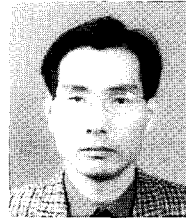


질산 암모늄의 위험성 분석

- 북한 용천역 폭발사고 관련 -



구 자 철 | TRC Korea 상무이사



정 윤 섭 | TRC Korea 위험관리연구소 팀장

1. 개요

북한 용천 참사를 일으킨 질산암모늄은 연구소와 화학공장에서 매우 유용한 화학물질인 반면, 화재·폭발의 위험성이 매우 높다. 일반적으로 질소화합물은 공기 중에서는 안정하지만 휘발유, 등유, 경유, 및 솔벤트 등의 인화성 물질이 섞이거나 밀폐용기 속에서 가열, 충격, 마찰 등의 자극을 받아 쉽게 폭발을 일으킨다.

질소 화합물의 대표적인 물질인 질산암모늄은 인화성 물질과 혼합하여 폭발물 제조나 성냥 제조에 사용되며, 우리에게 유용하게 사용되는 예로는 농업 비료를 들 수 있다. 질산 암모늄 비료는 식물체 내에서 필수적인 질소원으로 사용되고 식물세포에 산소를 공급하는 작용을 한다. 또한, 비료의 주성분인 질산암모늄이 물을 만나면 흡열반응을 일으켜 주변의 온도를 떨어뜨린다는 점을 이용하여 최근 콜드팩에 이용되기도 한다.

북한에서는 질산 암모늄이 비료로써 많이 사용되는 반면, 현재 국내에서는 주로 방산용 폭발물 제조 및 산업용 폭발물 제조를 위해서 사용된다.

또한 위험한 질소 화합물의 하나인 질산 칼륨도 질산암모늄과 같이 가연성 물질과 공존하면 폭발하며 주요 사용 예로는 질산암모늄과 같이 비료에도 쓰이나 용천 폭발에서 폭약의 역할을 하였듯이 질소화합물의 불안정한 성질을 이용하여 흑색화약, 성냥, 불꽃 놀이용 폭죽 등의 제조원료로 사용 되며, 유리 및 유약, 산화제, 의약품 등으로도 사용된다.

이상과 같이, 질산 암모늄을 비롯하여 여러 가지의 질소 화합물은 우리 주위에서 많이 사용되고 있지만 한편으로는 거대 폭발을 가져 올 수 있는 폭발물로도 작용할 수 있다는 점에서 취급상의 안전이 요구되는 물질이다.

우리가 이미 잘 알고 있는 오클라호마 연방 건물 폭발 사건 및 인도네시아 발리 나이트 클럽 폭발 사고는 질산 암모늄이 폭발물로서 테러에 사용 된 좋은 예이다.

본 고에서는, 질산암모늄의 안전사고 방지 및 취급 안전에 유익한 안전정보 제공을 목적으로 과거에 발생한 유사 폭발 사고 사례를 조사, 분석하였다. 또한 폭발방지를 위한 안전 기준 및 물질의 관리 방법 등에 대해서도 검토를 하였다

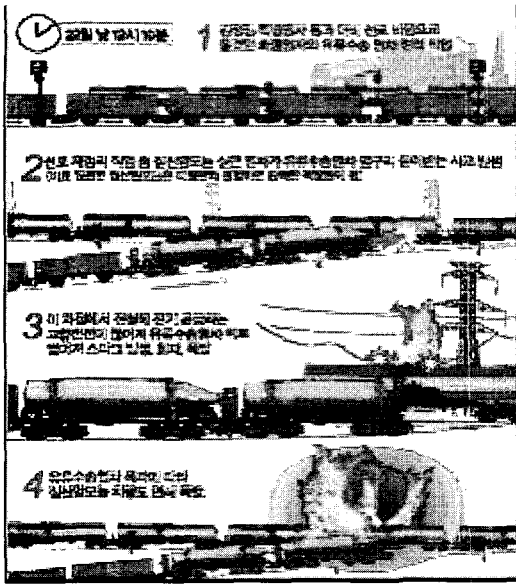


사진 1. 폭발 사고 과정의 추정

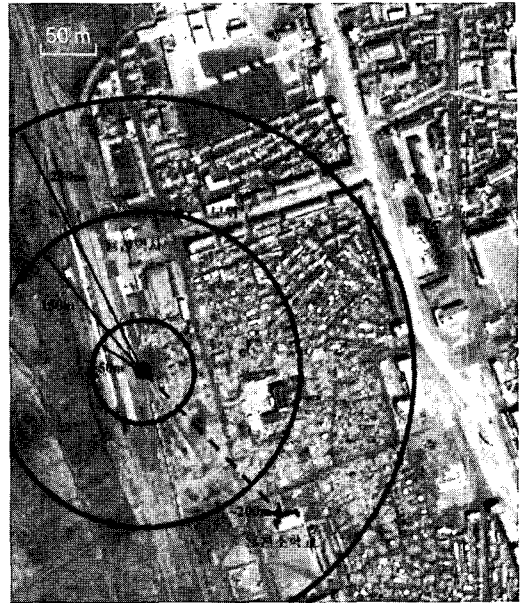


사진 2. 폭발 발생지 개요

표 1. 질산암모늄의 물성치

화학식	NH ₄ NO ₃	용해도 @ 30℃ Water	241.8%
성상	무색, 무취의 백색 과상 결정	녹는점	169.6℃
S . G	1.66	끓는점(분해)@ 11mmHg	210℃

2. 북한 평안북도 용천역 폭발 사고

2004년 4월 22일 평안북도 용천역에서 발생한 폭발 사고에 대한 북한의 공식 발표에 의하면 “질산암모늄 비료를 실은 화차와 유조차를 같이(납은 부분을 떼어내고 새 것으로 바꾸는 일)하던 중 부주의로 인해 전기선에 접촉, 폭발사고가 발생해 막대한 피해가 났다고 밝혔다.”(사진 1).

