

탄화수소류의 폭발상한계

하동명

세명대학교 보건안전공학과

The Explosion Limits of Hydrocarbons

Dong-Myeong Ha

*Department of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University

1. 서 론

일반적으로 인화점은 하부인화점과 상부인화점으로 나눌 수 있다. 하부 및 상부 인화점은 가연성액체의 화재 위험성을 나타내는 지표로, 액체의 표면에서 발생한 증기 농도가 공기 중 연소 하한 및 상한 농도가 될 수 있다. 인화점을 결정하는데 사용되는 측정 방법은 몇 가지 있다. 각각의 방법은 서로 다른 값을 나타낸다. 가장 일반적으로 사용되는 두 가지 측정법은 밀폐식(Closed-cup, C.C.)과 개방식(Open cup, O.C.)이 있다. 대부분의 문헌과 자료에는 하부인화점이 대부분이고, 상부인화점은 거의 제시되지 않고 있다. 상부인화점이 제시되지 않고 있는 이유는 장치 설계와 실험 조건이 어렵기 때문으로 본다.¹⁾

상부인화점의 연구가 필요한 것은 상부인화점을 이용하여 폭발상한계(UEL, Upper Explosion Limit)의 예측이 가능하기 때문이다. 안전의 실패로 화학 장치에서 위험물질이 누출될 때 누출 지점은 농도가 짙은 상태가 되므로 폭발상한계가 중요한 안전 인자가 된다.

본 연구에서는 밀폐용기로 기액평형(VLE, Vapor-liquid Equilibrium)에서 인화점을 측정하는 Setaflash 장치²⁾(ASTM D3278)를 사용하여 탄화수소계열인, 노말알칸류(n-Alkanes)와 방향족탄화수소(Aromatic Compounds)의 상부인화점을 측정하고, 측정된 값을 이용하여 폭발상한계를 예측하였다.

2. 인화점 측정장치 및 시약

본 연구에 사용된 장치는 기액평형 상태에서 인화점을 측정하는 Setaflash 밀폐식을 사용하였다. Setaflash 밀폐식 장치는 몸체부, 시료컵 장치부, 화염 공급부로 크게 나눌 수 있다. 몸체부는 가열공기조, 전원 개폐기, 전열 조절기 등으로 구성되어 있고, 시료 장치부는 4 ml 용량의 시료컵, 온도계 삽입구, 시료컵 상부 개폐기 손잡이로 구성되어 있다. 그리고 화염 공급부는 화염접근장치(Flame Exposure Device), 연료통, 화염 조절기, 가스관, 가스 안전밸브 등으로 구성되어 있다. 본 연구에서 사용한 노말알칸류와 방향족탄화수

소노말의 제조사 및 순도를 Table 1에 나타내었으며, 시료는 별도의 정제과정을 거치지 않고 사용하였다.

Table 1. Chemicals

| Reagents | Companies(nationals) | Assay[%] |
|--------------|----------------------|----------|
| n-Octane | Acros(USA) | 99.0 |
| n-Nonane | Junsei(Japan) | 99.7 |
| n-Decane | Acros(USA) | 99.0 |
| o-Xylene | Acros(USA) | 99.0 |
| m-Xylene | Acros(USA) | 99.0 |
| p-Xylene | Junsei(Japan) | 99.7 |
| Toluene | Acros(USA) | 99.0 |
| Ethylbenzene | Acros(USA) | 99.0 |

3. 폭발상한계 예측

폭발상한계는 하한계에 비해 문헌에 제시된 값들이 적으므로 폭발상한계 연구가 하한계에 비해 적은 편이다.

