

## 노말도데칸의 인화점과 최소발화온도 측정에 의한 연소위험성 고찰 The Investigation of Combustible Hazard by Measurement of Flash Point and Autoignition Temperature of n-Dodecane

하동명

Dong-Myeong Ha

세명대학교 보건안전공학과  
(2011. 1. 24. 접수/2011. 4. 8. 채택)

### 요 약

노말도데칸의 안전한 취급을 위해서 25에서 폭발한계를 고찰하였고, 하부인화점과 발화지연시간에 의한 발화온도를 측정하였다. 공정의 안전을 위해서 노말도데칸의 폭발하한계는 0.60Vol.%, 상한계는 4.7Vol.%를 추천하였고, 하부인화점은 밀폐계에서 77°C와 80°C와 개방식에서 84~87°C로 측정되었다. ASTM E659-78 장치를 사용하여 자연발화온도와 발화지연시간을 측정하였고, 최소자연발화온도는 222°C 측정되었다.

### ABSTRACT

For the safe handling of n-dodecane, the explosion limits were investigated and the lower flash points and AITs (autoignition temperatures) by ignition delay time were experimented. By using the literatures data, the lower and upper explosion limits of n-dodecane recommended 0.6 Vol.% and 4.7 Vol.%, respectively. The lower flash points of n-dodecane by using closed-cup tester were experimented 77°C and 80°C. The lower flash points of n-dodecane by using open cup tester were experimented 84°C and 87°C. This study measured relationship between the AITs and the ignition delay times by using ASTM E659-78 apparatus for n-dodecane. The experimental AIT of n-dodecane was 222°C.

**Key words:** n-dodecane, lower flash point, explosion limit, closed-cuptester, open cup tester, autoignition temperature (AIT)

### 1. 서 론

산업 현장에서 취급하고 있는 각종 화학물질은 잠재적 위험성이 크므로 보관, 수송 및 취급할 때 특별한 주의를 필요로 하고 있다. 시설 설계 시 정확하지 않은 잘못된 화재 및 폭발 자료를 사용함으로써 사고를 유발한 경우가 많다. 따라서 사업장에서 사용되고 있는 물질의 위험 특성을 정확히 파악하는 것은 재해 예방에 가장 기본이 된다.<sup>1)</sup>

최근 새로운 장치와 예측 기법이 발전함에 따라 정확한 공정안전을 확보하기 위해서 순수물질의 연소특성은 활발히 진행되고 있다. Huges 등<sup>2)</sup>은 Pensky-

Martens 장치를 사용하여 노말도데칸의 인화점을 측정하여 기존 자료와 비교하였고, Montemayor 등<sup>3)</sup>은 노말엔데칸, 노말테트라데칸 등의 인화점을 측정하였고, 또한 Montemayor 등<sup>4)</sup>은 노말펜탄올의 인화점을 Automatic와 Manual 장치로 측정한 결과 43~49°C로 제시하였다. Jones 등<sup>5)</sup>은 Formic Acid에 대해 자체 제작한 밀폐식 장치를 이용하여 인화점을 측정하여 기존 자료와 비교하였다. Formic acid의 하부인화점은 지금까지 72°C를 사용하고 있으나, 실험 결과 45°C로 측정됨에 따라 재평가가 필요하다고 하였다.

폭발한계 연구로 Britton<sup>6)</sup>은 메탄의 폭발한계의 유용한 값을 제시하기 위해 그동안 연구된 수십 편의 문헌을 고찰하여 타당한 자료를 추천하였다. Ha<sup>7)</sup>는 사업장에서 용제로 널리 사용되고 있는 아세톤의 연소특성치

측정 및 고찰을 통해 유용한 화재 및 폭발 자료를 제공하였다.

