

IEC 기술표준의 가스폭발위험범위 연구

정용재 · 이창준[†]

부경대학교 안전공학과

(2017. 10. 6. 접수 / 2017. 12. 23. 수정 / 2018. 5. 31. 채택)

A Study on Gas Explosion Hazardous Ranges for International Electrotechnical Commission Technical Standards

Jae Yong Jung · Chang Jun Lee[†]

Department of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received October 6, 2017 / Revised December 23, 2017 / Accepted May 31, 2018)

Abstract : The occupational safety and health act defines how to evaluate the explosion hazardous areas according to KS (Korean Industrial Standards). Current KS have to follow IEC (International Electrotechnical Commission) 60079-10-1 1st edition and there has been no change since 2008. And its 2nd edition has been revised in 2015. In this study, IEC 1st Ed. (IEC 60079-10-1 1st edition) is compared with IEC 2nd edition. Total 112 case studies including four materials (methane, propane, benzene, methanol) are selected to test and explosion hazardous ranges evaluated by IEC 1st and 2nd Ed. are analyzed according to various leakage pressures and hole sizes. In order to verify the results calculated by them, PHAST, which is one of the most representative consequence analysis programs, is employed. As a result, it can be concluded that there are many differences between IEC 1st and 2nd Ed. due to the discharge and the ventilation parameters. As comparing with PHAST, it is confirmed that IEC 1st provides more conservative values than PHAST. Even if IEC 2nd Ed. provides more conservative for gases, this fails to provide more conservative values for liquids. Therefore, it is worth to note that a large value between the explosion hazardous ranges value calculated by the IEC 1st Ed. and 2nd Ed. should be selected until further investigation and analysis is made. Moreover, the full consideration for IEC 2nd Ed. have to be needed.

Key Words : explosion hazardous range, international electrotechnical commission 60079-10-1

1. 서론

우리나라는 석유화학공업 규모의 기준 척도로 볼 수 있는 에틸렌 생산량이 2015년 기준으로 미국, 중국, 사우디에 이어 세계 4위에 이를 정도로 세계적인 화학공업 대국이다¹⁾. 그동안 화학공업의 발전은 우리나라 경제발전에 큰 공헌을 하여 왔으나, 화학공정 설비의 대형화, 고도화 및 기타 산업분야에서의 규모 확대에 인하여 인화성가스 및 액체 등 위험물질 취급량이 크게 증대되어 화재·폭발사고가 발생할 수 있는 잠재적인 위험성이 매우 커지고 있다.

인화성 물질 취급으로 인한 잠재적인 위험성이 있는 장소에서의 전기기계·기구로 인한 화재·폭발을 방지하기 위하여 산업안전보건법(산업안전보건기준에 관한 규칙 제230조 「폭발위험장소의 구분」)에서는 인화성가

스 및 인화성액체를 제조·취급·사용하는 사업장에서 한국산업표준(KS : Korean Industrial Standard)에 따라 폭발위험장소를 설정하여 안전하게 관리하도록 규정하고 있다²⁾. 폭발위험장소는 인화성가스 또는 인화성액체의 누출에 의해 화재·폭발을 일으킬 수 있는 농도로 대기 중에 존재하거나 존재할 우려가 있는 장소를 말하며, 한국산업표준에서 정하는 기술기준에 따라 인화성 물질의 누출에 의한 화재·폭발 위험성을 예측하고 평가하여 그 결과에 따라 폭발위험장소를 설정하는 한편 폭발위험범위를 계산한다^{2,3)}.

2011년 7월 6일부터 산업안전보건법에서 한국산업표준(KS C IEC 60079-10-1)에 따라 폭발위험장소를 설정하여 관리하도록 시행하고 있으며, 현재의 한국산업표준은 2008년에 제정된 국제전기기술위원회(IEC : International Electrotechnical Commission) 기술표준(IEC

[†] Corresponding Author : Chang Jun Lee, Tel : +82-51-629-6465, E-mail : changjunlee@pknu.ac.kr
Department of Safety Engineering, Pukyong National University, 45 Yongso-ro, Nam-gu, Busan 48513, Korea

60079-10-1) 내용을 그대로 반영하여 2012년 6월 5일에 공표되었다. 현재는 2015년 9월 5일 IEC 기술표준이 개정되어 2판이 발간됨에 따라 향후 한국산업표준도 개정되어 발간된 IEC 기술표준 2판 내용과 거의 동일하게 개정되어 공표될 것으로 예상하고 있다.

