

# 공기보다 가벼운 가스 사용시설의 폭발위험장소 설정방안에 대한 연구

임지표 · 정창복\*

한국산업안전보건공단 · \* 전남대학교 응용화학공학부  
(2013. 10. 10. 접수 / 2014. 4. 4. 채택)

## A Study on Classification of Explosion Hazardous Area for Facilities using Lighter-than-Air Gases

Ji-Pyo Yim · Chang-Bock Chung\*\*

Korea Occupational Safety & Health Agency

\*School of Applied Chemical Engineering, Chonnam National University

(Received October 10, 2013 /Accepted April 4, 2014)

**Abstract :** There have been controversies over whether explosion hazardous area(EHA) should be classified for facilities which use lighter-than-air gases such as city gas, hydrogen and ammonia. Two view points are confronting each other: an economic point of view that these gases are lighter than air and disperse rapidly, hence do not form EHA upon release into the atmosphere, and a safety point of view that they are also inflammable gases, hence can form EHA although the extent is limited compared to heavy gases. But various standards such as KS, IEC, API, NFPA do not exclude light gases when classifying EHA and present examples of EHA for light gas facilities. This study calculates EHA using the hypothetical volume in the IEC code where the hole sizes required for the calculation were selected according to various nominal pipe sizes in such a way to conform to the EHA data in the API code and HSL. Then, 25 leakage scenarios were suggested for 5 different pipe sizes and 5 operating pressures that cover typical operating conditions of light gas facilities. The EHA for the minimum leakage scenario(25 mm pipe, 0.01MPa pressure) was found to correspond to a hypothetical volume larger than 0.1 m<sup>3</sup>(medium-level ventilation). This confirms the validity of classifying EHA for facilities using lighter-than-air gases. Finally, a computer program called HACPL was developed for easy use by light gas facilities that classifies EHA according to operating pressures and pipe sizes.

**Key Words :** city gas, light gas facility, explosion hazardous area, hypothetical volume

### 1. 서론

도시가스, 수소, 암모니아 등은 인화성가스로서 누출될 경우 폭발분위기를 형성하여 점화원에 의한 화재나 폭발이 발생할 수 있는 물질이다. 도시가스는 메탄이 주성분으로 Fig. 1과 같이 주로 보일러나 가열로의 연료로 사용되고 있으며 과거에 쓰이던 병커씨유를 대체하는 추세이다. 도시가스는 대부분 가스 상태로 공급하여 정압실에서 1차 감압 후 원하는 압력으로 2차 감압하여 사용하지만, 도시가스가 공급되지 않는 일부 사업장에서는 Fig. 2와 같이 저온의 액체 상태로 저장한 후 기화시켜 사용하기도 한다. 수소는 일부 발전소에서 가스용기에 저장한 후 배관을 통해 이송되어



Fig. 1. City gas boiler(indoor)

\* Corresponding Author : Chang-Bock Chung, Tel : +82-62-530-1884, E-mail : chungcb@jnu.ac.kr  
School of Applied Chemical Engineering, Chonnam National University, 77, Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 500-757, Korea.



Fig. 2. LNG Storage Tank(outdoor)

냉매로 사용되거나 전자공장에서 트레일러로 공급받아 사용된다. 암모니아는 주로 냉동공장 등에서 냉매로 사용되거나 발전소에서 환경설비에 이용되고 있다.

도시가스, 수소, 암모니아는 상온에서 기체 상태로 주요 성상은 Table 1과 같다. 이런 가스들은 공기보다 가벼워 대기로 누출될 경우 급속하게 확산되어 폭발범위를 형성하는 범위는 작지만 무시할 정도는 아니다. 실제로 도시가스 등에 의한 화재 및 폭발사고는 자주 발생하고 있어, 이를 주요 원료나 제품으로 사용하는 가스공장이나 석유화학공장에서는 과거부터 폭발위험장소로 선정하여 관리하여 왔다. 그러나 도시가스 등을 주요 원료나 제품으로 사용하지 않고 주로 보일러나 가열로의 연료 또는 냉매 등의 용도로 사용하는 중소규모 사업장이나 비석유화학 업종에서는 그 위험성에 대한 사업주 및 근로자의 인식이 낮고 전체 생산 공정에서 차지하는 비중이 작아 사용시설 주변을 폭발위험장소로 구분하지 않으려는 경향이 있다. 특히, 과거에 설치된 설비의 경우 대부분 폭발위험장소로 선정하지 않았다.