또한 가연성물질의 자연발화온도의 연구로는 Zabetakis 등<sup>8)</sup>은 ASTM D286-30 장치를 이용하여 탄화수소의 자연발화온도에 대한 실험적 연구를 하였고, Hshieh 등<sup>9)</sup>은 최근 널리 사용되고 있는 ASTM E659-78 장치를 이용하여 Trichlorosilanes에 대한 최소자연발화온도 측정을 연구하였으며, Ha 등<sup>10)</sup>도 이성분계 2개의 계에 대해 순수물질과 혼합물질의 자연발화온도를 측정하여 새로운 자료를 제시하였다.

본 연구에서는 석유류인 노말도데칸의 인화점과 자연발화온도를 측정하여 기존의 자료와 비교하였고, 폭발한계는 여러 문헌에 제시된 자료를 고찰하여 공정안전에 타당한 자료를 제시하였다. 본 연구에서 제시된 노말도데칸의 자료는 석유류 탱크의 소화설비 지침 마련과 MSDS의 최신화에 유용한 정보를 제공하는데 있다.

## 2. 노말도데칸의 연소특성치 선택 및 위험성

### 2.1 자료선택

각 국에서는 사업장에서 취급하는 유해·위험물질에 대한 안전한 취급, 처리, 수송 및 보관을 위해 MSDS 자료를 제공하고 있다. 그리고 많은 단체에서 발간한 자료와 논문들에서도 연소특성치를 제공하고 있다. 대표적으로 NFPA<sup>11)</sup>에는 NFPA 325M 코드에서 가연성 가스, 액체 및 휘발성 고체 수 백 종의 특성치를 제시하고 있으며, 또한 SFPE에서 출간한 “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”<sup>12)</sup>와 “Ignition Handbook”<sup>13)</sup>에서는 약 500여종의 물질에 대해 연소특성치를 제시하고 있다. 인화점은 Stephenson<sup>13)</sup>의 “Flash Points of Organic and Organometallic Compounds”에서 얻을 수 있다.

### 2.2 노말도데칸의 반응성 및 연소특성

노말도데칸은 위험물안전관리법에서는 제 4류위험물의 제 3석유류이고, 산업안전보건법에서는 작업환경측정물질과 관리대상 유해물질이다. 노말도데칸은 휘발성이 강한 투명한 액체로서, 알코올, 에테르, 클로로포름, 아세톤 등에 잘 용해된다. 피해야 할 발화원은 열,

화염, 스파크 및 기타점화원 등이 있다. 증기는 공기보다 무거우므로 누출 시 원거리의 발화원으로부터 점화되어 순식간에 확산될 수 있다. 소화약제로는 분말, 폼 그리고 이산화탄소 등이 유용하며, 염소산나트륨 등의 산화제와 접촉을 피하고, 저장은 밀폐용기에 보관하고 환기가 잘되고 서늘하고 건조한 장소에 보관한다.

## 3. 노말도데칸의 화재 및 폭발 특성치 분석

### 3.1 노말도데칸의 폭발한계

#### 3.1.1 화염전과 방향에 따른 폭발한계

폭발한계는 점화원의 위치에 따라 값이 달라지는데, 일반적으로 폭발범위는 점화시 화염이 위쪽으로 올라가는 상향전파에서 폭발하한계(LEL, Lower Explosion Limit)는 낮고, 폭발상한계(UEL, Upper Explosion Limit)는 높아져서 폭발범위는 넓어진다. Table 1에 노말도데칸의 폭발하한계와 상한계에 대한 문헌값들을 정리하여 나타내었다.

