Journal of the Korean Society of Safety
Vol. 35, No. 2, pp. 111-117, April 2020
https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2020.35.2.111

ISSN 1738-3803 (Print)
ISSN 2383-9953 (Online)
http://www.kosos.or.kr/jkosos

KS C IEC 60079-10-1 규격의 무시할 수 있는 정도와 누출특성에 관한 연구

조필래* · 이향직** · 백종배***†

Study on the Negligible Extent(NE) and Release Characteristic of KS C IEC 60079-10-1(2015) Standard

Pil-rae Cho* · Hyang-jig Lee** · Jong Bae Baek***†

†Corresponding Author
Jong Bae Baek
Tel : +82-43-841-5337
E-mail : jbbaek@ut.ac.kr

Received : March 9, 2020
Revised : April 7, 2020
Accepted : April 22, 2020

Copyright@2020 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Abstract : When KS C IEC 60069-10-1(2015) standard is applied to estimate a hazardous area, the chart showing the relationship between a hazardous area distance and release characteristic is used as a guide to determine the extent of hazardous zones for various forms of release. Three release characteristic lines based on the three types of release as an unimpeded jet release with high velocity, a diffusive jet release with low velocity, and a release of heavy gases or vapours that spread along horizontal surfaces are given. As these characteristic lines have the low limit threshold, it is difficult to estimate the hazardous area distance when the value of release characteristic is under the low limit threshold. And KS C IEC 60079-10-1(2015) standard shows the concept for a zone of Negligible extent(NE) which can be considered as non hazardous area, but it is also difficult to apply the concept of a Negligible extent. The purpose of this paper is to suggest the guideline for the release characteristic to decide a hazardous area distance and the Negligible extent(NE) being considered as non-hazardous area when deciding a hazardous area distances by the KS C IEC 60079-10-1 standard.

Key Words : KSC IEC 60079-10-1, IEC 60079-10-1, RR630, hazardous area classification, negligible extent, low pressure, release characteristic

1. 서 론

1.1 연구배경

인화성 물질을 취급하는 설비의 주변에 대해 폭발위험장소를 구분하는 목적은 폭발성 가스 분위기가 생성될 우려가 있는 장소에서 점화원으로 작용될 수 있는 전기설비를 안전하게 설치 및 사용하기 위함이다.

산업안전보건법의 적용을 받는 인화성 물질을 취급하는 장소는 산업안전보건기준에 관한 규칙 제230조(폭발위험이 있는 장소의 설정 및 관리) 제1항의 "사업주는 다음 각 호의 장소에 대하여 폭발위험장소의 구분도를 작성하는 경우에는 산업표준화법에 따른 한국산업표준(KS규격)으로 정하는 기준에 따라 가스폭발위험장소 또는 분진폭발 위험장소로 설정하여 관리하여야 한다."는 규정에 따라 폭발위험장소를 구분하도록 요구되고 있다. 폭발위험장소 구분에 관한 KS 규격은 크게 두 가지로 구분된다. 즉, 가스 폭발위험장소에 대한 규격은 KS C IEC 60079-10-1(2015)[1] 규격이고, 분진 폭발위험장소에 대한 규격은 KS C IEC 60079-10-2 (2014)[2] 규격이고, 이 규격은 각각 IEC 60079-10-1[3] 규격과 IEC-60079-10-2[4] 규격을 단순 번역한 것이다.

KS C IEC 60079-10-1/2 규격이 제정되기 전에는 가스 폭발위험장소의 구분은 미국의 NFPA 497[5] 규격 또는 API RP 500[7] 규격 및 API RP 505[8] 규격이 주로 사용되었다. 분진 폭발위험장소의 구분은 NFPA 499[6] 규격이 주로 사용되었다.

*한국교통대학교 안전공학과 박사과정 (Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation)
**알파안전주식회사 (Alpha Safety Co., Ltd.)
***한국교통대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation)

가스 폭발위험지역 구분과 관련된 KS C IEC 60079-10-1(2015) 규격을 적용할 때 누출특성이 적을 경우 어떻게 폭발위험지역을 구분할 것인가와 어느 정도의 누출률일 때 폭발위험지역 구분 대상에서 제외시킬 수 있는 무시할 수 있는 정도의 범위인지에 대해 의문이 발생된다. 이런 사항을 정리하면 아래와 같다.

