

## 노말노난올의 연소특성치 측정에 의한 위험성 평가 Risk Assessment by Means of Measurement of Combustible Characteristics for n-Nonanol

하동명

Dong-Myeong Ha

세명대학교 보건안전공학과  
(2012. 1. 26. 접수/2012. 3. 26. 수정/2012. 4. 13. 채택)

### 요 약

노말노난올의 안전한 취급을 위해, 폭발한계는 문헌을 통해 고찰하였고, 인화점과 발화지연시간에 의한 발화온도를 측정하였다. 그 결과, 노말노난올의 폭발하한계는 0.80 Vol.%, 상한계는 6.1 Vol.%를 추천하였고, 하부인화점은 밀폐계에서 94~97 °C와 개방식에서 103~104 °C로 측정되었다. ASTM E659-78 장치를 사용하여 자연발화온도와 발화지연시간을 측정하였고, 노말노난올의 최소자연발화온도는 270 °C로 측정되었다.

### ABSTRACT

For the safe handling of n-nonanol, this study was investigated the explosion limits of n-nonanol in the reference data. The flash points and AITs (autoignition temperatures) by ignition delay time were experimented. As a results, the lower and upper explosion limits of n-nonanol recommended 0.8 Vol.% and 6.1 Vol.%, respectively. The lower flash points of n-nonanol by using closed-cup tester were experimented 94~97 °C. The lower flash points of n-nonanol by using open cup tester were experimented 103~104 °C. This study measured relationship between the AITs and the ignition delay times by using ASTM E659-78 apparatus for n-nonanol. The experimental AIT of n-nonanol was 270 °C.

**Key words** : n-Nonanol, Flash point, Explosion limit, Closed-cup tester, Open cup tester, Autoignition temperature (AIT)

### 1. 서 론

산업 현장에서 취급하고 있는 각종 화학물질은 잠재적 위험성이 크므로 보관, 수송 및 취급할 때 특별한 주의가 필요하다. 공정 설계 시 정확하지 않은 연소특성치를 사용함으로써 사고가 유발되는 경우가 많다. 따라서 산업장에서 사용되고 있는 화학물질의 화재 및 폭발 특성치인 인화점, 최소자연발화온도, 폭발한계 등을 정확히 파악하는 것은 중요하다.

인화점은 하부인화점과 상부인화점으로 나누고 있으며, 하부인화점은 가연성 액체의 화재 위험성을 나타내는 지표로서, 가연성액체의 액면 가까에서 인화할 때 필

요한 증기를 발산하는 액체의 최저온도로 정의한다. 폭발한계는 발화원이 존재할 때 가연성가스와 공기가 혼합하여 일정 농도범위 내에서만 연소가 이루어지는 혼합범위를 말한다. 자연발화(Autoignition 혹은 Spontaneous Ignition)는 가연성혼합기체에 열 등의 형태로 에너지가 주어진 때 스스로 타기 시작하는 산화현상으로, 주위로부터 충분한 에너지를 받아서 스스로 점화할 수 있는 최저온도를 최소자연발화온도(AIT: Autoignition Temperature)라고 한다.<sup>1)</sup>

최근 새로운 실험 장치와 예측 방법이 개발됨으로서 기존의 연소특성치를 재평가하는 연구가 진행되고 있다. Huges 등<sup>2)</sup>은 Pensky-Martens 장치를 사용하여 노말도데칸의 인화점을 측정하여 기존 자료와 비교하였고, Montemayor 등<sup>3)</sup>은 노말펜탄올, 노말언데칸, 노말

테트라데칸 등의 인화점을 Automatic와 Manual 장치로 측정하여 비교 분석하였다. 최근 Ha<sup>4,5)</sup> 역시 사이클로헥사논과 노말도데칸의 인화점에 대해 밀폐식인 Pensky-Martens과 Setaflash 장치, 개방식인 Tag와 Cleveland 장치를 사용하여 측정된 결과를 기존 자료와 비교 분석하였다.

