

Improvement on the 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

According to the data on chemical accidents for the last three years, chemical accidents involving nitric acid have been continuously increasing in Korea. The proper management to minimize the damage of the accidents is necessary because of a strong toxicity of nitric acid. The previous research suggested the distance of 1.5 m between a dike and a storage tank to reduce the end point of ERPG-2 assuming the maximum spill from a storage tank of nitric acid estimated by the KORA program. However, the distance of 1.5 m was determined merely by focusing on retaining the whole nitric acid spilled from the tank without considering additional safety factors, and needs to be reduced considering that the spilled nitric acid could drain quickly into a waste water treatment plant right after being detected. The findings of this study suggest that the reduced distance of 0.5 m could reduce the end point of ERPG-2 and thus need to be adopted as a standard of dike installation.

Key words: Chemicals Control Act, Nitric acid, Dike, Off-site Risk Assessment, KORA

1. 서론

최근 3년간 화학사고 301건을 조사한 결과, 질산의 화학사고는 21건이 발생한 것으로 나타났다. 2013년 5건, 2014년 9건, 2015년 7건이 발생하였으며, 특히 2015년에는 질산이 사고물질의 순위가 제일 높은 것으로 조사되었다. 질산은 국내 화학물질 관리법령에서 위험물안전관리법의 제6류 산화성액체 및 화학물질관리법의 사고대비물질, 유독물질로 관리되고 있다. 질산 저장탱크의 경우 위험물안전관리법과 화학물질관리법 취급시설 기

준에 따라 설치되어야 한다. 두 법령은 화학사고 예방을 위해 사업장이 준수해야 하는 시설·설비별 안전기준을 규정하고 있다는 공통점이 있다. 하지만, 저장탱크의 취급시설 기준의 관점에서 살펴 볼 때 약간의 차이가 있다는 것을 인지하게 된다. 위험물안전관리법은 화재·폭발의 확산 방지 측면에서 저장탱크와 방류벽 사이의 이격거리를 사고 발생 시 방제활동을 원활히 수행하기 위해 충분히 이격하도록 요구하고 있다. 일반적으로 질산 저장탱크와 인화성 저장탱크를 설치한 대형 사업장의 경우 동일 방류벽 내에 다수의 물질을 설치하고, 위험물안전

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

관리법에 따라 저장탱크의 주변에 방류벽을 설치한다. 이 법에서는 저장탱크 지름에 따라 저장탱크 높이의 1/2 ~ 1/3까지 저장탱크 옆면으로부터 방류벽을 이격하도록 요구하고 있다. 반면, 화학물질관리법은 사고 발생을 신속하게 감지·경보하는 안전설비 설치를 의무화하고, 사고 발생 시 사업장 경계 밖에 있는 주민이나 환경에도 피해가 확산되지 않도록 안전조치를 강화하였다. 이 법에서는 누출 감지장치를 설치하도록 하고, 방류벽과 저장탱크의 거리를 1.5 m 이상 이격하도록 있다. 기존 연구에서는 질산 저장탱크 방류벽을 화학물질관리법을 토대로 방류벽을 저장탱크와 1.5 m 이격하는 경우 방류벽 내부의 확산면적이 줄어들어 위험물안전관리법에 따라 방류벽을 이격하는 조건보다 질산의 독성 피해 영향범위가 25% 감소되는 것을 보여주었다(Shin, 2016). 다만, 이 연구결과는 저장탱크에 설치된 안전장치를 고려하지 않고 저장탱크에서 대량 누출된 질산을 방류벽 내부에 안전하게 억류하는 일차원적인 기능적 측면만을 고려한 것으로 확산면적을 줄이기 위해 이격거리를 감소하는 것을 강조한 한계가 있다.

한편, 2015년부터 시행되고 있는 화학물질관리법에서는 2012년 구미 불산사고 이후 지속적으로 증가하고 있는 화학사고를 효과적으로 예방하고자 화학물질 취급시설 기준이 대폭 강화되었다. 이 법은 2015년 이전에 시행된 유해화학물질관리법의 미흡한 세부기준을 정비하여 2013년 7월에 수립된 화학물질안전관리 기본 대책을 바탕으로 제조·사용시설, 실내 저장시설, 실외 저장시설, 지하 저장시설 등 6가지 시설 유형별로 세분화하여 유해화학물질 취급시설 기준을 구체화하였다. 또한, 장외영향평가 제도를 신설하여 화학물질을 취급하는 시설을 설치하기 전 설계 단계부터 화학사고 발생 가능성을 예측하여 사고의 위험도를 줄이기 위한 안전장치를 설치하도록 의무화하였다. 화학물질관리법이 본격적으로 시행되기 전에는 화학사고를 예방하기 위한 안전시설·설비의 투자는 생산성 개선 설비 투자에 후순위로 밀려 투자 기피의 대상으로 인식되는 편이었다. 하지만, 화학물질관리법이 본격 운영됨에 따라

2015년 이후에 설치된 유해화학물질 취급사업장은 즉시, 2015년 이전에 설치된 사업장은 2019년부터 강화된 취급시설 기준을 준수하여야 한다. 이 법의 취급시설 기준에 따라 저장탱크에서 유출된 물질을 신속하게 감지하여 폐수처리장으로 배출하는 비상대응 조치를 하는 등의 안전설비가 설치되어야 한다. 아울러, 장외영향평가에 따라 유해화학물질 취급시설의 위험도를 줄이기 위한 여러 가지 안전장치를 설치하고, 관리대책을 수립·시행하여야 한다. 사업장은 안전을 관리하기 위한 시설투자과 관리 대책을 통해 화학사고를 줄이기 위한 여러 가지 조치를 실시하여야 한다. 특히, 사고의 위험성이 높은 저장탱크의 경우에는 감지설비, 피해저감 장치 등을 설치하여 사고를 줄이거나, 사고 발생시 피해를 최소화할 수 있도록 노력하고 있다. 따라서, 저장탱크에서 대량 누출이 일어나더라도 기준에 획일적으로 누출된 물질을 방류벽 내부에 억류하는 것으로 방류벽만 안전조치로 한정하는 것은 기술적으로 합리적이지 않다. 앞으로는 화학물질관리법이 본격적으로 이행되면서 추가적인 안전장치를 고려하여 방류벽의 단순 억류기능의 인식을 전환하여 안전설비와 연계한 방류벽의 위험도 저감 설치 기준으로 개선하는 것이 필요하다. 이에, 본 연구에서는 화학물질관리법이 본격 시행되어 안전장치가 질산 저장탱크에 설치됨에 따라 방류벽 이격거리를 세 가지 Case로 분류하여 장외영향평가 확산평가 프로그램(KORA) 확산평가를 통해 기존의 획일적인 저장탱크와 방류벽 사이의 이격거리를 개선하는 방안을 제시하고자 한다.

