

테트라린의 연소특성치 평가에 관한 연구

하동명[†]

세명대학교 보건안전공학과
(2018. 5. 2. 접수 / 2018. 6. 12. 채택)

A Study of the Evaluation of Combustion Properties of Tetralin

Dong-Myeong Ha[†]

Dept. of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University
(Received May 2, 2018 / Accepted June 12, 2018)

Abstract : In the industrial chemical process involving combustible materials, reliable safety data are required for design prevention, protection and mitigation measures. The accurate combustion properties are necessary to safely treatment, transportation and handling of flammable substances. The combustion parameters necessary for process safety are lower flash point, upper flash point, fire point, lower explosion limit(LEL), upper explosion limit(UEL)and autoignition temperature(AIT) etc.. However, the combustion properties suggested in the Material Safety Data Sheet (MSDS) are presented differently according to the literatures. In the chemical industries, tetralin which is widely used as a raw material of intermediate products, coating substances and rubber chemicals was selected. For safe handling of tetralin, the lower and flash point, the fire point, and the AIT were measured. The LEL and UEL of tetralin were calculated using the lower and upper flash point obtained in the experiment. The flash points of tetralin by using the Setaflash and Pensky-Martens closed-cup testers measured 70°C and 76°C, respectively. The flash points of tetralin using the Tag and Cleveland open cup testers are measured 78°C and 81°C, respectively. The AIT of the measured tetralin by the ASTM E659 apparatus was measured at 380°C. The LEL and UEL of tetralin measured by Setaflash closed-cup tester at 70°C and 109°C were calculated to be 1.02 vol% and 5.03 vol%, respectively. In this study, it was possible to predict the LEL and the UEL by using the lower and upper flash point of tetralin measured by Setaflash closed-cup tester. A new prediction method for the ignition delay time by the ignition temperature has been developed. It is possible to predict the ignition delay time at different ignition temperatures by the proposed model.

Key Words : tetralin, combustion properties, material safety data sheet (MSDS), process safety, industrial chemical process

1. 서론

최근 산업의 다양화로 인해 화학물질의 취급 및 사용이 급격히 증가하는 추세를 보이고 있다. 이들 물질의 보관, 관리, 수송 그리고 처리하는 과정에서 예상하지 못한 화재 및 폭발 사고 역시 발생되고 있다. 화학 산업에서 사고를 예방하고 그로 인한 손실을 방지하기 위해서는 우선 대상 공정이나 대상 작업 중에 존재하는 위험을 찾아내는 것이 무엇보다 중요하다. 일반적으로 화학사고의 재해 유형은 화재, 폭발 그리고 독성 물질의 누출 등으로 볼 수 있다¹⁾. 이와 같은 재해로 인해 근로자에게 상해뿐만 아니라 사업장의 기계를 비롯해 설비의 손상에 이르기까지 직·간접 손실을 가져오고 있다. 사업장의 손실 예방을 위해서는 생산 과정에

서 생성되는 원료, 중간제품 및 완제품 등의 안전성평가가 반드시 수행되어야 위험으로부터 근로자의 안전을 확보할 수 있다. 취급물질의 안전성평가는 사용하는 물질들로부터 발생될 수 있는 여러가지 재해의 발생 가능성을 사전에 예방하고, 유사시에는 긴급히 대처할 수 있는 방안을 강구하는 것이다^{2,3)}.

가연성물질에 관련된 연소특성치는 수 없이 많지만 가장 대표적으로 인화점, 연소점, 폭발한계, 최소자연발화온도(Autoignition Temperature, AIT) 등을 들 수 있다^{3,4)}.

특히 인화점, 최소자연발화온도, 폭발한계는 위험물 안전관리법, 산업안전보건법, 화학물질안전관리법, 고압가스안전관리법 그리고 GHS(Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals) 등에서 물질의 위험특성을 구분하는데 중요한 지표로 사

[†] Corresponding Author : Dong-Myeong Ha, Tel : +82-43-649-1321, E-mail : hadm@semyung.ac.kr

Department of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University, 65 Semyung-ro Jecheon city, Chungbuk 27136, Korea

용되고 있다. 그러나 동일한 물질인데도 불구하고 이들 연소특성치들이 장치의 종류, 실험 조건, 재료의 순도, 측정시료의 량, 주변의 압력 등 여러 변수에 의해 각기 다른 측정값을 갖게 되는 경우가 많다. 따라서 공정에서 사용하는 대상 물질에 대해 기존의 연소특성값들을 분석하고 이를 근거로 정확한 실험을 통해 사업장의 안전을 위한 방호시스템을 구축해야한다^{3,4)}.

