

가상체적을 이용한 폭발위험장소 구분의 타당성 검토

임지표 · 정창복*

한국산업안전보건공단 · *전남대학교 응용화학공학부
(2014. 8. 20. 접수 / 2014. 10. 15. 수정 / 2014. 10. 24. 채택)

Validity Review on Classification of Explosion Hazardous Area using Hypothetic Volume

Ji-Pyo Yim · Chang-Bock Chung**

Korea Occupational Safety & Health Agency

*School of Applied Chemical Engineering, Chonnam National University

(Received August 20, 2014 / Revised October 15, 2014 / Accepted October 24, 2014)

Abstract : It is very important to classify explosion hazardous area (EHA) suitably and to use proper explosion-proof electric installations for facilities using flammable gases and liquids. In the past, various examples in the Notification of Ministry of Employment and Labor were referred to in classifying EHA. But, at present, many companies use the hypothetical volume in Korean Standards (KS). This study reviews the validity of EHA classification based on the hypothetical volume by comparing the calculated radii of EHA with those obtained by a consequence analysis program called PHAST and a mathematical approach in British Standards (BS)¹⁾. The radii of EHA by the hypothetical volume were found to be slightly larger than those by the other two methods. This was attributed to rather conservative uses of a safety factor(k) and a correction factor(f) for availability of ventilation in calculating the hypothetical volume. Since the differences are not so conspicuous, however, it is concluded that the hypothetical volume in KS is a valid means for the classification of EHA. This study also presents a table of the radii of EHA for easy reference by small-scale companies using city gas, C3-LPG and flammable liquid(toluene), respectively. The table consists of 25 leakage scenarios corresponding to combinations of 5 pipe(nozzle) sizes and 5 operating conditions for each flammable gas and liquid.

Key Words : LPG, city gas, toluene, explosion hazardous area, hypothetical volume

1. 서론

도시가스, LPG 등의 인화성가스와 톨루엔 등의 인화성액체는 가정이나 공장에 없어서는 안 될 중요한 물질이지만 누출시 화재나 폭발이 발생할 수 있는 위험한 물질이다. LPG는 가정용 및 운송용뿐만 아니라 산업용으로 많이 사용하고 있다. 산업용의 경우 LPG는 압축시켜 포화액체 상태로 Fig.1과 같이 저장하며, 필요시 기화기를 통해 가스 상태로 변환한 후 배관을 통해 이송하여 사용한다. 특히 금속의 용단작업이 주로 이루어지는 철강 또는 조선 업종에서는 가스 상태의 LPG를 분배기(manifold)에 호스를 연결하여 사용한다.

도시가스는 주로 보일러나 건조설비 등의 연료로 사용되고 있으며 과거에 사용되던 병커씨유를 대체해가

는 추세이다. 도시가스는 대부분 가스 상태로 공급하여 정압실에서 1차 감압 후 원하는 압력으로 2차 감압



Fig. 1. LPG storage tank.

* Corresponding Author : Chang-Bock Chung, Tel : +82-62-530-1884, E-mail : chungcb@jnu.ac.kr
School of Applied Chemical Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757 Korea.

하여 사용하지만, 도시가스가 공급되지 않는 일부 지역에서는 저온의 액체 상태로 저장한 후 기화시켜 사용하기도 한다.

석유화학공장에서는 톨루엔 등 인화성액체를 제품 또는 원료로 다량 취급하고 있어 안전관리를 철저히 하고 있지만 인화성액체를 용매 등으로 비교적 소규모로 사용하는 중소규모 화학공장에서는 그렇지 못한 실정이다. 특히 용매로 사용하는 인화성액체에 의한 위험분위에서 원료를 주입하거나 제품을 배출하는 과정에서 증기가 폭발하는 사고가 빈번하게 발생하고 있다.

일반적으로 도시가스는 메탄이 주성분이며 LPG의 경우 운송용은 부탄(C₄H₁₀), 가정용이나 사업장용은 프로판(C₃H₈)으로 주로 이루어져 있다. 메탄, 프로판(C3-LPG) 및 톨루엔의 주요 성상은 Table 1과 같다. 도시가스는 공기보다 가벼워 누출될 경우 쉽게 확산되지만 프로판은 공기보다 무거워 확산되지 않고 바닥에 체류할 가능성이 높다. 특히 상온에서 액체인 톨루엔은 누출될 경우 지면에서 액면을 형성한 후 공기보다 무거운 증기를 발생시키므로 누출될 경우 화재나 폭발이 발생할 가능성이 높다.

이와 같이 도시가스, LPG, 톨루엔 등의 누출에 의한 화재 및 폭발 사고가 자주 발생하고 있지만 아직도 선박건조 업체, 금속 용단 업체, 중소규모 화학공장 등에서는 인화성액체나 인화성가스 사용시설의 주변을 폭발위험장소로 구분하지 않거나 구분하더라도 점화원에 대한 관리가 미흡한 편이다.

