폐산 저장탱크 과압방산구
파열에 따른 누출사고

Ⅰ. 사고개요 / 5
Ⅱ. 사업장 현황 / 6
Ⅲ. 사고분석 / 11
Ⅳ. 사고발생 원인 / 20
Ⅴ. 동종사고 예방대책 / 21
Ⅵ. 사고로부터 얻은 교훈 / 23
Ⅶ. 유사 사고사례 / 26
Ⅷ. 참고자료 / 28

용어설명

01. 니트로셀룰로오스(NC, Nitrocellulose, $C_6H_7(NO_2)_3O_5$)

셀룰로오스의 수산기를 질산에스테르로 변화시킨 화합물. 질산셀룰로오스·질산섬유소라고도 하며 화약에 쓰일 때는 면약 또는 면화약, 도료·셀룰로이드·콜로디온 등에 쓰일 때는 질화면이라고도 한다.

02. 질산(Nitric Acid, HNO_3)

질산은 무색의 부식성과 발연성이 있는 대표적인 강산이다. 유기 화합물의 나이트로화에 쓰인다. 용액 내에 질산의 비율이 86 %를 넘을 경우 발연질산이라 부른다. 순수할 때에는 무색을 띠나, 햇볕을 쪼이면 서서히 분해되어 **황갈색**(NO_2)이 되므로 갈색 병에 넣어 보관한다.

03. 황산(Sulfuric Acid, H_2SO_4)

황산은 강산성의 액체 화합물이다. 진한 황산과 진한 질산을 혼합한 혼산과 유기물이 반응하여 **니트로화 반응**을 일으킨다.

04. 과압방산구(Overpressure Vent)

저장탱크 등 설비의 내부에서 과압이 발생할 경우 이를 안전하게 외부로 배출하는 설비이다.

05. 초화(Nitration)

니트로화라고도 하며, 셀룰로오스의 하이드록시기를 질산에스터로 변화시키는 것을 칭하는 말이다.

06. 면약(Nitrocellulose)

약면약이라고도 하며 솜을 질산과 황산의 혼합액 속에 담가 질산의 작용을 약하게 만든 것으로, 니트로셀룰로오스(NC)가 화약의 원료로 쓰일 때 칭하는 말이다.

07. 순환 펌프(Circulating Pump)

유체를 일정한 계(System)에서 순환시키기 위한 펌프를 가리킨다.

08. 맨홀(Manhole)

주로 탱크 등의 상부 또는 측면에 설치되어 점검하거나 수리 또는 청소하기 위하여 사람이 드나들 수 있도록 만든 구멍으로, 대부분 덮개가 설치된다.

Ⅰ 사고개요

2017년 8월 2일(수) 경주시 소재 (주)○○에서 NC(니트로셀룰로오스) 폐산 저장탱크의 내부 온도상승으로 탱크 상부의 기상물질이 과압방산구를 통하여 대기중으로 배출된 사고이다.

※ 폐산 저장탱크에는 질산(21.18 %), 황산(64.93 %), 수분(12.74 %)과 니트로셀룰로오스 등 기타 불순물이 포함되었음

[사진 1] 사고 발생 탱크, 탱크 상단부 및 파열된 과압방산구

인명피해

• 없음

물적피해

• 없음

Ⅱ 사업장 현황

㈜○○은 기계·기구 제조업종의 사업장으로 사업내용은 방위산업으로 전반적인 사업장 현황 및 공정내용은 비공개 사항이다.

※ 본 자료에 인용된 내용은 공개된 일반적 제조법으로, 독자의 이해를 돕기 위해 필요한 내용만 간략하게 언급하였음

[사진 2] 사고발생 저장탱크 및 제조공장

1. 위험물질목록

NC(니트로셀룰로오스)공정의 폐산

(1) 사고 발생 물질(폐산)의 구성성분

물질명	CAS NO.	TWA	증기압	함유량
니트로셀룰로오스	9004-70-0	-	-	0.01이하
황산	7664-93-9	0.2 mg/m^3	0.13 kPa (146 ℃)	60~65
질산	7697-37-2	2 ppm	6.4 kPa (20 ℃)	20~25
물(Water)	7732-18-5	-	10 kPa (45.8 ℃)	10~20

(2) 사고 발생 물질(탱크 내부 기상 성분)

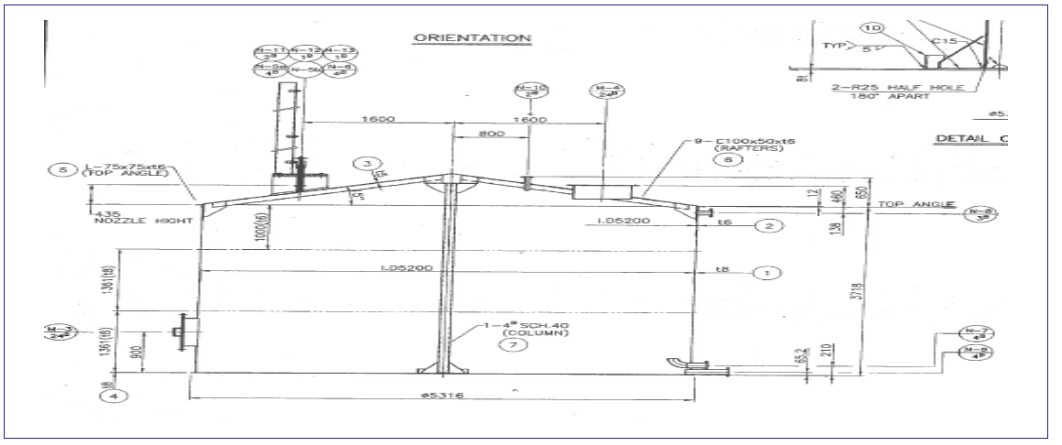
물질명	CAS NO.	TWA(ppm)	비 고
기타	-	-	니트로황산, 니트로 셀룰로오스 등 미량
황산	7664-93-9	0.2 mg/m^3	폐산의 구성성분
질산	7697-37-2	2 ppm	폐산의 구성성분 및 NC의 분해생성물
물(Water)	7732-18-5	-	폐산의 구성성분 및 NC의 분해생성물
이산화질소	10102-44-0	3 ppm	질산의 분해 생성물