동일한 물질에 대해 연소특성치들의 다른 값들을 제시한 연구로 인화점의 경우 Liaw 등⁵⁾은 노말부틸알코올은 문헌에 따라 약 8°C, 노말펜탄올은 약 12°C의 차이가 있음을 확인하였다. 폭발한계에 대한 연구 Britton⁶⁾은 메탄에서 노말부탄까지 문헌들에 제시된 폭발한계를 분석한 결과 문헌에 따라 차이가 있음을 파악하고, 이들을 취급하는 공정에서 안전을 위해 충분한 검토가 필요하다고 보고하였다. 그리고 최소자연발화온도에 대한 연구로 Hialdo 등⁷⁾은 아세톤의 경우 문헌에 따라 약 70 K의 차이를, 아세틱에시드는 약 100 K의 차이가 있음을 확인하였다. Hsieh 등⁸⁾은 18개의 가연성액체의 문헌들에 제시된 AIT를 고찰한 결과 아세트알데히드는 문헌에 따라 약 340 K 이상의 차이, 2-Heptanone은 약 140 K의 차이를 조사하였다. 특히 대부분 공정에서 사용되고 있는 혼합물의 위험성 평가를 위해서는 혼합물을 구성하는 순수물질의 정확한 연구가 반드시 선행되어야만 안전을 확보할 수 있다.

본 연구에서는 산업현장에서 널리 사용되며, 나프탈렌을 접촉 수소화시켜서 얻는 방향족탄화수소로 무색의 액체인 테트라린(Tetralin)을 선정하였다. 테트라린은 테트라하이드로나프탈렌이라고도 하며, 물에는 녹지 않으나 에탄올, 부탄올, 아세톤, 에테르, 벤젠, 클로로포름 등에 녹는다. 그리고 탈수소에 의해 나프탈렌, 수소 첨가에 의해 데칼린, 산화에 의해 과산화물 및 프탈산 무수물, 염소화에 의해 5- 및 6-클로로테트라히드로나프탈렌, 니트로화에 의해 5- 및 6-니트로테트라히드로나프탈렌이 각각 생성된다. 주로 도로·고무 등의 용제로 사용되지만, 세정의 목적으로 사용되는 경우도 있다. 특히 테트라린의 인화점은 문헌들에 71°C로 제시된 문헌들이 많은데 이 인화점 71°C는 위험물안전관리법에서 제 4류위험물의 제 3석유류(인화점 21°C 이상 70°C 미만)의 경계에 해당되는 물질로서 보다 정확한 검토와 고찰이 필요하다.

본 연구에서는 테트라린의 하부와 상부인화점, 연소점 그리고 AIT를 측정하여 기존의 자료들의 타당성을 검토하였다. 또한 본 연구에서 측정된 하부 및 상부인화점을 이용하여 폭발한계와 상한계를 계산하여 기존에 제시된 값들과 비교하였다. 제시된 테트라린의

실험 자료와 폭발한계의 예측 방법은 이를 사용하는 공정에서 안전을 확보하는데 활용되기를 기대하며, 다른 위험성물질에 대한 타당성 평가와 현재 사용되고 있는 MSDS(Material Safety Data Sheet)의 개선에 기대한다.

2. 테트라린의 위험성평가를 위한 물리적 및 연소특성치 분석

2.1 테트라린의 물리적 특성

산업현장에서 널리 이용되고 있는 테트라린의 대표적인 물리적 특성치를 Table 1에 나타내었다^{9,10)}.

