

인화성액체 취급 연구실의 폭발위험장소 구분에 관한 기준 적용 연구

김민호 · 이준서 · 김은희 · †마병철*

전남대학교 대학원 화학공학과 석사과정, *전남대학교 대학원 화학공학과 교수
(2022년 9월 5일 접수, 2022년 11월 21일 수정, 2022년 11월 22일 채택)

A Study on the Application of Criteria for the Classification of Explosive Hazardous Areas in Flammable Liquid Handling Laboratories

Min-Ho Kim · Jun-Seo Lee · Eun-Hee Kim · †Byung-Chol Ma

Graduate School, Dept. of chemical engineering, Chonnam National University,
Gwangju 61186, Korea

(Received September 5, 2022; Revised November 21, 2022; Accepted November 22, 2022)

요약

화학 산업의 발전에 따라 관련 사고가 빈번하게 발생하고 있으며 그 가운데 화재 · 폭발 사고가 큰 비중을 차지하고 있다. 화재 · 폭발 사고를 방지하기 위해 인화성액체를 취급하는 장소 등은 관련 법령에 근거하여 한국산업표준(KS C IEC60079-10-1)에 따라 폭발위험장소를 구분하도록 하고 있다. 이는 인화성액체를 취급하는 연구실에도 동일하게 적용된다. 본 논문에서는 연구실에서 인화성액체가 누출되어 증발 풀(pool)을 형성하는 경우 한국산업표준에 따른 폭발위험장소 구분 절차의 적용성과 환기속도의 변화가 누출특성에 미치는 영향을 확인하였다. 이를 통해 연구실과 같은 장소는 한국산업표준에 따른 폭발위험장소 구분에 대한 기준 적용이 어려우며, 별도의 안전대책이 마련되어야 함을 알 수 있었다.

Abstract - With the development of the chemical industry, related accidents frequently occur, and fire and explosion accidents account for a large proportion. In order to prevent fire and explosion accidents, places that handle flammable liquids are classified according to the Korean Industrial Standards (KSC IEC60079-10-1) in accordance with the relevant laws. The same applies to laboratories dealing with flammable liquids. This paper verified the applicability of the procedure for classifying explosion hazard areas according to the Korean Industrial Standards when flammable liquid release from the laboratory to form an evaporative pool, and also verified the effect of a change in ventilation speed on the release characteristics. Through this, it was found that it was difficult to apply the criteria for the classification of places at risk of explosion according to the Korean Industrial Standards, and special safety measures should be prepared.

Key words : KS C IEC60079-10-1, Explosive hazardous areas classification

1. 서론

현재 전 세계적으로 유통되고 있는 화학물질의 수는 20만여 종에 이르며 매년 3천여 종의 새로운 화학

물질이 개발되어 상품화되고 있다. 국내에는 4만 4천 종 이상의 화학물질이 유통되고 있고, 매년 2,000여 종이 새로이 국내시장에 진입되는 등 화학물질의 사용이 꾸준히 증가하고 있다. 또한, 화학 산업은 다른 분야에 비해 빠르게 성장하며 우리나라는 세계 5위의 화학 산업국가로 국제적으로도 큰 비중을 차지하고 있다. 이에 따라 다양한 화학물질에 대한 안전관리가

†Corresponding author: anjeon@jnu.ac.kr
Copyright © 2022 by The Korean Institute of Gas

중요한 과제로 대두되고 있다.[1]

산업안전보건연구원의 연구보고서에 따르면 2011년부터 2020년까지 발생한 산업재해 중 화학적 인자로 인한 사고성 산업재해의 최대 원인은 Fig.1에서와 같이 화재(3,282건)와 폭발(2,914)이었으며, 사고가 발생한 사업장의 크기는 Fig.2와 같이 2020년도 기준 74.2%가 50인 미만인 소규모 사업장으로 파악되었다.[2]

특히, 대학 및 연구기관, 기업 부설연구소 등에서 발생 되는 사고는 특성상 소규모로 발생하는 경우가 많고 연구과제 특성상 사고정보의 접근이 제한적이다. 2014년도 연구실 사고 통계 분석결과에 의하면 총 166건의 사고가 발생하였으며 2013년도 대비 사고보고 건수가 107건으로 55% 증가한 수치였다. 이 중 대학교 연구실이 전체의 87%를 차지하고 있으며 연구활동종사자의 상해가 발생한 사고도 151건이었다. 발생 형태별로 보면 화재·폭발이 46건, 약 28%로 다수 발생하였다.[3]