자연발화온도의 연구로는 Zabetakis 등<sup>6)</sup>은 ASTM D286-30 장치를 이용하여 탄화수소의 자연발화온도에 대한 실험적 연구를 하였고, Hshieh 등<sup>7)</sup>은 ASTM E659-78 장치를 이용하여 Trichlorosilanes에 대한 최소자연발화온도 측정을 연구하였으며, Ha 등<sup>8)</sup>도 이성분계 2개의 계에 대해 순수물질과 혼합물질의 자연발화온도를 측정하여 새로운 자료를 제시하였다.

폭발한계 연구로 Vidal 등<sup>9)</sup>은 단일화염온도를 계산하여 폭발한계의 예측식을 제시하였고, Ha<sup>10)</sup>는 가연성혼합기체의 폭발한계에 대해 혼합물질을 구성하는 각 순수물질의 연소열과 혼합가스를 구성하는 각 조성을 이용하여 폭발한계의 예측식을 제시하였다.

본 연구에서는 알코올류이면서 지방족 화합물군에 속하는 노말노난올의 인화점과 자연발화온도를 측정하여 기존의 자료와 비교하였고, 폭발한계는 여러 문헌에 제시된 자료를 고찰하여 공정 안전에 타당한 자료를 제시하였다. 본 연구에서 제시된 노말노난올의 자료는 이를 취급하는 공정에서 안전을 확보하는 지침 마련과 MSDS의 최신화에 유용한 정보를 제공하는데 목적이 있다.

## 2. 노말노난올의 물리적 및 연소특성

### 2.1 물리적 특성

각 국에서는 사업장에서 취급하는 유해·위험물질에 대한 안전한 취급, 처리, 운송 및 보관을 위해 MSDS 자료를 제공하고 있다. 그리고 많은 단체에서 발간한 자료와 논문들에서도 물리적 특성치를 제공하고 있다. 노말노난올의 물리적 특성은 요약하여 Table 1에 나타내었다.<sup>11)</sup>

### 2.2 노말노난올의 연소특성

노말노난올은 위험물안전관리법에서는 제 4류위험물의 제 3석유류이고, 산업안전보건법과 유해화학물질 관리법에서는 미규정하고 있다. NFPA에서는 건강 및 화재 위험성은 2등급 그리고 반응위험성은 0등급이다. 노말노난올은 색상은 투명하고, 무색에서 노란색까지 분포되어있으며, 알코올과 에테르 등에 잘 용해된다.<sup>11)</sup>

피해야 할 발화원은 열, 화염, 스파크 및 기타점화원

**Table 1.** Physical Properties of n-Nonanol

Component	n-Nonanol
Cas Number	143-08-8
Molecular Formula	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> OH
Boiling Point	213.5 °C
Melting Point	-5 °C
Density	0.827 g/cm <sup>3</sup>
Vapor Pressure	0.0227 mmHg (25 °C)
Viscosity	11.7 Centipoise (20 °C)
Solubility(Water)	140 mmg/L (25 °C)
Critical Temperature	393.55 °C
Critical Pressure	30 atm
Vapor Density (Air = 1)	5
Specipic Gravity (Water = 1)	0.8

등이 있다. 그리고 산화제, 가연성물질, 금속염과 접촉을 피해야 한다. 증기는 공기보다 무거우므로 누출 시 원거리의 발화원으로 부터 점화되어 순식간에 확산될 수 있다. 소화약제로는 물, 건조분말, 화학적 포말, 내화학성 포말 등을 유용하며, 저장 및 보관방법 은 점화원으로 부터 격리시킬 것 단단히 밀폐된 용기에 저장할 것 서늘하고 건조하며 통풍이 잘 되는 곳에 저장해야 한다.