- KS 규격에서 제시하는 폭발위험지역의 거리는 단위시간당 체적으로 표현되는 누출특성(Release characteristic, X [m^3/s])에 따라 결정되는데 KS C IEC 60079-10-1(2015)의 부속서 D(폭발위험장소의 추정)의 그림 D.1(폭발위험장소의 범위 추정 차트)에서 누출특성(X)이 하한값(Low limit threshold) 이하일 때 폭발위험지역을 어떻게 구분하는가에 대한 명확한 기준이 없다.
- 또한 KS C IEC 60079-10-1(2015) 규격의 4.3(위험성평가)항의 비고 1에서 무시할 수 있는 정도의 범위(NE, Negligible extent)의 예를 "천연가스 운(Cloud)의 평균농도가 폭발하한농도(LEL, Lower explosive limit)의 50%인 부피가 0.1 m^3 또는 밀폐공간의 1.0% (어느 쪽이든 작은 쪽) 이하의 부피를 말한다"고 예를 들고 있는데, LEL의 50%인 부피를 결정하는 방법이 명확하지 않다.

1.2 선행연구 및 연구방법

KS C IEC 60079-10-1(2015) 규격의 누출특성 및 무시할 수 있을 정도의 범위(NE)에 대해 선행연구한 사례는 없지만, Jung[13] 등은 IEC 기술표준 1st Ed.과 2015년에 개정된 2nd Ed. 내용을 비교분석하였으며 메탄, 프로판, 벤젠 및 메탄올에 대해 사례연구를 실시하였고, PHAST를 이용하여 IEC 기술표준을 검증하였다[10].

Yim 등은 IEC 기준에 의한 가상체적을 이용하여 도시가스와 같이 공기보다 가벼운 가스에 대한 폭발위험장소의 범위를 계산하였다[11].

1.1항에서 언급된 폭발위험장소의 범위를 결정하는 누출특성이 하한값 이하일 경우 어떻게 처리하는 것이 적절한지 문헌조사 등을 통해 확인하고자 한다. 또한 폭발하한농도의 50%의 부피를 구하는 방법을 PHAST 프로그램의 누출량 모델링을 통해 모색하고자 한다.

2. 적용상의 문제점 및 해결방법 모색

2.1 누출특성 그래프 이하의 누출특성에 대한 고찰

KS C IEC 60079-10-1(2015)의 부속서 D의 그림 D.1에는 Fig. 1과 같이 고속의 제트(Jet), 저속의 확산(Diffusive), 무거운 가스(Heavy gas)와 같이 세 종류의 가스에 따라

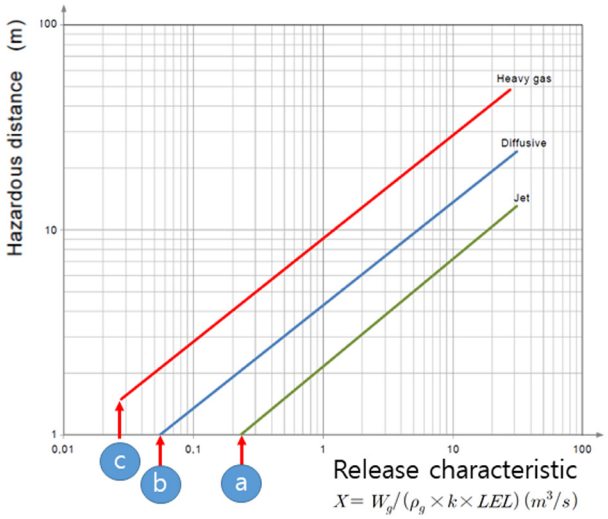

Fig. 1. Chart for estimating hazardous area distances.

누출특성(X)을 구한 후에 가스 종류에 해당되는 곡선과 만나는 지점에서 좌측의 폭발위험지역 거리(단위, m)를 결정하도록 되어 있다.