화재·폭발이 발생하기 위해서는 산소, 가연물, 점화원의 3요소가 모두 충족되어야 하고, 일단 가연물이 누출되면 주변 공기(산소)와 함께 화재 또는 폭발

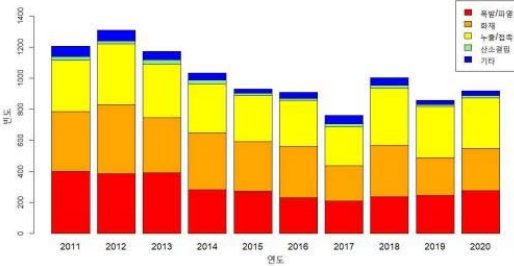


Fig. 1. Cause of industrial accident[2]

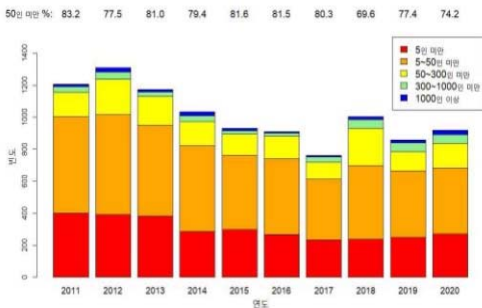


Fig. 2. Frequency of industrial accidents according to the size of the workplace[2]

사고로 이어지는 경우가 많으므로 위험물을 취급하는 사업장에서는 사고 예방을 위해 점화원 관리에 상당한 노력을 기울여야 한다.

점화원은 기계적, 화학적, 전기적 점화원으로 분류할 수 있으며 기계적, 화학적 점화원에는 마찰, 충격, 반응열 등이 있다. 전기적 점화원에는 정전기와 전기스파크가 있는데 2010년부터 2016년까지 발생한 화재·폭발사고 68건 중 정전기에 의한 점화가 26건으로 38%, 전기스파크에 의한 점화가 13건으로 19%를 차지하고 있다. 또한, 같은 기간 동안 발생한 화학사고 100건 중 48건이 인화성액체에 기인한 사고이며, 이러한 결과는 사업장에서 인화성액체를 빈번하게 사용하는 것도 있지만 누출 후 유증기가 쉽게 희석되지 않아 폭발성 분위기의 형성 가능성이 높다는 점도 주요한 이유로 볼 수 있다.[5]

산업안전보건기준에 관한 규칙 제230조(폭발위험이 있는 장소의 설정 및 관리) 제1항에 따르면 “사업주는 인화성액체의 증기나 인화성 가스 고체를 제조 취급 또는 사용하는 장소에 대하여 폭발위험장소의 구분도를 작성하는 경우에는 산업표준화법에 따른 한국산업표준으로 정하는 기준에 따라 가스폭발 위험장소 또는 분진폭발 위험장소로 설정하여 관리하여야 한다”라고 명시되어 있으며 여기에서 언급된 한국산업표준은 KS C IEC60079-10-1의 폭발위험장소의

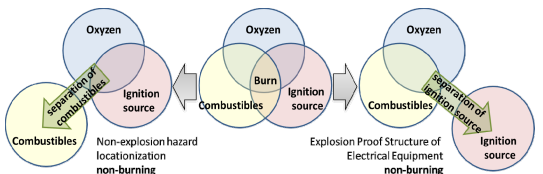


Fig. 3. Explosion prevention principle[4]

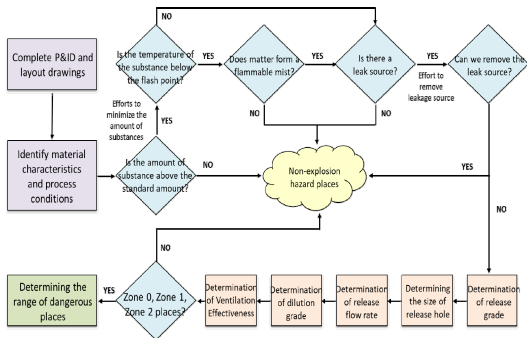


Fig. 4. Procedure for identifying explosion hazard areas[4]

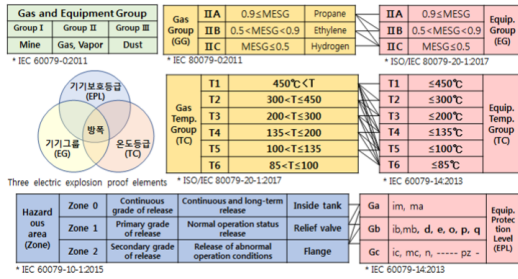


Fig. 5. Three electric explosion proof elements[4]

구분을 말한다. 폭발위험장소 구분을 위한 일반적인 절차는 Fig.4와 같다.

