

누출특성을 통한 폭발위험장소 선정방법의 개선에 대한 연구

김대연* · 천영우* · 이익모* · 황용우*

*인하대학교 대학원 환경안전융합전공

A Study on the Improvement of Classification of Explosion Hazardous Area using Hypothetic Volume through Release Characteristic

Dae-Yeon Kim · Young-Woo Chon · Ik-Mo Lee · Yong-Woo Hwang

Dept. of Environmental Technology & Safety Technology Convergence, Inha University,
Incheon, Korea

Abstract

Classify of explosion hazardous areas must be made at the site where flammable materials are used. This reason is that it is necessary to manage ignition sources in of explosion hazardous areas in order to reduce the risk of explosion. If such an explosion hazard area is widened, it becomes difficult to increase the number of ignition sources to be managed. The method using the virtual volume currently used is much wider than the result using CFD(Computational Fluid Dynamics). Therefore, we tried to improve the current method to compare with the new method using leakage characteristics. The result is a realistic explosion hazard if the light gas is calibrated to the mass and the heavy gas is calibrated to the lower explosion limit. However, it is considered that the safety factors should be taken into account in the calculated correction formula because such a problem should be considered as a buffer for safety.

Keywords : explosion hazard area, hypothetical volume, release characteristics, specific gravity of gas

1. 서론

산업안전보건법에서는 인화성물질로 구분되는 액체 및 가스를 저장·사용 또는 취급하는 시설주변은 폭발 위험장소로 설정하고, 그 중별에 적합한 방폭형 설비를 설치하도록 규정하고 있다. 이 경우, 새로 설치하는 설비는 폭발위험장소의 범위 및 중별을 판단하여 설계단계에서부터 방폭 개념을 도입하여 시공하면 되지만, 이미 사용되고 있는 설비의 경우에는 공장 전체에서 방폭설비를 갖추기에는 경제적, 시간적 투자가 많이 소요된다.

이러한 폭발위험장소를 구분하는 규정은 API, NFPA 등에서 제시하고 있으며, 한국에서는 2011년 개정된 산업안전보건법에서 한국산업표준(KS)에 준하여 폭발위험장소를 구분하고 있다. KS 기준에서는 가상체적에 의해 환기등급을 결정하여 폭발위험장소의 형태 즉, 0중, 1중, 2중 또는 비위험 장소를 결정하고 있으나, 폭발위험장소의 범위는 간단한 예시만 제시하고 있을 뿐 구체적인 기술적 사항이 규정되어 있지 않아서, 현장에 적용할 경우에는 다양한 지식과 경험을 필요로 한다. 또한, KS 기준에서 정한, 가상 체적을 이용한 폭발위험장소의 범위는 누출구의 면적에 크게

†Corresponding Author : Young Woo Chon, Dept. of Environmental Technology & Safety Technology Convergence, INHA UNIVERSITY, 100, inha-ro, Nam-gu, Incheon, E-mail: ponychon@inha.ac.kr

좌우되지만, 반면에 누출의 형태와 같은 사항을 반영하지 못하고 있다.

또한 HSE(The Health and Safety Executive, U.K.)의 한 연구 보고서에 따르면, 저압상태의 2차누출일 때 가상체적으로 추정하는 증기운의 부피가 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 사용한 결과보다 100~3,000배 크다는 결과가 보고되었다. 이러한 결과는 가상체적을 이용한 폭발위험장소의 범위가 상당히 안전에 치중하여 규정되었다는 것을 알려주며, 현재 설정된 폭발위험장소의 범위가 실제 폭발위험분위기가 형성되는 범위보다 매우 크게 설정되어 있다는 것을 알려준다. 안전을 위해서는 실제보다 넓게 범위를 정하는 것이 안정적이지만, 폭발위험장소의 범위에 설치해야 하는 방폭설비가 증가하게 되므로 비용 문제가 발생한다. 이러한 경제성과 안전 문제의 대립은 항상 존재하는 사항으로서 기술적으로 적절한 타협점을 찾는 것이 중요하다.

2016년 IEC (International Electrotechnical Commission) 규정이 개정되면서 기존의 가상체적방식이 아닌 화학물질의 누출특성을 이용한 폭발위험장소 구분에 대한 새로운 차트가 제시되었다. 이 차트는 누출형태를 제트 누출, 확산, 및 중가스 누출로 나누고 있으며, 연

속등식과 CFD 모델링을 바탕으로 개발되었다.