이번 폭발의 피해 규모에 대해 2004년 4월 24일 현장을 방문한 유엔기구를 중심으로 구성된 국제 조사단의 1차 보고에 의하면 24일 오후 2시까지 어린이 76명을 포함해 모두 154명의 시신이 수습 되었으며, 부상자는 1,300명 규모로 조사 되었다. 전체 피해 규모는 용천역을 중심으로 반경 500m 이내 건물이 완 파 됐으며, 폭발 영향권은 4km에 달하는 것으로 보

고 되었다(사진 2). 또한, 가옥 1,800 여채와 공공건물 12동이 완파 되고 주택 2,000여채와 공공건물 10동이 부분적으로 파손됐으며, 전체 재산 피해는 3억 ~4억 유로(약 4,100억~5,500 억원)에 이른다.

3. 질산 암모늄

3.1 질산암모늄의 물성

화학식 NH₄NO₃로 표기 되며 무색·무취의 백색 과상의 결정으로, 결정의 변태는 α, β, γ, δ, ε형의 5종이 있는데, 상온에서는 사방정계(斜方晶系)의 β형이 안정하다(-18~32.1℃).

β형의 비중은 1.66이며, 녹는점은 169.6℃이다. 흡

습성이 있고 물에 잘 녹으며, 30℃에서 물 100g에 대하여 241.8g 녹는다.

또한 에탄올에도 녹으며 질산암모늄 결정을 가열하면 약 210℃에서 분해한다($NH_4NO_3 \rightarrow N_2O + 2H_2O$). 공기 중에서 안정하며 고온 또는 밀폐용기, 가연성물질과의 공존 등에 의하여 폭발하므로 주의해야 한다.

산업용 질산암모늄은(의 제조는) 질산용액을 암모니아가스로 중화하여 얻어지며, 실험실 규모에서는 질산에 암모니아수를 가해 농축하여 얻는다.

질산암모늄은(의 주 사용처는) 비료·폭약·냉각제 등에 주로 사용되며, 효모 배양의 양분, 인쇄 등에도 사용된다.

3.2 산화제로서의 기능

화재의 4요소는 가연물, 점화에너지, 연쇄반응, 그리고 산화제이다(그림 1). 대부분 화재의 경우 산화제는 대기 중에 존재하는 산소이다. 그러나 대기중의 산소가 없이 연료가 화학 산화제와 섞일 때 화재가 발생할 수 있다. 많은 화학 산화제는 자체에 산소를 함유하고 있어 화학 반응 시 산소를 발생시킨다. 대표적인 예가 질산암모늄(NH_4NO_3) 비료, 질산칼륨(KNO_3), 그리고 과산화수소수(H_2O_2)이다.

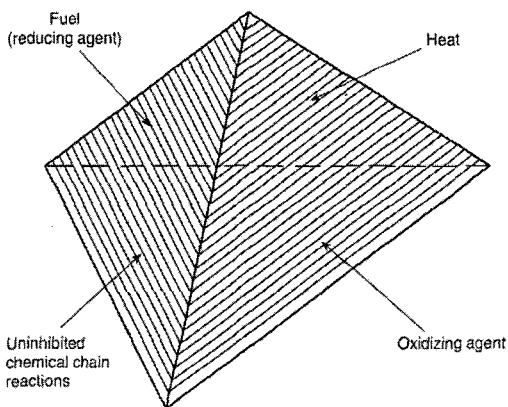


그림 1. 화재의 4대 요소

4. 질산 암모늄의 국내 현황

현재 질산암모늄을 생산하는 업체는 구 남해 화학이 2002년 8월 기업 분할을 통해 설립한 휴캠스가 유일하다. 휴캠스는 질산암모늄 및 질산, 기타 폭발물의 원료 첨인 DNT(DINITROTOLUENE), MNT(MONONITROTOLUENE)등을 생산하고 있으며, 질산암모늄의 거의 전량이 방산 산업과 산업용 폭발물 제조를 위해 사용되고 있으며, 일부 물량은 반도체 세정 및 의료용 마취제로 공급되고 있다. 북한의 경우 질산 암모늄이 비료로서 많이 사용되고 있지만, 국내에서는 비료용으로는 거의 사용을 하지 않고 있다.

최종 제품으로써의 질산암모늄은 Bead 형태와 Powder 형태, 액상 형태로 공급되며, 각각이 차지하는 비율은 Bead 형태가 59%정도로 가장 많은 양을 차지하고 있고, 그 다음으로는 Powder 형태가 35%, 액상 형태가 약 6% 정도를 차지한다. Bead 형태 및 Powder 형태의 질산 암모늄은 30kg 및 500kg 등의 단위로 출하·공급되고 있으며, 액상의 경우는 탱크로리로 운송을 하고 있는 실정이다.

5. 질산 암모늄의 폭발성

질산암모늄은 일반적으로 많은 양의 가스와 폭발 반응에 의한 에너지를 발생시키며, Heating에 의해 다음과 같이 분해 된다.