인화성액체를 취급하는 사업장에서는 관련 기준에 따라 폭발위험장소를 구분하고 전기 스파크로 인한 점화원을 차단하기 위해 Fig.5와 같이 적절한 성능을 갖춘 방폭기기를 설치하여야 한다.

따라서, 인화성액체를 취급하는 연구실에서도 해당 법규에 따라 폭발위험장소를 산정하여야 한다.

본 연구에서는 인화성액체를 취급하는 연구실에서 누출이 발생한 상황을 가정하여 한국산업표준(KS C IEC60079-10-1:2015)에 근거한 폭발위험장소 구분 절차의 적용성을 확인하고 적절한 안전대책을 제시하고자 한다.

II. 연구 이론

한국산업표준(KS C IEC60079-10-1:2015)에서는 폭발위험장소의 범위를 구하기 위한 방법을 제시하고 있다.[6] 액체의 누출률에 대하여 증발되는 양을 계산하여 증발률을 구하고, 이에 따라 누출특성이라는 새로운 특성값을 계산하게 된다. 또한, 해당 설비가 위치한 구역의 환기량을 통해서 환기속도라는 특성값을 구한다. 이전 규정과 가장 큰 차이점은 폭발위험범위를 결정하는데 있어서 그래프 차트를 이용한다는 점이다. 환기속도와 누출특성 차트에 의하여 희석등급을 설정한 후, 저희석, 중희석 및 고희석에 해당되는 경우에는 폭발 위험변경-누출특성 차트를 활용하여 그래프 상의 직선과의 접점을 통해서 폭발위험범위를 결정하는 방식이다. 이 방법에 따르면 중희석 및 고희석에 해당하는 경우에는 가스의 무거운 정도에 따라 최소 1 m 또는 1.5 m의 폭발위험범위가 결정된다.

2.1. 누출량

액체의 누출량을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\frac{dG}{dt} = C_d S \sqrt{2\rho \Delta p} \quad [kg/s] \quad (1)$$

여기서, ρ 는 액체밀도(kg/m³), Δp 는 누출압력차, C_d 는 누출계수($C_d \leq 1$)를 나타낸다. 가스의 누출량을 산정하기 위하여는 초크압력(P_c)과 용기 및 배관의 내부 압력(P)을 고려하여 식(2)와 (3)을 통해 구할 수 있다.

$P > P_c$ 인 경우,

$$\frac{dG}{dt} = C_d S P \sqrt{\frac{rM}{ZRT} \left(\frac{2}{r+1} \right)^{(r+1)/(r-1)}} \quad (2)$$

$P < P_c$ 인 경우,

$$\frac{dG}{dt} = C_d S P \sqrt{\frac{M}{RT} \left(\frac{2r}{r-1} \right) \left[1 - \left(\frac{P_a}{P} \right)^{(r-1)/r} \right] \left(\frac{P_a}{P} \right)^{1/r}} \quad (3)$$

여기서, M 은 분자량(kg/kmol), R 은 기체상수, T 는 운전온도(K), r 은 비열비, Z 는 압축계수(일반적으로 1을 적용)를 나타낸다.

2.2. 증발률

증발풀(evaporative pool)은 액체의 유출 또는 누출 뿐 아니라, 개방된 용기에서 인화성액체를 저장 또는 취급하는 공정 설비의 일부에서 생성될 수 있으며, 액면에서의 증발률 계산은 다음 4가지의 가정하에 수행된다. 첫째, 대기 온도에서 상(phase) 변화와 플룸(plume)이 없다. 둘째, 누출된 인화성 물질은 중간 정도의 부력을 갖는다. 셋째, 다량의 연속 누출의 경우는 고려하지 않는다. 넷째, 용기에서 흘러나오는 액체는 즉시 1 cm 깊이의 풀로써 평평한 표면을 형성하고 대기 조건에서 증발한다. 이때, 증발률은 식(4)와 같다.