## 3. 노말노난올의 화재 및 폭발 특성치 분석

### 3.1 노말노난올의 폭발한계

폭발한계는 초기온도, 초기압력, 산소농도, 연소열, 분자량, 발화원의 특성, 불활성가스의 비, 측정용기의 크기, 혼합기체의 물리적 상태, 화염전파방향 및 실험자의 숙련도 등에 영향을 받는다. 특히 폭발한계는 점화원의 위치에 따라 값이 달라지는데, 일반적으로 폭발범위는 점화시 화염이 위쪽으로 올라가는 상향전파에서 폭발한계는 낮고, 폭발상한계는 높아져서 폭발범위는 넓어진다. 노말노난올의 폭발한계는 NFPA<sup>12)</sup>와 Ignition Handbook<sup>13)</sup>에서 폭발하한계를 0.8 Vol.%(100 °C), 상한계는 6.1 Vol.%(100 °C)로 제시하고 있다.

### 3.2 노말노난올의 인화점

인화점은 가연성액체의 화재 위험성을 나타내는 지표로, 하부인화점과 상부인화점으로 나눌 수 있다. 인화점 측정의 매개변수(Parameter)로는 용기형태, 시료량, 발화원, 온도조절기, 주위압력, 시료의 균일성, 실

**Table 2.** The Lower Flash Point of Several Reported Data for n-Nonanol

Compound	Flash Points [°C]				
	NFPA <sup>(12)</sup>	Ignition <sup>(13)</sup>	Sigma <sup>(14)</sup>	SAX <sup>(15)</sup>	Flick <sup>(16)</sup>
n-Nonanol	74	74	98	76	80

험자, 자료의 편차 등이 있다. 측정방법으로는 일반적으로 밀폐식으로는 Pensky-Martens과 Setaflash 등이 있으며, 개방식으로는 Tag와 Cleveland 등을 들 수 있다. 장치에 따라 다른 값이 측정할 수 있으며, Table 2에는 문헌들에 나와 있는 노말노난올의 하부인화점을 정리하여 나타내었다. 가장 낮은 값은 NFPA의 74 °C이고, 가장 높은 값은 Sigma의 98 °C로서 문헌에 따라 약 24 °C의 차이를 보이고 있다.

### 3.3 노말노난올의 최소자연발화온도

자연발화온도는 다른 곳에 아무런 화원을 주지 않고 공기 속의 상온에서 주위로부터 발생하는 열로부터 가연물이 자발적으로 점화되는 온도를 말한다. 자연발화온도에 영향을 주는 인자로는 초기온도, 초기압력, 농도, 용기크기, 촉매, 발화지연시간, 유속, 산소농도, 불순물, 실험장치 그리고 실험자의 숙련도 등을 들 수 있다. 자연발화온도는 조성에 영향을 받는데, 즉 혼합물 중 일반적으로 양론적 조성비를 기준으로 가연성물질의 농도에 따라 자연발화온도가 커지거나 작아진다. 노말노난올의 최소자연발화온도는 유일하게 Ignition Handbook<sup>(13)</sup>에서 277 °C로 제시하고 있다.

## 4. 연소특성 실험장치

### 4.1 실험재료

본 연구에서 사용한 노말노난올(Lancaster, 99%)의

시료는 별도의 정제과정을 거치지 않고 사용한다.

## 4.2 실험장치

### 4.2.1 인화점 측정 장치

본 연구에서 사용된 장치의 Pensky-Martens과 Setaflash 밀폐식 그리고 Tag와 Cleveland 개방식장치의 구성 요소를 간략히 소개한다.<sup>4,5)</sup>

Pensky-Martens 밀폐식 장치는 몸체부, Test Cup 장치부, 교반부, 화염 공급부로 나눌 수 있다. 몸체부는 가열공기조, 전원 개폐기, 전열 조절기, 투구관 등으로 구성되어 있다. Test Cup 장치부의 Cup은 용량이 100 ml 정도이며, 재질은 열전도도가 높은 구리로 되어 있고, Test Cup Handle, 온도계 삽입구, Test Cup 상부 개폐기 손잡이로 구성되어 있다. 교반부는 교반기, 굴곡축, 140~150회/min을 교반하는 전동기로 구성되어 있다.

