



## 사이클로헥산의 화재 및 폭발 특성치의 측정 및 고찰

†하동명

세명대학교 보건안전공학과  
(2011년 1월 24일 접수, 2011년 4월 7일 수정, 2011년 4월 7일 채택)

## The Measurement and Investigation of Fire and Explosion Properties for Cyclohexane

†Dong-Myeong Ha

Department of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University,  
Jecheon, 390-711, Korea

(Received January 24, 2011; Revised April 7, 2011; Accepted April 7, 2011)

### 요 약

사이클로헥산의 안전한 취급을 위해서 25°C에서 폭발한계와 폭발한계 온도의존성 그리고 하부인화점을 고찰하였다. 또한 발화지연시간에 의한 발화온도를 측정하였다. 공정의 안전을 위해서 노말헵탄의 폭발하한계는 1.0 Vol%, 상한계는 9.0 Vol%를 추천하였고, 하부인화점은 -20°C를 추천하였다. ASTM E659-78 장치를 사용하여 발화온도와 발화지연시간을 측정하였고, 여기서 측정된 최소자연발화온도는 255°C였다. 그리고 노말헵탄의 새로운 폭발한계 온도의존식을 제시하였으며, 제시된 식은 문헌값과 일치하였다.

**Abstract** - For the safe handling of cyclohexane, the explosion limit at 25°C and the temperature dependence of the explosion limits were investigated. Flash point and AIT(autoignition temperature) for cyclohexane were experimented. By using the literatures data, the lower and upper explosion limits of cyclohexane recommended 1.0 Vol% and 9.0 Vol%, respectively. Moreover lower flash points of cyclohexane recommended -20°C. It was measured relationship between the AITs and the ignition delay times by using ASTM E659-78 apparatus for cyclohexane, and the experimental AIT was 255°C. The new equations for predicting the temperature dependence of the explosion limits of cyclohexane is proposed. The values calculated by the proposed equations were a good agreement with the literature data.

**Key words** : cyclohexane, flash point, explosion limit, ait(autoignition temperature), the temperature dependence

### I. 서 론

위험물 취급에 있어 잘못된 자료를 적용함으로써 사고를 유발한 경우가 많다. 따라서 사업장에서 사용되고 있는 물질의 정확한 유해·위험 특성치를 사용하는 것이 재해 예방에 가장 기본이 된다. 사업장에서의 취급하는 물질의 유해·위험성 평가에 대해

서 안전(Safety)분야는 물질의 연소특성치를 연구의 기반을 하고 있으며, 보건(Health) 분야는 유해성 연구를 기반으로 하고 있다[1].

일반적으로 산업현장에서 취급하고 있는 대부분의 물질의 유해·위험 특성은 MSDS(Material Safety Data Sheet)를 통해 얻을 수 있다. 그 외에도 잘 알려진 D/B인 미국화학공학회 DIPPR(Design Institute for Physical Property Data)을 비롯해 여러 문헌들에서도 확보할 수 있다[2].

순수물질의 연소특성치 연구로 Albahri[3]는 그룹

†주저자:hadm@semyung.ac.kr

법을 이용한 탄화수소의 연소특성치 예측 방법을 연구하였고, Britton[4]는 메탄의 폭발한계를 고찰하기 위해 1816년 Davy에서부터 2000년 Cashdollar 등이 연구한 수십 편의 문헌을 고찰하여 유용한 폭발한계 값을 제시하였다. Ha[5]는 사업장에서 가장 널리 사용되고 있는 물질 가운데 하나인 톨루엔의 연소특성치 측정 및 고찰을 통해 유용한 화재 및 폭발 자료를 제공하였다.

본 연구에서는 카프로락탐과 나일론의 제조 원료, 아디핀산염, 유기용제(셀룰로오스, 에테르, 왁스, 고무, 유지, 레진), 페인트 및 니스의 녹리제 등으로 사용되고 있는 사이클로헥산에 대해 자연발화온도를 측정하여 기존의 자료들과 비교 고찰하였다. 그리고 사이클로헥산의 인화점과 폭발한계는 여러 문헌에 제시된 자료를 고찰하여 공정안전에 타당한 자료를 제시하고, 폭발한계의 온도 의존성에 대해서는 새로운 예측식을 제시하였다. 또한 본 연구를 통해 사이클로헥산 공정의 안전을 확보하고, 다른 화학물질의 위험성평가 방법론으로 활용하는데 목적이 있다.

