

An Evaluation of the Off-site Risk of Spill from a Storage Tank of Nitric Acid

Chang Hyun Shin^{1#}, Jai Hak Park²⁺

¹ National Institute of Chemical Safety, 90 Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea

² Department of Safety Engineering, Chungbuk University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk, Republic of Korea

Abstract

The number of chemical accidents involving nitric acid continues has increased for the last three years. As nitric acid is strongly toxic, an appropriate dike surrounding a storage tank must be installed to prevent the release of toxic chemicals. In installing a dike, it is important to consider the capacity of a storage tank and minimize the surface area within a dike. By using Off-site Risk Assessment modeling program (KORA), this study conducted an evaluation of EPRG-2 dispersion distance from dikes that are installed in compliance with the Dangerous Substance Control Act and the Chemicals Control Act. The results indicate that the requirement of maintaining a distance of 1.5 m or more between a dike and a tank is effective in reducing the possible affected areas. Also, it is proposed to establish uniform standards for dike facilities through collaboration among the governmental ministries.

Key words: chemicals control act, nitric acid, dike, off-site risk assessment, KORA

1. 서론

2012년 구미 불산사고 이후 화학사고가 발생 건수가 지속적으로 증가하고 있다. 2012년 9건, 2013년 86건, 2014년 104건, 2015년 111건이 발생한 것으로 조사되었다. 이 중 사업장에서 발생한 사고는 189건, 실험실·연구실에서 발생한 사고는 30건, 운송차량에서 발생한 사고는 65건, 그 밖의 장소에서 발생한 사고는 26건이었다. 사업장에서 발생한 사고를 구체적으로 분석할 결과, '13년 경북 상주 염산 누출사고와 '14년 울산 원유

누출사고는 실외 저장탱크에서 취급물질이 대량으로 누출한 사고였다. 저장탱크에서 대량으로 누출되는 화학사고는 발생빈도는 낮지만, 발생할 경우 주변 사람이나 환경에 주는 피해가 확대되는 대형사고로 이어지기 때문에 사전에 적절한 대처가 필요하다. 특히, 유독성이 강한 화학물질을 저장하는 경우 효과적인 예방조치는 반드시 필수적이다. 저장탱크 주변에는 화학사고 피해를 최소화하기 위한 많은 장치·설비 등이 설치되고 있다. 대표적인 안전설비·시설이 방류벽이다(Shin, 2016). 방류벽은 저장탱크에서 유출된 물질이 외부로

The 1st author: Chang Hyun Shin, Tel. +82-42-605-7022, Fax. +82-42-605-7035, e-mail. yjoy122@korea.kr

+ Corresponding author: Jai Hak Park, Tel. +82-43-261-2460, Fax. +82-43-264-2460, e-mail. jhpark@chungbuk.ac.kr

확산되지 않도록 내부에 유출물질을 억류하고 있다가 사업장이 자체 보유한 폐수처리장으로 보내거나, 지정 폐기물 사업장으로 보내 안전하게 처리되는데 사용된다. 이처럼, 방류벽은 저장탱크에서 유출된 물질을 잠시 억류하고 있는 역할을 수행하기 때문에 저장량을 고려하는 것이 중요하다. 아울러, 유출물질이 처리되는 동안 방류벽 내부에서 대기와 접촉한 표면에서 대기 중으로 증발되어 외부 환경으로 확산되기 때문에 방류벽 표면적을 최소화시키는 것도 필요하다.

최근 3년간 화학사고 발생 통계를 살펴본 결과, 질산으로 인한 사고 건수가 증가하는 것으로 조사되었다. 2015년에는 7건으로 사고발생 단일 화학물질 건수에서 1위를 차지했다. 사고의 빈도수가 최근에 매우 높은 나타나 각별한 주의가 요구되며, 저장탱크에서도 발생할 수 있을 것으로 예상된다. 질산은 독성이 강한 물질로 위험물 제6류(산화성액체)로 국민안전처 소관 위험물 안전관리법의 관리 대상이면서, 사고대비물질 및 유독물질로 환경부 소관인 화학물질관리법(2015년 이전에는 유해화학물질관리법)의 관리 대상이다. 유해화학물질관리법 취급시설 기준은 구체적이지 않고(Ministry of Environment, 2013) 유출물질이 외부로 확산되지 않는 정도로 관리하는 것을 요구하고 있어 사업장은 시설기준이 구체적인 위험물안전관리법을 통상적으로 준수하고 있다. 왜냐하면, 사업장의 규모가 비교적 큰 경우 위험물안전관리법에 따라 질산 탱크이외에 동일 방류벽 내에 종류가 다른 화학물질인 인화성 액체탱크를 동시에 저장할 수 있기 때문이다. 이 경우, 사업장은 시설 투자비용을 줄이기 위해 질산을 포함한 다수의 인화성 액체 탱크를 동일 방류벽에 설치하고 위험물안전관리법 시설기준을 지키고 있다. 위험물안전관리법에서는 저장탱크와 방류벽까지의 이격거리를 저장탱크 지름에 따라 탱크 높이의 1/2~1/3 이상 확보하는 것을 요구한다(Ministry of Public Safety and Security, 2015). 저장탱크의 지름이 15m 미만은 탱크 높이의 1/3, 15m 이상은 탱크 높이의 1/2 이상을 탱크로부터 이격하여 방류벽을 설치해야 한다. 이는 소방차, 방제

차량 등의 사고 확산 대응조치 및 방제활동에 필요한 거리를 확보하여 화학사고를 효과적으로 대응하기 위한 거리이다. 다만, 이 기준은 유출된 물질의 확산 위험성은 고려되지 않았다. 탱크 높이가 4.5m 이상인 경우는 1.5m 이상으로 방류벽과 저장탱크와 이격하게 되는데, 탱크높이가 클수록 이격거리가 커지게 때문에 방류벽 내부에서 억류된 물질로 인한 외부 확산 위험성이 확대된다. 즉, 방제활동에는 유리하나 유출물질이 처리되는 동안 외부로 증발되어 대기로 확산되는 위험성이 매우 커지게 되어 제2차 환경피해가 우려된다.