앞서 기술한 바와 같이 산업안전보건법령에서 한국 산업표준에 따라 폭발위험장소를 설정하도록 규정함으로써 화학공장 뿐만 아니라 인화성가스 및 인화성액을 취급하는 일반 제조업 사업장의 경우에도 폭발위험장소 설정 시 한국산업표준의 기술기준을 준수하여야 하는 법적 의무가 있다. 그러나 한국산업표준 개정 시 현재의 내용과 개정된 내용에 현저한 변화가 있어 폭발위험범위 산정결과에 상당한 편차가 발생할 수 있다. 이로 인해 향후 인화성물질 취급설비 신·증설을 계획하거나 추진 중인 사업장은 물론 기존부터 설비를 운영하던 사업장도 폭발위험장소 설정을 재검토해야 하며, 그 결과에 따라 설비 추가 또는 변경에 따른 기술적·재정적 부담이 발생할 수 있다.

본 연구에서는 폭발위험장소 설정에 관한 현재 한국 산업표준과 동일한 기술기준인 IEC 60079-10-1 1st Ed. (2008)과 최신 개정된 IEC 60079-10-1 2nd Ed.(2015) 내용을 비교·분석하였다. 그리고 1st Ed.와 2nd Ed.의 폭발위험장소 사례연구 결과를 Consequence Analysis 전용 소프트웨어인 PHAST로 검증하였다. 이를 통해 향후 예상되는 한국산업표준 개정에 따른 대응방안을 제시하고자 한다.

2. 연구내용

2.1 누출원과 누출등급

가스폭발위험장소 설정은 폭발성 가스분위기가 생성될 우려가 있는 장소에서 전기설비를 안전하게 사용할 수 있도록 기기의 적절한 선정과 설치를 위해 환경을 분석하고 구분하는 절차이다^{4,5)}.

가스폭발 분위기가 생성될 우려가 있는 장소를 구분하는 첫 번째 단계는 0종 장소(Zone 0), 1종 장소(Zone 1), 2종 장소(Zone 2)의 개념에 따라 폭발성 가스분위기의 생성 가능성을 평가하는 것이다^{4,5)}. IEC 기술표준에서는 이를 위해 폭발위험 장소의 종류 또는 범위에 영향을 주는 누출빈도와 누출등급, 누출량, 누출속도, 환기 등을 평가하여 가스폭발위험장소를 설정한다.

IEC 기술표준에서 제시하고 있는 위험장소 설정절차를 간략하게 정리하면 Fig. 1과 같이 제시할 수 있다. 누출원, 누출등급, 환기(희석)등급, 환기유효성 평가를 통하여 폭발위험성을 예측하고 그 결과에 따라 최종적

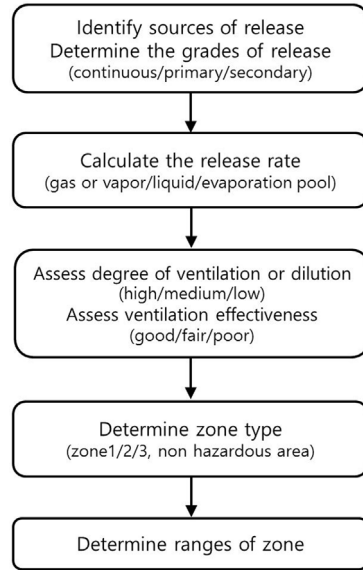


Fig. 1. The detailed scheme for evaluating explosion hazardous area.

으로 인화성가스 또는 증기 발생 가능 장소를 0종 장소, 1종 장소, 2종 장소의 위험장소와 비 위험장소로 구분한다. 그리고 위험장소에 해당될 경우 그 위험장소의 범위를 결정하는 것이다^{4,5)}.

2.2 누출량 계산

Table 1과 Table 2는 IEC 1st Ed.과 최신 개정된 IEC 2nd Ed.의 누출량 계산식을 보여주고 있다. 1st Ed.에서 누출량 계산식은 누출형상과 같은 개구부의 속성과 유체의 점도를 고려하지 않은 가장 보수적인 계산식을 적용하고 있다. 배출계수(Cd)는 누출량 계산식에 반영

Table 1. Release rate formulas taken from IEC 1st Ed⁴⁾

Case	Formula	
Gas	Choke	$\frac{dG}{dt} = Sp \sqrt{\gamma} \frac{M}{RT} \left[\frac{2}{\gamma+1} \right]^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)}$
	Non Choke	$\frac{dG}{dt} = Sp \sqrt{\frac{M}{RT}} \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right] \left(\frac{p_a}{p} \right)^{1/\gamma}$
Liquid	$\frac{dG}{dt} = S \sqrt{2\rho\Delta p}$	

Table 2. Release rate formulas taken from IEC 2nd Ed⁵⁾

Case	Formula	
Gas	Choke	$W_g = C_d Sp \sqrt{\gamma} \frac{M}{ZRT} \left[\frac{2}{\gamma+1} \right]^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)}$
	Non Choke	$W_g = C_d Sp \sqrt{\frac{M}{ZRT}} \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right] \left(\frac{p_a}{p} \right)^{1/\gamma}$
Liquid	$W = C_d S \sqrt{2\rho\Delta p}$	

되지 않고 1.0으로 가정하여 계산식에 반영하였다⁴⁾. 이에 비해 2nd Ed.에서는 개구부의 특성과 액체 또는 기체의 점도를 고려하여 배출계수를 반영하였고, 기체 누출량 계산식에 압축계수 (Z)도 반영하였다⁵⁾.

