

# 냉동, 냉장 시스템에서 NH<sub>3</sub> 누출 사고 시 장외영향평가를 위한 피해범위 및 대피거리 산정에 관한 연구

박상욱 · 정승호<sup>†</sup>

아주대학교 환경안전공학과

(2015. 11. 16. 접수 / 2016. 5. 20. 수정 / 2016. 6. 16. 채택)

## Recommended Evacuation Distance for Offsite Risk Assessment of Ammonia Release Scenarios

Sangwook Park · Seungho Jung<sup>†</sup>

Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University

(Received November 16, 2015 / Revised May 20, 2016 / Accepted June 16, 2016)

**Abstract :** An accident of an ammonia tank pipeline at a storage plant resulted in one death and three injuries in 2014. Many accidents including toxic gas releases and explosions occur in the freezing and refrigerating systems using ammonia. Especially, the consequence can be substantial due to that the large amount of ammonia is usually being used in the refrigeration systems. In this study, offsite consequence analysis has been investigated when ammonia leaks outdoors from large storages. Both flammable and toxic effects are under consideration to calculate the affected area using simulation programs for consequence analysis. ERPG-2 concentration (150 ppm) has been selected to calculate the evacuation distance out of various release scenarios for their dispersions in day or night. For offsite residential, the impact area by flammability is much smaller than that by toxicity. The methodology consists of two steps as followings; 1. Calculation for discharge rates of accidental release scenarios. 2. Dispersion simulation using the discharge rate for different conditions. This proactive prediction for accidental releases of ammonia would help emergency teams act as quick as they can.

**Key Words :** ERPG-2, gaussian plume model, EFFECT 9, ALOHA, PHAST ver 6.7, ammonia

### 1. 서론

암모니아는 “고압가스안전관리법”에서 가연성, 독성 가스로 적용 대상일 뿐만 아니라 “화학물질관리법”에 사고대비물질, 유해화학물질로 정하고 있다. 암모니아는 냉매로서의 성능이 우수해 냉매로 많이 사용되고 있으나 가연성의 위험과 인체 독성의 영향이 있기 때문에 저장과 취급 시 주의하여야 한다. 암모니아의 사용량 증가 및 기존 냉동 냉장 시설의 노후에 따른 시스템 내에 암모니아 폭발 및 누출 사고가 발생하고 있다. 그렇기 때문에 주변 지역의 인명과 재산피해를 가져올 수 있는 화학물질 누출에 따른 체계적인 분석뿐만 아니라 화학물질의 특성에 따른 지역주민의 피해를 최소화할 수 있는 대피 거리에 대한 연구와 대책이 시급한 실정이다. 2014년 남양주에서 발생한 암모니아 누출 사고는

사망 1명, 부상 3명 등 인명피해가 발생하였고 주변 주민이 고통을 호소하는 등 2차적인 피해를 발생시켰다. 1989년 해외의 리투아니아 암모니아 누출 폭발 사건에서 보다시피 사업장 내 암모니아 누출로 가연성 증기가 형성되어 화재가 발생하였고 그 결과 근무자 7명, 사망 57명이 부상을 당하였을 뿐만 아니라 주변 지역 주민 32,000명이 대피하는 사고가 발생하였다.

기존 선행 연구자들의 연구에서는 FTA(Fault Tree Analysis)의 결과를 분석하여 CA(Consequence Analysis)의 사례를 대상으로 연구가 진행되어 왔고 암모니아 냉동 공정을 중심으로 공정에 대해서 단지 손쉽게 CA를 수행이 가능한 부분을 확인하는 단계에까지만 진행이 되어 왔으며 예측 가능성을 확인하는 정도로만 진행이 되어 보다 구체적인 수치를 기반으로 비상조치 계획에 반영하기에는 부족함이 있었다<sup>1)</sup>. 또한 불산 누

<sup>†</sup> Corresponding Author : Seungho Jung, Tel : +82-10-6303-8635, E-mail : Processafety@ajou.ac.kr

Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University, 206, World cup-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 16499, Korea

출 사고 등 화학물질과 관련된 중대 사고를 통하여 국민의 관심과 환경의 영향에 대해서 관심이 집중되고 있는 시기에 유해화학물질로 인한 피해 예방 대책과 규제 강화 그리고 사고에 대응하기 위한 핵심 정보인 노출기준, 노출경로, 사고 물질의 특성, 방제 방법 등의 자료에만 의존하고 있는 실정이다<sup>2)</sup>.