※ 질산의 분해식 : $4HNO_3 \rightarrow 4NO_2 + 2H_2O + O_2$

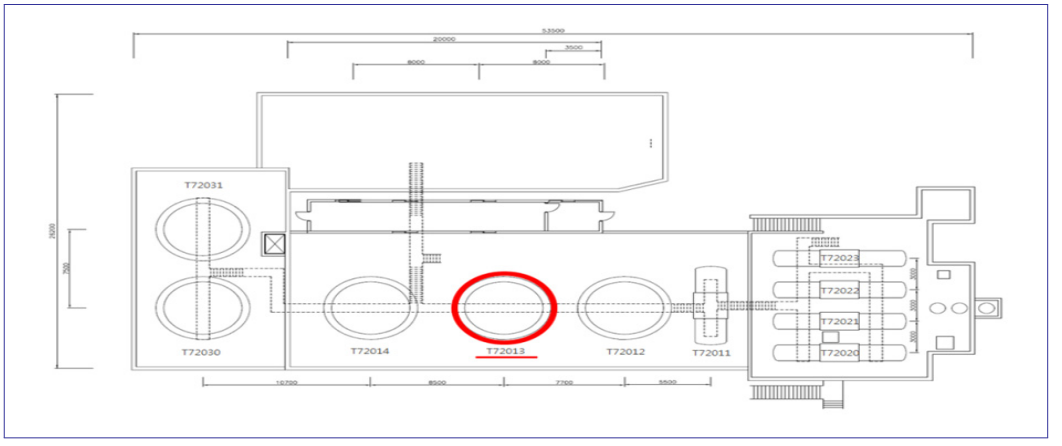
2. 누출 발생 설비

설비 현황 및 관련 도면

설비명	재질	제작 / 설치일자	제 원 (ID * L)	설계조건 (압력/온도)	운전조건 (압력/온도)	비고
NC폐산탱크	STS304	2000.11. / 2000.12.	5,200*3,718	F.L. / -	ATM / 50 ℃	T72013



