



KORA 프로그램을 활용한 암모니아 누출사고 영향범위 결정 기여요인 연구

임형준 · 곽솔림 · 정진희 · 류태권 · 최우수 · 이지은
이진선 · 이연희 · 김정곤 · 윤준현 · †류지성

화학물질안전원 사고예방심사1과

(2018년 3월 22일 접수, 2018년 6월 22일 수정, 2018년 6월 23일 채택)

A Study on the Factors Affecting the Influence Ranges of Ammonia Leakage by Using KORA Program

Hyeongjun Lim · Sollim Kwak · Jinhee Jung · Taekwon Ryu · Woosoo Choi · Jieum Lee
Jinseon Lee · Yeonhee Lee · Jungkon Kim · Junheon Yoon · †Jisung Ryu

National Institute of Chemical Safety, 90 Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-343,
Rep. of Korea

(Received March 22, 2018; Revised June 22, 2018; Accepted June 23, 2018)

요약

암모니아는 발전소의 탈질설비, 냉동장치의 냉매로 많이 사용되고 있으며, 증기압이 높고 공기보다 가벼운 물질로써 장외영향평가시 영향범위가 넓은 물질이다. KORA(Korea Off-site Risk Assessment supporting tool)를 활용하여 4가지 환경인자인 지면굴곡도, 밀폐여부, 운전온도·압력, 누출공 크기를 달리하여 영향범위를 산출하였다. 그 결과 굴곡도에 따른 영향범위는 약 4.62배 차이가 났으며 암모니아 저장탱크는 밀폐된 경우가 약 0.64의 저감율을 나타냈다. 저장온도와 압력에 따라 누출률이 증가되어 영향범위도 증가하는 형태를 보였으며 포화증기압 이상으로 저장시 영향범위는 45 °C에서 0.1 Mpa 당 평균 3.45%의 증가율을 나타냈다. 누출공 크기에 따른 영향범위 산정 결과는 누출구의 면적에 비례하는 것으로 나타났다.

Abstract - Ammonia is used primarily as a refrigerant in refrigeration facility and SCR of a plant, and is frequently involved in leakage accidents. This study was conducted by selecting ammonia, a material with a wide influence range when evaluated, as a material with higher vapor pressure and lighter than air. In this study, the influence ranges were computed using KORA(Korea Off-site Risk Assessment supporting tool) with four different environmental factors : ground roughness, sealing, operating temperature, pressure, and leakage hole size. As a result, the difference in the influence range of ground roughness is approximately 4.62 times, while the ammonia storage tank shows a difference in the reduction rate of 0.64 when sealed. The extent of impact increased with increasing leakage depending on storage temperature and pressure, and when storing higher than the saturation vapor pressure, the impact range showed an average growth rate of 3.45 % per 0.1 Mpa(45 °C). The influence ranges based on the size of the leakage holes is shown to be proportional to the area of the leakage zone.

Key words : ammonia, off-site risk assessment(ORA), ERPG-2, gaussian plume model, Korea Off-site Risk Assessment supporting tool(KORA)

†Corresponding author: jsgood4u@korea.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

화학안전 분야에서 과거에는 작업자 안전과 공정 관리가 정부의 주요 관심 대상이었지만 2015년에 화학물질관리법이 시행된 후 사고로 인한 주변 환경영향을 평가하고 사전에 화학사고 누출을 줄일 수 있도록 안전진단 및 취급시설 검사 등의 감시 활동을 강화하고 있다.^[1-2] 더불어 개정된 법에 따라 사업장이 장외영향평가서 및 위해관리계획서를 제출함으로써 화학물질 취급 사업장의 안전성을 향상시키고 사고시 체계적인 대응을 위한 위기관리능력을 갖추도록 하고 있다. 이에 따른 작성 대상이 되는 업체는 에너지 및 발전분야, 반도체 제조, 기초 석유화학 플랜트, 도금, 화학물질 제조 및 취급업체 등 광범위한 분야가 포함된다.^[3]

