



환기 및 희석을 적용한 폭발위험장소 검토에 관한 연구

†김남석* · 임재근 · 우인성*

송실대학교 기업재난관리학과, *인천대학교 기업재난안전관리학과
(2018년 4월 26일 접수, 2018년 7월 31일 수정, 2018년 8월 1일 채택)

A Study on the Examination of Explosion Hazardous Area Applying Ventilation and Dilution

†Nam Suk kim* · Jae Geun Lim · In Sung Woo*

Dept. of Enterprise Disaster Safety Management, Soongsil University, Seoul, Korea

**Dept. of Enterprise Disaster Safety Management, Incheon National University, Incheon, Korea*

(Received April 26, 2018; Revised July 31, 2018; Accepted August 1, 2018)

요약

폭발위험장소의 구분은 인화성 물질을 취급하는 사업장에서 비용 및 안전 측면에서 매우 중요하다. 위험장소의 반경에 따라 전기기계·기구의 방폭기기 설치 여부가 결정되기 때문이다. 2017년 11월 6일부터 KS C IEC-60079-10-1:2015가 발행되어 새로운 기준으로 적용된다. 기존의 기준과 새로운 기준에 대한 차이를 이해하여 적용하는 것이 중요한 시점이다. 누출량 계산식에 누출계수 및 압축인자가 추가되었고 증발 풀 누출량 계산식, 누출공 크기 적용, 폭발위험장소의 모양이 추가 적용되었다. 안전계수 K값의 범위도 변경되었다. 또한 위험장소의 반경에는 기존기준은 가상체적에 환기횟수를 적용하였지만 개정기준은 누출 특성 값을 이용하여 산정된다. 본 연구에서는 환기 및 희석의 관점에서 기존기준과의 차이점을 살펴보고 위험장소의 반경에 미치는 영향을 검토하였다. 기존 폭발위험장소를 선정 한 기준과 개정기준을 기준으로 적용하여 비교 및 분석을 실시하였다. 연구결과 환기 및 희석이 잘 된다하더라도 실질적으로 위험반경에 영향이 없을 경우가 발생함을 알 수 있었다.

Abstract - Classification of explosion hazard areas is very important in terms of cost and safety in the workplace handling flammable materials. This is because the radius of the hazardous area determines whether or not the explosion-proof equipment is installed in the electrical machinery and apparatus. From November 6, 2017, KS C IEC-60079-10-1: 2015 will be issued and applied as a new standard. It is important to understand and apply the difference between the existing standard and the new standard. Leakage coefficients and compression factors were added to the leakage calculation formula, and the formula of evaporation pool leakage, application of leakage ball size, and shape of explosion hazard area were applied. The range of the safety factor K has also been changed. Also, in the radius of the hazardous area, the existing standard applies the number of ventilation to the virtual volume, but the revised standard is calculated by using the leakage characteristic value. In this study, we investigated the differences from existing standards in terms of ventilation and dilution and examined the effect on the radius of the hazard area. Comparisons and analyzes were carried out by applying revised standards to workplaces where existing explosion hazard locations were selected. The results showed that even if the ventilation and dilution were successful, the risk radius was not substantially affected.

Key words : explosion hazard area, ventilation, dilution, release characteristics

†Corresponding author:force537@safety.or.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

폭발위험장소의 구분은 폭발성 가스·증기가 존재하는 장소에 설치되는 전기기기의 선정과 화재·폭발 방지에 중요한 요소이기 때문에 정확하고 올바르게 적용되어야 한다. 우리나라의 폭발위험장소의 구분은 2011년 개정된 산업안전보건법에 따라 한국산업표준에서 정하는 기준에 의해 위험장소를 설정하였다.

현재까지 KS C IEC-60079-10-1:2012 기술기준이 적용되어 폭발위험장소의 구분을 하고 있었으나, 2015년 IEC에서 KS C IEC-60079-10-1:2015 제2판을 발행하였다. 국가기술표준원에서 제2판을 2017년 11월 6일에 최종개정확인일로 공표하여 앞으로 인화성 가스 및 인화성액체를 취급하는 제조업 사업장은 새로운 기술기준을 적용한 폭발위험장소 선정에 대한 법적 의무를 준수하여야 한다.

기존의 기준과 개정된 기준의 차이를 명확히 이해하여 적용하는 것은 기존의 인화성물질 취급사업장과 신규 취급사업장 및 신설사업장에서는 비용 측면과 안전측면에서 매우 중요하다.