API(American Petroleum Institute)²⁾, NFPA(National Fire Protection Association)³⁾ 등에서는 폭발위험장소의 범위에 대해 다양한 예를 제시하여 이를 이용하도록 하고 있으며 국내에서도 과거에는 고용노동부 고시에 의해 이를 준용하도록 하였다. API 등의 규격에서 제공하는 폭발위험장소의 범위는 Table 2와 같다.

Table 1. Properties of methane, propane & toluene

Material	M.W.	Boiling point(°C)	Density (kg/m ³)	Gas specific gravity(15°C)	Explosion range(%)
Methane	16	-162	422@-160°C	0.55	5.0~15.0
Propane	44	-42	590@-50°C	1.5	2.1~9.5
Toluene	92	111	867@20°C	3.2	1.3~7.0

Table 2. Examples of EHA classification

Code	Methane	Propane	Toluene
IEC/KS	-	1 m	3/1 m
API	4.5/7.5 m	15/7.5 m	15/7.5 m
NFPA	4.5 m	4.5 m	15/7.5 m

그러나 2011년 산업안전보건법이 개정되어 폭발위험장소의 구분을 KS(Korean Industrial Standards)⁴⁾ 기준을 따르도록 하고 있다. 이 기준에서는 가상체적에 의해 환기등급을 결정하여 폭발위험장소의 형태 즉, 0종, 1종, 2종 또는 비위험 장소를 결정하고 있으나 폭발위험장소의 범위는 간단한 예시만 제시하고 있을 뿐 정확한 범위는 전문가에게 문의하도록 하고 있다. 하지만 최근 들어 석유화학업종이 아닌 전자, 자동차, 철강 등의 업종과 중소규모 화학공장에서는 가상체적을 폭발위험장소의 범위를 계산하는데 활용하고 있다. KS 또는 IEC(International Electrotechnical Commission)⁵⁾ 기준에 의한 가상체적을 이용한 폭발위험장소의 범위는 누출구의 면적에 따라 차이는 있지만 API 등에서 제시한 예시 보다 훨씬 좁은 경향이 있다. 이는 앞에서 언급한 API 등과는 반대로 너무 경제적인 면에 치중한 결과이다.

따라서 이 연구에서는 도시가스(메탄), C3-LPG(프로판) 및 톨루엔 즉, 공기보다 가벼운 인화성가스, 공기보다 무거운 인화성가스 및 인화성액체의 취급설비를 예를 들어 가상체적을 이용하여 폭발위험장소의 범위를 설정하는 것에 대한 타당성을 피해예측프로그램인 PHAST와 BS(British Standards)의 수학적 방법¹⁾을 활용하여 검토하고자 한다. 아울러 중소규모 화학공장 등에서 쉽게 사용할 수 있도록 Yim과 Chung⁶⁾이 제안한 배관(노즐) 크기와 운전조건에 의해 25개의 범주로 구분하여 3가지 물질의 폭발위험장소 범위를 나타내는 표를 제시하고자 한다. 이를 통해 보다 안전하고 경제적으로 폭발위험장소를 선정하도록 하여 화재 및 폭발 사고를 예방하고자 한다.

2. 폭발위험장소 구분

2-1. 가상체적을 활용한 폭발위험장소의 구분

가. 누출량

도시가스(메탄), C3-LPG(프로판), 톨루엔은 증기압이 각각 달라 사업장에서 취급되는 상태가 다르다. 즉, 도시가스는 가스 또는 2상 상태(과냉액체)로, C3-LPG는 가스 또는 2상 상태(포화액체)로 취급된다. 톨루엔은 주로 액체 상태로 취급되지만 고온에서 증기(가스) 상태로 다룰 수 있다. 여기서 2상 상태는 상온에서 가스인 도시가스와 C3-LPG를 냉각 또는 압축시켜 과냉(subcooled) 또는 포화(saturated) 액체로 저장하던 중 누출되는 순간 증발이 발생하는 상태를 나타낸다. 이 연구에서는 Table 3~5에 나타난 바와 같이 각 물질 별로 5가지 누출 상태(온도 또는 압력) 및 5가지 배관(노즐)

Table 3. Release scenarios for city gas

P(MPa) Size(mm)	Under 0.02	Under 0.1	Under 0.5	Above 0.5	0.5 (-162℃)
Under 25	Scen 1	Scen 6	Scen 11	Scen 16	Scen 21
Under 50	Scen 2	Scen 7	Scen 12	Scen 17	Scen 22
Under 100	Scen 3	Scen 8	Scen 13	Scen 18	Scen 23
Under 200	Scen 4	Scen 9	Scen 14	Scen 19	Scen 24
Above 200	Scen 5	Scen 10	Scen 15	Scen 20	Scen 25