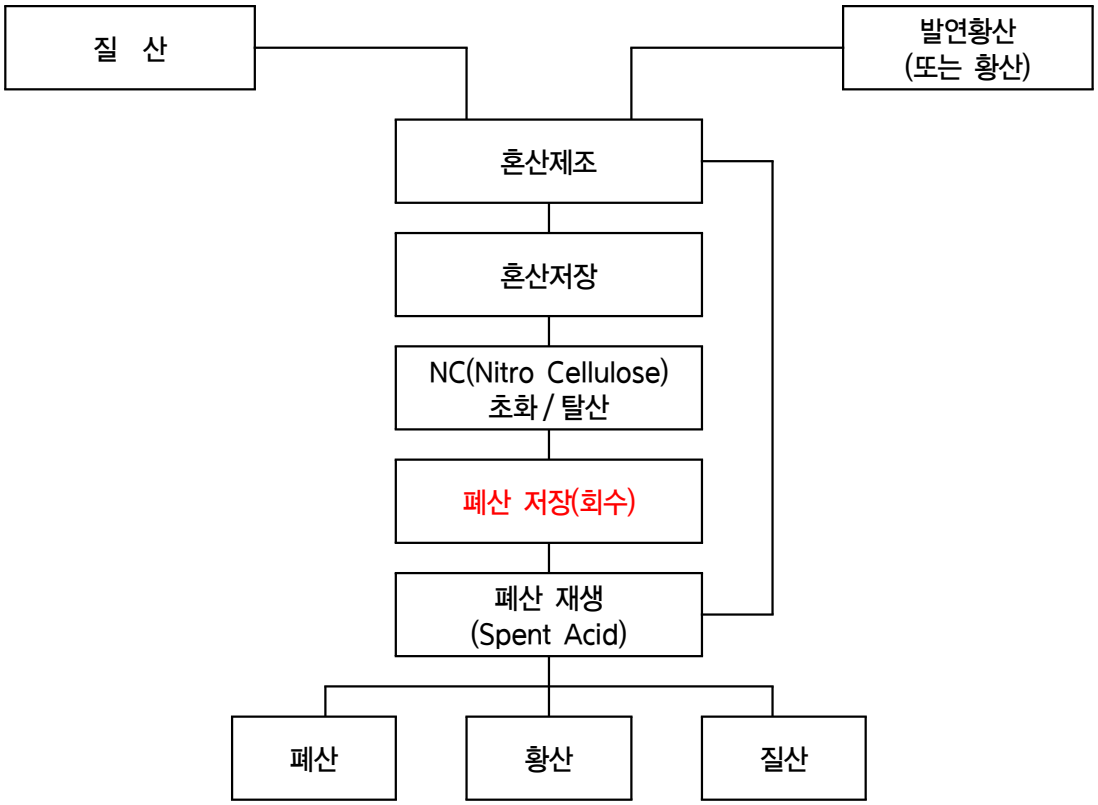
[그림 3] NC 폐산탱크 외관 개략도



[그림 4] NC 폐산탱크 배치도

3. 공정

1) 혼산 제조공정도



※ 황산 : H_2SO_4

발연황산 : $H_2SO_4 + SO_3$

2) 혼산 제조공정 설명

공정	공정 설명
혼산 제조	NC 혼산의 원료가 되는 원재료(질산, 황산 또는 발연황산, 폐산)를 저장하고 계량 및 혼합하여 표준 조성의 혼산을 제조 후, 초화실로 공급해 주고 다시 폐산을 반입하는 공정이다. 질산, 발연황산 또는 황산과 폐산을 각각의 저장탱크에서 계량 탱크로 이송한 후 혼산 조성에 맞추어 적당량을 계량하여 혼산 제조 탱크에 주입하여 혼산을 제조한다.
혼산 저장	질산, 황산, 발연황산(Oleum)을 사용하여 혼합산을 만들어 저장한다.
NC 초화/탈산	1) NC 초화 면을 혼산과 혼합하여 반응시키는 공정으로, 혼산 준비 공정에서 준비된 NC용 혼산은 초화 반응 온도가 조절되도록 혼산 열교환기를 거쳐 초화기에 투입된다. 면은 준비 공정에서 타면 후 건조되어 저장 호퍼로 이송된다. 저장된 면은 운반 수레에 정량 계량된 후 초화기에 투입되어 혼산과 면을 교반하여 NC를 생성하게 된다. 2) NC 탈산 초화기에서 생성된 면약과 폐산은 탈산기에 투입되어 면약에 있는 폐산이 제거된다. 탈산된 면은 예비 안정화 공정에 보내지고, 폐산은 폐산 여과탱크를 거쳐 폐산 저장탱크로 회수되는 공정이다.
폐산 저장(회수) 사고발생 공정	탈산 후 분리된 폐산을 여과탱크로 보내 폐산 속에 있는 면약을 제거한 후 저장탱크에 저장한다.
폐산 재생	폐산을 탈초탑에 유입시켜 스팀 및 직접가열 방법으로 폐산 중의 물, 유기물 등의 불순물을 제거하고 질산가스와 황산을 분리한다. 분리된 질산가스는 질산응축기를 통하여 응축된 후 질산 세정탑에서 공기에 의해 산화·탈색된 후 질산 저장탱크로 이송된다. 탈초탑 하부로 배출되는 황산은 황산 냉각기에서 냉각되어 황산 저장 탱크로 이송된다.

Ⅲ 사고분석

1. 사고 발생 과정

사고 발생 당시 상황

- '17. 07. 29.부터 하계휴가(기간 : '17. 07. 29. ~ 08. 06.)가 시작됨에 따라 공정의 가동이 중단되었다.
- 공정 가동 중단 중에는 혼산에 존재하는 NC 미분과 탱크 상부에 대기와의 노출을 피하기 위하여 순환펌프를 가동하여 순환시키고, 더불어 대기온도가 30 ℃ 이상일 경우 탱크 상부에 설치된 살수장치를 가동하여 탱크 내부유체를 냉각시키는 작업을 실시해야 한다.
- 그러나 공정 중단 후 사고 당일까지 순환펌프를 작동시키지 않았고, 사고 발생 당일('17. 08. 02.) 대기온도가 30 ℃를 넘지 않아 살수장치 역시 가동하지 않았다.
- NC 폐산 저장탱크에 보관된 유체의 온도가 상승하면서 증기압이 증가되었으며, 유입된 NC 미분이 혼산과 분해 및 발열반응하였다. 이에 따라 증기가 과다발생함으로써 저장탱크 내부 기상부에 과압을 형성하였고, 저장탱크 상부 맨홀에 설치된 과압방산구를 통하여 혼산 증기가 누출되었다.

2. 사고원인분석

1) 누출물질 추정

• 내부물질의 증기압, 반응생성물 등 물질 특성 고찰을 통한 누출물질 추정

사고가 발생한 NC 폐산탱크에는 액상으로 황산(약 65 %), 질산(약 20 %), 물(약 15 %)과 미량의 NC가 포함되어 있었고, 과압 발생에 의해 폐산탱크 내부의 기상부를 구성하고 있던 물질이 탱크 외부로 누출되었다.
이에 따라 내부 물질의 증기압, 반응 생성물 등 물질의 특성을 고찰하여 누출 물질을 추정할 수 있다.

① 물질특성 고찰

▸ 황산(H_2SO_4)

- 황산은 일반적으로 무색투명한 액상으로 MSDS에서 제시하는 증기압은 0.13 kPa(at 146 ℃)로 사고 당시 탱크의 추정온도(50~70 ℃)에서는 미미한 양이 기상에 존재하였을 것으로 추정된다.
- 혼산(H_2SO_4+HNO_3·H_2O)으로 존재 시 다음과 같이 일부 반응 생성물이 발생하나, 반응량은 미량으로 알려져 있다.

$$H_2SO_4 + HNO_3 \cdot H_2O \rightarrow [NO_2]^+ + 2H_2O + [HSO_4]^-$$
$$HNO_3 + [NO_2]^+ \rightarrow N_2O_5 + [H]^+$$
$$N_2O_5 \rightarrow 2NO_2 + 1/2O_2$$
$$[H]^+ + [HSO_4]^- \rightarrow H_2SO_4$$

▸ 질산(HNO_3)

- MSDS에서 제시하는 질산의 증기압은 6.4 kPa(at 20 ℃)으로 황산과 비교해 상대적으로 매우 높은 증기압을 가지고 있다.

