



벤젠 및 아크릴로나이트릴 누출시 방류벽 유무 및 누출공에 따른 피해 영향범위 산정에 관한 연구

곽영민 · 옥재민 · 윤수경 · [†]정승호

아주대학교 환경안전공학과

(2017년 9월 11일 접수, 2017년 12월 26일 수정, 2017년 12월 27일 채택)

A Study on the Safety Distance of Benzene and Acrylonitrile Releases in Sccondance with Dike and Hole Size

Youngmin Kawg · Jaemin Oak · Sukyoung Yoon · [†]Seungho Jung

Dept. of Environmental and Safety Engineering, Ajou University,

206 worldcup-ro, Yeongtong-gu, Suwon, Gyeonggi, 16499, korea

(Received September 11, 2017; Revised December 26, 2017; Accepted December 27, 2017)

요약

산업의 발전에 따라 화학물질 중 독성물질의 종류와 사용량도 함께 증가하였고 이에 따라 산업현장에서의 사고 발생 가능성과 사고 영향성도 높아질 것으로 예측된다. 특히 독성물질의 누출은 인명 및 인근 지역의 환경에 치명적인 피해를 주기 때문에 누출사고 시 대피 및 안전거리 계산은 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 액체 성상의 독성물질의 경우 알고리즘을 새롭게 제시하였으며, 벤젠 및 아크릴로나이트릴을 선정하여 영향범위에 대하여 알아보고자 한다. 시나리오는 화학물질 안전원의 지침대로 최악의 시나리오 분석 시 10분간 전량 방출할 경우와, 즉시 방출하여 독성 액체가 방류벽을 범람할 경우로 하였으며 대안의 시나리오는 저장용기의 연결된 배관의 부분 파열로 인하여 누출공이 생긴 경우로 하였다. 각각의 시나리오에서 방류벽의 유무를 중심으로 연구를 진행하였으며 그로부터 기상 및 지형조건에 따라 ALOHA(Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 프로그램을 사용하여 ERPG-2(Emergency Response Planning Guideline) 농도의 끝점 도달거리를 알아보았다. 그 결과 데이터를 통하여 그래프 및 회귀식으로 나타내었고, 이러한 자료는 피해범위를 예측함으로써 비상상황 발생 시 비상대책 자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

Abstract - As the industries become more developed, the amounts of hazardous materials have been increased. Because of that, the possibility of accidents in plants is expected to increase. Especially, the dispersions of toxic materials cause serious effect to human life and environment, So it is very important to confirm safety distance of discharge accident. For this paper, we proposed new algorithms for toxic liquid, such as benzene and acrylonitrile. and using this argorithm, we are going to predict safety distance. The scenario of accidental release was assumed to be the release of entire quantity in 10 minutes is defined as worst-case scenario and Instantaneous release. Also the release from a partial rupture of line is used as an alternative case scenarios as NICS(National Institute of Chemical Safety) guidelines. Using ALOHA program and the algorithm for liquid toxic materials and suggested the graph, as well as correlated equations which can utilize emergency responders.

Key words : acrylonitrile, benzene, ALOHA, toxic liquid, ERPG-2

[†]Corresponding author: processsafety@ajou.ac.kr

Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

1960년대 이래 산업구조의 근대화를 위한 정부의 화학공업 육성정책으로 산업의 고도화가 이루어졌다. 따라서 반도체 산업, 디스플레이 산업 및 태양광 산업 등의 첨단산업 분야에서 고압 독성가스 사용량이 지속적으로 증가하면서 산업현장에서는 사고 발생 가능성도 높아질 것으로 예측되고 있다[1].

국내 사고현황(03~14)에 관한 화학물질안전원의 공식자료를 보면 다양한 화학 사고의 형태 중 화학물질 유출 및 누출로 인한 사고가 가장 빈번한 것으로 조사되었다[2]. 독성물질 누출 시 피해를 최소화하기 위해 많은 장치·설비 등이 설치되고 있다. 그 중 대표적인 것으로 대표적으로 방류벽이 있다. 화학물질 안전원의 '유해화학물질 취급시설 설치 및 관리기준 등에 관한 고시'에서는 탱크의 옆판으로부터 최소 1.5 m 이상으로 설치를 하거나 탱크의 직경이 15 m 미만인 경우에는 탱크 높이의 3분의 1 이상의 거리, 15 m 이상인 경우에는 탱크 높이의 2분의 1 이상의 거리로 설치하여 외부로 유출이 없도록 옆판으로부터의 거리를 유지하여야 한다고 고시하고 있다.