국제전기기술위원회(IEC, International Electrotechnical Commission)<sup>1)</sup> 및 한국산업표준(KS, Korean Industrial Standards)<sup>2)</sup>에서는 수소, 도시가스에 대한 특별한 언급은 없고 암모니아에 대해서만 개방공간에서 누출되는 경우 급속하게 확산되므로 가스폭발 분위기를 생성을 무시하는 것으로 되어있다. 하나의 예로 옥내에 설치된 수소 압축기의 경우 누출원으로부터 좌·우로 3 m 및 지붕까지 2중

Table 1. Properties of light gases

Material	Molecular Weight	Boiling Point	Gas SG	Explosion Range
H <sub>2</sub>	2.016	-252.7℃	0.069	4~75%
CH <sub>4</sub>	16.042	-161.5℃	0.552	5~15%
NH <sub>3</sub>	17.031	-33.4℃	0.586	15~28%

Table 2. Examples of EHA classification

Code	Horizontal	Vertical	Note
IEC/KS	3m	to Roof	Indoor
API	4.5m	7.5m	Outdoor
NFPA	4.5m	4.5m/7.5m	

장소로 선정하도록 하고 있다. 또한, 미국석유협회(API, American Petroleum Institute)<sup>3)</sup>에서도 도시가스 등 가벼운 가스에 대한 별도의 언급은 없으며 수평 4.5 m와 수직 7.5 m를 폭발위험장소로 구분하는 예를 제시하고 있으며 국제화재방지협회(NFPA, National Fire Protection Association)<sup>4)</sup>에서는 천연가스 등에 대해 수평 4.5 m와 수직 4.5 m의 예를 보여주고 있다. 각각의 규격에서 제공하는 폭발위험장소의 범위를 비교하면 Table 2와 같다.

이와 같이 IEC 등의 규격에서 도시가스 등 가벼운 가스에 대해 폭발위험장소 선정에서 제외한다는 내용은 없으며 규격마다 조금씩은 다르지만 적절한 예시를 통해 폭발위험장소로 선정하도록 하고 있다. 하지만, 각 규격마다 선정 범위가 다를 뿐만 아니라, 그 기준도 운전조건, 규모 등을 반영하지 않는 예시에 불과하여 정확한 범위는 전문가에게 문의하도록 하고 있다. 따라서 일부 사업장에서는 정압실을 제외하고 보일러 및 가열로 주변을 폭발위험장소로 구분하지 않는 경우가 많다. 또한, 암모니아와 수소 사용시설 주변에 대해서는 대기업에서도 폭발위험장소 구분을 일부 생략하고 있는 실정이다. 아울러, 폭발위험장소의 선정 기준도 사업장마다 달라 통일된 관리가 어렵다.

본 연구에서는 도시가스 등 공기보다 가벼운 인화성 가스 취급지역에 대한 폭발위험장소의 범위를 IEC 기준에 의한 가상체적을 이용하여 계산한다. 가상체적의 계산에서 가장 중요한 요소인 누출구의 면적은 API 등에서 제공하는 폭발위험장소의 범위에 부합할 수 있도록 산출한 면적과 영국의 HSL(Health and Safety Laboratory)<sup>5)</sup>에서 사용한 누출구 면적을 조합하여 배관(노즐) 크기에 따라 적절한 값을 선정한다. 다음, 다양한 배관 크기와 운전 압력을 갖는 25가지의 누출시나리오를 설정한 후, 최소 누출시나리오에 대한 가상체적을 계산함으로써 가벼운 가스 취급 지역을 폭발위험장소로 설정하여야 하는 타당성에 대해 확인한다.