$$W_e = \frac{6.55 U_w A_p P_v M^{0.667}}{R \times T} \quad [kg/s] \quad (4)$$

여기서, U_w 는 환기속도, A_p 는 풀의 표면적, P_v 는 증기압을 나타낸다. 누출유량은 식(4)에 따른 누출유량 결정 기본기준에도 불구하고 누출원의 특성 및 가스의 특성 등을 고려하여 더 정확한 계산식을 적용할 수 있는 경우에는 그 계산식에 따라 누출유량을 결정할 수 있다. 특히, 액체가 누출되어 풀을 형성하였을 경우 포화증기압, 바람의 세기, 표면의 재질 등 여러 매개변수에 의해 증발량이 결정되므로 매개변수에 따라 증발량을 결정하는 식들은 다양하다.[7]

그 중, 미국 환경청(EPA)의 “Risk Management

Table 1. Constant Value according to atmospheric stability

Stability	n	K/k ₀	K'/k ₀
Instability	0.2	1.2781×10 ⁻³	3.846×10 ⁻³
middle	0.25	1.579×10 ⁻³	4.685×10 ⁻³
Stability	0.3	1.786×10 ⁻³	5.285×10 ⁻³

Program Guidance for Offsite Consequence Analysis” Appendix D Technical background에서 보고된 증발량을 산정하기 위한 식은 식(5)과 같다.

$$Q_r = \frac{0.284 \times U^{0.78} \times M_w^{2/3} \times A \times V_p}{82.05 \times T} \quad (5)$$

V. J. Clancey에 의해 수정된 Sutton-Pasquill model 식에서는 직사각형 풀인 경우 식(6), 원형 풀인 경우 식(7)과 같이 나타내고 있다.

$$E = 1.2 \times 10^{-10} \frac{M_w P^0}{T} U^{0.78} x^{0.89} y \quad (6)$$

$$E = 3.6 \times 10^{-10} \frac{M_w P^0}{T} U^{0.78} r^{1.89} \quad (7)$$

또한, Cremer와 Warne(1982)에 의해 수정된 Sutton-Pasquill model 식에서는 직사각형 풀인 경우 식(8), 원형 풀인 경우는 식(9)와 같이 나타내고 있으며 대기 안정도에 따른 상수값은 Table 1과 같다.

$$E = (K/k_0) \frac{P_v M_w}{RT_a} U^{\frac{(2-n)}{(2+n)}} x_0^{\frac{2}{(2+n)}} y_0 \quad (8)$$

$$E = (K'/k_0) \frac{P_v M_w}{RT_a} U^{\frac{(2-n)}{(2+n)}} r^{\frac{(4+n)}{(2+n)}} \quad (9)$$

2.3. 누출특성

누출특성은 식(4)를 이용하여 구한 값에 가스 또는 증기의 밀도와 안전계수(k)를 조합한 다음의 식을 통해 구할 수 있다.

$$\text{누출특성} = \frac{W_g}{(\rho_g \times k \times LFL)} [m^3/s] \quad (10)$$

여기서, ρ_g는 증기의 밀도, k는 안전계수(일반적으로 0.5 ~ 1.0), LFL은 인화하한을 나타낸다.

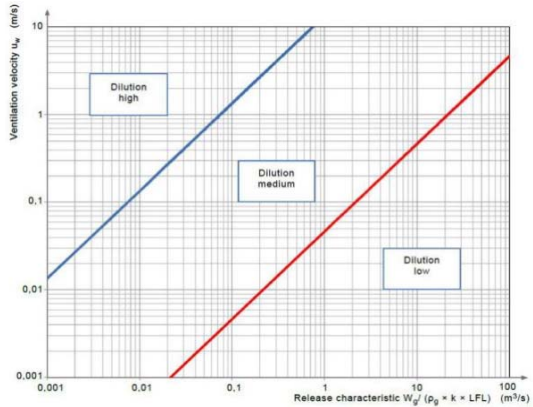


Fig. 6. Chart for assessing the degree of dilution taken from KS standards

2.4. 환기속도

가스를 이동시키는 흐름은 옥내 환기에 의한 평가를 근거로 하거나 옥외 바람에 의해 발생하는 흐름을 통해 평가한다. 옥내의 환기속도는 환기에 의한 평균 풍속을 바탕으로 한다. 즉, 공기/가스 혼합물의 부피유량을 흐름방향에 수직인 단면적으로 나누어 계산할 수 있다. 옥외 구역에서의 자연환기는 상대밀도가 0.8 이하인 누출의 경우 환기속도를 최소한 0.5 m/s로 가정하며, 일반적으로 식(11)을 통하여 계산할 수 있다.

$$U_w = \frac{Q_a}{(\text{가로} \times \text{세로})} [m/s] \quad (11)$$

여기서, Q_a는 환기량을 나타낸다.