본 연구는 대용량 냉동, 냉장 시스템에서 냉매로 사용하고 있는 암모니아 누출 시 독성에 따른 피해 범위 예측과 주변 지역의 주민의 피해를 최소화할 수 있는 대피 거리를 산정하여 그 결과 데이터를 통한 냉동, 냉장 시스템 내 암모니아 누출에 따른 안전대책 수립 시 도움을 주고자 한다.

## 2. 이론적 배경

암모니아를 사용하는 시스템 내에서는 사고 발생 시 누출 물질이 탱크 내에 갈라진 틈을 통하여 누출되거나 탱크 내에 연결된 배관에 구멍이 발생하는 등의 경로로 누출이 일어난다. 이 연구에서는 저장용기에 구멍이 발생하여 10분 동안 전량 누출될 경우와 용기에 연결된 배관이 완전 파열되거나 누출 시 실제 누출을 가정해 계산하였다<sup>3)</sup>. 누출된 물질이 대기에 노출이 되면 기체 상태로 확산이 이루어지고 누출된 물질은 공기와 혼합되어 멀리 날아갈수록 농도는 낮아진다. 누출 물질이 대기로 노출될 경우 물질의 확산에 큰 영향을 미치는 변수로는 대기안정도와 바람 속도이다.

### 2.1 암모니아 누출 관련사고 형태 및 피해

2012년 경기도 광주 냉동, 냉장창고 사고부터 13년 안성 암모니아 누출 사고 14년 남양주, 창원, 서천 냉동 창고 시스템 내 암모니아 누출 사고는 암모니아의 폭발성과 독성에 따른 누출 사고이다. 그러나 정부 및 대처 관계부서에서는 사고 발생 시 체계적인 대응을

Table 1. Ammonia Leak accident in refrigeration systems

Date	Location	Accident type	Warehouse type	Consequence
2012. 7. 18.	Gwangju, Kyungkido	Leak Explosion	Refrigerator	2 fatalities, 10 injuries
2013. 8. 17.	Anseong, Kyungkido	Leak	Refrigerator	Evacuation order
2014. 2. 13.	Namyangju, Kyungkido	Leak Explosion	Refrigerator	1 fatality, 3 injuries
2014. 7. 12.	Changwon, Gyeongsangnamdo	Leak	Refrigerator	Evacuation order
2014. 9. 10.	Seocheon, Chungcheongnamdo	Leak	Refrigerator	Evacuation order

하지 못하는 모습을 보여주었다. 이에 대한 사고 현황은 Table 1과 같다.

### 2.2 암모니아물질의 특성

한국산업표준에서는 암모니아는 상온에서 기체 상태로 개방된 공간에서 누출될 경우 공기보다 가벼워 빠르게 소산, 확산되기 때문에 폭발 분위기 생성을 무시하고 있다<sup>4)</sup>. 또한 점화되기 위해선 15 ~ 28%의 암모니아 증기가 존재하여야 하기 때문에 가연성 위험이 크다 여기지 않아왔다. 그럼에도 불구하고 실제로는 폭발사고가 다수 발생하였다.

### 2.3 암모니아 저장에 따른 온도와 압력관계

암모니아의 다양한 공정 그리고 운전조건에 따라 다르게 냉동 저장하는 경우가 많다. 그리고 암모니아의 저장 압력은 저장온도에 따라서 결정이 되며 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Temperature and pressure for saturated liquid condition

Temperature (°C)	Pressure (atmg)
-33.33	0
-17	1.09
0	3.27
15.68	6.33

### 2.4 시나리오 조건 분석<sup>3)</sup>

최악의 시나리오 분석 시 풍속은 1.5 m/s로 하고 대기안정도는 F, 대기온도는 25°C, 구름 50%, 대기습도 50%를 적용한다. 최악의 사고 시나리오의 경우 지표면에서 누출한 것으로 가정한다.