## II. 사이클로헥산의 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 화재·폭발을 예방하기 위한 관련 기관 및 단체들에서도 많은 자료들을 제공하고 있는데, NFPA[6]에는 NFPA 325M 코드에서 가연성가스, 액체 및 휘발성 고체 수 백종의 특성치를 제시하고 있으며, 또한 SFPE[7,8] 출간한 “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”와 “Ignition Handbook”에서도 약 500여종의 물질에 대한 화재 및 폭발 특성치를 제시하고 있다. 특히 Stephenson[9]은 “Flash Points of Organic and Organometallic Compounds”에서 500여종의 물질에 대한 인화점을 정리하였다.

### 2.2. 사이클로헥산의 반응성, 화재 및 폭발 위험성

사이클로헥산은 위험물안전관리법에서는 제4류 위험물 제1석유류(지정수량: 200 L)의 인화성액체, 산업안전보건법에서는 작업환경측정물질, 관리대상유해물질, 노출기준설정물질 그리고 유해화학물질관리법에서는 유독물로 규정하고 있다. 사이클로헥산은 무색의 액체로서알코올, 에테르에 쉽게 녹고 물에는 녹지 않는다. 화재 및 폭발 위험이 있고, 증기

는 공기보다 무겁다. 증기 또는 가스는 원거리의 발화원으로부터 점화되어 순식간에 확산될 수 있다.

반응성은 상온 상압에서 안정하며, 피해야 할 조건은 열, 화염, 스파크 및 기타 점화원을 피하고, 용기가 열에 노출되면 파열되거나 폭발할 수도 있다. 상수도 및 하수도에서 떨어진 곳에 둔다. 그리고 산화제, 가연성 물질 혼합되지 않도록 하며, 열분해생성물로는 탄소 산화물이 있다. 소화제로는 입자상 분말 소화약제, 이산화탄소, 물, 일반적인 포말이 사용되고, 대형 화재에서는 일반적인 소화약제를 사용하거나 미세한 물 분무로 살수하여 소화를 한다.

## III. 사이클로헥산의 화재·폭발 안전 특성치 분석

### 3.1. 사이클로헥산의 폭발한계와 폭발한계온도 의존성

#### 3.1.1 화염전파 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. 그러나 화염이 위에서 아래쪽으로 내려가는 하향전파에서 폭발하한계는 높아지고, 폭발상한계는 낮아서 폭발범위는 줄어든다. 수평전파에서는 중간값을 나타낸다. 사이클로헥산의 폭발하한계와 상한계에 대해 대표적인 문헌값들을 정리하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Comparison of explosion limits of cyclohexane in air by several references

References	Tube[cm or L]		Explosion Limits [vol%]	
	Diameter	Length	Lower	Upper
NFPA[6]	-	-	1.3	8.0
Sigma[10]	-	-	1.0	9.0
SFPE[7]	-	-	1.0	7.8
CRC[11]	-	-	1.0	8.0
Lange[12]	-	-	-	-
Lees[13]	-	-	1.3	7.8
Yagyu[14]	5.0	150	1.33	8.35
	-	-	1.26	7.75
	6.3	-	1.34	-
	10.2	-	1.33	6.2
	5.0	65	1.31	4.5

**Table 2.** The flash point of several reported data for cyclohexane

Compound	Flash points [°C]						
	NFPA[6]	Sigma[12]	SFPE[7]	CRC[11]	Lange[12]	Ignition[8]	Flick[18]
Cyclohexane	-20	-18.3	-20	-20	-18	-18	-13

**Table 3.** The autoignition temperature of several reported data for cyclohexane

Compound	AITs[°C]								
	NFPA [7]	Sigma [12]	Sheldon [20]	SFPE [17]	CRC [11]	Ignition [8]	Zabetakis [21]	Hilado [22]	Smyth* [19]
Cyclohexane	245	260	259	245	245	250	260	246	950

\* Hot Surface(Nickel)

### 3.1.2 폭발한계의 온도의존성

화학물질을 취급하는 공정에서는 일반적으로 표준상태에서 운전하는 경우보다 고온이나 고압에서 운전하는 경우가 많다. 일반적으로 계의 온도가 증가할 경우 폭발하한계는 작아지고, 폭발상한계는 커져서 폭발범위가 넓어진다.