2.5. 희석등급

식(10)과 (11)을 통해 얻어진 누출특성 및 환기속도를 Fig.6에 대입하여 수평 및 수직 축에 표시되는 교차점을 찾아서 구할 수 있다. 기류에 중요한 제약이 없는 옥외 장소가 '고희석'의 조건을 충족하지 못하면 희석등급은 '중희석'으로 평가한다. 다만, 옥외에서 '저희석'은 발생하지 않는다.

2.6. 폭발위험장소 범위

위의 희석등급 평가를 통해 중희석 또는 저희석 등급으로 결정되는 경우에는 Fig.7에 식(10)의 결과를 대입하여 교차점을 통해 폭발위험범위(R)를 결정한다. Fig.7에서 알 수 있듯이 누출특성이 같을 때 일반적으로 무거운 가스 또는 증기가 가장 넓은 폭발위험

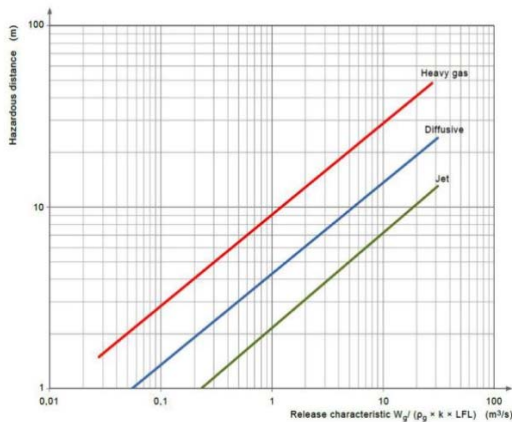


Fig. 7. Chart for estimating hazardous area distances taken from KS standards

장소를 나타내고, 그다음으로는 저속의 확산이며 고속의 제트일 때 가장 짧은 거리를 나타낸다.

III. 연구 내용

3.1. 선행연구 고찰

안전에 대한 사회적 관심이 증가하고 연구실 안전법이 제정되면서 연구실의 폭발위험장소 구분에 관한 학문적 연구가 활발히 이루어졌다. 신동현 등[8]은 고압가스를 저장·사용하는 연구실의 안전관리 문제점과 가스폭발 위험장소 회피 방안에 관한 연구를 수행하였다. 김정현 등[3]은 인화성액체 취급 실험실의 폭발위험장소 구분 및 관리방안에 대해 KS C IEC60079-10-1:2012를 적용한 연구를 수행하였다. 조필래 등[9, 10]은 KS C IEC60079-10-1 규격의 무시할 수 있는 정도와 누출특성에 관한 연구를 통해 폭발위험지역을 구분할 때 명확하지 않은 사항에 대한 문제점을 제기하였고 이어서, 폭발 위험장소 구분을 위한 KS C IEC60079-10-1 규격 적용에 관한 연구를 통해 다양한 각도에서 적용의 문제점을 파악하고 대안을 제시하였다. 이러한 선행연구 결과와 KS C IEC 60079-10-1(2015년) 개정안의 변경된 폭발위험장소 구분 절차 등을 고려하여 연구 방향을 설정하였다.

3.2. 연구대상 및 방법

본 연구에서는 국내 K 연구기관에서 실제 운영 중인 실험실에서 인화성액체가 누출되어 증발폭을 형성하는 상황을 가정하여 KS C IEC 60079-10-1:2015의 폭발위험장소 구분 절차의 효용성을 확인하고, 인화성액체의 누출과 같은 위험 상황에서 실험실 특성