2.3 환기평가

IEC 기술표준에서는 폭발위험범위 산정에 반영되는 환기평가 사항으로 환기(희석)등급과 환기 유효성을 제시하고 있다.

1st Ed.의 경우 환기등급을 강환기, 중환기, 약환기로 구분하며, 인화성 가스 또는 증기의 폭발 위험분위기 형성 범위를 나타내는 가상체적 (V_z)값으로 환기등급을 구분하고 있다⁴⁾. 가상체적 내부는 가스농도가 안전율에 따라 폭발하한계(LFL : Lower Flammable Limit)의 0.25 (LFL 25%) 또는 0.5 (LFL 50%), 1.0 (LFL 100%)을 넘는 것을 의미한다⁴⁾. 폭발위험장소의 환기량 또는 환기횟수 외에도 누출물의 물성, 누출형태, 누출장소(옥내/옥외), 장애물 등의 요인이 폭발위험범위의 크기에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 요인들을 반영하여 2nd Ed.의 환기 평가에서는 누출물질 확산으로 인한 희석개념으로 변경되었으며 희석등급은 고흐석, 중희석, 저희석으로 구분한다⁵⁾. 희석등급을 평가하기 위해서 누출특성과 환기 속도를 구하여 기술표준에서 제시하는 차트에서 수평 및 수직 축에 표시되는 각각의 값에 대한 교차점을 찾아서 교차점이 각 희석등급 영역 중 어느 영역에 속하는지 확인하여 구한다⁵⁾. 환기 유효성은 폭발위험 분위기의 존재나 형성에 중요한 영향을 미치며, 환기등급과 폭발위험장소 중(Zone) 구분 및 폭발위험범위 계산 시 고려하여야 하는 환기 유효성 등급은 우수(Good) 양호(Fair) 미흡(Poor)으로 구분한다^{4,5)}.

2.4 폭발위험범위 산정

IEC 기술표준 1st Ed.에서는 계산된 가상체적을 산정한 후 이를 구(Sphere)의 부피로 가정하여 그 반경을 폭발위험범위로 계산해야 한다. 반면에 2nd Ed.에서는 폭발위험범위 산정 차트를 제시하고 있으며, 기술표준의 차트에서 폭발위험범위를 산정할 수 있다⁵⁾.

3. 연구방법

3.1 대상물질 선정

본 연구에서는 대표적인 가스 연료인 도시가스의 주 성분인 메탄과 산업용 액화석유가스의 주 성분인 프로판을 연구대상 물질로 선정하였고, 환경부 주관 2017년 국내 화학물질 유통량 조사결과 석유화학계 기초유

분 중 제조량이 가장 많은 벤젠과 원유정제물 및 석유화학계 기초유분을 제외한 범용 유기용제 중 수입량이 가장 많은 메탄올을 연구대상 물질로 선정하였다⁶⁾.

3.2 시나리오 선정

본 연구에서는 IEC 기술표준 1st Ed.과 2nd Ed.에 따라 폭발위험범위를 산출하여 이를 비교·분석하고 PHAST로 검증하는 과정을 거치기 때문에 IEC 기술표준으로 위험범위 산정과 PHAST 시뮬레이션 수행 시 다음과 같이 일괄적으로 적용하였다.

- 1) 누출원 : 2차 누출원
- 2) 누출등급 : 2차 누출
- 3) 대기상태 : 101.3 kPa (1 atm), 20°C (293.15 K)
- 4) 환기조건 : 개방된 옥외 공간
(환기유효성은 “양호”로 적용)

도시가스 중압(1 MPa미만)이하의 사용압력, 액화석유가스 저장설비 기화기 이후 가스 사용압력, 산업용 액체펌프 이송압력, 저장탱크 수두압을 고려하여 누출압력을 게이지압력으로 0.01, 0.1, 0.3, 0.5 MPa로 선정하고 누출온도는 대기상태와 동일한 20°C(293.15 K)로 적용하였다.