## 2. 폭발위험장소 구분

### 2.1. 누출량 계산<sup>6),7),8)</sup>

도시가스 누출 시나리오는 가스 상태로 배관(노즐)

연결부에서 누출될 경우를 선정하였으며 임계흐름 압력비에 따라 누출속도를 음속 이상과 음속 미만으로 구분하였다. 아울러, 도시가스 공급시스템이 구축되지 않은 사업장의 경우에 대해서는 저온에서 액체 상태로 저장하여 사용하므로 과냉액체 누출을 추가하였다. 또한, 수소의 누출 시나리오도 가스 상태로 누출되는 것을 선정하였으며, 암모니아는 일반적으로 액체 상태로 저장된 후 기화기를 거쳐 가스 상태로 사용되므로 평형상태의 포화액체로 누출된 경우와 가스 상태로 누출된 경우를 나누어 시나리오를 선정하였다. 그러나 실제 계산 예는 도시가스에 대해서만 보여주기로 하고 수소나 암모니아의 경우는 비슷한 과정이므로 생략하였다. 아울러, 누출량 계산은 누출원 모델링에 관한 기술지침<sup>6)</sup> 등을 참조하여 화학설비(용기) 누출을 가정하여 계산하였다. 이때 가스상태의 누출은 위치에너지 변화와 기계적인 일을 무시한 압축성유체의 역학적 에너지수지식으로부터 계산되며 평형상태인 포화액체와 과냉액체의 누출은 Crowl 등에 의해 제한된 식에 의해 산출된다.

**가. 누출 시나리오**

본 연구에서는 폭발위험장소의 범위를 선정하기 위하여 사용 압력 및 배관(노즐) 크기[Diameter nominal (DN) size]에 따라 Table 3에 보인 범주로 총 25가지의 시나리오를 가정하여 누출속도를 계산하였다. 사용 압력은 정압기 전·후단의 압력, 보일러 또는 가열로의 사용압력을 고려하여 상온에서 0.02 MPa, 0.1 MPa, 0.5 MPa 이하 및 0.5 MPa 초과 압력과 실제 과냉액체 상태로 저장하는 조건(-160℃, 0.5 MPa) 등 5가지 범주로 구분하였다. 또한, 배관(노즐) 크기도 사용압력과 마찬가지로 실제 사업장에서 많이 사용하고 있는 배관 직경[25 mm(1 in) 이하, 50 mm(2 in) 이하, 100 mm(4 in) 이하, 200 mm(8 in) 이하 및 200 mm(8 in) 초과]에 따라 5가지 범주로 구분하였다.

폭발위험장소 범위 산정에서 가장 중요한 누출원의 면적을 선정하는 기준은 KS, IEC, API 등의 규격에서 제시하지 않고 있다. 본 연구에서는 크기가 200 mm를 초과하는 배관에 대해서는 API 등에서 예시한 EHA의 최대값 7.5m에 부합할 수 있도록 산출한 면적 10.0 mm<sup>2</sup>를 누출구 면적으로 삼았다. 25 mm 이하, 100 mm 이하 및 200 mm 이하 배관에 대해서는 HSL이 낮은 압력 범위(0.5~5.0barg)에서 가상체적에 의한 EHA와 CFD 모사에 의한 EHA를 비교할 때 사용한 누출구 크기인 0.25 mm<sup>2</sup>, 2.5 mm<sup>2</sup> 및 5.0 mm<sup>2</sup>를 각각 적용하였고, 50 mm 이하의 배관에 대해서는 중간값으로 1.0

**Table 3.** Release scenarios

Size(mm)\P(MPa)	Under 0.02	Under 0.1	Under 0.5	Above 0.5	0.5 (-160℃)
Under 25	Scen 1	Scen 6	Scen 11	Scen 16	Scen 21
Under 50	Scen 2	Scen 7	Scen 12	Scen 17	Scen 22
Under 100	Scen 3	Scen 8	Scen 13	Scen 18	Scen 23
Under 200	Scen 4	Scen 9	Scen 14	Scen 19	Scen 24
Above 200	Scen 5	Scen 10	Scen 15	Scen 20	Scen 25

mm<sup>2</sup>를 사용하였다.

