

## tert-Amylalcohol(TAA)의 물질안전보건자료(MSDS) 연소특성치의 신뢰도

†하동명

세명대학교 보건안전공학과

(2019년 9월 25일 접수, 2019년 11월 11일 수정, 2019년 11월 12일 채택)

### Reliability of Combustion Properties of MSDS(Material Safety Data Sheet) of tert-Amylalcohol(TAA)

†Dong-Myeong Ha

Dept. of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University, Jecheon 27316, Korea

(Received September 23, 2019; Revised December 14, 2019; Accepted December 15, 2019)

#### 요약

산업현장에서 사용되고 있는 인화성물질의 연소특성치로는 하부/상부인화점, 폭발하한계/상한계, 최소자연발화온도(AIT), 연소점, 최소산소농도(MOC) 등이 있다. 공정 및 근로자 안전을 위해서는 이들 특성치의 정확한 평가가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 에폭시수지와 폴리우레탄의 용매, 올레핀의 산화제, 연료용 기름과 바이오물질의 주원료 등으로 다양하게 사용되고 있는 tert-Amylalcohol(TAA)를 선정하였다. 그 이유는 다른 가연성물질에 비해 연소특성치의 신뢰성에 비교 고찰하였다. TAA의 인화점은 밀폐식 Setaflash, Pensky-Martens와 개방식 Tag, Cleveland 장치로 측정하였고, AIT는 ASTM 659E를 사용하였다. 그리고 TAA의 폭발하한계/상한계는 측정된 하부/상부인화점을 이용하여 예측하였다. Setaflash, Pensky-Martens에 의한 인화점은 19 °C와 21 °C, Tag와 Cleveland는 각각 28 °C와 34 °C, AIT는 437 °C로 측정되었다. Setaflash에서 측정된 인화점에 의한 폭발하한계/상한계는 1.1 vol%와 11.95 vol%로 계산되었다.

**Abstract** - The combustion properties of the flammable substance used in industrial fields include lower/upper flash point, lower/upper explosion limit, autoignition temperature(AIT), fire point, and minimum oxygen concentration(MOC) etc.. The accurate assessment of these characteristics should be made for process and worker safety. In this study, tert-amylalcohol(TAA), which is widely used as a solvent for epoxy resins, oxidizers of olefins, fuel oils and biomass, was selected. The reason is that there are few researches on the reliability of combustion characteristics compared to other flammable materials. The flash point of the TAA was measured by Setaflash, Pensky-Martens, Tag, and Cleveland testers. And the AIT of the TAA was measured by ASTM 659E. The lower/upper explosion limits of the TAA was estimated using the measured lower/upper flash points by Setaflash tester. The flash point of the TAA by using Setaflash and Pensky-Martens closed-cup testers were experimented at 19 °C and 21 °C, respectively. The flash points of the TAA by Tag and Cleveland open cup testers were experimented at 28 °C and 34 °C, respectively. The AIT of the TAA was experimented at 437 °C. The LEL and UEL calculated by using lower and upper flash point of Setaflash were calculated at 1.10 vol% and 11.95 vol%, respectively.

**Key words** : tert-Amylalcohol(TAA), combustion properties, process and worker safety, minimum oxygen concentration(MOC)

†Corresponding author:hadm@semyung.ac.kr

Copyright © 2019 by The Korean Institute of Gas

## I. 서론

화학 및 전자산업 등에서 제품을 개발하기 위해 사용되고 있는 물질들 가운데 적은 에너지나 다양한 발화원에 의해 화재 및 폭발이 쉽게 일어나는 경우가 많다. 특히 반응성이 큰 물질은 충격, 화학 반응, 온도상승 등에 의해 큰 재해가 발생된 사례들이 많다. 화학반응에서 발생할 수 있는 사고는 반응에 사용된 주원료의 연소특성을 정확히 파악함으로써 예방할 수 있다. 취급하고 있는 물질들이 위험성뿐만 아니라 유해성을 동시에 지니고 있을 때 공정관리의 실패로 인해 누출이 되면 인명과 재산 피해뿐만 아니라 대기오염으로 인한 지역 주민에 영향을 주고, 배수구를 통해 강이나 하천으로 흘러들어 갈 경우 심각한 환경오염을 초래할 수 있다.