1st Ed.과 PHAST 프로그램에서는 2차 누출원의 누출공 크기에 대한 선정기준을 제시하지 않으나, 2nd Ed.에서는 2차 누출원의 누출공 단면적 선정기준을 0.025, 0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0 mm²으로 제시하고 있으므로 이를 누출공 면적으로 일괄 적용하였다⁵⁾. 이와 같이 본 연구에서는 메탄, 프로판, 벤젠, 메탄올에 대해 4개의 누출압력 및 7개의 누출공 크기 별로 선정된 총 112회의 누출 시나리오 사례연구를 통해 폭발위험범위를 산출하여 분석하였다.

3.3 배출계수 (C_d : Coefficient of discharge) 적용

1st Ed.에서는 배출계수 (Cd)가 없는 보수적인 누출량 계산식을 제시하였으나, 2nd Ed.에서는 배출계수를 반영한 누출량 계산식을 제시하고 있으며, 원형 형태를 가진 누출공은 0.95~0.99, 기타 원형이 아닌 누출공은 0.5~0.75를 배출계수로 적용하도록 개정되었다^{4,5)}. 또한 PHAST에서는 별도의 배출계수 적용기준을 제시하지 않으나 적절한 수치를 직접 입력하도록 구성되어 있으므로, 2nd Ed.와 PHAST에 의한 폭발위험범위 산출 시 비원형 누출공에 대한 가장 큰 값인 0.75를 배출계수로 반영하였다.

3.4 2nd Ed. 액체 증발량 결정

2nd Ed.에서는 액체 누출 시 누출량에서 증발율을

Table 3. Vaporization rates according to various outdoor conditions simulated by PHAST

Outdoor condition		Vaporization rate(%)	
Stability	Wind velocity(m/s)	Benzene	Methanol
F (Stable)	1.0	0.56	0.44
	2.0	0.95	0.73
	3.0	1.28	0.98

적용하도록 하였으나, 구체적인 증발율 산정기준은 제시되지 않았다. 그러나 2nd Ed.의 ANNEX E. Examples of hazardous area classification의 Example No.1과 No.2에는 액체 누출량의 2%를 증발율로 적용하여 누출특성을 계산한 사례가 있다⁵⁾.

이에 따라 액체 누출량의 2%를 증발량 적용기준으로 적정인지 확인하고자 PHAST 시뮬레이션을 이용하였고, 벤젠과 메탄올에 대해 증발률 연속 누출의 시나리오로⁷⁾ 대기조건 변동에 따른 증발율을 산출하였다.

수행결과, Table 3과 같이 벤젠의 경우 최대 1.28%, 메탄올의 경우 최대 0.98%의 증발율을 나타냈다.

위의 결과를 바탕으로 “액체 누출량의 2%”를 증발량으로 적용하는 것은 액체 누출에 대한 폭발위험범위를 산정하는 데 있어 보수적인 접근방법이라고 판단되며, 본 연구에서는 액체누출량의 2%를 증발량으로 적용하여 누출특성을 계산하였다.

4. 폭발위험범위 산정결과 및 분석

4.1 폭발위험범위 산정결과

앞서 제시한 연구방법에 따라 메탄, 프로판 및 벤젠, 메탄올에 대해 폭발위험범위를 산정하였다. Table 4에

Table 4. Explosion hazardous ranges(m) of methane

Code	Release pressure (MPa)	Hole size(mm)						
		0.025	0.1	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0
1st Ed.	0.01	NE	NE	NE	0.30	0.38	0.52	0.65
	0.1	NE	NE	0.35	0.44	0.55	0.74	0.94
	0.3	NE	0.32	0.44	0.55	0.69	0.94	1.18
	0.5	NE	0.37	0.50	0.63	0.79	1.07	1.35
2nd Ed.	0.01	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	0.1	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	0.3	NE	NE	NE	NE	NE	NE	1.19
	0.5	NE	NE	NE	NE	NE	1.03	1.46
PHAST	0.01	0.04	0.09	0.10	0.10	0.15	0.22	0.31
	0.1	0.05	0.10	0.10	0.11	0.17	0.25	0.35
	0.3	0.06	0.10	0.10	0.16	0.21	0.33	0.46
	0.5	0.08	0.10	0.14	0.19	0.26	0.40	0.56

※ NE(Negligible Extent) : Non-hazardous area

서 Table 7은 각 물질별 누출공 사이즈에 따른 폭발위험범위 산정결과를 보여주고 있다. 공통적으로 누출압력과 누출공 크기가 커질수록 폭발위험범위가 증가하였고 위험범위의 크기는 비방폭(NE : Negligible Extent) 구역을 포함하여 전반적으로 1st Ed., PHAST, 2nd Ed. 순으로 나타났다. 그러나 일부 구간에서는 2nd Ed. 또는 PHAST가 가장 크게 나오기도 하였다. Table 4에서 보는 바와 같이 메탄의 경우 누출압력 0.5 MPa의 누출공 크기 5.0 mm에서 2nd Ed. 위험범위가 가장 크게 나타났다.