**나. 가스상태 누출**

1) 임계흐름압력비 계산

$$\frac{P_{CF}}{P_1} = \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \tag{1}$$

여기서,

- $P_{CF}$  : 임계흐름압력(kg<sub>f</sub>/m<sup>2</sup>)
- $P_1$  : 운전압력(kg<sub>f</sub>/m<sup>2</sup>)
- $\gamma$  : 비열계수( $C_p/C_v$ )
- $C_p$  : 정압비열(kcal/kg · K)
- $C_v$  : 정용비열(kcal/kg · K)

2) 누출속도가 음속 미만( $P_a > P_{CF}$ )인 경우

$$Q = C_D A P_1 \sqrt{\frac{2g_c M_W}{RT_1} \frac{r}{r-1} \left[ \left( \frac{P_a}{P_1} \right)^{2/r} - \left( \frac{P_a}{P_1} \right)^{\frac{r+1}{r}} \right]} \tag{2}$$

여기서,

- $P_a$  : 대기압력(kg<sub>f</sub>/m<sup>2</sup>)
- Q : 누출량(kg/sec)
- $C_D$  : 누출계수(무차원)
- $g_c$  : 중력상수(9.8 kg · m/kg<sub>f</sub> · sec<sup>2</sup>)
- $M_W$  : 분자량(kg/kg-mole)
- A : 누출원 면적(m<sup>2</sup>)
- $T_1$  : 운전온도(K)
- R : 가스 상수(847 m · kg/kg-mole · K)

3) 누출속도가 음속 이상( $P_1 \leq P_{CF}$ )인 경우

$$Q = C_D A P_1 \sqrt{\frac{\gamma g_c M_W}{RT_1} \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}} \tag{3}$$

**다. 액체상태 누출**

1) 순간증발을

포화액체나 과냉액체는 누출되는 순간 일부는 증발하여 가스상태로 된다.

$$f_v = 1 - e^{-\frac{\overline{C_{P_L}}}{\Delta H_V}(T_1 - T_b)} \quad (4)$$

여기서,

$f_v$  : 순간증발율(Flash fraction)

$\Delta H_V$  : 평균 증발잠열(kcal/kg)

$\overline{C_{P_L}}$  : 액체의 평균비열(kcal/kg · K)

### 2) 포화액체 누출

$$Q = \left[ \frac{A \times \Delta H_V}{\rho_G^{-1} - \rho_L^{-1}} \right] \times \left[ \frac{K \times g_c}{T_1 \times C_{P_L}} \right]^{1/2} \quad (5)$$

여기서,

$\Delta H_V$  : 증발잠열(kcal/kg)

$\rho_G$  : 가스밀도(kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_L$  : 액체밀도(kg/m<sup>3</sup>)

$K$  : 상수(427m · kg/kcal)

$C_{P_L}$  : 운전온도에서 액체의 비열(kcal/kg · K)

### 3) 과냉액체 누출

$$Q = C_D \rho_L A \left[ \frac{2g_c(P_1 - P_v)}{\rho_L} + 2gh + \left( \frac{Q_S}{C_D \rho_L A} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

여기서,

$P_v$  : 운전온도에서 증기압(kgf/m<sup>2</sup>)

$Q_S$  : 포화액체 상태의 누출량(kg/s)

### 라. 시나리오별 누출속도

주로 옥외에 설치되는 도시가스 정압기 후단 또는 과냉액체 저장탱크는 비교적 고압으로 취급하는 반면 옥내의 보일러나 가열로 전단은 저압으로 유지되므로 각각의 경우 일부 시나리오만 가능하다. 그러나 이 논문에서는 총 25개의 범주 중 3가지 압력[0.01 MPa, 0.3 MPa 및 0.5 MPa(저장온도 : -160℃)]과 3가지 배관 크기(100 mm, 200 mm 및 300 mm)에 해당하는 9개의 시나리오만을 적용하였다.