Fig. 1에서 3종류의 가스종류별 특성은 그래프 상으로 각각 하한값(a, b, c 점의 값)을 갖고 있다. 따라서 이 하한값 이하의 누출특성(X)이 계산될 경우에 폭발위험지역의 범위를 얼마로 할 것인가가 명확하지 않은 상태이다. 연료용으로 사용되는 메탄가스와 프로판가스에 대해 Fig. 1에서 나타나는 3개의 누출특성의 하한값(Low limit threshold)에 도달하기 위해서 가스의 누출률이 얼마인지를 파악할 필요가 있다.

가스 종류별로 누출특성 하한값은 Fig. 1에서 대략 0.026 m^3/s(Heavy gas), 0.053 m^3/s(Diffusive), 0.220 m^3/s(Jet)로 파악된다.

가스에 대한 누출률 계산은 KS C IEC 60079-10-1 (2015)에서 제공하는 식을 통하여 구할 수 있다.

내부의 압력(p)이 임계압력(p_c)보다 크면, 식 (1)을 적용하고, 내부의 압력이 임계압력(p_c)보다 작으면 식 (2)를 사용하여 누출률을 구하며, 임계압력을 구하는 식은 식 (3)과 같다.[3]

$$W_g = C_d S p \sqrt{\frac{M}{ZRT}\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} \quad (1)$$

$$W_g = C_d S p \sqrt{\frac{M}{ZRT}\frac{2\gamma}{\gamma-1}\left[1-\left(\frac{p_a}{p}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}\right]}\left(\frac{p_a}{p}\right)^{1/\gamma} \quad (2)$$

$$p_c = p_a\left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (3)$$

Table 1. Data for the release rates and release characteristic(X) for methane and propane

Items	Methane	Propane
Molar mass (kg/kmol)	16	44
Area of leak hole (mm^2)	0.25, 2.5	0.25, 2.5
Safety factor (k)	1.0	1.0
LEL (vol%)	5	2.1
Temperature (internal) (℃)	25	25
Discharge coefficient (Cd)	0.75	0.75
Ratio of specific heats (γ)	1.306	1.13
Universal gas constant (J/kmol-K)	8,314	8,314
Atmospheric stability	F	F
Wind velocity (at 10 m height) (m/s)	1.5	1.5

여기서, W_g는 누출률(kg/s), C_d는 누출계수(무차원), S는 누출면적(m^2), p는 배관내부의 압력(Pa), M은 가스의 몰 질량(kg/kmol), Z는 압축계수(무차원), R은 이상 기체상수, T는 가스의 절대온도(K), γ는 단열팽창 폴리트로피 지수 또는 비열비(무차원), p_a는 대기압(101,325 Pa), p_c는 임계압력(Pa)이다.

식 (1) 및 (2)를 사용하기 위한 기본적인 데이터는 Table 1과 같고, 내부압력은 요구되는 누출특성 값에 도달되도록 시행착오법으로 계산되었다.

식 (1) 및 (2)를 통해 누출특성이 하한값을 가질 때의 메탄가스와 프로판가스의 누출률과 내부압력을 파악하기 위해서는 적절한 누출면적을 선정해야 한다. 누출면적은 KS C IEC 60079-10-1(2015)의 부속서 B(누출원의 평가)의 표 B.1(2차 누출등급에서의 누출 구멍 단면적)에서 제시하는 기준을 적용했다. 누출면적 0.25 mm^2는 누출 개구부가 확대되지 않는 조건에서의 최대치에 해당되고, 누출면적 2.5 mm^2는 누출 개구부가 부식 등에 의해 확대될 수 있는 조건에서의 최대치(펌프, 압축기의 고속 구동 부품류의 기밀 부위 제외)에 해당된다. 메탄가스와 프로판가스 모두 부식성이 없고 누출 개구부가 확대될 가능성이 거의 없으므로 적용할 수 있는 최대 누출면적은 0.25 mm^2이다.

