



## 2-Methyl-1-butanol의 화재 및 폭발 특성치의 측정

†하동명

세명대학교 보건안전공학과  
(2015년 6월 8일 접수, 2015년 7월 26일 수정, 2015년 7월 27일 채택)

## The Measurement of the Fire and Explosion Properties for 2-Methyl-1-butanol

†Dong-Myeong Ha

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

(Received June 8, 2015; Revised July 26, 2015; Accepted July 27, 2015)

### 요 약

화학산업에서 다양하게 사용되고 있는 2-methyl-1-butanol의 안전한 취급을 위해서 인화점과 최소자연발화온도를 측정하였다. 2-methyl-1-butanol의 폭발하한계는 실험에서 얻어진 하부인화점을 이용하여 계산하였다. Setaflash 밀폐식은 40 °C, Pensky-Martens 밀폐식은 44 °C 그리고 Tag 개방식은 49 °C, Cleveland 개방식에서는 47 °C로 측정되었다. ASTM E659 장치에 의한 최소자연발화온도는 335 °C로 측정되었다. 측정된 하부인화점 40 °C에 의한 폭발하한계는 1.30 Vol.%로 계산되었다. 폭발하한계는 측정된 인화점이나 문헌에 제시된 인화점을 이용하여 예측 가능함을 알 수 있었다.

**Abstract** - For the safe handling of 2-methyl-1-butanol being used in various ways in the chemical industry, the flash point and the autoignition temperature(AIT) of 2-methyl-1-butanol was experimented. And, the lower explosion limit of 2-methyl-1-butanol was calculated by using the lower flash point obtained in the experiment. The flash points of 2-methyl-1-butanol by using the Setaflash and Pensky-Martens closed-cup testers measured 40 °C and 44 °C, respectively. The flash points of 2-methyl-1-butanol by using the Tag and Cleveland open cup testers are measured 49 °C and 47 °C. The AIT of 2-methyl-1-butanol by ASTM 659E tester was measured as 335 °C. The lower explosion limit by the measured flash point 40 °C was calculated as 1.30 Vol.%. It was possible to predict lower explosion limit by using the experimental flash point or flash point in the literature.

**Key words** : 2-Methyl-1-butanol, Flash point, Lower Explosion limit, Autoignition temperature (AIT), ASTM E659

### I. 서 론

화학산업뿐만 아니라 일반 제조업 등은 다양한

종류의 화학물질을 사용하고 있으며, 이들 물질에 의한 잠재적 위험성은 항상 존재하고 있다. 화학공장의 사고 형태를 보면 화재, 폭발 및 누출 등으로 구분 된다. 이 가운데 화재 및 폭발의 사고 원인을 살펴보면 사업장에서 취급하는 물질의 연소특성치를 정확하게 파악하지 못해서 발생하는 경우가 많

†Corresponding author: hadm@semyung.ac.kr  
Copyright © 2015 by The Korean Institute of Gas

다. 정확한 연소특성치의 적용은 방호시스템 구축의 가장 중요한 기반이 된다. 취급물질의 연소특성치들로는 인화점, 폭발한계, 최소자연발화온도, 연소열, 최소산소농도 등을 들 수 있다[1].

인화점은 액체의 화재 및 폭발 위험을 특정 짓는데 이용되는 중요한 지표이다. 인화점은 하부인화점과 상부인화점으로 나누고 있으며, 일반적으로 하부인화점을 인화점이라 한다. 인화점은 가연성액체의 액면 가까이서 인화할 때 필요한 증기를 발산하는 액체의 최저온도로 정의한다. 폭발한계는 가연성물질(가스 및 증기)을 다루는 공정 설계 시 고려해야 할 중요한 변수로써, 발화원이 존재할 때 가연성가스와 공기가 혼합하여 일정 농도범위 내에서만 연소가 이루어지는 혼합범위를 말한다. 특히 폭발한계는 초기 온도, 초기 압력, 불활성가스의 농도, 화염전과 방향, 장치의 표준상태, 물리적 상태 등에 영향을 받으므로 문헌에 따라 다른 값들이 제시되고 있다. 또한 폭발한계를 실험하기 어려운 물질의 경우는 인화점을 사용하여 예측이 가능하다. 자연발화(Autoignition) 혹은 Spontaneous Ignition)는 가연성 혼합기체에 열 등의 형태로 에너지가 주어졌을 때 스스로 타기 시작하는 산화현상으로, 주위로부터 충분한 에너지를 받아서 스스로 점화할 수 있는 최저온도를 최소자연발화온도(Autoignition Temperature, AIT)라고 한다[2].