각 국은 근로자의 안전을 위해서 MSDS를 제공하고 있다. MSDS는 근로자가 사용하게 되는 취급물질에 관한 정보뿐만 아니라 공정 운전 중에 예기치 못한 사고가 발생되었을 때 응급조치할 수 있는 방법도 제시하고 있다. 정확한 MSDS의 사용은 사업장 종사자들의 안전을 증진시킬 수 있으며, 기업 차원에서는 재해로 인한 경제적 손실을 줄이므로써 비용 절감의 효과를 가져 올수 있다. 특히 제시되고 있는 MSDS의 연소특성치는 최근에 실험에서 얻은 측정값과 다른 경우가 많다. 그 이유는 제조사가 본 시료에서 얻은 실험값보다는 그동안 사용해 오고 있는 연소특성치를 그대로 적용하기 때문으로 판단된다.

테트라린은 GHS의 인화성액체 분류기준에서는 Category 4(인화점 60 ~ 93°C)에 해당하는 물질이며, NFPA(National Fire Protection Association)의 위험성 코드에서는 보건위험성 1, 화재위험성 2, 반응위험성 0으로서 다른 가연성물질에 비해 화재위험성은 크나, 반응성은 적은 편이다.

Table 1. Physical properties of tetralin

Properties	Component	Tetralin
CAS number		119-64-2
Molecular formula		C ₁₀ H ₁₂
Boiling point		207.6°C
Melting point		-35.8°C
Vapor pressure		0.05 kPa(at 25°C)
Viscosity		2.202 mN · s · m ² (at 25°C)
Solubility(Water)		immiscible
Critical temperature		446.75°C
Critical volume		408 cm ³ /mol
Vapor density(Air=1)		4.55
Specific gravity(Water=1)		0.9702(at 20°C)

테트라린은 인화점이 높아서 상온에서 위험성은 없으나, 가열하면 연소위험성이 증가한다. 주로 고온 공정에서 사용됨으로 고온 조건에서 위험성 평가가 같이 이루어져야 한다. 연소 시에는 자극적인 독성 가스뿐만 아니라 일산화탄소, 이산화탄소, 흠 등이 발생할 수 있다. 그리고 강산화제와 격렬히 반응하며 공기 중 장기간 노출되면 불안정한 테트라린 산화물을 형성할 수 있다. 피해야 할 물질로는 구리와 알루미늄 등의 금속류, 산화제류, 산류, 산연화물류, 산 무수물류 등이 있다.

테트라린의 증기는 공기보다 약 4.5배 정도 무거우므로 누출에 의한 재해를 예방하기 위해서 방폭 조치를 강구해야 하고, 소화약제로는 물분무, 알코올포, 분말소화약제 그리고 이산화탄소 등을 사용할 수 있다.

2.2 테트라린의 연소특성치 분석

사업장의 안전을 위해서는 취급 물질의 화재 및 폭발 특성치를 측정해서 사용해야 하나, 여건상 측정이 어려운 경우는 이론을 근거로 예측을 하거나 문헌에 제시된 자료들을 분석하여 이용할 수도 있다. 그러나 MSDS를 비롯해 문헌에 제시된 특성치들이 충분한 검증을 거치지 않고 제시된 사례가 많다고 볼 수 있다. 따라서 공정안전에 가장 중요한 가연성물질의 연소특성치 실험적 연구는 무엇보다 필요하다¹¹⁾.

연소특성치 가운데 인화점 측정 장치는 밀폐식(Closed-cup, CC)과 개방식(Open cup, OC)으로 구분할 수 있으며, 밀폐식은 Setaflash와 Pensky-Martens 등이 있으며, 개방식으로는 Tag와 Cleveland 등을 들 수 있으며, 개방식 장치는 연소점의 측정이 가능하다. 측정값은 장치의 특성을 비롯해 여러 변수에 의해 달라진다. 폭발한계는 하한계(LEL)와 상한계(UEL)으로 구분되며 실험값 역시 장치의 크기와 점화원의 위치 등 측정 변수에 따라 다른 값들이 달라진다. 또한 AIT도 역시 순도, 시료량, 발화지연시간, 장치의 크기 등 여러 조건에 따라 상당히 다른 값들로 측정된다^{3,4)}.