따라서 본 연구에서는 IEC 규정에서 새롭게 제시한 차트를 과거의 가상체적을 이용한 방식과 비교하여 현재 사용되고 있는 방법의 타당성을 판단하고, 더 나은 결과를 낼 수 있도록 개선하고자 한다. 이를 통해 폭발위험장소 구분을 더 경제적이고 안전하게 함으로써 화재 및 폭발사고를 예방하고자 한다.

2. 폭발위험장소 선정

누출되는 물질에 따라 원래 사용되던 가상체적을 이용한 방법과 누출특성을 이용한 새로운 방법의 비교를 위하여 가스의 무게를 기준으로 2가지군으로 물질을 선정하였다. 즉, 산업현장에서 많이 쓰이고 있는 폭발성 가스들 중에서 공기를 기준으로 각각 5개씩의 경가스와 중가스를 선정하였다. 사고 시나리오의 경우 분쇄액체누출과 기상누출로 구분해야 하지만, 비교를 위하여 기상누출만을 고려하였다. 또한 누출량의 경우 용기 내 압력과 누출구의 크기를 고려하여 산정해야 하지만, 물질의 종류에 따른 변화를 확인하고자 누출량이 모두 동일하게 선정하였다. 선정 가스의 종류와 주요 물성은 <Table 1>에 나타내었다.

<Table 1> Physical properties of selected gases

Materials		M.W	LEL		Density (g/L)
			% vol	kg/m ³	
Light Gas	Hydrogen	2.02	4.1	3.445×10^{-3}	0.0899
	Methane	16.04	4.4	2.936×10^{-2}	0.7160
	Ammonia	17.03	15	1.063×10^{-1}	0.7710
	Acetylene	26.04	2.5	2.708×10^{-2}	1.1720
	Ethylene	28.05	2.7	3.151×10^{-2}	1.2600
Heavy Gas	Propane	44.10	2.1	3.853×10^{-2}	2.0020
	Butadiene	54.09	2.0	4.500×10^{-2}	2.4180
	Acetone	58.08	2.5	6.040×10^{-2}	3.1180
	Benzene	78.11	1.2	3.899×10^{-2}	3.4860
	Toluene	92.14	1.1	4.216×10^{-2}	4.1110

2.1 가상체적을 이용한 폭발위험장소 구분

국내에서 현재 사용하고 있는 폭발위험장소 구분 방법은 KS기준에 따라 가상체적을 이용한 방법으로서, 누출량을 산정하고 산출된 누출량과 가스의 밀도, 환기

등급을 고려하여 가스의 체적을 구하는 방법이다. 가상체적 V_z 는 가연성 가스 또는 증기의 평균 농도가 안전율 k 값에 따라 폭발하한의 0.25 또는 0.5배가 되는 체적을 나타낸다. 누출등급은 2차누출의 경우로 고려하여 안전율을 0.5로 설정하여 연구를 진행하였다. 가상체적을 알기 위하여, 먼저 주어진 인화성 물질의 누출

을 폭발하한 이하의 필요 농도로 희석시키기 위하여 필요한 신선한 공기의 최소 이론 환기량을 정할 필요가 있다. 최소 환기량은 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다[9].

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

where,

$(dV/dt)_{\min}$: Minimum ventilation flow rate of fresh air (m^3/s)

$(dG/dt)_{\max}$: Maximum release rate of gas from source (kg/s)

LEL_m : Lower Explosion Limit (kg/m^3)

k : Safety factor attributed to LEL_m

단위 체적당 부피 단위인 LEL_v 를 단위 체적당 질량 단위인 LEL_m 으로 변환시키기 위하여 식 (2)를 사용하였다.

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

계산된 최소 환기량값에서 단위 시간당 신선한 공기의 치환회수와 품질계수 f 를 적용시킴으로써 가상체적 V_z 를 구할 수 있다. 여기에서, f 는 폭발성 가스분위기를 희석하는 효과측면에서의 환기 효율이며, 일반적으로 f 는 1(이상적인 조건)에서 5(공기흐름 장애)의 범위를 사용한다[9]. 본 연구에서는 품질계수를 5, 신선한 공기의 치환회수를 시간당 2회로 설정하였다.

$$V_z = \frac{f \times (dV/dt)_{\min}}{C} \quad (3)$$

where,

V_z : Hypothetic volume

$(dV/dt)_{\min}$: Minimum ventilation flow rate of fresh air (m^3/s)

f : Quality factor

C : Air change frequency in the room (s^{-1})

구해진 가상 체적은 누출 물질이 가상의 구를 이룬다고 가정하여 폭발위험장소의 범위를 산정한 것이다. 화학물질의 가상체적을 이용한 폭발위험장소의 범위는 <Table 2>와 같다. 가상의 부피를 이용하여 폭발위험을 측정하는 방법이기 때문에, 누출량이 동일하더라도

폭발위험장소 범위의 차이를 보이고 있다. 공기보다 가벼운 물질의 경우에는 29m에서 9m의 범위로 매우 넓게 분포되어 있고, 공기보다 무거운 물질의 경우에는 11m에서 13m로 좁은 범위에서 나타났다.