- 질산은 상온에서도 분해하여 이산화질소(NO_2)와 수증기(H_2O) 그리고 산소(O_2)를 발생시킨다.

$$4HNO_3 \rightarrow 4NO_2 + 2H_2O + O_2$$

▸ 니트로셀룰로오스($C_6H_7(NO_2)_3O_5$)

- NC는 상온에서 고체로 존재하며 강한 산성 분위기에서 분해/연소반응을 일으켜 발열할 수 있다. 질화도에 따라 상이하나 NC는 분해/연소생성물로 질산(HNO_3), 셀룰로오스, 산화질소(NOx), 수분(H_2O) 등을 생성한다.

  이 때, 열이 발생하는데 제조사인 ㈜○○에서 제공한 자료에 의하면 질산 14.12 %에서 제시된 연소열은 2,208 kcal/kg이고 생성열은 504 kcal/kg이었다.

  그러므로 폐산저장탱크에 NC가 존재하여 산성 분위기에서 반응하였을 경우 **발열효과, 반응물 생성에 의한 압력상승 효과가 있었을 것으로 보인다.**

TABLE 69

HEAT OF COMBUSTION AND HEAT OF FORMATION OF NITROCELLULOSE

Nitrogen content %	Heat of combustion kcal/kg	Heat of formation kcal/kg	Author
7.66	3071	958.9	Tomioka [87]
10.14	2717	804.1	Tomioka [87]
11.06	2612	742.3	Tomioka [87]
12.45	2434	645.2	Tomioka [87]
12.88	2390	616.5	Tomioka [87]
13.53	2236	594	Lenze, Metz and Rubens [88]
13.58	2286	568.7	Tomioka [87]
13.92	2239	513	Lenze, Metz and Rubens [88]
14.12	2208	504	Lenze, Metz and Rubens [88]

[그림 5] 질소함량(%)별 NC반응열/생성열 데이터
[(주)○○;『Chemical Properties Of Nitrocellulose』]

② 탱크 내 기상물질 추정

사고 발생 직전 탱크내부의 기상부에는 이산화질소(NO_2), 질산증기(HNO_3), 수증기(H_2O), 황산증기(H_2SO_4), 그 외 산소(O_2), 이산화탄소(CO_2) 등이 존재했다.

아래 황산-질산-수증기 삼성분계에 대한 조성별 증기압곡선을 참조하면 기상부에는 대부분 질산과 질산 분해 생성물 즉, 이산화질소가 존재했을 것으로 추정된다.

따라서 **사고 발생 시 배출물은 대부분 이산화질소(NO_2)와 질산증기(HNO_3)가 주성분을 이루었을 것으로 판단할 수 있다.**

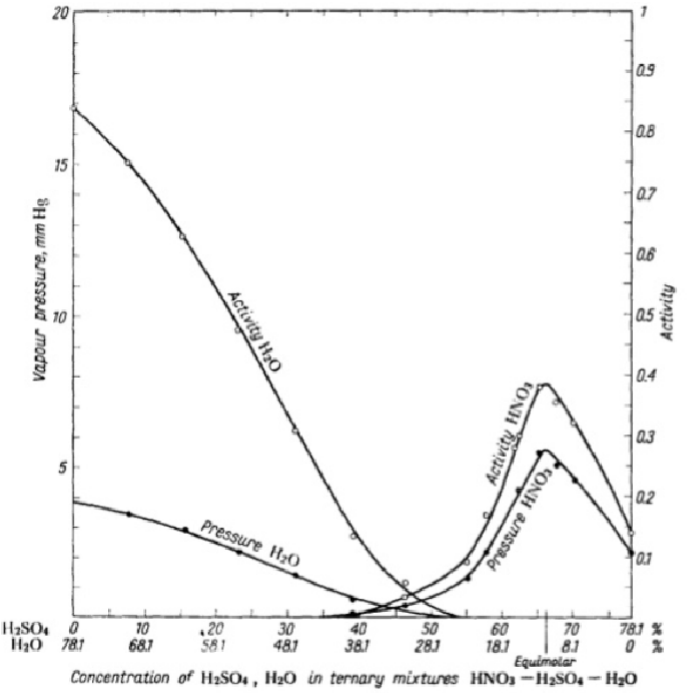


FIG. 11. Vapour pressure and activity H/H_0 of HNO_3 in the solution HNO_3-H_2SO_4-H_2O containing 21.9% HNO_3 (Vandoni [72]).

[그림 6] 황산-질산-수증기 3성분계의 증기압 곡선

[Urbanski, Chemistry and Technology of Explosives; 28p]

※ 질산(20 %), 황산(65 %), 물(15 %)에서는 질산의 증기압만이 고려됨

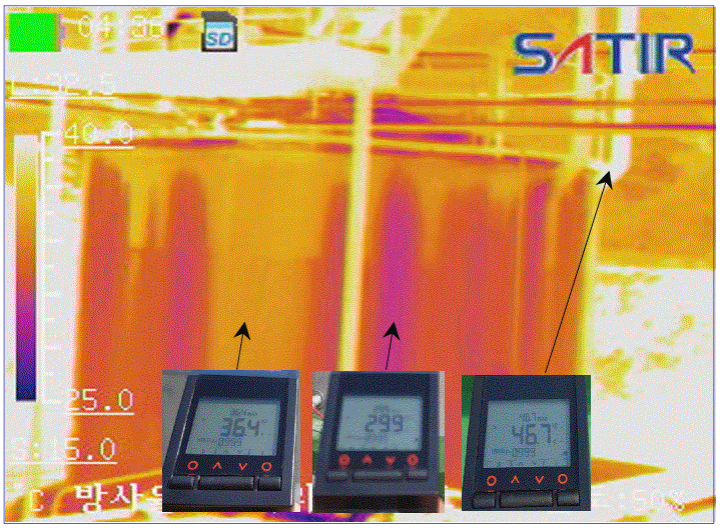
2) 탱크온도 추정

• 사고 당일 탱크 내부의 온도 추정

사고 발생 당시(2017년 8월 2일) 공식 기상청 자료에 의하면 해당 시 인근의 한낮 최고온도는 29.8 ℃ 였으며, 8월 4일 현장 조사 시 확인한 탱크의 표면온도는 약 30~36.4 ℃로 측정되었다. 반면에 냉각효과가 없는 인근 구조물의 표면온도는 46.7 ℃로 측정되었다.