Table 4. Release scenarios for C3-LPG

P(MPa) Size(mm)	Under 0.02	Under 0.1	Under 0.5	Above 0.5	P ^{sat} (Amb)
Under 25	Scen 1	Scen 6	Scen 11	Scen 16	Scen 21
Under 50	Scen 2	Scen 7	Scen 12	Scen 17	Scen 22
Under 100	Scen 3	Scen 8	Scen 13	Scen 18	Scen 23
Under 200	Scen 4	Scen 9	Scen 14	Scen 19	Scen 24
Above 200	Scen 5	Scen 10	Scen 15	Scen 20	Scen 25

Table 5. Release scenarios for toluene

P(MPa) Size(mm)	Under 0.02(Vapor)	Under 0.2(Vapor)	Above 0.2(Vapor)	Under 0.5(Liquid)	Above 0.5(Liquid)
Under 25	Scen 1	Scen 6	Scen 11	Scen 16	Scen 21
Under 50	Scen 2	Scen 7	Scen 12	Scen 17	Scen 22
Under 100	Scen 3	Scen 8	Scen 13	Scen 18	Scen 23
Under 200	Scen 4	Scen 9	Scen 14	Scen 19	Scen 24
Above 200	Scen 5	Scen 10	Scen 15	Scen 20	Scen 25

크기를 조합한 총 25개의 누출 시나리오를 설정하였다. 도시가스는 Yim과 Chung⁶⁾이 사용한 것과 동일하고, C3-LPG는 도시가스와 거의 유사하지만 도시가스의 과냉액체를 포화액체로 대체하였다. 톨루엔의 경우 증기 상태와 액체 상태로 나누어 각각 15개 및 10개 시나리오로 나타내었다.

누출속도는 사용압력과 배관크기가 클수록 증가한다. 누출속도 계산에 가장 중요한 누출원의 면적은 KS나 IEC 규격에서 제시하지 않고 있다. 이 연구에서는 각각의 배관 크기의 범위에 대해 Yim과 Chung⁶⁾이 제시한 0.25 mm², 1.0 mm², 2.5 mm² 및 5.0 mm² 및 10.0 mm²를 사용하였다. 누출량은 가스보다는 액체 상태로 누출될 경우 훨씬 많아 폭발위험장소의 범위에도 영향을 미친다. KS에는 기체와 액체 상태 누출에 대한 계산식이 단순화되어 있을 뿐만 아니라 2상 상태 누출이 반영되어 있지 않으므로 이 연구에서는 KOSHA guide⁷⁾를 참조하여 누출량을 계산하였다. 단 가스(증기), 포화

액체 및 과냉액체로 취급되는 경우의 계산식과 계산과정은 Yim과 Chung이 기술한 내용과 동일하여 생략하였고 액체 상태로 취급되는 톨루엔의 대해서는 다음식을 활용하였다.

$$Q = C_D \rho_L A \left[\frac{2g_c(P_1 - P_a)}{\rho_L} + 2gh \right]^{1/2} \quad (1)$$

여기서,

- Q : 누출량(kg/sec)
- C_D : 누출계수(무차원)
- ρ_L : 액체밀도(kg/m³)
- A : 누출원 면적(m²)
- g_c : 중력상수(9.8 kg · m/kgf · sec²)
- P₁ : 사용압력(kgf/m²)
- P_a : 대기압력(kgf/m²)
- g : 중력가속도(9.8 m/sec²)
- h : 탱크 최대 액위(m)

도시가스, C3-LPG, 톨루엔에 대해 앞서 제시한 25개의 시나리오 별로 누출량을 계산하였다. 그러나 여기서는 총 25개의 시나리오 중 3개의 배관(노즐) 크기(50 mm, 200 mm 및 300 mm)와 각 물질 별로 Table 6에 보인 3개의 운전 조건을 조합한 9개의 시나리오에 대해서만 결과를 간추려 Table 7에 나타내었다.

Table 6. Operating conditions for 3 materials

City gas	C3-LPG	Toluene
0.03 MPa, Ambient (Gas)	0.03 MPa, Ambient (Gas)	0.03 MPa, 200℃ (Vapor)
0.3 MPa, Ambient (Gas)	0.3 MPa, Ambient (Gas)	0.3 MPa, 200℃ (Vapor)
5.0 MPa, -162℃ (Subcooled liquid)	P ^{sat} , 25℃ (Saturated liquid)	0.8 MPa, 25℃ (Liquid)

Table 7. Release rates for selected scenarios

No.	DN size (mm)	Release size(mm ²)	City gas (g/s)	C3-LPG (g/s)	Toluene (g/s)
7	50	1.0	0.19	0.31	0.35
9	200	5.0	0.96	1.56	1.77
10	300	10.0	1.92	3.12	3.53
12	50	1.0	0.67	1.06	1.18
14	200	5.0	3.36	5.29	5.92
15	300	10.0	6.72	10.57	11.8
22	50	1.0	21.1	6.54	38.5
24	200	5.0	105.6	32.68	192.7
25	300	10.0	211.2	65.37	385.4

계산결과는 누출원의 면적이 같을 경우 가스 또는 증기일 때는 가스 비중에 따라 누출량이 증가하고, 액체상태가 2상 상태보다 크며, 2상 상태에서는 과냉 액체가 포화 액체보다 누출량이 크다는 것을 알 수 있다.