누출속도는 사용압력과 배관크기가 클수록 증가하며 이것은 폭발위험장소의 범위에도 영향을 미친다. Table 4는 주요 시나리오에 대한 누출량 계산 결과를 보여주고 있다.

## 2.2. 폭발위험장소 범위 선정<sup>9)</sup>

### 가. 가상체적

가상체적( $V_z$ )은 기본적으로 인화성 가스의 농도가 LEL(Lower Explosion Limit) 보다 높은 농도를 갖는 체적을 일컫는다. 그러나, 실제로는 가상체적 끝단에서

Table 4. Release rates for selected scenarios

No.	Pressure (MPa)	DN size (mm)	Release size(mm2)	Rate (g/s)	Remarks
3	0.01	100	2.5	0.28	subsonic
4	0.01	200	5.0	0.56	subsonic
5	0.01	300	10.0	1.13	subsonic
13	0.3	100	2.5	1.68	sonic
14	0.3	200	5.0	3.36	sonic
15	0.3	300	10.0	6.92	sonic
23	0.5 (-160℃)	100	2.5	48.60	supercooling
24	0.5 (-160℃)	200	5.0	97.20	supercooling
25	0.5 (-160℃)	300	10.0	194.39	supercooling

가스 또는 증기의 농도가 확실히 LEL 이하에 있다는 것을 보장하기 위하여 안전율(k)을 적용하고, 아울러 해당 지역의 환기 상태를 감안한 보정값을 산정하여 사용하고 있다.

가상체적을 구하기 위해서는 먼저, 인화성가스가 누출될 경우 이의 농도를 LEL 이하로 희석시키기 위한 신선한 공기의 최소환기량을 계산할 필요가 있다. 이때 산정되는 최소환기량은 누출 조건에 따라 안전율(k)을 적용한다.

$$(dV/dt)_{\min} = \frac{Q}{k \times LEL_m} \times \frac{T}{293} \quad (7)$$

여기서,

$(dV/dt)_{\min}$  : 신선한 공기의 최소유량(m<sup>3</sup>/s)

$Q$  : 누출원에서의 최대 누출율(kg/s)

$LEL_m$  : 폭발하한(kg/m<sup>3</sup>)

$$= 0.416 \times 10^{-3} \times M_W \times LEL_v(\text{vol}\%)$$

$k$  : 안전율

(연속 및 1차 누출 : 0.25, 2차 누출 : 0.5)

$T$  : 외기온도(K)

다음, 이렇게 계산한 신선한 공기의 최소유량으로부터 가상체적( $V_k$ )을 구하기 위해서는 누출원 주위의 환기 상태를 파악하여야 한다. 환기 상태는 누출원이 속한 대상체적이 단위시간 당 신선한 공기로 치환될 수 있는 환기 회수(C)로 나타낸다.

$$C = \frac{dV_0/dt}{V_0} \quad (8)$$

여기서,

$C$  : 단위시간당 신선한 공기의 환기 회수(s<sup>-1</sup>)

$dV_0/dt$  : 대상 체적을 통과하는 신선한 공기의 전  
체환기량( $m^3/s$ )

$V_0$  : 대상 누출원 인근에 있는 실제 환기에 의하  
여 공급되는 전체 체적( $m^3$ )

C값이 주어질 경우 가상체적은 신선한 공기의 최소  
유량 $[(dV/dt)_{min}]$ 으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_k = \frac{(dV/dt)_{min}}{C} \quad (9)$$

그러나, 이 가상체적은 이상적인 흐름상태의 신선한  
공기가 주어진 누출원에서 순간적으로 균일하게 혼합  
된다는 것을 전제로 한 것이다. 따라서, 별도의 보정  
계수를 고려한 다음과 같은 식을 통해 최종적인 가상  
체적( $V_z$ )을 구할 수 있다.

$$V_z = f \times V_k = \frac{f \times (dV/dt)_{min}}{C} \quad (10)$$

여기서,

$V_z$  : 공기흐름장애 등을 고려한 가상체적( $m^3$ )