한편, 환경부는 구미 불산사고 이후 체계적인 화학물질의 예방·대응·대비를 통해 사람, 건강 등의 피해를 효과적으로 막기 위해 2015년부터 화학물질관리법을 시행하고 있다. 기존의 유해화학물질관리법의 미비한 기준을 구체화하여 신규 법령에서는 점검활동과 방제활동에 필요한 작업자 최소 작업공간을 확보하기 위해 저장탱크와 방류벽의 이격거리를 1.5m 이상으로 의무화하였다(Ministry of Environment, 2015). 1.5m 거리는 NFPA(National Fire Protection Association)에서 요구하는 작업자가 작업활동에 필요한 최소거리로 산업안전보건법 취급시설 기준에도 동일한 조건이다(Ministry of Employment and Labor, 2015). 이격거리가 충분하지 못한 경우 평시에 정비·점검 활동에 지장을 초래하고, 사고 시 방제활동에 물리적인 제약요소가 되어 사고확산 방지 조치가 어려울 수 있기 때문이다. 국내 법령상 기준 상이로 인해 질산을 취급하는 사업장은 일반적으로 이격거리가 더 큰 위험물안전관리법을 준수해야 법적으로 문제가 없게 된다. 다만, 방류벽의 1차적인 기능인 유출물질의 억류에는 문제가 없으나, 유출 표면에서 외부 환경으로 확산되는 문제는 다소 과소평가 된 것으로 예상할 수 있다. 이에, 본 연구에서는 두 법령의 취급시설 기준에 따른 방류벽 이격조건에서 사고의 저장탱크 규모가 큰 사업장에서 대량 누출되는 최악의 사고를 가정하여 화학사고로 인한 외부 피해 영향범위를 수치해석 프로그램을 통해 비교 평가하였다. 본 연구 결과를 통해 저장탱크와 방류벽까지의

이격거리 1.5 m 이상 유지하는 환경부 취급시설 기준을 상호 인증하는 것을 제시하고, 점진적으로 법령을 일원화하는 대책을 수립하는데 기여하고자 한다.

II. 이론적 고찰

1. 희질산 제조공정

질산은 산업계에서 많은 용도로 널리 사용된다. 본 연구에서는 질산 70%의 희질산 제조 공장을 선정하였다. 희질산은 금속야금, 농질산, 초안, 폴리우레탄 등에 쓰이며, 염료, 페인트, 잉크, 화장품 등의 원료인 안료로 사용된다. 제조 공정은 <Figure 1>과 같다. 암모니아(NH₃) 가스와 공기와 혼합되어 백금촉매가 충전되어 있는 연소장치로 들어가 암모니아가 연소하여 NO 가스가 생성된다. 이 때 발생하는 열은 회수하여 스팀(Steam)을 발생한다. NO 가스는 냉각기(Cooler)를 거치면서 NO₂로 산화되고, 흡수탑 하부로 들어가 흡수탑 상부에서 공급되는 공정수와 향류 접촉하면서 희질산이 생성된다. 생성된 희질산은 탈색탑으로 보내져 질소 산화물이 제거된 후 희질산 67%가 저장탱크로 보내진다.

1) 사업장 저장탱크 방류벽 시설

'A' 사업장은 규모가 비교적 큰 사업장으로 질산 저장탱크는 지름 5 m, 높이 8 m의 수직 실린더 형태로 가정하였다. 아울러, 일부 인화성 액체 탱크가 동일 방류벽 내에 함께 저장되어 있는 것으로 가정하였다. 이

경우, 본 시설은 위험물안전관리법 시설기준을 적용받게 되는데, 본 연구에서는 질산 저장탱크의 위험성 평가로 한정하기 위해 질산 저장탱크가 최대 용량이며, 그 외 인화성 액체 탱크를 배제하여 질산 탱크와 이에 대한 방류벽 시설로 연구범위를 한정하기로 하였다. 국내 화학물질 관리 법령에 따라 질산 저장탱크 주변에는 유출사고에 대비해 저장탱크 용량의 110% 이상의 내부용량을 갖춘 방류벽을 설치하여야 한다(Ministry of Environment, 2015 & Ministry of Public Safety and Security, 2015). 이는, 외부 유출을 막기 위한 적절한 방류벽이 설치되지 않는 경우 시설 또는 환경으로 화학사고가 확산되어 피해 범위가 커지게 되기 때문이다. 위험물안전관리법에 따른 취급시설 기준을 만족하기 위해서는 질산 저장탱크 외면으로부터 방류벽까지의 거리를 탱크 높이 8 m의 1/3인 2.7 m 이상을 이격해야 한다. 한편, 2015년 이전에 적용되던 유해화학물질관리법에서는 특별한 규정이 없었지만, 2015년부터 시행되는 화학물질관리법에서는 작업자의 작업 공간 거리를 확보가 가능한 수준 1.5 m 이상으로 이격하는 것으로 개선하였다. 1.5 m를 준수하는 경우 대량 유출사고 발생 시 유출 표면적은 최소화되어 피해 영향범위가 줄어들게 되며, 평상 시 점검·보수 활동이 가능하고, 사고 발생 시 방제활동이 가능한 작업공간이 확보될 수 있어 여러 측면에서 효과적이다(Shin, 2016). 다만, 이격거리가 줄어드는 경우 방류벽 내부용량이 줄어들 수 있지만, 탱크용량에 따라 방류벽 높이를 증가시켜 방류