나. 폭발위험장소 범위 선정⁴⁾

Table 8은 Table 7에 수록된 시나리오에 대해 가상체적(Vz)을 통해 폭발위험장소의 범위를 계산한 결과를 보여준다. 가상체적에 의해 계산된 결과 중 최대 범위를 API나 NFPA와 비교하면, 도시가스의 경우는 다소 넓은 편이고 톨루엔의 경우는 상당히 좁은 편이며 C3-LPG의 경우는 큰 차이를 보이지 않고 있다. 위험물의 종류에 따라 비교하면 같은 크기의 배관(노즐) 및 압력 조건에서는 가스보다는 액체 상태에서 누출량 및 폭발위험장소의 범위가 크며, 가스 또는 증기 상태에서는 비중이 큰 톨루엔의 누출량은 많지만 폭발위험장소의 범위는 비중 및 폭발하한계(LEL)의 영향을 받으므로 세 종류의 위험물이 비슷한 범위를 나타낸다. 또한 포화액체보다는 과냉액체, 과냉액체 보다는 톨루엔과 같이 상온에서 액체상태인 경우의 범위가 넓게 나

타난다. 이런 결과로부터 누출원의 면적을 일괄적으로 적용하기는 곤란하고 물질의 종류에 따라 다양한 기준을 세워야 할 것으로 사료된다. Fig.2는 도시가스 등 세 종류의 물질에 대한 시나리오별 폭발위험장소의 범위를 도표로 나타낸 것이다.

2-2. PHAST를 활용한 폭발위험장소의 구분

PHAST는 인화성가스 등의 위험물이 누출될 경우 확산에 의한 농도, 화재에 의한 복사열 및 폭발에 의한 과압 등을 예측하는 프로그램이다. 이 프로그램을 이용하여 Table 7에 수록한 9개의 시나리오에 대해 C3-LPG 등의 위험물이 누출되어 폭발하한계(LEL)의 농도로 확산되는 거리를 구하여 폭발위험장소로 구분하였다. PHAST는 기상조건, 공기의 저항, 바람의 영향 등 누출되는 위험물의 확산에 영향을 미치는 모든 조건을 고려하여 실제 확산 농도를 계산하는 프로그램이므로 폭발하한계(LEL)의 25% 또는 50%를 적용하지 않고 100%를 적용하였다.

Table 9는 PHAST를 활용하여 폭발하한계(LEL)의 농도가 형성되는 거리 즉, 폭발위험장소의 반경을 구한 결과이다. 가상체적에 의해 계산된 결과와 비교할 때 모든 시나리오에서 폭발위험장소의 범위가 다소 짧게 나타난다. 이는 가상체적에서는 안전율(k)과 보정계수(f)를 적용하여 보수적으로 계산하는 반면, PHAST에서는 기상조건 등을 고려하여 정확히 산출하기 때문이다. 하지만 두 방법에 의해 계산된 결과는 큰 차이를 보이지 않아 가상체적을 이용하여 폭발위험장소의 범위를 설정하는 방식이 타당하다고 볼 수 있다. Fig.3은 PHAST를 활용하여 도시가스, LPG 및 톨루엔 누출 시나리오 15와 25에 대한 확산 결과를 보여주는 그래프이다.

Table 8. EHA using Vz

Scenario	Hypothetical volume(m ³)			Radius(m)		
	Ctiy gas	C3-LPG	Toluene	Ctiy gas	C3-LPG	Toluene
7	2.0	2.7	2.4	0.8	0.9	0.8
9	9.8	13.7	12.0	1.3	1.5	1.4
10	19.6	27.5	24.1	1.7	1.9	1.8
12	6.8	9.3	8.1	1.2	1.3	1.2
14	34.1	46.6	40.3	2.0	2.2	2.1
15	68.3	93.1	80.6	2.5	2.8	2.7
22	214.7	57.6	262.4	3.7	2.4	4.0
24	1,073.5	287.8	1,311.7	6.4	4.1	6.8
25	2,147.1	575.6	2,623.5	8.0	5.2	8.6

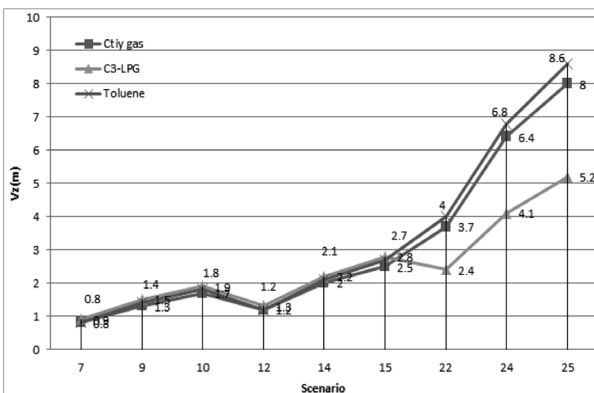


Fig. 2. Hypothetical volume for three materials.