방류벽의 역할로는 저장물질이 유출되었을 시 유출된 물질이 사업장 외부로 확산되지 않도록 내부에 유출물질을 억류하고 있다가 사업장이 자체 보유한 폐수처리장으로 보내거나, 지정 폐기물 사업장으로 보내 안전하게 처리되도록 하는 것이다[3].

본 연구에서는 액체 성상의 독성물질을 방류벽의 유무에 따라 알고리즘을 새롭게 제시하였으며, 이를 토대로 벤젠과 아크릴로나이트릴 물질을 선정하여 연구를 진행하였다. 벤젠과 아크릴로나이트릴은 산업통상자원부 소관 고압가스 안전관리법의 관리 대상이면서, 사고 대비 물질 및 유독 물질로 환경부 소관인 화학물질 관리법의 관리 대상이다. 유해 화학물질 관리법 취급시설 설치 및 관리 기준에서 유해화학물질을 액체 상태로 저장하는 저장설비를 설치하는 경우에는 방류벽 설치를 의무화하고 있다. 하지만 사업장의 내부 사정 등 때문에 방류벽 설치를 하지 못한 경우도 고려하기 위해 방류벽의 유무를 중심으로 피해 거리를 산정하고 그 결과 데이터를 통하여 그래프 및 회귀식으로 나타내었다.

II. 방법론

2.1 전체적인 모델링 방법

(1) 대기확산모델링

사고영향 모델링 중에는 PHAST(Process Hazards

Analysis Software), KORA(Korea Off-site Risk Assessment supporting tool), ALOHA(Areal Location of Hazardous Atmospheres) 등의 프로그램이 있다.

PHAST는 DNV GL사에서 개발한 것으로 설계 및 운영의 모든 단계에 대해 포괄적으로 공정 산업의 위험 분석이 가능한 소프트웨어 도구이다. PHAST는 모델링 확산과 증발, 가연성 및 독성 효과를 포함하여 원거리의 분산에 초기 릴리즈에서 잠재적인 사건의 진행 상황을 조사할 수 있다.

KORA는 영세·중소기업 등에서 정량적 위험성 평가를 손쉽게 활용할 수 있도록 화학물질 안전원에서 개발한 프로그램이다. KORA는 누출, 화재, 독성확산까지 정량적 위험성 평가가 가능한 모듈과 시나리오 선정, 사고빈도 기초자료 구축 등을 통해 피해범위 예측과 위험도를 산정하는 모듈을 포함했다. 또한 자동으로 평가서·계획서를 작성할 수 있어 장외영향평가서 및 위해관리계획서의 작성을 지원할 수 있다.

ALOHA는 Gaussian 모델과 DEGADIS (Dense Gas Dispersion Model) 모델을 사용하는데 Gaussian 모델은 공기보다 밀도가 가벼운 가스일 경우, DEGADIS 모델은 공기보다 밀도가 무거운 가스일 경우 사용된다. 또한, ALOHA는 배관의 파열, 균열이 생긴 저장탱크, 그리고 누출 때문에 생성된 puddle에서 증발로 인해 발생하는 유해 화학물질이 대기 중으로 유입되는 양을 추정할 수 있으며, 화학물질의 누출 사고 시 대기 중으로 확산이 어떻게 이루어지는지 예측할 수 있는 모델이다[4].

ALOHA 5.4.6 와 PHAST 6.7 프로그램을 이용하여 몇 가지 포인트를 비교 하였다. 이때 물질은 벤젠으로 선택하였으며, 방류벽이 없는 경우로 하였다. 두 프로그램을 비교하여 보았을 때 비슷한 경향을 보였다(Table. 1). 따라서 본 연구에서는 편의성을 위해 ALOHA 5.4.6 프로그램으로 연구를 진행 하였다.

ALOHA는 10km 이상 누출거리를 구할 수 없는 한계점이 있다. 따라서 본 연구에서는 10km가 넘는 데이터는 신뢰성이 없다고 판단되어 10km까지의 데이터만을 사용하였다.

(2) ALOHA를 이용한 ERPG-2 산정

본 연구방법에서는 최악의 시나리오와 대안의 시나리오로 나누었으며 방류벽의 유무를 중심으로 알아보았다.

