

## 클리브랜드 개방식 장치를 이용한 탄화수소류의 인화점과 연소점에 관한 연구

하희정<sup>1</sup>, 이성진<sup>\*</sup>  
 충북과학고등학교<sup>1</sup>, 세명대학교<sup>\*</sup>  
 (pappi68@hanmail.net<sup>\*</sup>)

### A Study on Fire Points and Flash Points of Hydrocarbons Using Cleveland Open Cup Apparatus

Ha, Hui Jeong<sup>1</sup>, Lee, Sungjin<sup>\*</sup>  
 Chungbuk Science High School<sup>1</sup>, Semyung University<sup>\*</sup>  
 (pappi68@hanmail.net<sup>\*</sup>)

## 1. 서론

화학산업 현장에서 취급하는 가연성물질의 생산, 처리, 수송, 저장할 때 취급물질의 화재안전특성을 정확하게 파악하지 못하므로써 사고가 발생하는 경우가 허다하다. 따라서 산업 현장에서 가연성물질의 안전한 취급을 위해서는 이들 물질의 중요한 화재안전특성치 가운데 하나인 인화점(flash point)과 연소점(fire point)에 대한 지식을 필요로 한다 [1].

최근에 발표된 인화점 연구로 Jones 등[2]은 Formic Acid, Glycerol, Ethylamine, Dimethylamine 등에 대해 밀폐식 장치를 이용하여 인화점을 측정하였으며, 측정된 Formic Acid의 인화점을 문헌값들과 비교하여 실험 자료의 신뢰도를 평가하였다.

Roberts 등[3]은 7개의 순수물질에 대해 연소점을 측정하여 연소점에서의 증기압과 연료의 완전연소에서 증기압과의 관계를 고찰하였으며, 그 결과 연소점에서의 증기압이 완전연소에서 증기압보다 1.38-1.92배 화학양론법칙을 제시하였다. Thorne[4]은 순수물질의 연소점에서의 증기압에 대한 1.41배 화학양론법칙을 제시하였다. Ha와 Lee[5]는 Tag 개방식 장치를 이용해 알코올류의 연소점에서의 증기압에 대한 1.41배 화학양론법칙을 제시하였다.

본 연구에서는 탄화수소(지방족 및 방향족) 중에서 의약품, 염색, 사료첨가제등으로 다양하게 사용되고 있는 n-Decane, o-Xylene, p-Xylene 등에 대하여 Cleveland 개방식 장치를 이용하여 하부인화점과 연소점을 측정하였다. 측정된 인화점들은 기존의 문헌값들과 비교하여 고찰하였으며, 또한 측정된 연소점은 증기압과 완전연소에서 증기압과의 관계를 Antoine 식을 사용하여 고찰하고자 한다.

## 2. 연소점 예측 이론

Jones[6]는 문헌값에 제시된 4개의 가연성 순수물질을 이용하여 연소점 예측 이론을 제시하였다. 4개의 순수물질에 대하여 연소점에 해당하는 증기압을 완전연소시 증기압의 1.5배라는 관계식을 얻었다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P^f = 1.5 P^s \quad (1)$$

여기서  $P^f$ 는 연소점에 해당되는 평형 증기압이고,  $P^s$ 는 연료가 공기와 완전연소하는 경우 화학양론농도(stoichiometric concentration,  $C_{st}$ )에 해당되는 부분압이다.

본 연구에서는 연소점에 해당되는 증기압을 계산하기 위해서 Antoine 식을 사용하였으며[7], 다음과 같다.

$$\log P^f = A - \frac{B}{(t+C)} \quad (2)$$

여기서,  $P^f$ 는 연소점에서의 증기압이고, A, B, C는 상수이며, t는 연소점의 온도이다.

### 3. 실험

#### 3.1 실험재료 및 실험장치

n-decane, o-xylene 그리고 p-xylene은 순도 99.0%인 Acros 사 제품을 사용했으며, 별도의 정제과정을 거치지 않았다. 또한, 실험장치는 클리브랜드 개방식 장치를 사용했다.

#### 3.2 실험방법

본 연구에서는 KS M 2010 규격에 맞추어 실험을 진행하였다. 이 규정에 따르면 다음과 같은 단계로 실험을 진행한다.

- 1) 시료 컵의 표시 선까지 시약을 채우고 시약 표면의 기포를 제거한다.
- 2) 시험불꽃을 점화하고 화염의 크기를 직경 4mm가 되도록 조정한다.
- 3) 시약의 온도가 60초간 14℃의 비율로 상승하도록 가열하고, 시약의 온도가 설정온도 보다 2~8℃ 낮은 온도에 도달하면 시험불꽃을 시료컵의 중심을 횡단하여 통과시켰다.
- 5) 제 5)번의 방법에 의하여 인화되지 않는 경우에는, 시약의 온도가 2℃ 상승할 때마다 시험불꽃을 시료컵의 중심을 횡단하여 일직선으로 1초간 통과시키는 조작을 인화할 때까지 반복한다.
- 6) 제 6)번의 방법에 의하여 인화한 온도와 설정온도와의 차가 4℃ 를 초과하지 않는 경우에는 당해온도를 인화점으로 한다.
- 7) 5초간 발염연소를 지속한다면, 그 액체의 온도를 연소점으로 한다.