II. 이론적 고찰

1. 질산 저장탱크 및 방류벽 시설 현황

1) 수동적 완화조치를 고려한 현재 취급시설
희질산 제조 공정을 선정하였다. 기존 연구대상인 'A' 사업장은 규모가 비교적 큰 사업장으로 질산 및 인화성 액체 저장탱크가 동일 방류벽 내에 설치된 것으로

가정하였다. 다만, 시설을 단순화하여 한 눈에 확산평가 결과를 파악하기 위해서 질산 저장탱크로 한정하기로 하였고, 이 경우 질산 저장탱크는 지름 5 m, 높이 8 m의 수직 실린더 형태로 가정하였다. 국내 화학물질 관리 법령에 따라 질산 저장탱크 주변에는 유출사고에 대비해 저장탱크 용량의 110% 이상의 내부용량을 갖춘 방류벽을 설치하여야 한다(Ministry of Environment, 2015). 기존 연구에서 제시한 질산 저장탱크와 방류벽 이격거리 1.5 m를 'A' 사업장의 기본 모델로 선정하였다(Shin, 2016).

2) 능동적 안전조치를 고려한 개선 취급시설

일반적으로 저장탱크 주변에 안전설비가 없는 경우 최대용량 저장탱크의 110%를 1.5 m 이상 이격하는 것이 타당하다. 이러한 방류벽은 수동적 완화장치(Passive safety measure)로 사고 발생 시 별도의 조치가 없어도 반드시 작동되어 사고의 위험도를 저감시키는 장치에 해당된다. 반면, 저장탱크에서 발생하는 사고는 피해 영향이 크기 때문에 사업장은 위험도를 줄이기 위해 추가적인 안전설비를 별도로 설치하여 운영하고 있다. 이처럼, 사고 발생 시 사업장이 별도의 조치를 취해야 하는 안전설비는 능동적 안전조치(Active safety measure)에 해당된다. 본 연구에서는 저장탱크에서 유출된 물질을 신속하게 감지하는 누액감지센서(Leak sensor), 방류벽 내부의 수로에서 유입된 물 또는 질산을 외부로 유출시키는 자동제어밸브, 폐수처리장 등의 능동적 안전설비를 설치한 것으로 가정하였다. 대량 유출사고 발생 시 수로를 통해 유출된 물질을 누액감지센서에서 신속하게 감지하여 자동제어밸브를 작동시켜 폐수처리장으로 유입시켜 안전하게 처리될 수 있다. 아울러, 유출 사고가 없는 평상시에 비가 오는 경우는 수로에서 유입된 물질을 누액감지센서에서 감지하여 우수로로 유입시켜 안전하게 배출시킬 수 있다. 이러한 안전설비가 있는 경우, 방류벽 이격거리를 통한 물리적 공간을 확보토록 규정하는 방류벽 설치기준이 기술적으로 다소 보완될 수 있다.

본 연구에서 제시한 안전설비는 유출된 물질을 방류벽 내부에 일정 시간동안 억류하는 기존의 방식을 개선하여 신속하게 폐수처리장으로 유입시켜 확산량과 시간을 줄이는 것으로 궁극적으로 안전도를 줄일 수 있는 시스템이다. 지금까지 제시한 본 연구의 안전설비를 <Figure 1>과 같이 요약해서 나타내었다. 다만, 여기에는 몇 가지 제약사항이 있다. 첫째, 방류벽 이격거리를 줄여 용량이 줄어들어도 방류벽 높이를 3m를 초과하지 않도록 주의한다. 방류벽 높이가 높아지는 경우 시설관리의 어려움이 있고, 방류벽 내부에서 작업하는 작업장의 상황을 육안으로 확인하기 어렵다. 둘째, 저장탱크에서 누출된 물질을 감지 경보하는 시간까지 유출된 양이 방류벽 내부 용량을 초과하지 않도록 설계하도록 주의해야 한다. 이러한 능동적 완화장치가 저장탱크 누출사고를 대비해 적절히 설치되어 있는 경우 기존의 획일적인 1.5 m 이격거리와 110% 이상의 탱크 용량을 갖춘 방류벽 시설을 일부 완화하여 이격거리 1.0 m(Case B), 0.5 m(Case C)가 설치되는 것이 가능할 수 있을 것으로 판단된다.

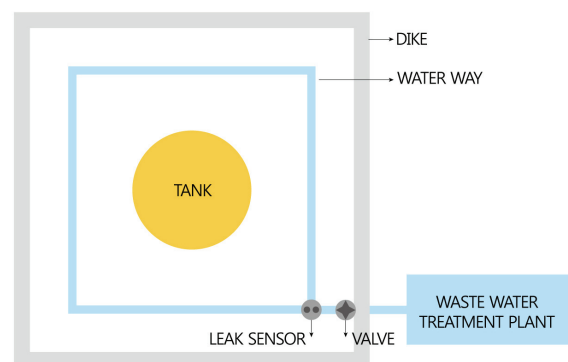


Figure 1. Schematic diagram of nitric acid storage tank facilities.

<Figure 2>에서 살펴 본 바와 같이 방류벽 내부에는 저장탱크에서 유출된 질산이나 우천 시 비가 흐르는 수로가 또한 설치되어 있다. 수로를 통해 흐르는 질산이나 물의 경우 누액감지기(Leak sensor)를 통해 누출을 감지할 수 있다. 이 경우, 누액감지기는 질산과 물의 접촉 시 물질의 고유 특성에 따라 저항값이 다르기 때문에

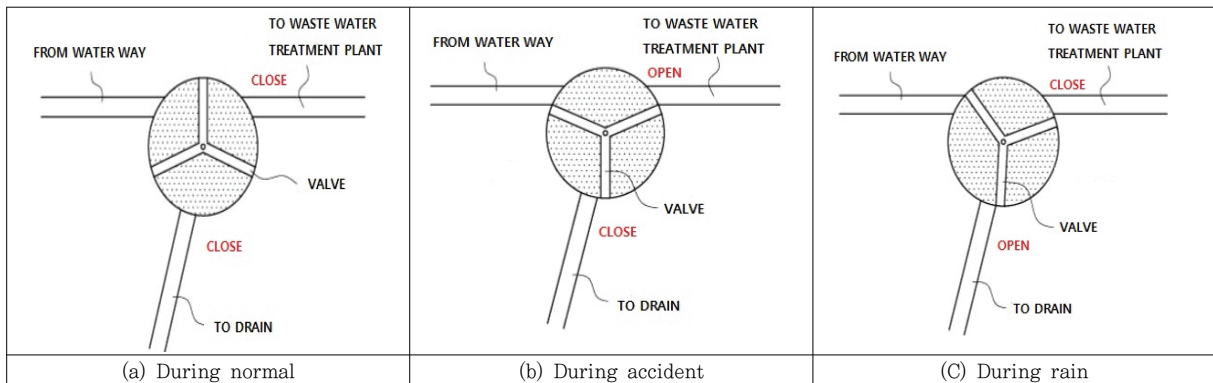


Figure 2. Schematic flow diagram of valve operation for three different events.