Worst case의 경우, 10분 전량 방출할 경우와 즉시 전량 방출할 경우로 나누어 알아보았다. 저장탱

Table 1. ERPG-2 distances using Aloha 5.4.6 and Phast6.7.

		ALOHA 5.4.6				PHAST 6.7			
Benzene	storage amount (kg)	Night Rural (m)	Night Urban (m)	Day Rura (m)	Day Urban (m)	Night Rural (m)	Night Urban (m)	Day Rura (m)	Day Urban (m)
	100	68	53	38	27	73.431	62.434	22.117	18.782
	200	96	65	53	39	97.570	76.298	22.117	18.782
	300	115	89	64	46	112.78	90.137	39.553	34.185
	400	134	102	74	53	129.45	102.28	44.597	38.755
	500	148	114	83	59	145.81	114.02	48.887	42.598
	600	161	124	90	64	160.31	125.33	52.673	44.411
	700	174	134	97	69	173.79	134.88	107.05	87.123

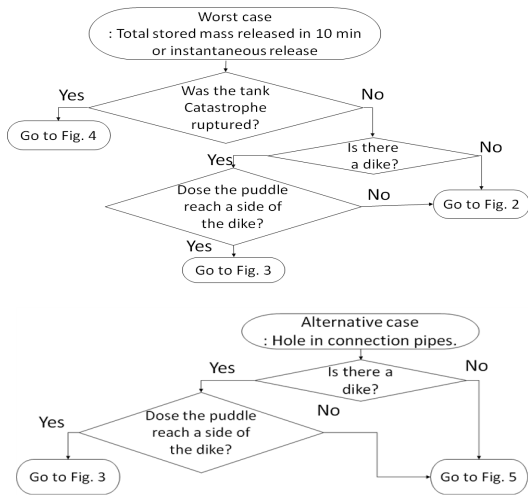


Fig. 1. Overall procedure for this study.

크가 Catastrophe ruptured 되었을 경우는 즉시 전량 방출된 경우로 RIVM 3.2 (National Institute of Public Health and the Environment)의 방법론을 반영하여 방류벽 면적의 1.5배의 면적을 형성한다고 가정하여 알아보았다(Fig.4).

10분 전량 방출된 경우 방류벽이 있을 때 방류벽을 가득 채운다면, 방류벽의 한 면적에 따른 거리값을 알아보았으며(Fig.2), 방류벽이 없을 경우와 방류벽이 존재하지만 방류벽을 가득 채우지 못한 경우는 방류벽이 없는 경우와 같다고 볼 수 있기 때문

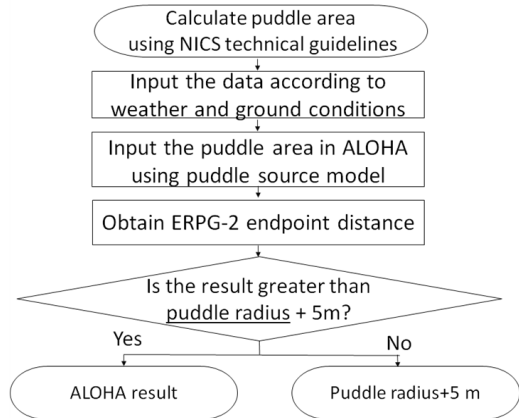


Fig. 2. Flowchart to obtain ERPG-2 distances according to storage amount in worst case scenario.

에 저장량에 따라 알아보았다(Fig.3).

대안의 시나리오는 hole이 발생한 경우로 방류벽 유무로 나누었다. 독성 액체의 경우 puddle이 형성된 면적이 결과 값에 가장 큰 영향을 주기 때문에, hole이 생겨서 누출된 질량이 방류벽을 가득 채우게 되면 방류벽의 면적에 따른 Fig.3을 따를 수 있다고 판단하였다.