지금까지 연구된 폭발한계의 온도의존성을 살펴보면, Zabetakis 등[15] 폭발하한계에서의 온도의존성을 고찰하기 위해 연소열, 폭발한계, 비열 그리고 폭발하한계에서의 화염온도 1300°C라는 가정하여 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$L_1(t) = L_{25} [1 - 7.8 \times 10^{-4} (t - 25)] \quad (1)$$

Hustad 등[16]은 탄화수소화합물의 폭발하한계의 온도의존식을 다음과 같이 제시하였다.

$$L_1(t) = L_{25} [1 - 0.00085 (t - 25)] \quad (2)$$

Ha[17]는 기존의 연구를 기반으로 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$L_1(t) = L_{25} [1 - 7.69 \times 10^{-4} (t - 25)] \quad (3)$$

### 3.2. 사이클로헥산의 인화점

인화점은 가연성액체의 화재 위험성을 나타내는 지표로, 하부인화점(Lower Flash Point)과 상부인화점(Upper Flash Point)으로 나뉘며, 일반적으로 인화점이란 하부인화점을 말한다. 인화점 측정 방법으로는 Tag방식, Pensky-Martens방식, Cleveland개방식, Abel방식 그리고 Setaf flash방식 등이 있으며, 장치에 따라 다른 값을 갖는다. Table 2에는 사이클로헥산에 대해 여러 문헌에서 얻은 인화점 자료를 정

리하여 나타냈으며, 이들 값들은 밀폐식 장치에 의한 인화점이다.

### 3.3. 사이클로헥산의 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, 가연속도, 가열원의 종류 그리고 지연시간 등 많은 인자에 의존한다. 사이클로헥산에 대해 NFPA를 비롯하여 여러 문헌 등에서 제시되고 있는 최소자연발화온도를 정리하여 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 Smyth[19]는 니켈 금속 고온표면을 발화원으로 사용하여 얻은 발화온도이다.

## IV. 사이클로헥산의 화재 및 폭발 특성치의 측정 및 고찰

### 4.1. 사이클로헥산의 인화점

문헌들에서 제시된 사이클로헥산의 밀폐식 장치에 의한 하부인화점은 약 -20°C~-13°C로 큰 차이를 보이고 있으나, 대부분의 문헌에서는 -20°C를 제시하고 있으므로 이 값을 사용하는 것이 타당하다고 본다.

### 4.2. 사이클로헥산의 폭발하한계

폭발한계의 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 1.3 Vol%를, 상한계는 약 8.0 Vol%를 많이 인용하였다. 그러나 최근 문헌을 검토한 결과 공정의

안전을 위해서는 하한계 1.0 Vol%, 상한계 약 9.0 Vol%를 추천한다.

사이클로hex산의 폭발하한계의 자료를 검증하기 위해 Antoine 식[23]을 사용하여 폭발하한계를 계산하였는데, 사용된 Antoine 식은 다음과 같다.

$$\log P^f = 6.85146 - \frac{1206.47}{(t + 223.136)} \quad (4)$$

여기서,  $P^f$ 는 증기압(mmHg)이고,  $t$ 는 온도(°C)이다.

식 (4)을 이용하여 폭발하한계를 예측할 수 있는데, 밀폐식 인화점 -20°C를 적용하는 경우, 폭발하한계는 약 1.07 Vol%로 계산되었으며, 기존 문헌들의 폭발하한계 자료와 비교 할 때 증기압 식에 의한 폭발하한계 예측이 가능함을 알 수 있다.