Table 2. Low limit threshold of release characteristic(X) and release rate for three gas groups (when the area of leak hole is 0.25 mm^2)

Items	Low limit threshold of X (m^3/s)	Methane		Propane	
		Internal pressure (kg/cm^2G)	Release rate (g/s)	Internal pressure (kg/cm^2G)	Release rate (g/s)
Heavy gas	0.026	26.0	0.853	24.0	0.989
Diffusive	0.053	55.0	1.730	50.0	2.000
Jet	0.220	230	7.190	168	8.320

Table 3. Low limit threshold of release characteristic(X) and release rate for three gas groups (when the area of leak hole is 2.5 mm^2)

Items	Low limit threshold of X (m^3/s)	Methane		Propane	
		Internal pressure (kg/cm^2G)	Release rate (g/s)	Internal pressure (kg/cm^2G)	Release rate (g/s)
Heavy gas	0.026	1.7	0.853	1.5	0.989
Diffusive	0.053	4.5	1.730	4.1	2.000
Jet	0.220	22.0	7.190	15.9	8.320

Table 2는 누출면적을 0.25 mm^2로 적용했을 때 누출특성의 하한값에 도달하기 위한 내부압력을 보여준다. 메탄가스(Diffusive)는 누출측성의 하한값인 0.053 m^3/s에 도달하기 위해서 내부압력이 55.0 kg/cm^2G이어야 하고, 프로판가스(Heavy gas)는 0.026 m^3/s의 누출특성에 도달하기 위해서는 내부압력이 24.0 kg/cm^2G이어야 한다.

Table 3는 누출면적을 2.5 mm^2로 적용했을 때 누출특성의 하한값에 도달하기 위한 내부압력을 보여준다. 메탄가스가 0.053 m^3/s의 누출특성에 도달되려면, 내부압력이 4.5 kg/cm^2G이어야 하고, 프로판가스가 0.026 m^3/s의 누출특성에 도달하려면 내부압력이 1.5 kg/cm^2G이어야 한다.

일반적으로 연료로 사용되는 가스 중 도시가스는 대부분 정압기실을 통과하면 1~2 kg/cm^2G 정도로 공급되고, 프로판가스는 1 kg/cm^2G 이하로 공급되므로 이들의 누출특성은 모두 KS 규격에서 정하는 Fig. 1의 그래프의 누출특성 하한값의 아래에 있다. Table 2 및 Table 3의 결과와 비교할 때 저압의 연료가스가 누출될 때의 누출특성은 Fig. 1의 그래프의 하한값보다 상당히 작은 값이 된다. 따라서 그래프 상의 누출특성의 하한값이 무시할 수 있는 정도의 범위(NE)와 어떤 관계가 있는지 확인할 필요가 있다.

2.2 무시할 수 있는 정도의 범위(NE, Negligible extent)의 결정방법

KS C IEC 60079-10-1(2015) 규격에서 폭발위험지역 구분 대상에서 제외시킬 수 있는 개념은 도시가스일 경우 가스운(Gas cloud)의 평균농도가 LEL(폭발하한농도)의 50%인 부피가 0.1 m^3 또는 밀폐공간의 1.0% 이하의 부피(어느 쪽이든 작은 쪽)로 규정하고 있으므로 가스가 누출될 때 폭발하한농도의 50%에 도달되는 부피가 얼마인지 추정할 필요가 있다.

영국 HSE의 RR630[9] 보고서에서는 도시가스가 옥외에서 과도하게 혼잡하거나 제한되지 않는 지역에서 2차

Table 4. Release characteristic(X) of methane and propane for release rate of 1 g/s

Items	Release rate (g/s)	Release characteristic (X) (m^3/s)	
		Methane	Propane
Secondary release of not heavily congested/confined location	1.000	0.0321	0.0278
Secondary release for completely unobstructed location	2.000	0.0642	0.0556
Diffusive gas	1.730 (Methane)	0.053	-
Heavy gas	0.989 (Propane)	-	0.026

누출(for secondary releases in locations that are not heavily congested/confined)일 경우 누출률이 1 g/s일 때 LEL의 50%에 해당되는 체적(0.1 m^3)인 무시할 수 있는 정도의 범위(NE)로 제시하고 있다. 옥외에서는 완전히 방해되지 않는 2차 누출일 경우에는 누출률이 2 g/s 이하인 경우에는 무시할 수 있는 정도의 범위(NE)로 제시하였다.

따라서 누출률 1 g/s를 Fig. 1에 표시된 누출특성 (X)에 관한 식으로 환산하면, Table 4와 같이 메탄의 누출측성은 0.0321 m^3/s이고, 이것은 Diffusive 가스의 누출특성의 하한값 0.053 m^3/s보다는 작다. 이와 반대로 프로판의 누출특성은 0.0278 m^3/s이고, 이것은 Heavy gas의 누출특성의 하한값 0.026 m^3/s보다는 큰 값이다.