Setaflash 밀폐식 장치는 몸체부, 시료컵 장치부, 화염 공급부로 크게 나눌 수 있다. 몸체부는 가열공기조, 전원 개폐기, 전열 조절기 등으로 구성되어 있다. 시료장치부는 4 ml 용량의 시료컵, 온도계 삽입구, 시료컵 상부 개폐기 손잡이로 구성되어 있다. 화염 공급부는 화염접근장치(Flame Exposure Device), 연료통, 화염 조절기, 가스관, 안전밸브 등으로 구성되어 있다.

Tag 개방식 장치는 가연성 액체의 인화점 및 연소점 측정이 가능한 장치로서, 구성은 시료컵, 승온 다이얼, 수조, 시험염 발생 장치 등으로 구성되어 있으며, 부가장치로는 시료 컵의 시료 수위를 조절할 수 있는 레벨수준 유지장치(Level Device)가 있다.

Cleveland 개방식 장치는 인화점 및 연소점을 측정하는 장치로서, 몸체부, 시료컵 장치부, 화염 공급부로 크게 나눌 수 있다. 몸체부는 가열공기조, 전원 개폐기, 전열 조절기 등으로 구성되어 있다. 시료장치부의 시료컵의 용량은 80 ml 정도이며, 재질은 열전도도가 높은 구리이며, 시료컵 조절기, 온도계 삽입구, 시료컵 상

**Table 3.** Comparison of Several Flash Point Test Methods

Test Methods	Test Vessel Diameter (cm)	Test Vessel Depth (cm)	Test Vessel Volume (ml)	Heating Methods
ASTM D93 Pensky-Martens closed-cup	5.085	5.6	110	For ordinary liquids, the temperature of the specimen is increased at 5~6 °C/min
ASTM D3278 Setaflash closed-cup	5.0	1.0	4	Sample cup is electrically heated or chilled and sample temperature is kept constant
ASTM D1310 Tag open cup	5.3	5.0	70	The temperature of the specimen is increased at 1 ± 0.25 °C/min.
ASTM D92 Cleveland open cup	6.4	3.4	110	The temperature of the specimen is increased at 5~6 °C/min

부 개폐기 손잡이로 구성되어 있다. 화염 공급부는 화염접근장치, 연료통, 화염 조절기, 가스관, 가스 안전밸브 등으로 구성되어 있다.

각 인화점 측정 장치들의 용기 특성 및 시험 방법을 요약하여 Table 3에 나타내었다.

4.2.2 자연발화온도 측정장치(ASTM E659)

본 실험에서는 액체 화학물질의 자연발화점 측정 장치로서 ASTM E659 장치를 사용하여 자연발화온도를 측정하였으며, 장치는 크게 Furnace, Temperature Controller, Thermocouple, Test Flask, Hypodermic Syringe, Mirror, Air Gun으로 구성되어 있다.<sup>4,5)</sup>

실험 방법은 기준 온도를 설정하고, 실험 장치를 가열하고, 설정온도에 도달하면 플라스크 내부에 주사기로 시료를 0.1 ml를 넣는다. 그리고 10분 동안 관찰 후 발화가 일어나지 않으면 다시 온도를 설정한 후 10분 전에 발화가 일어나면 설정 온도 보다 30 °C 낮게 설정하고 3~5 °C 혹은 10 °C씩 증가시키면서 측정하며, 발화가 일어났을 때 시간과 온도를 기록한다.

5. 결과 및 고찰

5.1 기존 인화점 측정 자료에 의한 노말노난올의 인화점의 신뢰성 고찰

본 연구에서 측정된 노말노난올의 측정값의 신뢰도를 평가하기 위해 그동안 연구된 알코올류의 인화점 경향을 통해 신뢰성을 평가하고자 한다. Figure 1에서는 NFPA<sup>12)</sup>와 Sigma<sup>14)</sup> 자료를 이용 알코올류는 노말프로판올에서 노말옥탄올까지 하부인화점과 본 연구에서 측정된 노말노난올의 인화점을 나타내었다.