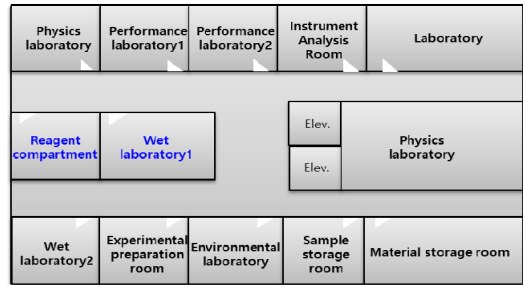


Fig. 8. Laboratory floor plan

Table 2. Evaporative rate calculation application conditions

Flammable Substances	Ethanol	CAS No. 64-17-5
Molar Mass, M	46.07	kg / kmol
Lower Flammable Limit, LFL	0.031	vol / vol
Gas Density, ρ_g	1.6	kg / m ³
Ideal Gas Constant, R	8,314	J / kmol · K
Safety Coefficient, k	1	-
Pool Surface area, A _p	3	m ²
Absolute Temperature of Liquid, T	293	K
Vapour Pressure, P _v	5.8	kPa
Number of Ventilation Required	36	m ³ / person · h
Amount of Ventilation, Q _a	0.5	m ³ / s

에 적합한 안전관리방법을 제시하고자 한다.

본 연구에서 적용한 물질은 실험실에서 범용적으로 사용되는 에탄올(인화성 액체)을 대상물질로 선정하였고, Fig.8의 실험실의 평면도와 같이 에탄올이 시약 보관실과 습식실험실 바닥에 누출되어 증발폭을 형성하는 시나리오를 선정하여 연구를 수행하였다. 우선, 실험실 등에서 소량 취급하는 물질(에탄올 등)에 대하여 폭발위험장소 구분에 관한 기준 등이 적용 가능한지에 대한 여부를 확인한 후, 다른 물질로 확대하여 적용하고자 한다.

3.3. 증발률 및 누출특성 계산

폭발위험장소 구분은 연구 이론에서 제시한 한국산업표준 KS C IEC 60079-10-1:2015의 절차를 준용하였으며, 증발폭에서의 증발률 계산에 조건은 Table 2와 같다. 대상 물질인 에탄올의 물성은 한국산업안전보건공단에 공개된 에탄올(71-43-2)의 MSDS를 참

Table 3. Result of calculating release characteristics

Categories	Formu-l a(4)	Formu-l a(5)	Formu-l a(6)	Formu-l a(7)	Formu-l a(8)	Formu-l a(9)
Ventilation Speed, U_w	5.2×10^{-3}					
Evaporation Rate, W_g	1.0×10^{-5}	4.5×10^{-5}	5.8×10^{-7}	7.0×10^{-7}	2.1×10^{-5}	2.4×10^{-5}
Release Characteristics	2.0×10^{-4}	9.1×10^{-4}	4.2×10^{-4}	5.2×10^{-4}	1.3×10^{-2}	1.5×10^{-2}

Table 4. Ventilation required for each facility

Categories		Number of Ventilation Required ($m^3/person \cdot h$)
1. Underground facility	1) Underground station	More than 25
	2) Underground shopping mall	More than 36
2. Cultural and assembly facilities		More than 29
3. Sales facilities		More than 29
4. Transportation facilities		More than 29
5. Medical facilities		More than 36
6. Educational research facilities		More than 36
7. Homeless facility		More than 36
8. Business Facilities		More than 29
9. Automobile-related facilities		More than 27
10. Funeral hall		More than 36
11. Other facilities		More than 25

고하였다.

증발률 계산은 2.2에서 제시한 식(4)~(9)의 증발률 계산식을 동일한 조건을 적용하여 계산한 다음 단위 환산을 통해 결과를 산출하였으며, 각 식에 따라 계산된 증발률과 누출특성 값은 Table 3과 같다.

여기서, 증발률 계산에 적용한 환기속도(U_w) 계산을 위한 조건은 옥내에서 강제환기일 때 Table 4의 '건축물의 설비기준 등에 관한 규칙' 별표1의6에 따른 교육연구시설(Category 6)의 표준 필요환기량(36이상)을 적용하였다.

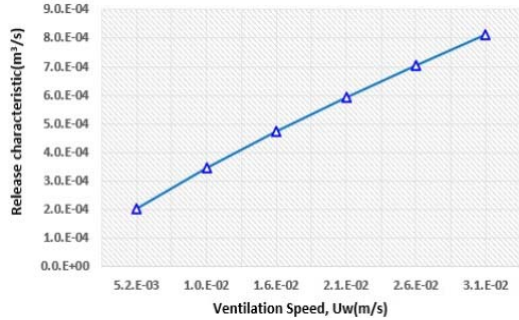


Fig. 9. Relationship between release Characteristics and Ventilation Speed

3.4. 환기속도/누출특성

상온, 상압 조건의 연구실 환경에서 인화성액체가 누출되어 증발률을 형성할 경우 누출특성에 영향을 미치는 인자는 환기속도가 유일하다.