### 2.5 냉동 냉장 시스템 암모니아 사용현황

암모니아는 자연 냉매로서 온난화 지수가 낮고 물질이 가지는 냉동능력이 다른 물질에 비해 크다. 냉동 시스템 내에 자연 순환을 이용해 저온을 유지하기 위해서 많은 양의 냉매가 필요한데 암모니아는 다른 물질

Table 3. Classification by used coolant capacity<sup>5)</sup>

Freezer capacity	Ammonia	R - 22	R - 404A
<= 100 RT	122	495	50
<= 500 RT	218	70	9
> 1000 RT	3	0	0
<= 1000 RT	21	9	0

\* RT: 냉동단위, 0°C의 물 1 ton을 24시간에 0°C의 얼음으로 만들 때 제거해야 하는 열량.

에 비해 냉동 능력이 커 많이 이용하게 된다. 사용 냉매에 따른 분류는 Table 3에 나타내었다.

## 2.6 대기확산 누출을 모델링<sup>6)</sup>

EPA(Environmental Protection Agency)의 “위험분석을 위한 기술지침”에서의 방법은 일반적으로 저장용기 자체에서 구멍이 발생하거나 용기에 연결되어 있는 배관이 깨져서 누출되는 상황에 대하여 시뮬레이션을 하고 있다. 물질의 누출율을 결정하는데 이용하는 요소는 저장용기 내의 물질량이다. 저장용기 내의 유체 방출 속도는 저장 압력 및 온도 그리고 구멍 크기, 유체의 물리적, 화학적 특성에 의해 결정 되어 지게 되는데 EPA의 방법에서는 용기 내에 저장되어 있는 물질의 질량에 따라 일정한 방출 속도로 전량 방출될 때 까지 지속 시간을 10분으로 정의하여 이러한 변수들을 무시하고 있다<sup>7)</sup>. 또한 파이프를 통하여 방출될 때의 파이프의 마찰력과 물질 저장량에 따른 수두 압력 강하를 무시한다.

## 2.7 가우시안 대기확산모델 : 가벼운 가스<sup>7)</sup>

Gaussian 플룸 모델은 일반적으로 공기보다 가벼운 기체의 연속 누출 확산 평가에 사용되며 다음과 같은 가정 하에 정립된 모델이다.

### 2.7.1 연속누출 (Continuous emission)

유해물질의 누출량은 시간당 연속적으로 발생하고 이들 누출율은 시간 내내 변하지 않는다고 가정한다. 실제로 시간에 따라 누출량이 계속 변화하나 이 연구에서는 간단히 일정한 속도로 나온다. 가정하였다.

### 2.7.2 질량의 보존 (Conservation of mass)

누출원으로 부터 일정 거리 떨어진 관심지점까지 유해물질이 이동하는 동안 누출원으로 부터 누출되는 누출 물질의 양은 유지되고 보존된다. 어떠한 물질도 화학반응에 의해서 없어지지 않으며 지표면에서의 반응, 중력에 의한 하강, 난류 영향에 의해 없어지지 않는다. 난류 소용돌이(turbulent eddy)에 의하여 지표면 가까이에서 누출된 물질은 다른 후속의 난류 소용돌이에 의하여 지표면에서 멀리 다시 확산된다고 가정된다. (eddy reflection).

### 2.7.3 정상상태 조건 (Steady-state conditions)

기상조건은 시간에 따라 누출원으로 부터 관심지점까지의 이동시간 동안은 변하지 않는다고 가정한다. 보통 상태 하에서 이 가정을 만족시키기는 매우 쉽다.

그러나 약한 바람이나 멀리 떨어진 관측자에 대하여서는 이 가정이 만족되지 못한다. 따라서 가우시안 플룸 모델은 대략 10 km가 넘어가면 결과의 신뢰성을 보장할 수 없는 것으로 알려져 있다.