가장 넓은 위험장소를 가지는 물질은 수소로서 29.15m의 값을 보이며, 가장 작은 범위는 9.29m로써 암모니아에서 나타났다. 폭발하한이 작을수록 가상체적이 커져서 폭발위험장소가 넓어지는 경향을 보이는데, 이는 시나리오가 동일할 경우 물질의 폭발하한이 가상체적의 크기를 결정하는 가장 큰 요인이기 때문이다. 그에 따라 암모니아의 경우에는 비교적 가벼운 물질임에도 불구하고 다른 가연성물질들에 비해 상당히 큰 폭발하한을 가지고 있으며, 따라서 가장 작은 위험반경을 보여준다. 또 범위의 최대값과 최소값이 모두 공기보다 가벼운 물질 중에서 나타났는데, 이는 공기보다 가벼운 가스의 폭발위험장소 구분에서 더 많은 변수가 나타날 수 있다는 의미이며, 폭발위험장소의 구분을 신중히 해야 할 근거가 된다.

공기보다 무거운 가스의 경우에는 상당히 좁은 범위의 결과값을 보여준다. 이는 물질의 무게가 무거워질수록 중량의 영향을 적게 받기 때문이다. 이와 같이 두 물질군은 폭발위험장소의 구분에 있어서 명확한 차이를 보여주고 있다. 이러한 차이를 반영하기 위해서는 가상체적을 이용한 폭발위험장소 구분에서 공기보다 가벼운 물질과 무거운 물질 사이의 관리방법에 차이를 둘 필요성이 있다.

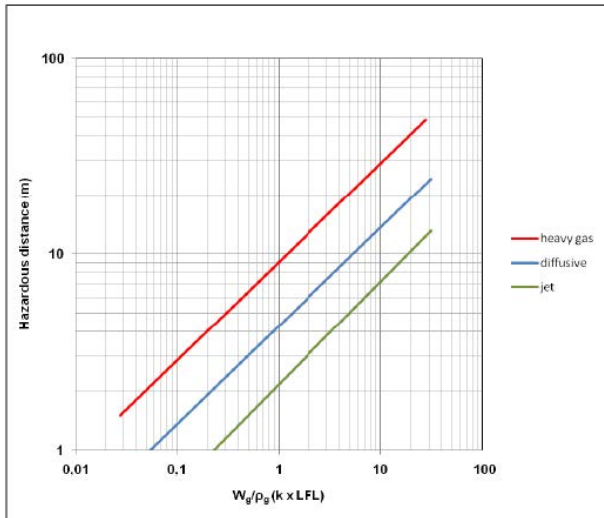
<Table 2> Calculated hypothetic volume and hazardous area

Materials	Hypothetic Volume (m^3)	Hazardous Area (m)
Hydrogen	103660.5	29.15
Methane	12164.4	14.27
Ammonia	3360.8	9.29
Acetylene	13187.6	14.66
Ethylene	11335.8	13.94
Propane	9270.2	13.03
Butadiene	7936.0	12.38
Acetone	5912.7	11.22
Benzene	9159.3	12.98
Toluene	8470.5	12.65

2.2 IEC에서 제시한 새로운 차트를 이용한 폭발위험장소의 구분

IEC는 연속등식과 전산유체공학 시뮬레이션을 기반

으로 새롭게 개발한 폭발위험장소의 범위 추정용 차트를 제시하였으며, 다양한 유형의 누출에 대한 위험장소의 범위를 결정하기 위해 지침으로서 사용이 가능하다고 표기하고 있다. [Figure 1]은 대략적인 거리만을 보여주며, 사용시에는 주의를 요한다.