Table 9. EHA using PHAST

No.	DN size (mm)	City gas (m)	C3-LPG (m)	Toluene (m)	State
7	50	0.1	0.1	0.1	Gas/Vapor
9	200	0.2	0.3	0.3	Gas/Vapor
10	300	0.3	0.5	0.5	Gas/Vapor
12	50	0.1	0.2	0.2	Gas/Vapor
14	200	0.4	0.5	0.5	Gas/Vapor
15	300	0.6	0.8	0.7	Gas/Vapor
22	50	2.2	1.4	2.5	Liquid
24	200	4.4	3.2	4.6	Liquid
25	300	6.6	4.5	6.4	Liquid

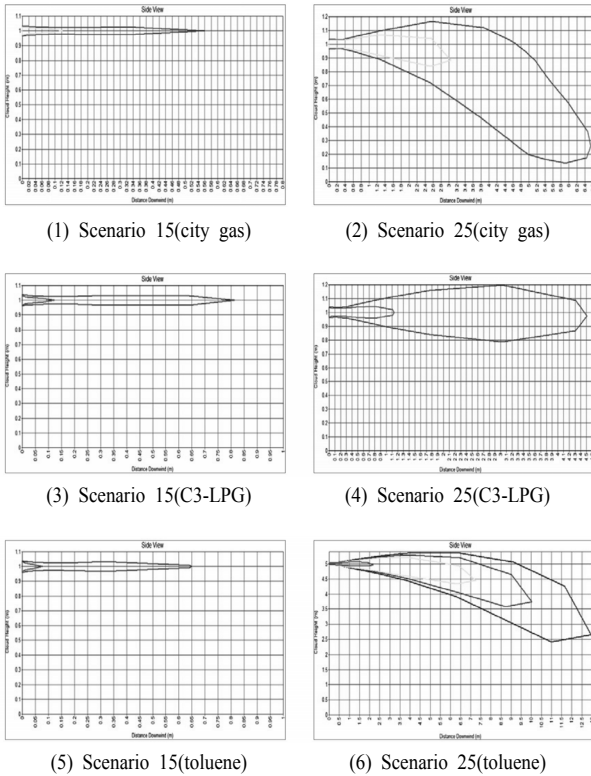


Fig. 3. Diffusion results from PHAST.

2-3. BS의 수학적 방법을 활용한 폭발위험장소의 구분¹⁾

BS의 수학적 방법은 위험물의 누출량과 폭발위험장소의 범위를 가스상태, 상온·상압에서 비점보다 낮은 액체상태(톨루엔 등) 및 상온·상압에서 비점보다 높은 액체상태(도시가스, C3-LPG 등)로 구분하여 수학적으로 접근하여 계산한다. 하지만 이 연구에서는 누출원에 대해 폭발위험장소의 범위를 반경으로 나타내기 위해 가스상태의 누출에 적용되는 식을 활용하였다. 즉, 포화액체, 과냉액체 등은 누출되는 순간 일부는 증발하고, 나머지는 일정 거리를 이동하여 증발함으로써 폭발위험장소를 형성하는 특성을 가지고 있지만 이를 무시하고 누출되는 양이 전부 누출원 주위에서 증발하여 폭발분위기를 조성하는 것으로 가정하였다. 실제로 가상체적에 의한 방법도 가스 또는 액체 상태에 관계없이 누출량에 의한 가상체적이 폭발위험장소의 범위를 형성한다고 가정한다.

BS의 수학적 접근법은 가스상태의 경우 음속이상과 음속미만으로 누출되는 것으로 구분한다.

$$X = 2,100 \times \left(\frac{Q}{LEL_v^2 \times M_w^{1.5} \times T_1^{0.5}} \right)^{0.5} \text{ (음속이상)} \quad (2)$$

$$X = 10.8 \left(\frac{Q \times T_1}{M_w \times LEL_v} \right)^{0.55} \text{ (음속미만)} \quad (3)$$

여기서,

- X : 폭발위험장소의 범위(m)
- Q : 누출량(kg/s)
- LEL_v : 부피기준의 폭발하한계(volume %)
- M_w : 분자량(kg/kgmol)
- T_1 : 운전온도(°K)

하지만 포화액체 상태의 LPG와 과냉액체 상태의 LNG는 미스트를 형성할 수 있으므로 계산된 범위에 1.5를 곱하여 최종 반경을 계산하였다. Table 10에 9개 시나리오에 대한 폭발위험장소의 범위를 표시하였다.