따라서 공정에서 발생할 수 있는 화재 및 폭발을 예방하기 위해서는 사용하고 있는 순수물질과 혼합물의 연소위험성에 대한 연구가 최우선적으로 이루어져야 한다. 최근 산업의 발달로 인해 신규 화학물질의 사용이 급증하고 있는데도 불구하고 정확한 연소특성치를 적용하지 못해서 중대 재해가 발생하는 경우가 있다. 이와 같은 재해를 예방하기 위해서는 취급물질의 연소특성치인 하부/상부 인화점, 폭발한계(LEL)/상한계(UEL), 최소자연발화온도(AIT), 연소점, 최소산소농도(MOC) 등을 실증적으로 연구하거나 기존 자료의 정확한 고찰이 필요하다[1,2].

연소특성치들은 위험물안전관리법, 산업안전보건법, 화학물질안전관리법 등에서 가연성물질의 위험성을 구분하는데 사용되고 있으며, 이를 근거로 재해를 예방하기 위해서 방화 및 방폭의 가이드로 이용되고 있으므로 보다 정확한 자료의 선정이 사업장 안전의 중요한 부분이라고 본다.

최근 연소특성치의 연구들을 살펴보면 새로운 규격의 실험적 연구뿐만 아니라 기존 자료의 비교 분석에 대한 연구들이 진행되고 있다. Das 등은 노말알칸 계열의 탄소수 8개에서 16개의 인화점을 측정하여 문헌 값과 비교한 결과 옥탄은 8 K, 노난은 7 K의 차이가 있음을 보고하였다[3]. Mitchell 등은 아민류의 순수물질과 혼합물의 인화점 측정하여 기존의 4개 문헌들과 비교한 결과 cyclohexylamine은 6 K, di-n-butylamine은 문헌과 약 10 K의 차이를 제시하였다[4]. Radnoff는 석유류인 JP류를 측정 한 결과 언편 물질에서는 20 K 이상의 차이를 찾았고[5], Ha는 화학산업에서 완제품 및 중간제품으로 널리 사용되고 있는 페놀의 인화점을 측정하여 문헌들과 비교한 결과 7 K의 차이가 있음을 확인하

였다[6].

Swarts 등은 산업현장에서 가장 널리 사용되고 있는 벤젠의 AIT를 조사한 결과 문헌에 따라 83 K를 제시하였다[7]. Chen 등은 5개의 문헌들을 이용하여 2-Heptanone은 140 K의 차이가 있음을 확인하였다. 또한 폭발한계의 경우 실험 조건에 따라 측정값이 차이를 보이고 있다[8]. Ha는 브로모벤젠의 연소특성치를 분석한 결과 폭발한계는 4.5 Vol%, 상한계는 약 26 Vol%의 차이가 있음을 확인하였다[9]. 가연성 혼합물질을 화재 및 폭발 특성치를 연구가 하기 위해서는 혼합물을 구성하는 순수물질의 연소 특성치 특성치의 정확한 연구가 이루어져야 공정의 안전을 확보할 수 있다.

본 연구에서는 에폭시수지와 폴리우레탄의 용매, 올레핀의 산화제, 연료용기름과 바이오물질의 주원료, 이소아밀렌(IA)의 대체 반응물, tert-Amyl ethyl ether(TAEE)의 합성물질, 의약품의 원료, 중간제품, 마취제 등으로 사용되고 있으며, 다른 가연성물질에 비해 연소특성치의 신뢰성 연구가 적은 tert-Amyl alcohol(TAA)를 선정하였다. TAA는 무색이고, 동의어로는 2-Methyl-2-butanol, tert-Pentyl alcohol, Dimethylethylcarbinol, Amylene hydrate 등이 있다. 특히 TAA와 에탄올이 반응하여 TAEE를 만들고, 반응조건과 촉매를 이용하여 IA를 만들 수 있다. 또한 얻어진 IA를 에탄올과 반응시켜 TAEE를 만들 수도 있다. 그리고 산화크롬(VI)에 의해 아세톤과 아세트산을 생성하고, 니켈과 230°C로 가열하면 트리메틸에틸렌으로 된다.