출력값으로 나오는 전압값을 통해 질산과 물을 구분할 수 있다. 이러한 누액감지기의 전압 출력값을 통해 유출을 확인하여 유출이 없는 경우 밸브(Valve)를 닫아서 폐수처리장이나 우수로로 유입을 차단한다. 만약, 누액감지기를 통해 질산 저장탱크에서 유출이 확인되는 경우 밸브를 회전시켜 우수로의 유입은 차단시키고, 폐수처리장으로 질산을 유입시켜 안전하게 처리토록 한다. 반면, 누액감지기를 통해 물로 확인되는 경우 밸브를 반대로 회전시켜 폐수처리장으로 유입되는 것을 차단시키고, 우수로로 물을 안전하게 배출시킨다. 이러한, 능동적 안전설비는 기존의 방류벽에 질산을 일정시간 동안 내부에 머물러 상당히 많은 양이 확산될 가능성이 있는 경우보다 누출된 질산을 폐수처리장으로 신속히 배출시키므로 훨씬 더 안전한 것으로 판단된다. 따라

서, 본 연구에서 제시한 개선 시스템은 사고의 위험성을 줄이는데 효과적이어서 산업현장에 적용하는 것이 가능할 것으로 사료된다. 이에 종합적으로 본 연구에서는 안전장치를 설치하는 것을 전제로 방류벽의 높이는 2.8 m로 변경하지 않고, 저장탱크와의 이격거리를 기존 1.5 m(Case A) 대비 신규 1.0 m(Case B), 0.5 m(Case C)로 세 가지로 분류하여 누출에 따른 확산평가를 비교 평가하였다. 세 가지 Case에 대한 시설 현황은 <Figure 3> 및 <Table 1>에 요약해서 나타내었다. 본 연구에서 Case C의 0.5 m 이격거리를 선정한 이유는 화학물질관리법과 위험물안전관리법에서 실내 저장탱크의 경우 저장탱크 옆면과 벽체까지의 거리를 0.5 m 이상 이격하는 것을 인정한 근거가 있기 때문이다.

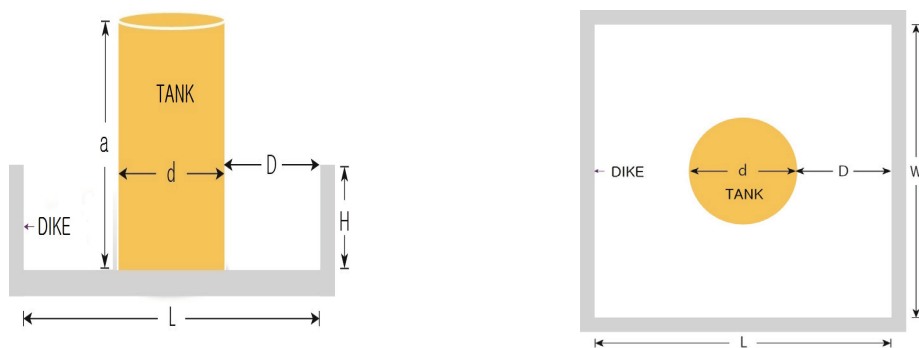


Figure 3. Installation diagram of storage tank and dike(Left : front view, Right : top view).

Table 1. Variables of a tank and dike for three cases

Type	d(m)	a(m)	Tank Volume(m ³)	D(m)	H(m)	L(m)	W(m)	Dike surface(m ²)
Case A	5	8	176.6	1.5	2.8	8	8	64
Case B	5	8	176.6	1	2.8	7	7	49
Case C	5	8	176.6	0.5	2.8	6	6	36

Table 2. Statistics of domestic chemical accidents for the last 3 years

Year	Type	Number of total chemical accidents	Number of Nitric acid accidents(%)	Number of storage tank spill accidents(%)
2013		86	5(5.8%)	16(18.6%)
2014		104	9(8.7%)	10(9.6%)
2015		113	7(6.2%)	19(16.8%)
Total		303	21(6.9%)	45(14.9%)

2. 질산의 물리·화학적 특성

본 연구에서 사용한 물질은 희질산 70%로 분자량 63.01, 비중 1.4, 끓는점 약 119°C, 녹는점 약 -30°C, 증기압 6.4kPa(20°C 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 건강상 영향을 미치지 않는 농도 TLV-TWA(Threshold Limit Value-Time Weighted Average)가 2ppm으로 독성이 매우 강하다(ERG, 2014). 직업적이 아닌 일반 인구 집단에서 한번 노출될 경우 피해를 판단하는 AEGL(Acute Exposure Guideline Limit) 기준은 1~3단계로 분류되나, 주민대피에 주로 사용되는 60분 기준 AGEL-2는 2.4 ppm이다. 아울러, 1시간 노출 시까지 보호조치 불상의 증상을 유발하거나 회복 불가능 또는 건강상 영향이 나타나지 않는 공기 중 최대농도 ERPG-2(Emergency Response Planning Guideline) 기준은 10 ppm이다.

3. 화학사고 발생 현황

환경부에 신고된 화학사고 조사결과에 따르면 2013년부터 2015년까지 최근 3년 간 발생한 화학사고는 총 204건이었다(Ministry of Environment, 2015). 이 중 질산으로 인한 사고는 2013년 5건, 2014년 9건, 2015년에 7건이 발생하였고, 사고가 발생한 단일물질로는 2015년에 제일 순위가 높은 것으로 나타났다. 한편, 사고 통계를 구체적으로 살펴본 결과, 질산을 포함한 유해화학물질이 저장탱크에서 유출된 화학사고는 2013년 16건, 2014년 10건, 2015년에 19건이 발생하였다

(〈Table 2〉). 최근 3년간 발생한 303건의 화학사고 중 45건(14.9%)으로 저장탱크 유출사고는 발생 빈도는 높지 않으나, 사고의 영향범위가 매우 크기 때문에 반드시 위험도를 줄이기 위한 대책이 필요하다.