2-Methyl-1-butanol은 용매, 오일 및 페인트용 윤활제, 가소제, 첨가제, 에스테르 및 에테르용 화학물질 중간체, 광석 부유에서 부유제, 디아미디티오포스페이트(부식 억제제) 등으로 산업현장에서 다양하게 사용되고 있다. 그러나 2-methyl-1-butanol의 연소특성치는 문헌에 따라 다양하게 제시되고 있고, 특히 2-methyl-1-butanol의 인화점이 80 °C 이하인데도 불구하고 개방식 장치에 의한 실험값이 제시되고 있다. 따라서 이를 취급하는 공정에서의 안전을 확보하기 위해서는 이론적 및 실험적 고찰이 필요하다.

본 연구에서는 2-methyl-1-butanol의 인화점과 최소자연발화온도를 측정하여 기존의 문헌들과 비교하였고, 폭발한계에 대해서는 여러 문헌에 제시된 자료의 타당성을 검토하기 위해 본 연구에서 측정된 인화점을 이용하여 계산하였다. 그리고 계산된 폭발 한계를 문헌들과 비교 검토하였다. 본 연구에서 제시된 2-methyl-1-butanol의 실험자료와 예측방법론은 이를 취급하는 공정에서 안전을 확보하는 지침 마련과 MSDS의 적정성 연구에 도움을 주고자 한다.

## II. 이론적 배경

### 2.1. 2-Methyl-1-butanol의 물리적 및 연소특성

#### 2.1.1. 2-Methyl-1-butanol의 물리적 특성

2-Methyl-1-butanol은 동의어로 sec-butylcarbinal이라고 하며, 폭발 위험성뿐만 아니라 분해시 생성되는 유해물질 타는 동안 열분해 또는 연소에 의해 자극적이고, 증기를 흡입 시 신체에 큰 영향을 주는 유독성물질이다. 각 국에서는 사업장에서 취급하는 유해·위험물질에 대한 안전한 취급, 처리, 수송 및 보관을 위해 MSDS 자료를 제공하고 있다. 그리고 많은 단체에서 발간한 자료와 논문들에서도 물리적 특성치를 제공하고 있다. Table 1에는 2-methyl-1-butanol의 물리적 특성을 요약하여 나타내었다[3,4].

#### 2.1.2. 2-Methyl-1-butanol의 연소특성

2-Methyl-1-butanol은 위험물안전관리법 제 4류 위험물의 제 2석유류(수용성액체, 지정수량 1000L)이고, 산업안전보건법은 규정하고 있지 않으나, 폐기물관리법에 의한 규제 지정폐기물로 지정하고 있다. GHS(Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals)의 인화성액체 분류 기준에서는 Category 3(인화점 23 ~ 60 °C)에 해당하는 물질이며, NFPA에서는 건강위험성 2, 화재위험성 2 그리고 반응위험성 1로 규정하고 있다.

2-Methyl-1-butanol의 증기는 점화원에 발화되어 화재와 폭발을 일으킬 수 있다. 인화점이나 그 이상

Table 1. Physical properties of 2-methyl-1-butanol

Properties	Component	2-Methyl-1-butanol
CAS number		137-32-6
Molecular formula		C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O
Boiling point		128 °C
Melting point		-70 °C
Vapor pressure		0.416 kPa (at 25 °C)
Viscosity		4.453 mPas (at 25 °C)
Solubility(Water)		297g/L (at 25°C)
Critical temperature		298 °C
Critical pressure		2.8 Mpa
Vapor density(Air=1)		3
Specific gravity(Water=1)		0.816 (at 20 °C)

에서 폭발성 혼합물을 형성할 수 있고, 가열시 용기가 폭발할 수 있다. 연소하는 동안 열분해 또는 연소에 의해 자극적이고 매우 유독한 가스가 발생될 수 있다. 인화점이나 그 이상에서 폭발성 혼합물을 형성할 수 있다. 피해야할 발화원은 열, 스파크, 화염, 고열 등이며, 증기는 공기보다 무거우므로 누출 시 원거리의 발화원으로 부터 점화되어 순식간에 확산될 수 있다.