탱크의 표면온도가 최고 36.4 ℃로 나타난 것은 살수조치를 실시하고 있는 상태에서 측정한 값으로, 사고 당일 살수조치를 실시하지 않은 점을 고려하면 인근 구조물과 같이 50 ℃정도까지 온도가 상승했을 것으로 보인다.

NC가 내부에서 반응을 할 경우 반응열에 의해 내부 온도는 더욱 상승하여 **사고 당일 탱크내부의 온도는 최소 50 ℃ 이상이었을 것으로 추정된다.**



[그림 7] 사고 발생 NC저장탱크(T72013)의 열화상 카메라 화면(8월 4일)

※ 수직으로 진한 보라색부분은 냉각수가 흐르는 구역으로 상대적으로 저온(29.9 ℃)을 나타내고 황색으로 나타나는 탱크 표면은 36.4 ℃를 나타내는 반면 냉각수의 영향이 없고 직사광선에 노출된 인근 구조물은 46.7 ℃의 측정값을 나타냄

3) 과압 발생 원인 추정

• 반응생성물과 내부 유체의 증기압 상승으로 인한 과압 형성

① 외부 기온 상승에 따른 증기압 상승

사고 발생 당시 탱크상부에 설치된 살수설비가 작동되지 않았고 직사광선에 노출되었으므로 NC폐산탱크는 최소 약 50 ℃정도의 내부온도를 유지하였을 것으로 볼 수 있다. 이로 보아 내부 유체도 이와 비슷한 온도를 유지하여 내부 유체의 증기압이 상당히 상승하였을 것으로 추정된다.

탱크내부의 온도를 50 ℃로 가정하고 혼합액체의 증기압을 추정해보면 약 30.7 kPa(1.35 kg/cm^2)로 계산되어 **탱크내부에 이상 과압이 형성된 것으로 판단할 수 있다.** 그러나 탱크상부에 상시 열림 상태의 배기관이 설치되어 있었으므로 압력상승은 제한적이었을 것으로 추정된다.

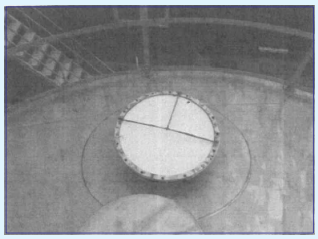
② NC의 반응열에 의한 증기압 상승

폐산저장탱크에는 NC가 미량 혼입되어 있어 산성 분위기에서 장시간 정치된 상태에서는 산화/분해반응을 일으킬 수 있다. 따라서 NC가 반응하는 부분에서는 반응열에 의해 국부적으로 고온이 발생할 수 있어 증기압이 상승될 수 있다.

혼합액의 온도를 60 ℃와 70 ℃로 가정하여 증기압을 계산해보면 약 52.6 kPa과 87.2 kPa로 추정된다. **70 ℃에서의 증기압은 1.88 kg/cm^{2}에 해당하는 값으로 ㈜○○에서 제시한 분출개시압력(1.85 kg/cm^2)을 초과하는 것으로 판단된다.**

▸ **과압방산구**

㈜○○의 폐산 저장탱크는 상압탱크이나 과압발생 시 탱크의 안전성을 향상시키기 위해 탱크 상부의 맨홀(N-4)에 설치한 압력 해소장치로 테프론 재질의 두께 1mm의 판으로 제작됨. ㈜○○에서는 분출개시압을 1.85 kg/cm^{2}으로 제시하였음



③ NC의 반응생성물에 의한 압력증가

폐산저장탱크에는 NC가 미량 혼입되어 있어 고온의 산성 분위기에서 반응할 경우 산(HNO_3), 셀룰로오스, 산화질소(NOx), 수분(H_2O) 등을 생성한다. NC와 질산(HNO_3) 및 이산화질소(NO_2)의 경계면에서 이러한 반응이 발생할 수 있으며, **저장탱크 내부의 과압 형성에 기여했을 것으로 판단된다.**

4) 결론

폐산저장탱크의 냉각용 살수장치가 작동되지 않은 상태에서 고온의 외기와 직사광선에 의한 복사열 등에 의해 탱크내부의 폐산온도가 상승하였고, 내부 온도 상승과 강산성 분위기는 NC미분의 이상반응을 유도하였다.

이에 따라 NC의 반응생성물에 의한 압력 증가와 질산의 증기압 증가 등에 의해 내부의 압력이 급격히 증가되어 탱크내부 기상부의 압력이 **1.85 kg/cm^2** 을 초과하여 질소산화물(NO_2)과 질산(HNO_3), 수분 등의 물질이 과압방산구를 통해 누출되었다.

[그림 8] 사고 발생 당시 사진(증기 누출)

[그림 9] 사고 발생 당시 사진(증기 누출)

■ 사고근본원인분석(RCA ; Root Cause Analysis)

사고 발생에 대한 직·간접 원인 등을 종합하면, 설계단계에서 위험물질의 제거에 대한 검토가 미흡하여 니트로셀룰로오스가 폐산 탱크로 유입되었다. 공정물질에 대한 교육 부족으로 운전자의 탱크냉각의 중요성에 대한 인식이 미흡하였으며, 결국 운전원이 적절한 온도제어에 실패하여 유해물질이 누출되었다.