4. 피해예측 프로그램 선정

기존에 수행된 연구(Shin, 2016)와 동일하게 장외영향평가(Off-site Risk Assessment, ORA) 작성지원 프로그램 KORA(Korea Off-site Risk Assessment Supporting Tool)를 사용하였다. 질산은 공기보다 무거운 물질로 SLAB 모델을 적용하여 끝점 농도가 ERPG-2에 도달하는 영향범위를 산출하였다(NICS Guideline, 2014). 이는, 독성누출로 인한 사람의 사망 또는 심각한 영향을 초래하는 수준보다 안전하게 사고 발생 시 1시간 이내에 대피가 가능한 수준으로 관리하고자 하는 장외영향평가 제도의 취지를 고려한 것으로 볼 수 있다.

III. 연구방법

1. 사업장 위치

본 연구에서는 기존 연구와 동일하게 기업 보안상의 이유로 주변에 인구분포가 유사한 화학물질안전원을 'A' 사업장의 입지로 가정하였다. 'A' 사업장은 대전광역시 유성구 대덕연구단지에 위치하고 있다. 주변에는 동측에 고등학교, 대학교가 있고, 서측에는 관공서, 은행, 연구소 등 공공시설이 밀집하였으나, 북쪽과 남쪽은 숲으로 우거진 비거주 지역이다. 'A' 사업장의 입지조건을 〈Figure 4〉와 〈Table 3〉에 요약해서 나타내었다.

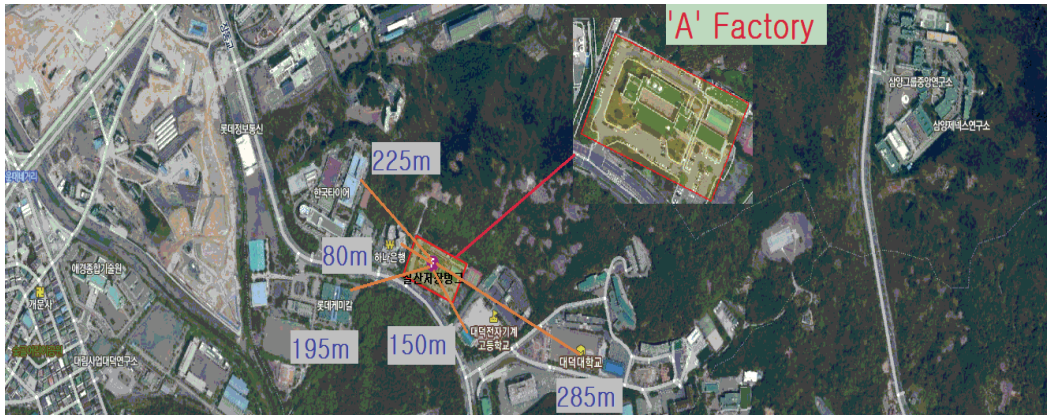


Figure 4. Locational conditions for 'A' factory.

Table 3. 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. 2015년 평균 기상 자료를 살펴보면 기온은 0 ~ 26.4℃, 바람의 세기는 1.2 ~ 1.9 m/s, 풍향은 주로 남동풍이고, 4월에는 동

풍, 7월 및 8월에는 남동풍이고, 습도는 51 ~ 83%의 변화를 보였다(<Table 4>).

3. 예비위험 분석 및 사고시나리오 도출

본 연구에서는 위험성평가를 위해 장외영향평가 사고시나리오 선정에 따른 질산 저장탱크의 예비위험성 분석을 적용하였다. 장외영향평가 사고시나리오 선정에 관한 기술지침에 따라 10분간 전량이 누출되는 최악

Table 4. 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

의 누출 시나리오를 적용하고, 그 피해 영향범위를 KORA 프로그램을 이용하여 산출하였다. 본 연구에서는 질산의 물질성상을 고려하여 화재·폭발의 위험성 보다는 유·누출로 인한 독성을 위험요소로 보고, ERPG-2에 도달하는 지점을 끝점으로 최대의 피해 영향범위를 산출하였다. 기존 연구방법과 동일하게 상온·상압으로 취급하는 질산 실외 저장탱크에서 누출된 경우 10분 동안 저장탱크와 연결된 200 mm 배관에서 213.5 톤(탱크 설계용량의 90%) 전량이 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, 대기 안정도는 매우 안정(F)으로 보고 대기 역전현상은 고려하지 않았다. 대기온도는 25°C, 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°C를 적용하고, 여름철 및 봄·가을철 낮 최고기온에서는 2015년도 평균치 최대 온도, 실시간 최고 온도를 최대한 고려하여 누출온도에 따른 피해 영향범위를 비교 평가하였다(Shin, 2016). 아울러, 최악의 사고 시나리오 분석을 위해 대기 온도에서 액체인 급성 독성물질이 저장탱크에서 누출된 경우 보유한 최대량이 누출되어 누출량이 순간적으로 누출되어 액체층을 방류벽 내부에 형성하는 것으로 가정하였다. 이 경우, 대기 중으로 확산되는 속도는 액체층의 표면에서 증발되는 속도로 가정하고, 증발속도는 다음의 식 (1)을 이용하여 계산하였다(NICS Guideline, 2015).

$$R_E = \frac{1.4 \times U^{0.78} \times Mw^{2/3} \times A \times Pv}{82.05 \times T} \quad (1)$$

여기서, R_E 는 증발속도(kg/min), U 는 풍속(m/s), Mw 는 분자량, A 는 액체층의 표면적(m^2), Pv 는 증기압(mmHg), T 는 온도(K)이다.