- 1) $NH_4NO_3(s) \rightarrow NH_3(g) + HNO_3(g)$
----- 80~90℃에서의 반응
- 2) $NH_4NO_3(s) \rightarrow N_2O(g) + 2H_2O(g)$
----- 210℃에서의 반응
- 3) $NH_4NO_3(s) \rightarrow 2N_2(g) + 4H_2O(g) + O_2(g)$
----- 250℃ 이상에서의 반응

표 2. 질산암모늄의 폭발사고 사례

사고 회사	지역 및 국가	사고 발생 연도	원 인	피해규모
AZF	Grand Paroisse, France	2001	염화물 및 미세한 발화원에 의한 폭발	1. 31명 사망, 2,442명 중상 2. 23억 유로의 재산 손실
TERRA Industries Inc	Iowa, USA	1994	공정 운전 지침 부재 및 운전 미숙	1. 4명 사망, 18명 중상 2. 5700톤 Anhydrous Ammonia 대기 누출 3. 94.6 M3 Nitric Acid 누출
Galvenston Bay	Texas, USA	1947	화재에 의한 연쇄 폭발	1. 433명 사망, 약135명 실종, 2,000명 이상 중상 2. 부두 및 주변 플랜트, 1,000여 채 가옥 붕괴 3. 약 3,500만~4,000만불 재산손실
BASF Fertilizer Plant	Oppau, Germany	1921	확인 안됨	1. 450명 사망 2. 700가구 이상 파손 3. 공장건물 완전 붕괴

질산암모늄은 167°C 부터 천천히 녹으면서 분해되며, 2)와 같이 210°C가 되면 발열과 함께 Dinitrogen Oxide(N₂O)로 분해된다. 화재가 발생한 경우, 고밀도의 고체가 기체로 바뀌면서 급속도로 팽창하게 된다. 질소 화합물은 공기 중에서는 비교적 안정하지만 가연성 물질이 섞이거나 밀폐용기 속에서 가열, 충격, 마찰 등의 자극을 받으면 쉽게 폭발을 일으킨다. 만약 폭발이 밀폐된 공간에서 일어난다면 빠른 Gas 생성과 함께, 폭발의 효과가 엄청나게 증가하게 된다.

질산암모늄을 개방된 환경에서 가열하면 순순히 분해반응으로 이어진다. 그러나 밀폐된 환경에서는 질소 가스, 물, 산화질소로 분해되면서 폭발반응을 일으킨다. 산화질소는 유독물질로 폭발 이외에 인체에 자극을 줄 수 있으며 대기 오염을 발생 시키는 위험요소까지 내포하고 있다.

6. 사고 사례

표 2는 과거 발생한 질산암모늄에 의한 폭발 사고 사례로, 이하 각 사고의 원인별 상세에 대해 알아보기로 한다.

6.1 AZF Plant at Grand Paroisse near Toulouse, Haute-Garonne, France

2001년 9월 21일 인산염과 질산비료의 거대 제조사(유럽에서 3번째 크기)인 AZF 공장에서 폭발이 일어났다(사진3). 폭발 당시 이 공장 Site에서의 주 생

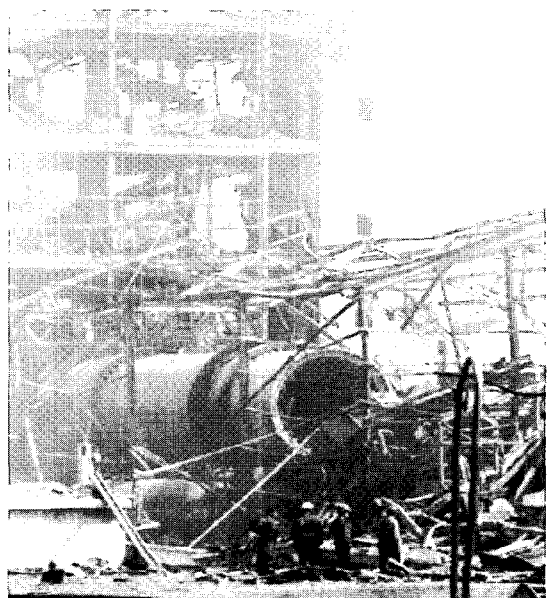


사진 3. AZF 공장 폭발 사고 현장

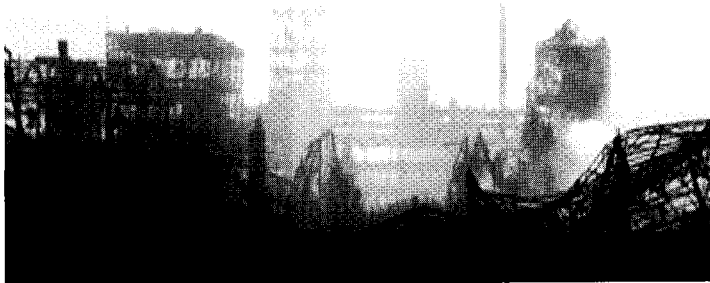


사진 4. AZF 공장 폭발 사고 전경

산품은 nitrate와 phosphate fertilisers, 소량의 Chlorine 제품을 생산하고 있었으며, 이 폭발로 31명이 폭발압에 의해 사망하고 약 2,442명이 중상을 입었으며, 총 23억 유로의 재산 손실을 입었다(사진 4).

현재까지도 사고 조사가 진행 중이지만 현장 조사 및 증인들과의 인터뷰, 엔지니어들의 연구 등에 의한 가장 설득력 있는 폭발 이유는 다음과 같다.

본 폭발은 Ammonium Nitrate의 off-specification을 저장해 두는 창고에서 일어났으며, 이 저장 창고는 Air-lock과 함께 이중 문이 설치되어 있는 구조로 되어 있다.

가장 유력한 사고 원인으로 지목되고 있는 것은 공장내의 수영장 수처리를 위해 사용된 염화물(chlorides)이다. 사고 발생 15분전 수영장의 수처리를 위해 Chloride granules를 사용 하였던 사실이 주목 받고 있다. 또한 창고에 저장되어 있던 질산암모늄 Off-Specification 제품은 정상 제품과 비교 할 때 제품의 저장 상태에서의 안정성이 떨어지므로 미세한 열원이나 발화원에 의해 폭발을 일으켰다는 것이다. 그러나 폭발 당시 대기 온도가 23℃ 이었으므로, 폭발의 발화점 및 열원을 어디서 찾아야 할 지가 현재 풀리지 않는 문제로 남아 있다.