[Figure 1] Chart for estimating hazardous area distances

이 차트는 옥내 저희석 상황에서는 적용이 불가하며, 3가지 누출유형에 따라 적절한 곡선을 선택하여 위험 범위를 추정할 수 있다. x축에 사용되는 누출 특성의 경우에는 식 (4)를 사용한다.

$$\text{Release Characteristic} = \frac{W_g}{\rho(k \times LEL_v)} \quad (4)$$

여기서, ρ 는 가스/증기밀도(kg/m^3), k 는 LEL_v 에 따른 안전계수이며, 가상체적을 이용한 방법과 같이 0.5를 적용하였다.

IEC에서 새로이 제시한 차트를 이용한 폭발위험범위를 산출한 결과는 Table 3에 나타내었다. 위험반경의 최대값은 15m, 최소값은 2.9m로 모두 가벼운 물질군에서 나타났다. 수소를 제외한 공기보다 가벼운 물질들은 3m ~ 5m 사이의 값을 가지고 있으며, 수소의 경우 다른 공기보다 가벼운 가스들에 비해 매우 넓은 위험범위를 가지고 있다. 수소가 매우 작은 밀도값을 가지고 있기 때문에 누출량이 같을 경우 기체 증기운의 크기가 다른 물질보다 커지며, 증기운의 범위 자체가 크기 때문에 폭발분위기를 생성하는 위험반경 또한 커지게 된다.

공기보다 무거운 물질의 경우 6m ~ 9m 사이의 값

으로 나타났다. 가벼운 물질군에 비해 다소 큰 값을 보여주는데 이는 누출의 형태를 반영한 결과라고 판단된다. 무거운 가스의 경우 누출 후에 바닥으로 깔리기 때문에 공기 증으로의 확산이 덜 일어난다. 따라서 증기운의 농도가 유지된 상태에서 폭발분위기를 생성하는 농도의 증기운이 넓게 퍼지게 된다. 이 결과는 공기보다 무거운 가연성 물질을 사용하는 사업장의 경우 환기가 매우 중요하다는 것을 보여준다.

<Table 3> Calculated release characteristic and hazardous area

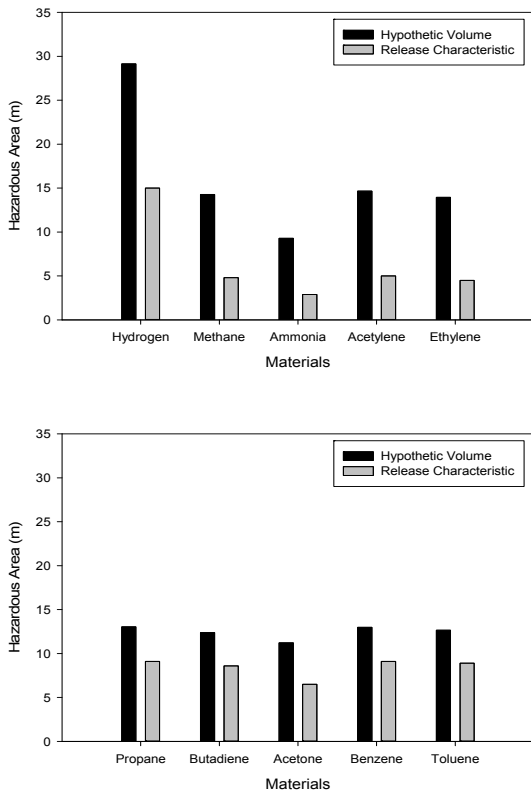
Materials	Release Characteristic	Hazardous Area (m)
Hydrogen	11.6472	15
Methane	1.362697	4.8
Ammonia	0.37121	2.9
Acetylene	1.465201	5
Ethylene	1.261917	4.5
Propane	1.021131	9.1
Butadiene	0.887725	8.6
Acetone	0.550743	6.5
Benzene	1.026257	9.1
Toluene	0.949347	8.9

2.3 가상체적 및 누출특성을 이용한 폭발위험장소의 비교

[Figure 2]에 두 방법을 이용하여 산정한 폭발위험 반경의 값을 비교하여 제시하였다. 가상체적을 이용한 방법의 결과는 29.15m ~ 9.29m, 누출특성의 이용한 방법의 결과는 15m ~ 4.5m로 폭발위험반경의 크기는 가상체적을 이용한 방법의 값이 대체로 크게 산출되었으며, 그 차이는 가벼운 가스에서 더욱 크게 나타났다. 각 방법에서 최대값을 가지는 물질은 똑같이 수소로 나타났으며, 최소값을 가지는 물질 또한 암모니아로 같게 나타났다. 또 누출특성을 이용하여 산출한 폭발위험 반경은 가벼운 가스와 무거운 가스 사이에 불연속적인 모습을 보여주지만, 가상체적의 경우 무거운 가스와 가벼운 가스 사이에 값의 연속성을 보이고 있다.