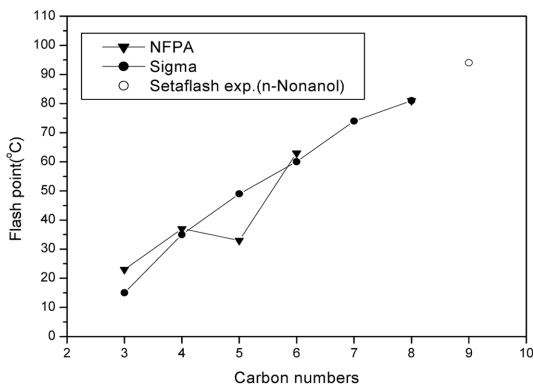


Figure 1. The relationship between lower flash points and carbon numbers by experimental and reported for n-alcohols.

Table 4. Comparison of Estimated Explosiom Limits by Experimental Flash Point for n-Nonanol

Testers	Experimental Flash Point (°C)		Estimated Explosion Limit (Vol.%)	
	Lower	Upper	Lower	Upper
Setaflash	94	132	0.81	6.11
Pensky-Martens	97	-	0.98	-
Tag	103	-	1.39	-
Cleveland	104	-	1.47	-

5.2 측정된 인화점에 의한 폭발한계의 비교 고찰

Table 1은 노말노난올에 대한 폭발한계는 실험장치의 크기나 모양, 화염전파방향에 따라 달라진다는 사실을 확인할 수 없다. 그러나 그 동안 노말노난올의 공정에서 안전을 위해 폭발하한계 0.8 Vol.%(100 °C)와 상한계는 6.1 Vol.%(100 °C)를 많이 인용하였다.

노말노난올의 폭발한계의 자료를 검증하기 위해 Antoine 식<sup>17)</sup>을 사용하여 폭발한계를 계산할 수 있다.

$$\ln P^f = 8.7513 - \frac{2939.54}{(T - 150.1)} \quad (1)$$

여기서, P<sup>f</sup>는 증기압(bar)이고, T는 온도(K)이다.

Pensky-Martens과 Setaflash 밀폐식, Tag와 Cleveland 개방식에 의해 얻어진 인화점을 이용하여 식 (1)에 의한 폭발하한계를 결과를 Table 4에 나타내었다.

Setaflash 장치에 의한 하부인화점 94 °C를 식(1)에 적용한 경우 폭발하한계는 약 0.81 Vol.%, 상부인화점 132 °C는 폭발상한계 6.11 Vol.%로 계산되었다. 따라서 문헌에 제시된 폭발한계 값과 비교한 결과 비슷한 결과를 얻었다. 따라서 본 실험에서 얻은 인화점은 타당하다고 판단되며, 그 이유는 Figure 1에서 탄소수증가에 의한 인화점 증가 경향에서 고찰할 수 있다. 또한 하부인화점을 문헌들과 비교 고찰한 결과, 기존의 자료는 74~98 °C로서 약 24 °C 차이를 보이므로 본 연구에서 제시한 94 °C는 최근 자료와 비교하면 충분한 타당성 있다고 본다.

5.3 노말노난올의 자연발화온도 고찰

본 실험 결과를 고찰하기 위해 여러 문헌에 제시된 자연발화온도와 비교하였다. 노말노난올의 최소자연발화온도는 유일하게 Ignition Handbook에서 277 °C를 제시하고 있다.

그러나 본 실험에서는 초기설정온도를 280 °C로 하

**Table 5.** Comparison of Experimental and Calculated Ignition Delay Time by the AIT for n-Nonanol

No.	T [K]	$\tau_{exp.}$ [s]	$\ln\tau_{exp.}$	$\tau_{est.}$ (Eq. 3)
1	543	58.61	4.07091	42.66
2	553	27.58	3.31709	25.57
3	563	14.65	2.68444	15.61
4	573	7.59	2.02683	9.69
5	583	4.37	1.44748	6.12
6	593	3.44	1.23547	3.92
7	603	2.42	0.88377	2.55
8	613	2.05	0.71784	1.68
9	623	1.43	0.35767	1.13
A.A.D.	-	-	-	2.67

여 실험한 결과 27.58 sec에서는 발화가 일어나서, 초기온도 보다 30 °C 낮게 250 °C에서 다시 실험한 결과 발화가 일어나지 않았다. 따라서 2~5 °C 상승시켜 실험한 결과 270 °C에서 실험한 결과 58.61 sec에서 발화가 시작되었고, 이를 기점으로 5 °C 혹은 10 °C씩 상승시켜 발화지연시간을 측정한 결과 350 °C에서 1.43 sec에 발화하였다.