소화약제로는 알코올 포말, 이산화탄소 또는 물분무를 사용하고, 질식소화 시 건조한 모래 또는 흙을 사용할 수 있다. 저장 및 보관방법은 차고 건조하며 통풍이 잘되는 곳에 저장해야 한다.

### 2.2. 2-Methyl-1-butanol의 연소특성치 분석

2-Methyl-1-butanol의 화재 및 폭발 특성치 분석을 위해서 KOSHA MSDS와 문헌들에서 제시하고 있는 연소특성치들을 정리하여 Table 2에 나타내었다[4-10].

일반적으로 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.

인화점은 하부인화점(Lower flash point)과 상부인화점(Upper flash point)으로 구분한다. 인화점을 측정하는 방법은 밀폐식(Closed-cup, CC)과 개방식(Open cup, OC)이 있다. 밀폐식은 Pensky-Martens 방식과 Setaflash 방식이 있으며, 개방식은 Tag방식과 Cleveland방식 등을 들 수 있다.

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.

Table 2에 알 수 있듯이 2-methyl-1-butanol의 폭발하한계와 상한계에 대해 KOSHA MSDS와 Lange 에서는 1.4 Vol.% 그리고 Sigma와 SAX에서는 1.2 Vol.%로서 문헌들에 따라 차이가 크지 않다. 그리고 폭발상한계는 모든 문헌에서 9.0 Vol.%를 제시하고 있다. 인화점은 KOSHA MSDS를 비롯해 일부 문헌에서는 개방식 50 °C로 제시하고 있으며, Stephenson은 가장 낮은 약 44 °C를 제시하고 있다. 그리고 AIT는 340 ~ 385 °C로서 문헌에 따라 약 45 °C의 정도를 보이고 있다. 따라서 2-methyl-1-butanol을 취급하는 공정의 안전을 위해서는 정확한 연소특성

**Table 2.** Comparison of explosion limit, flash point and AIT of 2-methyl-1-butanol by several references

References	LEL - UEL (Vol.%)	Flash point (°C)	AIT (°C)
KOSHA MSDS[5]	1.4 - 9.0	50(OC)	385
NFPA[6]	NA	50(OC)	385
Sigma[7]	1.2 - 9.0	46	340
SAX[8]	1.2 - 9.0	50(OC)	NA
Lange[4]	1.4 - 9.0	50	NA
Stephenson[9]	NA	43.3,44	NA
Hilado[10]	NA	NA	385

치의 파악이 필요하다. Table 2에서 NA(not available)는 문헌에 제시되어 있지 않다는 의미이다.

## III. 실험재료 및 측정장치

### 3.1. 재료

본 연구에서 사용한 2-methyl-1-butanol(Junsei, 99%)은 별도의 정제과정을 거치지 않고 사용하였다.

### 3.2. 인화점 측정

인화점은 여러 매개변수에 의해 영향을 받으며, 주요 변수로는 용기 형태, 시료량, 발화원, 온도 조절기, 주위 압력, 시료의 균일성, 실험자, 자료의 편차 등이 있다.

본 연구에서 Pensky-Martens와 Setaflash 밀폐식 그리고 Tag와 Cleveland 개방식 인화점 장치를 사용하였다[11].

Pensky-Martens 밀폐식 장치는 몸체부, Test Cup 장치부, 교반부, 화염 공급부로 나눌 수 있다. Test Cup 장치부의 Cup의 재질은 열전도도가 높은 구리로 되어 있고, Test Cup Handle, 온도계 삽입구, Test Cup 상부 개폐기 손잡이로 구성되어 있다.

Setaflash 밀폐식 장치는 몸체부, 시료컵 장치부, 화염 공급부로 크게 나눌 수 있다. 몸체부는 가열공기조, 전원 개폐기, 전원 조절기 등으로 구성되어 있다. 시료 장치부는 시료컵, 온도계 삽입구, 시료컵 상부 개폐기 손잡이로 구성되어 있다. 화염 공급부는 화염 접근장치, 연료통, 화염 조절기, 가스관, 가

Table 3. Comparison of several flash point test methods

Test methods	Test vessel diameter(cm)	Test vessel depth(cm)	Test vessel volume(ml)	Heating method
ASTM D3278 Setaflash closed-cup	5.0	1.0	2 or 4	Sample cup is electrically heated or chilled and sample temperature is kept constant
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 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	80	The temperature of the specimen is increased at 5-6°C/min

스 안전밸브 등으로 구성되어 있다.