단계	사고원인 1	사고원인 2	사고원인 3	사고원인 4
1. 결함내용 분류	기기결함	운전결함	기술결함	기술결함
2. 관련 조직	설계부	생산부	사내 기술 관련 부서	안전부서
3. 결함 종류	설계	-	-	-
4. 결함 대분류	설계검토	작업절차	교육훈련	관리체계
5. 결함 중분류	별도검토 부적절	작업절차 미작성	교육훈련 미흡	규정정책통제 미흡
6. 결함 소분류	• 전문인력 부족 및 관련 기준 미확보 • 과압방출부의 처리시스템 미설치 • 위험물질 제거 시스템 보완 미비	• 살수설비 가동 절차서 미작성 • 순환펌프 가동 절차서 미작성 • 로그시트 미작성	• 공정물질 위험성 교육 미흡 • 살수설비 가동 절차 교육 미흡 • 비상조치훈련 미흡	• 절차서 작성에 관한 규정 이행 통제 미흡 • 공정교육 시행 통제 미흡

Ⅳ 사고발생 원인

원인 1 폐산저장탱크 살수조치 미실시

내부적으로 30 ℃ 이상에서는 탱크상부에 설치된 살수설비를 작동시켜 냉각하도록 관리하고 있다. 그러나 탱크온도가 아닌 외부기온을 기준으로 가동여부를 결정함으로써, 실제로 탱크가 고온이 되었지만 살수설비를 가동하지 않았다.

※ 운전절차서에 냉각설비 가동에 관한 내용은 규정되지 않음

원인 2 NC 잔유물 유입

NC가 폐산저장탱크에 유입되어 산화/분해반응을 하고 반응열을 발생시켜 탱크내부에 과압을 형성시켰다.

원인 3 폐산탱크 내부유체 순환조치 미실시

NC가 폐산저장탱크에 유입될 경우 탱크내부에 불균일하게 분포하여 산화/분해반응 시 국부과열에 의한 과압 형성의 우려가 있다. 따라서 내부유체를 순환조치하여 NC입자를 균일하게 확산시켜야하나 실시하지 않았다.

V 동종사고 예방대책

대책 1 폐산저장탱크 살수설비 개선

탱크의 온도를 직접 측정할 수 있도록 온도측정 방법을 개선하고 살수설비와 연동설비를 설치하여 기준온도에서 자동으로 살수설비가 작동하도록 개선하여야 한다.

대책 2 폐산 여과공정 개선

폐산저장탱크에 유입되는 NC의 양은 반응열 발생에 주요한 인자이므로 가급적 많은 NC를 여과·제거할 수 있도록 여과공정을 개선하여야 한다.

※ 여과기(Filter)의 여과용 거름망(Screen)의 눈(Mesh)을 개선하거나, 현 2단 필터링 방식에서 3단 이상의 필터링 방식으로 개선하는 등 NC제거 효율을 높여야 함

대책 3 내부유체 순환 실시

폐산저장탱크 내부의 온도, 불순물(NC 등)의 불균일에 의한 이상반응 및 과압 형성을 예방하기 위해 주기적으로 내부유체 순환을 실시하여야 한다. 또한, 순환주기·시간·방법 등을 구체적으로 탱크팜 운전절차서에 반영하여야 한다.

대책 4 과압방산구에 포집장치 설치

폐산저장탱크 상부에 설치된 과압방산구는 비상 시 탱크 상부의 기상물질을 배출시키는 장치이므로 포집장치를 설치하여 피해영향을 완화하도록 조치하여야 한다.

대책 5 탱크팜(Tank Farm) 운전절차서 개선 및 교육

탱크팜(Tank Farm) 운전절차서에 살수설비 작동에 관한 내용을 포함하여야 하며, 운전절차서에는 살수설비 작동온도, 온도측정 방법 및 위치와 시간 등이 명확히 규정되어야 한다.

또한, 운전절차서에 따라 해당 공정에 근무하는 모든 근로자에게 교육하여 교육성과를 측정해야 하고, 주기적·반복적으로 시행해야 한다.

대책 6 공정안전보고서(PSM)에 의한 자체감사 개선

공정안전보고서(PSM)에 의해 매년 실시하는 자체감사 시 운전절차서의 내용을 검토하도록 항목을 개선해야 한다.

※ 운전절차서에는 위험성평가에서 제기된 내용이 반영될 수 있도록 자체감사 시 확인

Ⅵ 사고로부터 얻은 교훈

NC폐산 저장탱크의 내부 과압 발생에 따른 폐산 증기가 누출된 사고로부터 얻은 교훈은 다음과 같다.

교훈 1 공정 물질의 특성 파악 및 철저한 교육이 필요하다.

이 사고에서의 출발점은 공정에서 사용되는 물질들의 물리·화학적 특성을 운전자가 정확히 인식하지 못한 것이다. 탱크팜의 근무자는 단순히 30 ℃ 이상에서 냉각 조치를 한다는 사실만 알고 있어, 정작 중요한 탱크내부 유체의 온도상승 여부에 관심을 가지지 않았다.

장시간 정치할 경우 폐산에 포함된 NC가 밀도차에 의해 액상 상부에 떠올라 질산 및 분해 생성물인 이산화질소(NO_2)와 접촉면에서 반응존을 형성할 수 있다는 사실을 알지 못해 주기적인 혼합조치도 취하지 못하였다.

동종사고를 예방하기 위해서는 공정물질의 정확한 이해를 통하여 안전한 운전을 할 수 있도록 물질특성에 대한 교육을 강화해야 한다.

교훈 2 공정운전 절차의 문서화가 필요하다.