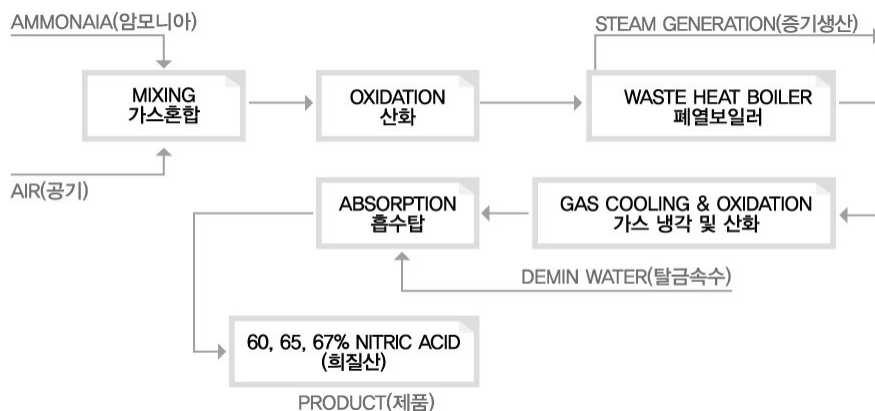


Figure 1. Schematic flow diagram of nitric acid product manufacturing process

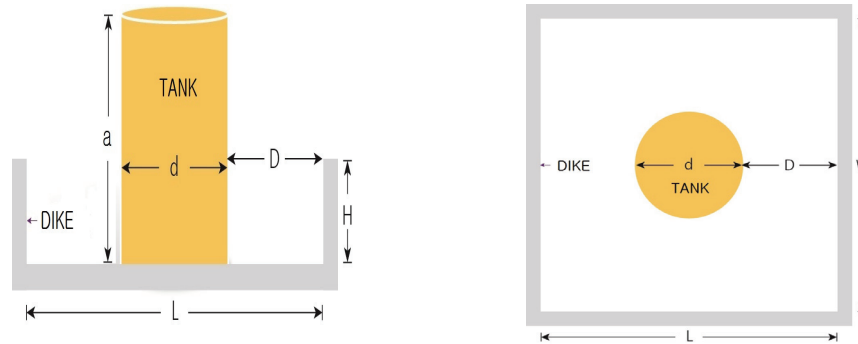


Figure 2. Installation diagram of storage tank and dike(Left : front view, Right : top view)

Table 1. Variables of a tank and dike between two chemical control acts

Act \ Type	d(m)	a(m)	Tank Volume(m ³)	D(m)	H(m)	L(m)	W(m)	Dike surface(m ²)
Dangerous Control Act	5	8	176.6	2.7	1.5	10.4	10.4	108.2
Chemicals Control Act	5	8	176.6	1.5	2.8	8	8	64

벽 전체 용량을 설계할 수 있다. 이처럼, 질산을 취급하는 'A' 사업장의 경우 위험물안전관리법과 화학물질관리법에 따라 방류벽을 설치해야 한다. 이에, 'A' 사업장이 보유한 질산 저장탱크 및 방류벽 시설을 두 법령에 따라 <Table 1>과 같이 요약해서 나타내었다.

2. 질산의 물리·화학적 특성

질산은 상온에서 액체이며, 무색 또는 담황색의 자극적인 냄새가 나는 부식성 강한 물질이다. 비가연성 물질로 자체적으로 연소되는 위험성은 적으나, 가열시 분해되어 부식성 또는 독성 흡이 발생한다. 본 연구의 화학물질인 70% 희질산은 분자량 63.01, 비중 1.4, 끓는점 약 119℃, 녹는점 약 -30℃, 증기압 6.4 kPa(20℃ 기준)를 갖는다(MSDS, 2015). NFPA(National Fire Protection Association)의 건강이 4, 반응 1로 분류되는 강산성 물질이다(ERG, 2014). 근로자가 1일 8시간 기준으로 작업중 노출될 경우 대부분의 사람에게 건강

상 영향을 미치지 않는 농도 TLV-TWA(Threshold Limit Value-Time Weighted Average)가 2 ppm으로 독성이 매우 강하다(ERG, 2014). 직업적이 아닌 일반 인구 집단에서 한번 노출될 경우 피해를 판단하는 AEGL(Acute Exposure Guideline Limit) 기준은 1~3 단계로 분류되나, 주민대피에 주로 사용되는 60분 기준 AGEL-2는 2.4 ppm이다. 아울러, 독성물질이 누출되어 인체에 미치는 영향을 위험거리로 평가하여 사고 피해영향 범위 산정 및 지역사회 비상대응계획 수립 지침에 사용되는 ERPG(Emergency Response Planning Guideline) 기준(KOSHA, 2012; Park, 2015) 및 질산의 독성값은 <Table 2>와 같다.

