



사고영향평가를 이용한 지하 매설 배관 사고 시 긴급차단밸브에 의한 피해 범위 감소에 관한 연구

박상배 · †이창준

부경대학교 안전공학과

(2018년 9월 21일 접수, 2019년 3월 23일 수정, 2019년 3월 24일 채택)

A Consequence Analysis of the Mitigation Impact on Emergency Shut-off Valves for Accidents of Underground Pipelines

Sang Bae Park · †Chang Jun Lee

Department of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received September 21, 2018; Revised March 23, 2019; Accepted March 24, 2019)

요약

현재 울산국가산업단지에는 생산량의 증대와 이송의 편의를 위해 막대한 규모의 지하매설배관이 설치되어 있다. 현재 울산국가산업단지에는 62개 사에 총 1,293km의 지하배관이 설치되어 있으며, 이 중에서 상당수는 사업장 외부에 설치되어 있다. 최근 3년간 울산국가산업단지에서는 5건의 누출사고가 발생하였으며, 대응시간은 평균 8시간 이상 걸렸다. 이러한 사고대응의 지체는 심각한 2차 사고로 이어질 수 있으며, 이는 지역주민들에게 큰 위험을 줄 수도 있다. 본 연구에서는 지하매설배관에 긴급차단장치를 설치하는 경우 사고영향평가를 통해 얼마나 누출사고의 영향이 경감되는지 분석하였다. 본 연구의 결과를 통해 긴급차단장치 설치가 지하매설배관의 누출사고의 피해를 줄이는 데 큰 역할을 할 수 있음을 검증하였다. 향후, 지하매설배관의 안전성 향상을 위해 시급히 긴급차단장치의 설치를 입법화하고 실행되어야 할 것이다.

Abstract - A large number of underground pipelines in the Ulsan National Industrial Complex has been constructed to improve the productivity of chemical products and tackle transportation problems. Now, the total of 1,293km of underground pipelines around 62 companies has been installed and operated. Many of underground pipelines have been installed outside of factories. For a past three years, five gas leakage accidents have occurred and the emergency response took up to 8 hours or more. Due to these delay in accidents, second serious accidents might occur and lead to occur damages to adjacent residents. In this study, it is assumed that emergency valve systems are installed under a ground and the efficacy of these is verified. Consequence analysis program was employed to evaluate the mitigation impact of emergency valve systems. The results show that these valve systems are economical and their performances for a mitigation are excellent. The results indicate that the installation of emergency valve systems for underground pipelines should be urgently legislated and performed.

Key words : underground pipeline, emergency valve system, consequence analysis, ALOHA, ulsan complex

†Corresponding author: changjunlee@pknu.ac.kr

Copyright © 2019 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

석유화학제품의 운송방법은 배관을 이용하는 방법과 탱크로리를 이용하는 방법이 있다. 석유화학 산업은 연속공정에 의한 운영 체계로 가동되기 때문에, 이를 위해서는 원료와 제품이 지속해서 운송되어야 한다. 탱크로리를 이용하여 운송하는 방법은 배관을 이용하는 방법에 비해 효율성과 경제성이 떨어지기 때문에, 울산국가산업단지 내 사업장에서는 지하매설배관망을 이용하여 제품을 운송하고 있다.

울산국가산업단지는 1962년에 지정된 우리나라에서 가장 오래된 국가산업단지이다. 총 854개사가 입주해 있으며, 이 중 석유화학 관련 업종의 비율은 울산국가산업단지가 65%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다[1]. 울산에서 유독물질을 취급하는 업체 수는 463개이며 총 취급량은 36만 9천 톤으로 전국대비 30.9%를 차지하고 있으며, 독성가스 저장 능력은 10만 6천 톤으로 전국대비 약 77.2%를 차지하고 있다[1]. 울산국가산업단지내에 매설된 지하 배관(화학관, 가스관, 송유관 등)을 통해 많은 양의 화학물질이 운송되고 있다. 이 중 누출사고 발생 시 유해성과 위험성을 갖는 가스관, 송유관, 화학관의 길이는 약 1,159km이다[1].