#### 4.2. 사이클로hex산의 폭발한계 온도의존식

본 연구에서는 사이클로hex산의 폭발하한계와 온도의 관계를 제시한 문헌 자료[24]를 이용하여 기존의 추산식에 의한 예측값과 새로운 추산식에 의한 예측값을 비교 고찰하였다. 본 연구에서 문헌 자료를 이용하여 얻은 새로운 추산식은 다음과 같다.

$$L_i(t) = L_{25} [1.1529 - 1.3619 \times 10^{-3}(t - 25)] \quad (5)$$

식 (5)에 의한 추산값과 지금까지 널리 사용되고 있는 Zabetakis가 제시한 식 (1)에 의한 추산값을 문헌값과 비교하여 Table 4에 나타내었다. 본 연구에서 제시한 식이 기존에 제시한 식보다 문헌값과 일치함을 보여주고 있다. 따라서 고온에서 사이클로hex산을 사용하는 공정에서는 식 (5)을 사용하여 안전을 확보하는 것이 타당하다고 본다.

#### 4.3. 사이클로hex산의 최소자연발화온도 고찰

##### 4.3.1 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 장치는 액체 화학물질의 자연 발화온도 측정 장치로서 ASTM E659-78를 사용하였고,

장치는 Furnance, Temperature Controller, Thermocouple, Test Flask, Hypodermic Syringe, Mirror, Air Gun으로 나눌 수 있다. 실험 방법은 ASTM E659-78 규정에 맞게 진행하였으며, 발화지연시간을 2초대 까지 측정하였는데, 이는 발화지연시간과 발화온도의 관계를 이용하여 활성화에너지(Activation Energy)를 계산할 수 있을 뿐만 아니라 방폭 구조를 하기 위해 발화지연 시간에 의한 발화온도의 예측에 활용할 수 있기 때문이다.

##### 4.3.2 사이클로hex산의 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. 사이클로hex산의 자연발화온도에 대해 NFPA에서는 225°C, SFPE은 225°C, Sigma은 250°C, Jackson은 260°C로서 문헌에 따라 약 35°C의 차이를 보이고 있다.

본 실험에서는 초기설정온도를 260°C로 하여 실험한 결과 발화 266.07sec에서는 발화가 일어나서, 초기온도 보다 30°C 낮게 230°C에서 다시 실험한 결과 발화가 일어나지 않았으며, 240°C까지 상승 시켜 실험한 결과 역시 발화가 발생되지 않았다. 따라서 2°C~3°C 상승 시킨 255°C에 실험한 결과 470.37sec에서 발화가 시작되었고, 이를 기점으로 5°C 혹은 10°C 씩 상승시켜 발화지연시간을 측정한 결과 350°C에서 2.19sec에 발화하였다.

제시한 실험 자료를 Arrhenius 형태 식을 이용하여 회귀분석한 결과 다음과 같은 예측식을 얻었다.

$$\ln \tau = -27.82 + 17562.56 \left( \frac{1}{T} \right) \quad (6)$$

$$\ln \tau = 93.38 - 120560 \left( \frac{1}{T} \right) + 3.9551 \times 10^7 \left( \frac{1}{T} \right)^2 \quad (7)$$

**Table 4.** Comparison of A.A.D. of the LEL with temperature variation using several correlation for cyclohexane

No.	Temp.(°C)	LEL	Eqn.(1)	Eqn.(5)
1	25	1.12	1.12	1.15
2	100	1.01	1.01	1.01
3	250	0.83	0.97	0.85
A.A.D.	-	-	0.06	0.03

**Table 5.** Comparison of experimental and calculated ignition delay time by the AIT for cyclohexane

No.	T[K]	$\tau_{exp.}[s]$	$\tau_{est.}(Eq. 6)$	$\tau_{est.}(Eq. 7)$
1	528.15	470.37	275.13	463.20
2	533.15	266.07	201.42	281.20
3	543.15	103.18	109.83	114.41
4	553.15	37.96	61.21	52.58
5	563.15	24.32	34.83	26.99
6	573.15	15.02	20.22	15.32
7	583.15	9.51	11.95	9.53
8	593.15	6.66	7.19	6.44
9	603.15	5.12	4.40	4.70
10	613.15	3.70	2.74	3.67
11	623.15	2.19	1.73	3.06
A.A.D.	-		28.23	4.79

식 (6)을  $\log\tau$ 와  $\left(\frac{1}{T}\right)$ 의 관계로 다시 표현하면 다음과 같다.