6.2 TERRA Industries Inc. Port Neal, Iowa

1994년 12월 13일 06시경에 Port Neal Complex 에 있는 Terra Industries Inc. 의 질산암모늄 공장에서 폭발이 발생 했다. 폭발의 직접적인 영향으로 4명이 죽었으며 18명이 중상을 입었다. 이 폭발의 영향으로 약 5,700톤의 Anhydrous ammonia가 대기로 누출 되었고, 약 25,000 Gallons의 액상의 Nitric acid 가 토질 및 Chemical Ditch, Sump로 누출 되었다. 또한 폭발에 따라 주변 지역으로 약 6일 동안 ammonia가 누출 되었으며, 폭발의 영향으로 화학물질이 누출 되어 지하수를 오염 시키는 결과를 가져 왔다.

미 EPA는 폭발 후 현장 조사 및 자료 수집을 통한 폭발의 원인 조사 결과, 안전운전 절차의 미흡으로 폭발 발생 원인을 결론 지었으며, 폭발의 발생을 가져온 운전 및 공정 상태는 다음과 같다.

- A. 중화기(Neutralizer) 와 Run-down Tank에 서의 pH Low 상태
- B. 중화기(Neutralizer) 에서 Nitric Acid의 Low level 상태에서 장시간에 걸친 200psig(13.6 kg/cm²g) steam의 공급.(200psig의 포화상태의 steam 온도는 195.2℃ 임)

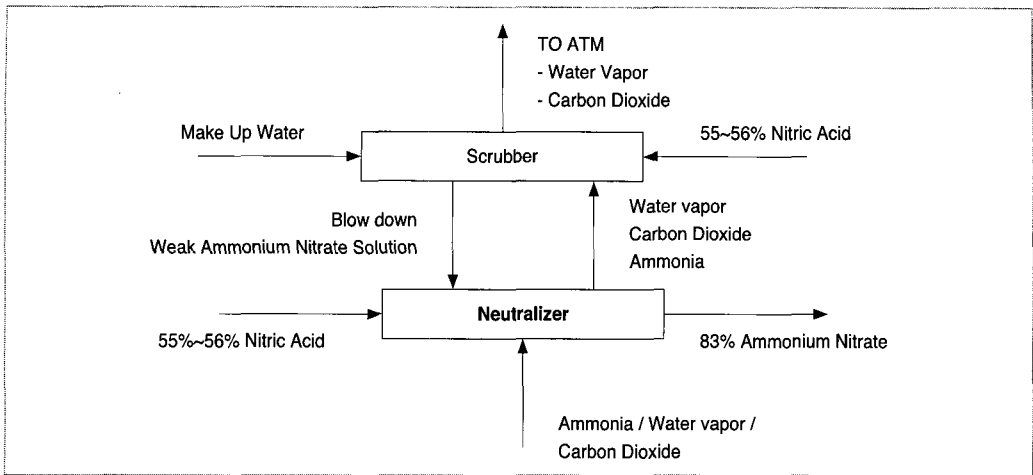


그림 2. Ammonium nitrate Process Flow Diagram

- C. 중화기(Neutralizer) 에서의 Low density 및 bubble 발생
- D. 중화기(Neutralizer) 및 Rundown tank에 염화물(chlorides) 의 존재
- E. Process vessel에 material이 상존한 상태에서 shut down 후 Ammonium nitrate plant 의 monitoring 부재
- F. 결론적으로 Ammonium nitrate에 민감한 불순물인 chlorides가 있는 상태에서 고압 Steam(200psig, 13.6kg/cm²g)을 이용하여 430°F(221°C)까지 Heating 함으로써 폭발이 발생 하였으며, 이러한 초기 폭발이 연결 되어 있던 Ammonium nitrate rundown tank로 옮겨가 대형 연쇄 폭발이 일어 났다. 폭발 2분 전부터 DCS에서 미세한 사고 징후를 보였으나, 이를 감지 하지 못한 것이 폭발의 원인으로 결론 지어졌다.

결국 최종 현장 인원들과의 인터뷰 및 폭발 원인 유추에서 나온 결론은 운전중인 Ammonium nitrate plant의 공정에 책임 엔지니어가 없었으며, 이런 상태는 폭발 사고를 발생 시킬 수 있는 잠재적인 위험을

언제나 가지고 있었다. 또한 폭발 사고 발생 몇 달 전 DCS을 변경 하였으며, 이에 대한 적절한 수준의 교육이 실시 되지 않은 상태에서 Operator들은 New system에 대해 불안한 운전을 하고 있었다. 이와 같이 공정 운전에 대한 지침이 정해져 있지 않은 상태에서 엔지니어와 Operator들과의 Communication 부재 등 관리적인 측면에서의 규정 부재가 상기와 같은 사고를 발생 시켰다.

6.3 Galvenston Bay near Texas City

1947년 4월 16일 Texas City에서 가까운 Galvenston Bay에서 오전 8시 Ammonium Nitrate 을 저장창고(부두)로부터 S.S. GRANDCAMP로 선적을 준비하던 항만 노동자들에 의해서 첫 화재가 발견 되었으며, 9시 12분 두 번의 큰 폭발 중 첫 번째 폭발이 발생 하였다. 이로 인해 전체 부두 지역 및 많은 수의 OIL Tank와 가옥, 빌딩, Monsanto Chemical company(사진 5) 등이 파손 되었다. 또한 첫 폭발의 16시간 후인 4월 17일 오전 1시 10분에 S.S. HIGH FLYER 선박에 있는 Ammonium Nitrate에서 화재가 발생 하였으며, 이로 인해 2번째 거대한 폭발이 일어 났다.