2-4. 폭발위험장소의 비교

이 연구에서는 IEC/KS의 가상체적에 의한 방법, PHAST를 활용한 방법 및 BS의 수학적 방법을 활용하여 폭발위험장소의 범위를 설정하여 보았다. Fig.4~6에는 도시가스, C3-LPG 및 톨루엔 취급 설비 주변에 대해 3가지 방법에 의해 계산된 폭발위험장소의 범위를 나타내고 있다.

가상체적에 의한 폭발위험장소의 범위가 PHAST의 결과보다는 대부분 넓게 계산되는 것을 알 수 있다. 반

Table 10. EHA using BS's mathematical approach

No.	DN size (mm)	City gas (m)	C3-LPG (m)	Toluene (m)	State
7	50	0.1	0.2	0.2	Gas/Vapor
9	200	0.3	0.6	0.5	Gas/Vapor
10	300	0.4	0.9	0.8	Gas/Vapor
12	50	0.4	0.4	0.4	Gas/Vapor
14	200	0.9	1.0	0.9	Gas/Vapor
15	300	1.3	1.4	1.3	Gas/Vapor
22	50	3.5	1.7	2.6	Liquid
24	200	7.9	3.9	5.8	Liquid
25	300	11.2	5.5	8.2	Liquid

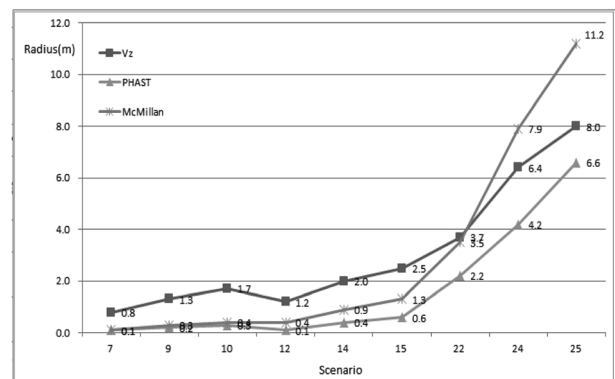


Fig. 4. EHA of city gas.

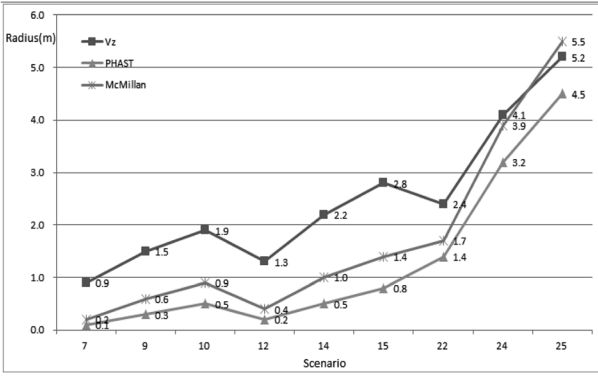


Fig. 5. EHA of C3-LPG.

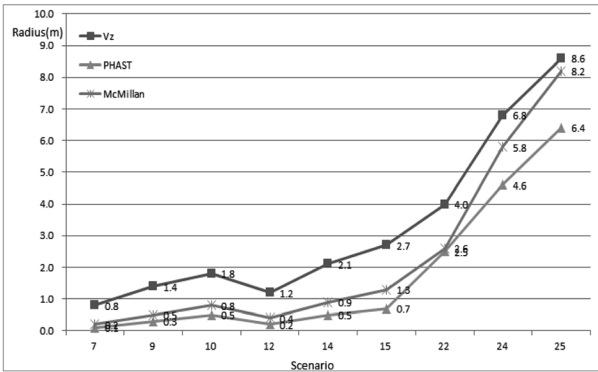


Fig. 6. EHA of toluene.

면 BS의 수학적 방법과 비교할 경우 일부 액체로 취급될 때에는 가상체적에 의한 범위가 다소 좁게 계산되는 것을 알 수 있다. 이는 BS의 수학적 방법에서 포화액체와 과냉액체의 경우 미스트를 형성하는 것을 가정하여 계산된 반경에 1.5를 곱하여 최종 범위를 계산하기 때문일 것이다. 하지만 전체적으로 3가지 방법의 의한 결과는 큰 차이를 보이지 않으며 비슷한 경향을 나타낸다.