테트라린의 안전한 취급을 위해 한국산업안전보건공단(KOSHA)의 MSDS를 비롯해 여러 문헌들에서 제시된 인화점, 폭발한계 그리고 AIT를 조사하여 Table 2에 나타내었다^{10,12-19)}.

테트라린의 인화점은 KOSHA의 MSDS, NFPA, Ignition 등의 문헌에서 71°C, Smallwood는 74°C로서 약 3°C의 차이를 보이고 있으며, 개방식에서는 77°C로 제시하고 있다. 그러나 AIT는 Smallwood가 가장 낮은 225°C를, Jackson는 가장 높은 423°C로서 약 200°C의 차이를 보이고 있다. 폭발한계는 대부분의 문헌에서 하한계 0.8 vol%(100°C), 상한계 5.0 vol%(100°C)를 제시하고 있으나,

Table 2. Comparison of flash points, AITs and explosion limits of tetralin by several references

References	Flash points(°C)	AITs(°C)	LEL - UEL(vol%)
KOSHA MSDS ¹²⁾	71	385	0.8* - 5.0*
NFPA ¹³⁾	71	385	0.8* - 5.0*
SAX ¹⁴⁾	77.2(OC)	385	0.8* - 5.0*
Lange ¹⁰⁾	77	385	0.8 - 5.0
Ignition ¹⁵⁾	71	384	0.84 - 5.0
Smallwood ¹⁶⁾	74	225	0.8 - 5.0
Stephenson ¹⁷⁾	71(CC), 75(CC), 77(OC)	-	-
Hilado ¹⁸⁾	-	384 ~ 423	-
Jackson ¹⁹⁾	-	423	-

* 100°C

Ignition에서는 폭발하한계를 0.84 vol%로 제시하였는데, 이는 25°C에서 측정한 결과로 판단된다.

특히 테트라린은 하나의 문헌에서 인용한 사례가 많다고 판단되며, 특히 AIT는 약 200°C의 차이를 보이고 있으므로 이를 사용하는 공정에서 안전을 확보하기 위해서는 정확한 실험을 근거로 한 경험적 연구가 필요하다고 본다.

3. 실험재료 및 측정 장치

3.1 재료

본 연구에서 사용된 테트라린(Sigma Aldrich, 99%, USA)은 별도의 정제 과정없이 사용하였다.

3.2 인화점과 연소점 측정

테트라린의 인화점을 위해 밀폐식인 Setaflash(ASTM D3278)의 Manual과 Auto 그리고 Pensky-Martens(ASTM D93)을 사용하였고, 개방식인 Tag(ASTM D1310)와 Cleveland(ASTM D92)를 사용하였다. 연소점은 Tag와 Cleveland 개방식을 이용하였으며, 이들 장치의 사진 및 구조 등은 그동안 여러 문헌들에서 제시하여 본 연구에서는 생략하도록 한다^{3,4)}.

각 장치에 의한 인화점과 연소점의 측정은 3회 혹은 5회를 실시하였다. 3회 동안 동일한 값으로 측정되면 그대로 채택하였고, 만일 3회 측정에서 동일한 측정값이 되지 않은 경우는 5회까지 측정하여 3회 이상 동일하게 측정된 값을 채택하였다^{3,4)}.

3.3 자연발화온도와 발화지연시간 측정

테트라린의 자연발화온도와 발화지연시간 그리고 최

소자연발화온도(AIT)를 측정하기 위해서 ASTM E659를 사용하였으며, 발화지연시간에 1 sec대 까지 측정하였다. 발화지연시간을 1 sec대 까지 측정하는 이유는 자연 발화온도와 지연시간의 관계를 이용하여 활성화에너지를 계산할 수 있기 때문이다. 장치의 구성은 크게 로, 온도 조절기, 열전대, 플라스크, 주사기, 거울, 에어건 등으로 되어 있고, 실험 진행은 ASTM 규정에 따라 측정하였다^{3,4)}.

4. 결과 및 고찰

4.1 테트라린의 인화점과 연소점의 측정 그리고 측정된 인화점을 이용한 폭발하한계의 추산

밀폐식(CC) 장치인 Setaflash과 Pensky-Martens을 사용하여 인화점을 측정하였고, 개방식(OC) 장치인 Tag와 Cleveland를 이용하여 인화점과 연소점을 측정하였다. 측정된 인화점과 연소점을 이용하여 계산된 폭발하한계를 Table 3에 나타내었다.

