

에틸벤젠의 연소특성치 측정 및 예측

하동명

세명대학교 보건안전공학과

(2014년 9월 1일 접수, 2014년 12월 5일 수정, 2014년 12월 5일 채택)

The Measurement and Prediction of Combustible Properties for Ethylbenzene

Dong-Myeong Ha

Dept. of Occupational Health and Safety Engineering., Semyung University

(Received 1 September 2014, Revised 5 December 2014, Accepted 5 December 2014)

요 약

에틸벤젠의 안전한 취급을 위해, 폭발한계는 문헌을 통해 고찰하였으며, 인화점과 발화지연시간에 의한 자연발화온도는 시험장치를 이용하여 측정하였다. 인화점의 경우 밀폐식 장치인 Setaflash와 Penski-Martens에 의한 하부인화점은 각각 20 °C와 22 °C로 측정되었으며, 개방식인 Tag와 Cleveland에서는 각각 25 °C와 28 °C로 측정되었다. ASTM E659 장치를 사용하여 자연발화온도와 발화지연시간을 측정하였고, 최소자연발화온도는 430 °C로 측정되었다. 에틸벤젠의 측정된 인화점을 이용하여 폭발하한계와 상한계는 0.93 Vol.%와 7.96 Vol.%로 계산되었다.

주요어 : 에틸벤젠, 인화점, 폭발한계, 최소자연발화온도(AIT)

Abstract - For the safe handling of ethylbenzene, this study was investigated the explosion limits of ethylbenzene in the reference data. And the lower flash points, upper flash points and AITs(auto-ignition temperatures) by ignition delay time were experimented. The lower flash points of ethylbenzene by using Setaflash closed-cup and Pensky-Martens closed-cup testers were experimented 20 °C and 22 °C, respectively. The lower flash points ethylbenzene by using Tag and Cleveland open cup testers were experimented 25 °C and 28 °C, respectively. Also, this study measured relationship between the AITs and the ignition delay times by using ASTM E659 tester for ethylbenzene. The experimental AIT of ethylbenzene was 430 °C. The calculated LEL and UEL by using the measured lower flash point and upper flash point were 0.93 Vol.% and 7.96 Vol.%, respectively.

Key words : ethylbenzene, flash point, explosion limit, autoignition temperature(AIT)

1. 서 론

각종 화학물질은 잠재적 위험성이 크므로 보관, 수송 및 처리할 때 특별한 주의를 필요로 하고 있다. 물질보건안전자료(MSDS; Material Safety Data Sheet)는 사업장의 근로자들에게 위험 정보를 제공함으로써

사업장에서의 사고를 줄이는데 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 신뢰도가 낮은 MSDS는 근로자의 안전을 위협할 뿐만 아니라, 잘못된 정보의 전달은 중대 재해로 이어질 수 있다. 따라서 정확한 MSDS 연소 특성치의 사용은 공정 안전에 매우 중요하다. MSDS의 연소특성치로는 인화점, 폭발한계, 최소자연발화 온도 등을 들 수 있다[1].

인화점은 하부인화점과 상부인화점으로 나누고 있으며, 일반적으로 하부인화점을 인화점이라 한다. 인

[†]To whom corresponding should be addressed.

Dept. of Occupational Health and Safety Engineering.,
Semyung University, Jecheon 390-711, Korea
Tel : +82-43-649-1321 E-mail : hadm@semyung.ac.kr

화점은 가연성 액체의 화재 위험성을 나타내는 지표로써, 가연성액체의 액면 가까에서 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 온도, 압력, 산소농도, 불활성가스의 농도, 화염전과 방향, 장치의 표준상태, 물리적 상태 등에 영향을 받으므로 문헌에 따라 다른 값들이 제시되고 있다. 또한 폭발한계를 실험하기 어려운 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].