누출률이 2 g/s일 때는 메탄의 누출특성은 0.0642 m^3/s이므로 누출특성의 하한값보다 크고, 프로판의 누출특성은 0.0556 m^3/s이다. 메탄가스의 누출특성 하한값인 0.053 m^3/s는 1.73 g/s의 누출률이 되고, 프로판가스의 누출특성 하한값인 0.026 m^3/s는 0.989 g/s의 누출률이 된다.

따라서 누출률이 1 g/s 미만인 저압의 도시가스는 폭발위험지역의 구분 대상에서 제외할 필요가 있고, 누출률이 1 g/s과 1.73 g/s 사이인 경우는 전산유체역학을 이용하는 등의 방법이 필요하다. 프로판가스의 경우에는 0.026 m^3/s의 누출률에 해당되는 0.989 g/s 미만의 누출률인 경우에는 폭발위험지역에서 제외할 필요가 있다. 다만, 연료가스를 취급하는 배관 등의 설비가 환기가 잘 되지 않는 장소에 설치된 경우라면, 누출된 가스가 축적되지 않도록 환기시설을 설치할 필요가 있다.

2.3 단순모델체적의 제안

본 논문에서는 가벼운 가스인 메탄과 무거운 가스인 프로판에 대해 PHAST 시뮬레이션을 통해 LEL 농도의 50%에 해당되는 체적을 구해서 그 부피가 어느 정도인지를 파악하고자 하였다.

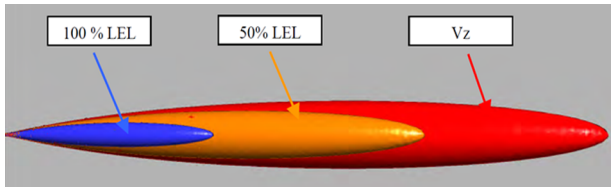

Fig. 2. Schematic drawing showing the concentration when gases is released.

HSE의 RR630[9] 보고서는 Fig. 2와 같이 가스가 누출될 때의 농도가 변하는 기본적인 개념을 보여준다. 누출원에서 멀어질수록 농도는 낮아지고, 누출방향에 따라 일정한 패턴을 보여주며, V_z는 폭발하한농도의 25%에 해당되는 가상체적을 나타낸다.

Fig. 2의 개념을 도입하여 Fig. 3과 같이 단순모델체적(Simplified model volume, V_{SM})을 제안하고자 한다. 단순모델체적(V_{SM})은 고가의 프로그램을 사용해야 하는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)의 모델링 대신 PHAST 프로그램을 통해 폭발하한농도의 50%에 도달되는 거리(L)와 최대 폭(D)을 구해서 체적을 구하는 방법이다. 즉, LEL의 50%에 도달되는 거리를 원통형 용기의 길이로 가정하고 LEL의 50%에 해당되는 최대 폭을 원통형용기의 지름으로 가정해서 원통형 용기의 체적을 LEL의 50%에 해당되는 체적으로 가정하는 것이므로 간단하게 계산할 수 있는 이점이 있고 이 체적은 실제보다 보수적인 결과를 나타낸다.

Fig. 3. Schematic drawing showing the concept of V_{SM} (Simplified model volume) which is calculated as the volume of a cylindrical vessel.

PHAST 시뮬레이션을 통해 구한 농도의 범위를 체적으로 단순히 환산한 단순모델체적(V_{SM})과 무시할 있는 정도의 범위에 해당되는 체적인 0.1 m^3을 비교해서 연료가스가 어느 정도의 내부압력일 때 무시할 수 있는 수준인가를 검토하였다.

Table 5는 메탄 및 프로판이 누출될 때 누출면적 및 내부압력에 따라 PHAST 프로그램에 의한 누출률, 누출특성, LEL 농도 및 LEL의 50% 농도에 도달되는 거리를 보여준다.