이러한 동향과 화학물질 배출량 조사결과 보고서에 따르면 화학물질 및 화학제품 제조업 부문에서 화학물질 취급량은 제품 사용량 증가에 따라 2015년은 전년도에 비해 0.3 % (약 289톤)의 증가를 나타내고 있다.^[4] 특히 화학물질 배출량 조사대상 중 하나인 암모니아는 지속적으로 누출사고가 발생하는 물질로 2014년 발생한 남양주시 ○○○공장의 누출사고가 대표적이다. 또한 유해화학물질로 인한 사고는 2014년 이후로 2017년까지 총 383건이 발생되었고 그 중 암모니아에 의한 사고는 39건으로 나타나 질산 다음으로 높은 것으로 나타났다.^[5] 암모니아는 증기밀도가 0.59로써 누출시 공기 중으로 쉽게 확산되어 주변에 영향을 미칠 수 있으므로 적극적인 관리가 필요하다.^[6]

발생형태는 냉동장치의 냉매 가스로 암모니아를 취급하는 설비에서 누출되거나 발전소 등 대기배출 방지 시설의 일환인 탈질공정 중 기화기 내 안전밸브 이상으로 인하여 암모니아가 외부로 토출되는 경우가 있었다. 이렇게 누출된 암모니아는 주변으로 확산되어 독성 피해를 줄 수 있어 영향범위를 미리 예측하여 주변영향에 대비하고 사고가 일어날 경우 피해를 저감할 수 있는 방안을 수립해야 할 필요가 있다. 특히 탈질공정은 액화가스 암모니아를 대용량 저장하여 사용하므로 누출시 광범위 지역으로 확산이 가능하다.

모델링에 활용된 KORA(Korea Off-site Risk Assessment supporting tool)는 화학물질안전원에서 배포한 작성지원 프로그램으로써 법을 이행하기 위한 사업장 담당자가 쉽게 영향범위를 산정할 수 있으며 최근 장외영향평가서 작성을 위한 기본 틀로 널리 사용되고 있다. 반면에 CFD(Commercial Computational Fluid Dynamics) 툴인 FLACS(FLame ACce-

leration Simulator), PHAST(Process hazard analysis software)는 전문적 지식이 있어야 활용 가능하다.^[7] 또한 산업계에서는 혼합물의 형태로 물질을 취급하는 경우가 많은데 기존 해석프로그램인 ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres)에 대비하여 수용액에 대한 이론적 기반을 구현하여 더 많은 물질에 대해서 평가가 가능하도록 제공하고 있다.^[8-9] KORA는 ALOHA와 비교해서 평가결과와 동일한 신뢰도를 갖추기 위해 향후 지속적으로 프로그램 고도화를 통해서 업데이트를 하고 있으며 무료 배포를 통해 앞으로 활용도는 더욱 높을 것으로 판단된다.^[10-11]

따라서 본 연구는 장외 피해거리를 산출함에 있어 암모니아 독성 영향에 주로 기여하는 요인의 특성을 KORA를 활용하여 분석하고 안전성 확보 방안을 효과적으로 수립하는 데 도움을 주고자 한다.

II. 연구 방법

장외영향평가시 암모니아 누출 영향을 산정하기 위해 평가툴인 KORA(버전 2.1.0.13)를 이용하여 입력변수별로 산정된 영향범위의 차이를 비교하였다. 물질 특성은 KORA에 저장된 물성치 데이터를 통해서 입력 가능하고 유해화학물질 정보는 DIPPR (Design Institute for Physical Properties)과 「화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정」(국립환경과학원 고시 제2017-46호)의 정보로 활용하였다. 끝점 농도는 2016년도 독성 우려농도 기준인 ERPG(Emergency Response Planning Guideline)-2 150 ppm으로 평가하였다.^[12]

연구 대상 취급설비는 수평실린더 형태의 암모니아 저장탱크로 지면에서 독성물질이 누출되는 사고 시나리오를 모델링하였다.