하지만 방류벽이 없을 경우와 방류벽을 가득 채우지 못한 경우는 누출공의 크기에 따라 누출되는

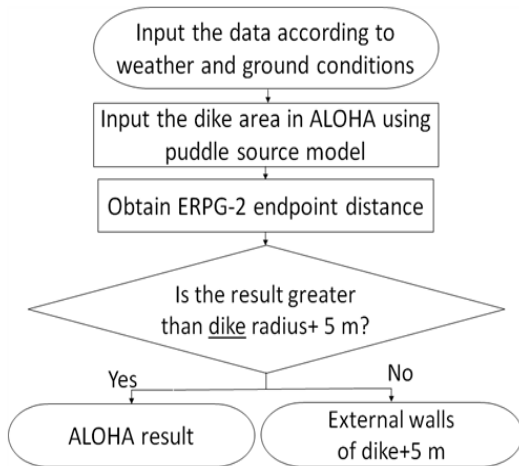


Fig. 3. Flowchart to obtain ERPG-2 distances according to dike sizes.

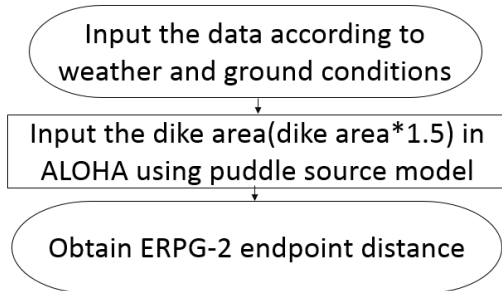


Fig. 4. Flowchart to obtain ERPG-2 distances according to dike sizes in overtopping worst case.

질량이 다르기 때문에 누출공 크기에 따라 알아보았다(Fig.5).

법률상 방류벽은 저장량의 110 %를 수용하게 명시되어 있으므로 대안의 시나리오에서는 overflow가 현실성이 떨어지므로 대안의 시나리오에서는 dike overflow 경우는 제시하지 않았다.

또한, 결과 값에서 화학물질 안전원의 '사고시나리오 선정 및 KORA 소개'에 따라 KORA(Korea Off-site Risk Assessment supporting tool)에서 평가는 가능하나 영향 범위로 "0"으로 나오는 경우에는 확산 방지 조치가 있으면 외벽으로부터 5 m, 확산 방지 조치가 없으면 깊이 1 cm인 층을 형성하는 puddle 외면으로부터 5 m로 하여 거리를 산정하였다[5].

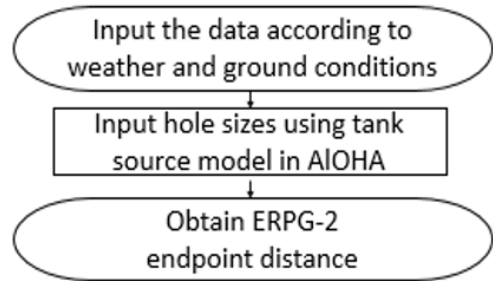


Fig. 5. Flowchart to obtain ERPG-2 distances according to hole sizes in alternative case scenario.

2.2 누출 시나리오 선정

독성 피해 영향범위 산출을 위한 사고 시나리오의 선정을 위해 최악의 시나리오는 용기에 저장되어있는 양이 10분간 전량 방출할 경우와 즉시 전량 방출하여 방류벽을 범람할 경우로 나누었으며 용기의 최대 저장량이 puddle을 형성한다고 가정하였다. 대안의 시나리오는 저장된 용기에 연결된 배관에 생긴 부분 파열로 누출공이 생긴 경우를 대안의 시나리오로 하였다.

(1) 최악의 시나리오 대피범위 계산 방법

최악의 사고 시나리오 선택을 위하여 밤일 경우에는 풍속은 초당 1.5 m/s, 대기안정도는 F, 대기 습도 50%를 적용하였다. 낮일 경우에는 풍속은 초당 3 m/s, 대기안정도 D, 대기 온도 25°C, 대기 습도 50%으로 '사고시나리오 선정에 관한 기술지침'을 선택하였다[6].

상온에서 저장 및 취급하는 액체상태의 급성 독성물질이 누출된 경우, puddle을 형성하게 되며, 누출 시 puddle은 방류벽이 있을 경우와 없을 경우로 나누어 면적을 구하는데 이때 방류벽 등과 같은 확산 방지조치가 되어 있으면 그 면적을 액체층의 표면적으로 산정하였으며 그렇지 않을 때에는 누출량과 밀도만을 고려하여 액체층의 표면적을 산정하였다 (1). 계산된 액체층의 표면적은 ALOHA의 puddle source 모델에 입력하여 위험 범위를 계산하였다.