Table 5에서 확인할 수 있는 것처럼 프로판의 경우 누출압력 0.1 MPa과 0.3 MPa의 누출공 크기 2.5~5.0 mm 및 누출압력 0.5 MPa의 누출공 크기 1.0~5.0 mm에서 2nd Ed.가 가장 큰 것으로 나타났다.

Table 5. Explosion hazardous ranges(m) of propane

Code	Release pressure (MPa)	Hole size(mm)						
		0.025	0.1	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0
1st Ed.	0.01	NE	NE	NE	0.34	0.43	0.58	0.73
	0.1	NE	NE	0.38	0.48	0.60	0.82	1.03
	0.3	NE	0.35	0.48	0.61	0.76	1.03	1.30
	0.5	NE	0.40	0.55	0.69	0.87	1.18	1.49
2nd Ed.	0.01	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	0.1	NE	NE	NE	NE	NE	1.44	2.04
	0.3	NE	NE	NE	NE	NE	2.08	2.94
	0.5	NE	NE	NE	NE	1.62	2.57	3.64
PHAST	0.01	0.06	0.10	0.10	0.16	0.20	0.31	0.43
	0.1	0.06	0.10	0.11	0.17	0.22	0.34	0.47
	0.3	0.08	0.10	0.14	0.19	0.27	0.41	0.58
	0.5	0.09	0.10	0.17	0.22	0.31	0.48	0.68

Table 6. Explosion hazardous ranges(m) of benzene

Code	Release pressure (MPa)	Hole size(mm)						
		0.025	0.1	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0
1st Ed.	0.01	0.52	0.83	1.13	1.42	1.79	2.43	3.06
	0.1	0.58	0.92	1.24	1.57	1.97	2.68	3.37
	0.3	0.65	1.03	1.39	1.76	2.21	3.00	3.78
	0.5	0.69	1.10	1.49	1.88	2.37	3.21	4.05
2nd Ed.	0.01	NE	NE	NE	NE	NE	NE	1.47
	0.1	NE	NE	NE	NE	NE	NE	1.70
	0.3	NE	NE	NE	NE	NE	1.43	2.03
	0.5	NE	NE	NE	NE	NE	1.58	2.24
PHAST	0.01	0.34	0.56	0.76	0.95	1.20	1.48	1.60
	0.1	0.50	0.88	1.28	1.68	2.02	2.88	3.56
	0.3	0.56	1.04	1.54	2.07	2.68	3.56	4.58
	0.5	0.59	1.10	1.65	2.23	3.01	4.16	5.06

Table 7. Explosion hazardous ranges(m) of methanol

Code	Release pressure (MPa)	Hole size(mm)						
		0.025	0.1	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0
1st Ed.	0.01	0.4	0.6	0.9	1.1	1.4	1.9	2.4
	0.1	0.4	0.7	1.0	1.2	1.5	2.1	2.6
	0.3	0.5	0.8	1.1	1.4	1.7	2.3	2.9
	0.5	0.5	0.8	1.2	1.5	1.8	2.5	3.1
2nd Ed.	0.01	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	0.1	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	0.3	NE	NE	NE	NE	NE	NE	1.4
	0.5	NE	NE	NE	NE	NE	NE	1.5
PHAST	0.01	0.19	0.34	0.48	0.63	0.82	1.14	1.47
	0.1	0.25	0.46	0.70	0.96	1.30	1.94	2.60
	0.3	0.26	0.49	0.77	1.06	1.46	2.22	3.05
	0.5	0.27	0.51	0.79	1.09	1.51	2.33	3.21

Table 6에서 벤젠의 경우는 누출압력 0.01 MPa을 제외한 누출압력 0.1, 0.3, 0.5 MPa에서 폭발위험범위가 PHAST, 1st Ed., 2nd Ed. 순으로 크게 나타났다.

Table 7은 메탄올에 대한 결과를 보여주고 있다. 메탄올에서는 누출압력 0.3 MPa과 0.5 MPa의 누출공 크기 5.0 mm에서 PHAST 수치가 1st Ed.보다 근소하게 큰 것으로 나타났다.