기상 조건은 「사고시나리오 선정에 관한 지침」(화학물질안전원 지침 제2017-6호)에 따라 최악의 사고시나리오는 대기온도 25 °C, 대기습도 50 %, 풍속 1.5 m/s, 대기안정도 F 등급이며 대안의 사고 시나리오는 풍속 3 m/s, 대기안정도 D 등급이고 나머지 조건은 동일하다. 암모니아 저장탱크의 운전 조건은 최대운전 온도 48 °C, 최대운전 압력 1.8 MPa이하로 설정하였다. 누출공 크기는 실제 취급 설비에 적용 가능한 배관 크기(25, 50, 80 mm)를 바탕으로 평가하였다.^[13-14] 확산모델은 가벼운 가스로 gau시안 모델을 기반으로 산정하였다.^[15] 단, 영향 거리가 10 km를 초과하는 위치에서의 착지농도는 외삽법으로 추정했기 때문에 신뢰도 문제로 제외하였다. 시나리오 영향범위 평가를 위한 조건은 Table 1

Table 1. Conditions of the scenarios

Worst case scenario	Conditions of scenario analysis	Alternative case scenario
1.5 m/s	Wind speed	3 m/s
F	Atmospheric stability	D
25 °C	Atmosphere temperature	25 °C
50 %	Humidity	50 %
1.8 MPa이하	Max. Operating pressure	1.8 MPa이하
48 °C이하	Max. Operating temperature	48 °C이하
Entire amount	Leakage amount	25, 50, 80 mm
Gaussian	Diffusion model	Gaussian

에 표기하였다.

암모니아 저장탱크의 누출 영향범위 평가는 4가지 변수인 지면 굴곡도, 취급시설 밀폐여부, 운전 온도·압력, 누출공 크기에 따라 수행되었다.

취급시설 누출로 인한 유해화학물질 확산에 따른 전달모델인 굴곡도에 따른 영향범위 산정은 운전온도 45 °C, 운전압력 1.8 MPa를 설정하여 결과값을 산정하였다.

밀폐에 따른 영향범위 산정도 동일한 운전 조건으로 모델링을 수행했으며 실내외 영향범위 산출시 그외 변수를 통제하기 위해서 지면굴곡도는 전원지역으로 선정하였다. 밀폐정도는 「사고시나리오 선정에 관한 기술지침」(화학물질안전원 지침 제2017-6호), 붙임 3. 밀폐정도에 따른 완화지수에 따라 건물구조는 일반형(Indoor)으로 가정하였다.^[14] 밀폐조건은 실내 건물로서 출입구 및 창문이 상시 닫혀 있는 일반적인 공장동의 형태를 의미한다.

취급시설의 운전 온도와 압력에 따른 영향범위 산정을 위한 입력 조건으로 온도 범위는 45 °C ~ -5 °C이며 5 °C 간격으로 평가하고 저장 압력은 포화증기압 변환식에 따라 온도별 최대 압력을 산정하여 입력하였다. 또한 지면굴곡도는 전원 지역으로 주변 환경에 영향을 적게 받는 상황을 고려하였다. 암모니아 저장탱크는 실외에 위치하여 수평실린더로 직경 2 m, 너비 4 m이고 저장질량은 7 ton으로 가정하였다. 최악의 사고시나리오 누출공은 저장탱

크에 결속된 가장 큰 외경의 배관인 80 mm로 선정하였다. 대안의 사고시나리오는 누출공의 경우 최대 직경의 20 %로 하여 약 16 mm이며, 누출시간은 1200 sec로 전량 누출을 가정하여 평가하였다. 암모니아를 포화증기압 이상으로 저장시 영향범위를 산정하기 위하여 모델링 조건은 운전 온도는 45 °C로 동일하게 압력을 0.1 Mpa씩 증가시켜 평가를 수행하였다.