테트라린은 Setaflash의 Manual에서 70°C, Auto에서는 76°C, Pensky-Martens에서는 76°C로 측정되었다. Tag는 78°C 그리고 Cleveland에서는 81°C로 측정되었고, 연소점은 Tag에서 85°C, Cleveland는 89°C로 측정되었다. 그리고 Setaflash의 Manual에 의한 상부인화점은 109°C로 측정되었다.

본 연구에서 Setaflash의 Manual에 의해 측정된 하부인화점 70°C는 Table 2에 제시된 인화점보다 1~ 5°C 정도 낮게 측정되었으며, Tag 개방식에서 측정된 78°C는 기존의 문헌값과 비슷한 결과를 보였다. 따라서 공정안전을 위해서는 Setaflash의 측정값인 70°C 혹은 71°C를 활용해야 한다.

측정된 인화점과 연소점에 의한 폭발하한계를 계산하기 위해 Antoine 식을 사용하였다²⁰⁾.

$$\log P^f = 7.07055 - \frac{1741.3}{(t + 208.26)} \quad (1)$$

여기서, P^f 는 증기압(mmHg)이고, t 는 온도(°C)이다.

Setaflash에 Manual에 의해 측정된 하부인화점 70°C를 식 (1)에 대입한 결과 폭발하한계는 0.85 vol%로 계산되었다. Table 2에 제시된 Ignition의 문헌값인 0.84 vol%와 비슷한 결과를 보였다. 또한 Setaflash에 Manual에 의해 측정된 상부인화점 109°C를 식 (1)에 대입한 결과 역시 문헌값 5.0 vol%과 거의 일치하였다. Tag와 Cleveland에서 측정된 연소점의 폭발하한계는 각각 1.79 vol%와 2.15 vol%로 계산되었다.

그리고 테트라린은 고온인 100°C에서 운전을 할 때가 많으므로 이때 폭발하한계를 연구해야한다. 이를 위해서는 폭발하한계의 온도의존식을 이용해야 하는데 본 연구에서는 탄화수소의 폭발하한계의 온도의존성을 연구한 Zabetakis²¹⁾가 제시한 식을 사용하고 있으며, 식은 다음과 같다.

$$L_i(t) = L_{25}[1 - 7.21 \times 10^{-4}(t - 25)] \quad (2)$$

$$U_i(t) = U_{25}[1 + 7.21 \times 10^{-4}(t - 25)] \quad (3)$$

인화점에 의해 계산된 LEL 0.85 vol%와 UEL 5.03 vol%를 이용하여 공정 온도 100°C를 식 (2)와 (3)에 적용한 결과 LEL은 0.8 vol%, UEL은 5.34 vol%로 추산되었다. 따라서 공정에서는 Ignition에서 제시한 LEL 0.84 vol%를 보다는 본 연구에서 예측된 0.8 vol%를 적용해야 한다고 본다. 또한 UEL은 본 연구에서 예측된 5.34 vol%의 적용을 검토할 필요가 있다. 따라서 고온의 공정에서 안전을 확보하기 위해서는 온도의존성을 적용하여 방폭 설계를 해야 한다.

본 연구에서 제시한 인화점 자료와 측정된 인화점에 의한 폭발하한계의 계산 방법 그리고 다른 가연성물질의 폭발하한계의 온도의존성에 대한 연구에 도움을 줄 것으로 본다. 또한 본 연구에서 제시한 테트라린의 연소점은 저장 탱크의 누출사고의 방호목적으로 화재 방호에 활용할 수 있다.