기존의 기준과 개정된 기준은 계산식은 비슷하나 위험장소를 선정하는데 있어서 개념과 방법이 다르게 적용된다. 누출량 계산식에 누출계수 및 압축인자가 추가되었으며 증발률 누출량 계산식, 누출공 크기 적용, 폭발위험장소의 모양이 추가 적용되었다. 안전계수 k값에 대한 적용방법과 범위도 변경되었다. 폭발위험장소의 구분에 있어서 가장 큰 차이점은 기존 기준은 가상체적에 환기횟수를 적용한 위험반경을 산정하였지만 개정된 기준은 인화성물질의 누출 특성 값을 이용하여 무거운 가스, 저속의 확산, 고속의 제트로 인화성물질을 구분하여 위험반경을 산출한다. 누출 특성 값의 계산에 환기횟수가 적용되지 않음으로써 환기에 대한 영향이 위험반경에 어떠한 영향이 있는지 살펴볼 필요가 있다.

본 연구에서는 개정된 KS C IEC-60079-10-1:2015 제2판 에서 적용되는 환기/희석의 기준과 기존의 환기개념으로 폭발위험장소가 적용된 산출값의 비교를 통해 적용방법의 적합성을 검토하여 비교하고자 한다.

2. 폭발위험장소 범위 계산 및 추정

본 연구에서는 실외가 아닌 실내를 대상으로 검토하였으며, 사업장에서 많이 사용하고 있는 도시가스를 대상으로 선정하였다. 누출량은 기존의 식과

개정된 식의 누출량을 적용하여 계산하였으며, 환기와 관련된 부분에 대하여 검토하고 분석하였다.

2.1. KS C IEC-60079-10-1:2012

KS C IEC-60079-10-1:2012은 누출량 계산 후 신선한공기의 체적유량을 산출한다. 누출된 가연성 가스의 농도가 폭발하한 이하로 완화시키기 위한 신선한 공기의 최소 환기량 가상체적을 알기 위한 이다. 주어진 인화성 가스의 누출 시 폭발하한 이하의 농도로 희석시키기 위하여 신선한 최소 이론 환기량을 식(1)을 이용하여 계산한다 [1] .

$$(dV/dt)_{\min} = \frac{(dG/dt)_{\max}}{k \times LEL_m} \times \frac{T}{293} \quad (1)$$

여기에서

- $(dV/dt)_{\min}$: 신선한 공기의 최소 체적 유량(m³/s)
- $(dG/dt)_{\max}$: 누출원의 최대 누출량(kg/s)
- k : LEL_m에 적용되는 안전율
k=0.25(지속 및 1차 누출등급)
k=0.5(2차 누출등급)
- T : 주위온도(켈빈, K)

LEL_v(vol %)을 LEL_m(kg/m³)로 변환하기 위해 식(2)를 사용할 수 있다 [1] .

$$LEL_m = 0.416 \times 10^{-3} \times M \times LEL_v \quad (2)$$

M : 분자량(kg/kmol)

계산된 신선한 공기의 최소 체적 유량값과 누출원 주위에서 고려하는 실제 환기율 사이의 관계는 체적(V_k)로 나타낼 수 있다. 식(3)을 사용하였다 [1] .

$$V_k = \frac{dV/dt_{\min}}{C} \quad (3)$$

- dV_0/dt : 고려하는 체적을 통한 신선한 공기의 총 환기량
- C : 단위시간당 신선한 공기의 치환 회수(S⁻¹)

C는 환기횟수라고 불리어 지며 식(4)을 사용한다 [1] .

$$C = \frac{dV_0/dt}{V_0} \quad (4)$$

V_0 : 고려하는 누출원 주위에서 실제로 환기되는 총 체적(공장 관리 영역 내)

폭발위험장소의 구분에서 가상체적은 아래의 식(5)으로 계산된다 [1] .

$$V_Z = f \times V_K = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C} \quad (5)$$

가상체적은 누출된 가연성 물질이 완벽한 구의 형태를 이루었다고 가정하여 범위를 산정한 것이다. 폭발위험반경의 계산은 식(6)와 같이 계산하였다.

$$V_Z = \frac{4\pi r^3}{3} \quad (6)$$

폭발위험반경 r 을 구하는 공식은 많은 변수의 영향을 받는다. 안전계수 K , 품질계수 f , 환기횟수 C 는 가상체적의 공식에 영향을 미쳐 폭발위험장소의 결정에 매우 중요한 요소이다.