4.2 폭발위험범위 산정결과 분석

Fig. 2는 Table 4에서 Table 7까지 나온 결과를 전부 합산하여 전체 112개 사례 중에서 비방폭 구역(Non-hazardous area)으로 산정된 비율을 나타낸 그림이다. PHAST는 누출물질의 확산범위를 계산하여 폭발위험범위를 보여줄 수 있으나, 비방폭 여부를 판단할 수는 기능이 없기 때문에 Fig. 2에서는 반영하지 않았다. 1st Ed.에서 메탄과 프로판에 대해서만 25%의 비방폭 구역으로 산정한 반면, 2nd Ed.에서는 4개 물질 모두 75~92.9%를 비방폭 구역으로 산정하는 급격한 증가추세를 보여주었다. 이는 1st Ed.에 비해 2nd Ed.에서 배출계수(Cd: 0.75) 반영으로 최대 25%의 누출량이 감소되었고, 특히 액체인 벤젠과 메탄올의 경우 환기평가 시 누출량의 2%만 증발량으로 반영하였으므로 누출량의 현저한 감소가 비방폭 구역의 증가로 이어졌다.

Fig. 3은 Table 4에서 Table 7까지 나온 결과 중에서 1st Ed.과 2nd Ed. 모두 폭발위험장소로 설정한 구간을 비교하여 1st Ed. 기준으로 2nd Ed.와의 차이를 Percentage error로 계산하여 각각 물질의 경우 최대값과 최소값을 보여주고 있다. 1st Ed.과 2nd Ed. 사이의 상대적인 증가 감소추세도 보여주기 위해 절대값이 아닌 (+)와 (-)방

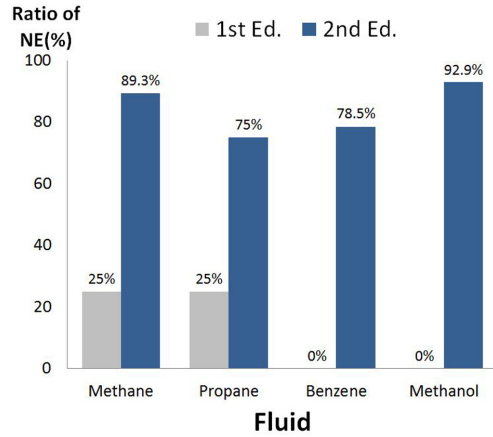
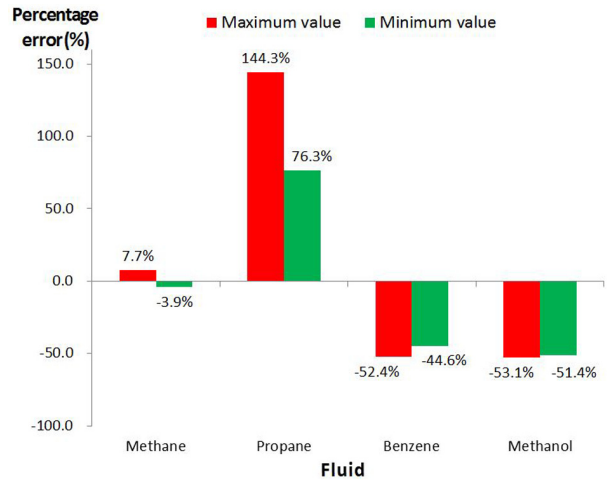


Fig. 2. Comparisons of non hazardous areas between 1st Ed. and 2nd Ed.



$$\text{Percentage error}(\%) = \frac{(2nd\ Ed.\ range - 1st\ Ed.\ range)}{1st\ Ed.\ range} \times 100$$

Fig. 3. Maximum and minimum values of percentage errors for explosion hazardous ranges(1st Ed. VS 2nd Ed.).

향으로 나타났다.

기체인 메탄의 경우는 1st Ed.과 2nd Ed.의 계산결과가 거의 일치하였지만, 프로판의 경우는 2nd Ed.을 이용하여 산정한 값이 훨씬 큰 것으로 나타났다. 이러한 원인은 환기평가 시 동일한 환기횟수 (0.03회/sec)를 일괄적으로 적용한 1st Ed.과 달리 2nd Ed.에서 가스비중에 따른 희석 및 확산을 반영한 것이 위험범위가 증가한 요인으로 판단된다. 메탄보다 프로판의 비중이 2.75 배 높은 것을 고려해 볼 때 가스의 비중이 높아질수록 1st Ed.과 2nd Ed.의 차이가 더 커지는 것으로 분석할 수 있다. 또한, 1st Ed.에서는 가상체적을 구(Sphere)로 가정하여 산출한 반경을 위험범위로 산정하고 있는 반면 2nd Ed.에서는 누출특성 계산치를 반영하여 표준에서 제시하는 차트로부터 위험범위를 산정하도록 하고