Tag 개방식 장치는 가연성 액체의 인화점 및 연소점 측정이 가능한 장치로, 시료컵, 승온 다이얼, 수조, 시험염 발생장치 등으로 구성되어 있으며, 부가장치로는 시료컵의 시료 수위를 조절할 수 있는 레벨수준 유지장치가 있다.

Cleveland 개방식 장치는 인화점 및 연소점을 측정하는 장치로, 몸체부, 시료컵 장치부, 화염 공급부로 크게 나눌 수 있다. 시료 장치부의 시료컵, 시료컵 조절기, 온도계 삽입구, 시료컵 상부 개폐기 손잡이로 구성되어 있다. 화염 공급부는 화염 접근장치, 연료통, 화염 조절기, 가스관, 가스 안전밸브 등으로 구성되어 있다.

각 인화점 측정장치들의 용기 특성 및 시험방법을 요약하여 Table 3에 나타내었다.

### 3.3. 자연발화온도 측정

자연발화점 측정은 ASTM E659 장치를 사용하였으며, 장치는 로, 온도 조절기, 열전대, 플라스크, 주사기, 거울, 에어건 등으로 구성되어 있다[11].

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

## IV. 결과 및 고찰

### 4.1. 2-Methyl-1-butanol의 인화점에 의한 폭발한계 비교

Table 2에 제시된 2-methyl-1-butanol의 폭발한계 자료를 검증하기 위해 Antoine 식을 사용하여 폭발하한계를 계산하였는데, 사용된 Antoine 식은 다음과 같다[12].

$$\ln P^f = 16.2708 - \frac{2752.19}{(T - 116.3)} \quad (1)$$

여기서,  $P^f$ 는 증기압(mmHg)이고, T는 온도(K)이다. 식 (1)을 이용하여 폭발한계를 예측할 수 있다. 본 연구에서는 Setaflash와 Pensky-Martens의 밀폐식, Tag와 Cleveland의 개방식에 의해 얻어진 인화점을 이용하여 예측된 폭발하한계를 결과를 Table 4에 나타내었다.

2-Methyl-1-butanol의 하부인화점의 경우, 밀폐식인 Setaflash에서는 40 °C, Pensky-Martens에서는 44 °C, 개방식인 Tag에서는 49 °C와 Cleveland에서는 47 °C로 측정되었다. 본 연구에서 Setaflash 장치에 의해 측정된 하부인화점 40 °C는 Table 2에 제시된 가장 낮은 값 44 °C보다는 약 4 °C 정도 낮게 측정되었다.

본 실험에서 얻은 하부인화점을 이용하여 폭발하한계를 예측하였다. Setaflash 밀폐식의 하부인화점 40 °C를 식(1)에 적용한 결과 폭발하한계는 1.30 Vol%로 계산되었다. 계산된 폭발하한계 1.30 Vol%는 KOSHA MSDS를 비롯한 문헌에 제시한 폭발하한계의 중간값으로 계산되었다. 따라서 본 연구에서

**Table 4.** Comparison of estimated lower explosion limits (LEL) by experimental lower flash points for 2-methyl-1-butanol

Testers	Experimental flash points (°C)	Estimated LEL by lower flash points(Vol.%)
Setaflash	40	1.30
Pensky-Martens	44	1.71
Tag	49	2.39
Cleveland	47	2.10

제시한 자료를 사용하는 것이 타당하다고 본다. 또한 본 연구에서 인화점을 이용한 폭발한계 예측값을 공정에 적용하는 방안과 인화점에 의한 폭발한계 연구의 활용에 가능하다고 본다.

