

KOSHA GUIDE

P - 60 - 2012

# 암모니아 냉매설비의 안전관리 기술지침

2012. 7.

한국산업안전보건공단

## 안전보건기술지침의 개요

○ 작성자: 서울과학기술대학교 시스템안전연구센터 강미진

○ 개정자 : 한 우 섭

○ 제 · 개정 경과

- 2011년 6월 화학안전분야 제정위원회 심의(제정)
- 2012년 7월 총괄 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)

○ 관련 규격 및 자료

- WorkSafeBC (R-11-07), "Ammonia in refrigeration systems", 2007
- EPA (EPA 550-F-01-009), "Hazards of ammonia releases at ammonia refrigeration facilities", 2001
- CSB Case study (2008-06-I-TX), "Heat exchanger rupture and ammonia release in Houston, Texas", 2011
- OSHA, "E-Tools: Ammonia refrigeration"

○ 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자: 2012년 7월 18일

제 정 자: 한국산업안전보건공단 이사장

## 암모니아 냉매설비의 안전관리 기술지침

### 1. 목적

이 지침은 무수암모니아를 냉매로 사용하는 열교환기 등의 설비를 사용하는 사업장에서 발생할 수 있는 암모니아 누출 요인과 그에 따른 위험, 그리고 암모니아 누출을 방지하고 누출 시 사고피해규모를 줄이기 위한 안전대책을 수립하는데 필요한 사항을 제공하는데 그 목적이 있다.

### 2. 적용범위

이 지침은 무수암모니아를 냉매로 사용하는 냉매설비에 적용한다.

### 3. 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다

(가) “암모니아”라 함은 무수암모니아와 암모니아수용액으로 구분되는데, 냉매로 사용하는 암모니아는 무수암모니아를 말한다.

(나) “시간가중평균노출기준 (TWA, Time weighted average)”이라 함은 근로자가 유해인자에 노출되는 경우 1일 8시간 작업을 기준으로 노출되어도 거의 모든 근로자에게 건강상 나쁜 영향을 미치지 아니하는 기준을 말한다.

(다) “단시간노출기준 (STEL, Short term exposure limit)”이라 함은 근로자가 1회에 15분간 유해인자에 노출되어도 거의 모든 근로자에게 건강상 나쁜 영향을 미치지 아니하는 기준으로, 이 기준 이하에서는 1회 노출간격이 1시간 이상인 경우 작업 시간 동안 4회까지 노출이 허용될 수 있는 기준을 말한다.

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 「산업안전보건법」, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서 정하는 바에 의한다.

## 4. 암모니아 및 설비의 위험요인

### 4.1 암모니아의 특성 및 위험요인

(1) 암모니아의 주요 물리화학적 특성은 <표 1>과 같다.

<표 6> 암모니아의 주요 물리화학적 특성

구분	특성
CAS No.	7664-41-7
분자식	NH <sub>3</sub>
분자량	17.031
끓는점	- 33.34 °C
용해도 (물에 대한 용해도)	47% @ 0 °C, 31% @ 25 °C
밀도 (1기압 상태)	0.86 kg/m <sup>3</sup> (기체), 681.9 kg/m <sup>3</sup> (액체)
증기압	758 kPa @ 20 °C

(2) 암모니아 기체는 무색의 강한 냄새를 가지고 있는 물질로, 공기보다 가볍기 때문에 천정이나 높은 곳에 모이는 성질이 있다.

(3) 암모니아는 고압에서 쉽게 액화되고, 대기온도에서 쉽게 기화한다.

(4) 암모니아 액체는 기화하면 약 850배 이상 부피가 팽창하므로 밀폐설비 내에서 압력 상승을 초래한다.

(5) 암모니아의 화재·폭발 및 독성에 관한 주요 위험요인은 <표 2>와 같다.