다음은 암모니아 저장탱크에 결속 가능한 배관의 누출공 크기에 따른 영향범위를 산정하였다. 실제로 제어 계측기, 과압안전밸브, 유해화학물질 유입·유출 배관 등이 플랜지 형태로 결속되어 있으며 크기별로는 80 mm, 50 mm, 25 mm로 구분된다. 누출시간은 전량누출이 가능한 경계시간을 입력하였고 운전 온도와 압력은 통제변인으로 45 °C, 1.8 Mpa로 하였으며 전원 지역을 대상으로 평가를 수행하였다.

이렇게 도출된 결과는 범용 통계분석 프로그램인 SPSS(Statistical Package for Social Science) 10.0 for windows를 활용하여 분석하였다.

III. 연구 결과

3.1. 지면 굴곡도에 따른 영향범위 산정 결과

암모니아 저장탱크 주변 환경에 따라 전원지형의 경우가 도시지형보다 최악의 사고시나리오 영향범위는 누출률별 산술평균 약 4.62배의 차이를 보이는 것으로 나타났으며 결과는 Table 2에 정리하였다. 또한 누출률이 증가하면서 각 영향범위의 차이도 비례적으로 증가하는 경향을 보였다. 지면 굴곡도에 따른 결과값의 비교를 위해 상관분석을 한 결과 R²값이 0.9974로 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, 대응 이표본에 따른 t-검정 결과 0.0001로 유의수준 0.001보다 작으므로 통계적 유의관계가 있는 것으로 나타났다. 대안의 사고시나리오 영향범위는 저장량 7 ton, 누출공 20 %일 경우 전원지형 518.9 m, 도시지형 240.8 m로 약 2.15배 차이가 나타났다. 이 결과값은 최악의 사고시나리오 영향범위에 비해서 절반 수준의 저감률을 보이고 대안의 사고시나리오 영향범위는 저장량에 따른 차이는 없는 것으로 확인되었다.

3.2. 취급시설 밀폐에 따른 영향범위 산정 결과

암모니아 저장탱크가 실내에 위치하여 건축물로 밀폐되었을 경우에 동일한 조건에서 실외에 노출된 경우와 비교한 결과를 Table 3에 정리하였다. 최악의 사고시나리오 영향범위는 누출률별 산술평균으로

Table 2. Dispersion distance by ground roughness

Release rate (kg/sec)	Amount Released (Kg)	Worst-case scenario(Outdoor)			R ^{2*} (p-value)
		Open country① (m)	Urban② (m)	①/②	
11.7	7,000	7755.2	1500.4	5.17	0.9974 (0.0001)**
10.0	6,000	6745.9	1351.7	4.99	
8.3	5,000	5761.6	1197.3	4.81	
6.7	4,000	4795.3	1035.1	4.63	
5.0	3,000	3834.6	861.8	4.45	
3.3	2,000	2856.3	670.6	4.26	
1.7	1,000	1799.7	444.3	4.05	

* R² = Coefficient of Determination, ** p<.001

약 0.64의 저감률을 보이는 것으로 나타났다. 누출률은 저장량에 따라 달라지며 누출률이 증가하면서 영향범위도 비례적으로 증가하는 경향을 보였다. 취급설비 밀폐에 따른 결과값의 비교를 위해 상관분석을 한 결과 R값이 0.9994로 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, 대응 이표본에 따른 t-검정 결과 0.0021로 유의수준 0.01보다 작으므로 통계적 유의 관계가 있는 것으로 나타났다. 대안의 사고시나리오 영향범위는 저장량 7 ton, 누출공 20 % 일 경우 실내 370.7 m, 실외 518.9 m로 약 0.71의 저감률이 나타났다. 이 결과값은 최악의 사고시나리오 영향범위에 비해서 높은 저감률을 보였고 대안의 사고시나리오 영향범위는 저장량에 따른 차이는 없는 것으로 확인되었다.