메탄가스의 경우 누출면적이 0.25 mm^2일 때 LEL의 50%에 도달되는 거리는 압력이 0.5 barG일 경우에

Table 5. Distance of 50% concentration of LEL and LEL in case of the release of methane and propane by PHAST simulation and percentage difference between the distances of 50% of LEL for methane and propane

Area of leak hole (mm^2)	Specifications	Unit	Divided	Internal pressure (barG)					
				0.5	0.9	1	2	5	10
0.25	Release rate	kg/s	Methane	4.18E-05	5.98E-05	6.40E-05	1.03E-04	2.16E-04	4.03E-04
			Propane	6.89E-05	9.78E-05	1.05E-04	1.68E-04	3.56E-04	5.51E-04
	Release characteristic	m^3/s	Methane	1.34E-03	1.92E-03	2.05E-03	3.31E-03	6.92E-03	1.29E-02
			Propane	1.92E-03	2.72E-03	2.91E-03	4.67E-03	9.89E-03	1.53E-02
	Distance of LEL	mm	Methane	132.1	144.7	147.4	172.7	237.1	315.0
			Propane	180.9	189.5	191.3	218.4	293.0	363.4
	Distance of 50% of LEL	mm	Methane	245.7	269.3	274.2	321.4	463.2	624.5
			Propane	323.4	353.8	360.5	411.8	561.4	685.0
	Percentage difference(%)			38.3	37.5	37.6	23.5	22.0	11.0
2.5	Release rate	kg/s	Methane	4.23.E-04	6.05.E-04	6.47.E-04	1.04.E-03	2.18.E-03	4.07.E-03
			Propane	6.80.E-04	9.88.E-04	1.06.E-03	1.70.E-03	3.60.E-03	5.57.E-03
	Release characteristic	m^3/s	Methane	1.36E-02	1.94E-02	2.08E-02	3.35E-02	6.99E-02	1.31E-01
			Propane	1.89E-02	2.75E-02	2.94E-02	4.72E-02	1.00E-01	1.55E-01
	Distance of LEL	mm	Methane	193.3	205.9	210.9	258.2	365.0	490.6
			Propane	277.1	288.8	292.3	340.9	459.3	562.5
	Distance of 50% of LEL	mm	Methane	379.5	409.2	417.3	498.5	715.7	970.1
			Propane	508.5	544.8	554.5	642.7	869.3	1,064.6
	Percentage difference(%)			34.0	33.1	32.9	28.9	21.5	9.7

122.4 mm이며, 압력인 0.9 barG일 경우는 134.0 mm이며, 압력이 5 barG일 경우에는 233.6 mm, 압력이 10 barG일 경우에는 314.5 mm로 파악되었다. 프로판가스의 경우는 누출면적이 0.25 mm^2일 경우 압력이 0.5 barG일 때 메탄가스보다 LEL의 50%에 도달되는 거리가 약 38.3% 크게 나타났고, 내부압력이 증가될수록 편차는 감소되어 내부압력이 10 barG일 때는 편차가 11.0%로 감소되었다.

또한 누출면적이 클수록 메탄과 프로판 가스의 LEL의 50%에 도달되는 거리의 편차는 감소되었다.

메탄가스의 누출특성(X)은 누출면적이 0.25 mm^2이고 압력이 10 barG일 경우에 0.0129 m^3/s로 파악되었고, 이는 저속의 확산의 하한값에 해당되는 누출특성인 0.053 m^3/s보다 훨씬 작은 값이며, 그것의 약 24.4% 정도이다.

Table 6은 PHAST 시뮬레이션 결과를 사용하여 Fig. 3에서 보여주는 LEL의 50%에 도달되는 가스운의 단순모델체적(V_{SM})과 LEL의 50%에 도달되는 거리(L)과 LEL의 50%에 도달되는 최대 폭(D)의 비를 구한 것이다. 물질의 종류, 누출면적의 크기 및 내부압력의 크기에 큰 영향없이 L/D의 비율은 대략 10.2~11.8을 나타내었다. 즉, LEL의 50%의 농도에 도달되는 거리를 측정하면, 그 농도의 최대폭은 길이의 약 1/10 정도이다. 따라서 최대폭을 지름으로 고려하고, 길이를 원통형 용기의 길이로 고려하면 단순모델체적을 구할 수 있다. 0.25 mm^2의 누출면적을 통해 내부압력 1 barG인 메탄이 누출될 경우 단순모델체적은 1.56E-05 m^3으로 매우 낮은 값을 나타내었다. 이것은 무시할 수 있는 정도(NE)인 체적인 0.1 m^3의 약 15,000분의 1배 정도이고, 누출면적이 2.5 mm^2일 경우에도 NE의 약 5,000분의 1배 수준으로 매우 낮다.