3. 화학사고 발생 현황

환경부에 신고된 화학사고 조사결과에 따르면 2013년부터 2015년까지 최근 3년 간 발생한 화학사고는 총 204건이었다(Ministry of Environment, 2015;

Table 2. Criteria of ERPG division and ERPG values for nitric acid

Division	Standard	Values(ppm)
ERPG-1	the maximum airborne concentration below which nearly all individuals could be exposed for up to 1 hour without experiencing other than mild transient health effects or perceiving a clearly defined objectionable odor	1.0
ERPG-2	the maximum airborne concentration below which nearly all individuals could be exposed for up to 1 hour without experiencing or developing irreversible or other serious health effects or symptoms which could impair an individual's ability to take protective action	10
ERPG-3	the maximum airborne concentration below which nearly all individuals could be exposed for up to 1 hour without experiencing or developing life-threatening health effects	78

Table 3. Statistics of domestic chemical accidents for the last 3 years

Year	Type	Number of total chemical accidents	Number of Nitric acid accidents(%)
2013		86	5(5.8%)
2014		104	9(8.7%)
2015		111	7(6.3%)
Total		301	21(7.0%)

Table 4. Statistics of the kind of chemical accidents for the last 3 years

Year	Rank	1st	2nd	3rd	4th	5th
2013		Hydrogen fluoride	Hydrogen Chloride	Chlorine	Nitric acid	Amonia
2014		Ammonia	Hydrogen Chloride	Nitric acid	Sulfuric acid	Hydrogen fluoride
2015		Nitric acid	Ammonia	Toluene	Hydrogen Chloride	Nitrogen

Environmental White Paper). 이 중 질산으로 인한 사고는 2013년 5건, 2014년 9건, 2015년에 7건이 발생하였다(Table 3). 단일물질로 인한 사고발생 순위를 살펴본 결과, 질산 취급으로 인한 화학사고는 2013년에 4번째, 2014년에 3번째, 2015년에 1번째로 발생하였고, 다른 물질에 비해 사고의 빈도수가 매우 높아지고 있는 것으로 나타났다(Table 4). 질산사고의 대부분(15건, 71.4%)은 유·누출 사고였고, 작업자 부주의, 안전 수칙 미준수, 시설관리 미흡 등으로 인해 주로 일어난 것으로 조사되었다.

4. 피해예측 프로그램 선정

화학물질의 화재·폭발, 누·유출 수치해석을 통한 화학사고의 피해영향 범위를 산정하기 위하여 ALOHA, PHAST, SLAB, HGSYSTEM, DEGADIS 등 많은 프로그램이 사용되고 있다(Park, 2015). 국내의 경우 산업 안전보건공단이 개발한 K-CHAM이 현장에 보급되어 활용되고 있다. 아울러, 2015년부터 화학물질관리법이 시행되면서 장외영향평가(Off-site Risk Assessment, ORA) 제도를 이행하기 위해 화학물질안전원이 2014년에 개발한 장외영향평가 작성지원 프로그램 KORA (Korea Off-site Risk Assessment Supporting Tool)가 산업계에 무료로 배포되어 2015년부터 본격 운영 중에 있다. 장외영향평가는 사업장 스스로 유해화학물질 취급시설을 설치하기 전 설계단계부터 위험성을 평가하여 사업장의 안전을 확보하는 제도로 미국, 유럽 등

에서 시행되고 있는 제도와 유사한 면이 있다(Ministry of Environment, 2015). 그동안 산업계에서는 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서 개발한 ALOHA 등을 보편적으로 사용하였다. 하지만, 화학물 질안전원에서 개발한 KORA는 사용이 편리하고, 인구 산정, 주변 입지정보 등이 자동적으로 산출되고 장외영향평가 보고서 형태로 출력되기 때문에 많은 사업장이 위험도 산정을 위해 많이 사용하는 편이다.

KORA 영향범위 산정은 누·유출 화학물질 시 공기보다 가벼운 가스는 가우시안(Gaussian) 확산 및 공기보다 무거운 가스는 SLAB 모델을 적용하여 계산된다. 아울러, 화재모델의 경우 인화성 액체가 액면을 형성하는 경우 CCPS(Center for Chemical Process Safety) 액면화재(Pool Fire)를 적용하고, 고압분출 화재(Jet Fire)는 미국석유화학협회(American Petroleum Institute, API) 고압분출 화재 모델을 적용하였다. 인화성 액체·기체 누출은 CCPS 화구 모델 또는 TNO(Netherlands Organization for Applied Scientific Research) 멀티 에너지 모델을 적용하여 영향범위가 산출된다(NICS Guideline, 2015). KORA는 다른 프로그램과 달리, 사람이나 환경에 미치는 독성농도, 과업, 복사열 등이 장외영향평가 제도에서 정한 수치에 도달하는 지점(End Point, 끝점 또는 영향범위)만을 바람의 바람을 전 방향으로 고려하여 원형으로 나타낸다. 이 경우, 끝점은 사람이나 환경에 영향이 최소화되는 정도로 물질성상에 따라 크게 두 가지로 나뉜다. 첫째, 독성물질의 경우