### 3.2 노말도데칸의 인화점

인화점은 가연성액체의 화재 위험성을 나타내는 지표로, 하부인화점(Lower Flash Point)과 상부인화점(Upper Flash Point)으로 나뉘며, 일반적으로 인화점이란 하부인화점을 말한다. 인화점 측정 방법으로 밀폐식으로는 Pensky-Martens과 Setafash 등이 있으며, 개방식으로는 Tag와 Cleveland 등을 들 수 있다. 장치에 따라 다른 값이 측정될 수 있으며, Table 2에 노말도데

**Table 1.** Comparison of Explosion Limits of n-Dodecane in Air by Several References

References	Tube [cm or L]		Explosion Limits [vol%]	
	Diameter	Length	Lower	Upper
NFPA <sup>11)</sup>	-	-	0.6	-
Sigma <sup>15)</sup>	-	-	0.6	-
SFPE <sup>12)</sup>	-	-	0.6	12.3
Ignition <sup>13)</sup>	-	-	0.6	4.7
Yagyū <sup>14)</sup>	-	-	0.6	-

**Table 2.** The Flash Points of Several Reported Data for n-Dodecane

Compound	Flash Points [°C]						
	NFPA <sup>11)</sup>	Sigma <sup>15)</sup>	SFPE <sup>12)</sup>	Ignition <sup>13)</sup>	SAX <sup>17)</sup>	Mallampati <sup>18)</sup>	Huges <sup>2)</sup>
n-Dodecane	74	71.1	72	74	74	77	85~87

**Table 3.** The Autoignition Temperature of Several Reported Data for n-Dodecane

Compound	AITs [°C]						
	NFPA <sup>(1)</sup>	Sigma <sup>(15)</sup>	SFPE <sup>(12)</sup>	Ignition <sup>(13)</sup>	Scott <sup>(19)</sup>	Hilado <sup>(20)</sup>	Frank <sup>(21)</sup>
n-Dodecane	203	205	203	224	534	203	232

칸의 하부인화점을 정리하여 나타내었다.

### 3.3 노말도데칸의 최소자연발화온도

자연발화온도는 다른 곳에 아무런 화원을 주지 않고 공기 속의 상온에서 주위로부터 발생하는 열로부터 가연물이 자발적으로 점화되는 온도를 말한다. 자연발화온도는 연료의 구조, 개시온도, 화학양론비, 용기의 크기, 촉매, 유속, 가열속도, 가열원의 종류 그리고 지연시간 등 많은 인자에 의존한다. 노말도데칸에 대해 NFPA Handbook을 비롯하여 여러 문헌 등에서 제시되고 있는 최소자연발화온도를 정리하여 Table 3에 나타내었다.

## 4. 연소특성 실험장치

### 4.1 실험재료

본 연구에서 사용한 노말도데칸은 시료는 별도의 정제과정을 거치지 않고 사용한다.

### 4.2 실험장치

#### 4.2.1 인화점 측정 장치

인화점 측정은 여러 매개변수(Parameter)에 의해 영향을 받는다. 영향을 주는 변수로는 용기형태, 시료량, 발화원, 온도조절기, 주위압력, 시료의 균일성, 실험자, 자료의 편차 등이 있다.

본 연구에서 사용된 장치의 Pensky-Martens과 Setaflash 밀폐식 그리고 Tag와 Cleveland 개방식장치의 구성 요

소를 간략히 소개한다.

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 100ml 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 4ml 용량의 시료컵, 온도계 삽입구, 시료컵 상부 개폐기 손잡이로 구성되어 있다. 화염 공급부는 화염접근장치(Flame Exposure Device), 연료통, 화염 조절기, 가스관, 가스 안전 밸브 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 80ml 정도이며, 재질은 열전도도가 높

**Table 4.** Comparison of Several Flashpoint Test Methods

Test Methods	Test Vessel Diameter (cm)	Test Vessel Depth (cm)	Test Vessel Volume (ml)	Heating Method
ASTM D93 Pensky-Martens closed-cup	5.085	5.6	100	For ordinary liquids, the temperature of the specimen is increased at 5~6°C/min
ASTM D3278 Setaflash closed-cup	5.0	1.0	2	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 $1 \pm 0.25^\circ\text{C}/\text{min}$
ASTM D92 Cleveland open cup	6.4	3.4	80	The temperature of the specimen is increased at 5~6°C/min

은 구리이며, 시료컵 조절기, 온도계 삽입구, 시료컵 상부 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 4에 나타내었다.