3.3. 온도 · 압력에 따른 영향범위 산정 결과

액화가스의 경우는 포화증기압 이상으로 충전되어야 하고 암모니아를 저장탱크에서 기화기로 이송 시에는 일시적으로 내부 압력이 강하함에 따라 보일-샤를의 법칙에 의해서 탱크 온도도 감소한다. 암모니아의 포화증기압을 산출하기 위한 방정식은 식 1에 나타났다.

Table 3. Dispersion distance by indoor & outdoor

Release rate (kg/sec)	Amount Released (Kg)	Worst-case scenario		R ^{2*} (p-value)
		Outdoor(m)	Indoor(m)	
11.7	7,000	7755.2	4651.2	0.9994 (0.0021)*
10.0	6,000	6745.9	4123.3	
8.3	5,000	5761.6	3593.1	
6.7	4,000	4795.3	3055.2	
5.0	3,000	3834.6	2501.1	
3.3	2,000	2856.3	1912.9	
1.7	1,000	1799.7	1244.8	

* R² = Coefficient of Determination, ** p<.01

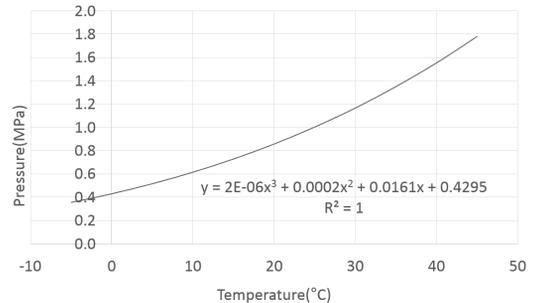


Fig. 1. Saturated vapor pressure of Ammonia.

$$\log_{10}P = A - \frac{B}{(T - C)} \quad (\text{식 1})$$

여기서,
 P: pressure(kPa)
 T: temperature(Kelvins)
 A=6.67956, B=1002.711, C=25.215

식 1에 의해 계산된 온도에 따라 산출된 증기압 곡선에 대한 상관관계식은 3차 다항식으로 Fig. 1에 표현하였다.

Table 4. Increase of the dispersion distance due to temperature

Temp. (°C)	Pre. (Mpa)	Worst-case scenario		Alternative scenario	
		Release rate (kg/sec)	Effect distance (m)	Release rate (kg/sec)	Effect distance (m)
45	1.80	11.7	7755.2	2.5	518.9
40	1.57	11.7	7091.8	2.3	465.5
35	1.36	11.7	6498.1	2.1	416.3
30	1.17	11.7	5961.4	1.9	371.0
25	1.01	11.7	5471.6	1.7	331.4
20	0.86	11.7	5019.8	1.5	293.8
15	0.73	11.7	4598.6	1.3	259.8
10	0.62	11.7	4200.9	1.2	229.5
5	0.52	11.7	3820.1	1.1	201.0
0	0.43	11.7	3450.0	0.9	174.1
-5	0.35	11.7	3083.7	0.8	148.8

온도에 따른 압력의 변화는 포화증기압 곡선을 따라 온도가 증가하면서 저장 압력 또한 상승하는 것으로 나타났으며 일정 압력 이상에서는 탱크 충전압력을 견딜 수 없기 때문에 최대 운전 온도를 제한하였다. 따라서 온도 및 압력에 따른 암모니아의 누출 영향범위를 평가하기 위해서 주변 환경을 고려하여 45 °C ~ -5 °C의 실제 운전 범위를 바탕으로 모델링을 수행하였고 Fig. 1의 포화증기압 곡선에 따른 운전 압력은 1.7981 Mpa ~ 0.3544 Mpa로 산출되었다.

최악의 사고시나리오의 온도·압력에 따른 누출률은 11.7 kg/sec로 나타났으며 Table 4에 결과값을 정리하였다. 이 시나리오의 개념은 10분 내 전량 누출이기 때문에 누출률이 변동없는 것으로 사료된다. 반면 대안의 사고시나리오의 경우는 온도와 압력에 따라 누출률이 증가되어 암모니아 영향범위가 증가하는 것으로 나타났다. 실제 저장탱크의 내부 압력과 온도에 따라 확산거리가 달라질 수 있어 외부기온과 같은 주변 환경에 따른 누출 사고시 주변 피해가 확대될 수 있다.