### 4. 인화점 및 연소점 고찰

일반적으로 밀폐식과 개방식에 의한 인화점과 연소점 그리고 끓는점의 관계를 다음과 같이 나타내고 있다.

$$\text{Closed Cup Flash Point} < \text{Open Cup Flash Point} \leq \text{Fire Point} < \text{Boiling Point}$$

여기서 개방식 장치에 의한 연소점이 인화점과 동일하거나 높다고 표시하였는데, 이는 알코올류인 경우에는 연소점과 인화점이 동일한 온도로 측정되었기 때문이다. 인화점이 40℃ 이하인 물질의 경우 밀폐식 인화점보다 연소점이 약 3~10℃ 정도 높게 나타나

고 있다고 보고 되고 있으며, 40°C 이상의 물질은 밀폐식 인화점보다 연소점이 상당히 높게 나타났다고 보고 되었다.

#### 4.1 측정값과 문헌값의 인화점 고찰

본 연구에서는 기압을 1기압 하에서 실험이 이루어지지 않았으므로 실험값의 온도 보정은 필요하다. 그러므로 실험 당시의 대기압을 보정식에 대입함으로써, 1기압에서의 인화점으로 보정하였다. 여기에 사용된 보정식은 다음과 같다.

$$\text{Corrected } T_f = C + 0.033(760 - P) \quad (3)$$

여기서 C는 인화점의 실험값이며, P는 실험 시 기압계의 압력이다.

본 연구에서 측정된 밀폐식과 개방식 인화점의 실험값을 인화점이 제시된 대표적인 문헌들인 NFPA[7], Sigma[8], Lange[9]의 자료들과 비교하여 Table 3에 나타내었다.

탄화수소류 n-Decane, o-Xylene, p-Xylene에 대해 실험을 하였다. 3개의 물질에 대한 인화점 문헌값들은 밀폐식 장치에서 얻은 것으로 사료된다. 그 이유는 우리 장치인 개방식에서 얻은 실험값보다 약 12°C 정도 낮게 나왔기 때문이다. 특히 n-Decane과 p-Xylene의 인화점과 연소점은 동일한 온도에서 측정된 반면 o-Xylene의 경우는 인화점과 연소점이 각각 다른 온도로서 연소점이 4°C 높게 나타났다.

Table 3. Comparison of experimental and reported flash points and fire points for n-octane, n-nonane, n-decane, o-xylene, m-xylene and p-xylene

Compounds	Exp.(°C)		Flash Points (°C)		
	Flash points	Fire points	NFPA	Sigma	Lange
n-Decane	59	59	46	46	46
o-Xylene	41	45	32	32	32
p-Xylene	40	40	27	27	27

#### 4.2 연소점 고찰

지금까지 측정된 3가지 물질 가운데 인화점과 연소점이 구분된 물질은 o-Xylene으로서 연소점이 인화점 보다 4°C 높게 나타났다. 측정된 연소점을 완전연소에서 증기압의 관계를 살펴보고자 한다.

o-Xylene의 완전 연소식은 다음과 같다.



Antoine 식을 이용하여 o-Xylene의 연소점에서 증기압은 0.02615atm였으며, 완전연소에서 증기압은 0.01961atm이었다. 따라서 연소점에서 증기압과 완전연소에서의 증기압의

관계식은 아래와 같다.

$$P^f = 1.33 P^s \quad (5)$$

### 참 고 문 헌

- [1] E. Meyer, "Chemistry of Hazardous Materials", 2nd ed., Prentice-Hall (1990).
- [2] J.C. Jones and J. Godefroy, "A Reappraisal of the Flash Point of Formic Acid", J. of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 15, pp. 241-243(2002).
- [3] A.F. Roberts and B.W. Quince, "A Limiting Condition for the Burning of Flammable Liquids", combustion and flame, Vol. 20, pp. 245-251(1973).
- [4] P.F. Thorne, "The Dilution of Flammable Polar Solvents by Water for Safe Disposal", J. of Hazardous Materials, Vol. 2, pp. 321-332(1977/1978).
- [5] D.M. Ha, S.J. Lee and Y.H. Song, "Measurement of Fire Point and Flash Point for Alcohols using Tag Open-Cup Apparatus", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 19, No. 4, pp. 69-73(2004).
- [6] J.C. Jones, "A Means of Calculating the Fire Points of Organic Compounds", J. of Fire Sciences, Vol. 19. pp. 62-68(2003).
- [7] J. Gmehling, U. Onken and W. Arlt, "Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection, Vol. 1, Part 1 ~ Part 7", Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen(DECHEMA)(1980).
- [8] NFPA, "Fire Hazard Properties of Flammable Liquid, Gases, and Volatile solids", NFPA 325M, NFPA(1991).
- [9] R.E. Lenga and K.L. Votoupal: "The Sigma-Aldrich Library of Regulatory and Safety Data, Vol. I ~ Vol. III", Sigma Chemical Company and Aldrich Chemical Company Inc.(1993).
- [10] J.A. Dean, "Lange's Handbook of Chemistry", 14th ed., McGraw-Hill (1999).