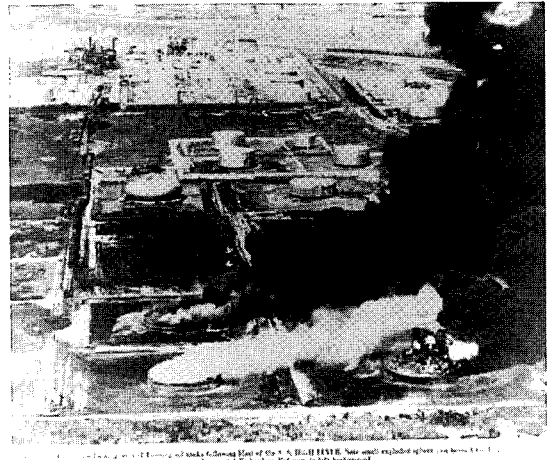
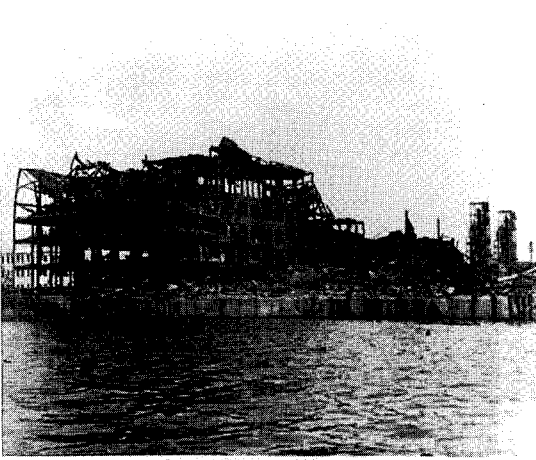


사진 5. 폭발로 완전 전소 된 Monsanto PS 공장

부두 지역 이외의 재산 피해는 넓은 범위에서 발생하였으며(사진 6), 약 1,000여채의 가옥 및 빌딩이 완전 붕괴 되거나 Main Structure가 손상을 입었다. 이 폭발은 폭발 지점에서 10마일(16km) 떨어진 Galveston의 수 많은 유리창이 깨졌으며, 폭발로 인한 파편 및 화물의 일부분이 13,000ft(3.9km)가 떨어진 지역에까지 비산할 정도로 대규모의 사고였다.

이 폭발에 의해 인명 피해 또한 엄청나게 커서, 부두에 있던 모든 소방관 및 많은 수의 Monsanto Chemical 직원, 기타 인원 등이 모두 사망했다. 두 번째 폭발 12일 후인 4월 29일 433구의 시체가 발견되었고 부두에 있던 많은 사람 중 약 135명이 실종되었으며, 약 2,000명 이상이 중상을 입었는데 이 중 많은 수가 폭발 파편 및 유리 파편에 의해 다친 학생들이었다. 해안 환경 파괴 등의 간접 손실을 제외한 총 피해액은 약 3,500만에서 4,000만불 정도이다.

6.4 Oppau, Germany

1921년 9월 21일 독일 Oppau 소재 BASF Fertilizer Plant의 Ammonium Sulfonitrate (ammonium nitrate 50% + ammonium sulfate

50%) fertilizer salt 4,500톤을 쌓아 놓은 더미가 주변에서 일어난 폭발에 의하여 연쇄 폭발이 일어났으며, 이 폭발로 인해 450명이 생명을 잃었으며 700채 이상의 가옥이 파손 되었다. 또한 공장 내부에는 250ft(76m) 지름 및 50ft(15m) 깊이의 구덩이가 생겼고, 건물은 형체를 알아 볼 수 없을 정도로 완전히 파괴 되었다. 이 폭발의 원인에 대해서는 아직 확실히 밝혀지지 않은 상태이다.

7. 질산암모늄의 취급 및 저장 기준

7.1 NFPA 490 질산암모늄 저장에 대한 규정

7.1.1 적용

상기 코드는 화학비료의 형태인 질산암모늄 등급, 다이너마이트 등급, 질소산화물 등급, 기술 등급, 그리고 질산암모늄이 60 wt% 이상을 차지하는 혼합물을 저장하는데 적용하며, 운송에는 적용하지 않는다.

7.1.2 일반 규정

질산암모늄을 저장, 소유, 보관하고 있는 모든 개인,

상사, 유한회사, 합명회사, 조합에 적용되며 454kg 이상의 질산암모늄을 저장하고 있는 건물, 구내 혹은 구조물의 소유주나 임차인에게 적용된다. 저장소 및 저장 시설에 대한 별도의 승인이 없으면 60톤(54.4 메트릭 톤) 이상의 질산암모늄을 저장해서는 안 된다. 저장소에 대한 승인은 관할기관 주거지역, 대중밀집지역, 학

교, 병원, 철도, 공공 고속도로와의 거리를 감안해서 결정한다. 이러한 요소 외에 상업 혹은 공업 밀집 지역과의 거리도 고려해서 저장 한계량이 결정되어야 한다. 대량저장의 승인 시에는 질산암모늄의 연소나 분해 시 발생하는 독성 증기 누출을 포함한 화재 및 폭발 위험이 필수적으로 고려되어야 한다.