<표 7> 암모니아의 주요 화재·폭발 및 독성 위험성

구분	특성
가연범위	15 ~ 28 %
자연발화온도	651 °C
최대허용농도	25 ppm (TWA), 35 ppm (STEL)
최소점화에너지	680 mJ

(6) 암모니아 기체는 강한 냄새를 가지고 있으므로 암모니아가 공기 중으로 누출되면 쉽

게 감지할 수 있지만, 주기적으로 암모니아 냄새에 노출되는 경우에는 후각이 둔화되어 STEL 노출기준의 약 8배인 300 ppm의 농도에서도 냄새를 맡지 못하는 경우가 있다.

- (7) 암모니아의 화재 위험성은 미약하지만, 기름이나 가연성 물질이 존재할 경우 화재위험성이 증가한다.
- (8) 암모니아는 염소, 하이포염소산염 표백제 등 강한 산화제와 접촉하면 폭발성 혼합물을 생성할 수 있다.
- (9) 암모니아 증기가 수분과 접촉하면 구리, 아연 및 그 합금, 그리고 고무와 플라스틱을 부식시킬 수 있다.

## 4.2 설비 및 장소의 위험요인

- (1) 밀폐된 공간에서 암모니아 액체가 누출하면 쉽게 기화하여 연소범위를 형성할 수 있다.
- (2) 암모니아 기체의 농도가 ppm 단위로 희석되면 공기의 자연대류에 의해 밀폐공간 전체에 확산된다.
- (3) 암모니아 열교환기의 공정유체 측 내부를 청소하기 위해 스팀을 사용하는 경우, 암모니아 액체가 소량이라도 남아있으면 스팀에 의해 암모니아의 온도가 상승하여 압력이 증가할 수 있다.
- (4) 배관의 부식, 밀봉실패(Failure of seals) 및 밸브 누출 등이 암모니아 냉매설비에서 발생하는 사고의 주요 원인이 된다.
- (5) 암모니아 냉매설비의 유지보수나 시운전 중에는 차단실패가 사고의 주요 원인이 된다.

## 5. 암모니아 냉매설비의 안전관리

### 5.1 일반사항

- (1) 암모니아를 냉매로 사용하는 열교환기 및 부대설비를 운전할 때에는 해당 근로자들

의 책임과 권한을 명확히 하는 절차서를 수립하여 운영하여야 한다.

(2) 암모니아 취급 시 아래와 같은 절차서를 수립하여 운영하는 것이 바람직하다.

(가) 노출확인 절차서

(나) 노출로 인한 위험관리 절차서

(다) 근로자 작업 확인 및 교육 절차서

(라) 암모니아 열교환기 및 안전설비의 유지관리 절차서

(마) 비상훈련 절차서

(3) 암모니아 누출경보가 울린 경우에는 인명피해가 없었다고 할지라도 누출원인을 정확히 파악할 수 있도록 사고조사를 실시하여야 한다.

(4) 암모니아 설비가 실내에 설치된 경우 다음 사항을 준수하여야 한다.

(가) 실내에 사용되는 전기설비는 방폭구조여야 한다.

(나) 암모니아 설비가 설치된 건물이나 구조물은 난연재료를 사용하는 등 적절한 내화 성능(Suitable fire-resistant building)을 가지는 것이 바람직하며, 만일 건물이나 구조물의 내화성능 유지가 어려울 경우에는 실내 벽과 바닥을 내화페인트로 마감하여야 한다.

(다) 실내는 건물이나 구조물의 다른 곳과 차단(Seal)될 수 있도록 배관 관통부 주변이 새지 않도록 밀봉하여야 한다.

(라) 실내 크기가 60 m<sup>2</sup>가 넘는 경우에는 최소한 2개의 비상구를 설치하여야 하며, 비상구는 밖으로 열 수 있는 구조여야 한다.

(마) 출입문은 자동으로 잠기는 구조가 아니어야 하며, 접근이 용이하도록 장애물을 두지 말아야 한다.

(바) 실내에 난방을 하는 경우에는 암모니아 취급설비가 과열되지 않도록 하여야 한다.

(사) 실내에 다른 물질을 저장하거나 근로자의 휴식장소로 사용하지 말아야 한다.

(아) 비상상황 시 암모니아 압축기를 정지할 수 있는 스위치를 실외에 설치하여야 한다.