일정한 압력 상승에 따른 영향범위 증가율을 산

Table 5. Increase of the dispersion distance due to overpressure

Pre. (Mpa)	Release rate (kg/sec)	Alternative scenario (Outdoor)	Rate of increase ($\frac{m_{(n+1)} - m_n}{m_n} \times 100\%$)
		Effect distance(m)	
1.80	2.5	518.9	-
1.90	2.7	537.7	3.62
2.00	2.9	556.5	3.50
2.10	3.0	575.4	3.40
2.20	3.2	594.3	3.28

정하기 위해 m(n+1)(고압에 따른 영향범위)과 mn(저압에 따른 영향범위)의 차이를 백분위로 나타냈다. 암모니아를 포화증기압 이상으로 저장한 영향범위 결과는 Table 5와 같으며 0.1 Mpa 당 평균 3.45 %의 증가율을 보이는 것으로 나타났으며 누출율이 클수록 증가폭이 작아지는 것으로 확인되었다.

3.4. 누출공 크기에 따른 영향범위 산정 결과

최악의 사고시나리오 영향범위는 누출공에 따라 변화가 없으나 대안의 사고시나리오는 Fig. 2와 같이 누출공 크기에 따라 증가하는 양상을 보였다. 식 2에 따르면 누출률은 누출구멍의 면적에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 액화가스의 경우는 누출시 액상과 기상으로 누출이 가능하다. 암모니아는 포화액상 상태로 저장되어 누출시 이상 누출로 구현될 수 있으며 식 2에 의해 누출률을 계산할 수 있다.

$$Q_m = \frac{\Delta H_v A}{v_{fg}} \sqrt{\frac{g_c}{TC_p}} \quad (\text{식 2})$$

여기서,

ΔH_v : 저장물질의 증발잠열 (kJ/kg)

v_{fg} : 액상과 기상의 질량당 부피변화량 (m³/kg)

A : 누출구멍의 면적 (m²)

g_c : 중력상수 (N · m² · kg⁻²)

T : 저장온도 (K)

C_p : 누출물질의 액상 열용량 (kJ/kg · K)

또한 누출공 크기를 「사고시나리오 선정에 관한 기술지침」(화학물질안전원 지침 제2017-6호)에 따라

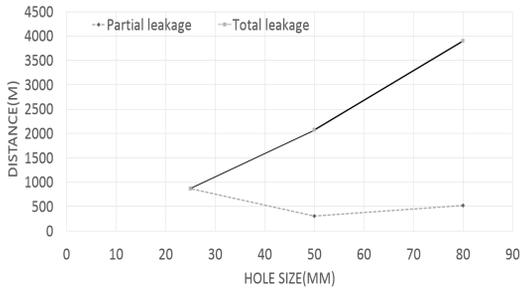


Fig. 2. Dispersion distance by leakage hole size.

통상 설치되어 있는 배관 크기의 20 %를 일괄 적용하거나 2 inch미만 배관, 휴대용 용기, 고온[350 °C 이상]·고압[10 kgf/cm²이상]과 탱크로리의 경우 100 % 적용하여 대안의 사고시나리오를 재평가한 결과는 Fig 2에 점선으로 나타냈다. 이 지침에 의해서 25 mm(약 1 inch) 배관은 누출공 크기를 100 %로 평가하여 50 mm, 80 mm 배관에 비해서 영향범위가 높게 나타났다.

IV. 결론 및 고찰

본 연구는 KORA에서 평가 가능한 물질 중 증기압이 높거나 공기보다 가벼운 물질로 평가가시 영향범위가 넓은 물질인 암모니아를 선정하여 평가하였다. KORA를 이용하여 4가지 환경인자인 지면굴곡도, 밀폐여부, 운전온도·압력, 누출공 크기를 달리하여 영향범위를 산출하였고 그 결과 주요요인별 대기확산 범위에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.^[16]

첫째, 장외영향평가지 영향범위 산정 및 보호대상 검토에 있어서 주요 환경인자 중 하나인 지면굴곡도는 독성물질 확산에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났으며 도시지형과 전원지형에 따른 영향범위 차이는 약 4.62배로 주변 지형지물을 잘 살펴보고 조건을 입력해야 현장에 부합되는 평가가 이루어질 수 있다.