IV. 연구결과 및 고찰

1. Case별 영향범위 평가

먼저 누출물질의 온도는 공정온도 25°C 보다 낮은 대기온도에서 누출되는 경우를 평가하였다. 이는, 기온이 비교적 높은 여름철 낮 기온 등 일부 기상조건을 제외한 것으로 전체 사고에서 대부분을 나타내는 조건으로 볼 수 있다. 최악의 사고시나리오 조건에서 누출물질의 온도는 25°C로 가정하고, 다른 변수는 시나리오 기본값을 적용하여 위험물안전관리법과 화학물질관리법에 따른 방류벽과 저장탱크 간 이격거리별 피해 영향범위를 비교 평가하였다. 저장탱크에서 보유한 최대량이 10분 동안 누출된 경우 ERPG-2에 도달하는 끝점의 지점을 원형으로 산출하였다. 먼저, 기존 연구에서 제시한 1.5 m 이격거리 Case A의 ERPG-2 10 ppm 농도는 사고지점(저장탱크)에서 최대 176.0 m 떨어진 곳까지 나타났다. 피해 영향범위는 은행, 고등학교 건물의 일부까지 미치며 피해 대상은 근로자 및 고객, 학생이다. 두 번째, 1.0 m 이격거리 Case B의 ERPG-2 농도는 사고지점에서 최대 152.4 m 까지 떨어진 곳까지 나타났다. 이 경우, 피해 영향범위는 고등학교 건물이 일부 강당을 제외하고 대부분이 제외되었으나, 여전히 은행 건물까지 미치며 피해 대상은 근로자 및 고객이다. 세 번째, 0.5 m 이격거리 Case C의 ERPG-2 농도는 최대 129.3 m 떨어진 곳까지 나타났다. 이 경우, 피해 영향범위는 고등학교 건물은 완전히 제외되어 은행만 미치게 되며 피해 대상은 근로자 및 고객이 된다. 이를 종합해 볼 때, 저장탱크와 방류벽의 이격거리가 짧을수록 대량누출 시 확산면적이 줄어들어 외부로 확산되는 피해 영향범위가 줄어들게 된다. 이로 인한 피해 영향범위 내에 있는 근로자 등 사람이 감소하여 'A' 사업장의 잠재적인 위험도(Risk)는 대폭 감소하게 된다. 지금까지 살펴본 Case별 피해 영향범위는 <Figure 5>, <Figure 6> 및 <Figure 7>과 같으며, 이격거리가 짧은 Case C가 피해 범위가 최소화되는 것을 확인할 수 있다. 아울러, 이격거리별 피해 영향범위 비교를 <Table 5>에 요약해서 나타냈고, <Figure 8>에 그래프로 제시하였다.



Figure 5. Diagram of ERPG-2 dispersion result for case A(1.5 m distance).



Figure 6. Diagram of ERPG-2 dispersion result for case A(1.0 m distance).



Figure 7. Diagram of ERPG-2 dispersion result for case A(0.5 m distance).

Table 5. Comparison of ERPG-2 dispersion distance between two chemical control act

Act	Dike distance(m)	Dike area(m ²)	Dispersion distance(m)
Case A	1.5	64	176.0
Case B	1.0	49	152.4
Case C	0.5	36	129.3

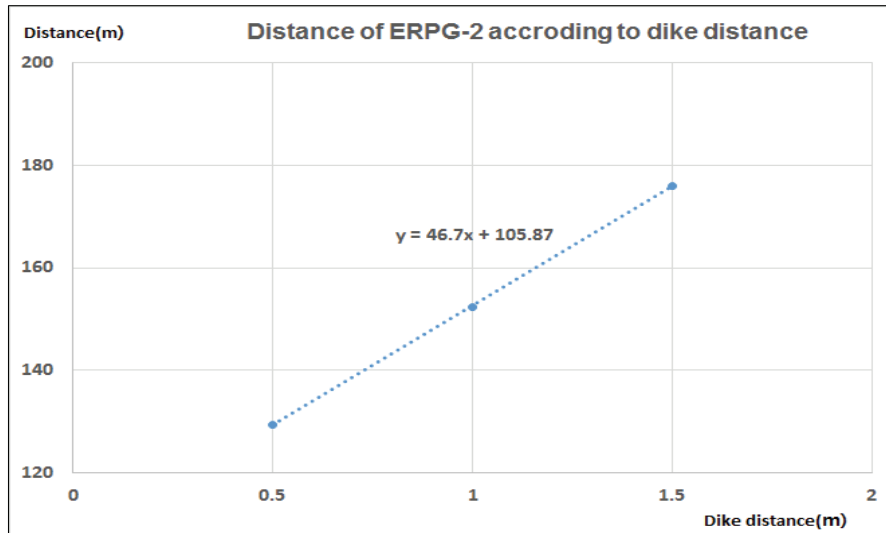


Figure 8. Graph of ERPG-2 dispersion effect on dike distance.

2. 온도에 따른 영향범위 평가

다음은 공정온도 25°C 보다 높은 대기온도에서 발생 하는 사고에 대한 피해 영향범위를 평가하였다. 이를 위해 대전 기상청 기상자료를 통해 2015년 1월부터 12 월까지 최근 1년 동안 월별 최고온도를 조사하여 <Table 6>에 나타내었다. 최악의 시나리오 조건에서 공정온도 25°C 보다 높은 대기온도의 최고온도는 4월 부터 10월까지 낮 시간대에 나타난다. 연중 최고 대기 온도는 2015년 8월에 36.3°C이었다. 온도에 따른 피해 영향범위를 비교 평가하기 위해 기준온도(공정온도) 2 5°C, 4월 27°C, 7월 34.3°C, 8월 36.3°C로 세분화하였 다. 공정온도 25°C 보다 낮은 대기온도를 갖는 1월~3

월, 11월~12월 등은 최악의 시나리오 온도 조건 25°C를 입력하기 때문에 이격거리가 1.5 m인 Case A의 피해 영향범위는 176.0 m, 이격거리가 1.0 m인 Case B의 피해 영향범위는 152.0 m, 이격거리가 0.5 m인 Case C의 피해 영향범위는 129.3 m이다. 반면에, 25°C를 넘 는 4월~10월의 낮 최고 온도조건에서는 25°C 보다 높 은 대기온도가 적용되며, 이 경우 대기온도에 따른 Case별 피해 영향범위는 Case A에서 176.0 ~ 235.5 m, Case B에서 152.0 ~ 203.6 m, Case C에서 129.3 ~ 172.3 m로 나타났다. 이에 대한 자세한 평가 결과를 <Table 7>에 요약해서 나타냈다. 본 연구 결과에서 살 펴본 바와 같이, 다른 변수는 동일하다고 가정했을 경

Table 6. 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 7. 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
Case A	176.0	185.6	207.6	224.0	235.5
Case B	152.0	160.7	179.6	193.8	203.6
Case C	129.3	136.4	152.2	164.4	172.3

우 온도가 높아질수록 피해 영향범위는 증가하고, 36.3°C에서 최대 피해 영향범위가 235.5 m, 203.6 m, 172.3 m가 각각 산출되었다. 즉, 온도가 높을수록 방류벽 표면적에서 증발되는 속도·양이 증가하여 확산에

따른 피해 영향범위가 증가되어 사고 피해가 커지게 된다. 지금까지 살펴본 Case별 온도에 따른 피해 영향범위를 <Figure 9>, <Figure 10>, <Figure 11> 및 <Figure 12>에 나타내었고, <Figure 12>에 그래프로 제시하였다.