이러한 차이는, 가상체적을 이용한 방법이 두 물질군을 구분하지 않고 있으며, 누출특성을 이용한 방법에서는 가벼운 가스와 무거운 가스의 성질의 차이를 반영하고 있다는 것으로 알 수 있다. 두 물질군 사이의 물

성 차이가 존재하고 있으므로 가상체적을 이용한 방법 또한 두 물질군의 차이를 반영하여 산정할 필요가 있다. 그러나 이러한 성질의 차를 직접적으로 반영하기에는 많은 실험이 동반되어야 하는 어려움이 있다. 하지만 IEC 방법에서 물질군을 구분하여 산정하고 있으며, 물질에 따른 결과값의 증감추이가 비슷한 양상을 보이고 있으므로 가상체적을 이용한 방법 또한 새로운 IEC 방법과 결과치를 비교함으로써 두 물질군에 각기 다른 보정을 실시할 수 있을 것이다.



[Figure 2] Difference in hazardous area by material class

2.4 가상체적 및 누출특성을 이용한 폭발위험 장소 간의 관계 해석

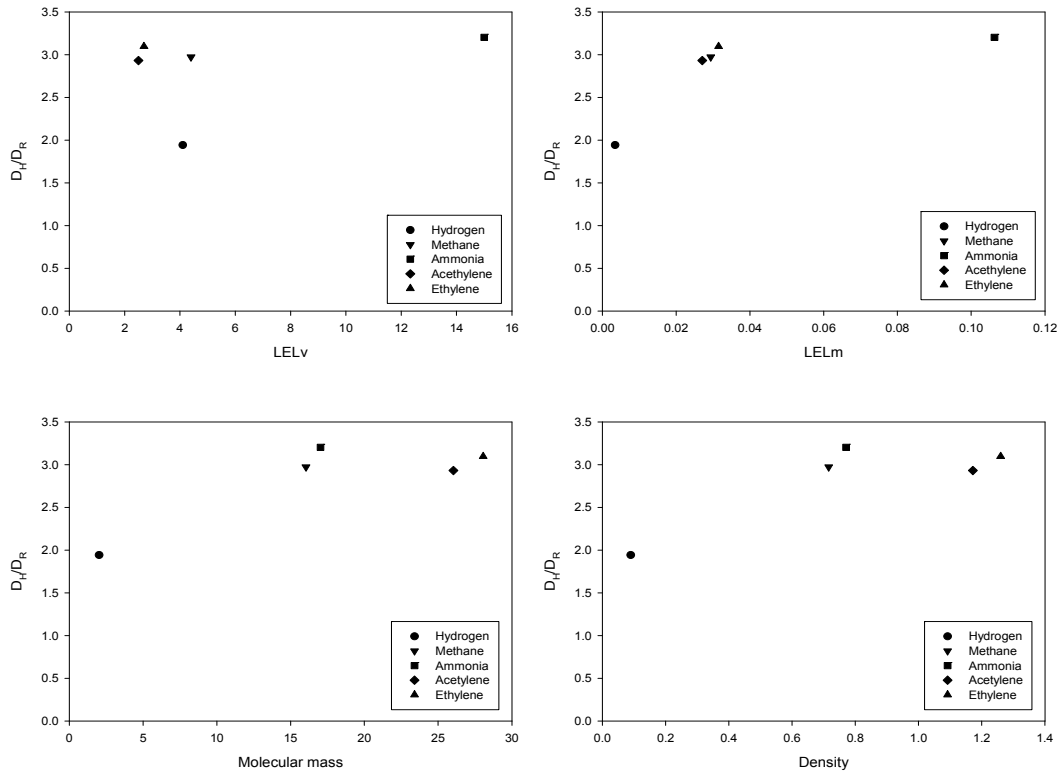
가상체적을 이용한 방법의 보수적인 결과값을 보정하기 위하여, Table 4에서와 같이, 가상체적을 이용한 결과값을 누출특성을 이용한 방법의 결과값으로 나누어 주었다. 그 값은 두 물질군에 따라 확연히 다른 양상을 보여주었다. 가벼운 물질군은 가상체적을 이용한 방법이 누출특성을 이용한 방법보다 2배에서 3배 정도 크게 측정되었으며, 그 변동폭이 무거운 물질보다 넓게

나타났다. 무거운 물질군의 경우는 아세톤을 제외하고는 1.4배 내외의 유사한 비율값을 나타내었다.