Table 3. Comparison of estimated lower explosion limits(LEL) by experimental lower flash points and fire points for tetralin

Testers	Experiment (°C)			Estimation(vol%)		
	Lower flash points	Upper flash points	Fire points	LEL by lower flash points(vol%)	UEL by upper flash points(vol%)	LEL by fire points(vol%)
Setaflash(CC) Manual	70	109	-	0.85	5.03	-
Setaflash(CC) Auto	76	-	-	1.16	-	-
Pensky-Martens(CC)	76	-	-	1.16	-	-
Tag(OC)	78	-	85	1.28	-	1.79
Cleveland(OC)	81	-	89	1.48	-	2.15

4.2 테트라린의 자연발화온도와 발화지연시간의 측정과 활성화에너지 추산

테트라린의 AIT를 측정하기 위해서 Table 2에 제시된 기존 문헌들의 AIT를 근거로 측정하였다. 제시된 385°C 보다 30°C 낮은 355°C에서 실험한 결과 비발화되어, 다시 20°C 높여 375°C에서 시험하였으나 역시 비발화되었다. 다시 25°C 높여 400°C에서 실험한 결과 8.22 sec에서 발화되어 다시 10°C 낮추어 390°C에서 실험한 결과 11.75sec에서 발화되었다. 390°C에서 1 ~ 2°C 낮추어 실험한 결과 18.75sec에서 AIT 380°C를 찾을 수 있었다. 이를 근거로 5 ~ 10°C 상승시켜 실험한 결과 410°C에서는 7.50 sec, 430°C에서는 5.65sec, 450°C는 3.91sec, 470°C는 2.69sec 그리고 490°C에서는 1.66sec에 발화하였다. 테트라린 발화온도와 발화지연시간을 Table 4에 정리하였다.

본 연구에서 측정된 테트라린의 AIT 380°C를 Table 2에서 제시한 기존 자료들과 비교했을 때 KOSHA의 MSDS 385°C보다는 5°C 낮게, Jackson보다는 44°C 낮게 측정되었으나, Smallwood 155°C보다는 높게 측정되었다. 테트라린의 AIT를 제시한 문헌들과 본 연구의 측정값을 고찰하였을 때는 약 380°C의 AIT를 사용하여 화재 예방 시스템을 구축하는 것이 타당하다고 본다.

테트라린의 활성화에너지(E, activation energy)는 측정된 발화온도와 발화지연시간을 이용하여 계산하였다.

$$\log \tau = -5.27 + 4214.35 \left(\frac{1}{T} \right) \quad (4)$$

여기서 τ 는 발화지연시간이고, T는 발화지연시간에서의 발화온도[K]이다.

식 (4)에 의해 예측된 발화지연시간과 측정값을 비교하여 Table 4와 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 2에는 실험하는 동안 실험 장치 내부의 플라스크 안에서 발화되었을 때 시간과 내부 온도를 나타내었다.

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

No.	T[K]	$\tau_{exp.}[s]$	$\ln \tau_{exp.}$	$\tau_{est.}(Eq. 4)$
1	653	18.75	2.93119	15.26
2	654	14.06	2.64333	14.92
3	663	11.75	2.46385	12.20
4	673	8.22	2.10657	9.81
5	683	7.50	2.01490	7.95
6	703	5.65	1.73166	5.31
7	723	3.91	1.36354	3.62
8	743	2.69	0.98954	2.52
9	763	1.66	0.50682	1.79
AAE	-	-	-	0.86

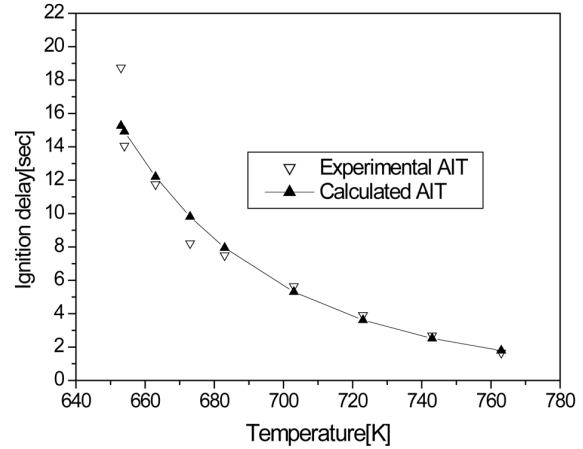


Fig. 1. Comparison between the experimental and calculated ignition delay times of tetralin.