끝점 농도가 ERPG-2(Emergency Response Planning Guideline)에 도달하는 지점이 끝점이 된다. 그리고, 인화성 물질의 경우 폭발은 1 psi의 과압이 걸리는 지점, 화재는 40초 동안 5 kW/m²의 복사열에 노출되는 지점, 유·누출의 경우는 확산으로 인해 사고물질의 인화한 농도에 도달하는 지점이 끝점이 된다(NICS Guideline, 2014). 이는 장외영향평가 제도가 유해화학물질 취급시설에서 예상되는 위험성이 사망, 회복·보호 불능 등 중대사고의 영향을 평가하는 것이 아니라 사고 발생 시 주민, 근로자 등 사람이 건강상 크게 문제가 없고, 1시간 이내에 사고지역을 대피가 가능할 수 있는 정도로 끝점을 설계한 것으로 평가된다. 또한, KORA는 누출온도, 대기조건, 기상자료 등을 입력 가능하며, 사고유형·형태에 따라 최악의 시나리오(Worst Scenario)와 실제 사고형태를 모사할 수 있는 대안의 시나리오(Alternative Scenario)를 선정하여 영향범위를 산정할 수 있다. 아울러, 영향범위를 줄이기 위한 안전장치, 기술적 대책 등을 반영하여 위험도를 줄이는 것이 가능하다. 이러한 사용자 중심의 사고 영향범위 도출 및 위험도 산정 프로그램 KORA는 화학물질 관리

대책 수립에 적극 활용되고 있으며, 정부의 제도 보급 및 교육 지원 정책에 힘입어 산업계에 사용이 확대될 것으로 전망된다.

III. 연구방법

1. 사업장 위치

질산 제조공장은 사고대비물질로 위험성이 높아 공장의 입지가 엄격하게 관리되고 있어 주로 산업단지 지역에서 운영된다. 실제 사업장은 국가산업단지에 위치하고 있으나, 기업 보안상의 이유로 입지분석에 어려움이 있어 본 연구에서는 편의성을 위해 화학물질안전원의 입지를 'A' 사업장의 위치로 가정하였다. 실제로 산업단 주변에는 여러 사업장에 종사하는 근로자가 있어 이러한 입지조건이 유사하다고 볼 수 있다. 'A' 사업장은 대전광역시 유성구 대덕연구단지에 위치하였다. 주변에는 동측에 고등학교, 대학교가 있고, 서측에는 관공서, 은행, 연구소 등 공공시설이 밀집하였으나, 북쪽과 남쪽은 숲으로 우거진 비거주 지역이다. 'A' 사업장의 입지조건을 <Figure 3>과 <Table 5>에 요약해서 나타내었다.

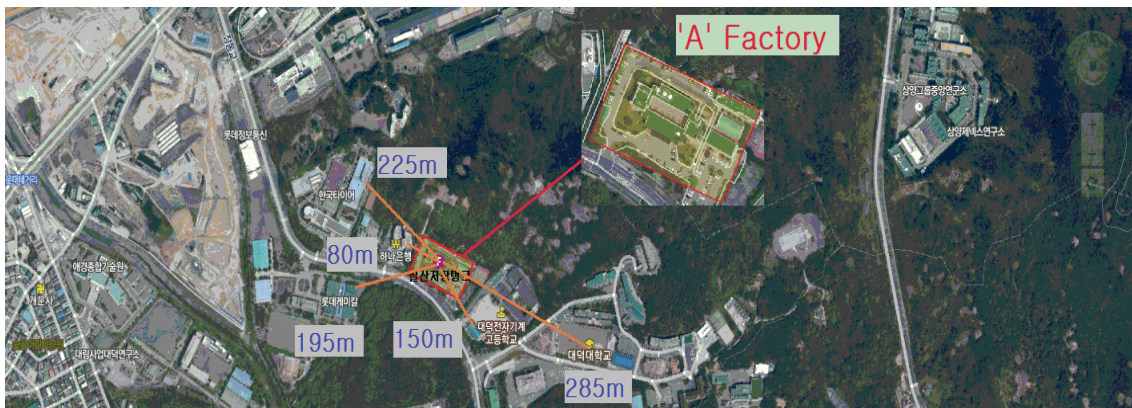


Figure 3. Locational conditions for 'A' factory

Table 5. Information of facilities around 'A' factory

Facilities	Direction	Distance(m)
Daeduk High School	E	150
Daeduk College	E	285
Daeduk Kindergarten	SE	270
Hana Bank	W	80
Small & Medium Business Administration	W	160
Hankook Tire Research Institute	W	225
Lotte Chemical Research Institute	SW	195

2. 측정기간 및 기상자료

본 연구의 영향범위 산정을 위해 사용되는 기상조건은 기상청 홈페이지에서 제공하는 2015년 1월부터 2015년 12월까지 대전 측정소의 지난 1년간 통계자료를 이용하였다. 계절적 요인, 주·야간 변화 등을 고려하여 월별 평균 자료를 설정하였다. <Table 6>과 같이 2015년 평균 기상자료를 살펴보면 기온은 0 ~ 26.4℃, 바람의 세기는 1.2 ~ 1.9 m/s, 풍향은 주로 북서풍이고, 4월에는 동풍, 7월 남풍이고, 습도는 51 ~ 83%의 변화를 보였다.