- (자) 실내에는 비상등을 설치하고 모든 암모니아 배관에 물질명과 흐름방향 등 배관 정보표지를 부착하여야 한다.
- (차) 누출지역 내부를 환기할 수 있는 설비의 스위치는 실내뿐만 아니라 실외에도 설치되어야 한다.
- (카) 배기설비는 천정에 가까운 곳에 설치하고 급기설비는 배기와 반대편 아래쪽에 설치하여야 한다.
- (타) 배기설비의 출구는 주변에 2차 영향을 미치지 않는 안전한 곳에 설치하여야 한다.

## 5.2 유지보수 중 안전관리

- (1) 암모니아 냉매 열교환기를 보수하거나 수리할 때에는 다음 사항을 준수하여야 한다.
  - (가) 열교환기의 공정유체 측 내부를 스팀으로 청소할 때에는 암모니아를 완전히 배출한 후 스팀을 공급하여야 한다.
  - (나) 열교환기의 압력방출장치가 정상적으로 설치되어 있는지 확인하여야 한다.
- (2) 암모니아 취급설비를 보수·수리하기 위해 설비를 해체할 때에는 다음 사항을 준수하여야 한다.
  - (가) 설비의 가동을 중지한 후, 내부에 남아있는 암모니아를 모두 안전한 곳으로 배출하고 열교환기를 격리하여야 한다.
  - (나) 격리된 지역은 물이나 스팀을 이용하여 퍼지한다.
  - (다) 근로자가 암모니아에 노출되지 않도록 개인보호구를 착용하고, 암모니아 누출감지 및 경보 설비가 정상 작동되는지 확인한다.

## 6. 암모니아 냉매설비 운전을 위한 안전관리 절차서

### 6.1 노출확인 절차서

- (1) 암모니아 냄새가 날 경우에는 냄새지역을 벗어나 감독자에게 알려야 한다.
- (2) 반드시 호흡용 보호구를 착용한 후 감지기를 이용하여 공기 중 암모니아 농도를 측

정한다. 다만, 암모니아가 누출된 곳에 자동환기설비가 설치되지 않은 경우에는 누출 지역 내부를 배기하여 안전하다고 판단될 때까지 들어가지 말아야 한다.

(3) 암모니아 농도를 확인한 후에 pH 시험지(Indicator paper)를 물에 적서 누출지역을 먼저 확인하고 난 후, 새로운 시험지를 이용하여 누출지점을 찾아낸다.

(가) 시험지는 일반적으로 페놀프탈레인을 함유하고 있으므로 입으로 적서서는 안 된다.

(나) 시험지는 누출을 감지하는 데에만 사용하여야 하며, 공기 중 암모니아 농도를 측정하는데 사용하지 않는다.

(다) 페놀프탈레인을 함유한 시험지의 경우 암모니아가 존재할 때 시험지의 색은 분홍색으로 변색되는데, 6 ppm에서는 천천히 변색되며, 15 ppm에서는 빠르게 변색된다.

(라) 시험지는 기계실에 보관하여서는 안 된다.

(4) 누출지역을 확인한 후, 감독자나 동료가 현장에 도착하기 전까지는 누출을 멈추기 위한 어떤 시도도 하지 말아야 한다.

(5) 누출지점 인근의 밸브를 조인 후, 시험지를 이용하여 누출 여부를 다시 확인한다.

(6) 만일 밸브를 조였음에도 불구하고 누출이 지속되는 경우에는 가동을 중지하고 해당 설비를 수리하여야 한다.

## 6.2 노출로 인한 위험관리 절차서

(1) 암모니아가 노출될 수 있는 위험요인을 도출하기 위하여 적절한 교육을 받은 사람과 함께 위험성평가를 실시하여야 한다.

(2) 암모니아가 노출되었을 때 호흡기를 보호할 수 있는 호흡보호프로그램을 수립하여 운영하는 것이 바람직하다.

(가) 호흡용 보호구는 근로자 얼굴 형태에 적합한 것인지 적합검사(Fit-test)를 실시하여야 한다.