하지만, 최근 몇 년간 울산국가산업단지에 설치된 지하매설배관망 내에서 계속해서 사고가 발생하고 있다. 다행히 지금까지의 사고는 모두 단순 누출로 끝났지만, 폭발이나 화재 등 2차 사고로 전파되었다면, 대형사고가 발생할 수도 있었다[1,2].

특히, 부두에서 울산 석유화학단지로 설치된 배관은 시가지와 이격거리가 도로 하나를 두고 설치되어 있어서, 사고가 발생하는 경우 지역주민에게 인적, 물적으로 큰 피해를 줄 수 있다[2,3].

도심지역에 매설된 배관의 외부 또는 내부 결함으로 인한 가스의 누출, 화재, 확산, 폭발로 발생하는 사고 발생을 미리 방지하기 위한 정량적 평가를 통한 피해 결과에 대한 분석과 파이프라인 가스 수송 시에 가스누출사고에 관한 피해 영향평가에 관한 연구 등 사고 발생 시 피해 영향에 대한 분석을 한 사례는 많이 있었지만, 시설개선을 통한 피해 영향 범위 감소에 관한 연구사례는 찾기 어려웠다.

본 연구에서는 사업소 밖에 설치된 배관의 개선을 통해 피해 영향 범위를 줄이는 방안으로 긴급차단장치의 설치를 제시하고자 하며, 설치 기준은 한국가스안전공사의 “고압가스 특정제조 시설·기술·검사·감리·정밀안전검진 기준”을 참조하였다[4]. 긴급차단장치는 단순한 장치이지만, 노선의

중간 지점에 설치하는 경우 사고 발생 시 순간적인 차단을 통해 사고 발생 지점 이후의 위험물 누출량을 차단할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 사고 발생 이후 배관 내의 모든 가스는 배관 밖으로 퍼져 해야 하는데, 이에 드는 시간과 노력도 줄일 수 있다는 장점이 있다. 긴급차단장치를 설치 시 누출량 감소로 피해 영향 범위가 얼마만큼의 감소 효과가 있는지를 울산에서 발생한 사고사례를 토대로 위험성 평가를 통하여 누출사고 시 피해 영향 범위가 어떻게 감소하는지 분석하였다.

II. 대상 지역 및 긴급차단장치 설치

2.1 연구 대상 지역 선정 및 분석

본 연구에서는 부두와 울산국가산업단지의 석유화학 공단 사이에 설치된 지하매설 배관 중 시가지 지역에 인접하여 설치된 배관의 상태를 확인하였



Fig. 1. The survey area of piping status in Ulsan National Industrial Complex.

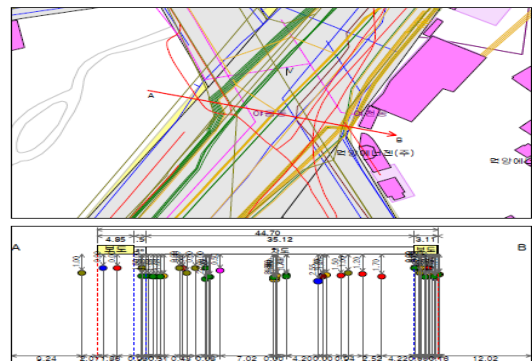


Fig. 2. GIS Piping installation status of a specific survey area[5].

Table 1. The information of piping at a specific survey area in Fig. 1. (unit: m)[5]

Total	Gas	Oil	Chemical
60,510	24,613	3,953	31,944

다. Fig. 1에서 표시한 특정 지역에 설치된 지하매설 배관의 현황을 조사하고, 배관에 긴급 상황이 발생하였을 때 관로를 신속하게 차단할 수 있는 긴급차단장치가 얼마나 설치되어 있는지 현황을 조사하였다. Fig. 2는 Fig. 1.에서 표시한 특정 지역에 설치된 지하매설물을 보여주고 있다. 이곳에는 21개사의 51개 노선의 시설물이 매설되어 있고 이 중 화학관과 송유관, 그리고 가스관은 12개사의 32개 노선이 Table 1과 같이 설치되어 있다.