3. 예비위험 분석

'A' 사업장에서 취급하는 질산은 상온·상압에서 액체 상태로 실외 저장탱크에서 저장되고, 펌프 등을 통해 운송차량을 이용하여 외부 고객사에게 납품된다. 본 연구에서는 위험성평가를 위해 장외영향평가 사고시나리오 선정에 따른 질산 저장탱크의 예비위험성 분석을 적용하였다. 주요 위험요인은 기계적 결함으로 인한 탱크 내부에 설치된 믹서 축 이탈로 인한 저장탱크가 파손되거나, 시설 관리 미흡 또는 작업자 부주의로 저장탱크와 연결된 배관이 파손되는 경우를 들 수 있다. 이는 발생 가능성이 낮으나, 사고 통계를 통해 살펴본 바와 같이 사고는 언제든지 일어날 수 있으며, 이 경우 피해 영향은 크다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 질산 실외 저장탱크와 연결된 배관의 파손으로 인해 누출의 경우에 대해 장외영향평가 사고시나리오 선정에 관한 기술지침에 따라 최악의 누출 시나리오를 적용하고, 그 피해 영향범

위를 KORA 프로그램을 이용하여 산출하였다.

4. 사고시나리오 도출

최악의 사고시나리오는 유해화학물질을 최대량 보유한 단일 저장용기(탱크) 또는 배관 등에서 화재·폭발 또는 유·누출되어 사람이나 환경에 미치는 영향범위가 최대인 경우의 시나리오로 정의된다. 본 연구에서는 질산의 물질성상을 고려하여 화재·폭발의 위험성보다는 유·누출로 인한 독성을 위험요소로 보고, ERPG-2에 도달하는 지점을 끝점으로 최대의 피해 영향범위를 산출하였다. 상온·상압으로 취급하는 질산 실외 저장탱크에서 누출된 경우 10분 동안 저장탱크와 연결된 200 mm 배관에서 전량213.5 톤(탱크 설계용량의 90%)이 누출되어 탱크 주변에 설치된 방류벽으로 흐르고, 역류된 방류벽 내부 표면에서 대기 중으로 확산되는 것을 가정하였다. 피해가 최대인 영향범위 산정을 위해 풍속은 1.5 m/s, 대기안정도는 매우 안정(F)으로 보고 대기 역전현상은 고려하지 않았다. 대기온도는 25℃, 대기습도는 50%를 적용하고, 지표면에서 누출된 것으로 가정하고, 건물과 나무 등이 많은 지형을 모사하기 위해 도시지형을 선정하였다. 누출물질의 온도는 낮 시간의 최고온도 또는 운전온도 중 큰 수치를 적용하기 때문에 겨울, 봄, 가을은 공정온도 25℃를 적용하고, 여름철 및 봄·가을철 낮 최고기온에서는 2015년도 평균치 최대 온도, 실시간 최고 온도를 최대한 고려하여 누출온도에 따른 피해 영향범위를 비교 평가하였다. 아울러, 최악의 사고 시나리오 분석을 위해 대기 온도에

Table 6. Average weather data of daejeon city located in 'A' factory in 2015

Year-month	Temperature(℃)	Wind Speed(m/s)	Wind Direction	Humidity(%)
2015-01	0.0	1.3	NW	73
2015-02	1.9	1.7	NW	66
2015-03	7.2	1.7	NW	51
2015-04	13.3	1.9	E	68
2015-05	19.5	1.6	NW	60
2015-06	23.4	1.5	NW	68
2015-07	25.4	1.8	S	80
2015-08	26.4	1.5	NW	76
2015-09	21.7	1.6	NW	69
2015-10	15.5	1.4	NW	71
2015-11	10.1	1.3	NW	83
2015-12	3.1	1.2	NW	75

Table 8. Statistics of monthly maximum atmospheric temperature in 2015

Type	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Max Temp.(°C)	10,3	12,4	23,4	27	32,1	35	34,3	36,3	31,3	26,7	21,4	14,2

Table 9. Comparison of effect on atmospheric temperature between two chemical control act

Act	ERPG-2 dispersion distance(m)				
	25°C	27°C	31,3°C	34,3°C	36,3°C
Dangerous Control Act	234,0	247,0	277,0	299,4	315,2
Chemicals Control Act	176,0	185,6	207,6	224,0	235,5

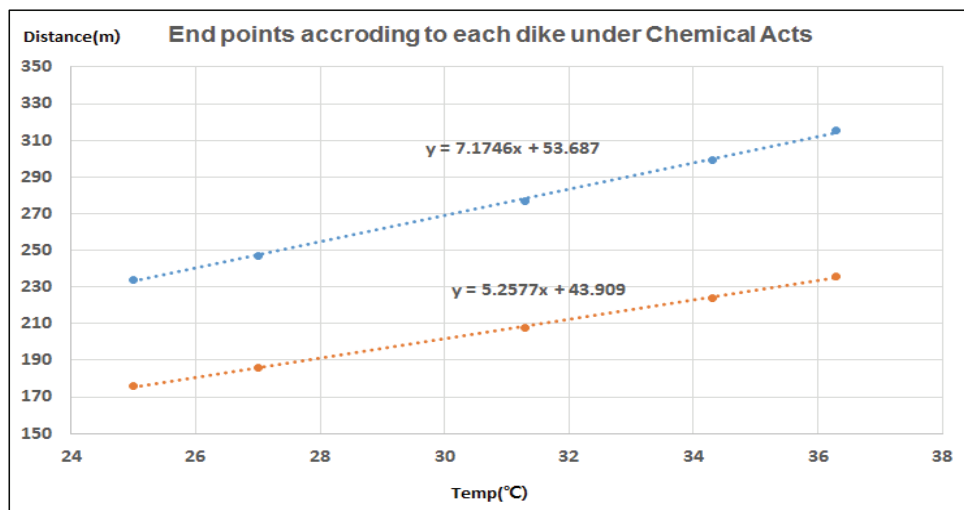


Figure 6. Graph of effect on atmospheric temperature between two chemical control act