4.2.2 자연발화온도 측정장치(ASTM E659-78)

본 실험에서는 액체 화학물질의 자연발화점 측정 장치로서 ASTM E659-78 장치를 사용하여 자연발화온도를 측정하였으며, 장치는 크게 Furnance, Temperature Controller, Thermocouple, Test Flask, Hypodermic Syringe, Mirror, Air Gun으로 구성되어 있다.

실험 방법은 기준 온도를 설정하고, 실험 장치를 가열하고, 설정온도에 도달하면 플라스크 내부에 주사기로 시료를 0.1ml를 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 측정된 인화점에 의한 폭발하한계 비교

폭발하한계의 자료를 검토한 결과 실험장치의 크기나 모양 그리고 화염전파방향에 따라 달라진다는 사실은 Table 1에서 알 수 있었다. 그 동안 공정에서 안전을 위해 폭발하한계의 자료를 인용하고 있는데 하한계는 0.6Vol.%와 상한계는 4.70Vol.%를 많이 인용하였다.

노말도데칸의 폭발하한계의 자료를 검증하기 위해 Antoine 식<sup>22)</sup>을 사용하여 폭발하한계를 계산할 수 있다.

$$\log P^f = 6.98291 - \frac{1627.714}{(t + 180.521)} \quad (1)$$

여기서, P<sup>f</sup>는 증기압(mmHg)이고, t는 온도(°C)이다.

Pensky-Martens과 Setaflash 밀폐식, Tag와 Cleveland 개방식에 의해 얻어진 인화점을 이용하여 식 (1)에 의한 폭발하한계를 결과를 Table 5에 나타내었다.

본 실험에서 얻은 하부 인화점 77°C를 적용하는 경우 폭발하한계는 약 0.6Vol.%로 계산되었고, 문헌에 제시된 폭발하한계 값은 인화점을 이용한 증기압 식에 의한 폭발하한계 예측이 가능함을 알 수 있다. 하부인화점을 문헌들과 비교 고찰한 결과, 기존의 자료는 74°C로 제시되고 있으나, 최근 자료를 검토한 결과 77~87°C로 제시되고 있다. 따라서 본 연구에서 얻은 실험 자

Table 5. Comparison of Estimated LEL (Lower Explosiom Limits) by Experimental Lower Flash Point

Testers	Experimental Lower Flash Point (°C)	Estimated (LEL) (Vol.%)
Pensky-Martens	82	0.80
Setaflash	77	0.60
Tag	85	0.94
Cleveland	83	0.84

료는 최근 자료와 비교하면 충분한 타당성 있다고 본다.

4.2 노말도데칸의 자연발화온도 고찰

본 실험 결과를 고찰하기 위해 여러 문헌에 제시된 자연발화온도와 비교하였다. 많은 문헌에서 자연발화온도를 제시되고 있으나, 공정 안전을 위해 널리 사용되고 있는 대표적인 문헌을 이용하여 본 실험 결과와 비교하였다. 노말도데칸의 자연발화온도에 대해 NFPA 325M와 SFPE 그리고 Hilado 등에서는 203°C, Ignition Handbook에서는 224°C, Fran는 232°C를 제시하고 있으며, Scott는 532°C를 제시하고 있다. 이들 문헌을 고찰하면 최소자연발화온도는 203~532°C로 약 330°C의 차이를 보이고 있으므로 자료의 신뢰성 고찰을 위해 측정 연구가 필요하다.

그러나 본 실험에서 초기설정온도를 230°C로 하여 실험한 결과 30.33sec에서는 발화가 일어나서, 초기 온도 보다 30°C 낮게 200°C에서 다시 실험한 결과 발화가 일어나지 않았다. 따라서 5°C 상승 시킨 222°C에서 실험한 결과 92.54sec에서 발화가 시작되었고, 이를 기점으로 5°C 혹은 10°C씩 상승시켜 발화지연시간을 측정한 결과 295°C에서 1.92sec에 발화하였다. 노말도데칸의 자연발화온도와 발화지연시간의 관계를 실험한 결과를 Table 6에 나타내었다.