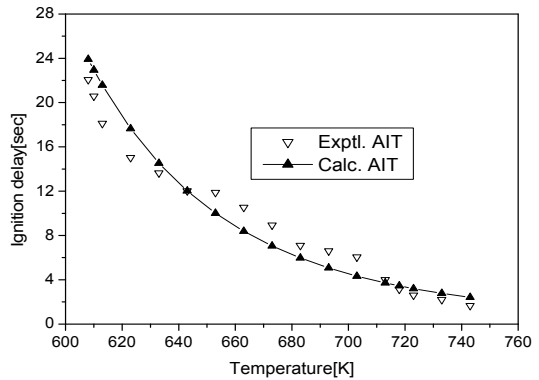
**4.2. 2-Methyl-1-butanol의 자연발화온도 고찰**

본 실험에서는 기존의 자료를 근거로 300 °C에서 실험한 결과 비발화가 되어, 다시 이 보다 높은 30 °C 높은 330 °C에서 측정한 결과, 비발화여 다시 30 °C를 높은 360 °C에서 실험한 결과 13.64 sec에서 발화되었다. 다시 20 °C 낮춘 340 °C에서 실험한 결과 18.11 sec에서 발화되어, 이를 기점으로 2~5 °C 낮추어 실험한 결과 335 °C, 22.07 sec에서 최소자연발화온도(AIT)를 찾을 수 있었다. 2-Methyl-1-butanol의 AIT 335 °C를 시작으로 390 °C에서는 10.53 sec, 400 °C에서는 8.94 sec, 410 °C에서는 7.10 sec, 420 °C에서는 6.60 sec, 430 °C에서는 6.05 sec, 440 °C에서는 4.00 sec, 445 °C에서 3.14 sec, 450 °C에서 2.60 sec 그리고 470 °C에서는 1.67 sec에서 발화하였다.

Table 5에는 2-methyl-1-butanol의 자연발화온도와 발화지연시간의 관계를 실험한 결과 나타내었다. 본 연구에서 측정된 2-methyl-1-butanol의 최소자연발화온도 335 °C는 Table 2에 제시된 Sigma의 문헌값 340 °C와 비슷한 결과로서 보이고 있으며, KOSHA MSDS의 385 °C보다는 약 50 °C 낮게 측정되었다. 따라서 본 연구에서 제시한 자료를 사용하여 이를 취급하는 공정의 방호시스템 구축에 적용하는 것이 타당하다고 본다.

Table 5에 제시된 자연발화온도와 발화지연시간의 실험 자료를 Arrhenius 형태 식으로 최적화한 결과 다음과 같은 관계식을 얻었다.

$$\ln \tau = -9.47 + 7686.66 \left( \frac{1}{T} \right) \quad (2)$$



**Fig. 1.** A comparison between the experimental and calculated delay times for 2-methyl-1-butanol.

식 (2)을  $\log \tau$ 와  $\left( \frac{1}{T} \right)$ 의 관계로 다시 표현하면 다음과 같다.

$$\log \tau = -4.11 + 3338.28 \left( \frac{1}{T} \right) \quad (3)$$

식 (3)에 의한 예측된 발화지연시간들을 실험값과 비교하여 Table 5와 Fig. 1에 나타내었다. 예측값과 문헌값의 차이의 정도는 A.A.D.(Average Absolute Deviation)와 결정계수( $r^2$ )를 사용하였다[13].

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

$$r^2 = \left( \frac{SSR}{SST} \right) \quad (5)$$

여기서  $\tau_{est.}$ 는 추산식에 의해 추산된 발화지연시간이고,  $\tau_{exp.}$ 는 실험값이며, N은 자료수,  $r^2$ 은 결정계수, SSR은 회귀에 의한 제곱합(Sum of Squares due to Regression), SST는 SSR과 잔차에 의한 제곱합(Sum of Squares due to Residual Error)의 합이다.

식 (3)에 의한 예측값과 실험값 사이의 평균절대오차는 1.41sec, 결정계수( $r^2$ )는 0.93로서 실험값은 계산값과 모사성이 크게 나타났다.