### 2.7.4 바람단면방향 및 수직방향의 농도 분포

일정 거리에서의 평균 시간 동안 바람의 단면 방향이나 수직 방향에 대해서 농도 프로파일은 정규분포 (또는 Gaussian distribution)를 보인다고 가정한다.

## 2.8 가스 상태의 누출을 계산<sup>6)</sup>

저장용기에서의 가스 누출은 최대 저장 용량이 10분 간 전량 방출될 때를 가정하여 누출율을 계산한다.

- 누출율(kg/min) = 저장량 (kg) / 10 minutes
- 예 : 암모니아 저장량 2,000 kg
- 누출율 (kg/min) = 2,000 kg / 10 minutes (200 kg/min)

## 2.9 독성영향의 기준

누출되는 유해화학물질이 독성물질인 경우에는 확산 모델을 사용하여 대기 중으로 확산되는 유해화학물질의 거리에 따른 농도, 형태를 예측하고 ERPG-2에서 규정한 끝점 농도(mg/L 또는 ppm)에 도달하는 지점을 끝점으로 한다. 사업장이 위치한 지역 내에서 화학물질이 누출되는 비상사태가 발생할 경우 화학물질 노출에 대한 가이드라인 농도가 필요하다. 비상 대응 계획 지침은 AIHA(American Industrial Hygiene Association)에 의해 개발된 값으로 비상 대응 계획에 따른 유해화학 물질이 누출되었을 경우 대응하기 위해 지침을 개발하였다. ERPGs (Emergency Response Planning Guideline)는 유해화학물질의 노출 시 대기 중 공기 노출 농도 지침이라 할 수 있다. 또한 지역사회의 비상대응 및 사고 예방의 적절성을 평가하기 위해 사용된다.

### <ERPG Levels><sup>8)</sup>

- 1) ERPG-1: 거의 모든 사람이 1 시간 가량 노출되어도 일시적인 가벼운 건강 부작용이나 분명하게 정의된 불쾌한 냄새로 인한 영향을 받지 않는 최고 농도를 말한다.
- 2) ERPG-2 : 거의 모든 사람들이 1시간의 노출에도 보호조치를 취하는 능력을 손실할 수 있는 경험, 회복 불능 상태로의 발전 등 기타 심각한 건강에 대한 영향이나 징후가 나타나지 않는 최고 농도를 말한다.

3) ERPG-3 : 생명을 위협하는 영향을 경험하지 않고 거의 모든 사람들이 최고 1시간까지 노출될 수 있는 최고 농도를 말한다.

### 3. 암모니아 누출에 따른 영향 범위 산출

암모니아 누출에 따른 피해 영향 범위를 분석하기 위해서는 암모니아가 가지고 있는 물리적, 화학적 특성에 따른 폭발과압이 걸리는 범위와 ERPG-2 독성에 대한 끝점 농도의 인체 피해 영향 거리를 알아보아야 한다. 암모니아 누출로 인한 사망은 사업장 내 폭발로 인해 발생한 사고이고 대피 거리를 산정함에 있어 사업장 외부로 미치는 영향은 독성을 고려하여 ERPG-2 거리로 해야 한다. 냉동, 냉장 시스템의 공정에서 암모니아 누출 시 피해 영향 범위와 지역 주민의 피해를 줄이기 위한 대피 거리에 대해 미국 EPA의 범용 프로그램인 ALOHA(Areal Locations of Hazardous Atmospheres)를 사용하여 알아보고 냉동, 냉장 시스템의 실제 공정에서 사용될 수 있는 압력(0.02, 1, 2, 3, 4, 5 barg)과 연결 배관 파열에 따른 누출공의 크기(25, 50, 80 mm)를 구분하여 누출율을 Phast v.6.7 (multicomponent option 포함)을 이용해 계산한다. 또한 TNO의 EFFECT 9를 이용해 누출에 따른 영향 범위를 계산 비교하였다.