가상체적에 의한 방법은 폭발위험장소의 범위를 반경으로만 계산한다. 반면에 API나 NFPA에서는 이 범위를 반경으로만 나타내지 않으며 PHAST나 BS의 수학적 방법도 반경으로만 계산되는 것은 아니다. 즉, API 등은 누출지점과 지면에서 각각 다른 거리를 반경으로 나타낸다. PHAST는 누출방향 즉, 수직 또는 수평 누출에 따라 상·하 또는 좌·우의 반경이 달라질 수 있다. BS의 수학적 방법은 액체상태(2상상태 포함)로 누출되면 누출지점에서 증발된 양에 의해 반경이 계산되고 증발되지 않은 양은 압력과 누출높이에 의해 이동한 후 증발하는 것을 고려하여 누출지점과 별도로 반경을 계산하여 폭발위험장소의 범위를 결정한다. 결국 도시가스와 같이 상온에서 가스상태인 위험물을 가

스상태로 취급하는 경우에는 가상체적에 의한 방법은 효율적이지만, 액체상태(포화액체 또는 과냉액체 포함)로 취급되는 설비에 대해서는 다른 방법을 병행해야 더욱 효과적인 방법이 될 것이다. 예를 들면 BS의 수학적 방법을 참고로 액체상태로 취급될 경우 순간증발량을 계산하여 누출지점에서 반경을 계산하고 증발되지 않은 나머지가 이동한 거리를 계산 후 도착한 지점에서 별도의 가상체적을 계산하여 반경을 구하는 방법 등이 있을 것이다.

3. 가스폭발위험장소 구분표

이 연구에서는 중소규모 화학공장 및 전자, 자동차, 철강 등 비석유화학업종의 옥외에 설치된 도시가스, C3-LPG 및 톨루엔 사용시설의 배관크기와 운전조건에 따라 폭발위험장소의 범위를 바로 산정할 수 있는 표를 제시하였다. 중소규모 화학공장 등에서는 API 등을 참고하여 폭발위험장소의 범위를 설정할 경우 지나치게 넓게 설정할 수 있으며 KS의 가상체적에 의해 설정하기 위해서는 많은 노력이 필요하거나 컨설팅 비용이 소요되기 때문에 제시된 표를 참조하는 것이 대안이 될 것이다. 도시가스, C3-LPG 및 톨루엔에 대한 폭발위험장소의 범위는 배관크기 및 운전조건에 의해 25개의 시나리오로 구분되며 Table 11~13에 나타내었다.

도시가스를 취급하는 설비의 경우 Table 11에서와 같이 배관(노즐) 크기 및 운전 조건에 따라 폭발위험장

Table 11. EHA matrix for city gas

Size(mm) \ P(MPa)	Under 0.02	Under 0.1	Under 0.5	Above 0.5	0.5 (-162℃)
Under 25	0.5 m	0.7m	1.0 m	1.5 m	2.5 m
Under 50	0.7 m	1.0m	1.5 m	2.5 m	4.0 m
Under 100	1.0 m	1.3m	2.0 m	3.5 m	5.0 m
Under 200	1.2 m	1.6m	2.5 m	4.0 m	6.5 m
Above 200	1.6 m	2.0m	3.0 m	5.0 m	7.5 m

Table 12. EHA matrix for C3-LPG

Size(mm) \ P(MPa)	Under 0.02	Under 0.1	Under 0.5	Above 0.5	P^{sat} (Amb)
Under 25	0.5 m	0.7m	1.0 m	1.5 m	2.0 m
Under 50	0.8 m	1.0m	1.5 m	2.0 m	3.0 m
Under 100	1.2 m	1.5m	2.0 m	2.5 m	4.0 m
Under 200	1.6 m	2.0m	3.0 m	3.5 m	5.0 m
Above 200	2.0 m	2.5m	3.5 m	4.0 m	6.0 m

Table 13. EHA matrix for toluene

P(MPa) Size(mm)	Under0.02 (Vapor)	Under0.2 (Vapor)	Above0.2 (Vapor)	Under0.5 (Liquid)	Above0.5 (Liquid)
Under 25	0.6 m	1.0 m	2.0 m	2.5 m	3.0 m
Under 50	1.0 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	5.0 m
Under 100	1.3 m	2.0 m	3.5 m	4.5 m	6.5 m
Under 200	2.0 m	2.5 m	4.0 m	6.0 m	8.0 m
Above 200	2.5 m	3.5 m	5.0 m	7.5 m	10.0 m

소의 반경을 최소 0.5 m, 최대 7.5 m로 설정할 수 있다. 이때 폭발위험장소의 반경은 배관의 크기나 사용 압력이 증가함에 따라 증가하여 가스 상태에서는 최대 5.0 m로 선정할 수 있으며, 과냉액체 상태로 취급되는 200 mm 이상의 배관(노즐)에 대해서 반경 7.5 m를 폭발위험장소의 범위로 설정할 수 있다.

C3-LPG 취급 설비의 경우도 Table 12와 같이 배관(노즐) 크기 및 운전 조건에 따라 폭발위험장소의 반경을 0.5~6.0 m로 설정할 수 있으며, 배관의 크기나 사용 압력이 증가함에 따라 반경이 증가하고 200 mm 이상의 배관(노즐)에서 가스로 취급되는 경우 최대 4.0 m, 포화액체 상태로 취급되는 경우 최대 반경인 6.0 m를 설정할 수 있다.