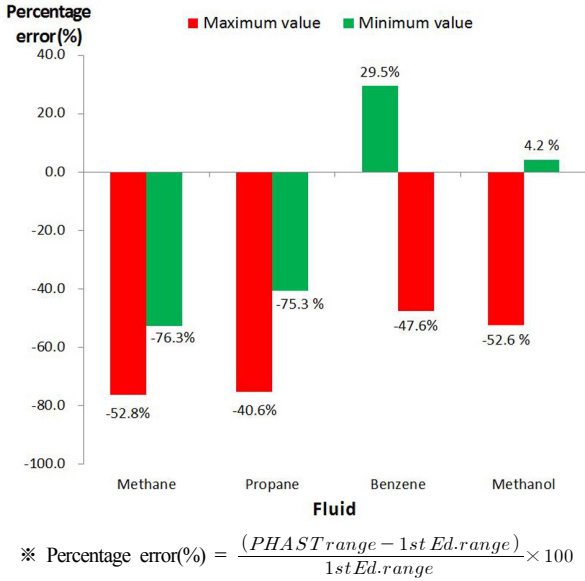


Fig. 4. Maximum and minimum values of percentage errors for explosion hazardous ranges (1st Ed. VS PHAST).

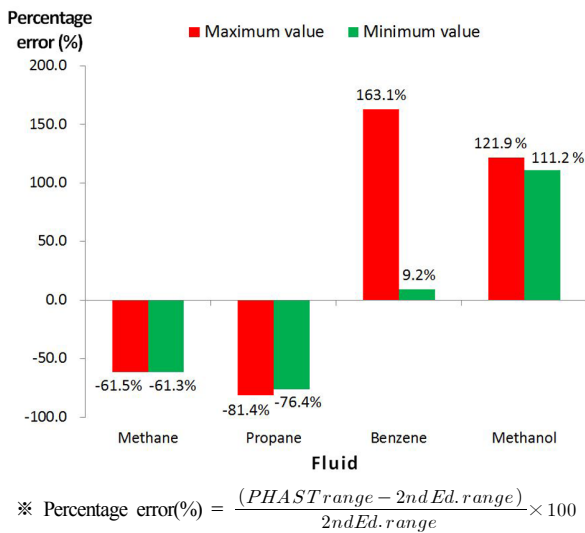


Fig. 5. Maximum and minimum values of percentage errors for explosion hazardous ranges(2nd Ed. VS PHAST).

있기 때문에 이와 같은 차이를 보이는 것으로 보인다. 액체인 벤젠과 메탄올은 2nd Ed.의 경우 대체적으로 계산 결과가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 1st Ed.의 경우는 액체 누출량 전부 기체로 증발한다고 반영하여 산정한 반면, 2nd Ed.의 경우는 누출량의 2%만 증발량으로 반영하여 위험범위를 산정하였기 때문이다.

Fig. 4와 Fig. 5는 1st Ed., 2nd Ed.과 PHAST와의 차이를 각각의 물질에 대해 Percentage error로 계산하였을 때 나오는 최대값과 최소값을 보여주고 있다. 기체의 경우는 PHAST를 이용하여 산정한 위험범위가 1st Ed.와 2nd Ed.을 이용하여 평가한 범위보다 작음을 확

인할 수 있으며 액체의 경우는 대체적으로 PHAST를 이용하여 평가한 범위가 2nd Ed.보다 크지만, 1st Ed.을 이용하여 평가한 범위보다는 낮게 나오는 것을 확인할 수 있다. 구체적으로 PHAST에 내재되어 있는 모델식을 자세히 파악할 수는 없지만 PHAST의 경우 IEC 기술표준에서는 반영하지 않는 풍속, 대기안정도 같은 기상조건과 표면거칠기 등의 주변 지형까지 반영하여 확산범위를 계산하기 때문에 편차가 발생하는 것으로 결론낼 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 IEC 기술표준 1st Ed.과 2015년에 개정된 2nd Ed. 내용을 비교, 분석하였으며 메탄, 프로판, 벤젠, 메탄올에 대해 사례연구를 실시하였다. 그리고 PHAST를 이용하여 IEC 기술표준을 검증하였다. Fig. 6에서 확인할 수 있는 것처럼 액체인 경우에는 대체적으로 1st Ed.>PHAST>2nd Ed. 순으로 폭발위험범위를 산정함을 확인할 수 있었으며, Fig. 7에서 확인하는 것처럼 기체인 경우 대체적으로 2nd Ed.>1st Ed.>PHAST 순으로 폭발위험범위를 산정함을 확인할 수 있었다.

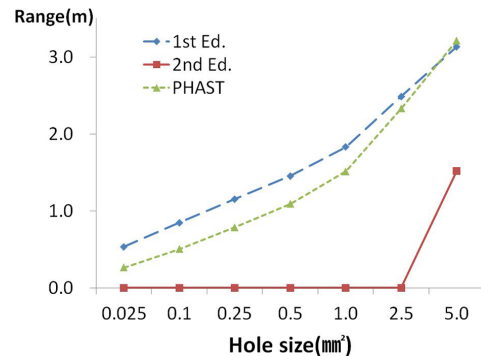


Fig. 6. The results of explosion hazardous ranges for methanol calculated by 1st Ed., 2nd Ed., and PHAST(at 0.5 MPa).

