망, 2명 부상, 칼럼의 상부 금속부위 및 반응기 부분 파손, 건물 전파
- URL : eMars

(<https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/d2b442eb-a58a-f251-5a69-667a0f3a3e1d>)

□ 사고

- 10년 주기의 법정 내압검사 준비 중 사고 발생
 - 암모니아 제조 반응기 7기 중 5기는 운전, 2기는 검사 준비
 - * 800L 용량, 설계압 300기압
 - 해당 반응기는 상온에서 공정가스인 질소와 수고로 서서히 가압
 - * 수 차례 가압/감압하며 플렌지 부분 누설 확인용으로 매 사이클마다 질소 8기압으로 기밀 확인
 - 마지막 사이클에서 상온 250kg/cm²까지 가압하는 과정에서 폭발 발생

□ 원인

- 미상의 점화원에 의한 내부 폭발

□ 재발 방지대책

- 연결부위에 적절한 재질 사용 및 검사 철저

9. 암모니아 공장 가열로 폭발

□ 개요

- 일시 : 2009.6.26.
- 장소 : 암모니아 제조공장
- 피해 : 작업자 2명 부상
- URL : eMars

(<https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/ba0ea426-d933-1c6c-8540-806775aaa6c1>)

□ 사고

- 13:45 심한 폭풍으로 암모니아 공장 전면 가동중단
 - 천둥으로 전기모터를 비롯한 전기기기 작동 중지
- 야간조가 재가동 준비
 - 다음날 스팀 확보를 위해 1차 가열로 가동 준비 중 00:55 폭발 발생
 - * 21:00 반장은 모든 가열로가 재가동 준비됨을 통보받음
 - * 수차례 퍼지 작업 후 사망한 작업자는 가열로가 모두 닫힌 상태임을 확인하기 위해 터널 버너로 향함
 - * 바로 직전, 반장이 눌러보았을 밸브가 모두 닫힌 상태
 - 버너도 모두 닫힌 상태라고 유추함.
 - * 제어실에서 조절밸브를 확인했을 때 열린 것으로 표시되었으나 반장은 계기판이 잘 못된 것으로 오인함
 - * 반장이 연료인 천연가스 공급 밸브를 열었고 경보가 발령됨
 - * 잠시 후 폭발 발생

□ 원인

- 반장은 가스공급 밸브를 열기 전에 조업자에게 버너의 밸브가 잠겨있는지를 확인시키지 않음
- 버너의 밸브는 천연가스 공급 시 자동으로 닫혀지는 연동 기능 없음
- 버너 밸브는 fail-close이나 사고 당시에는 열린 채로 있었음
- 공압시스템이 각기 다른 종류의 안전장치(버너 밸브, 압력기기 등)에 공동으로 사용되어 비상시 필요한 각기 다른 동작을 하지 못함
- 가스 공급이 모든 버너에 같이 공급되며 중간에 차단 밸브 없음
- 재가동 절차 중 전체 공정을 자동으로 확인하는 절차 없음

□ 재발 방지대책

- 반장은 가스공급 밸브를 열기 전에 조업자에게 버너의 밸브가 잠겨있는지를 확인
- 버너의 밸브는 천연가스 공급 시 자동으로 닫혀지는 연동 기능
- 버너 밸브는 fail-close 확인 점검
- 안전장치(버너 밸브, 압력기기 등)를 구동하는 공압시스템은 별개로 연결
- 가스 공급을 버너에 개별로 공급하며 중간에 차단 밸브 설치
- 재가동 절차 중 전체 공정을 자동으로 확인하는 절차 추가

10. 암모니아 공장 가스화 반응기 사고

□ 개요

- 일시 : 1997.12.21.
- 장소 : 화학공장
- 피해 : 분출된 가연성 파편으로 인근 기기 손상(300m 반경), 1명 경상
- URL : eMars

(<https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/99cd49f1-4017-4bc7-9462-2175e45f6261>)

□ 사고

- 가스화 반응기에 기계적 결함으로 폭발 발생
 - 급격한 강압으로 내부의 내열 재질 비산
 - 반응기의 버너 플랜지 연결부위를 통해 공정 내용물 누출
 - 거대한 화염이 굉음과 함께 발생

□ 원인

- 버너의 연결부위에서 가스가 누출되고 인근 볼트가 풀리면서 누출량 증가
 - 틈새가 커지면서 볼트가 파손되면서 파열 발생
- 가연성 물질이 분출되며 파편이 사방으로 날아가서 소규모 화재 발생
 - 인근의 다른 기기 및 배관 손상

□ 재발 방지대책

- 반응기 상부 폭발성에 대한 제어 대책수립
- 반응기의 플랜지 부분 누설에 대한 감지기 설치
- 반응기 출구 냉각수 온도 경보를 70°C에서 50°C로 하향 조정
- 볼트는 사양에 맞춰서 교체
- 누설 시 운전 중에는 볼트를 조이지 말고 반드시 작업 중단 후 실시
- 버너 유지보수 시 청소도 실시
- 재가동 후 최초 12시간은 매시간 반응기 상부의 폭발성 측정
- 연결부위 재고 상태 확인
- 반응기에 온도측정 장치를 늘이고 원격 조정 가능하게 조치
- 반응기 온도경보조정(300°C → 240°C)
- 경보장치를 데이터 로거에 연결
- 반응기 재가동 중 검사를 조합하여 외부 온도 측정 및 확인 절차 수립

11. 암모니아 저장탱크 누설

□ 개요

- 일시 : 2017.10.19.
- 장소 : 제약회사
- 피해 : 공장내의 근무자 550여명 실내 대피, 2명 진료, 8분 동안 암모니아 300~500kg

누출

- URL : eMars

(<https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/a3e31bb5-e640-11eb-986e-0050563f0167>)

□ 사고

- 9:30 암모니아 저장탱크 공급 배관의 퍼지 밸브에서 누출 발생
 - 배관의 차단밸브 2기 사이에 있는 퍼지 밸브에서 누출

□ 원인

- 정지점검을 위해 저장탱크를 비우고 암모니아 공급을 차단해야 함
 - 차단밸브 2기는 잠그고 퍼지 밸브는 열어야 함
 - * 이는 암모니아를 공급하는 정상조업상태와 정반대 상태로 밸브를 두어야 함
- 유지보수 후 암모니아를 저장탱크로 공급 시 잠금 밸브 기밀결합으로 누출 발생

□ 재발 방지대책

- 재가동 전 밸브 기밀 반드시 확인

12. 화학공장에서 암모니아 누출

□ 개요

- 일시 : 2009.8.13.
- 장소 : 비료생산 및 저장시설
- 피해 : 300인 대피, 20명 경상, 4명 입원치료
- URL : eMars

(<https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/9dd20933-bd85-f2aa-f39e-257c0e7c470c>)

□ 사고

- 이산화탄소 액화 작업장에서 배기구를 통해 암모니아 누출
- 5톤 용량의 암모니아 냉동기를 이용하여 CO₂액화하는 공정

□ 원인

- 작업장이 쉬는 기간 중 압력 변환기를 해체하여 유지보수작업 실시
 - 압력 변환기는 냉동 사이클의 압력을 13기압으로 조정하고 14기압 시 안전장치 가동 가능
- 유지보수 다음날 변환기를 수리 중인데 조업 개시

□ 재발 방지대책

- 작업개시전 유지보수 완료 확인 절차 도입