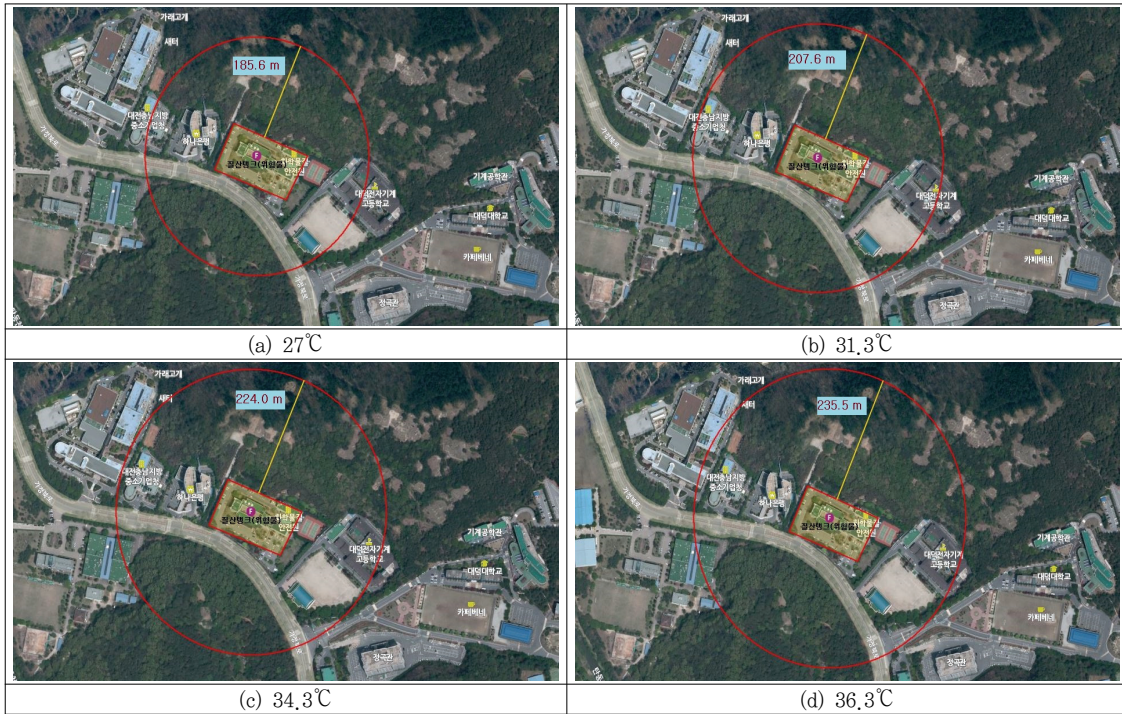


Figure 9. Diagram of ERPG-2 dispersion result for case A according to temperature.

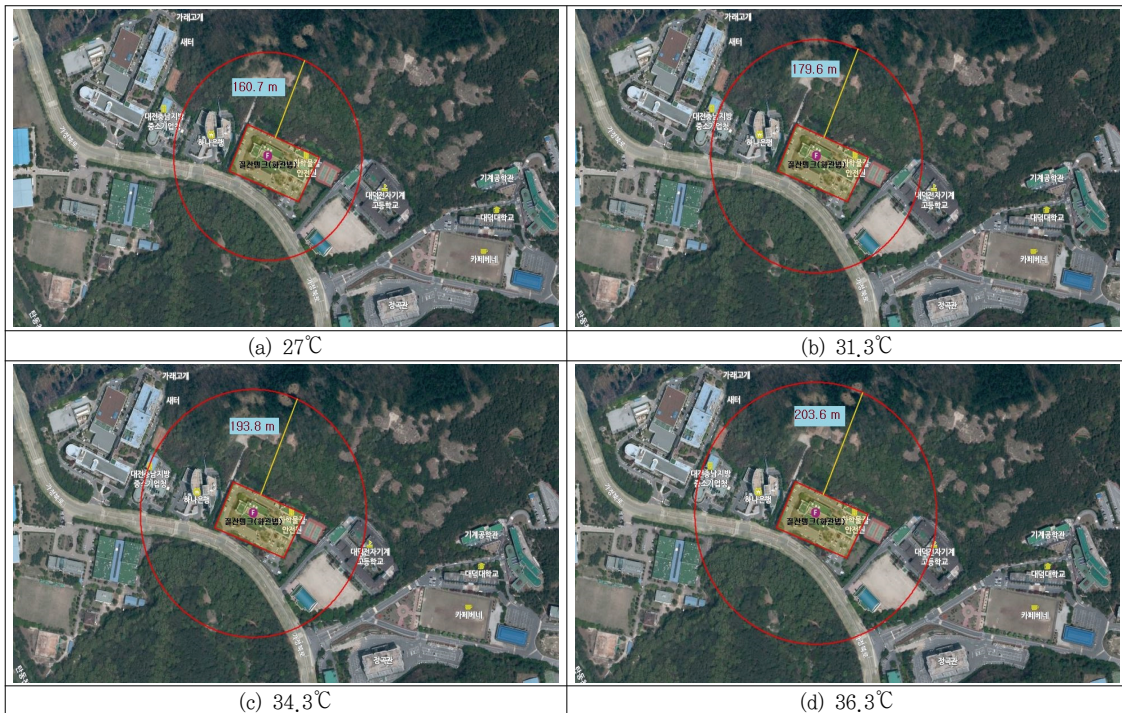


Figure 10. Diagram of ERPG-2 dispersion result for case B according to temperature.