$$A = 0.1 \times \frac{Q}{\rho} (m^2) \quad (1)$$

A : 액체층의 표면적(m²)

Q : 누출량(kg)

ρ : 밀도(g/cm³)

(2) 범람할 경우 대피범위 계산 방법

방류벽이 존재함에도 즉시 전량 방출할 시에는 독성액체가 방류벽을 범람할 가능성이 있다. 이를 고려하여 독성액체의 표면적 산정을 위하여 RIVM 3.2(National Institute of Public Health and the Environment)를 반영하였다[7]. 방류벽을 범람할 경우 puddle의 면적은 방류벽 면적을 기준으로 알아보았다(2).

$$A = 1.5 \times D_A (m^2) \quad (2)$$

A : 액체층의 표면적(m^2)

D_A : 방류벽의 면적(m^2)

(3) 대안의 시나리오 산정 방법[8]

용기의 연결된 배관의 부분 파열로 인하여 누출공이 생긴 경우로 하였으며, 대안의 시나리오의 ERPG-2 끝점 농도를 구하기 위해 다음과 같이 가정하였다.

- 25°C에서 saturated liquid 상태로 저장
- 60분간 누출 지속하는 것으로 가정
- 일반적으로 누출이 생기기 쉬운 1 m에서 누출공이 발생하여 누출이 시작되었다고 가정.
- 누출공의 크기는 0.2 inch(5.08 mm)~ 6 inch(152.4 mm) 사이로 알아보았다.

(4) 독성영향기준 선정

ERPG(Emergency Response Planning Guideline)란 일반적으로 독성 영향을 평가하는 기준으로 NICS(National Institute of Chemical Safety)의 '사고시나리오 선정에 관한 기술지침'을 근거로 독성 영향 거리를 ERPG-2를 기준으로 하였으며, 그 값은 미국 산업 위생학회(AIHA)에 따라 벤젠의 ERPG-2농도 150 ppm, 아크릴로나이트릴의 ERPG-2 농도 35 ppm으로 선정하였다[9].

III. 결 과

최악의 시나리오와 대안의 시나리오를 선정하여 간단한 그래프를 만들어 보았다. 최악의 시나리오에서는 방류벽의 유무로 나누어 액체층의 표면적을 결정하였고, 대안의 시나리오에서는 누출공의 크기에 따라 구하였다. 이를 통해 각각의 시나리오에서 기상 및 지형조건마다 안전거리를 알아보았다.

(1) 최악의 시나리오의 ERPG-2거리

사업장마다 사용하는 저장용기는 다르므로 본 연구에서는 다양한 크기의 저장용기 안에 저장된

질량이 전량 방출된다는 가정으로 모델링 프로그램에 변수값을 입력하였다. Fig. 6과 Fig. 7은 벤젠 및 아크릴로나이트릴 물질로 나누어 각각 방류벽의 유무에 따라 방류벽의 한 면의 길이와, 액체층의 면적에 따라 Urban 지형과 Rural 지형의 낮과 밤에 대한 결과 값을 그래프로 나타내어 보았다.

또한 Fig.8은 즉시 범람하여 독성액체가 방류벽을 범람할 경우 방류벽의 한면적에 따른 결과 값을 그래프로 나타낸 것이다.

(2) 대안의 시나리오의 ERPG-2거리

Fig. 9는 대안의 시나리오에 따라 벤젠 및 아크릴로나이트릴의 지형과 기상을 고려하여 누출공 크기에 따른 비상대피 거리를 산출하고 그래프로 나타낸 것이다.