마지막으로 Table 13에 표시된 톨루엔 취급 설비의 폭발위험장소의 반경은 0.6~10.0 m로 설정할 수 있다. 마찬가지로 폭발위험장소의 반경은 배관(노즐) 크기 및 운전조건에 따라 증가하는데 200 mm 이상의 배관에서 운전 압력이 5 MPa 이상인 액체 상태로 취급되는 경우 최대 10.0 m를 설정할 수 있다.

가상체적을 활용한 폭발위험장소의 범위는 누출량에 비례하고, 동일한 조건에서 누출량은 비중에 영향을 받으므로 톨루엔, C3-LPG, 도시가스 순으로 크다. 또한 폭발위험장소의 범위는 분자량과 폭발하한계(LEL)의 곱에 반비례하므로 같은 누출량에서는 도시가스, C3-LPG, 톨루엔 순으로 넓다. 이런 내용을 고려하면 C3-LPG의 폭발위험장소의 범위는 도시가스의 범위보다 넓지만 시나리오 16~20의 경우 도시가스의 압력이 C3-LPG의 압력보다 훨씬 높을 수 있으므로 도시가스의 범위를 넓게 제시하였다. 또한 시나리오 21~25의 경우도 포화액체와 과냉액체가 동일한 구멍으로 누출될 경우 과냉액체가 많이 누출되기 때문에 도시가스의 폭발위험장소의 범위가 넓다. 마찬가지로 상온에서 액체인 톨루엔이 상온에서 기체인 C3-LPG나 도시가스(LNG)보다 동일한 조건에서 다량 누출되기 때문에 폭발위험장소의 범위를 넓게 제안하였다.

4. 결론

이 연구에서는 IEC/KS 기준에 의한 가상체적을 이용하여 도시가스, LPG 및 톨루엔 취급설비 주변에 대한 폭발위험장소의 범위를 계산하였다. 먼저 가상체적의 계산에 필요한 누출구의 면적은 Yim과 Chung⁶⁾이 제안한 배관(노즐) 크기에 따라 5가지로 구분한 후 5가지의 운전조건과 조합하여 25가지의 시나리오를 선정하였다. 아울러 동일한 조건에서 피해예측프로그램인 PHAST와 BS의 수학적 방법을 이용하여 폭발위험장소의 범위를 산출하였다. 가상체적에 의해 계산된 폭발위험장소의 범위를 PHAST에 의한 결과와 비교하면 다소 넓게 계산되고, BS의 수학적 방법과 비교하면 액체상태로 취급 되는 일부 경우를 제외하고 대부분의 경우 조금 넓게 계산된다. 가상체적에 의한 방법이 다소 넓게 계산되는 것은 안전율(k)과 환기의 유효성을 나타내는 보정계수(f)를 고려하기 때문이다⁴⁾. 하지만 그 차이는 크지 않아 중소규모 화학공장 등에서는 가상체적을 이용하여 폭발위험장소의 범위를 설정할 수 있을 것이다.

아울러 이 연구에서는 도시가스, C3-LPG 및 톨루엔 취급설비 주변에 대해 사업장에서 쉽게 사용할 수 있도록 배관(노즐) 크기 및 운전조건에 따라 25개의 범주로 구분하여 폭발위험장소의 범위를 나타내는 표를 제안하였다. 이 표를 활용함으로써 중소규모 화학공장 또는 전자, 철강, 자동차 업종 등에서 폭발위험장소의 범위를 쉽고 경제적으로 구분하여 사업장의 화재, 폭발 등의 중대산업사고 예방에 기여할 것으로 기대한다.

감사의 글 : 이 논문은 2014년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- 1) Alan McMillan, "Electrical Installations in Hazardous Areas", Elsevier Science LTD, pp. 87-124, 2012.
- 2) API PR 505, "Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Zone 0, Zone 1, and Zone 2", American Petroleum Institute, pp. 21-43, 1997.
- 3) NFPA 497A, "Recommended Practice for Classification of Class I Hazardous(Classified) Locations for Electrical Installation in Chemical Process Areas", National Fire Protection Association, pp. 4-39, 1992.
- 4) KS C IEC 60079-10-1, "Explosive atmospheres - Part 10-1

- : Classification of Areas-Explosive Gas Atmospheres”, Korean Industrial Standards, pp. 1-34, 2012.
- 5) IEC 60079-10-1, “Explosive Atmospheres - Part 10-1 : Classification of Areas-Explosive Gas Atmospheres”, International Electrotechnical Commission, pp. 24-39, 2008.
 - 6) J. -P. Yim and C. -B. Chung, “A Study on Classification of Explosion Hazardous Area for Facilities using Lighter-than-Air Gases”, Journal of the Korea Society of Safety, Vol. 29, No. 2, pp. 24-30, 2014.
 - 7) KOSHA Guide P-92, “Technical Guideline for Source Modelling”, Korea Occupational Safety & Health Agency, pp. 4-7. 2012.