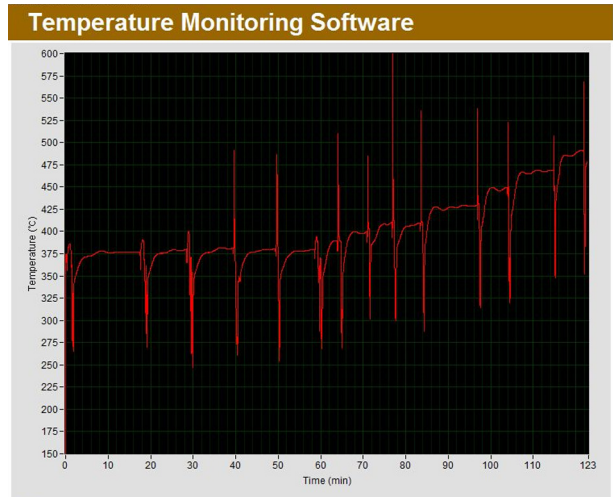


Fig. 2. A time history of the ignition temperature inside the test flask during an experiment of tetralin.

본 연구에서 제시한 식 (4)을 이용하여 실험에서 얻지 못한 다른 발화온도에서 발화지연시간의 예측이 가능해졌다. 제시된 식을 활용하여 공정안전 및 화재 방호에 적용할 수 있다.

발화지연시간 측정값과 계산값의 차이는 평균절대 오차(AAE, Average Absolute Error)와 결정계수(r^2)를 사용하였다^{3,4)}.

$$AAE = \sum \frac{|\tau_{est.} - \tau_{exp.}|}{N} \quad (5)$$

$$r^2 = \left(\frac{SSR}{SST} \right) \quad (6)$$

여기서 $\tau_{est.}$ 는 발화지연시간 계산값, $\tau_{exp.}$ 는 측정값, N은 자료수 그리고 r^2 은 결정계수이다.

식 (5)에 의한 계산값과 실험값의 AAE는 0.86sec, 정계수는 0.94로서 실험값과 예측값은 모사성을 크게 지니고 있다고 볼 수 있다.

활성화에너지(E)를 계산하기 위해서 화재 및 폭발 분야에서 많이 적용하는 Semenov²²⁾가 제시한 식을 사용하였으며, 본 연구에서 얻은 식 (4)와 식 (7)의 관계에 의해 E는 80.20 kJ/mol로 계산되었다.

$$\log\tau = \frac{52.55E}{T} + B \quad (7)$$

5. 결론

본 연구에서는 산업현장에서 도료·고무 등의 용제 그리고 세정의 목적으로 사용되고 있으며, 나프탈렌을 접촉 수소화시켜서 얻는 방향족탄화수소인 테트라린(Tetralin)의 하부 및 상부인화점, 연소점 그리고 최소자연발화온도(AIT)를 측정하여 기존 제시된 자료들과 비교하였으며, 측정된 인화점 그리고 연소점을 이용해 폭발한계를 계산하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 밀폐식 측정 장치인 Setaflash의 Manual과 Auto에 의한 하부인화점은 각각 70°C와 76°C로 측정되었으며, Pensky-Marten은 76°C, 개방식 장치인 Tag는 78°C 그리고 Cleveland는 81°C로 측정되었다. Tag와 Cleveland 개방식에 의한 연소점은 각각 85°C와 89°C로 측정되었다.

2) Setaflash의 Manual에 의한 하부인화점 70°C를 이용하여 계산된 폭발한계는 0.85 vol%로서, 기존의 문헌값인 약 0.5 vol%보다 높게 계산되었다.

3) 테트라린은 고온인 100°C에서 운전을 하고 있으므로 폭발한계와 상한계의 온도의존성을 적용하여 방폭 설계를 한다.

4) 테트라린의 최소자연발화온도(AIT)는 380°C로서 기존에 제시된 385°C보다 약 5°C 낮게 측정되었다.

5) 테트라린의 활성화에너지(E)는 80.20 kJ/mol로 계산되었다.

6) 본 연구에서 측정된 발화온도와 발화지연시간의 관계식을 이용하여 실험에서 얻지 못한 다른 발화온도에서의 발화지연시간의 예측이 가능해졌다.