본 연구의 대상물질인 에틸벤젠은 유기공업의 가장 중요한 중간물의 하나이며, 석유화학산업에서 스티렌을 생산하는 데 중간물질로서 사용되는 중요한 방향족탄화수소이다. 또한 희석제, 합성 고무의 제조, 용매 또는 희석제로, 자동차와 항공 연료의 구성성분, 초산 섬유소 제조, 페인트, 살충제, 안료, 도료, 약품 그리고 스티렌의 전구체로 주로 사용된다. 본 연구에서 에틸벤젠의 인화점과 자연발화온도를 측정하여 기존의 자료와 비교하였고, 폭발한계는 여러 문헌에 제시된 자료의 타당성을 검토하기 위해 측정된 인화점을 이용하여 계산하였다. 본 연구에서 제시된 에틸벤젠의 연소특성치들은 이를 취급하는 공정에서 안전을 확보하는 지침 마련과 MSDS의 최신화에 도움을 주는데 목적이 있다.

2. 에틸벤젠의 물리적 및 연소특성

2-1 에틸벤젠의 물리적 특성

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. 에틸벤젠의 물리적 특성은 요약하여 Table 1에 나타내었다[3,4].

Table 1. Physical properties of ethylbenzene

Properties	Component	Ethylbenzene
CAS number		100-41-4
Molecular formula		C ₈ H ₁₀
Boiling point		136 °C
Melting point		95 °C
Vapor pressure		1.28kPa(25 °C), 34.2kPa(25 °C)
Viscosity		0.631mPa·s(25 °C)
Solubility(Water)		0.15g/L(20 °C)
Critical temperature		344 °C
Critical pressure		36 atm
Critical volume		374cm ³ /mol
Vapor density(Air=1)		3.7
Specipic gravity(Water=1)		0.867

2-2 에틸벤젠의 연소특성

에틸벤젠은 위험물안전관리법 제 4류위험물의 제 1석유류(비수용성액체, 지정수량 200 L)이고, 산업안전보건법은 작업환경측정대상물질과 특수건강진단대상물질로 규정하고, 폐기물관리법은 지정폐기물로 규정하고 있다. NFPA에서는 화재위험성은 3등급, 반응위험성은 0 등급 그리고 보건위험성은 2등급이다. 에틸벤젠은 알코올, 벤젠, 사염화탄소 및 에테르와 용해되며, 상온에서 방향족 탄화수소 특유의 냄새가 나고 무색투명한 액체 상태로 존재한다.

에틸벤젠의 증기는 화재 및 폭발을 일으킬 수 있으며, 인화점이나 그 이상에서 폭발성 혼합물을 형성할 수 있다. 가열시 용기가 폭발할 수 있다. 피해야할 발화원은 열, 스파크, 화염 등 이고, 증기는 공기보다 무거우므로 누출 시 원거리의 발화원으로 부터 점화되어 순식간에 확산될 수 있다. 또한 증기는 공기와 폭발성 혼합물을 형성하며, 증기는 점화원까지 이동하여 역화할 수 있다. 그리고 열분해 시 자극성, 부식성, 독성 가스 등이 배출되므로 안전관리가 필요하다.

소화약제로는 알코올 포말, 이산화탄소 또는 물분무를 사용하고, 질식소화 시 건조한 모래 또는 흙을 사용할 수 있다. 저장 및 보관방법은 용기가 비워진 후에도 제품이 남아 있을 수 있으므로 예방 조치를 하고, 환기가 잘되는 곳에 단단히 밀폐하여 저장해야 한다.

Table 2. Comparison of explosion limits of ethylbenzene in air by several references

References	Explosion Limits [Vol.%]	
	Lower	Upper
NFPA[5]	0.8	6.7
SFPE[6]	1.0	-
Sigma[7]	1.0	6.7
Ignition[8]	1.0	6.7
Lange[9]	1.2	6.8
SAX[10]	1.2	6.8
CRC[3]	1.0	7.0
KOSHA[11]	0.8	6.7

3. 에틸벤젠의 연소특성치 분석

3-1 에틸벤젠의 폭발한계

에틸벤젠의 폭발한계는 Table 2에 알 수 있듯이 NFPA와 KOSHA에서 가장 낮은 0.8Vol.%를 제시하고 있으며, SAX 등에서 가장 높은 1.2 Vol.%으로 약 0.4 Vol%의 차이를 보이고 있다. 에틸벤젠의 폭발상한계는 NFPA, Sigma 그리고 KOSHA 등에서는 6.7 Vol.%, CRC에서는 7.0 Vol.%로서 약 0.3 Vol.%의 차이를 보이고 있다.