해당 탱크에는 내부 유체의 과열을 방지하기 위한 살수 설비와 NC의 분산 및 국부과열을 방지하기 위한 순환펌프가 설치되어 있었으나 운전절차서가 마련되지 않았고, 운전기록지에도 기록하는 절차가 마련되지 않았다.

이러한 이유로 운전자는 책임자의 지시 혹은 임의로 판단하여 살수 설비 및 순환펌프를 운전해야 하므로 적절한 시점에 설비를 동작시킬 수 없었다.

사고 예방을 위해서는 설비의 작동요건 등을 명확히 기술한 절차서를 마련하고 운전기록서에 기록하도록 문서화함과 동시에 운전원이 정확히 이행하도록 해야 한다.

교훈 3 운전절차의 주기적인 검토와 보완을 해야 한다.

운전절차는 초기 작성 시 필요한 모든 내용이 포함되도록 정밀하게 작성해야 하지만 공정의 변경, 새로운 지식의 도입 등으로 변경이 필요한 경우가 있으므로, 운전절차는 주기적으로 검토하여 작업의 절차 및 위험요인이 누락되지 않도록 관리해야 한다.

교훈 4 근원적인 공정개선이 필요하다.

사고 발생 물질인 NC는 특정한 조건(고온의 산성 분위기 등)에서 반응성이 매우 큰 물질로 본 사고에서와 같이 소량이 포함되어도 위험할 수 있으므로, 저장공정에 유입되는 양을 최소로 제한할 수 있도록 필터링 시스템을 보완하는 등 근원적 안전대책을 강구해야 한다.

교훈 5 비상조치계획에 따른 대응능력 향상이 필요하다.

위험성평가 결과를 바탕으로 최악의 사고 시나리오와 대안의 사고 시나리오를 발굴하고 이에 따른 비상조치훈련을 주기적으로 실시하여 사고 발생 시 신속한 대응이 가능하도록 해야 한다.

Ⅶ 유사 사고사례

1. 질산탱크 액면계 밸브 파손으로 질산 누출

발생일시	2017년 8월
사고장소	경상북도 구미시 소재 질산 저장탱크
피해내용	인명피해 없음
사고내용	• 질산탱크(68 %)의 외부 액위계 하부밸브에서 소량(방울단위)의 질산 누출(사무실 내 경보기 경보 발생)이 시작되어 1차 사업장에서 자체적으로 보완, 15:29경 119신고, 15:40경 119 도착 및 조치(16:00경 실링 완료)하였고 119 확인결과 약 60리터의 질산이 누출되었다.

2. 약품저장소 혼산 폐액탱크 누출사고

발생일시	2016년 6월
사고장소	경상북도 구미시 소재 폐산 저장탱크
피해내용	인명피해 없음
사고내용	• 경북 구미소재 (주)○○의 약품저장소 입구 혼산 폐액저장탱크(약 20 m^3, PE재질) 내부에서 원인불명의 이상반응이 발생하여 탱크 내 폐산이 방유제 내로 누출되고, 폐산의 증기가 발생한 사고이다.

3. 질소산화물 응축공정 콘덴서 액위부에서 질산 등 누출

발생일시	2016년 3월
사고장소	울산광역시 소재 질산제조공장 응축공정
피해내용	인명피해 없음 / 인근 야산 수목 고사
사고내용	• 질산제조공장의 질소산화물(NOx) 응축공정 콘덴서에 설치된 액위계(Level Gauge) Flange부에서 질산(43 %) 및 질소산화물이 누출(약 70 kg)되어 자체 인력으로 누출물을 희석/처리한 누출사고이다.

4. 폐산 옥외 저장탱크 누출사고

발생일시	2015년 9월
사고장소	경상북도 영천시 소재 폐산 옥외저장탱크
피해내용	인명피해 없음
사고내용	• 경북 영천소재 ○○(주)의 임대 작업장에서 60 % 질산과 5 %불산이 혼합된 10 톤 폐산 저장탱크(사고당시 약 5 톤 저장) 플랜지와 액위계 연결부위에서 폐산이 누출되어 방유제 외부까지 누출된 사고이다.

Ⅷ 참고자료

1. 니트로셀룰로오스, 질산, 황산, 이산화질소 등의 물질안전보건자료, 안전보건공단 & (주)○○

2. 화학사고 조사 보고서, 안전보건공단

3. KOSHA Guide P-151-2016 사고의 근본원인 분석기법에 관한 기술지침

4. Renyl Zhang et al, Vapor Pressure Measurements for the H_2SO_4/HNO_3 and H_2O systems; J. Phys Chem. 1993.

2018-전문-318

고객님의 소중한 평가를 기다립니다

여러분이 보내주신 소중한 의견을 반영하여
더 좋은 안전보건자료를 만들어 나가겠습니다
아래 설문 양식을 작성하여 팩스로
보내주시면 감사하겠습니다

Fax. 052-703-0322

본 자료가 여러분의 재해예방활동에 기여한다고 생각하십니까?

- 매우 그렇다
- 그렇다
- 보통
- 그렇지 않다
- 전혀 그렇지않다

귀하는 회사에서 어떤 직책을 맡고 계십니까?

- 경영층
- 안전보건 관리자
- 관리 감독자
- 근로자
- 기타

본 자료가 만족스러우셨습니까?