(3) 회귀분석을 통한 수식 도출

방류벽의 한 면의 길이, 누출량, 누출공에 따른 그래프를 작성한 결과 각각의 변수들에 따른 비상

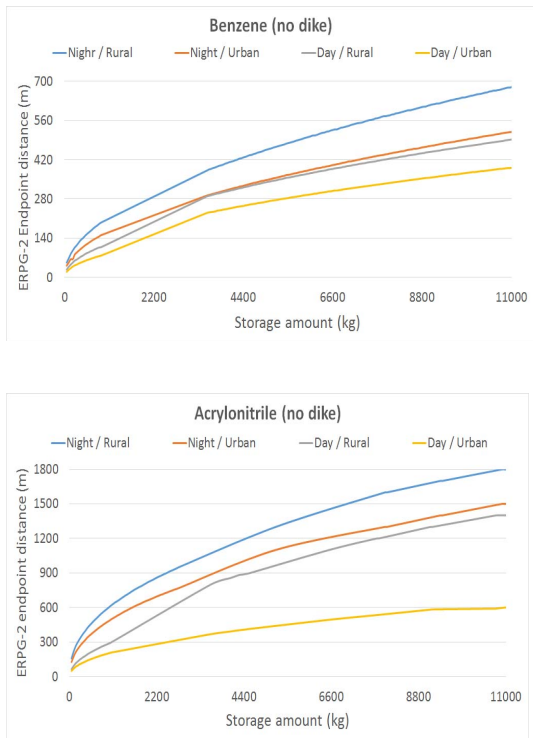


Fig. 6. ERPG2 endpoint distances according to the mass in worst scenarios.

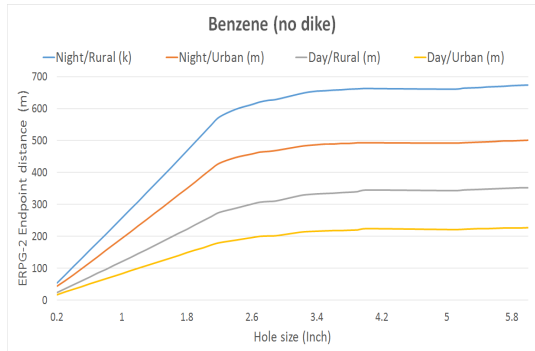
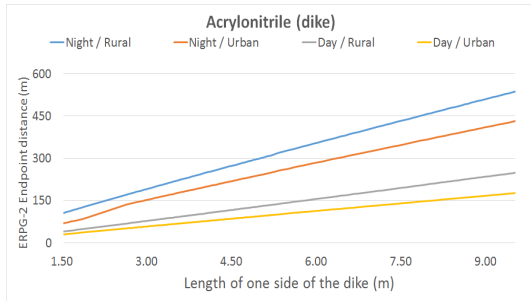
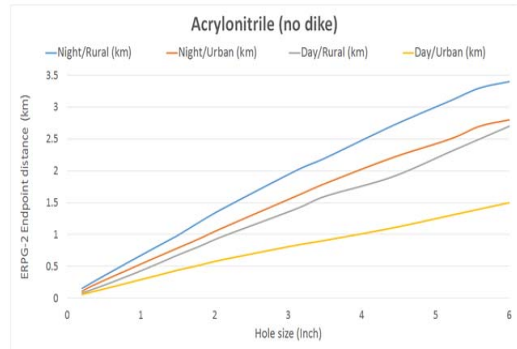
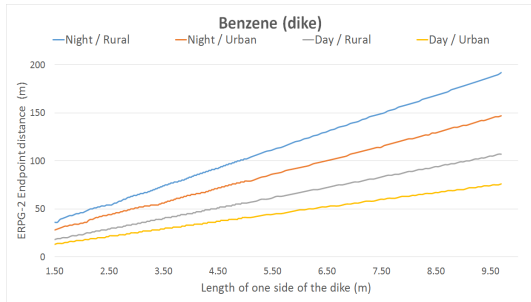
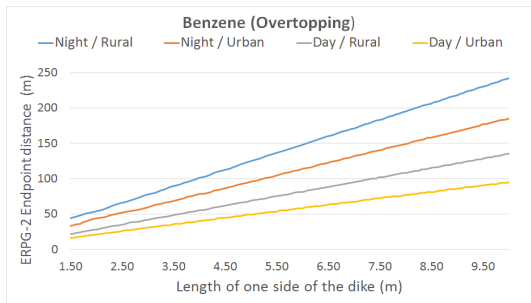


Fig. 7. ERPG-2 endpoint distances according to the size of the dike.

Fig 9. ERPG-2 endpoint distance according to the hole size in alternative scenarios.



대피 거리가 일정한 경향을 보였다. 방류벽의 한 면의 길이에 따른 거리의 데이터의 함수 모양이 식 (3)와 같이 선형의 형태로 나타났으며, 질량에 따른 거리의 데이터는 함수 모양이 식 (4)와 같이 오목함수의 형태로 나타났으며, 누출공의 크기에 따른 거리의 함수는 식 (5)의 형태로 나타났다.