7) 지금까지 테트라린은 소방법의 위험물안전관리법에서 제4류위험물 제3석유류(인화점 70°C 이상 200°C미만)에 해당하고 있으나, 본 실험 결과 70°C로 측정되었으므로 이에 대한 실험적 고찰이 필요하다고 본다.

References

- 1) J. Y. Lee, D. H. Kim, S. H. Ban and C. J. Lee, "A Study a Dike Design Considering a Leakage Velocity at an Opening Hole in Case of a Leakage Accident", J. Korean Soc. Saf., Vol. 32, No. 6, pp. 40-45, 2017.
- 2) W. K. Kim, J. H. Kim, J. W. Ryu and J. W. Choi, "The Measurement of the Explosion and the Minimum Oxygen Concentration of Gasoline According to Variation in Octane Number", Korean Chem. Eng. Res., Vol. 55, No. 5, pp. 618-622, 2017.
- 3) D. M. Ha, "The Measurement and Prediction of Fire and Explosion Properties of n-Nonane", J. Korean Soc. Saf., Vol. 31, No. 4, pp. 42-48, 2016.
- 4) D. M. Ha, "Measurement and Prediction of Fire and Explosion Characteristics of n-Butylacetate", J. Korean Soc. Saf., Vol. 32, No. 5, pp. 25-31, 2017.
- 5) H. Liaw, V. Gerbaud, C. Chen and C. Shu, "Effect of Stirring on the Safety of Flammable Liquid Mixture", J. of Hazardous Materials, Vol. 177, pp. 1093-1101, 2010.
- 6) L. G. Britton, "Two Hundred Years of Flammable Limits", Process Safety Progress, Vol. 21, No. 1, pp. 1-11, 2002.
- 7) C. J. Hilado and S. W. Clark, "Discrepancy and Correlations of Reported Autoignition Temperature", Fire Technology, Vol. 4, pp. 75-80, 1972.
- 8) Y. Hsieh and C. Chen, "Effect of Experimental Conditions on Measuring Auto-ignition Temperature of Liquid Chemicals", Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 49, No. 12, pp. 5925-5932, 2010.
- 9) D. R. Lide, "Handbook Chemistry and Physics", 76th ed., CRC Press, 1996.
- 10) J. A. Dean, "Lange's Handbook of Chemistry", 14th ed. McGraw-Hill, 1992.
- 11) D. M. Ha, "The Measurement and Prediction of the Combustible Properties of Benzyl-Alcohol for MSDS (Material Safety Data Sheet)", Korean Chem. Eng. Res., Vol. 54, No. 2, pp. 190-194, 2017.
- 12) KOSHA, <http://msds.kosha.or.kr/kcic/msdsdetail.do>.
- 13) NFPA, "Fire Hazard Properties of Flammable Liquid, Gases, and Volatile Solids", NFPA 325M, National Fire Protection Association, 1991.
- 14) R. J. Lewis, "SAX's Dangerous Properties of Industrial Materials", 11th ed., John Wiley & Son, Inc., New Jersey, 2004.
- 15) V. Babrauskas, "Ignition Handbook", Fire Science Publishers, Society of Fire Protection Engineers, 2003.

- 16) I. M. Smallwood, "Handbook Organic Solvent Properties", Arnold, A member of the Hodder Headline Group, 1996.
- 17) S. M. Stephenson, "Flash Points of Organic and Organometallic Compounds", Elsevier, 1987.
- 18) C. J. Hilado and S. W. Clark, "Autoignition Temperature of Organic Chemicals", Chemical Engineering, Vol. 4, pp.75-80, 1972.
- 19) J. L. Jackson, "Spontaneous Ignition Temperature - Commercial Fluids and Pure Hydrocarbons-", Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 43, No. 12, pp. 2869-2870, 1951.
- 20) J. Gmehing, U. Onken and W. Arlt, "Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection, Vol. 1, Part1-Part7", DECHEMA, 1980.
- 21) G. M. Zabetakis, "Flammability Characteristics of Combustible Gases and Vapors", US Bureau of Mines, Bulletin, 1965.
- 22) N. N. Semenov, "Some Problems in Chemical Kinetics and Reactivity, Vol. 2", Princeton University Press, Princeton, N. J. 1959.