

KOSHA GUIDE

D - 22 - 2012

가연성가스 및 증기혼합물의 폭발한계
산정에 관한 기술지침

2012. 7.

한 국 산 업 안 전 보 건 공 단

안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 이근원

○ 개정자 : 이근원

○ 제정경과

- 1996년 12월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
- 1996년 12월 총괄기준제정위원회 심의
- 2004년 10월 KOSHA Code 화학안전분야 제정위원회 심의
- 2004년 12월 KOSHA Code 총괄제정위원회 심의
- 2012년 7월 총괄제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)

○ 관련규격

- D. A. Crowl and J. Louvar, Chemical Process Safety : Fundamentals with Applications, 2nd Editon, 2002
- Bulletin of the Korean Institute for Industrial Safety, Vol. 1, No. 1, 2001

○ 관련법규 · 규칙 · 고시 등

- 산업안전보건법 제27조의 규정에 의거 작성됨.

○ 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2012년 7월 18일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

가연성가스 또는 증기혼합물의 폭발한계 산정에 관한 기술지침

1. 목 적

이 지침은 산업안전보건법(이하 “법”이라 한다) 제49조의 2(공정안전보고서의 제출 등), 같은 법 시행령 제33조의 7(공정안전보고서의 내용) 및 동법 시행규칙 제130 조의 2(공정안전보고서의 세부 내용 등) 규정에 의하여 사업주가 제출하여야 하는 공정안전보고서의 원활한 작성을 위해 가연성가스 또는 증기(Vapor)의 폭발하한계 및 폭발상한계 산정에 관한 기준을 정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

공기와 함께 가연성 혼합물을 형성하는 가연성가스 또는 증기(이하 “가스 등”이라 한다)의 폭발하한계 및 폭발상한계 산정에 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “폭발한계(Explosion limit)”라 함은 가스 등의 농도가 일정한 범위내에 있을 때 폭발현상이 일어나는 것으로, 그 농도가 지나치게 낮거나 지나치게 높아도 폭발은 일어나지 않는 범위를 폭발한계라 말한다.

(나) “폭발하한계(Lower explosive limit, LEL)”라 함은 가스 등이 공기중에서 점화원에 의하여 착화되어 화염이 전파되는 가스 등의 최소농도를 말한다.

(다) “폭발상한계(Upper explosive limit, UEL)”라 함은 가스 등이 공기중에서 점화원에 의하여 착화되어 화염이 전파되는 가스 등의 최대농도를 말한다.

(2) 기타 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에서 특별히 규정하는 경우를 제외하고는 법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 고시에서 정하는 바에 따른다.

4. 가스 등 혼합물의 폭발하한계 산정

4.1 가스 등의 폭발하한계 산정 기본 방법

가스 등 혼합물의 폭발하한계는 아래 식을 이용하여 산정한다

$$LEL_{mix} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{LEL_i}} \quad (1)$$

여기서,

LEL_{mix} : 가스 등 혼합물의 폭발하한계 (Vol %)
 LEL_i : 가스 등의 성분 중 i 성분의 폭발하한계 (Vol %)
 y_i : 가스 등의 성분 중 i 성분의 mol 분율
 n : 가스 등의 성분의 수

4.2 가스 등의 폭발하한계에 대한 온도의 영향

가스 등의 폭발하한계는 온도에 따라 증가하므로 식(2) 또는 식(3)을 이용하여 산정한다.

$$LEL_T = LEL_{25} - (0.8LEL_{25} \times 10^{-3})(T - 25) \quad (2)$$

$$LEL_T = LEL_{25} \left(1 - 0.75 \times \frac{(T-25)}{\Delta H_c} \right) \quad (3)$$

여기서,

LEL_T : 특정 온도(T)에서의 폭발하한계
 LEL_{25} : 25℃에서 폭발하한계
 ΔH_c : 가스 등의 연소열 [kcal/mol]
 T : 온도 [℃]

4.3 가스 등의 폭발하한계에 대한 압력의 영향

가스 등의 폭발하한계는 압력에 따라 거의 영향을 받지 않는다. 다만, LNG의 경우는 다음 식을 이용하여 산정한다.

$$LEL_p = 4.5 - 0.71 \log P \quad (4)$$

여기서,

LEL_p : 25℃ 및 P 압력에서의 폭발하한계
 P : 공정의 절대압력 [atm]

5. 가스 등 혼합물의 폭발상한계 산정

5.1. 가스 등의 폭발상한계 산정 기본 방법

가스 등의 폭발상한계는 아래의 식을 이용하여 산정한다.

$$UEL_{mix} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{UEL_i}} \quad (5)$$

여기서,

UEL_{mix} : 가스 등 혼합물의 폭발상한계 (Vol %)
 UEL_i : 가스 등의 성분 중 i 성분의 폭발상한계 (Vol %)

y_i : 가스 등의 성분 중 i 성분의 mol 분율
 n : 가스 등의 성분의 수

5.2 가스 등의 폭발상한계에 대한 온도의 영향

가스 등의 폭발상한계는 온도에 따라 증가하므로 식(6) 또는 식(7)을 이용하여 산정한다.

$$UEL_T = UEL_{25} + (0.8 UEL_{25} \times 10^{-3})(T - 25) \quad (6)$$

$$UEL_T = UEL_{25} \left(1 + 0.75 \times \frac{(T - 25)}{\Delta H_c} \right) \quad (7)$$