(나) 적합검사는 처음 실시한 이후 매년 1회 지속적으로 실시하며, 그 결과를 기록하여 보관하는 것이 바람직하다.



(다) 호흡용 보호구를 착용하여야 하는 근로자는 착용훈련을 받아야 한다.

(3) 암모니아가 누출되었을 때 피부를 보호할 수 있는 절차서를 수립하여 운영하는 것이 바람직하다.

### 6.3 근로자 작업 확인 및 교육 절차서

(1) 암모니아 설비가 밀폐된 곳이나 외진 곳에 설치된 경우, 해당 지역에서 근로자 작업할 때에는 다음 중 어느 하나에 의해 근로자의 안전을 확인할 수 있어야 한다.

(가) CCTV 등을 통한 육안 확인

(나) 무전기나 전화를 통한 음성 확인

(2) 미리 정해진 주기마다 근로자의 안전을 확인하여야 하며, 확인사항을 기록하여 보관하는 것이 바람직하다.

### 6.4 암모니아 설비 및 안전설비의 유지관리 절차서

(1) 암모니아 설비 주변에 설치된 안전대책을 주기적으로 점검하고 작동여부를 확인하여야 한다.

(2) 암모니아 설비 주변의 안전대책에는 다음 설비들이 포함되어야 한다.

(가) 모니터, 감지설비 및 경보설비

(나) 무전기

(다) 아이샤워(Eye shower), 비상샤워 및 응급조치함

(라) 호흡용 보호구와 피부보호장비

(3) 암모니아 설비 주변에 설치된 안전대책의 작동 및 사용 가능여부를 최소한 분기별로 1회 확인하고 점검하여야 한다.

(4) 암모니아 누출감지 및 경보 설비를 선정하고 관리할 때에는 다음 사항에 주의하여야 한다.

(가) 신뢰도, 정확도, 응답속도(Response speed) 및 작동 온도범위를 고려하여 선정하

여야 한다.

- (나) 암모니아 외의 다른 물질이 누출된 경우에는 감응하지 않는 선택성을 갖는 감지 설비를 선정하는 것이 바람직하다.
- (다) 매년 검교정을 실시하며, 누출을 감지하여 작동한 경우에도 검교정을 실시하여야 한다.
- (라) 전기화학적 감지기(Electrochemical sensor)가 장착된 경우, 한번이라도 경보가 울린 후에는 반드시 감지기를 교체하여야 한다.
- (마) 경보음과 경보등은 외부에서 실내의 농도를 정확히 읽을 수 있도록 설치되어야 한다.
- (5) 암모니아 설비의 유지보수 중에는 안전표지와 “수리중”이라는 표지를 설치하여 다른 사람의 접근이나 설비 가동을 방지하여야 한다.
- (6) 암모니아 열교환기 및 주변 설비의 유지보수는 반드시 작업계획을 수립하여 작업허가를 받은 후에 시행되어야 한다.

## 7. 비상훈련 절차서

- (1) 비상훈련 절차서는 암모니아 열교환기 및 주변 설비에 대한 위험성평가를 토대로 작성되어야 한다.
  - (가) 비상상황이 되었을 때 암모니아 외에 위험성이 증가할 수 있는 물질이 주변에 존재하는지 확인하고 해당 물질의 조치절차를 포함하여야 한다.
  - (나) 절차서의 내용을 점검한 후 근로자에게 알려야 한다.
  - (다) 비상연락망을 포함한 주요 내용을 게시하고, 주기적으로 훈련을 실시하여야 한다.
  - (라) 소방서 및 인근 다른 사업장에 필요한 정보를 제공하는 것이 바람직하다.
  - (마) 사고 후 탈출절차와 수색 및 구조에 대한 내용을 포함하는 것이 바람직하다.
- (2) 위험성평가 결과에 따라 암모니아의 확산영향반경을 확인하고 근로자가 쉽게 접근할 수 있는 지역에 개인보호구함과 현장경보장치를 설치하여야 한다.