#### 3.1 암모니아 누출에 따른 영향 평가 (ALOHA : 폭발 / 독성 영향 범위)

암모니아 누출을 산정은 화학물질안전원에서 제시하고 있는 최악의 사고 시나리오를 이용 풍속은 1.5 m/s로 하고 대기안정도는 “F”로 하였다. 최대 저장 용량의 방출 시간을 10분으로 고정하여 이용<sup>1)</sup> 하였으며 누출율은 100 ~ 1,000 kg/min 범위에 따른 폭발(1 psi 과압)형성 범위의 끝점과 독성 농도가 ERPG-2가 되는 끝점 지점을 Table 5에 계산하였고 좀 더 추세를 보기 편하게 계산 수치를 Fig. 1에 그래프로 나타내었다. Fig. 1에 있는 두 추세선 식은 2차 다항식으로 표현하였고 정확한 값을 얻고자 할 때 이용 될 수 있으며 여기서 x는 저장량(ton)이고 y는 대피거리(m)이다. 기상 시나리오 조건은 Table 4와 같다.

Table 4. Weather conditions for the scenario

ATMOSPHERIC DATA	F 1.5
Wind speed	1.5 m/s
Cloud Cover	50%
Air Temperature	25℃
Stability Class	F

Table 5. Endpoint distance of the ammonia release rate

Release rate (kg/min)	Amount Released (kg)	Blast Area of Vapor Cloud Explosion 1 psi(m)	Toxic Area of Vapor Cloud distance(m) ERPG-2 (150 ppm)
100	1,000	131	3,100
200	2,000	186	4,200
300	3,000	229	5,100
400	4,000	266	5,800
500	5,000	302	6,500
600	6,000	332	7,100
700	7,000	360	7,600
800	8,000	386	8,100
900	9,000	410	8,600
1000	10,000	434	9,100

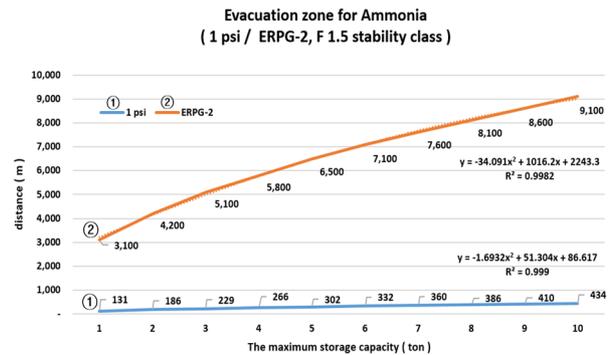


Fig. 1. Evacuation zone for ammonia.

#### 3.2 저장 압력과 누출공의 크기에 따른 누출을 산정 (Phast v.6.7 (multicomponent option 포함))

최대 저장용량 5,000 kg 용기를 대상으로 암모니아 저장 압력에 따른 온도를 설정하였고 저장용기에 연결된 배관이 완전 파열 시 배관 크기에 따른 누출율을 계산하였다. 시나리오 입력값은 Table 6과 같다.

Table 6. Phast ver 6.7 (multicomponent option) input specifications for simulation

User - Defined Data		
Discharge Material / Process Condition	Material Identifier	AMMONIA
	State of Material	Saturated Liquid
	Mass Inventory	5000 kg
Scenario	Pressure Specification(bar)	0, 1, 2, 3, 4, 5
	Temperature(℃)	-33, -18.7, -9.1, -1.8, 4.3, 9.4
Pipe	Scenario Type	Line rupture
	Internal Diameter	25, 50, 80 mm (1, 2, 3 inch)
	Line length	1 m
Location	Elevation	1 m
	Location of release	Open air release
Outdoor	Outdoor Release Direction	Horizontal