여기서,

UEL_T : 특정 온도(T)에서의 폭발상한계
 UEL_{25} : 25℃에서 폭발상한계
 ΔH_c : 가스 등의 연소열 [kcal/mol]
 T : 온도 [℃]

5.3 가스 등의 폭발상한계에 대한 압력의 영향

가스 등의 폭발상한계는 압력의 증가에 따라 증가하므로 다음 식을 이용하여 산정한다.

$$UEL_p = UEL_{25} + 20.6 (\log P + 1) \quad (8)$$

여기서,

UEL_p : 25℃ 및 어느 압력(P)에서의 폭발상한계
 UEL_{25} : 25℃에서 폭발상한계
 P : 공정의 절대압력 [MPa]

다만, LNG의 경우는 다음식을 이용하여 산정한다.

$$UEL_p = 14.2 + 20.4 \log P \quad (9)$$

여기서,

P : 공정의 절대압력[atm]

6. 가스 등 혼합물의 온도와 압력이 결합된 경우 폭발한계 산정

- (1) 폭발하한계는 압력의 의존성이 적기 때문에 온도의 영향만 고려하여 산정한다.
- (2) 폭발상한계는 온도와 압력의 의존성이 크므로 각각의 온도, 압력하에서 폭발상한계를 산정하여 큰 값을 폭발상한계로 한다.

<부록>

가스 등의 폭발한계 산정 예시

헥산 0.8 Vol %, 메탄 2.0 Vol % , 에틸렌 0.5 Vol %로 구성된 혼합가스의 폭발한계 및 폭발상한계의 산정.

물질명	부피 %	가연성물질 기준 mol 분율	폭발하한계 <i>LEL</i> (Vol %)	폭발상한계 <i>UEL</i> (Vol %)
헥산	0.8	0.24	1.1	7.5
메탄	2.0	0.61	5.0	15.0
에틸렌	0.5	0.15	2.7	36.0
소계(가연성물질)	3.3	1.00		
공기	96.7			
합계	100			

(1) 폭발하한계 산정

식(1)에 의하면

$$LEL_{mix} = \frac{1}{\frac{y_{\text{헥산}}}{LEL_{\text{헥산}}} + \frac{y_{\text{메탄}}}{LEL_{\text{메탄}}} + \frac{y_{\text{에틸렌}}}{LEL_{\text{에틸렌}}}}$$

$$LEL_{mix} = \frac{1}{\frac{0.24}{1.1} + \frac{0.61}{5.0} + \frac{0.15}{2.7}} = 2.53(\text{Vol } \%)$$

KOSHA GUIDE
D - 22 - 2012

(2) 폭발상한계 산정

식(5)에 의하면

$$UEL_{mix} = \frac{1}{\frac{y_{\text{헥산}}}{UEL_{\text{헥산}}} + \frac{y_{\text{메탄}}}{UEL_{\text{메탄}}} + \frac{y_{\text{에틸렌}}}{UEL_{\text{에틸렌}}}}$$

$$UEL_{mix} = \frac{1}{\frac{0.24}{7.5} + \frac{0.61}{15} + \frac{0.15}{36.0}} = 13.0 (Vol \%)$$

온도의 영향을 받는 가스 등의 폭발하한계의 산정 예시

프로필렌의 폭발하한 및 상한계가 각각 2.4 Vol %, 11 Vol %이고 연소열 492 kcal/mol 이라면, 온도 100℃에서 폭발하한계 및 폭발상한계의 산정

(1) 폭발하한계 계산

식(2)에 의하면

$$\begin{aligned} LEL_T &= LEL_{25} - (0.8LEL_{25} \times 10^{-3})(T - 25) \\ &= 2.4 - (0.8 \times 2.4 \times 10^{-3}) \times (100 - 25) \\ &= 2.3 \text{ vol } \% \end{aligned}$$

식(3)에 의하면

$$\begin{aligned} LEL_T &= LEL_{25} \left(1 - 0.75 \times \frac{(T - 25)}{\Delta H_c} \right) \\ &= 2.4 \left(1 - 0.75 \times \frac{(100 - 25)}{492} \right) \\ &= 2.1 \text{ vol } \% \end{aligned}$$

(2) 폭발상한계 계산

식(6)에 의하면

$$\begin{aligned} UEL_T &= UEL_{25} + (0.8UEL_{25} \times 10^{-3})(T - 25) \\ &= 11 + (0.8 \times 11 \times 10^{-3})(100 - 25) \\ &= 11.7 \text{ vol } \% \end{aligned}$$

식(7)에 의하면

$$\begin{aligned} UEL_T &= UEL_{25} \left(1 + 0.75 \times \frac{(T - 25)}{\Delta H_c} \right) \\ &= 11 \times \left(1 + 0.75 \times \frac{(100 - 25)}{492} \right) \\ &= 12.3 \text{ vol } \% \end{aligned}$$

압력의 영향을 받는 가스 등의 폭발상한계의 산정 예시

프로필렌의 폭발상한계가 11 Vol %라면, 게이지압력 6.2 MPa에서 폭발상한계의 산정

식(8)에 의하면

$$\text{시스템압력, } P = 6.2 + 0.101 = 6.301 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} UEL_p &= UEL_{25} + 20.6 (\log P + 1) \\ &= 11 + 20.6 (\log 6.301 + 1) \\ &= 48.0 \text{ vol } \% \end{aligned}$$