표 3. Fire Resistance Rating(in hours) for Type I through type V Construction

Table 3-1 Fire Resistance Ratings (in hours) for Type I through Type V Construction

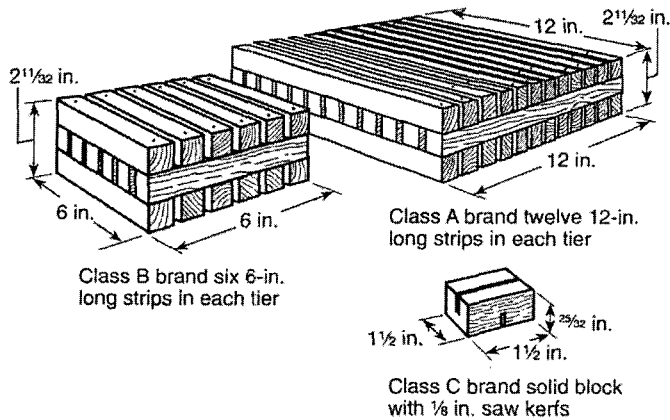
	Type I		Type II			Type III		Type IV	Type V	
	443	392	222	111	000	211	200	210I	111	000
Exterior Bearing Walls										
Supporting more than one floor, columns, or other bearing walls	4	3	2	1	0 ¹	2	2	2	1	0 ¹
Supporting one floor only	4	3	2	1	0 ¹	2	2	2	1	0 ¹
Supporting a roof only	4	3	1	1	0 ¹	2	2	2	1	0 ¹
Interior Bearing Walls										
Supporting more than one floor, columns, or other bearing walls	4	3	2	1	0	1	0	2	1	0
Supporting one floor only	3	2	2	1	0	1	0	1	1	0
Supporting roofs only	3	2	1	1	0	1	0	1	1	0
Columns										
Supporting more than one floor, columns, or other bearing walls	4	3	2	1	0	1	0	1H ²	1	0
Supporting one floor only	3	2	2	1	0	1	0	1H ²	1	0
Supporting roofs only	3	2	1	1	0	1	0	1H ²	1	0
Beams, Girders, Trusses, and Arches										
Supporting more than one floor, columns, or other bearing walls	4	3	2	1	0	1	0	1H ²	1	0
Supporting one floor only	3	2	2	1	0	1	0	1H ²	1	0
Supporting roofs only	3	2	1	1	0	1	0	1H ²	1	0
Floor Construction	3	2	2	1	0	1	0	1H ²	1	0
Roof Construction	2	1 1/2	1	1	0	1	0	1H ²	1	0
Exterior Nonbearing Walls²	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹

¹Those members that shall be permitted to be of approved combustible material.

²See A-3-1 (table)

³H² indicates heavy timber members; see text for requirements.

⁴Exterior nonbearing walls meeting the conditions of acceptance of NFPA 285, *Standard Method of Test for the Evaluation of Fire-Resistance Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components Using the Intermediate-Scale, Multistory Test Apparatus*, shall be permitted to be used.



For SI units, 1 in. = 25.4 mm.

그림 3. Class A, Class B, Class C brands

가연구조의 건물, 숲, 가연물 적재터미에서 15.2미터 이내의 거리에 위치하거나 이와 유사한 위험에 노출된 저장 건물의 외벽은 NFPA 220에서 규정된 Type I (표 4)의 구조여야 하며 지붕재료는 NFPA 203에서 규정한 Class C 이상의 것이어야 한다(그림 3).

7.1.3 포대, 드럼 및 기타 용기 내 저장

질산암모늄의 온도가 55℃를 넘을 경우 저장을 목적으로 용기에 넣는 작업을 수행해선 안 된다.

질산암모늄 포대는 저장 건물의 벽 및 칸막이와의 거리가 76cm 이내에 저장되지 않도록 하여야 한다.

적재터미 높이는 6.1미터를 넘지 않도록 해야 하며 적재 폭은 6.1미터를, 적재 길이는 15.2미터를 초과해서는 안 된다. 단 불연 구조의 건물이거나 스프링클러가 설치된 건물에서는 적재 길이가 제한되지 않는다. 그러나 어떤 경우든 천장 받침대와 가로대로부터 0.9미터 이상의 거리를 확보해야 한다. 적재터미 사이는 폭 0.9미터 이상의 트인 공간으로 통로를 만들어 분리해 주어야 하고 창고내부에는 폭 1.2미터 이상인 서비스 통로나 주요 통로가 1개 이상 있어야 한다.

7.1.4 질산암모늄 벌크 저장.

불연성 재료로 건설되거나 지붕화재 소방시설이 갖추어지지 않은 경우 벌크 저장 구조물의 높이는 12.2미터를 초과해선 안 된다. 질산암모늄의 부식성과 반응성으로 인해 오염을 방지하기 위한 예방책이 없다면 아연도금 강, 구리, 납, 아연을 재료로 저장고를 만들어선 안 된다. 질산암모늄의 침투를 예방할 수 있는 알루미늄이나 나무로 된 저장고는 허용된다. 창고는 필요한 수만큼의 질산암모늄 구획실이나 저장고로 나누어 사용할 수 있다. 질산암모늄을 오염시킬 수 있는 다른 물질의 저장 부분과 질산암모늄의 저장 부분은 밀폐 구조로 구획되어야 한다. 질산암모늄의 저장고나 적재 터미는 글자 세로길이 5cm 이상인 알림판을 표시하여야 한다.

7.1.5 오염물

질산암모늄은 분리된 건물에 저장하거나, 1시간 이상의 내화도를 지닌 승인된 방화간벽을 이용하여, 유기화합물, 산 또는 기타 부식성 물질, 가공이나 취급 과정에서 폭발을 요하는 물질, 압축된 인화성 가스, 가연성 및 인화성 물질, 그리고 그 밖의 오염물질과 분리시켜야 한다.

방화간벽 대신 관할기관에서 규정하고 있듯이 9.1미터 이상의 공간을 두고 화재 시 섞임 방지 역할을 할 수 있는 칸막이턱이나 테두리를 설치해 상기 물질들과 격리하여야 한다.

가솔린, 등유, 용제, 경유 등의 인화성 액체는 질산암모늄이 있는 곳에 저장될 수 없다. LP가스 또한 질산암모늄이 있는 곳에 저장해서는 안 된다.

유항 및 정제된 순 금속은 질산암모늄과 동일 건물 안에 저장해서는 안 되며 폭발물이나 폭발제도 또한 마찬가지이다.