연구실의 공기흐름량(Q_a)을 $0.5 \sim 3.0 m^3/s$ 까지 변화시켰을 때 환기속도(U_w)는 식(11)에 따라 계산할 수 있으며, 환기속도 변화에 따라 식(4)를 바탕으로 증발률 값을 구할 수 있다. 이 증발률 값을 다시 식(10)의 누출특성 계산에 적용하여 환기속도와 누출특성과의 상관관계를 Fig.9와 같이 도출하였다.

IV. 연구 결과

4.1. 폭발위험장소 범위 선정

대상 연구실에서 에탄올의 누출로 인해 증발률을 형성한 상황에서 증발률과 환기속도를 바탕으로 계산된 누출특성 값을 Fig.6 ~ Fig.7의 희석등급과 폭발 위험장소 범위 선정 그래프에 적용하였다. 그 결과, 위의 어떠한 식을 적용하더라도 얻어진 결과는 Fig.10 ~ Fig.11과 같이 적용할 수 없는 범위에 있음을 확인할 수 있었다.

4.2. 환기속도 변화 및 누출특성 적용 가능성

에탄올의 환기속도 변화에 따른 누출특성은 Fig.9와 같이 비례 관계에 있으므로 연구실의 환기속도가 증가되면 누출특성이 증가하여 Fig.10과 Fig.11의 적용이 가능하다. 그렇지만 계산 결과, 필요한 최소 환기속도는 $3.2 m/s$ 이며, 이 값은 너무 커서 실제 연구실 등에서 적용 가능한 수치에 해당하지 않는다. 따라서, 연구실의 환기속도가 크더라도 현재의 폭발위험장소 구분 기준을 적용할 수 없음을 확인할 수 있었다.

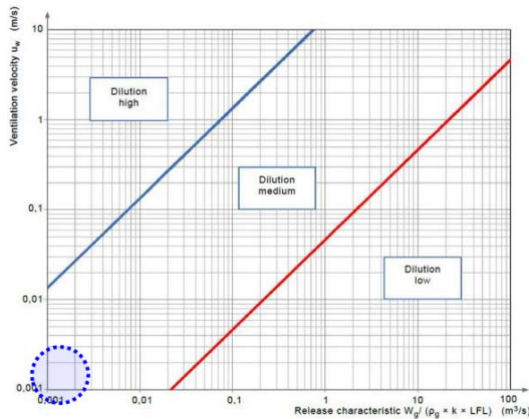


Fig. 10. Ventilation grade classification results

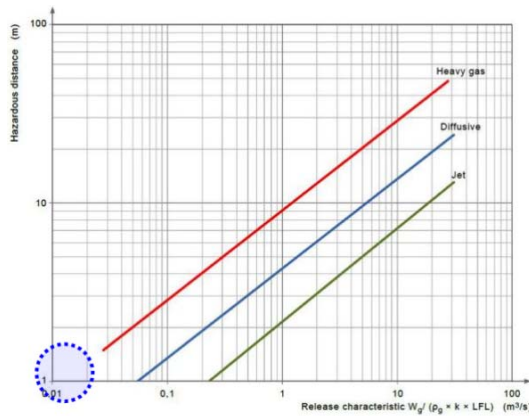


Fig. 11. Explosion hazard areas classification results

4.3. 연구실 폭발위험장소 관리방안

본 연구는 특정 연구실에서 취급하는 에탄올을 대상으로 연구를 수행하였고 이러한 결과를 연구실에서 취급하는 모든 물질 등에 확대 적용하기에는 많은 제한이 있다는 것도 사실이다. 그렇지만, 연구실 특성상 인화성 물질 등을 소량 취급하며, 액체폭을 형성하는 면적이 크지 않기 때문에 현재의 산업체 기준의 폭발위험장소 구분 기준을 연구실 등 소량 취급하는 장소에는 달리 적용해야 한다는 사실은 충분히 설득력이 있다고 판단된다. 즉, 본 연구의 대상 실험실과 같이 폭발위험장소 관리기준에 도달하지 않는 연구실 등은 KSC IEC60079-10-1 등 폭발위험장소 구분 기준을 일괄적용하는 것이 아니라 “인화성 액체를 취급하는 연구실 중, 취급하는 물질의 양이 소량이어서 KSC

IEC60079-10-1 등 폭발위험장소 관리기준 등에 적용이 어려운 경우에는 인화성액체 누출 등으로 화재·폭발이 발생하지 않도록 전선 및 전기기기는 불꽃이 발생하지 아니하도록 확실하게 접속하고, 불꽃이 발생할 우려가 있는 기계·기구·공구·신발 등을 사용하지 아니하는 등의 조치를 취해야 한다.”와 같이 산업안전보건기준에 관한 규칙 등을 개정하여 연구실 실정에 맞게 안전관리가 가능하도록 일반적인 기준을 적용하는 방안을 검토할 필요가 있다.