$f$  : 가스의 희석 효과를 나타내는 환기의 유효성

[이상상태 : 1, 공기흐름장애 : 5(일반적)]

#### 나. 폭발위험장소의 범위

##### 1) 옥외(저장탱크 및 정압기 주변 등)

한변이 15 m인 가상체적을 고려할 때, 옥외에서는 아  
주 낮은 풍속이라도 높은 환기율을 이룰 수 있다. KS 규  
격<sup>3)</sup>에 의해 3,400  $m^3(V_0)$ 의 체적에서 풍속이 0.5 m/s인 경  
우 순환율(공기교환율)은 0.03/s가 된다.

##### 2) 옥내

보일러와 가열로의 가스조절밸브는 일반적으로 건  
물 내부에 설치되어 있으나 건물의 규모가 크다. 본 논  
문에서는 가로 10 m, 세로 10 m 및 높이 6 m의 건물을  
가정하여 가상체적 등을 계산하고자 한다. 단, 순환율  
은 KS에서와 같이 0.01/s를 사용한다. 또한, 건물내부  
에서 대부분 가스상태로 사용되어 3개의 시나리오(23,  
24 및 25)는 거의 해당되지 않지만 그 존재를 가정하여  
폭발위험장소의 반경을 계산하였다.

옥내의 경우 도시가스를 과냉액체 상태로 저장하여  
사용할 경우 시나리오 23, 24 및 25에서와 같이 폭발위  
험장소의 범위가 넓어 건물 전체를 폭발위험장소로 구  
분하게 될 수 있으므로 가급적 저장설비는 옥외에 설  
치하는 것이 바람직하다. 또한, 일반적으로 옥내에서

Table 5. Explosion hazardous area

Scenario	Outdoor		Indoor	
	Release Rate(g/s)	Radius (m)	Release Rate(g/s)	Radius (m)
3	0.28	0.9	0.28	1.3
4	0.56	1.1	0.56	1.6
5	1.13	1.4	1.13	2.0
13	1.68	1.6	1.68	2.3
14	3.36	2.0	3.36	2.9
15	6.92	2.5	6.92	3.7
23	48.60	4.9	48.60	7.1
24	97.20	6.2	97.20	8.9
25	194.39	7.8	194.39	11.2

사용하는 배관의 크기는 작고 저압에서 사용되므로 시  
나리오 3, 4, 5, 13, 14, 15의 범위에서 폭발위험장소의  
범위를 선정할 수 있을 것이라 생각된다. 또한, 옥내의  
경우 경제성을 고려해서 가급적 폭발위험장소의 범위  
를 줄여야 하므로 충분한 환기를 통하여 범위를 줄이  
는 것이 바람직하다. 이때, 순환율을 옥외와 동등하게  
할 경우(0.03/s)는 옥외와 같은 폭발위험장소의 범위를  
가질 것이다. Table 5는 9개의 시나리오에 대한 옥·내  
외의 폭발위험장소 범위(반경)를 나타내고 있다.

#### 2.3. 폭발위험장소의 종류

옥외의 경우 대부분의 시나리오에 대한 가상체적이  
0.1  $m^3$ 과 3,400  $m^3$  사이에 있어 중환기로 간주할 수 있  
으므로 환기의 유효성에 관계없이 IEC 기준에 의한 2  
종으로 구분할 수 있다. 하지만, 옥내의 경우 환기가  
충분하지 않을 경우 환기등급이 저환기가 되어 1종 장  
소로 구분될 수도 있다.

#### 2.4. 가벼운 가스의 폭발위험장소

본 연구에서는 도시가스 등 가벼운 가스 사용시설의  
폭발위험장소 범위를 가상체적에 의한 방법으로 산정  
하였다. 실제 암모니아와 수소도 도시가스와 다르지  
않은 결과를 도출하였다. 다만, 암모니아의 경우 IEC  
등에서 개방공간에서는 가스폭발분위기 생성을 무시  
한다고 되어 있듯이 폭발하한계(LEL)가 높아(15%) 폭  
발위험장소의 범위가 도시가스 등에 비해 작은 결과를  
보여준다. 그러나 도시가스나 수소와 마찬가지로 폭발  
위험장소로 선정하는 것이 안전적인 측면에서 바람직  
하다고 생각된다.