TAA의 방화 및 방폭 특성치인 인화점, 연소점 그리고 AIT를 측정하고, 측정된 인화점을 이용하여 폭발한계를 예측하였다. TAA의 인화점, 연소점, AIT 그리고 예측된 폭발한계를 기존의 문헌 값들과 비교하였다. 제시된 연소특성치는 TAA를 사용하는 공정에 적용하여 안전을 확보하는데 자료로 이용되기를 기대하며, 제시한 방법론을 활용하여 다른 인화성액체의 위험성평가와 MSDS(Material Safety Data Sheet)의 최신화에 도움을 주는데 목적이 있다.

## II. TAA의 물리적 특성, 유해성 그리고 연소특성치의 분석

### 2.1. TAA의 물리적 특성 및 유해성

우리나라 비롯해 대부분의 국가는 근로자의 건강과 안전을 위해 MSDS를 제공하고 있으나 제공된 연소특성치가 최근 문헌들에 제시된 자료들과 물질에 따라 차이가 많은 경우가 있다. 이는 과거의

tert-Amylalcohol(TAA)의 물질안전보건자료(MSDS) 연소특성치의 신뢰도

장치로부터 얻은 자료들로 up-date를 하지 않은 결과로 판단된다.

TAA의 물리적 특성 및 유해성을 Table 1에 나타내었다[10-12]. TAA는 산업안전보건법에 의한 규제 공정안전보고서(PSM) 제출 대상물질, 위험물안

**Table 1.** Physical and toxicity properties of TAA[10-12]

Properties	Component	TAA
CAS number		75-85-4
Molecular formula		C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O
Boiling point		102.35 °C
Melting point		-8.85 °C
Vapor pressure		10mmHg (at 17.2 °C)
Solubility(Water)		110g/L(at 25 °C)
Critical temperature		272 °C
Critical pressure		3.9 Mpa
Vapor density(Air=1)		3.03
Specipic gravity(Water=1)		0.8090(at 20 °C)
Viscosity		5.48 mN·s·m <sup>-2</sup> (at 15°C)
RTECS Number		ORL-RAT LD50 100mg/kg

전관리법에 의한 규제 제4류위험물 제1석유류이며, 화학물질관리법과 폐기물관리법에는 해당되지 않는다. TAA는 GHS(Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals)의 Category 2(인화점 23 °C 미만, 끓는점 35°C 초과)에 해당되며, NFPA(National Fire Protection Association)의 위험성에서 건강 3, 화재 1, 반응 0으로 나타내고 있다.

TAA는 열, 화염 그리고 산화제를 피해야하며, 열과 화염에 의해 증기가 발생되면 폭발 할 수 있다. 열해 의해 분해될 경우 매캐한 냄새와 자극적인 연기가 발생할 수 있다. TAA의 증기는 공기보다 약 3.03배 정도이므로 누출 시 안전 보호 조치 반드시 해야 하고, 소화약제는 알코올 폼, 이산화탄소 또는 물분무 등을 사용할 수 있으며, 질식소화 시에는 건조사를 사용할 수도 있다.

**2.2. TAA의 연소특성치 분석**

우리나라 비롯해 대부분의 국가는 근로자의 건강과 안전을 위해 MSDS를 제공하고 있으나 제공된 연소특성치가 최근 문헌들에 제시된 자료들과 물질에 따라 차이가 많은 경우가 있다. 이는 과거의 장치로부터 얻은 자료들로 up-date를 하지 않은 결과로 판단된다.