따라서, 저압의 도시가스 배관에서의 누출은 체류되지 않는 한 폭발위험지역으로 구분할 필요가 없는 것으로 판단되었다. 즉, 옥외 또는 원활한 환기가 가능한

Table 6. Calculation of V_{SM} and L/D ratio by using PHAST results

Items	Internal pressure (barg)	Area of leak hole (mm^2)	Concentration of 50% of LEL			L/D Ratio
			L (Distance) (mm)	D (Width) (mm)	V_{SM} (m^3)	
Methane	1	0.25	136.6	12.1	1.57E-05	11.3
	1	2.5	417.3	39.2	5.03E-04	10.6
Propane	0.1	0.25	146.1	13.2	2.00E-05	11.1
	0.1	2.5	428.1	42.1	5.96E-04	10.2
Propane	1	0.25	186.8	15.8	3.66E-05	11.8
	1	2.5	554.5	51.3	1.15E-03	10.8

Table 7. Calculation of internal pressure corresponding to release rate 1 g/s

Fluids	Methane		Propane	
Area of leak hole (mm^2)	0.25	2.5	0.25	2.5
Release rate (g/s)	1		1	
Release characteristic (m^3/s)	0.031		0.027	
Internal pressure (kg/cm^2G)	31.0	2.18	24.7	1.54

조건에서는 누출되는 도시가스가 Fig. 2와 같은 궤적을 나타내고, 체류되지 않고 확산될 수 있으므로 단순모델체적을 통해 폭발위험지역을 예측할 수 있다.

RR630[9] 보고서에서는 도시가스가 옥외의 과도하게 혼잡 또는 제한되지 않는 장소에서 1 g/s보다 낮은 누출률로 누출될 경우, 비위험장소(NE)로 제시하였다.

Table 7은 누출률 1 g/s이 되기 위해서 식 (1)을 사용하여 누출면적별로 메탄가스와 프로판가스의 내부압력을 구한 것이다. 누출면적을 0.25 mm^2로 적용할 때, 메탄가스의 내부압력은 31 kg/cm^2G로 계산되었고, 누출면적을 2.5 mm^2로 할 경우에는 내부압력이 2.18 kg/cm^2G로 계산되었다. 또한 프로판가스의 경우도 메탄가스보다는 압력이 다소 낮았지만, 각각 24.7 kg/cm^2G, 1.54 kg/cm^2G로 계산되었다.

따라서 일반적으로 연료용 가스로 사용되는 압력은 거의 대부분 1 kg/cm^2G 이하이므로 Table 6의 결과를 고려할 때 연료용 가스가 누출되어 형성시킬 수 있는 가스운의 부피는 무시할 수 있는 정도의 범위(NE)와 비교할 때 무한히 적은 양이므로 폭발위험지역에서 제외시킬 수 있다.

이것은 KS C IEC 60079-10-1(2015)의 적용제외 대상인 저압의 연료가스 중 LPG의 경우 0.01 MPaG 미만인 경우에 적용하는 부분과 비교할 때도 역시 해당 기준은 너무 낮다는 것을 보여준다. 즉, 누출면적을 2.5 mm^2로 적용하는 경우에도 프로판가스의 경우 내부압력이 1.54 kg/cm^2G 이하이면, 누출률은 1 g/s 이하이고, LEL의 50%에 도달되는 부피는 0.1 m^3보다 무한히 적은 양이므로 무시할 수 있는 정도의 범위에 해당된다. 다만, 프로판가스의 경우에는 비중이 공기보다 무거워 바닥면 근처에 축적될 수 있으므로 체류방지를 위한 적절한 환기설비가 필요하다.

3. 결론 및 고찰

본 연구에서는 KS C IEC 60079-10-1(2015)의 기준에 따라 폭발위험지역을 구분할 때 직면하는 명확하지 않은 사항들을 검토하여 그에 대한 방안을 제시하였다.