V. 결론

본 연구에서는 인화성액체를 취급하는 연구실에서 유·누출로 인한 증발폭을 형성할 경우를 가정하여 한국산업표준(KS C IEC60079-10-1:2015)의 절차에 따라 폭발위험장소 구분이 가능한지 여부를 확인하기 위하여 실제로 운영 중인 K 실험실을 대상으로 연구를 수행하였다.

연구 결과 상온·상압 상태로 유지되는 일반적인 실험실 환경에서는 에탄올이 누출되어 증발폭을 형성한다고 하여도 산출된 누출특성 값은 한국산업표준의 폭발위험장소 구분 절차를 적용하기 위한 최소값(0.03 m³/s)에 도달하지 못함을 알 수 있었다. 또한, 환기 속도가 증가할 경우 누출특성 값 또한 증가하기 때문에, 환기 속도값을 늘려 최소의 누출특성 값에 도달하려고 하였으나, 해당값에 도달하기 위해서는 최소 3.2 m/s의 환기속도가 필요하며 이는 현실적으로 적용 가능하지 않기 때문에 연구실 등에서의 폭발위험장소 구분 기준을 적용하는 것은 어렵다는 사실을 확인하였다.

따라서, 일반적인 에탄올을 취급하는 연구실 환경에서는 한국산업표준에 따른 폭발위험장소 구분 기준을 적용하기보다는 해당 연구실의 물리적, 화학적 특성에 적합한 위험성을 파악하여 적절한 안전대책을 마련하는 것이 필요하다고 판단된다. 향후에는 실험실 규모로 취급되는 물질 등에 대한 연구를 확대하고 그에 따른 안전대책 등을 제시하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 환경부 및 한국화학물질관리협회의 화학물질 안전관리 특성화대학원 운영사업 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.

REFERENCES

[1] The Ministry of Environment, “2018 Environmen-

- tal White Paper”, 308, (2018)
- [2] Korea Institute of Industrial Safety and Health, “A Study on the Improvement of Chemical Substance Management Capacity in Small Business Facilities”, 56-59, (2021)
- [3] J. H. Kim. “A Study on the Classification of Hazardous Explosion Area and Management Measure in Laboratories Handling the Flammable Liquids”, Seoul National University of Science and Technology, 1, (2016)
- [4] C. K. Chae. and S. B. Chae. and Y. K. Kim. and S. T. Han. “*Explanation of the types of places at risk of explosion and the criteria for calculating the range*”, (2018)
- [5] H. S. Lee and J. P. Yim. “A Study on Prevention Measure Establishment through Cause Analysis of Chemical Accidents”, *Journal of the Korean Society of Safety*, 32(3), 21-27, (2017)
- [6] KS C IEC 60079-10-1 : “Explosive atmospheres Part 10-1 : Classification of Areas - Explosive Gas Atmospheres”, Korean Industrial Standards, (2015)
- [7] Korea Institute of Industrial Safety and Health, “A Study on the Classification of Explosive Hazardous Places by Analyzing the Physical and Chemical Properties of Flammable Liquids”, 14-17, (2015)
- [8] D. H. Shin. “Analysis of safety management problem in the high-pressure gas handling(storage · use) laboratory and ways to avoid gas explosion hazard area-Focusing on gas with high explosive risk such as hydrogen-”, Seoul National University of Science and Technology, (2022)
- [9] P. R. Cho. and H. K. Lee. and J. B. Baek. “Study on the Negligible Extent(NE) and Release Characteristic of KS C IEC 60079-10-1(2015) Standard”, *Journal of the Korean Society of Safety*, 35(2), 112-117, (2020)
- [10] P. R. Cho. “A Study on the Application of KS C IEC 60079-10-1:2015 Standard for Hazardous Area Classification”, Korea National University of Transportation, (2021)