재해를 예방하기 위해서는 각 문헌들에 제시된 자료를 근거로 정확한 실험이 이루어 질 때 사업장의 안전은 확보될 수 있다고 본다. 만일 실험이 어

**Table 2.** Flash points, AITs and explosion limits of TAA by references[12-22]

References	Flash points(°C)	AITs(°C)	LELs - UELs(vol%)
KOSHA MSDS	20.5	437	1.2 - 9.0
NFPA	19	437	1.2 - 9.0
Babrauskas	20	437	1.2 - 9.0
Sigma	21	437	1.2 - 9.0
SAX	40.56(CC)	437	1.2 - 9.0
Dean	21	437	1.2 - 9.0
Soheil	20.5	425	-
Stephenson	20.44(CC), 21.11(CC), 24(OC) 40.56(CC), 44(OC)	-	-
Catoire	21	-	-
Katritzhy	21	-	-
Zabetakis	-	437	-

려울 경우는 문헌에 제시된 자료를 정확히 고찰해서 적용해야 한다[2,6].

연소특성치 가운데 인화점은 밀폐식(Closed-cup, CC)과 개방식(Open cup, OC) 장치로 측정할 수 있으며, 실험 조건에 따라 다른 값들이 제시될 수 있다. 일반적으로 인화점이 80 °C 이하인 물질은 밀폐식을 그 이상은 개방식을 사용한다. 밀폐식에는 Setaflash와 Pensky-Martens 등이 있고, 개방식은 Tag와 Cleveland 등이 있으며, 연소점은 개방식 장치를 이용하여 측정할 수 있다. 폭발한계는 측정 변수들에 의해 다른 값이 제시될 수 있고, AIT는 역시 용기의 크기와 시료량을 실험 조건에 따라 측정값이 달라진다[2,6].

TAA의 화재 및 폭발 특성치 분석을 위해 한국 산업안전보건공단(KOSHA)의 MSDS를 비롯해 각종 핸드북과 논문들에 제시된 자료를 정리하여 Table 2에 나타내었다[12-22].

TAA의 인화점은 문헌들에 따라 큰 차이를 보이고 있는데, 밀폐식은 측정값은 약 21 °C의 차이로, 개방식은 20 °C의 차이를 보이고 있다. TAA의 AIT는 대부분의 문헌들에서 437 °C로 하나의 문헌에서 그대로 인용된 것으로 사료되며, 유일하게 Soheil은 기존문헌 보다 12 °C 낮은 425 °C를 제시하였다. 폭발하한계 역시 AIT와 마찬가지로 모든 문헌들에서 하한계 1.2 vol%, 상한계 9.0 vol%로 하나의 문헌에서 인용된 것으로 판단된다.

TAA의 연소특성치 가운데 인화점의 경우 밀폐식의 40.56 °C를 적용하는 경우에서 위험물안전관리법의 위험물 구분이 달라지며, 또한 GHS 역시 Catagory가 달라질 수 있으므로 정확한 실험적 평가가 이루어져야 한다.

### III. 실험재료 및 측정 장치

사용된 TAA(Sigma Aldrich, 99%, USA)은 별도

의 정제 과정없이 사용하였다. 인화점은 밀폐식인 Setaflash(ASTM D3278)와 Pensky-Martens(ASTM D93), 개방식인 Tag(ASTM D1310)와 Cleveland (ASTM D92)를 사용하였으며, 연소점 측정은 개방식 장치를 이용하였다. 각 장치에 의한 인화점과 연소점의 측정은 3회 혹은 5회를 실시하였다. 3회 모두 동일한 값으로 측정되면 채택하였고, 만일 3회 측정에서 동일한 측정값이 되지 않은 경우는 5회까지 측정하여 3회 이상 동일하게 측정된 값을 채택하였다[2,6].

AIT는 ASTM E659를 사용하였으며, 발화지연시간에 1 sec대 까지 측정하였다. 1sec대 까지 측정하는 것은 활성화에너지(E)를 계산하기 위해서이다. 장치는 로, 온도 조절기, 열전대, 플라스크, 주사기, 거울, 에어건 등으로 구성되었다[2,25].