2.2 긴급차단장치 및 관련 법규

본 연구에서 수행할 대상 지역의 관로 길이는 4,900m이며, 설치된 배관의 직경이 평균 200mm로 사고가 발생 시 사고원점에서 누출되는 물질의 양을 대략 계산하면 190m³에 이른다. 이에 대한 사고 피해 영향 범위를 감소시킬 방안으로 Fig. 3에서 보는 것과 같이 관로의 중간 지점에 긴급차단 밸브를 설치한다고 가정하고 그 효과를 분석하였다.

1) 긴급차단밸브

긴급차단밸브는 대형 반응기, 탱, 조(槽)등에서 누출, 화재 등의 사고가 발생했을 때 그 피해확대를 방지하기 위해 당해 기기에 대한 원재료의 송·입을 긴급 정지하는 안전밸브를 말하며, 동력원은 유압, 공기압, 전기 등이 있다. 그리고 이러한 밸브는 화재나 폭발로 차단기능이 손실되지 않도록 안전한 위치에 설치해야 한다. Fig 4는 울산지역에 설치된 공기압을 동력원으로 긴급차단장치의 설치 예이다.

2) 차단 밸브 관련 규정

사업소 외 배관에 긴급차단 밸브를 설치하는 기준은 한국가스안전공사의 기술코드인 “고압가스 특정제조 시설·기술·검사·감리·정밀안전검진 기준” 제2조 6항에 있으며[4], 독성 또는 가연성 가스 배관에 대하여 배관이 4km 연장되는 구간마다 긴급차단장치를 설치한다고 규정되어 있다. 하지만, 울산산업단지에서 설치된 배관은 대부분 긴급차단 밸브에 관한 규정 시행 이전에 설치되었다. Fig.1.에서 표시된 지역을 분석해 보면 긴급차단장치는 단 한 개의 노선에도 설치되어 있지 않다.

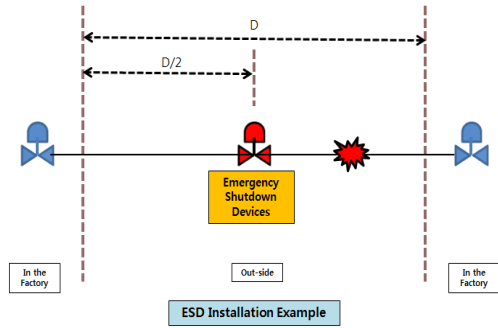


Fig. 3. An example of an emergency shut-off valve installation.

2.3 사고 영향평가(Consequence Analysis)

누출·확산·화재·폭발 등의 사고는 대형사고로 이어질 수 있으므로 잠재적인 위험요소로 인한 사고가 어느 범위까지 피해 영향을 줄 수 있는가를 평가하는 것이 안전에 있어 매우 중요하다. 본 연구에서는 피해 범위 산정이 가능한 정량적 위험성 평가 기법 중 하나인 CA (Consequence Analysis)를 수행하였다.

CA 수행을 위해서 ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres)를 사용했다. ALOHA는 미국의 National Oceanic and Atmospheric Administration이 개발한 무료 피해예측 프로그램으로 약 1,000가지 종류의 일반적인 유해 화학물질에 대한 물리적 특성이 저장되어 있어서 신속하게 결과를 얻을 수 있다. 다른 상용 프로그램보다 정확도가 떨어진다는 단점이 있지만, 무료로 사용할 수 있다는 장점이 있으며, ALOHA의 결과도 비교적 신뢰할 수 있다[6].

본 연구에서는 울산국가산업단지에서 발생한 누출사고의 최대 피해 범위를 분석하고 사고피해 영향 범위를 완화할 수 있는 긴급차단 밸브를 설치하였을 때 예상되는 피해 영향 범위와 비교 분석하여 긴급차단밸브가 어느 정도 역할을 하는지 정량적으로 분석하고자 한다. 앞에서 언급한 바와 같이 4km마다 연장되는 구간에 설치되어 있어서 본 연구에서는 총 4.9km 길이의 배관 한 가운데 위치에 긴급차단밸브를 설치하는 것으로 가정하였다. 긴급차단밸브를 많이 설치할수록 그 효과가 증대되었지만, 규정보다 더 엄격하게 설치하는 것은 실현 가능성이 없고, 관리의 문제점도 발생하기 때문에 본 연구에서는 규정을 만족하는 대상 배관에 단 한 개의 긴급차단밸브를 설치하는 것으로 가정하였다.