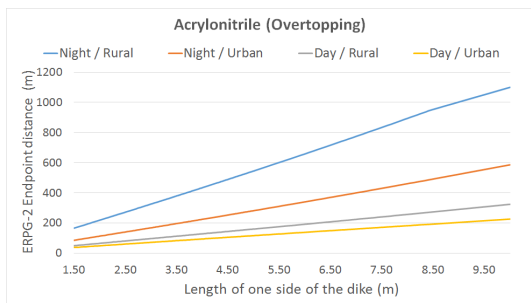


Table 1.는 각각의 시나리오와 기상 및 지형의 조건에 따른 수식을 도출한 것이다.

$$y = ax + b \quad (3)$$

$$y = ax^b \quad (4)$$

$$y = ax^3 + bx^2 + cx \quad (5)$$

Fig. 8. ERPG-2 endpoint distances when overtopping.

도출된 회귀식에서 적용 가능한 최대 최소 범위로 방류벽의 한 면의 길이는 1.5 m~10 m, 누출량은 50 kg~11000 kg, 누출공은 0.2 inch(5.08 mm)~ 6 inch(152.4 mm)까지 적용 가능하다.

Table 2. Formulas for calculating toxic liquid

Material	Scenario	Daytime Nighttime	Ground roughness	Correlated equation	R^2	Available range
Benzene	worst case (dike)	Night	Rural	$y=18.6x_1+8.47$	0.999	1.5 m~10 m
			Urban	$y=13.87x_1+8.19$	0.999	1.5 m~10 m
		Day	Rural	$y=5.16x_1+13.49$	0.999	1.5 m~9.64 m
			Urban	$y=8.12x_1+1.3$	0.999	1.5 m~10 m
	worst case overflow (dike)	Night	Rural	$y=23.47x_1+7.34$	0.999	1.5 m~10 m
			Urban	$y=17.84x_1+6.64$	0.999	1.5 m~10 m
		Day	Rural	$y=13.32x_1+1.755$	0.999	1.5 m~10 m
			Urban	$y=9.24x_1+2.74$	0.999	1.5 m~10 m
	worst case (no dike)	Night	Rural	$y=6.52x_2^{0.5}$	0.999	50 kg~11000 kg
			Urban	$y=5x_2^{0.5}$	0.999	50 kg~11000 kg
		Day	Rural	$y=4.36x_2^{0.51}$	0.999	50 kg~11000 kg
			Urban	$y=3.15x_2^{0.52}$	0.992	50 kg~11000 kg
	Alternative case (no dike)	Night	Rural	$y=4.2x_3^3-74.5x_3^2+416.5x_3-64.46$	0.992	0.2 inch~6 inch
			Urban	$y=3.23x_3^3-56.39x_3^2+311.7x_3-46.57$	0.992	0.2 inch~6 inch
		Day	Rural	$y=1.12x_3^3-27.42x_3^2+186x_3-28.6$	0.994	0.2 inch~6 inch
			Urban	$y=0.94x_3^3-19.79x_3^2+124.35x_3-16.28$	0.995	0.2 inch~6 inch
Acrylo nitrile	worst case (dike)	Night	Rural	$y=53.31x_1+33.96$	0.999	1.5 m~9.95m
			Urban	$y=43.53x_1+22.6$	0.998	1.5 m~9.95m
		Day	Rural	$y=25.1x_1+2.9$	0.999	1.5 m~9.95m
			Urban	$y=18.22x_1+4.39$	0.999	1.5 m~9.95m
	worst case overflow (dike)	Night	Rural	$y=109.83x_1$	0.999	1.5 m~10 m
			Urban	$y=56.74x_1$	0.999	1.5 m~10 m
		Day	Rural	$y=31.92x_1+0.72$	0.999	1.5 m~10 m
			Urban	$y=22.2x_1+4.91$	0.999	1.5 m~10 m
	worst case (no dike)	Night	Rural	$y=24.7x_2^{0.46}$	0.999	50 kg~11000 kg
			Urban	$y=18.26x_2^{0.47}$	0.999	50 kg~11000 kg
		Day	Rural	$y=5.39x_2^{0.6}$	0.993	50 kg~11000 kg
			Urban	$y=8.69x_2^{0.46}$	0.997	50 kg~11000 kg
	Alternative case (no dike)	Night	Rural	$y=577x_3+100$	0.996	0.2 inch~6 inch
			Urban	$y=473x_3+60$	0.997	0.2 inch~6 inch
		Day	Rural	$y=448x_3-10$	0.999	0.2 inch~6 inch
			Urban	$y=244x_3+50$	0.997	0.2 inch~6 inch

y : ERPG-2 endpoint distance (m)

x_2 : storage amount (kg)

x_1 : Length of one side of the dike (m)

x_3 : hole diameter (inch)