## IV. 결과 및 고찰

### 4.1. TAA의 인화점과 연소점에 의한 폭발한계의 계산

밀폐식(CC)과 개방식(OC)에 의해 측정된 인화점과 연소점 그리고 이를 이용하여 계산된 폭발한계를 Table 3에 제시하였다.

TAA의 인화점 결과 Setaflash의 Manual은 19°C, Auto는 20°C 그리고 Pensky-Martens는 21 °C로 측정되었다. Tag는 28 °C 그리고 Cleveland에서는 34 °C로 측정되었고, Tag와 Cleveland의 연소점은 인화점과 동일하였다.

본 연구에서 Setaflash Manual에서 측정된 하부 인화점 19 °C는 Table 2에 제시된 NFPA문헌과 일치하였으며, 다른 문헌값 보다는 2 ~ 20 °C 정도 낮게 측정되었으며, Tag 개방식에서 측정된 28 °C는 Stephenson의 최대값인 44 °C 보다 16 °C 낮게 측정되었으며, Cleveland 측정값 역시 Stephenson의 최대값 약 10 °C 낮게 측정되었다. 그리고 TAA의

Table 3. Estimated explosion limits by experimental flash points and fire points of TAA

Testers	Experiment (°C)			Estimation(vol%)			
	Lower flash points	Upper flash points	Fire points	LEL by lower flash points	UEL by lower flash points	LEL by fire points	
Setaflash(CC)	Manual	19	55	-	1.10	11.95	-
	Auto	20	-	-	1.20	-	-
Pensky-Martens(CC)		21	-	-	1.30	-	-
Tag(OC)		28	-	28	2.25	-	2.25
Cleveland(OC)		34	-	34	3.46	-	3.46

인화점과 연소점은 동일하게 측정되었다. 위험물안전관리법에서 제4류위험물 제1석유류로 지정하여 안전을 확보하는 것이 타당하다고 본다.

측정된 TAA의 하부/상부인화점과 연소점에 의한 폭발하한계/상한계 계산을 위해 증기압식을 이용하였다[17].

$$\log P^f = 6.5193 - \frac{863.4}{(t + 135.3)} \quad (1)$$

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

Setaflash Manual의 하부인화점 19 °C와 상부인화점 55 °C를 식 (1)에 적용하였을 때 폭발하한계는 1.10 vol%, 상한계는 11.95 vol%로 계산되었다. 폭발하한계의 경우 Table 2에 제시된 1.2 vol% 보다 약간 낮게 계산되었으며, 폭발상한계는 문헌값보다 약 4 vol% 높게 계산되었다. Tag와 Cleveland에서 측정된 인화점과 연소점의 폭발하한계는 각각 2.25 vol%와 3.46 vol%로 계산되었다.

본 연구에서 제시한 인화점 자료와 측정된 하부/상부인화점에 의한 폭발하한계/상한계의 계산 방법은 다른 인화성액체의 인화점과 폭발한계 예측에 활용될 수 있으며, 연소점은 탱크의 누출사고 시 화재 방호의 기초 자료로 이용할 수 있다. 특히 인화점 연구는 위험물 구분에서 Cut-off에 해당하는 물질을 새로이 규정하는데 기반 연구가 될 수 있다.

#### 4.2. TAA의 최소자연발화온도 측정과 활성화에너지 계산

TAA의 AIT는 대부분의 문헌에서 437 °C를 제시하고 있다. 본 연구에서는 이를 근거로 350 °C에

서 측정하였으나 발화되지 않아, 계속 30 °C를 상승시켜 실험한 결과 440 °C, 15.32sec에서 발화되어 다시 10 °C를 낮추어 실험을 하였으나 발화되지 않아 이후 1 ~ 2 °C를 상승시켜 실험한 결과 19.38sec에서 AIT 435 °C를 찾았다. TAA의 발화온도와 발화지연시간을 Table 4에 나타내었다. TAA의 AIT 435 °C는 문헌들과 거의 일치하였으므로 이를 사용하는 공정의 MSDS의 연소 특성치로 사용하여 안전을 확보할 수 있다.