노말노난올의 자연발화온도와 발화지연시간의 관계를 실험한 결과를 Table 5에 나타내었다. 본 연구에서 얻은 노말노난올의 최소자연발화온도는 270 °C로서 기존의 문헌값 보다 7 °C 낮게 측정되었다.

제시한 실험 자료를 선형식인 Arrhenius 형태 식과 비선형 형태 식을 이용한 최적화된 식은 다음과 같다.

$$\ln\tau = -24.56 + 15376.31\left(\frac{1}{T}\right) \quad (2)$$

식(2)을  $\log\tau$ 와  $(1/T)$ 의 관계로 다시 표현하면 다음과 같다.

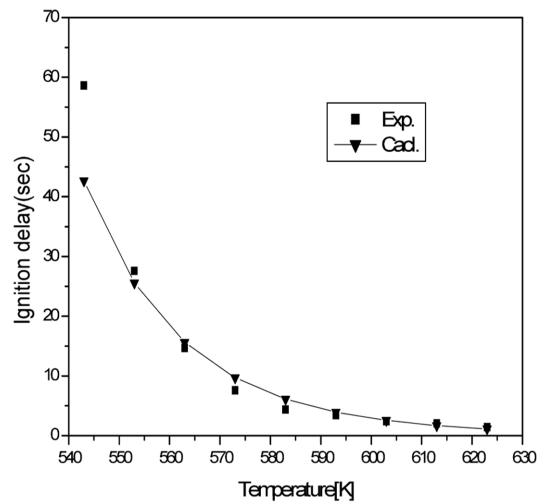
$$\log\tau = -10.671 + 6677.86\left(\frac{1}{T}\right) \quad (3)$$

식(3)에 의한 예측된 발화지연시간들을 실험값과 비교하여 Table 5과 Figure 2에 나타내었다. 추산값과 실험값의 차이의 정도를 알기 위해 A.A.D.(Average Absolute Deviation)을 사용하였다.<sup>5)</sup>

$$A.A.D. = \sum \frac{|\tau_{est.} - \tau_{exp.}|}{N} \quad (4)$$

여기서  $\tau_{est.}$ 는 추산식에 의해 계산된 발화지연시간이고,  $\tau_{exp.}$ 는 실험값이며, 그리고 N은 자료수이다.

한국화재소방학회 논문지, 제26권 제2호, 2012년

**Figure 2.** A comparison between the experimental and calculated delay times for n-nonanol.

식(3)에 의한 예측값과 실험값의 평균절대오차는 2.67 초이며, 결정계수( $R^2$ )는 0.91로서 예측값은 실험값과 근사하고 있다.

활성화에너지(E)는 Semenov<sup>18)</sup>가 제시한 식(5)을 이용하면 가능하다.

$$\log\tau = \frac{52.55E}{T} + B \quad (5)$$

식(3)을 식(5)에 대입하여 계산된 활성화에너지는 127.08 kJ/mol이다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 노말노난올의 화재 및 폭발 특성치 가운데 인화점과 최소자연발화온도(AIT)를 측정하였고, 측정된 인화점을 인용하여 폭발한계를 예측하였다. 또한 노말노난올의 측정된 발화온도와 발화지연 시간을 이용하여 활성화에너지를 계산하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 노말노난올의 폭발한계를 고찰한 결과, 폭발한계는 0.8 Vol.%, 상한계는 약 6.1 Vol.%를 사용하는 것이 타당하다.

2) 밀폐식에 의한 인화점은 94~97 °C, 개방식에 의한 인화점은 103~104 °C로 측정되었다.