3-2 에틸벤젠의 인화점

인화점은 가연성액체의 화재 위험성을 나타내는 지표로서 하부인화점(Lower Flash Point)과 상부인화점(Upper Flash Point)으로 나눌 수 있다. 인화점 측정의 매개변수(Parameter)로는 용기형태, 시료량, 발화원, 온도조절기, 주위압력, 시료의 균일성, 실험자, 자료의 편차 등이 있다. 측정방법으로 밀폐식(CC)은 Pensky-Martens과 Setaflash 등이 있으며, 개방식(OC)은 Tag와 Cleveland 등이 있다.

Table 3에서는 에틸벤젠의 하부인화점을 정리하여

Table 3. The lower flash point of several reported data for ethylbenzene

Compound	Flash points [°C]								
	NFPA [5]	SFPE [6]	Sigma [7]	Ignition [8]	Lange [9]	SAX [10]	CRC [3]	Nabert [12]	KOSHA [11]
Ethylbenzene	21	15(CC), 24(OC)	22.2	15	20	15	21	23	18

Table 4. The autoignition temperature of several reported data for ethylbenzene

Compound	AITs[°C]										
	NFPA [5]	SFPE [6]	Sigma [7]	Ignition [8]	Lange [9]	SAX [10]	CRC [11]	Hilado [13]	Zabetakis [14]	Scott [15]	KOSHA [11]
Ethylbenzene	432	432	432	477	432	432	432	432	432	477	432

나타내었다. 밀폐식에서는 가장 낮은 값인 SFPE와 SAX 등에서 15 °C이고, 가장 높은 값은 Nabert로서 23 °C를 제시하였다. SFPE에서는 밀폐식에서는 15 °C, 개방식은 24 °C를 나타내었다. 밀폐식의 경우 문헌에 따라 8 °C의 차이를 보이고 있다. 특히 인화점을 위험물의 기준으로 하는 소방법에서 에틸벤젠의 경우 문헌에 따라 15 °C ~ 23 °C로 제시되고 있어 제 4류위험물의 제 1석유류(인화점 21°C 미만)와 제 2석유류(인화점 21 °C 이상 70 °C 미만)의 경계선에 있는 물질로서 공정안전 관리를 위해서는 인화점의 고찰이 필요하다.

3-3 에틸벤젠의 최소자연발화온도

자연발화온도는 연료의 구조, 개시온도, 화학양론비, 용기의 크기, 촉매, 유속, 가연속도, 가열원의 종류, 지연시간, 실험자 등 많은 인자에 의존한다. 에틸벤젠의 최소자연발화온도를 정리하여 Table 4에 나타내었다. 에틸벤젠의 최소자연발화온도에 대해 NFPA, Hilado 그리고 KOSHA 등에서는 432 °C로 제시하고 있으며, Ignition과 Scott는 477 °C를 제시하고 있다. 가장 높은 값과 낮은 값은 약 45 °C의 차이를 보이므로 이에 대한 신뢰성 평가가 필요한 물질이라고 판단된다. 안전을 고려한 최적의 공정설계를 위해서는 정확한 AIT의 실험적 연구가 필요하다.

4. 연소특성 실험장치

4-1 실험재료

본 연구에서 사용한 에틸벤젠(Acros, 99%)의 시료는 별도의 정제과정을 거치지 않고 사용한다.

4-2 실험장치

Table 5. Comparison of several flash point 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 or 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	80	The temperature of the specimen is increased at 5-6°C/min

4-2-1 인화점 측정 장치

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 사용된 장치인 Setaflash와 Pensky-Martens 밀폐식 그리고 Tag와 Cleveland 개방식의 구성 요소를 간략히 정리하면 다음과 같다[16].