첫째, KS 규격의 내용 중 누출특성(Release characteristic) 값의 하한치를 벗어난 누출특성에 대해 그 개념을 검토하였으며, 누출특성 하한치 이하의 누출률에 대해서는 폭발위험지역에서 제외할 수 있는 사실을 확인하였다.

둘째, 옥외 또는 원활한 환기가 가능한 조건에서 KS 규격에서 무시할 수 있는 정도의 범위(NE, Negligible extent)의 개념인 폭발하한농도의 50% 농도에 도달되는 가스운의 부피가 0.1 m^3 또는 밀폐 시스템에서는 해당 체적의 1% (둘 중 더 작은 값) 미만인 경우에는 폭발위험지역 대상에서 제외할 수 있는 개념을 확인하였으며, 저압의 연료용 가스는 모두 NE에 해당되는 것을 확인하였다.

또한 폭발하한농도의 50%에 해당되는 체적을 구하는 방법을 PHAST 프로그램을 통해 구한 농도별 궤적을 사용하여 단순모델체적(V_{SM}, Simplified model volume)을 제안하였다. 단순모델체적은 LEL의 50%에 도달되는 거리(L)를 원통용기의 길이로 가정하고, LEL의 50%에 도달되는 최대 폭(D)을 원통형 용기의 지름으로 가정하여 원통형 용기의 체적을 보수적으로 단순모델체적으로 제안하였다. 이것은 매우 보수적인 결과를 나타내지만, 매우 단순하므로 쉽게 적용할 수 있는 이점이 있다. 이는 고가의 전산유체역학을 통한 모델링을 대신할 수는 없지만, 저압의 연료가스의 누출 시에 간단하게 적용할 수 있는 방법으로 고려될 수 있다.

또한 PHAST 프로그램을 사용하여 메탄 및 프로판가스의 농도 파악 시 LEL의 50%에 도달되는 거리와 LEL의 50%에 도달되는 최대 폭의 비율(L/D)이 내부압력 및 누출면적에 상관없이 상당히 일정한 비율인 10.2~11.8로 나타나는 것을 확인하였다. 이것은 LEL의 50%에 도달되는 거리를 측정한 후에 거리의 약 10%를 LEL의 50%에 도달되는 최대 폭(D)으로 환산하여 쉽게 단순모델체적을 구할 수 있도록 돕는다. 이렇게 구한 단순모델체적이 0.1 m^3 또는 밀폐공간인 경우에는 해당 부피의 1% (둘 중 작은 값)보다 작을 경우에는 비위험장소로 구분할 수 있다. 다만, 이 단순모델체적은 누출된 가스가 체류하지 않도록 원활한 환기가 가능한 조건에서 적용될 수 있다.

감사의 글: 본 연구는 2020년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였습니다.

References

1) KS C IEC 60079-10-1, “Explosive Atmospheres-Part 10-1: Classification of Areas-Explosive Gas Atmospheres”,

2015.
2) KS C IEC 60079-10-2, “Explosive Atmospheres-Part 10-2: Classification of Areas-Explosive Dust Atmospheres”, 2014.
3) IEC 60079-10-1, “Explosive Atmospheres-Part 10-1: Classification of Areas-Explosive Gas Atmospheres”, 2015.
4) IEC 60079-10-2, “Explosive Atmospheres-Part 10-2: Classification of Areas-Explosive Dust Atmospheres”, 2015.
5) NFPA 497, “Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas”, 2017.
6) NFPA 499, “Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas”, 2017.
7) API RP 500, “Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division 1 and Division 2”, 2012.
8) API RP 505, “Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Zone 0, Zone 1, and Zone 2”, 1997.
9) RR630, “Area Classification for Secondary Releases from Low Pressure Natural Gas Systems”, Health and Safety Executive(HSE), 2008.
10) Y. J. Jung and C. J. Lee, “A Study on Gas Explosion Hazardous Ranges for International Electrotechnical Commission Technical Standards”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 33, No. 3, pp. 39-45, 2018.
11) J. P. Yim and C. B. Chung, “A study on Classification of Explosion Hazardous using Lighter Than Air Gases”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 29, No. 2, pp. 24-30, 2014.