이러한 차이들이 물질의 어떤 요소에서 비롯되었는지 분석하기 위하여 폭발하한계, 밀도, 분자량에 따라 나타내보았다. [Figure 3]에서와 같이 가벼운 물질군의 경우, 분자량과 밀도에 영향을 많이 받고 있으며, 폭발하한의 경우 부피단위보다 질량단위에 의해 많은 영향을 받고 있다. 수소의 경우 부피단위의 폭발하한에서 다른 값보다 작게 측정된 것을 확인할 수 있다. 이는 수소의 분자량이 다른 모든 물질보다 가볍기 때문에 같은 양이 누출되더라도 누출된 가스의 부피가 다른 가스들에 비해 크기 때문이다. 이와 같이 가벼운 가스의 경우에는 누출의 형태가 확산이기 때문에 가스의 농도가 확산에 의해 빠르게 낮아지게 된다. 그에 따라 농도단위인 폭발하한의 영향은 낮아지고 확산속도에 영향을 주는 질량과 관계된 요소의 영향이 높아진다고 판단된다.

<Table 4> Result use hypothetical volume divided by result in chart of release characteristic

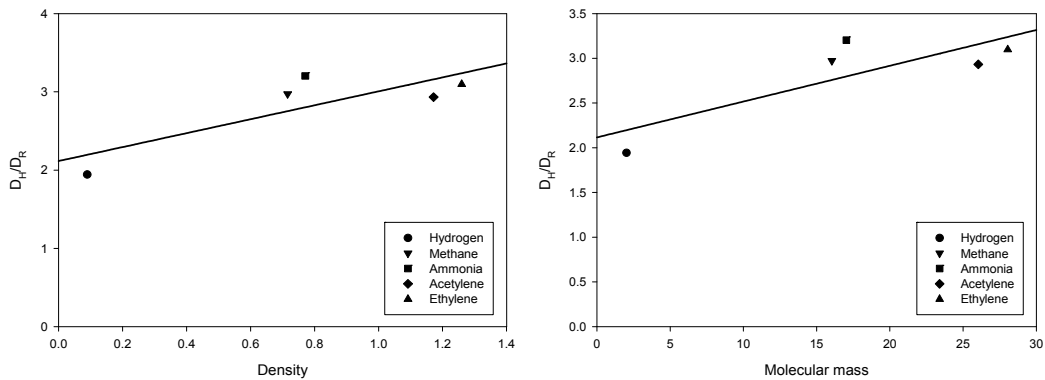
Materials	Hypothetic Volume / Release Characteristic
Hydrogen	1.9433
Methane	2.9729
Ammonia	3.2034
Acetylene	2.9320
Ethylene	3.0978
Propane	1.4319
Butadiene	1.4395
Acetone	1.7262
Benzene	1.4264
Toluene	1.4213



[Figure 3] DH/DR of properties in light gases

보정계수산정을 위해 영향이 큰 요소에 대해서 선형 회귀분석을 실시하였다. 1차회귀분석 결과, 분자량에 대한 식은 $y=0.04x+2.12$ 로 산출되었으며 표준오차는 0.3397로 나타났다. X축과 Y축 사이의 관계유무를 나타내는 상관계수는 0.8144로 나타나 분자량이 두 방법 사이의 차이를 보이는 요소가 될 수 있는 확률이 상당히 높게 나타났다. 회귀분석관계식의 정확도를 알기 위한 결정계수지표는 0.6633으로 나타났으며 이 값은 관