가상체적 V_Z 는 가연성 가스 또는 증기의 평균농도가 안전율 K 값에 따라 폭발하한의 0.25 또는 0.5

배가 되는 체적을 나타낸다. 2차 누출등급으로 안전율을 0.5적용하여 연구를 진행하였다.

환기횟수는 실제 총 체적(V_0)과 환기량에 따라 달라지므로 Table 1에 체적과 환기에 따른 환기횟수와 폭발반경을 나타내었다. 실제 체적은 정사각형으로 가정하여 한 면을 10m, 15m, 20m로 각각 적용하였으며, 환기량은 $400\text{m}^3/\text{min}$ 를 기준으로 하였다.

품질계수(f)는 폭발성 가스분위기를 희석하는 효과측면에서 환기의 효율이며, 일반적으로 f 는 $f=1$ (이상적인 조건)에서 $f=5$ (공기흐름 장애)의 범위가 된다. 환기의 효율에 따라 f 의 값이 변동이 되어야 하나 환기량이 있어 3을 기준으로 적용하였으며, f 값에 따른 폭발위험반경을 비교하였다. 연구에 적용된 환기량 $400\text{ m}^3/\text{min}$, 체적 $3,375\text{m}^3$ 을 기준으로 Table 2에 나타내었다.

품질계수(f) 3, 체적 $3,375\text{m}^3$ 을 적용하여 환기량 변화에 따른 폭발위험반경을 Table 3에 나타내었다.

IEC-60079-10-1:2012의 폭발위험반경은 환기량에 큰 영향을 받는다. 환기횟수(C), 품질계수(f)는 모두 환기량에 의해 결정된다. 누출량이 같더라도 환풍기를 추가 설치하여 환기량을 높이게 되면 폭발위험반경이 줄어드는 결과가 나왔다.

Table 1. Number of Times of Ventilation & Explosion Hazardous Area By Volume

	환기횟수	폭발반경(m)
1,000 m ³	0.0095	0.72
3,375 m ³	0.0028	1.07
8,000 m ³	0.0012	1.43

Table 2. Explosion Hazardous Area By Quality Factor(f)

	$f=1$	$f=2$	$f=3$	$f=4$	$f=5$
폭발위험반경(m)	0.74	0.94	1.07	1.18	1.27

Table 3. Explosion Hazardous Area By Volume of Ventilation

	200 m ³ /min	300 m ³ /min	400 m ³ /min	500 m ³ /min	600 m ³ /min
폭발위험반경(m)	1.35	1.18	1.07	1	0.94

2.1. KS C IEC-60079-10-1:2015

개정된 KS C IEC-60079-10-1:2015 제2판에서는 누출량 계산 후 누출특성 값을 구한다. 누출특성 값을 이용하여 새롭게 적용한 폭발위험장소의 범위 추정 차트로 범위를 결정한다. 폭발위험장소 범위 추정 차트는 Fig. 1과 같다.

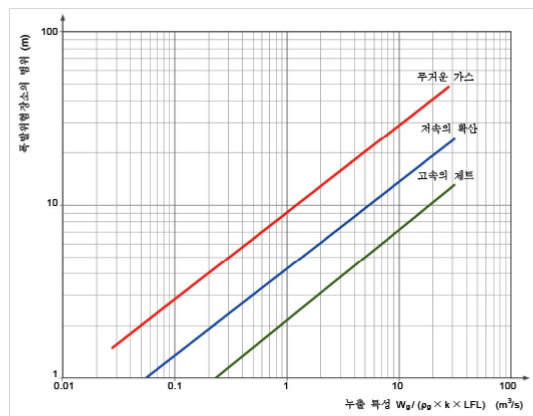


Fig. 1. Chart for Estimating Hazardous Area Distances.

새롭게 적용된 폭발위험장소의 범위 추정 차트를 보면 누출특성 값을 기준으로 고속의 제트, 저속의 확산, 무거운 가스 중 하나에 속하는 누출 형태에 따라 적절한 곡선을 선택한다.

Fig. 2를 이용하여 누출유형 고속의 제트누출, 무거운 가스 또는 증기, 저속의 확산 3가지에 대하여 정리하면 아래와 같이 정의할 수 있다 [2].

고속의 제트 누출은 유속 가스 누출로 해석할 수 있다. 무거운 가스 또는 증기는 고밀도가스, 압축액화가스, 냉각 액화 가스, 인화성 액체 등이다. 저속의 확산 또는 누출 형상이나 주의 표면의 충돌로 인한 속도 손실 제트 누출은 고속의 제트 또는 무거운 가스를 제외한 가스이다.