**Table 7.** Release rate calculated from Phast ver 6.7 (multicomponent option)

Diameter of ruptured pipe	Store Pressure (bar)	Store Temperature (°C)	Discharge rate (kg/min)	ALOHA ERPG-2 (m)
25 mm (1 inch)	0.02	-33	1	52
	1	-18.7	9	152
	2	-9.1	14	195
	3	-1.8	18	222
	4	4.3	23	251
50 mm (2 inch)	5	9.4	27	273
	0.02	-33	4	103
	1	-18.7	35	311
	2	-9.1	55	394
	3	-1.8	74	459
80 mm (3 inch)	4	4.3	93	518
	5	9.4	112	571
	0.02	-33	11	171
	1	-18.7	88	502
	2	-9.1	140	642
	3	-1.8	189	753
	4	4.3	238	852
	5	9.4	286	941

누출원의 형태 즉 누출공의 크기가 확산 결과에 미치는 영향을 알아보고 누출율에 따른 사업장 외부로 영향을 미치는 끝점 농도의 영향 거리에 대해선 Phast v.6.7의 암모니아의 특성을 고려한 Lift off 효과로 실제에 더 가까울 수 있으나 예측 거리가 너무 짧아 ALOHA 시뮬레이션 프로그램을 이용 하였으며 대안 시나리오에서는 풍속 및 대기안정도를 확인할 수 없는 경우 풍속은 3 m/s, 대기안정도는 “D”, ERPG-2가 되는 끝점 농도를 이용 화학물질안전원의 지침을 사용하였다<sup>3)</sup>. 그 계산 값은 Table 7과 같다.

**3.3 TNO EFFECT9을 이용하여 계산한 누출율에 따른 도달거리**

누출율 10 ~ 100 kg/min에 따른 독성 농도가 ERPG-2 농도가 되는 끝점 지점을 계산하였고 계산 값은 Table 8에 나타내었다. 비교한 시뮬레이션의 입력 조건은 Table 9와 같이 가정하였다.

저장용기 내 누출율에 따른 영향 범위를 분석하기 위해 누출율에 따른 각각의 시뮬레이션 프로그램에서 계산된 끝점 거리를 비교해 보면 ALOHA와 많은 차이를 보이지 않았다. 그 이유는 분산 모델에 있어 같은 Gaussian Model을 사용하였기 때문인 것으로 판단되고 계산 값은 Table 10과 같다.

**Table 8.** Recommended evacuation distance for release rate

Simulation Program	EFFECT 9
Release rate (kg/min)	ERPG-2 Endpoint distance for D3 (m)
10	154
20	239
30	307
40	369
50	424
60	475
70	523
80	568
90	611
100	652

**Table 9.** Comparison of inputs for two simulation programs

Simulation Condition		
Input Parameter	EFFECT 9	ALOHA
Discharge Material	AMMONIA	
Stability Class	D (Neutral)	
Wind Speed	3 m/s	3 m/s
Measurement Height of Wind Above Ground	10 meter	10 meter
Air Temperature	-	25 °C
Humidity	-	50 %
Location: Released Elevation	0 m	0 m
Ground Roughness	Regular large obstacle coverage	Urban or Forest
Type of Vessel	-	-
Scenario Type	Continuous	Direct
Concentration for Terminating Dispersion	150 ppm	150 ppm, ERPG-2
Dispersion Model	Gaussian	Gaussian

**Table 10.** Comparison of evacuation distance results

Simulation Program	EFFECT 9	ALOHA
Release rate (kg/min)	ERPG-2 Endpoint distance for D3 (m)	
10	154	164
20	239	234
30	307	288
40	369	334
50	424	375
60	475	412
70	523	446
80	568	479
90	611	509
100	652	538