3. 영향범위 감소 대책

화학물질관리법에 따른 방류벽을 설치하는 경우 대기·공정온도에 따라 176.0 ~ 235.5 m까지 최악의 시나리오 조건에서 ERPG-2 영향범위가 나타났으며, 위험물안전관리법에 따른 방류벽 설치조건 보다 피해 영향범위가 줄어든 것으로 확인되었다. 그러나, 이러한 영향범위는 'A' 사업장 주변에 위치한 은행, 공공건물, 고등학교 등 주요 건물에 있는 사람에게 여전히 위험요소가 된다. 사람의 영향을 최소화하기 위해서는 최고 기온의 최대 피해 영향범위인 235.5 m를 80 m로 줄이기 위한 추가적인 대책이 필요하다. 실제로는 유해화학물질 취급 사업장은 유·누출 감지장치, 긴급차단밸브 등의 기술적 대책, 주기적인 점검·정비 등 관리적 대책을 병행하여 사고 누출량을 줄여 피해 영향범위를 줄이는 것이 가능하다. 본 연구에서는 관리적 대책을 배제하고, 'A' 사업장 주변에 배치된 최소거리 80 m 건물 내 사람을 보호하기 위한 안전장치에 대한 기술적 대책

만을 고려하였다. 상용화된 누출저감 설비는 여러 가지가 있는데, 본 연구에서는 질산 저장탱크 주변에 pH미터를 설치하여 질산이 누출 시 신속하게 감지하여 저장탱크와 배관에 연결된 긴급 차단밸브를 자동으로 20초 안에 차단하는 시스템을 설치하여 위험도를 낮추는 대안의 시나리오(Alternative scenario)를 선정하였다. 이러한 위험 저감 기술대책은 산업계에서 일반적으로 사용되는 기술로 평가된다(장외 시나리오 예시). 최악의 시나리오 조건에서 20초 안에 차단하는 시스템을 설치하는 경우 KORA를 통해 확산 평가를 실시한 결과, <Table 10> 및 <Figure 7>과 같이 피해 영향범위가 75.5 m로 줄어들었다. 이는 주변에 가장 가까운 은행 건물(80 m)도 피해를 주는 영향범위가 아니기 때문에 'A' 사업장의 장외영향평가 위험도가 대폭 감소되는 것으로 평가된다. 아울러, 추가적인 기술대책과 정기 점검·보수, 유지관리 대책이 병행된다면 위험도를 더욱 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

리, 점진적으로 두 법령 간 방류벽 취급시설 기준을 일원화하도록 정책을 마련할 필요가 있다.

4. 방류벽과 저장탱크의 이격거리가 증가할수록 대량 유출된 물질이 대기 중으로 확산되는 피해 영향범위가 증가하게 된다. 즉, 방류벽을 크게 하는 경우 위험성이 증가하기 때문에 방류벽 크기가 상대적으로 적은 화학물질관리법 방류벽 시설이 확산 위험성을 줄일 수 있다. 다만, 화학물질관리법에서는 이격거리를 1.5 m 이상을 요구하고 있으나, 사업장은 저장탱크의 지름과 높이를 고려하여 외부 유출이 없도록 방류벽을 최대한 1.5 m를 이격하도록 설치하는 것이 저장탱크 유출 사고 위험성 개선측면에서는 가장 효율적이다.

5. 화학물질관리법에 따라 방류벽을 설치하는 경우에도 2015년 최고 기온 36.3°C을 적용한 결과, 방류벽에서 최악의 누출 영향범위가 235.5 m로 나타났다. 이 경우, 'A' 사업장 주변에 위치한 은행, 고등학교, 공공건물이 피해 영향범위 내에 있기 때문에 위험요소가 되며, 장외영향평가 위험도를 최소화하기 위해서는 피해 영향범위를 80 m 이내로 줄이기 위한 기술대책이 마련되어야 한다. 본 연구에서 제시한 저장탱크 주변에 리크센서를 설치하여 누출을 신속히 감지하여 20 초 이내에 긴급차단 밸브를 저장탱크와 연결된 밸브를 자동으로 차단하는 경우 피해 영향범위가 75.5 m로 줄어든 것으로 나타났다. 이는 'A' 사업장의 차단거리 80 m에 있는 은행에 영향을 주지 않기 때문에 위험도가 대폭 개선되는 것으로 평가된다. 아울러, 적절한 유지·보수가 병행된다면 'A' 사업장의 장외영향평가 위험도는 더욱 개선될 것으로 예상된다.