폭발물이나 폭발제의 제조자, 공급자, 조제 사용자 구내의 건물이나 기타 구조물에 저장된 폭발물이나 폭발제는 NFPA 495, Explosive Materials Code에 나와 있는 테이블 8-4.2(Recommended Separation Distances of Ammonium Nitrate and Blasting Agents from Explosives or Blasting Agents)에 명시된 거리 간격과 바리케이트로 질산암모늄과 격리되어야 한다.

7.1.6 방화설비

관할기관의 별도 승인을 받은 대량 저장인 경우가 아니면 질산암모늄 포대는 2,500톤(2,268 메트릭톤) 이하로 저장해야 하며 저장소는 스프링클러가 설치된 건물이나 구조물이어야 한다.

소형 호스나 소화기 등의 적절한 소화기구를 창고와 적하 및 하역장 전체에 고루 비치하여야 하며 관

할 기관의 요구사항에 부합하는 급수장치와 소화전이 이용 가능해야 한다.

7.1.7 권장 진화 절차

질산암모늄이 보관된 장소에 화재가 발생하면 적재 더미를 냉각된 상태로 계속 유지하고 신속히 불길을 잡는 것이 중요하다. 가능한 빨리 충분한 물을 공급해야 한다. 불길이 매우 크고 견잡을 수 없게 되면 빨리 그곳을 빠져 나와 안전한 곳으로 대피하여야 한다.

발화장소를 가능한 충분히 환기시켜 주어야 한다. 분해 생성물과 반응열을 신속히 제거하는 것이 중요하다. 진화작업은 연소중인 질산암모늄에서 발생하는 기체는 독성이 강하므로 불길에 접근할 때는 바람을 등지는 쪽에서 하며, 미국 광산국이 승인한 형태의 방독면을 사용하여 유독가스로부터의 위협을 방지해야 한다.

진화작업이 끝나면 재저장이 불가능한 분해 혹은 오염된 질산암모늄은 허가된 장소에 매립하거나 물에 흘려 보낸다. 쓸어버릴 수 없는 잔존물은 호스를 이용하여 물로 씻어 낸다. 화재장소 구석 구석에 물을 뿌려 문질러 닦아 모든 잔존물이 확실히 녹아 없어지게 한다. 젖은 빈 포대는 제거하도록 하며 건조시킨 후 옥외에서 소각시키는 것이 문제가 없다.

7.2 FM 7-89의 질산암모늄과 질산암모늄을 포함한 비료에 대한 규정

7.2.1 적용

FM 7-28, Explosive Materials 에 언급된 폭발제와 상업용 폭발물을 제외한 질산암모늄의 모든 형태가 적용되며 질산암모늄 공장에서 비료 등급으로 생산되는 액체 질산암모늄(LAN)의 폭발 위험에 대해서도 해당된다. 액체 질산암모늄의 경우 83% 이상인 경우가 해당된다.

7.2.2 손해 방지 권장 사항

사고 이력을 보면 질산암모늄 용액은 폭발성에 있어서 안정성을 보여준다. 용액이나 공정 조건상 폭발이 일어날 수 있는 조건에 이르기 전에 불안정한 조합이 이루어져야 한다. 각각 공정의 안정된 운전조건에 대해 완전한 이해가 이루어져야 하며 운전상의 안정 범위를 세워야 한다. 또한 이러한 범위가 초과될 때에는 공정을 안전하게 정지시켜야 한다.

이러한 이유로 다음의 권장사항은 규격 위주의 기준이 아닌 성능 위주의 기준에 의한 내용을 제안하고 있다.

7.2.2.1 질산암모늄 제조 공장

제조공장의 기계장치는 외부에 설치하고 손실을 최소화할 수 있는 철골 구조물 안에 설치한다. 질산암모늄 용액을 취급하는 공정상의 안전성을 확보하기 위해 공정 조건이나 오염 조건을 조절하기 위한 항목은 다음과 같다.

- High acid concentration : typical range pH is 3 to 5
- Low solution density
- Bubble formation(solution aeration)
- Organic contaminants
- Chloride contaminants : typically a few ppm
- Metal contaminants : typically 10's of ppm
- High temperature : typically range is 127-143°C
- Confinement
- Lack of or poor circulation of solution
- Formation of nitrous oxides

정상적인 공정 조건을 초과한 용액의 농도는 다음 조건을 충분히 이해하고 조절함으로써 최소화 되어야 한다.

- high temperature sources, such as steam

- high acid concentration
- confinement without circulation during idle periods

모든 제조 공정 및 저장 지역의 가연성 건축물 및 시설에는 스프링클러를 설치한다.

7.2.2.2 질산암모늄 저장시설 및 60% 혼합물

벌크 저장 및 포대 저장을 위한 건물은 불연성 구조이어야 하며 중요한 건물 및 구조물로부터 다음 조건에 따라 충분한 이격 거리를 확보하여야 한다.

- 50톤(45미터톤) 이하 적재 : 특별한 규정은 없으나 인접 지역으로부터 화재 확산 방지를 위한 이격
- 50톤 초과 : 폭굉 고려, 저장량의 10% 폭발로 인한 충분한 이격 거리 확보, 최고 500톤 저장까지
- 폭발 효율 인자 : TNT 당량 환산은 질산암모늄 저장량의 33%
- 폭발 과압 계산은 FM 7-42에 따라 계산

질산암모늄은 폭발물, 폭발제, 폭굉 물질과 함께 저장해선 안 된다. 저장 지역은 오염의 가능성이 없어야 하며 특히 인화성 액체, 금속 분말, 그리스, 황, 카본, 산, 합성섬유, 그리고 유기화합물과 같은 물질들과 혼합되는 것을 피해야 한다. 특히 유기화합물과 혼합되는 것을 피하도록 각별히 주의하여야 하며 오염된 물질은 즉시 제거하여야 한다.