최초 공장 설립시에는 주변 환경을 고려하여 입지를 선정하거나 사업장 부지가 넓은 경우는 가능한 중앙에 암모니아 취급설비를 배치하는 등으로 설비 배치에 따라 장외 영향범위를 줄일 수 있는 방안을 강구할 수 있다. 또한 해당 취급시설 인근에 접한 높은 건축물 등으로 둘러싸는 방법으로 주변 확산을 줄일 수 있다. 단, 취급시설 배치와 같은 방안은 설계 단계에서 고려되어야 하기 때문에 사전에 영향범위 산정을 통한 평가를 선행해야 할 것으

로 판단된다.

현재는 단지 도시지형과 전원지형으로 구분하여 평가가 가능하나, 향후에는 유해화학물질의 확산에 중요한 영향인자로서 지면굴곡도에 취급설비 주변 지형의 높낮이를 고려하여 평가할 수 있는 방안을 연구 개발할 필요가 있다. 따라서 평면으로 구성된 사업장 위치도에 수치지형도를 적용함으로써 대기 확산시 장애물에 의한 간섭으로 인한 영향을 검토한다면 보다 정확한 영향범위 산정을 가능하게 하고 사업장 현실에 적합한 평가가 이루어질 것으로 기대된다. 단 모델링에 계산되어야 할 인자가 많아짐으로써 결과가 산출되는 데 소요되는 시간이 증가되거나 프로그램이 복잡해지는 점은 한계점이 될 수 있다.

둘째, 암모니아 저장탱크의 위치별 영향범위 평가는 동일한 조건에서 누출이 발생하였을 때 실내와 옥외의 경우 실제로 약 0.64의 저감율 차이가 나는 것으로 확인되었다. 실질적으로 암모니아 입·출하 및 저장탱크가 옥외에 노출되거나 일부만 외벽으로 차단된 경우가 많은 데 암모니아 업·로딩시 밀폐된 공간에서 작업을 수행한다면 장외 영향범위를 효과적으로 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 더 나아가 건축물에 댐퍼를 통한 자동배기시스템, 비상전원, 감지기 등의 설비가 있다면 더 상향된 밀폐 정도를 선택하여 모델링을 수행하여 더 높은 저감율을 기대할 수 있다. 단, 작업공간 밀폐시 암모니아의 화재·폭발에 대비하여 폭발 분위기가 형성되지 않도록 초기 누출시 감지 후 대용량 살수설비 등을 연동하는 조치의 대안 마련이 필요하다.

셋째, 액화암모니아 저장탱크의 온도에 따른 압력의 변화는 포화증기압 곡선을 따라 온도가 증가하면서 저장 압력 또한 상승하는 것으로 나타났으며 온도와 압력에 따라 누출률이 증가되어 암모니아 영향범위가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 포화증기압 이상으로 저장시 영향범위는 동일 운전 온도시 0.1 Mpa 당 평균 3.45%의 증가율을 나타냈다. 따라서 액화가스는 포화증기압을 급격히 초과해서 저장되지 않도록 운전 온도와 압력을 적절히 통제해야 하며 주변 기온에 따라 저장탱크의 운전 조건이 크게 변동되지 않도록 일정하게 제어가 가능해야 한다. 따라서 암모니아 저장탱크에는 온도·압력 송신기가 복수로 설치되어 일정하게 내부 운전 조건을 통제하고 온도 제어에 실패한 경우는 인터-락을 통해 비상 정지하여 큰 사고로 이어지지 않도록 예방해야 한다.