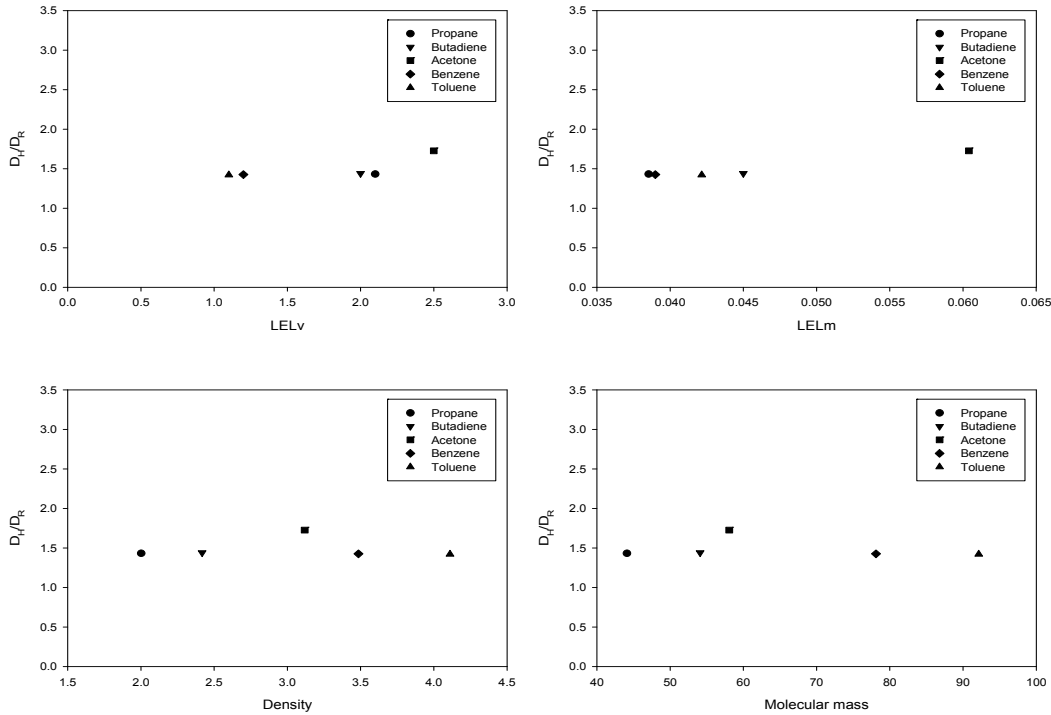
계식이 충분한 신뢰도를 가지고 있다는 것을 보여준다. 밀도에 대한 식은 $y=0.89x+2.12$ 이며 표준오차는 0.3387, 상관계수는 0.8156으로 밀도에 대한 식이 오차가 적고 X, Y축 사이의 상관성이 더 큰 것을 확인할 수 있다. 결정계수지표는 0.6653으로 나타나서 큰 차이는 없지만 분자량보다 밀도가 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.



[Figure 4] Regression DH/DR by density, molecular mass

[Figure 5]에서와 같이 무거운 물질군의 경우에는 대부분의 요소에 대해 비슷한 값을 보여주고 있으며, 분자량과 밀도에 비해 폭발하한에 더 큰 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 이는 무거운 가스는 누출량이 같을 경우 가벼운 가스에 비해 농도가 길게 유지되므로 농도값인 폭발하한계 값이 많은 영향을 주게 되며, 이러한 성질이 누출특성 차트에 반영된 결과라고 보여진

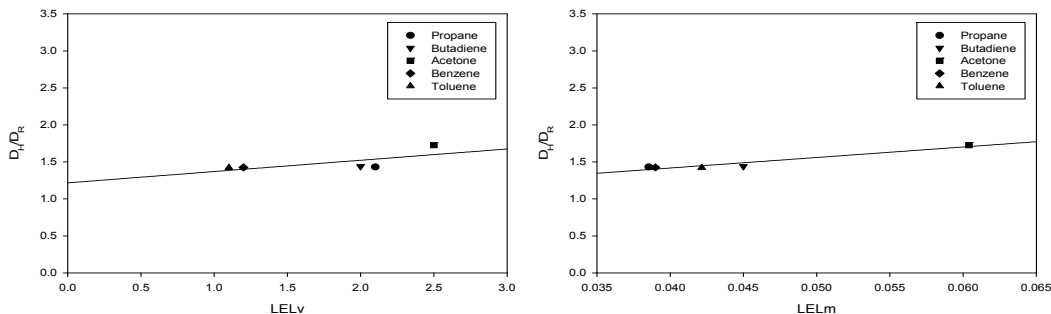
다. 가상체적을 이용한 방법의 경우 단순히 누출량에 따라 부피를 산정하여 범위를 정하는 것이기 때문에, 이러한 물성이 반영되지 않은 상태이다. 따라서 폭발하한 등의 물성에 대한 보정계수를 산출하여 사용한다면, 이런 물성에 따른 차이를 반영할 수 있을 것이라고 판단된다.