$$\log\tau = -13.54 + 7662.79\left(\frac{1}{T}\right) \quad (8)$$

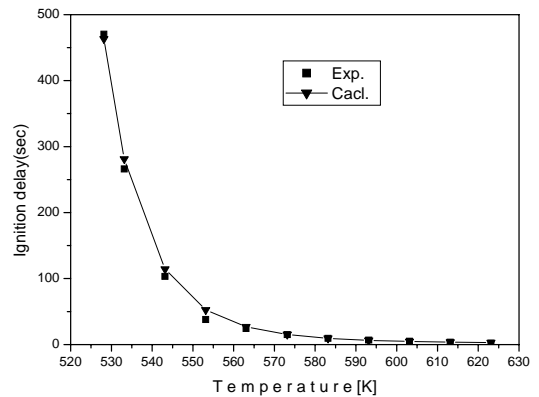
Table 5에는 식 (6)과 (7)에 의한 예측된 발화 지연 시간들을 실험값과 비교하여 나타내었으며, Fig. 1에서는 실험값과 식(7)에 의한 예측값을 나타내었다. 예측값과 실험값의 차이 정도는 A.A.D.(Average Absolute Deviation)를 사용하였다.

$$A.A.D. = \sum \frac{|\tau_{est.} - \tau_{exp.}|}{N} \quad (9)$$

여기서  $\tau_{est.}$ 는 추산식에 의해 추산된 발화 지연시간이고,  $\tau_{exp.}$ 는 실험값이며, 그리고 N은 자료수이다.

발화 지연시간과 온도의 관계를 예측하기 위해서는 식 (7)을 사용하여 예측이 가능하다. 그러나 식 (7)를 이용하여서는 활성화에너지를 계산할 수 없으므로 식 (6)을 가용해야 한다. Semenov[25]가 제시한 식 (10)을 이용하면 활성화에너지를 얻을 수 있으며, 식은 다음과 같다.

$$\log\tau = \frac{52.55E}{T} + B \quad (10)$$



**Fig. 1.** A comparison between the experimental and calculated delay times for cyclohexane.

식 (7)을 식 (10)에 대입하여 계산된 활성화에너지(E)는 145.13 kJ/mol이다.

또한 기존의 문헌에 제시된 자료들과 비교하였을 때 약간의 차이를 나타내는 것은 실험 장치와 방법의 차이로 볼 수 있다. 기존 장치는 ASTM D-2155과 ASTM crucible-type 장치로서 용기가 약 250 ml이고, 본 실험에서 사용된 ASTM E659-78 장치는 500ml의 등근 플라스크로서 차이가 있으며, 시료 주입량에서도 차이를 보이고 있기 때문이다. 또한 과거 ASTM 장치의 발화온도는 5분(300초)의 발화 지연

시간을 기준으로 측정되어 제시하였다.

### V. 결론

본 연구에서는 사이클로헥산의 화재 및 폭발 특성치 가운데 최소자연발화온도(AIT)는 ASTM E659-78을 사용하여 측정하였고, 폭발한계와 인화점을 여러 문헌들과 비교 고찰하였다. 그리고 폭발한계의 온도의존성에 대한 새로운 예측식을 제시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 사이클로헥산의 폭발한계에 대해 문헌을 고찰한 결과 폭발하한계는 1.0 Vol%, 상한계는 약 9.0 Vol% 그리고 인화점은  $-20^{\circ}\text{C}$ 를 사용하는 것이 바람직하다.

2) 증기압 식을 이용한 사이클로헥산의 폭발하한계 예측값은 밀폐식 인화점  $-20^{\circ}\text{C}$ 를 적용하는 경우 1.07 Vol%로 계산되었다.

3) 사이클로헥산의 새로운 폭발한계 온도의존식은 다음과 같다.

$$L_i(t) = L_{25} [1.1529 - 1.3619 \times 10^{-3}(t - 25)]$$

4) 사이클로헥산의 최소자연발화온도  $255^{\circ}\text{C}$ 로 측정되었다.

5) 사이클로헥산의 자연발화온도와 발화지연시간의 관계는 다음과 같다.

$$\ln \tau = -33.7913 + 19257.88 \left( \frac{1}{T} \right)$$

Semenov식을 이용하여 계산된 활성화에너지(E)는 145.13 kJ/mol이다.