옥내 설비의 경우 환기가 충분하지 않을 경우에는  
폭발위험장소의 범위가 상당히 넓어 건물 전체가 되거

나 건물 대부분을 차지할 수 있어 방폭설비를 설치하는데 과도한 예산이 필요하고 작업에 장애가 될 수 있으므로 충분한 환기가 선행된 후 범위를 선정하는 것이 바람직하다.

시나리오 1(압력 : 0.01 MPa, 배관직경 : 25 mm, 누출구 면적 0.25 mm<sup>2</sup>), 시나리오 8(0.05 MPa, 100 mm, 2.5 mm<sup>2</sup>) 및 시나리오 20(0.8 MPa, 300 mm, 10 mm<sup>2</sup>)에 대해 옥·내외의 가벼운 가스의 폭발위험장소 범위를 계산한 결과를 Table 6에 수록하였다.

Table 6에서와 같이 공기보다 가벼운 가스라도 대부분의 시나리오에서 가상체적이 0.1 m<sup>3</sup> 이상으로 폭발위험장소로 구분하는 것이 바람직하다. 다만, 폭발하한(LEL)이 높은 물질일수록 폭발위험장소의 범위가 축소됨을 알 수 있었다.

시나리오 1(옥외, 0.01 MPa, 0.25 mm<sup>2</sup>)의 경우 암모니아 취급 설비는 가상체적이 0.1 m<sup>3</sup> 이하의 고환기가 되어 환기의 유효성이 우수하거나 양호할 경우 비위험장소로 구분할 수 있다. 하지만, 환기의 유효성을 양호한 상태로 관리하는 것을 전제로 한다. 특히, 옥외에서 암모니아를 시나리오 1로 저장·취급하는 경우는 드물며 대부분 포화액체 상태로 저장한 후 기화시켜 사용된다. 또한, KS에서도 고환기는 밀폐된 작은 장소나 아주 적은 누출량에서 누출원 주위의 국소배기설비에 서만 적용할 수 있다고 되어 있다. 즉, 전자회사의 인화성가스 봄베가 보관되고 있는 캐비닛 내부 등이 여기에 해당되지 일반 산업현장은 해당되지 않을 것이다.

### 3. 폭발위험장소 구분 프로그램

본 연구에서는 가상체적에 의한 방법을 사용한 가벼운 가스 사용시설의 폭발위험장소의 종류 및 범위를 선정하는 프로그램(HACPL, Hazardous Area Classification Program for Light Gas)을 개발하였다. 가상체적은 일반적으로 누출원으로부터 실제 위험장소의 체적과 다르지만 API 등 외국 규격을 참조하여 누출원의 크기를 적정하게 선정함으로써 폭발위험장소의 범위를 최적화하였다. 즉, API 등에서는 운전조건과 설비규모를 고려하지 않고 최대 반경 7.5 m를 폭발위험장소로 구분하고

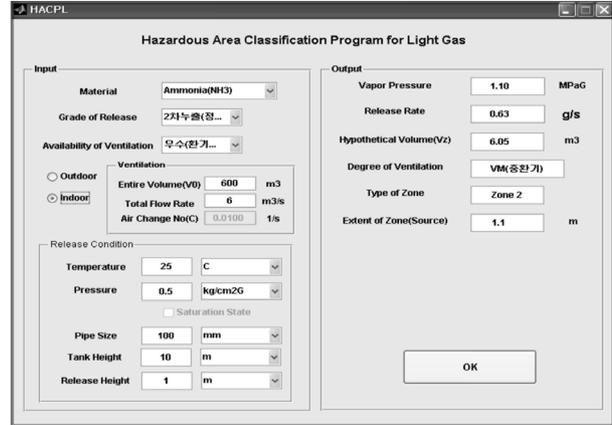


Fig. 3. HAC program for light gas

있지만 HACPL에서는 액화상태의 경우에만 API 등과 유사하게 구분되고 가스상태의 경우에는 운전조건과 설비규모에 따라 1m 이하까지 구분할 수 있게 하였다.