Fig. 4. A emergency shut-off valve.

Table 2. Yearly average weather conditions in Ulsan [7]

Temp.(°C)	Wind speed (m/s)	Wind direction
14.8	2.1	NNW

기상조건은 Table 2에 정리하였으며, 기상청의 국가기후데이터센터에서 2016년 울산지역 기상자료 [7]를 사용하였고 시나리오는 안전보건공단 가이드인 대안의 누출시나리오 산정에 관한 기술지침[8]에 따라 CA를 수행하였다.

III. 사례 연구

3.1 사고개요 및 정보수집

2014년부터 2016년까지 3년간 울산국가산업단지 사업장 외부에서 배관의 손상으로 인한 일어난 사고는 Table 3에서 보는 바와 같이 총 5건이다. 이 중 4건은 지하 배관에서 발생하였고 1건은 지하에서 입상되는 플랜지부에서 누출이 발생한 사고였다. 본 연구에서는 지하에 매설된 배관에 사고가 발생한 H사의 프로판 배관 누출사고에 대하여 사고의 규모 및 조치 상황을 분석하였다.

1) 프로판 누출사고

2014년 1월 3일(금) 04시 30분에 울산 남구 성암동 도로에서 H사 용연1공장의 사외배관이 타사의 공사로 인한 용접부 Crack으로 액화 프로판이 누출된 사고가 발생하였다 [9]. 다행히 누출을 일찍 발견하여 사외배관에 대한 긴급차단 조치를 하고 현장을 통제하는 비상대응이 신속하고 원활하게 이루어져 2차 사고(화재·폭발)로 이어지는 큰 사고는 방지할 수 있었다 [9].

사고로 인하여 사고지점에서 누출된 양은 Table 4의 배관 정보를 바탕으로 식 (1)을 이용하여 지하

Table 3. Accidents in Ulsan National Industrial Complex [2]

Date	Accident
2016.04.01	Damage to Nitrogen piping by Third parties during perforation for Nitrogen piping Installation at Onsan Intersection
2015.10.08	Hydrogen piping damage during geological survey drilling for high voltage cable installation in front of Ulsan factory in A industry
2014.10.27	Leakage accident due to damage of Hydrogen piping gasket on road in front of L Chemical in Ulsan Petrochemical Complex
2014.02.22	Damage of Xylene piping during to install stream piping at Onsan Port intersection
2014.01.03	Damage of Propane piping during burial construction for installing dangerous material transfer piping at Yong-Yeon intersection

배관의 내적을 계산하면 약 86m³로 여기에 프로판의 밀도를 0.493으로 하여 계산하면 총 43톤이 된다. 식(1)에서 V 는 내용적(m³), r 은 배관의 지름, D 는 배관의 길이를 의미한다.

$$V = \frac{\pi r^2}{4} D \quad (1)$$

3.2 사고 분석

위 사고의 사고조사보고서를 보면 사고 시점부터 퍼지 작업 종료까지 총 11시간 30분이 소요되었다 [9]. 사고 후 차단 밸브를 차단하고 배관 안의 내용물을 치환하는 데 오랜 시간이 걸리는 것을 확인할 수 있다. 사고가 발생한 배관의 차단장치는 공급자와 수요자시설의 양쪽 끝에 설치된 수동의 밸브가 유일한 차단장치로 설치되어 있다. 즉, 사고가 발생하면 양단 끝에 설치된 밸브가 차단되고 사고 관로의 배관 안에 들어 있는 내용물이 사고 장소 주변의 지상으로 빠져나오기만을 기다려야 하는 상황이 발생한다. 일부 사업장의 경우, 차단 밸브에 바이패스 또는 Drain 밸브가 설치되어 있는데 이러한 경우에 사고원점이 아닌 사업장 쪽에서 배관 안의 내용물을 배출할 수 있다. 따라서, 배관에서 사고가 발생하였을 경우 현장에서 대응팀이 할 수 있는 일은 2차 사고로 이어지지 않게 사고 주변을 통제하고 누출된 내용물을 희석하는 작업