6) 발화온도에 의한 발화지연시간을 예측하기 위해서는 다음과 같은 관계식을 사용하는 것이 타당하다.

$$\ln \tau = 93.38 - 120560 \left( \frac{1}{T} \right) + 3.9551 \times 10^7 \left( \frac{1}{T} \right)^2$$

### 참고문헌

[1] Meyer, E., "Chemistry of Hazardous Materials", 2nd ed., Prentice-Hall, (1990)  
 [2] Kline, A.A., C.R. Szydluk, T.N. Rogers and M.E. Mullins, "An Overview of Compiling, Critically Evaluating, and Delivering Reliable Property Data AICHE DIPPER Project 911 and 912", Fluid Phase Equilibria, 150-151, 421-428, (1998)  
 [3] Albahri, T.A., "Flammability Characteristics of Pure Hydrocarbons", Chemical Engineering Science, 58, 3629-3641, (2003)  
 [4] Britton, L.G., "Two Hundred Years of Flammable

Limits", Process Safety Progress, 12(10), 1-11, (2002)  
 [5] Ha, D.M., "The Compatibility of MSDS through the Investigation of the Combustible Properties for MEK", J. of the Korean Society of Safety, 23(3), 36-41, (2008)  
 [6] NFPA, "Fire Hazard Properties of Flammable Liquid, Gases, and Volatile Solids", NFPA 325M, NFPA, (1991)  
 [7] SFPE, "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", 2nd ed., SFPE, (1995)  
 [8] Babrauskas, V., "Ignition Handbook", Fire Science Publishers, SFPE, (2003)  
 [9] Stephenson, S.M., "Flash Points of Organic and Organometallic Compounds", Elsevier, (1987)  
 [10] Lenga R.E. 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)  
 [11] Lide, D.R., "CRC Handbook of Chemistry and Physics", 75th ed., CRC Press, (1994)  
 [12] Dean, J.A., "Lange's handbook of Chemistry", 14th ed. McGraw-Hill, (1992)  
 [13] Lees, F.P., "Loss Prevention in the Process Industries", Vol. 2, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, (1996)  
 [14] 柳生昭三, "蒸氣の爆發限界", 安全工學協會, (1979)  
 [15] Zabetakis, G.M., "Flammability Characteristics of Combustible Gases and Vapors", US Bureau of Mines, Bulletin, (1965)  
 [16] Hustad J.E. and O.K. Sonju, "Experimental Studies of Lower Flammability Limits of Gases and Mixtures of Gases at Elevated Temperature", Combustion and Flame, 71, 283-294, (1988)  
 [17] Ha, D.M., "Prediction of Temperature Dependence of Lower Explosive Limits for Paraffinic Hydrocarbons", J. of the Korean Institute for Industrial Safety, 15(3), 71-77, (2000)  
 [18] Flick, E.W., "Industrial Solvent Handbook", 3rd. Ed., Noyes, Data Corp., Prak Ridge, New Jersey, (1985)  
 [19] Smyth, K.C. and N.P. Bryner, "Short-Duration Autoignition Temperature Measurement for Hydrocarbon Fuels Near Heated Metal Surfaces", Combustion Sci. and Tech., 126, 225-253, (1997)  
 [20] Sheldon, M., "Understanding Auto-ignition Tem-

- perature", Fire Engineering J., June, 27-32, (1984)
- [21] Zabetakis, M.G., A.L. Furno and G.W. Jones, "Minimum Spontaneous Ignition Temperature of Combustibles in Air", Industrial and Engineering Chemistry, 46(10), 2173-2178, (1954)
- [22] Hilado, C.J. and S.W. Clark, "Autoignition Temperature of Organic Chemicals", Chemical Engineering, 4, 75-80, (1972)
- [23] Gmehing, J., U. Onken and W. Arlt, "Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection", 1, Part1-Part7, DECHEMA, (1980)
- [24] Zabetakis, M.G., G.S. Scott and G.W. Jones, "Limits of Flammability of Paraffin Hydrocarbons in Air", Industrial and Engineering Chemistry, 43(9), 2120-2124, (1951)
- [25] Semenov, N.N., "Some Problems in Chemical Kinetics and Reactivity, Vol. 2", Princeton University Press, Princeton, N.J., (1959)