제2판에서 3가지 누출유형에 대해 명확히 규정되어 있지는 않지만 Fig. 2를 참조하여 정의하였고, 폭발위험반경은 3가지 누출유형에 대한 정의를 적용하여 산출하였다.

누출특성 값을 구하는 식을 보면 환기와 관계되는 변수가 없다는 것을 알 수 있다. 누출특성 값은 식(7)과 같다 [2].

$$\text{누출특성}(m^3/s) = \frac{W_g}{\rho_g \times k \times LEL} \quad (7)$$

여기에서

W_g = 유체의 누출율(kg/s)

ρ_g = 가스 또는 증기의 밀도(kg/m³)

k = 인화하한에 적용되는 안전계수
(일반적으로 0.5~1.0 값)

LEL = 해당 유체의 인화하한

기존 식으로 산출한 유체의 누출율과 새로 적용된 유체의 누출율이 같은 경우로 폭발위험반경을 비교하기 위해 누출계수와 압축인자를 1로 적용하였다.

기존의 식과 같은 환경에서 새로이 적용된 식으로 폭발위험반경을 계산한 결과 누출특성값은 0.006 m³/s로 Fig. 1 폭발위험장소의 범위 추정 차트를 이용하여 Table 4, 5, 6에 나타내었다. 연구에 사용된 메탄의 공정조건은 초크누출로 고속의 제트 누출유형을 적용하여 산출하였다.

IEC-60079-10-1:2015의 폭발위험반경은 환기량에 영향을 받지 않는다. 누출량이 같은 경우 환풍기를 추가 설치하여 환기량을 높이면 폭발위험반경은 아무런 변화가 없는 결과가 나왔다.

추가적으로 Fig. 3. 희석등급의 평가차트를 이용하여 누출특성값과 환기속도의 관계로 고흐석, 중희석, 고흐석을 판단한다.

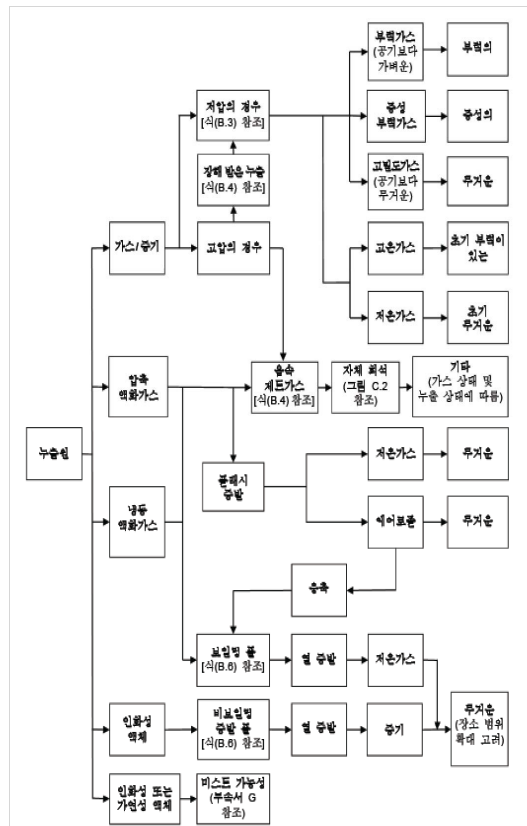


Fig. 2. General Nature of Different Forms of Release.

Table 4. Number of Times of Ventilation & Explosion Hazardous Area By Volume

	환기횟수	환기속도	폭발반경(m)
1,000 m ³	0.0095	0.0067	1 or 비방폭
3,375 m ³	0.0028	0.002	1 or 비방폭
8,000 m ³	0.0012	0.0008	1 or 비방폭

Table 5. Explosion Hazardous Area By Quality Factor(f)

	f=1	f=2	f=3	f=4	f=5
폭발위험반경(m)	1 or 비방폭	1 or 비방폭	1 or 비방폭	1 or 비방폭	1 or 비방폭

Table 6. Explosion Hazardous Area By Volume of Ventilation

	200 m ³ /min	300 m ³ /min	400 m ³ /min	500 m ³ /min	600 m ³ /min
폭발위험 반경(m)	1 or 비방폭	1 or 비방폭	1 or 비방폭	1 or 비방폭	1 or 비방폭

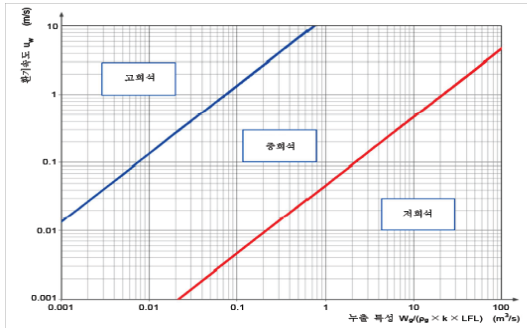


Fig. 3. Chart for Assessing the Degree of Dilution.