활성화에너지(E)의 계산은 Semenov[14]가 제시한 식 (6)을 이용하면 가능하다.

$$\log \tau = \frac{52.55E}{T} + B \quad (6)$$

Table 5. Comparison of experimental and calculated ignition delay time by the AIT for 2-methyl-1-butanol

No.	T[K]	$\tau_{exp}$ [s]	$\ln \tau_{exp}$	$\tau_{est.}(Eq. 3)$
1	608	22.07	3.09422	23.91
2	610	20.58	3.02432	22.94
3	613	18.11	2.89646	21.57
4	623	15.03	2.71005	17.64
5	633	13.64	2.61301	14.52
6	643	12.03	2.48740	12.02
7	653	11.88	2.47486	10.01
8	663	10.53	2.35423	8.38
9	673	8.94	2.19054	7.06
10	683	7.10	1.96009	5.97
11	693	6.60	1.88707	5.07
12	703	6.05	1.80006	4.33
13	713	4.00	1.38629	3.72
14	718	3.14	1.14422	3.45
15	723	2.60	0.95551	3.20
16	733	2.21	0.79299	2.77
17	743	1.67	0.51282	2.41
A.A.D.	-	-	-	1.41

식 (3)을 식 (6)에 대입하여 계산된 활성화에너지는 63.23 kJ/mol이다.

## V. 결론

본 연구에서는 2-methyl-1-butanol의 연소특성치들 가운데 인화점과 최소자연발화온도(AIT)를 측정하여 기존 문헌들과 비교하였고, 또한 측정된 인화점을 이용하여 폭발한계를 계산한 결과를 문헌에 제시된 값들과 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Setaflash 밀폐식에 의한 인화점은 40 °C, Pensky-Martens 밀폐식은 44 °C, Tag 개방식은 49 °C 그리고 Cleveland 개방식은 47 °C로 측정되었다.

2) Setaflash 장치에 의한 하부인화점 40 °C를 이용하여 계산된 폭발한계는 1.30 Vol.%로서, 기존의 문헌들에 제시된 1.2 Vol.%와 1.4 Vol.%의 중간값으로 계산되므로써 인화점에 의한 폭발한계의 예측이 가능해 졌다.

3) 본 연구에서 측정된 2-methyl-1-butanol의 최소자연발화온도 335 °C는 기존의 문헌값인 340 °C ~ 385 °C에서 적은 문헌값과 비슷한 결과로서 약 340 °C사용하는 것이 타당하다.

4) 2-methyl-1-butanol의 자연발화온도와 발화지연시간의 관계는 다음과 같다.

$$\log \tau = -4.11 + 3338.28 \left( \frac{1}{T} \right)$$

5) Semenov식을 이용한 2-methyl-1-butanol의 활성화에너지(E)는 63.23 kJ/mol로 계산되었다.

## REFERENCES

- [1] Lees, F. P., *Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 2, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, (1996)
- [2] Drysdale, D., *An Introduction to Fire Dynamics*, 2nd ed., John Wiley & Sons, (1998)
- [3] Lide, D. R., *Handbook Chemistry and Physics*, 76th

- ed., CRC Press, (1996)
- [4] Dean, J. A., *Lange's Handbook of Chemistry*, 14th ed. McGraw-Hill, (1992)
- [5] KOSHA, /www.kosha.or.kr/msds/msdsMain.do?menuId=69
- [6] NFPA, *Fire Hazard Properties of Flammable Liquid, Gases, and Volatile Solids*, NFPA 325M, National Fire Protection Association, (1991)
- [7] Lenga, R. E and Votoupal, K. L., *The Sigma Aldrich Library of Regulatory and Safety Data*, Volume I ~ III, Sigma Chemical Company and Aldrich Chemical Company Inc., (1993)
- [8] Lewis, R. J., *SAX's Dangerous Properties of Industrial Materials*, 11th ed., John Wiley & Son, Inc., New Jersey, (2004)
- [9] Stephson, R. M., *Flash Points of Organic and Orgarnometallic Compounds*, Elsevier Science Publishing Co. Inc., (1987)
- [10] Hilado, C. J. and S. W. Clark, "Discrepancies and Correlations of Reported Autoignition Temperatures", *Fire Technology*, **8**, 218-227, (1972)
- [11] Ha, D. M., "The Measurement of Combustible Characteristics of n-Undecane", *J. of the Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, **27(2)**, 11-17, (2013)
- [12] Reid, R. C., J. M. Prausnitz and T. K. Sherwood, *The Properties of Gases and Liquids*, 3th ed. McGraw-Hill, (1977)
- [13] Ha, D. M., "The Measurement of Fire and Explosion Properties of n-Pentadecane", *J. of the Korean Society of Safety*, **28(4)**, 53-57, (2013)
- [14] Semenov, N .N., *Some Problems in Chemical Kinetics and Reactivity*, Vol. 2, Princeton University Press, Princeton, N.J., (1959)