[Figure 5] DH/DR of properties in heavy gases

폭발하한계의 경우 부피단위와 질량단위가 있으며, 부피단위에 대한 회귀분석관계식의 경우에는 $y=0.15x+1.22$, 표준오차는 0.1100, 상관계수는 0.6963, 결정계수지표는 0.4848로 산출되었다. 그리고 질량단위의 경우에는 $y=14.20x+0.85$ 로 관계식이 나

타났으며, 표준오차의 경우 0.0419로 매우 작게 나타났으며, 상관계수는 0.9620, 결정계수지표는 0.9254로 신뢰도가 매우 크게 나타났다. 따라서 두 방법 중에서, 부피단위보다 질량단위가 더 많은 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.



[Figure 6] Regression DH/DR by LELs

3. 결론

본 연구는 가상체적을 이용하여 폭발위험장소를 선정하는 방법에 대하여 연구를 진행한 것이다. 보수적으로 폭발위험장소를 선정하고 있는 가상체적을 이용한 방법의 경우에는 실제 폭발위험분위기를 지니는 구역보다 넓게 폭발위험장소를 설정하였다는 문제점을 지니고 있으므로, 이러한 단점을 해결하기 위하여 IEC에서 새롭게 차트를 이용한 개선된 결과값을 제시하고 있다.

먼저 IEC에서 새롭게 제시한 차트와 기존 결과를 비교하여, 그 차이에 대해 결과 산정에 사용된 요소별로 보정할 수 있는 보정계수를 산정하였다. 새롭게 제시된 차트와 가상체적을 이용한 방법의 결과는 모두 가상체적을 이용한 방법의 결과값이 크게 나타나는 것으로 확인되었다.

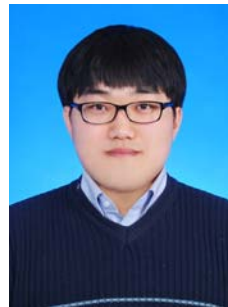
또 물질군 별로도 차이의 양상이 다르게 나타났다. 이에 따라 물질군 별로 요소에 따른 비교를 진행한 결과, 가벼운 물질은 분자량과 밀도에 영향을 많이 받고 있으며, 폭발하한의 경우 부피단위보다 질량단위에 의해 많은 영향을 받고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 가벼운 물질의 경우 가상체적을 이용한 방법에 물질의 질량요소에 보정을 가한다면 보수적인 부분을 줄일 수 있으며, 본 연구에서는 분자량에 대해서는 $y=0.04x+2.12$, 밀도에 대해서는 $y=0.89x+2.12$ 의 두 가지 보정식을 도출하였다. 무거운 물질군의 경우 질량단위보다 폭발하한에 영향을 많이 받고 있었으며 폭발하한에 대한 보정식은 $y=14.20x+0.85$ 로 도출하였다.

4. References

- [1] KOSHA Guide P-92, "Technical Guideline for Source Modelling", Korea Occupational Safety & Health Agency, pp. 4-7. 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] Woonchul Shin(2014), "Case Study on Prevention of Fire/Explosion Accidents caused by Chemical Substances in Small/Medium Sized Construction Sites", Journal of the Korea safety management & science v.16 no.3 ,pp. 63-70
- [5] IEC 60079-10-1, 2015, Explosive atmospheres-part 10-1: Classification of areas- Explosive gas atmospheres.
- [6] HSE, RR630, 2008, Area classification for secondary releases from low pressure natural gas systems ,HSE
- [7] HSE, RR993, 2013, Technical Input on ventilation effectiveness for area classification guidance EI-15,HSE
- [8] KS C IEC 60079-10-1, "Explosive atmospheres - Part 10-1 : Classification of Areas-Explosive Gas Atmospheres", Korean Industrial Standards, pp. 1-34, 2012.
- [9] KOSHA Guide P-92, "Technical Guideline for Source Modelling", Korea Occupational Safety & Health Agency, pp. 4-7. 2012.

저 자 소 개

김 대 연



건국대학교 화학공학과 학사 취득. 현재 인하대학교 대학원 환경안전융합전공 석사과정 중.
관심분야 : 공정안전, 폭발위험장소, 장외영향평가, 화학물질안전 등

천 영 우



인하대학교 환경안전융합대학원 교수로 근무
인천대학교 안전공학과 공학박사
관심분야 : 화학물질안전, 장외영향평가, QRA, RISK분석 등

이 익 모



현재 인하대학교 화학과 교수로
근무
The Ohio State Univ.
무기화학 박사.
관심분야 : 무기화학, 연구실 안전,
QRA,, 장외영향평가 등

황 용 우



인하대학교 환경안전융합대학원
교수로 근무
동경대학 도시공학 박사
관심분야 : 하폐수처리, 환경전
과정평가, 장외영향평가, QRA등