#### 4. 결론

본 연구는 암모니아를 사용하는 시스템 내에서 암모니아가 누출될 경우 최악의 시나리오인 저장용기 자체에 구멍이 발생하거나 연결된 배관이 완전히 파열되었을 때를 가정하여 미국 EPA의 범용 프로그램인 ALOHA를 이용하여 폭발과압이 걸리는 지점과 ERPG-2 농도에 도달하는 지점을 계산하였다. 냉동, 냉장 시스템에서 암모니아 누출이 발생할 경우 폭발과압, 독성에 의한 피해 영향 및 농도 거리를 시뮬레이션 프로그램을 통하여 비교해본 결과 폭발과압이 걸리는 범위 보다 ERPG-2 농도에 따른 독성 영향 범위가 미치는 끝점의 거리가 더 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 냉동, 냉장 시스템으로부터 암모니아 누출이 발생할 경우 누출율에 따라 수백 미터에서 부터 수 킬로미터에 이르기까지 독성의 영향이 사업장 밖의 환경과 주민에게 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 냉동, 냉장창고가 도심지에 위치하고 있을 경우 사업장 내에서 사용하고 있는 저장용량 대비 최대량을 산출하여 전량 방출을 가정해 사업장 내부에서 사업장 외부로 화학물질이 유출될 경우 사업장 주변에 거주하고 있는 주민을 보호할 수 있는 안전대피 거리를 설정하여야 한다. 암모니아가 누출된 지역에서는 누출율에 따른 ERPG-2 농도 범위 밖으로 대피하여야 하고 암모니아 누출 비상 대응계획을 수립 시 주변 지역의 피해 범위 및 영향을 예측하고 사고 대응 기관이 신속하게 대응 할 수 있는 안전대책 자료로 도움을 줄 수 있다. 냉동, 냉장 시스템의 실제 공정에서 사용될 수 있는 압력과 연결 배관을 선정하여 연결 배관 파열시 누출율을 PHAST ver 6.7 (multicomponent option 포함)을 이용해 계산하였고 그에 따른 ERPG-2 농도의 끝점 거리를 ALOHA 프로그램을 이용하여 끝점 농도 도달 지점을 계산하여 사업장에서 일어날 수 있는 시나리오(대안 시나리오)에 대한 안전대책 자료로 이용할 수 있다. 또한 사업장 외부의 영향을 알아볼 수 있는 시뮬레이션 프로그램인 ALOHA를 TNO의 Effect 9의 ERPG-2 끝점 농도 도달거리를 비교해 본 결과 ERPG-2 농도 거리가 크게 차이가 나지 않는 것을 알 수 있었다. 그러므로 사업장의 장외영향평가를 하는데 있어 사용자들이 사용 가능한 프로그램 (ALOHA, PHAST ver6.7, EFFECT 9)을 이용해 누출율에 따른 사업장 외부에 미치는 영향을 평가 할 수 있는 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

**감사의 글:** 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2015R1C1A1A02037491)

#### References

- 1) J. H. Cho, J. D. Ju, J. G. Kim and H.Y.Kim, "A Case Study on the CA Application of FTP Results", pp.1-4, 1998.
- 2) Y. S. Yoon, K. J. Kim, J. S. Lee, Y. S. Park, J. H. Yoon and K. S. Seok, "Development of Accident Response Information Sheets for Ammonia", Korean Institute of Hazardous Materials, pp.7-13, 2015.
- 3) Technical Guidelines for Selecting Accident Scenarios, National Institute Chemical Safety, pp. 2-7, 2014.
- 4) KS C IEC 60079-10-1, "Explosive Atmospheres Part 10-1: Classification of Areas Explosive Gas Atmospheres", pp.1-34, 2012.
- 5) O. J. Taek, "Domestic Refrigeration, Cold Storage Facilities and Refrigerant Supplier Usage", Equipment Journal, pp. 32-38, 2014.
- 6) Technical Guidance for Hazard Analysis. EPA, pp. 2-17, 3-1-3-4, 1987.
- 7) Technical Guidelines for Estimating the Accident Affected Range, National Institute Chemical Safety, pp. 12-18, 2014.
- 8) D. A. Crowl and J. F. Louvar, "Chemical Process Safety", Fundamentals with Applications, pp. 208-221, 2004.
- 9) S. I. Jang, Y. R. Kim, K. S. Park, D. I. Shin and T. O. Kim, "A Study on Applicability of API-581 and Methodology for Consequence Analysis in High-Pressure Toxic Gas Facilities", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 18, No. 4, pp. 76-85, 2014.