Jones³⁾는 역시 화학양론 계수(C_{st})를 이용한 탄화수소류에 적용할 수 있는 폭발상한계 추산식을 다음과 같이 제시하였다.

$$UEL = 3.5 C_{st} \quad (1)$$

여기서 C_{st} 는 다음과 같이 계산된다.

$$C_{st} = \frac{\text{연료몰수}}{\text{연료몰수} + \text{공기몰수}} \times 100 \quad (2)$$

Mullin 등⁴⁾은 다음과 같은 관계식을 제시하였고,

$$UEL = 3.3 C_{st} \quad (3)$$

일반적으로 폭발하한계와 상한계를 예측하기 위해서는 하부인화점과 상부인화점에 해당되는 증기압을 알아야 한다. 대표적인 증기압 계산식으로는 Antoine 식⁵⁾이 널리 사용되고

있다.

$$\log P^f = A - \frac{B}{(t + C)} \quad (4)$$

여기서, P^f 는 증기압이고, A, B, C는 상수이며, t는 온도(°C)이다.

4. 결과 및 고찰

노말알칸류와 방향족탄화수소류에 계산된 화학양론 계수 (C_{st})를 평균한 결과, 양론계수에 의한 폭발상한계 예측식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$UEL = 3.71 C_{st} \quad (5)$$

Fig. 1에서 알 수 있듯이 노말알칸류와 방향족탄화수소류의 경우는 탄소수가 증가함으로써 상부인화점(UFP, upper flash point)은 선형적 관계를 보이고 있다. 또한 방향족탄화수소의 경우 탄소수가 8개인 자일렌류와 에틸벤젠 56°C ~ 62°C로 큰 차이를 보이지 않았으며, 탄소수가 7개 인 톨루엔은 42°C로 측정되었다.

노말알칸류와 방향족탄화수소류의 탄소수에 의한 상부인화점의 관계를 최적한 결과 다음과 같은 관계식을 얻었다.

$$UFP(^{\circ}C) = -45 + 12.82n \quad (6)$$

여기서 UFP는 상부인화점이고, n은 탄소수이다.

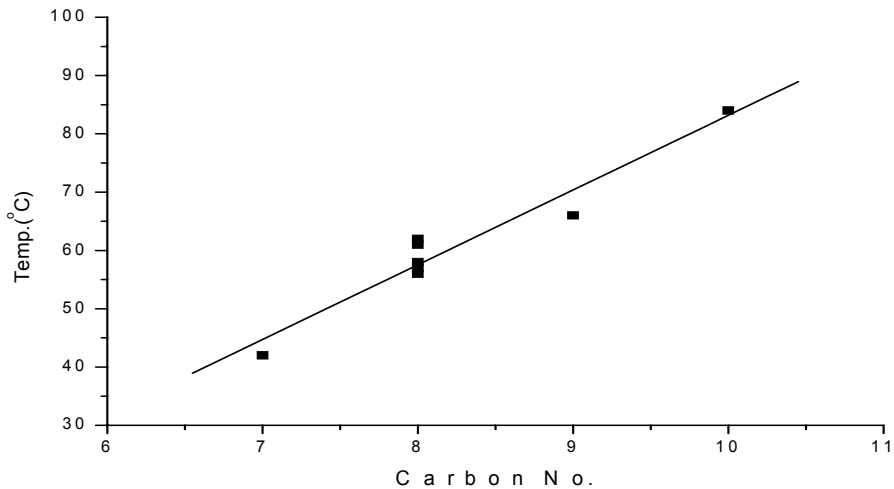


Fig. 1. Experimental upper flash point of n-alkanes and aromatic compounds by using Setaflash closed-cup apparatus.

참고문헌

- 1) F.P. Lees, "Loss Prevention in the Process Industries Vol. 1", 2nd ed., Oxford Butterworth-Heinemann, 1996.
- 2) ASTM, "Standard Test Method for Flash Point of liquids by Small Scale Closed-Cup Apparatus", ASTM International, PA, 2004
- 3) G.W. Jones, "Inflammation Limits and Their Practical Application in Hazardous Industrial Operation", Chem. Rev., Vol. 22, No.1, pp.1-26, 1938.
- 4) B.P. Mullins, "Bubble-points, Flammability-limits and Flash-points of Petroleum Products" Combustion Researches and Reviews, Butterworths, London, 1957.
- 5) J. Gmehing, U. Onken and W. Arlt, "Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection", 1, Part1-Part7, DECHEMA, 1980.