Table 4. The information of propane pipes in this study [9]

Gas name	pressure	Diameter	Length
Propane	25 kg/cm ²	150 A	4,900 m

Table 5. Input information for simulating case 1 and 2

Material	PROPANE
Mass inventory	50/25 tonne
Temperature	15.6 °C
Release Location	1 cm
Atmospheric Temperature	14.8 °C
Wind speed	2.1 m/s
Stability Class	D

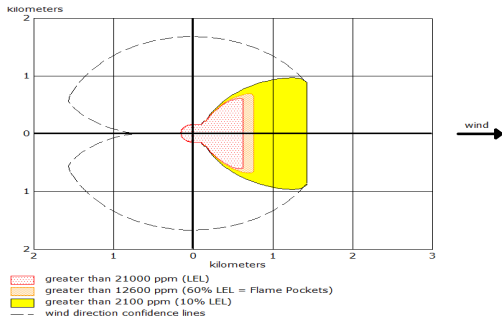


Fig. 5. Flammable Threat Zone (Propane) of case 1 when an emergency shut-off valve is not installed.

밖에 없다.

따라서, 긴급차단밸브를 설치하면 사고 발생 시 신속하게 해당 노선을 차단해 누출량을 줄일 수 있으며, 2차 사고가 발생하는 경우 피해 영향 범위를 줄일 수 있다.

본 연구에서는 Fig 3과 같이 관로의 중간 지점에 긴급차단장치를 설치하는 경우 어느 정도 사고의 피해 영향 범위를 완화할 수 있는지 검증하고자 한다.

3.3 시나리오 및 기상조건 선정

위에서 언급한 프로판 누출사고 발생 시 긴급차

단장치가 설치되어 있지 않은 경우와 설치된 경우를 정량적으로 비교·분석하고자 한다. 배관 정보는 Table 4의 정보를 이용하였다. 본 연구에 사용한 모델식과 이론은 참고문헌에서 살펴볼 수 있다 [10].

- 피해예측프로그램 : ALOHA
- 사고시나리오 : 대안의 누출시나리오 선정에 관한 기술지침 적용[8, 10]. 배관 내 부피 전체와 긴급차단 밸브로 차단 시 절반이 누출되는 것으로 가정. 지하 배관의 사고이지만 지표면에서 누출된 것으로 가정하였다.
- 사고물질 : 프로판 (CAS No. 74-98-6)
- Source Model : Puddle

IV. 사례 연구 결과 분석

(1) Case1: 프로판 누출에 따른 Flammable Threat Zone

Fig. 5는 Table 5의 Data를 바탕으로 긴급차단 밸브 적용 전과 후의 LEL (Lower Explosion Limit : 최소폭발한계)의 영향범위를 LEL, 60%LEL, 10%LEL로 단계별로 나누어 수행한 분석 결과이다. Fig. 6은 Table 5의 Data를 바탕으로 긴급차단 밸브가 설치되면 총누출량이 50%로 감소한다고 예상하여, LEL의 영향 범위를 단계별로 수행한 분석 결과이다. Fig. 7은 Fig. 5, 6의 Flammable Threat Zone을 비교한 그림이다. 긴급차단 밸브를 적용 전·후의 LEL의 범위가 631m에서 471m로 160m 감소하여 거리 기준으로 25.4% 감소함을 확인할 수 있다.

(2) Case2 : 프로판 누출에 따른 과압의 영향

Fig. 8과 9는 Table 5의 Data를 바탕으로 긴급차단밸브 설치 전후의 과압의 영향범위를 단계별 (1.0psi, 3.5psi, 8.0psi)로 나누어 수행한 분석 결과이다.