TAA의 활성화에너지(E, activation energy)는 발화온도와 발화지연시간의 측정값을 이용하여 최적화한 결과 다음과 같다.

$$\log \tau = -6.37 + 5391.25 \left( \frac{1}{T} \right) \quad (2)$$

여기서  $\tau$ 는 발화지연시간이고, T는 발화지연시간에서의 발화온도[K]이다.

Table 4와 Figure 1에는 측정된 발화지연시간과 식 (2)에 의해 예측된 발화지연시간을 나타내었으며, Figure 2는 실험을 진행하는 동안 장치 내부 플라스크에서의 자연발화온도와 발화지연시간을 나타낸 것이다. 식 (2)에 의한 계산값과 실험값의 평균절대오차대(A.A.D.)는 0.16sec, 결정계수는 0.99로서 실험값과 모델에 의한 계산값은 거의 일치하였다. 따라서 식 (2)를 이용하면 다른 자연발화온도에서 발화지연시간의 예측이 가능해 졌으므로 이를 취급하는 공정 안전에 활용되기를 기대한다.

활성화에너지(E)를 계산하기 위해서 Semenov식을 사용하였다[23].

Table 4. Comparison of experimental and predicted ignition delay time by the AIT of TAA

No.	T[K]	$\tau$ exp.[s]	$\ln \tau$ exp.	$\tau$ est.(Eq. 2)
1	708	19.38	2.96424	19.84
2	713	15.32	2.72916	15.49
3	733	9.69	2.27109	9.63
4	753	6.21	1.82616	6.14
5	773	4.30	1.45862	4.01
6	793	2.76	1.01523	2.68
7	803	2.10	0.74194	2.20
8	813	1.76	0.56531	1.82
A.A.D.	-	-	-	0.16

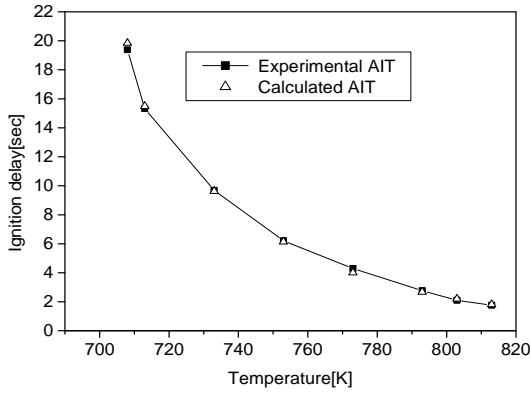


Fig. 1. Comparison between the experimental and calculated ignition delay times of TAA.

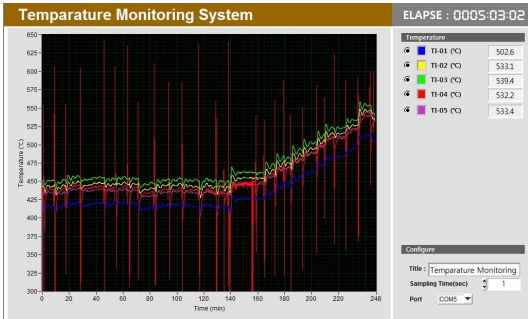


Fig. 2. A time history of the ignition temperature inside the test flask during an ignition experiment of TAA.

$$\log \tau = \frac{52.55E}{T} + B \quad (3)$$

본 연구에서 얻은 식 (2)과 식 (3)의 관계에서 활성화에너지는 102.59 kJ/mol로 계산되었다.