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, 가스 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 5에 나타내었다.

4-2-2 자연발화온도 측정장치(ASTM E659-78)

본 실험에서는 액체 화학물질의 자연발화점 측정 장치로서 ASTM E659-78 장치를 사용하여 자연발화 온도를 측정하였으며, 장치는 크게 Furnance, Temperature Controller, Thermocouple, Test Flask, Hypodermic Syringe, Mirror, Air Gun으로 구성되어 있다[16].

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 10분전에 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 폭발한계의 비교 고찰

본 연구에서 인화점 장치를 이용하여 에틸벤젠의 하부인화점을 측정한 결과, 밀폐식인 Setaflash는 20 °C, Pensky-Martens는 22°C로 측정되었으며, 개방식인 Tag는 25 °C, Cleveland는 28 °C로 측정되었다. 그리고 Setaflash에 의한 상부인화점은 62 °C로 측정되었다.

에틸벤젠의 폭발한계의 자료를 검토한 결과 하한계는 1.0 Vol.% 상한계는 6.7 Vol.%를 많이 인용하고 있다. 에틸벤젠의 폭발한계의 자료의 신뢰성을 검증하기 위해 Antoine 식[17]을 사용하여 폭발한계를 계산할 수 있다.

Table 6. Estimated explosion limits by experimental flash points for ethylbenzene

Testers	Experimental (°C)		Estimated(LEL) (Vol%)	
	Lower flash points	Upper flash points	by Lower flash points	by Upper flash points
Setaflash(CC)	20	62	0.93	7.96
Pensky-Martens(CC)	22	-	1.05	-
Tag(OC)	25	-	1.25	-
Cleveland(OC)	28	-	1.49	-

$$\log P^f = 6.9658 - \frac{1429.55}{(t + 213.767)} \quad (1)$$

여기서, Pf는 증기압(mmHg)이고, t는 온도(°C)이다.

Setaflash와 Pensky-Martens 밀폐식 그리고 Tag와 Cleveland 개방식에 의해 얻어진 인화점을 이용하여 식 (1)에 의한 폭발하한계와 상한계의 계산값을 Table 6에 나타내었다.

Setaflash 밀폐식에 의해 측정된 하부인화점 20 °C를 적용하는 경우 폭발하한계는 약 0.93 Vol.%로 계산되었고, 상부인화점 62 °C에 의한 폭발상한계는 7.96 Vol.%로 계산되었다. 본 연구에서 계산된 폭발하한계 0.93 Vol.%는 SFPE와 Sigma 등의 문헌값인 1.0 Vol.%와 비슷한 결과를 보였으며, 계산된 폭발상한계는 7.96 Vol.%는 CRC에서 제시한 7.0 Vol.%보다 약간 높게 계산되었다. 그러나 측정된 인화점이나 문헌에 제시된 인화점을 이용하여 폭발한계의 예측이 가능함을 알 수 있다.

5-2 에틸벤젠의 자연발화온도 고찰

에틸벤젠의 최소자연발화온도는 문헌[5-11]에 따라 432 °C ~ 477 °C로 제시되고 있다. 따라서 본 실험에서는 초기설정온도를 390 °C로 하여 실험한 결과 비발화되어, 다시 30 °C를 상승 시켜 420 °C에서 실험한 결과 역시 비발화되었다. 다시 30 °C 상승시킨 450 °C에서 실험한 결과 13.49sec에서는 발화되었다. 다시 2~5 °C 낮추어 실험한 결과 430 °C에서 최소발화온도를 찾았다. 이를 기점으로 5°C 혹은 10°C 씩 상승시켜 발화지연시간을 측정한 결과 440 °C에서는 17sec, 470 °C에서는 8.41sec, 490°C에서는 7.75sec, 510 °C에서는 5.36sec 그리고 525 °C에서는 1.69sec에서 발화하였다.