Fig. 10은 Fig. 8, 9의 값을 비교한 그림이다. Table 6에서 과압이 3.5psi(Red Zone)의 경우 긴급차단 밸브를 설치하면 거리 기준으로 25.5% 감소함을 확인할 수 있다. 과압이 8.0psi인 경우에는 측정 불가로 나왔는데, 이는 폭발 지점에서의 최대 과압이 8.0psi보다 작기 때문이다.

(3) 긴급차단밸브 개수에 따른 최소폭발한계와 과압의 변화 분석

본 연구에서는 대상 구역내에 밸브의 개수를 증가함에 따라 LEL과 과압의 영향 범위가 어떻게 변화하는지 분석하였다. Table 7은 긴급차단밸브 개수에 따른 LEL과 과압의 영향 범위를 보여주고 있다.

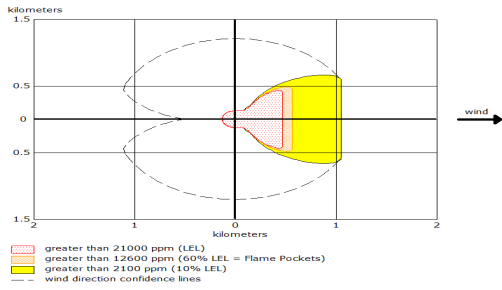


Fig. 6. Flammable Threat Zone (Propane) of case 1 in case an emergency shut-off valve is installed.

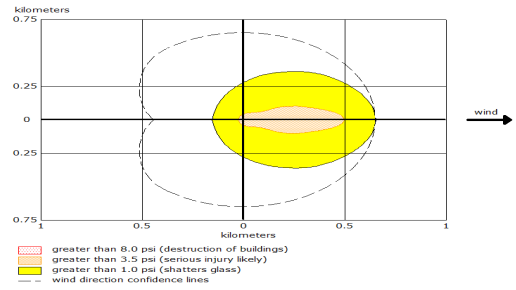


Fig. 9. Overpressure Threat Zone (Propane) of case 2 in case an emergency shut-off valve is installed.



Fig. 7. Overlapping flammable threat zone (Propane) of Fig. 5 and 6.



Fig. 10. Overlapping overpressure threat zone (Propane) of Fig. 8 and 9.

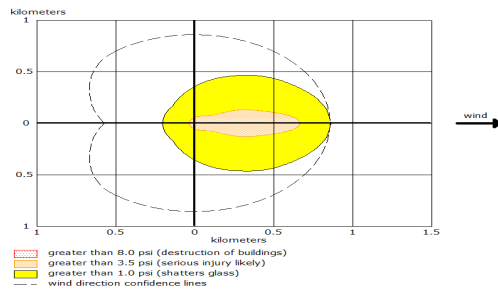


Fig. 8. Overpressure (Propane) of case 2 when an emergency shut-off valve is not installed.

밸브의 개수가 늘수록 LEL의 영향 범위는 거리 기준으로 각각 25.4%, 38.0%, 45.5%, 51.8% 감소함을 알 수 있다. 밸브의 개수가 늘수록 얻어지는 효과는 처음에 25.4%에서 12.6%, 7.5%, 6.3%로 감소하며, 한 개의 밸브를 설치하는 경우 투자 대비 효과가 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 과압(3.5psi)의

Table 6. The Results of Flammable and overpressure zone according to the installation of emergency safety valve

	Without valve	With valve	Mitigation Ratio
10% LEL	1.4 km	1.1 km	21.4%
60% LEL	763 m	563 m	26.2%
LEL	631 m	471 m	25.4%
1.0 psi	860 m	652 m	24.2%
3.5 psi	667 m	497 m	25.5 %
8.0 psi	None	None	-

경우 밸브의 개수가 늘수록 각각 25.5%, 37.9%, 45.1%, 51.4%로 영향 범위가 감소하며 이는 LEL의 경우가 매우 유사하다. 과압의 경우에도 한 개의 밸브를 얻어지는 효과가 가장 큰 것으로 나타났다.