IV. 결론

독성물질을 취급할시 방류벽 설치를 의무화하고 있기 때문에 방류벽의 유무로 나누어 새로운 알고리즘은 제시하였으며, 이를 토대로 벤젠 및 아크릴로나이트릴을 선정하여 연구를 진행하였다.

최악의 시나리오는 저장용기에 저장되어있는 독성 액체가 10분 전량 방출될 때는 방류벽이 있을 경우, 방류벽이 없을 경우로 알아보았으며, 방류벽이 존재함에 불구하고 즉시 전량 방출할 경우 범람할 가능성까지 고려하여 연구를 진행하였다. 대안의 시나리오는 저장된 용기의 부분 파열로 인하여 누출공이 생긴 경우로 하였으며, 이를 방류벽의 유무로 나누어 알아보았다. 최종적으로는 각각의 경우들을 지형과 기상 조건을 고려하여 영향거리를 확인하였다.

방류벽이 있을 경우 독성 액체가 방류벽을 채운다면, 방류벽의 면적을 기준으로 알아보았다. 또한 최악의 시나리오에서 독성 액체가 방류벽을 범람한 경우 방류벽 한면의 길이를 기준으로, 방류벽이 없거나 누출된 양이 방류벽을 채우지 못하였을 경우 누출량을 기준으로 하여 데이터를 산출하였다. 대안의 시나리오의 경우는 누출공의 크기에 따라 ALOHA 5.4.6 프로그램을 이용하여 안전거리를 알아보았다. 도출된 결과 값을 토대로 그래프 및 회귀식으로 표현하였다.

이러한 자료는 피해범위를 예측함으로써 비상상황 발생 시 대처할 수 있는 비상 안전 대책 자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

본 연구에서는 어느 한 지역에 국한되어 연구를 진행한 것이 아니기 때문에, 계절별 특성이 뚜렷한 우리나라의 밤 온도를 산정하는 데에 제한이 있었다. 따라서 보수적으로 접근하기 위해 25 °C로 가정하였다. 추후 후속연구에서 밤 온도를 현실적으로 반영하여 연구를 진행할 예정이다.

더 나아가 기존 69종에서 새롭게 추가된 28종의 사고대비물질 등 다른 종류 및 성상의 독성가스에 대하여 사전예방에 필요한 안전거리에 관한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 에너지기술연구원에서 수행하는 에너지기술 개발사업(산업현장의 독성가스 누출사고 피해 저감을 위한 응급처리 기술 개발 과제, 과제번호(20162220100260))의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] Song, Y. K., Hwang, Y. W., Lee, I. M., Moon, J. Y., "A Study on the Safety Distances for High Pressure-toxic Gases by Specific Accident Scenarios", *Korean Institute of Gas*, 20(6), 1-8, 2016
- [2] National Institute Chemical Safety, "Chemical Safety and Hazard status", (2014)
- [3] Chang, H S., Jai, H. P., "Improvement in the Risk Reduction of Dikes of Storage Tanks Handling Hazardous Chemicals", *Crisisonomy*, 12(1), 1-2, 2016
- [4] Oak, J, M., "독성가스 누출 시 대피거리 산정을 위한 예측 모델링", Aiou University, Suwon, 2017
- [5] National Institute of Chemical Safety, 장외탑 류태권박사, 사고시나리오 선정 및 KORA 소개, pp. 76, 2017
- [6] Technical Guidelines for Selecting Accident Scenarios, *National Institute Chemical Safety*, pp.2-7,2015
- [7] Reference Manual Bevi Risk Assessments version 3.2 (RIVM), pp.60-61, 2009
- [8] Kim, J, H., Jung, S, H., "Offsite Consequence Modeling for Evacuation Distances against Accidental Hydrogen Fluoride (HF) Release Scenarios", *Korean Chemical Engineering Research*, 54(1), 3-5, 2016
- [9] American Industrial Hygiene Association (AIHA) 2014 ERPG Levels