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

$$\ln \tau = -27.11 + 15513.81 \left( \frac{1}{T} \right) \quad (2)$$

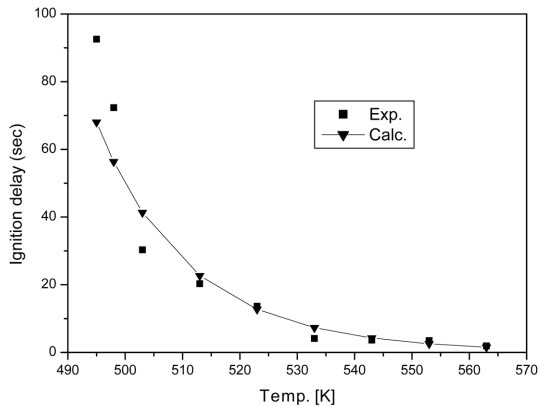
식 (2)을 logτ와 (1/T)의 관계로 다시 표현하면 다음과 같다.

$$\log \tau = -11.77 + 6737.58 \left( \frac{1}{T} \right) \quad (3)$$

식 (3)에 의한 예측된 발화지연시간들을 실험값과 비교하여 Table 6과 Figure 1에 나타내었다. 추산값과 문

**Table 6.** Comparison of Experimental and Calculated Ignition Delay Time by the AIT for n-Dodecane

No.	T [K]	$t_{exp.}$ [s]	$Int_{exp.}$	$t_{est.}$ (Eq. 7)
1	495.15	92.54	4.52764	68.03
2	498.15	72.31	4.28096	56.33
3	503.15	30.33	3.41214	41.34
4	513.15	20.29	3.01013	22.67
5	523.15	13.63	2.61227	12.72
6	533.15	4.13	1.41828	7.29
7	543.15	3.63	1.28923	4.27
8	553.15	3.47	1.24415	2.54
9	568.15	1.92	0.65233	1.54
A.A.D.	-	-	-	6.65

**Figure 1.** A comparison between the experimental and calculated delay times for n-dodecane.

현값의 차이의 정도를 알기 위해 A.A.D.(Average Absolute Deviation)을 사용하였다.<sup>28)</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.

식 (2)에 의한 예측값과 실험값 사이의 평균절대오차는 6.65초이며, 결정계수( $R^2$ )는 0.89로서 실험값과 일치하고 있다. 활성화에너지(E)는 Semenov<sup>23)</sup>가 제시한 식 (5)을 이용하면 가능하다.

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

한국화재소방학회 논문지, 제25권 제2호, 2011년

식 (3)을 식 (5)에 대입하여 계산된 활성화에너지는 128.21kJ/mol이다.

또한 기존의 문헌에 제시된 자료들과 비교하였을 때 약간의 차이를 나타내는 것은 실험 장치에서 오는 차이로 볼 수 있다. 지금까지 제시된 문헌값들은 ASTM D-2155 장치 혹은 자체 제작한 장치를 이용한 측정 결과이다. 최근 고안된 ASTM E659-78 장치는 500ml의 동근 플라스크에 의한 결과로서 기존 장치에서 얻은 결과와 차이가 있는 것으로 사료된다. 특히 과거 ASTM 장치에 의한 발화온도는 5분(300초)의 발화지연시간을 기준으로 측정되어 제시하였다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 노말도데칸의 화재 및 폭발 특성치 가운데 인화점과 최소자연발화온도(AIT)를 측정하였고, 폭발한계는 여러 문헌들과 비교 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 노말도데칸의 폭발한계를 고찰한 결과, 폭발한계는 0.6Vol.%, 상한계는 약 4.7Vol.%를 사용하는 것이 타당하다.