HACPL은 공학이나 과학 계산을 위해 최적화 된 특수 목적의 컴퓨터 프로그램인 MATLAB을 이용하여 프로그래밍하였다. 또한, HACPL은 Matlab 컴파일러로 실행파일을 만들어 배포할 경우 윈도우 등 대부분의 운영체제에서 실행할 수 있다. 아울러, 증발잠열, 열용량, 증기압 등 열역학적 데이터는 Perry's Handbook<sup>10</sup>을 참고하여 온도 등에 의해 계산되며 사용 압력이나 배관 크기에 따라 25개의 시나리오로 구분하여 폭발위험장소의 종류와 범위를 계산한다. Fig. 3은 HACPL의 컴퓨터 화면을 보여주고 있다.

### 4. 결론

본 연구에서는 IEC 기준에 의한 가상체적을 이용하여 도시가스와 같이 공기보다 가벼운 가스에 대한 폭발위험장소의 범위를 계산하였다. 먼저, 가상체적의 계산에 필요한 누출구의 면적은 API와 HSL의 EHA 데이터에 부합할 수 있도록 배관(노즐) 크기에 따라 적절한 값을 선정하였다. 다음, 다양한 배관 크기와 운전 압력을 갖는 25가지의 누출시나리오를 선정하여 EHA를 계산한 결과, 최소 누출 시나리오(배관 크기 25 mm, 사용 압력 0.01 MPa)에 대해서도 가상체적이 0.1 m<sup>3</sup> 이상인 중환기가 되어 도시가스 등의 가벼운 가스 사용시설 주변을 가스폭발위험장소로 구분하여야 하는 타당성을 확인하였다. 아울러, 사업장에서 쉽게 사용할 수 있도록 사용 압력 및 배관(노즐) 크기에 따라 폭발위험장소의 종류와 범위를 설정하는 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램을 활용함으로써 각 사업장에서 쉽고 경제적으로 폭발위험장소를 설정하여 가스 누출

Table 6. EHA for lighter-than-air gases

	Scenario 1			Scenario 8			Scenario 20		
	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>
Out	0.4	0.6	-	1.1	1.7	0.8	3.3	5.1	2.3
In	0.6	0.9	0.4	1.6	2.5	1.1	4.8	7.3	3.3

에 의한 화재 및 폭발사고를 예방할 수 있을 것이다.

**감사의 글:** 이 논문은 2014년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

### References

- 1) IEC 60079-10-1, "Explosive atmospheres - Part 10-1 : Classification of Areas-Explosive Gas Atmospheres", pp. 24-39, 2008.
- 2) KS C IEC 60079-10-1, "Explosive Atmospheres - Part 10-1 : Classification of Areas-Explosive Gas Atmospheres", pp. 1-34, 2012.
- 3) 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", pp. 21-43, 1997.
- 4) NFPA 497A, "Recommended Practice for Classification of Class I Hazardous(Classified) Locations for Electrical Installation in Chemical Process Areas", pp. 4-39, 1992.
- 5) Health and Safety Laboratory, "CFD Modelling of Low Pressure Jets for Area Classification", pp. 3-5, 2005.
- 6) KOSHA Guide P-92, "Technical Guideline for Source Modelling", pp. 4~7. 2012.
- 7) Ryu Cheol-Jin, Choo Jong-Dae and Cho Ji-Hoon, "Consequence Analysis", Korea Occupational Safety & Health Agency, pp. 52~59. 2004.
- 8) OSHRI, "Development of Consequence Analysis Model & Software for Chemical Process", Korea Occupational Safety & Health Agency, pp. 14~40, 2000.
- 9) KOSHA Guide E-47, "Technical Guideline for Classification and Management of Gas Explosion Hazardous Area", pp. 5~52. 2010.
- 10) Perry's Chemical Engineers's Handbook 8th edition,, "Physical and Chemical Data", 2008.