### 4.3. TAA의 폭발한계 온도의존성 및 MOC

TAA는 공정상에서 고온 혹은 고압 상태에서 운전하는 경우가 많다. 따라서 고온의 경우 폭발한계에 대한 온도의존성을 적용하여 안전을 확보해야 한다. 가연성가스 혹은 증기의 폭발한계의 온도의존성은 연소열, 비열 그리고 화염온도 등을 이용하여 제시할 수 있다[24].

$$\frac{L_{25}}{100} \cdot \Delta H_c = C_p(t_{lim} - 25) \quad (4)$$

$$\frac{L_t}{100} \cdot \Delta H_c = C_p(t_{lim} - t) \quad (5)$$

식(4)와 (5)를 전개하고, 알코올류의 폭발한계에서의 화염평균온도( $t_{lim}$ )는 1078°C를 적용하면 다음과 같은 관계식이 된다[25].

$$L_t = L_{25} [1 - 9.50 \times 10^{-4}(t - 25)] \quad (5)$$

TAA는 고온에서 운전하는 경우가 많으므로 식 (5)에 공정 온도 100 °C와 300 °C를 적용하면 1.02 vol%와 0.81 vol%로 계산된다. 또한 TAA의 MOC는 다음과 같이 예측이 가능하다.

$$MOC = (LFL)(O_2 \text{ moles}) \quad (6)$$

식 (6)에 의한 TAA의 MOC는 8.25vol%로서 문헌[26]에 제시된 9.6 vol%(100°C)보다 약 1.35 vol% 낮게 계산되었다.

## V. 결론

에폭시수지의 용매, 연료용기름과 바이오물질의 주원료, 의약품원료, 중간제품, 마취제 등 산업 전반에 다양하게 사용되고 있는 tert-Amyl alcohol(TAA)의 연소특성치인 하부/상부인화점, 연소점 그리고 최소자연발화온도(AIT)를 측정하고, 측정된 하부/상부인화점과 연소점을 이용하여 폭발한계를 계산하고 MOC를 예측하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 밀폐식 측정 장치인 Setaflash Manual의 하부/상부인화점은 각각 19 °C와 55°C, Setaflash Auto의 하부인화점 20 °C, Pensky-Martens은 21 °C, 개방식 Tag는 28 °C 그리고 Cleveland는 34 °C로 측정되었다. Tag와 Cleveland에 의한 연소점은 각각의 인화점과 동일하게 측정되었다.

2) Setaflash Manual 에서 측정된 하부/상부인화점에 의한 폭발하한계/상한계는 1.10 vol%와 11.95 vol%로서 하한계는 문헌값 보다 약간 낮게 계산되었으며, 폭발상한계는 문헌값 보다 약 3 vol% 높게 계산되었다.

3) 측정된 TAA의 AIT 435 °C는 기존 문헌값인

437 °C로 비슷하게 측정되었으며, 활성화에너지(E)는 102.59 kJ/mol로 계산되었다.

4) 폭발하한계의 온도의존성을 적용한 결과 100 °C에서는 1.02 vol%, 300 °C에서는 0.81 vol%로 계산되었다.

5) TAA의 기존의 문헌들의 인화점을 적용할 경우 위험물안전관리법에서 제 4류 제2석유류로 적용 가능하다고 해석될 수 있으나, 본 연구를 통해서 얻은 결과는 제 1석유류에 적용하는 것이 타당하다고 본다.

6) 본 연구에서 제시한 자연발화온도와 발화지연 시간의 관계식을 이용하여 화재방호 설계에 적용이 가능하다.

### 감사의 글

이 논문은 2019학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행된 연구임.