2) 밀폐식에 의한 인화점은 77°C, 개방식에 의한 인화점은 82°C로 측정되었다.

2) 증기압 식을 이용한 노말도데칸의 폭발하한계 예측값은 밀폐식 인화점인 77°C를 적용하는 경우 약 0.6Vol.%로 계산되었다.

4) 노말도데칸의 최소자연발화온도는 222°C로 측정되었다.

5) 노말도데칸의 자연발화온도와 발화지연시간의 관계는 다음과 같다.

$$\log \tau = -11.77 + 6737.58 \left( \frac{1}{T} \right)$$

6) Semenov식을 이용하여 계산된 노말도데칸의 활성화에너지(E)는 128.21kJ/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, J.E. Rogerson, J.C. Colbert, and S.B. Schiller, "Reference Verification Fluids for

- Flash Point Determination”, J. of Testing and Evaluation, Vol.27, No.6, pp. 423-427(1999).
4. 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).
  5. 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).
  6. L.G. Britton, “Two Hundred Years of Flammable Limits”, Process Safety Progress, Vol.12, No.1, pp.1-11(2002).
  7. D.M. Ha, “The Measurement and Investigation of Fire and Explosion Properties for Acetone”, J. of the Korean Society of Safety, Vol.25, No.4, pp.30-35(2010).
  8. 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).
  9. F.Y. Hshieh, D.B. Hirsh, and J.H. Willams, “Autoignition Temperature of Trichlorosilanes”, Fire and Materials, Vol.26, pp.289-290(2002).
  10. D.M. Ha and S.J. Lee, “Measurement of Autoignition Temperature of Ethylbenzene + n-hexanol and Ethylbenzene + n-propionic acid Systems”, T. of the Korean Institute of Fire Sci. & Eng., Vol.21, No.2, pp.33-40(2007).
  11. NFPA, “Fire Hazard Properties of Flammable Liquid, Gases, and Volatile Solids”, NFPA 325M, NFPA(1991).
  12. SFPE, “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, 2nd ed., SFPE(1995).
  13. V. Babrauskas, “Ignition Handbook”, Fire Science Publishers, SFPE(2003).
  14. S.M. Stephenson, “Flash Points of Organic and Organometallic Compounds”, Elsevier(1987).
  15. R.E Lenga and K.L. Votoupal, “The Sigma Aldrich Library of Regulatory and Safety Data, Volume I~III”, Sigma Chemical Company and Aldrich Chemical Company Inc.(1993).
  16. 柳生昭三, “蒸氣の爆發限界”, 安全工學協會(1979).
  17. R.J. Lewis, “Sax’s dangerous Properties of Industrial Materials”, 11th ed., John Wiley & Son, Inc., New Jersey(2004).
  18. R. Mallampati et al., “Evaluation of EpiDerm Full Thickness-300 (EFT-300) as in Vitro Model for Skin Irritation: Studies on Aliphatic Hydrocarbons”, Toxicology in Vitro, Vol.24, pp.669-676(2010).
  19. G.S. Scott, G.W. Jones, and F.E. Scott, “Determination of Ignition Temperature of Combustible Liquids and Gases”, Analytical Chemistry, Vol.20, No.3, pp.238-241(1948).
  20. C.J. Hilado and S.W. Clark, “Autoignition Temperature of Organic Chemicals”, Chemical Engineering, Vol.4, pp.75-80(1972).
  21. C.E. Frank and A.U. Blackham, “Spontaneous Ignition of Organic Compounds”, Industrial and Engineering Chemistry, Vol.44, No.4, pp.862-867(1952).
  22. J. Gmehing, U. Onken, and W. Arlt, “Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection”, DECHEMA(1980).
  23. N.N. Semenov, “Some Problems in Chemical kinetics and Reactivity, Vol. 2”, Princeton University Press, Princeton, N.J.(1959).