Table 7. The Results of Flammable and over-pressure zone according to the number of emergency safety valve (Unit:km)

# of emergency valve	1	2	3	4
10% LEL	1.10	0.890	0.80	0.73
60% LEL	0.56	0.47	0.42	0.37
LEL	0.47	0.39	0.34	0.30
1.0 psi	0.65	0.55	0.49	0.43
3.5 psi	0.50	0.41	0.37	0.32

V. 결 론

본 연구에서는 사고의 피해 영향 범위를 감소시키는 방안으로 사업소 외 배관 중간 지점에 긴급차단 밸브 설치를 가정하고 피해 영향 범위를 분석하였다. 노선의 중간 지점에 긴급차단 밸브를 설치 시 긴급차단으로 누출량이 전체의 50% 감소한다는 가정에 따라 ALOHA를 이용한 피해 영향 범위를 분석한 결과 다음과 같이 분석되었다.

- 프로판 배관에서 가스 누출 시 긴급차단 밸브 설치 전·후의 Flammable Threat Zone과 과압(3.5 psi)의 영향 범위를 분석한 결과 거리 기준으로 각각 25.4%, 25.5% 감소하였다.

분석 결과 긴급차단 밸브를 설치하면 Flammable Threat Zone과 과압이 거리 기준으로 최소 20% 이상 피해 영향 범위 감소 효과가 있으며, 밸브의 개수에 따른 결과를 분석해 보면, 차단 밸브 하나로 사고의 영향 범위를 크게 줄여주는 효과가 있음을 분석 결과를 확인할 수 있다. 일반적으로 피해예측모델의 경우 2차원 평면상에서 기체가 누출되거나 압력, 에너지가 확산하는 범위를 계산하기 때문에 밸브가 한 개 설치되는 경우 LEL과 과압의 영향 거리가 25% 정도 감소하는 것으로 계산되었는데 이 경우 영향 범위의 부피가 대략 50% (0.75×0.75) 정도 준다고 볼 수 있으므로 본 연구에서 가정한 누출량의 절반이 준다고 한 것과 일치함을 확인할 수 있다. 현재 설치된 울산국가산업단지 내 사업소 외 배관에는 대부분 긴급차단 밸브가 설치되어 있지 않은 상태이고 특히, 본 연구에서 확인한 조사한 구간의 12사의 32개 노선에는 단 한 곳도 설치되어 있지 않았다. 따라서, 긴급차단밸브를 설치하는 개선계획이 시급히 수립되어야 할 것이다.

감사의 글

이 성과는 2015년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2015R1C1A1A02036567).

REFERENCES

- [1] Ulsan Metropolitan City, Report on the Establishment of Safe Response System for Hazardous Chemical Substance in Ulsan National Industrial Complex, (2015)
- [2] Ulsan Joint Inter-agency Chemical Emergency Preparedness Center, Annual Accident Statistical Data Report, (2016).
- [3] Choi, H.-W., Jung, S.-K., Kim, Jin-Jun, "A Study on the Safety Management of High Pressure Underground Pipeline in Industrial estate", Journal of the Korean Institute of Gas, 21(6), 30-38, (2017)
- [4] Korea Gas Safety Corporation, Facility/Technical/Inspection/Supervision/Safety Diagnosis Code for Specified Production of High-pressure Gases, (2019)
- [5] Ulsan Metropolitan City, Underground Pipe Network Integrated Management System (GIS), (2018)
- [6] Hanna, S., I., Dharmavaram, S., Zhang, J., Sykes, I., Witloz, H., Khajehnajafi, S., Koslan, K., "Comparison of Six Widely-Used Dense Gas Dispersion Models for Three Recent Chlorine Railcar Accidents", *Process Saf. Prog.*, 27, 248-259, (2008)
- [7] Korea Meteorological Administration, <http://www.kma.go.kr>
- [8] Korea Occupational Safety and Health, Technical Guideline on the selection of the Worst and Alternative Leak Scenario, (2016)
- [9] Korea Gas Safety Corporation, H. Co. Ltd. Outside Piping(Propane) Gas Leakage Accident Report, (2016)
- [10] National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA), ALOHA Technical Documentation, (2013)
- [11] Korea Ministry of Trade, Industry and Energy, Ulsan · Onsan National Industrial Complex Underground Piping Safety Diagnosis, (2015)