분말 상태의 비료 등급 질산암모늄에 대한 포대 저장에 대해서는 다음의 규정을 따라야 한다.

- 저장된 높이는 6.1미터를 초과하지 말 것
- 화재 확산을 방지할 수 있어야 하며 적절한 소방 시설을 갖추어야 한다. 적재 길이는 6미터를 초과하지 말 것
- 하나의 건물에 5,000톤을 초과해선 안 되며 1,000톤 적재마다 최소 3미터의 통로를 갖출 것

- 저장 건물 벽으로부터 최소 0.75미터 이격 하여야 한다.

질산암모늄 포대 저장소는 건축구조에 관계없이 스프링클러 설비를 설치하여야 한다.

공정에서 저장소로 이송할 때는 온도를 55℃ 이하로 하여야 한다. 화재 발생시 가능한 빨리 다량의 소화용수를 투입하여야 한다. 저장소 안에서는 점화원을 차단할 수 있도록 하여야 한다. 스팀 배관, 라디에이터, 전등, 및 다른 열원을 가까이 해서는 안 된다.

7.3 RID(Regulations Concerning the Carriage of Dangerous Goods by Rail) 열차 운송에 관한 규정

RID에 규정된 고체 상태의 질산암모늄에 대한 포장 및 운송에 관한 규정은 다음과 같다

7.3.1 벌크로 운송 할 때의 특별 운송 규정 (Code : VW8)

벌크 운송을 위한 화차는 Open 된 화차나 다른 물질이 스며들지 않은 Cover나 난연 물질로 씌워진 화차, 지붕을 제거 가능한 화차, 모든 것이 밀폐된 화차 등이 사용 가능하다.

화차나 컨테이너의 구조 자체가 나무나 다른 가연성 물질로 제조되면 안 되며, 나무 바닥이나 옆면은 완전히 방수 처리 되어야 하며 또한 난연성 물질로 피복되어 있거나 규산나트륨(Sodium silicate) 또는 비슷한 물질로 코팅되어 있어야 한다.

7.3.2 하역 또는 취급에 대한 특별 운송 규정 (Code : CW24)

운송을 위한 질산 암모늄을 싣기 전에는 화차나 컨테이너 내부에 어떠한 인화성 물질도 없어야 하며, 조금이라도 있으면 완전히 깨끗이 제거해야 한다. 또

학술분야

한 하역 작업 시 작업 편의를 위한 인화성 물질사용을 금지한다.

7.3.3 빠른 소포 운송 등을 위한 특별 규약 (Code : CE11)

빠른 소포 등 소규모 운송을 위해서 질산 암모늄은 24 kg 이상을 담고 있으면 안 된다.

8. 결론

북한 평안북도 용천역 폭발 사고는 앞에서 다룬 것과 같이 여타 질산암모늄과 연관된 폭발과는 조금 다른 모습을 보이고 있다. 현재까지의 질산 암모늄 관련 폭발은 테러에 의한 고의적인 폭발인 1995년 오클라호마 연방 건물 폭발 사건 및 2002년 인도네시아 발리 나이트 클럽을 제외하고는 거의 모두가 질산 암모늄 생산공정 및 제품 저장 창고 등에서 발생한 사고이다. 그러나 용천역 폭발 사고는 질산암모늄을 실은 화차가 역에 정차해 있다가 충격, 전기 spark 및 다른 열차의 유류에 의해 연쇄 폭발로 이어진 경우이다.

FM Global의 Property Loss Prevention Data sheet에 의하면 질산암모늄의 폭굉은 TNT 와 비교하여 폭발 효율 factor가 33%나 되는 엄청난 폭발력을 가지고 있다. 또한 만약 질산 암모늄이 휘발유, 등유, 경유 등의 인화성 연료유와 혼합될 경우 더욱더 강한 폭발력을 가지며 이것은 TNT 대비 50% 이상의 폭발 효율을 가진다. 이것은 석유화학공장에서 현재까지 경험적으로 알려진 탄화수소계 물질의 TNT 대비 폭발 효율 factor를 1~5% 정도로 보고 있는 것과 비교하면 얼마나 큰 폭발력을 가진 것인지 알 수 있다.

그러나 질산 암모늄이 이러한 큰 폭발력을 가진다고 하더라도, 외부의 산화물 및 기타 연료와의 혼합이나, 충격 등이 가해지지 않으면 그 자체로는 상당히 안정된 물질이다. 따라서 앞에서 언급되어진 NFPA 및 FM(Factory Mutual) Property Loss Prevention Data Sheets등의 규정에 따라 저장 및 취급 방법을 고려하여 질산암모늄을 다룬다면 이러한 큰 재해를 방지할 수 있을 것이며, 또한 이러한 물질들의 취급 및 관리는 엄격한 규제 하에 이루어져야 함을 다시 한번 우리에게 상기 시키는 좋은 계기로 삼았으면 하는 바람이다.

참고문헌

- A. Chemical Accident Investigation report for TERRA Industries, Inc. by United States-Environmental Protection Agency(EPA)
- B. TEXAS CITY, TEXAS, DISASTER April 16, 17, 1947 Report by FIRE PREVENTION AND ENGINEERING BUREAU OF TEXAS DALLAS, TEXAS and THE NATIONAL BOARD OF FIRE UNDERWRITERS 85 John Street NEW YORK 7, N. Y.
- C. NFPA(National Fire Protection Association) 490, 220, 203, 495
- D. FM(Factory Mutual Property Loss Prevention Data sheets) 7-42,7-89
- E. RID(Regulations Concerning the Carriage of Dangerous Goods by Rail)
- F. Pradyot Patnaik, Ph.D. "A Comprehensive Guide to the Hazardous Properties of Chemical Substances, 2nd Edition, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, USA, 1999.