### References

- [1] Lees, F. P., *Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 2, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, (1996)
- [2] Kang, G. H. and Ha, D. M., "The Measurement of Combustible Properties of MSDS of Isobutylbenzene(IBB)", *Korean J. of Hazardous Materials*, **5**(1), pp. 35-41, (2017)
- [3] Das, B., Kumar, S. and Mondal, P., "Experimental Measurement and Correlation of Flash Point of Alterate PUREX/UREX Solvent(36% TiPa) in C8-C16 Diluents", *J. Radiational Nucl Chem*, **289**, pp. 503-505, (2011)
- [4] Mitchell, J.W. et al., "Experimental Flash Points of Industrial Amines", *J. of Chem. Eng. Data*, **44**, pp. 209-211, (1999)
- [5] Radnoff, D., "Accuracy of Reported Flash Point Values on Material Safety Data Sheets and the Impact on Product Classification", *J. of Occupational and Environmental Hygiene*, **10**, 540-546, (2013)
- [6] Ha, D. M., "The Measurement and Prediction of Combustible Properties of Phenol", *Korean J. of Hazardous Materials*, **6**(2), 24-30, (2018)
- [7] Swarts, D. E. and Orchin, M., "Spontaneous Ignition Temperature of Hydrocarbons", *Industrial and Engineering Chemistry*, **49**(3), 432-436, (1957)
- [8] Chen, C. C. and Hsieh, Y. C., "Effect Of Experimental Conditions on Measuring Auto-ignition Temperature of Liquid Chemicals", *Ind. Eng. Chem. Res.*, **49**(12), 5925-5932, (2010)
- [9] Ha, D. M., "The Prediction and Measurement of Combustion Properties of Bromobenzene", *Fire Sci. Eng.*, **29**(4), 21-25, (2015)
- [10] Lide, D. R., *Handbook Chemistry and Physics*, 76th ed., CRC Press, 1996
- [11] Perry, R. H. and Green, D. W., *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, 7th ed., McGraw-Hill, (1997)
- [12] Lewis, R. J., *SAX's Dangerous Properties of Industrial Materials*, 11th ed., John Wiley & Son, Inc., New Jersey, (2004)
- [13] KOSHA, <http://msds.kosha.or.kr/kcic/msdsdetail.do>
- [14] NFPA, *Fire Hazard Properties of Flammable Liquid, Gases, and Volatile Solids*, NFPA 325M, National Fire Protection Association, (1991)
- [15] Babrauskas, V., *Ignition Handbook*, Fire Science Publishers, Society of Fire Protection Engineers, (2003)
- [16] Lenga, R. E. and Votoupal, K. L., *The Sigma Aldrich Library of Regulatory and Safety Data*, Volume 1-III, Sigma Chemical Company and Aldrich Chemical Company Inc., 1993.
- [17] Dean, J. A., *Lange's Handbook of Chemistry*, 14th ed. McGraw-Hill, (1992)
- [18] Soheil, B. S., Morteza, S. S. and Fathollah, O., "Effective Oxygenates Blending with Gasoline to Improve Fuel Properties", *Chinese J. of Mechanical Enineering*, **25**(4), 792-796, (2012)
- [19] Stephenson, S. M., *Flash Points of Organic and Organometallic Compounds*, Elsevier, (1987)
- [20] Catoire, L., Paulmier, S., and Naudet, V., "Experimental Determination and Estimation of Closed Cup Flash Points of Mixtures of Flammable Solvents", *Process Saf. Prog.*, **25**(1), 33-39, (2006)
- [21] Katritzky, A. R. Petrukhin, R., Jain, R. and Karelson, M., "QSPR Analysis of Flash Point", *J. Chem. Inf. Comput. Sci.*, **41**, 1521-1530, (2001)
- [22] Zabetakis, G.M., Furno, A. L. and Jones, G. W., "Minimum Spontaneous Ignition Temperature of Combustibles in Air", *Industrial and Engineering Chemistry*, **46**(2), 2173-2178, (1954)
- [23] Semenov, N. N., *Some Problems in Chemical*

- Kinetics and Reactivity*, Vol. 2, Princeton University Press, Princeton, N.J., (1959)
- [24] Lewis, B. and von Elbe, G., *Combustion Flame and Explosions of Gases*, Academic Press, 1961.
- [25] Ha, D. M., "A Study on Explosive Limits of Flammable Materials - Prediction of Explosive Properties and Temperature Dependence of Explosive Limits for n-Alcohols-", *J. of the Korean Society of Safety*, **14**(1), 93-100, (1999)
- [26] Osterberg, P. M. et al., " Experimental Limiting Oxygen Concentrations for Nine Organic Solvents at Temperature and Pressure Relevant to Aerobic Oxidations in Pharmaceutical Industry", *Organic Process Research Development*, **19**, 1537-1543, (2015)