	매우 만족	만족	보통	불만족	매우 불만족
디자인 · 편집	○	○	○	○	○
내용 구성	○	○	○	○	○
전반적 만족도	○	○	○	○	○

귀하께서 근무하는 회사에 대해

업종

- ○ 제조업
- ○ 건설업
- ○ 전기·가스·수도업
- ○ 운수·창고·통신업
- ○ 임업·농업·어업
- ○ 기타산업
- ○ 위생 및 유사서비스업
- ○ 보건 및 사회복지사업
- ○ 건물종합관리업
- ○ 음식 및 숙박업
- ○ 도·소매업 및 수리업
- ○ 교육·임대 및 사업서비스업

규모

- ○ 5인 미만
- ○ 50~99인
- ○ 300인 이상
- ○ 5~49인
- ○ 100~299인

소중한 의견을 당첨의 기쁨으로 돌려드립니다!

경품추첨

1회차 2018년 7월 첫째주
'18년. 6. 22. 이전 도착 분

2회차 2018년 12월 첫째주
'18년. 11. 23. 이전 도착 분

* 경품 내용과 추첨 일정은 공단 사정에 따라 변경 가능합니다
* 당첨자는 경품 추첨일 이후 SNS로 개별통보 됩니다
(알람 받기를 원하시면 휴대폰 번호를 기재해주세요)

이 름		전 화	
회 사 명			
회사주소			

개인정보 수집 및 이용 안내

(이용자는 해당 개인정보 수집 및 이용 동의에 대한 거부 권리가 있습니다)

❶ **개인정보의 수집 · 이용 목적**
안전보건 미디어 만족도 측정, 경품 추첨 및 우편발송 등 서비스 제공에 관련한 목적으로 개인정보를 수집 · 이용

❷ **수집 · 이용 개인정보 항목**
이름, 전화번호, 회사명, 회사주소

❸ **개인정보 보유 및 이용기간**
개인정보 수집 당해연도 (경과 시 일괄폐기)

상기 내용을 읽고 개인정보 수집 · 이용에 동의 합니다 ····· ☐ (동의 시 체크표시)
※ 개인정보 수집 · 이용에 동의하셔야 경품증정 등 서비스가 제공 될 수 있습니다

2018-전문-318

고객님의 소중한 평가를 기다립니다

여러분이 보내주신 소중한 의견을 반영하여 더 좋은 안전보건자료를 만들어 나가겠습니다
아래 설문 양식을 작성하여 팩스(052-703-0322)로 보내주시면 감사하겠습니다

본 자료가 여러분의 재해예방활동에 기여한다고 생각하십니까?

- 매우 그렇다
- 그렇다
- 보통
- 그렇지 않다
- 전혀 그렇지않다

귀하는 회사에서 어떤 직책을 맡고 계십니까?

- 경영층
- 안전보건 관리자
- 관리 감독자
- 근로자
- 기타

본 자료가 만족스러우셨습니까?

	매우 만족	만족	보통	불만족	매우 불만족
디자인 · 편집	○	○	○	○	○
내용 구성	○	○	○	○	○
전반적 만족도	○	○	○	○	○

귀하께서 근무하는 회사에 대해

업 종

- 제조업
- 건설업
- 전기·가스·수도업
- 운수·창고·통신업
- 임업·농업·어업
- 기타산업
- 위생 및 유사서비스업
- 보건 및 사회복지사업
- 건물종합관리업
- 음식 및 숙박업
- 도·소매업 및 수리업
- 교육·임대 및 사업서비스업

규 모

- 5인 미만
- 50~99인
- 300인 이상
- 5~49인
- 100~299인

설문엽서를 보내주신 분께는 추첨을 통해 경품을 보내드립니다

경품추첨

1회차: 2018년 7월 첫째주
'18년. 6. 22. 이전 도착 분

2회차: 2018년 12월 첫째주
'18년. 11. 23. 이전 도착 분

※경품 내용과 추첨 일정은 공단 사정에 따라 변경 가능합니다
※당첨자는 경품 추첨일 이후 안전보건공단 홈페이지 (www.kosha.or.kr)에서 확인하세요

고객님의 인적사항을 적어주세요

이 름		전 화	
회 사 명			
회사주소			

개인정보 수집 및 이용 안내

이용자는 해당 개인정보 수집 및 이용 동의에 대한 거부 권리가 있습니다

❶ 개인정보의 수집 · 이용 목적
안전보건 미디어 만족도 측정, 경품 추첨 및 우편발송 등 서비스 제공에 관련한 목적으로 개인정보를 수집 · 이용

❷ 수집 · 이용 개인정보 항목
이름, 전화번호, 회사명, 회사주소

❸ 개인정보 보유 및 이용기간
개인정보 수집 당해연도 (경과 시 일괄폐기)

상기 내용을 읽고 개인정보 수집 · 이용에 동의 합니다 ····· ☐ **(동의 시 체크표시)**

※ 개인정보 수집 · 이용에 동의하셔야 경품증정 등 서비스가 제공 될 수 있습니다

Fax.번호 : 052-703-0322

산업재해예방 안전보건공단

작 성

권 남 호 (안전보건공단 대구지역본부 중대산업사고예방 기술지원부)

이 수 희 (안전보건공단 대구지역본부 중대산업사고예방 기술지원부)

김 재 범 (안전보건공단 대구지역본부 중대산업사고예방 기술지원부)

검 토

안전보건공단 전문기술실 화학사고예방부

2018-전문-318

『폐산 저장탱크 과압방산구 파열에 따른 누출사고』
사례 연구

발 행 일	2018년 7월 1일
발 행 인	한국산업안전보건공단 이사장 박두용
발 행 처	한국산업안전보건공단 전문기술실
주 소	울산광역시 중구 종가로 400
전 화	(052) 703-0600
F A X	(052) 703-0312
Homepage	http://www.kosha.or.kr
디자인 · 인쇄	대일인쇄(주) ☎052)260-3110

※ 무단 복사 및 복제하여 사용하는 것을 금지함