3) Setflash 장치에서 얻은 노말노난올의 하부인화점 97 °C와 상부인화점 132 °C를 증기압 식을 이용한 결과, 폭발하한계는 0.81 Vol.%, 상한계는 6.11 Vol.%로

예측되었다.

4) 측정된 노말노난올의 최소자연발화온도는 270 °C 로서 기존의 자료보다 7 °C 낮게 측정되었다.

5) 노말노난올의 자연발화온도와 발화지연시간의 관계는 다음과 같다.

$$\log \tau = -10.671 + 6677.86 \left( \frac{1}{T} \right)$$

6) Semenov식을 이용하여 계산된 노말노난올의 활성화에너지(E)는 127.08 kJ/mol이었다.

### 참고문헌

1. F.P. Lees, "Loss Prevention in the Process Industries", Vol.2, 2nd ed., Butterworth-Heinemann(1996).
2. J.M. Hughes, D.R. Hardy, and E.J. Beal, "A Flash Point Value for n-Dodecane based on the Manual Pensky-Martens Closed-cup Method", Energy and Fuel, Vol.10, pp.1276-1277(1996).
3. R.E. Montemayor, M.A. Collier, and G.G. Lazarczyk, "Precision and Equivalence of Automatic and Manual Flash Point Apparatus", J. of Testing and Evaluation, Vol.30, No.1, pp.74-84(2002).
4. D.M. Ha, "The Measurement and Investigation of Fire and Explosion Characteristics of Cyclohexanone", J. of the Korean Institute of Gas, Vol.15, No.2, pp.75-81(2011).
5. D.M. Ha, "The Investigation of Combustible Hazard by Measurement of Flash Point and Autoignition Temperature of n-Dodecane", J. of the Korean Institute of Fire Sci. & Eng., Vol.25, No.2, pp.120-125(2011).
6. M.G. Zabetakis, A.L. Furno, and G.W. Jones, "Minimum Spontaneous Ignition Temperature of Combustibles in Air", Industrial and Engineering Chemistry, Vol.46, No.10, pp.2173-2178(1954).
7. F.Y. Hsieh, D.B. Hirsh, and J.H. Williams, "Autoignition Temperature of Trichlorosilanes", Fire and Materials, Vol.26, pp.289-290(2002).
8. D.M. Ha and S.J. Lee "Measurement of Autoignition Temperature of Ethylbenzene + n-hexanol and Ethylbenzene + n-propionic acid Systems", J. of the Korean Institute of Fire Sci. & Eng., Vol.21, No.2, pp.33-40(2007).
9. M. Vidal, W. Wong, W.J. Rogers, and M.S. Mannan, "Evaluation of Flammability Limit of Fuel-air-diluent Mixtures using Calculation Flame Temperatures", J. of Hazardous Materials, Vol.130, pp.21-27(2006).
10. D.M. Ha, "Prediction of Explosion Limit of Flammable Mixture by Using the Heat of Combustion", J. of the Korean Institute of Gas, Vol.10, No.1, pp.19-25(2006).
11. E. Meyer, "Chemistry of Hazardous Materials", 2nd ed, Prentice-Hall(1990).
12. NFPA, "Fire Hazard Properties of Flammable Liquid, Gases, and Volatile Solids", NFPA 325M, NFPA(1991).
13. V. Babrauskas, "Ignition Handbook", Fire Science Publishers, SFPE(2003).
14. R.E. Lenga and K.L. Votoupal, "The Sigma Aldrich Library of Regulatory and Safety Data, Volume ~", Sigma Chemical Company and Aldrich Chemical Company Inc.(1993).
15. R.J. Lewis, "SAX's Dangerous Properties of Industrial Materials", 11th ed., John Wiley & Son, Inc., New Jersey(2004).
16. S.M. Stephenson, "Flash Points of Organic and Organometallic Compounds", Elsevier(1987).
17. J. Gmehing, U. Onken, and W. Arlt, "Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection", DECHEMA(1980).
18. N.N. Semenov, "Some Problems in Chemical Kinetics and Reactivity, Vol.2", Princeton University Press, Princeton, N.J.(1959).