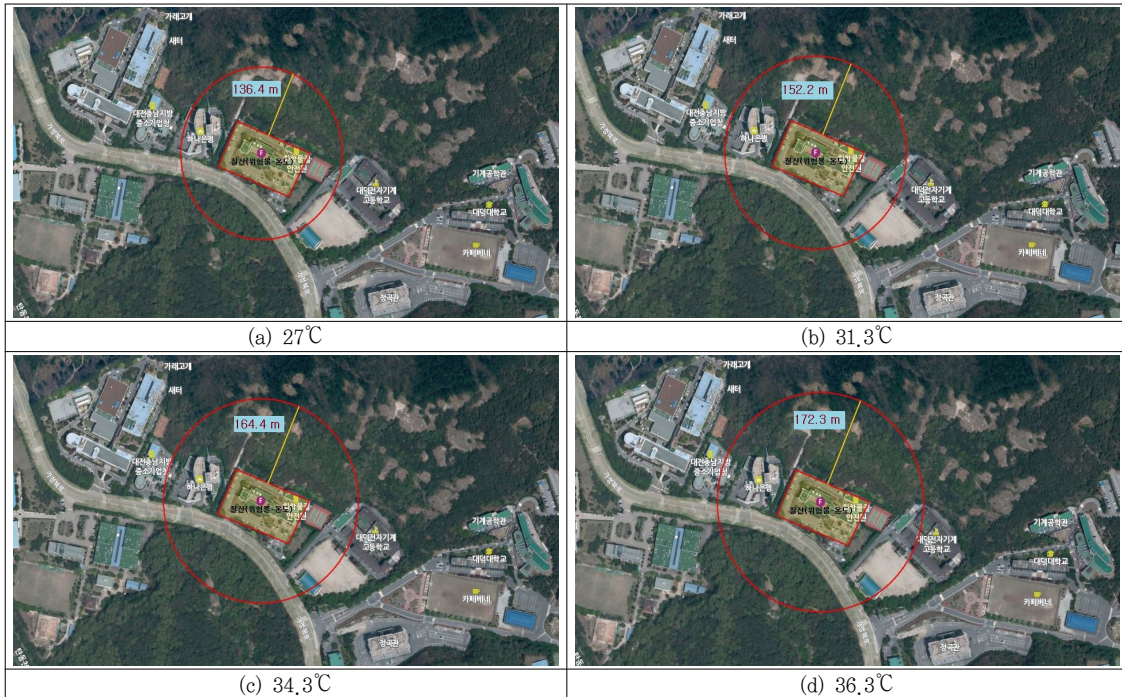


Figure 11. Diagram of ERP-G2 dispersion result for case C according to temperature.

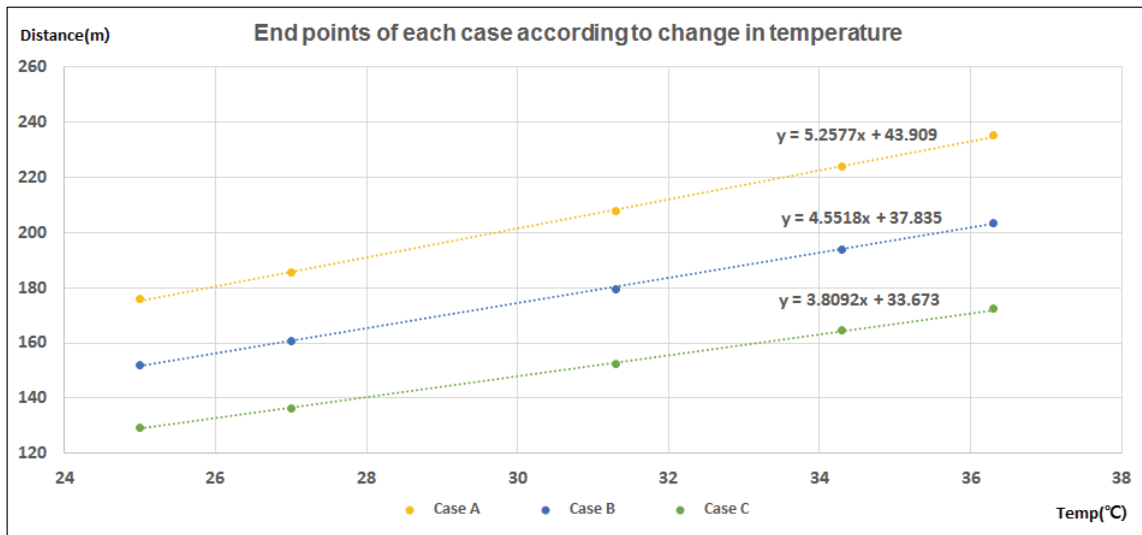


Figure 12. Graph of ERP-G2 dispersion effect on atmospheric temperature.

V. 결론

본 연구는 질산을 제조하는 ‘A’ 사업장의 입지분석을 파악하여 저장탱크와 방류벽의 이격거리에 따라 3개의 Case에 대해 질산의 독성 누출사고를 장외영향평가 예측 모델인 KORA를 통해 저장탱크에서 대량 누출되는 최악의 사고에서 ERP-G2 피해 영향범위를 산출하였다. 이 경우, 기존 연구에서 제시된 1.5 m(방류벽 면적

64 m²)의 이격거리를 Case A, 1.0 m의 이격거리(방류벽 면적 49 m²)를 Case B, 0.5 m의 이격거리(방류벽 면적 36 m²)를 Case C로 분류하였다.

1. 질산 저장탱크에서 전량이 10분 동안, 25°C 공정·대기온도에서 누출되는 최악의 시나리오 조건을 적용하는 경우 Case A의 ERP-G2 피해 영향범위가 176.0 m, Case B의 피해 영향범위가 152.4 m, Case C의 피해 영향범위가 129.3 m로 나타났다. 이를 통해 이격거

리가 짧을수록 방류벽 내 면적이 줄어들어 확산면적이 감소하여 사고 시 외부 피해 영향범위가 줄어들게 되는 것이 확인되었다.

2. 최악의 시나리오 조건에서 대기온도가 25℃가 넘는 계절적 요인을 추가적으로 고려하는 경우 온도조건에 따라 Case A의 ERPG-2 피해 영향범위가 176.0 ~ 235.5 m, Case B의 피해 영향범위가 152.0 ~ 203.6 m, Case C의 피해 영향범위가 129.3 ~ 172.3 m로 나타났다. 이격거리가 짧은 Case C가 동일 조건에서 가장 적은 피해 영향범위가 산출되며, 모든 Case에서 대기온도가 높을수록 누출에 따른 독성 피해 영향범위가 선형적으로 확대되는 것으로 확인되었다.