에틸벤젠의 자연발화온도와 발화지연시간을 실험한 결과를 Table 7에 나타내었다. 본 연구에서 에틸벤젠의 최소자연발화온도인 430 °C는 기존의 문헌들

Table 7. Comparison of experimental and calculated ignition delay time by the AIT for ethylbenzene

No.	T[K]	τ_{exp} [s]	$\ln \tau$	$\tau_{est.}$ (Eq. 3)
1	703.15	34.91	3.5528	26.67
2	713.15	17.00	2.8332	20.38
3	723.15	13.49	2.6019	15.69
4	733.15	9.53	2.2544	12.16
5	743.15	8.41	2.1294	9.50
6	753.15	8.03	2.0832	7.46
7	763.15	7.75	2.0477	5.90
8	773.15	6.13	1.8132	4.69
9	783.15	5.36	1.6790	3.76
10	788.15	3.21	1.1663	3.37
11	793.15	2.98	1.0919	3.02
12	798.15	1.69	0.5247	2.72
A.A.D.	-	-	-	2.02

이 제시하고 있는 432 °C 보다 약 2°C 낮은 온도로서, 공정에서는 477 °C보다는 약 430 °C를 사용하는 것이 타당하다고 본다.

실험에서 측정된 발화온도와 발화시간의 관계를 고찰하기 위해 선형식인 Arrhenius 형태로 최적화하여 다음과 같은 식을 제시한다.

$$\ln \tau = -15.90 + 13490.75 \left(\frac{1}{T} \right) \quad (2)$$

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

$$\log \tau = -6.91 + 5858.97 \left(\frac{1}{T} \right) \quad (3)$$

식 (3)에 의한 예측된 발화지연시간들을 실험값과 비교하여 Table 7과 Figure 1에 나타내었다. 추산값과 실험값의 차이의 정도를 알기 위해 A.A.D. (Average Absolute Deviation) 와 상관계수(r)를 사용하였다[18].

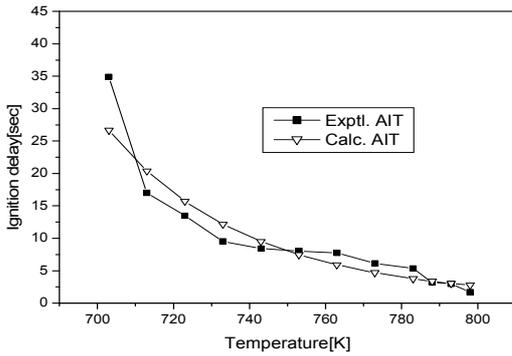


Fig. 1. A comparison between the experimental and calculated delay times for ethylbenzene.

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

$$r = \left(\frac{SSR}{SST} \right)^{1/2} \quad (5)$$

여기서 $\tau_{est.}$ 는 추산식에 의해 추산된 발화지연시간이고, $\tau_{exp.}$ 는 실험값이며, N 은 자료수, r 은 상관계수, SSR 은 회귀에 의한 제곱합(Sum of Squares due to Regression), SST 는 SSR 과 잔차에 의한 제곱합(Sum of Squares due to Residual Error)의 합이다.

식 (3)에 의한 예측값과 실험값 사이의 평균절대 오차는 2.02sec이며, 상관계수(r)는 0.94로서 실험값과의 모사성은 크다.

활성화에너지(E)는 Semenov[19]가 제시한 식 (6)을 이용하면 가능하다.

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

식 (3)을 식 (6)에 대입하여 계산된 활성화에너지는 111.49 kJ/mol이다.

6. 결 론

본 연구에서는 에틸벤젠의 연소특성 가운데 인화점과 최소자연발화온도(AIT)를 측정하였고, 폭발한계는 여러 문헌들과 비교 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 에틸벤젠의 폭발한계를 고찰한 결과, 하한계

는 1.0 Vol.% 상한계는 6.7 Vol.%를 많이 사용되고 있다.