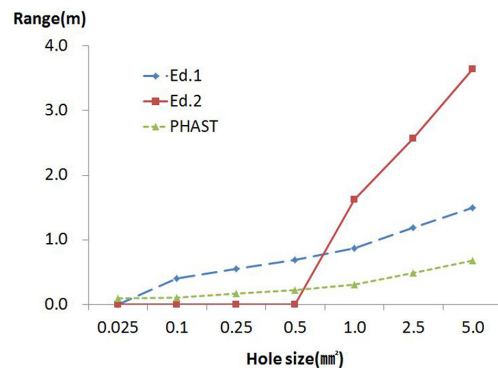


Fig. 7. The results of explosion hazardous ranges for propane calculated by 1st Ed., 2nd Ed., and PHAST(at 0.5 MPa).

Table 8. Explosion hazardous ranges according to various coefficients of discharge & vaporization rate(at 0.5 MPa, 5.0 mm²)

Coefficient of discharge		Vaporization rate	
Input	Range of propane(m)	Input	Range of benzene(m)
0.5	2.97	2%	2.24
0.75	3.64	10%	5.04
0.95	4.11	50%	11.33
0.99	4.14	100%	16.05

1st Ed.과 2nd Ed.의 계산 결과의 차이가 나는 이유는 첫 번째, IEC 기술표준 1st Ed.에서는 계산된 가상체적(V_z)을 통해 폭발위험범위를 산출하는 반면에 2nd Ed.에서는 차트를 이용하여 폭발위험범위를 산정하기 때문이다. 두 번째 이유는 1st Ed.에 비해 2nd Ed.에서 배출계수를 반영하여 최대 25%의 누출량이 감소되었고, 특히 액체인 벤젠과 메탄올의 경우 환기평가시 누출량의 2%만 증발량으로 반영하였으므로 기체 누출량의 현저한 감소가 있기 때문이다. Table 8의 경우 배출계수와 증발률 변화에 따른 폭발위험범위의 변화를 보여주고 있으며, 증발률에 따라 변화가 상당히 큼을 확인할 수 있다. 세 번째는 1st Ed.의 경우 환기평가시 동일한 환기횟수를 일괄적으로 적용하는 반면에 2nd Ed.의 경우는 가스비중에 따른 희석 및 확산을 고려함을 들 수 있다.

그리고 1st Ed.과 2nd Ed.의 계산 결과를 검증하기 위해 PHAST를 이용하여 계산 결과를 비교해 보았다. 이를 통해 1st Ed.의 경우는 PHAST보다 액체와 기체 모두 폭발위험범위를 보수적으로 산정함을 확인할 수 있었으며, 2nd Ed.의 경우는 기체는 PHAST보다 보수적인 결과를 산정하지만, 액체의 경우는 PHAST가 더 보수적인 결과를 산정하는 것으로 확인하였다. 따라서, 현재 가장 믿을만한 Consequence Analysis 프로그램인 PHAST의 결과가 가장 신뢰하다고 한다면, 폭발위험범위를 산정할 때 1st Ed.의 경우는 문제가 없지만, 2nd Ed.의 경우는 액체를 다룰 때는 보다 더 신중하게 접근해야 한다고 결론을 낼 수 있다.

따라서 향후에 IEC 표준이 개정되는 경우, 2nd Ed.의 모델 식이나 배출계수 선정기준, 증발율 산정방법 등에 대해 보다 더 많은 연구와 고찰이 필요할 것으로 보인다.

감사의 글 : 이 논문은 2017학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임 (PK-C-D-2017-0274).

References

- 1) Korea Petrochemical Industry Association, "Petrochemical Statistics", 2016.
- 2) 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.
- 3) J. P. Yim and C. B. Chung "Validity Review on Classification of Explosion Hazardous Area using Hypothetic Volume", J. Korean Soc. Saf., Vol 29, No. 6, pp. 68-75, 2014.
- 4) International Electrotechnical Commission, "IEC 60079-10-1 : Explosive Atmospheres - Part 10-1 : Classification of Areas - Explosive Gas Atmospheres 1st Edition", 2008.
- 5) International Electrotechnical Commission, "IEC 60079-10-1 : Explosive Atmospheres - Part 10-1 : Classification of Areas - Explosive Gas Atmospheres 2nd Edition", 2015.
- 6) National Institute of Chemical Safety, "Chemical Data Reporting Opening System", 2016.
- 7) Korea Occupational Safety & Health Agency, "KOSHA Guide P-107-2016 : Technical Guidance on Selecting the Worst and Alternative Leaking Scenarios", pp. 2-3, 2016.