References

- Shin, Chang Hyun and Jai Hak Park. 2016. Improvement in the Risk Reduction of Dikes of Storage Tanks Handling Hazardous Chemicals. *Crisisonomy*. 12(1): 83-93.
- Shin, Chang Hyun, Chung Soo Lee, Jae Eun Kang, Beyong Chol Ma, Yi Yoon, Jun Heon Yoon and Jai Hak Park. 2015. Review on the Safety Management System of Facilities Handling Hazardous Chemicals Under the Chemicals Control Act. *Crisisonomy*. 11(6): 245-262.
- Shin, Chang Hyun, Chung Soo Lee, Jae Eun Kang, Beyong Chol Ma, Yi Yoon, Jun Heon Yoon and Jai Hak Park. 2015. Review on the Inspection System of Facilities Handling Hazardous Chemicals Under the Chemicals Control Act. *Crisisonomy*. 11(7): 19-33.
- Shin, Chang Hyun, Jai Hak Park and Junheon Yoon. 2016. Impermeable Standards for the Concrete Bottom of Dikes for Crude Oil Storage Tanks. *Korean Society of Safety*, 31(1): 54-60.
- ERG, 2014. The Emergency Response Guideline. Ministry of Environment.
- Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA) Guide (P-102-2012). 2012. Consequence Analysis of Chemical Release. Korea Occupational Safety & Health Agency.
- National Institute of Chemical Safety(NICS). 2015. Impermeable Standards for the Concrete Bottom of Dikes for Crude Oil Storage Tanks. National Institute of Chemical Safety.
- Ministry of Environment. 2015. The Chemicals Control Act. Ministry of Environment.
- Ministry of Environment. 2013. The Toxic Chemicals Control Act. Ministry of Environment.
- Ministry of Public Safety and Security. 2015. The Dangerous Substances Safety Control Act. Ministry of Public Safety and Security.
- Ministry of Employment and Labor. 2015. The Industrial Safety and Health Act. Ministry of Employment and Labor.
- Ministry of Environment. 2014. Environmental White Paper. Ministry of Environment.
- Material Safety and Data Sheet(MSDS). 2015. The Material Safety and Data Sheet for Nitric Acid(65~70%) Product.
- National Institute of Chemical Safety(NICS) Guideline. 2015. Guidelines for Evaluating End Point of Chemical Accidents. National Institute of Chemical Safety. 2015(1).
- National Institute of Chemical Safety(NICS) Guideline. 2014. Guidelines for Selecting Scenario of Chemical Accidents. 2014(1).
- Kim, Seong Beom. 2012. A Study on Improving Management of Substances Requiring Preparation for Accidents Facilities.

Korean Society of Safety. 27(3): 77-82.

Park, Yeong Gyun and Tae O Kim. 2015. Evaluation of Ammonia Gas Leak in the Solar Cell Manufacturing Process Using the ALOHA Model. *J. Odor Indoor Environment*. 14(2): 136-149.

Korean References Translated from the English

신창현 외. 2016. 유해화학물질 저장탱크 방류벽의 위험성 저감 방안. *한국위기관리논집*. 12(1): 83-93.

신창현 외. 2015. 화학물질관리법의 유해화학물질 취급시설 검사제도 고찰. *한국위기관리논집*. 11(6): 245-262.

신창현 외. 2015. 화학물질관리법의 유해화학물질 취급시설 검사제도 고찰. *한국위기관리논집*. 11(7): 19-33.

신창현 외. 2016. 원유저장탱크 방류벽의 콘크리트 바닥재 불침투성 세부기준 연구. *한국안전학회*. 31(1): 54-60

환경부. 2015. 화학물질관리법. 환경부.

환경부. 2013. 유해화학물질관리법. 환경부.

김성범 외. 2012. 사고대비물질 취급시설 관리방안 연구. *한국안전학회지*. 27(3): 77-82.

정경삼, 백은선. 2014. 유해화학물질 취급작업장의 안전관리 개선에 관한 연구. *한국화재소방학회논문지*. 28(1): 12-19.

Received: Feb. 16, 2016 / Revised: Mar. 23, 2016 / Accepted: Mar. 28, 2016

질산 저장탱크의 유출사고에 대한 장외 위험성 평가

국문초록 최근 3년간 화학사고 통계조사에 따르면 질산 취급으로 인한 화학사고는 지속적으로 증가하고 있다. 질산은 유독성이 강하기 때문에 저장탱크에서 유출된 경우 외부로 확산되는 것을 막기 위해 적절한 방류벽이 설치되어야 한다. 방류벽은 저장탱크 용량을 고려하는 것도 필요하나, 유출물질 표면에서 대기 중으로 증발되는 사고를 효과적으로 제어하기 위해 방류벽 표면적을 최소화시키는 것도 중요하다. 이에, 본 연구에서는 화학물질관리법과 위험물관리법에 따라 설치된 방류벽에서 저장탱크로부터 대량 누출되는 최악의 사고를 가정하여 피해 영향범위를 장외영향평가 프로그램 KORA를 통해 비교 평가하였다. 본 연구결과, 방류벽과 저장탱크의 거리를 1.5 m 이상을 이격하도록 요구한 화학물질관리법 취급시설 기준이 피해 영향범위를 줄이는 것으로 나타났고, 부처 협업을 통해 취급 시설 기준의 일원화 방안을 마련할 것을 제시하였다.

주제어 : 화학물질관리법, 질산, 방류벽, 장외영향평가, KORA

Profiles **Chang Hyun Shin** : After a master degree of mechanical engineering in Korea University, working at the National Institute of Chemical Safety. The major paper are “Impermeable Standards for the Concrete Bottom of Dikes for Crude Oil Storage Tanks(2016)” and so on. The interested areas are safety engineering, handling facility standards, machine safety(yjoy122@korea.kr). **Jai Hak Park** : After a bachelor’s degree in Seoul National University and a master’s and doctor’s degree in KAIST, majored in mechanical engineering, being a professor of safety engineering in Chungbuk National University. The major paper are “Estimation of Leak Rate through Circumferential Cracks in Pipes in Nuclear Power Plants(2015)” and so on. The interested areas are mechanical safety, fracture mechanics, structural safety and so on(jhpark@chungbuk.ac.kr).