넷째, 누출공 크기에 따른 영향범위 평가 결과 저장용기의 이상누출 방정식을 보면 누출구의 면적

에 비례하는 것으로 나타났으며 결과값 또한 비례적으로 증가하는 양상을 보였다. 하지만 「사고시나리오 선정에 관한 기술지침」(화학물질안전원 지침 제2017-6호)에 따라 2인치 미만 배관은 100% 적용을 해야 하기 때문에 실제 KORA를 통해서 영향평가를 수행하면 50 mm배관에서 영향범위 저감이 가장 높게 나타났다.^[14] 그러므로 배관 외경이 클수록 영향범위가 넓다는 점을 감안해서 적정 누출공을 선정하여 설계에 반영해야 한다. 단, 배관 크기에 따라 단위 면적당 이송되어야 하는 유량이 달라지고 유량에 따라 내압이 달라지기 때문에 공정 설계를 전면적으로 재검토해야 하는 경우가 발생된다. 따라서 KORA를 이용한 영향범위 산정을 최초 설계 단계에서 수행한다면 비용 효율적인 부분을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구 결과를 통해서 장외영향평가와 암모니아 취급설비의 설치 및 운영의 부조화를 해소하는 데 도움이 되었으면 한다. 또한 평가자가 여러 변수를 고려하여 사업장으로부터 장외 영향범위를 줄일 수 있도록 설계단계에 반영하여 안전성 향상 방안의 반복적인 보완으로 행정 비용 및 추가 설비 투자비를 효과적으로 줄이는 데 도움이 될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Ministry of Environment, Chemical Control Act, (2017)
- [2] Lee D et al., "Study on improvement measures for prevention and countermeasure of chemical accident", Fire Sci Eng., Vol. 30, No. 5, pp. 137-143, (2016)
- [3] Ha J, "Introduction of process safety management of chemical plant", Fire Sci Eng, Vol. 9, No. 2, pp. 65-70, (1995)
- [4] 환경부, "2015년도 화학물질 배출량 조사결과 보고서", (2016)
- [5] 화학물질안전원, 화학안전정보공유시스템 [Internet], 사고사례정보. Available at: <<http://csc.me.go.kr/>>
- [6] SongYi Kom et al., "A study on the safety distances for high pressure-toxic gases by specific accident scenarios", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 20, No. 6, pp. 1-8, (2016)
- [7] 화학물질안전원, "장외영향평가·위해관리계획 작성지원 범용프로그램(KORA) 고도화 개발", (2015)
- [8] Jungkon Kim et al., "Suggestions for Increasing Utilization of KORA for Supporting the Off-site Risk Assessment System", Journal Of Environmental Health Sciences, Vol. 44, No. 2, pp.124-132, (2018)
- [9] Yukyung Jung et al., "A study on the simplified estimating method of off-site consequence analysis for aqueous ammonia", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 20, No. 2, pp. 49-57, (2016)
- [10] Sangwook Park et al., "Recommended Evacuation Distance for Offsite Risk Assessment of Ammonia Release Scenarios", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 31, No. 3, pp. 156-161, (2016)
- [11] Tseng JM et al., "Consequence evaluation of toxic chemical releases by ALOHA", Procedia Eng, Vol. 45, pp. 384-389, (2012)
- [12] AIHA(American Industrial Hygiene Association), "2016 ERPG/WEEL Handbook", (2016)
- [13] 환경부 고시 제2017-104호, "장외영향평가서 작성 등에 관한 규정", (2017)
- [14] 화학물질안전원 지침 제2017-6호, "사고시나리오 선정에 관한 기술지침", (2017)
- [15] USEPA, "Guidance on the Application of Refined Dispersion Models to Hazardous Air Pollutants Releases", EPA-454/R-93-002, April (1993)
- [16] Ku Hoy Kim et al., "A Consequence Estimation of Release of Hazardous Materials to Surrounding Area", The Korean journal of chemical engineering, Vol. 2, No. 2, pp. 3067-3070, (1996)