3. 질산 저장탱크를 설치한 사업장은 국내 화학물질 관리 법령에서 크게 위험물안전관리법과 화학물질관리법을 준수하여야 한다. 기존 연구에서 살펴본 바와 같이 화학물질관리법 취급시설 기준을 바탕으로 질산 저장탱크와 방류벽을 1.5 m 이상 이격하도록 방류벽을 설치하는 것이 별다른 안전조치 없는 경우 사고의 피해 영향범위가 최소화된다. 이러한 이격거리 기준은 화학사고에 대한 안전조치가 강화되기 전을 고려한 기준으로 사고 발생 시 피해를 줄이기 위한 안전조치(Passive safety measure)이다. 그러나 화학물질관리법이 본격 시행되면서 장외영향평가 제도와 화학물질관리법 취급시설 기준의 사고예방 조치 강화에 따라 저장탱크 주변에는 누출 감지설비를 설치하고, 누출된 물질을 신속하게 외부(폐수처리장 등)로 안전하고 신속하게 처리하는 안전조치(Active safety measure)가 의무화되었다. 따라서 별도의 안전조치를 배제한 기존 법령의 1.5 m 이상 이격거리 강화 기준은 화학물질법령의 본격적인 제도 안착에 따라 능동적 안전조치를 고려하여 사업장이 1.0 m, 0.5 m 이격거리를 선택적으로 설치하여 사고 피해 영향범위를 줄이도록 하는 제도로 보완될 필요가 있다.

4. 본 연구에서 살펴본 바와 같이, 이격거리가 짧을수록 확산 피해 영향범위가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 다만, 방류벽 이격거리가 줄어드는 경우 기존의

방류벽 용량 110%을 확보하기 위해 방류벽 높이를 3 m 이상으로 높이는 것은 안전상 바람직하지 않다. 방류벽 높이가 과도하게 높아지는 경우, 시설 관리가 어렵게 되고, 시설 내 사고 인지 가능성에 악영향을 주기 때문이다. 따라서 방류벽 높이가 고정되고 이격거리가 짧아져 방류벽 용량이 감소하는 것은 누출센서의 감지시간, 폐수처리장으로 유출시키는 밸브 작동시간 등을 기술적으로 검토하여 방류벽 용량의 적정성을 취급시설 설치검사에서 확인 평가토록 하는 제도를 정책적으로 도입하는 것이 바람직하다.

5. 이격거리가 가장 짧은 0.5 m의 Case C의 피해 영향범위가 129.3 ~ 172.3 m로 나타났다. 이러한 피해 영향범위는 'A' 사업장 주변에 가장 가깝게 위치한 은행건물이 80 m에 있는 것을 감안할 경우 상당히 위험할 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 누출 감지센서를 활용한 안전조치와 더불어 저장탱크에서 연결된 배관을 자동차단밸브를 활용하여 신속하게 작동시켜 누출을 최소화하고, 이에 따른 누출 피해 영향범위를 80 m 이내로 줄이는 안전조치가 병행되어야 한다. 이를 통해 누출량이 감소하게 되면 사고로 인한 확산 피해 영향범위가 현저히 줄어들게 되고, 'A' 사업장의 장외영향평가 위험도 역시 더욱 개선될 것으로 기대된다.

References

- Shin, Chang Hyun and Jai Hak Park. 2016. An Evaluation of the Off-site Risk of Spill from a Storage Tank of Nitric Acid. *Crisisonomy*. 12(3): 187-200.
- 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 Hyeon 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 Hyeon 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 and Jai Hak Park. 2016. Impermeable Standards for the Concrete Bottom of Dikes for Crude Oil Storage Tanks. *Journal of the 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, Chung Hwa Park, Mun Sik Cho, Jin Seon Lee, Jeong Min Kim, Hye Ran Noh and Gwang Seok Seok. 2012. A Study on Improving Management of Substances Requiring Preparation for Accidents Facilities. *Korean Society of Safety*. 27(3): 77-82.
- Park, Yeong gyun. Taero Kim. 2015. Evaluation of Ammonia Gas Release in the Solar Cell Manufacturing Process Using the ALOHA Model. *J. Odor Indoor Environment*. 14(2): 136-149.
- Korean References Translated from the English*
- 박영균, 김태오. 2015. ALOHA 모델을 이용한 태양전지 제조공정의 암모니아 가스 누출 평가. *한국냄새학회*. 14(22): 136-149.
- 신창현, 박재학. 2016. 질산 저장탱크의 유출사고에 대한 장외 위험성 평가. *한국위기관리논집*. 12(3): 187-200.
- 신창현, 박재학. 2016. 유해화학물질 저장탱크 방류벽의 위험성 저감 방안. *한국위기관리논집*. 12(1): 83-93.
- 신창현, 이청수, 강재은, 마병철, 윤이, 윤준현, 박재학. 2015. 화학물질관리법의 유해화학물질 취급시설 검사제도 고찰. *한국위기관리논집*. 11(6): 245-262.
- 신창현, 이청수, 강재은, 마병철, 윤이, 윤준현, 박재학. 2015. 화학물질관리법의 유해화학물질 취급시설 검사제도 고찰. *한국위기관리논집*. 11(7): 19-33.
- 신창현, 박재학. 2016. 원유저장탱크 방류벽의 콘크리트 바닥 불침투성 세부기준 연구. *한국안전학회*. 31(1): 54-60
- 환경부. 2015. 화학물질관리법. 환경부.
- 환경부. 2013. 유해화학물질관리법. 환경부.
- 김성범, 박춘화, 주문식, 이진선, 김정민, 노혜란, 석광설. 2012. 사고대비물질 취급시설 관리방안 연구. *한국안전학회지*. 27(3): 77-82.

Received: Apr. 9, 2016 / Revised: May. 9, 2016 / Accepted: May. 12, 2016

질산 저장탱크 유출사고의 위험도 개선

국문초록 최근 3년간 화학사고 통계조사에 따르면 질산의 화학사고는 지속적으로 증가하고 있다. 질산은 유독성이 강하기 때문에 사고 피해를 최소화하기 위해서는 적절한 관리가 필요하다. 기존 연구에서는 KORA 프로그램을 통해 질산 저장탱크에서 대량 유출되는 최악의 사고를 가정하여 ERPG-2 피해 영향범위를 효과적으로 줄이기 위해 방류벽을 저장탱크와 1.5 m 이격하는 기준을 제안하였다. 다만, 이러한 이격거리는 방류벽이 누출된 전량을 억류하는 것에만 초점을 맞춘 것으로 누출된 질산을 신속히 감지하여 폐수처리장으로 안전하게 처리되는 능동적 안전조치가 추가로 설치된 것을 고려하여 이격거리를 줄이는 것으로 고려할 필요가 있다. 본 연구결과, 방류벽과 저장탱크의 거리가 0.5m로 감소하는 경우 질산 누출로 인한 ERPG-2 피해 영향범위가 줄어드는 것으로 나타났으며, 이를 통해 기존의 획일적인 저장탱크와 방류벽 사이의 이격거리 설치기준을 개선하는 방안을 제시하였다.

주제어 : 화학물질관리법, 질산, 방류벽, 장외영향평가, KORA

Profiles **Chang Hyun Shin** : First author. 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 : Corresponding author. 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).