- (가) 위험성평가 결과를 토대로 필요한 개인보호구의 종류를 파악하여 확보하여야 한다.
- (나) 아이샤워설비, 비상샤워설비 및 응급조치함의 사용법을 교육하고 훈련하여야 한다.
- (3) 비상훈련 절차서에는 암모니아가 누출되었을 때 대피할 경로와 대피소의 위치를 명시하여야 한다.
- (4) 비상사태에서 모든 근로자가 안전한 장소로 대피하였는가를 확인할 수 있는 체계를 갖추어야 한다.
- (5) 비상훈련은 정해진 주기에 따라 실시되고 그 결과를 기록하여야 한다.

## &lt;부록 1&gt;

## 암모니아 냉매설비 사고사례

## 사례 1. 열교환기 수리 후 청소 중 폭발사고

(1) 발생일시: 2008년 6월

(2) 사고내용: 열교환기 동체(Shell, 암모니아 사용)에 설치된 파열판 교체 후 압력방출밸브와 동체 사이의 차단밸브를 개방하지 않은 상태에서 열교환기 관(Tube) 내부 청소를 위해 스팀을 공급하는 작업을 시행하였음. 압력방출장치가 차단된 상태에서, 스팀 주입을 위해 압력조절밸브를 차단하고 스팀을 주입하기 시작하자 열교환기 동체에 남아있던 암모니아가 증발하면서 압력이 상승하여 폭발하였음. 6명의 근로자가 부상을 당하고 1명의 근로자가 사망함.

(3) 문제점

(가) 작업허가를 받지 않고 파열판 교체작업이 수행되었으며, 교체 후 차단밸브를 개방되지 않았다는 것을 확인하지 못함.

(나) 비상훈련절차서가 수립되어 있었으나, 지난 4년간 한번도 훈련을 실시한 적이 없었음.

(다) 모든 근로자가 안전하게 대피하였는가에 대해 확인하는 시스템 불량으로 1명의 근로자가 대피하지 못한 것을 모르고 있었음.

## 사례 2. 암모니아 설비 드레인 중 누출사고

(1) 사고내용: 25 L의 기름거품 양동이가 넘칠 것 같아서 다른 양동으로 교체하려고 근로자 한명이 자리를 비운 사이, 미숙련 근로자가 양동이 밖으로 호스를 들어 올리다가 얼굴이 암모니아 증기에 노출됨. 미숙련 근로자는 고통 때문에 호스를 놓치고 도망감. 실내에 암모니아 액체가 누출되었으나 차단하지 못하고 증기에 노출된 근로자는 부상을 당함.

(3) 문제점

(가) 미숙련 근로자를 혼자 작업하도록 하였음.

(나) 암모니아 차단밸브가 실내에 있어서 접근할 수 없었음.

### 사례 3. 암모니아 설비 결빙파쇄 중 누출사고

(1) 사고내용: 암모니아 주 공급배관 주변에 두껍게 결빙된 얼음을 도끼로 제거하기 위해 배관 엘보우(Elbow)를 쳐서 배관이 잘라지면서 암모니아 액체가 누출되어 공장 전체가 비상 대피함.

(2) 문제점

(가) 암모니아 공급배관 주변에 결빙된 얼음을 제거하기 위한 절차서나 지침서가 없었음.

(나) 결빙 절차서를 마련하기 위한 위험성평가가 실시되지 않았음.

### 사례 4. 밀폐공간 내 암모니아 누출 및 폭발사고

(1) 사고내용: 열화된 씰(Seal)을 통해 암모니아 액체가 몇 시간 동안 누출된 것을 근로자가 냄새로 인지하고 소화밸브(Fire valve)를 열다가 전기스위치 내부에서 발생한 스파크로 인해 폭발, 1명의 근로자가 부상을 당함.

(2) 문제점

(가) 암모니아 기계실 내부에 방폭전기설비를 설치하지 않았음.

(나) 암모니아 자체의 화재 위험성은 낮지만 다른 가연성 물질이나 기름이 있을 때 화재위험성이 증가한다는 것에 대해 위험성평가가 실시되지 않았음.