- 2) 에틸벤젠의 하부인화점을 측정한 결과, 밀폐식인 Setaflash는 20℃, Pensky-Martens는 22℃로 측정되었으며, 개방식인 Tag는 25℃, Cleveland는 28℃로 측정되었다. 그리고 Setaflash에 의한 상부인화점은 62℃로 측정되었다.
- 3) Setaflash에 의해 측정된 하부인화점 20℃와 상부인화점 62℃를 이용하여 계산된 폭발한계는 0.93 Vol.%, 상한계는 7.96 Vol.%였다.
- 4) 측정된 에틸벤젠의 최소자연발화온도는 430℃로서 기존의 문헌값 AIT인 432℃보다 약 2℃ 낮게 측정되었다.
- 5) 에틸벤젠의 자연발화온도와 발화지연시간의 관계는 다음과 같다.

$$\log \tau = -6.91 + 5858.97 \left(\frac{1}{T} \right)$$

- 6) Semenov식을 이용하여 계산된 에틸벤젠의 활성화에너지(E)는 111.49 kJ/mol이다.
- 7) 에틸벤젠은 위험물안전관리법에서 제4류위험물의 제 1석유류로 지정되어 있으나, 본 연구에서 인화점이 20℃와 22℃로 측정됨에 따라 제 2석유류 기준인 인화점 21℃이상에도 해당 되므로 위험물 분류에 대한 재검토가 필요하다.

References

1. Lees, F.P. : "Loss Prevention in the Process Industries", Vol. 2, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, (1996)
2. Ladwig, T.H. : "Industrial Fire Prevention and Protection", Van Nostrand Reinhold, (1991)
3. Lide, D.R. : "Handbook Chemistry and Physics", 76th ed., CRC Press, (1996)
4. Perry, R.H. and Green, D.W. : "Perry's Chemical Engineer's Handbook", 7th ed., McGraw-Hill, (1997)
5. NFPA : "Fire Hazard Properties of Flammable Liquid, Gases, and Volatile Solids",

- NFPA 325M, National Fire Protection Association, (1991)
6. SFPE : "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", 2nd ed., Society of Fire Protection Engineers, (1995)
 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. Babrauskas, V. ; "Ignition Handbook", Fire Science Publishers, Society of Fire Protection Engineers, (2003)
 9. Dean, J.A. : "Lange's Handbook of Chemistry", 14th ed. McGraw-Hill, (1992)
 10. Lewis, R.J. : "SAX's dangerous Properties of Industrial Materials", 11th ed., John Wiley & Son, Inc., New Jersey, (2004)
 11. KOSHA : www.kosha.or.kr/msds/msdsMain.do?menuId=69
 12. Nabert, N. and Schoen, G. : "Sicherheitstechnische Kennzahlen Brennbarer Gases und Daempfe, 2nd ed., Deutscher Eichverlag GmbH, Brannschweig, West Germany.
 13. Hilado, C.J. and S.W. Clark : "Autoignition Temperature of Organic Chemicals", Chemical Engineering, Vol. 4, 75-80, (1972)
 14. 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)
 15. Scott, G.S., G.W. Jones and F.E. Scott ; "Determination of Ignition Temperature of Combustible Liquids and Gases", Analytical Chemistry, 20(3), 238-241, (1948).
 16. Ha, D.M. : "The Measurement of Fire and Explosion Properties of n-Pentadecane", J. of the Korean Society of Safety, Vol. 28, No. 4, pp. 53-57, (2013)
 17. Gmehing, J., Onken, U., and Arlt, W., Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection, Deutsche Gesellschaft fur Chemisches Apparatewesen, (1980)
 18. Ha, D.M. : "The Evaluation of Hazard by Measurement of Combustible Characteristics of n-Tetradecane", J. of the Korean Society of Safety, Vol. 27, No. 5, pp. 70-76, (2012)
 19. Semenov, N.N : "Some Problems in Chemical Kinetics and Reactivity, Vol. 2", Princeton University Press, Princeton, N.J., (1959)