누출특성값 0.006 m³/s과 Table 4의 환기속도를 이용하여 희석등급 추정하면 중희석의 결과가 나온다. 누출이 진행되는 동안에도 누출농도를 안정된 상태로 제어할 수 있고, 누출이 중단된 후에는 더 이상 폭발성 가스분위기가 지속되지 않음을 알 수 있다. [2]

2.3. 폭발위험반경의 비교

KS C IEC-60079-10-1:2015는 3가지 누출유형에 따라 곡선을 선택하여 폭발위험반경을 추정하므로 사용 시 주의를 요한다 [1]. Fig. 1 폭발위험장소의 범위 추정 차트는 연속방정식과 선별된 전산유체역학(CFD)을 기반으로 개발하였고 누출의 3가지 형태를 반영하였다. Fig.1 차트는 누출특성값 0.01로 제한되며 폭발위험반경은 1m로 제한되는 한계가 있다.

보수적으로 접근하여 1m로 폭발위험반경을 결정하면 가상체적을 이용한 기존의 식이 전반적으로 크게 산출되었다. 그러나 누출특성값이 누출특성에 따른 곡선과 부합되지 않아 1m 미만의 정확한 폭발위험반경을 알 수 없다. 1m 미만의 경우 비방폭으로 결정하여 비방폭 전기기계기구가 사용된다면 사업장은 화재·폭발의 위험이 존재하게 된다.

KS C IEC-60079-10-1:2012 으로 계산한 폭발위험반경과 비교하면 전반적으로 개정된 기준의 반경은 적게 산출됨을 알 수 있었다.

3. 결론

본 연구는 개정된 KS C IEC-60079-10-1:2015 제 2판 에서 적용되는 환기/희석의 기준과 기존의 KS C IEC-60079-10-1:2012 환기개념으로 폭발위험장소가 적용된 산출값을 비교하였다. 또한 폭발위험장소의 범위추정차트에서의 3가지 누출유형에 대한 정의가 명확하지 않아 Fig. 2를 참조하여 정리하였다.

개정된 기준은 폭발위험반경이 적게 산출되는 것으로 확인되었으나, 누출특성값을 이용한 폭발위험장소의 범위추정차트는 환기속도의 증가로 인한 영향은 없었다. 이는 기존의 기준이 적용된 사업장 중 환풍기를 추가 설치하여 적용된 폭발위험반경이 새로운 기준의 폭발위험반경보다 적게 나오는 경우가 있다는 것이다.

3가지 누출유형에 대해 정리하면 다음과 같다. 고속의 제트 누출은 음속 가스 누출로 해석할 수 있다. 무거운 가스 또는 증기는 고밀도가스, 압축액 화가스, 냉각 액화 가스, 인화성 액체 등이다. 저속의 확산 또는 누출 형상이나 주의 표면의 충돌로 인한 속도 손실 제트 누출은 고속의 제트 또는 무거운 가스를 제외한 가스임을 도출하였다.

REFERENCES

- [1] KS C IEC 60079-10-1, Explosive atmospheres part 10-1 : Classification of Explosion hazard Area, Korean Industrial Standards, 2012.
- [2] KS C IEC 60079-10-1:2015, Explosive atmospheres part 10-1 : Area Classification- Explosion Gas Zone, Korean Industrial Standards, 2015.
- [3] Baek, J.H., and Lee, H.J., "A Study on Improvement of Classification of Explosion Hazardous Area using Hypothetic Volume through Release Characteristic", KIGAS, 19(2), 31-39, (2017)
- [4] Jung, Y.J., "A Study on Calculation of ranges for Explosion gas atmospheres and Countermeasures according to IEC technical stand revision", Pukyong National University, (2017)
- [5] kim, J.R., "Study on Assessment of Release Source of Flammable Substances for setting the Hazardous area", University of Seoul, (2016)