

산류(Acids)의 인화점과 최소자연발화온도의 신뢰성 고찰

하 동 명

세명대학교 보건안전공학과
(2008. 12. 15. 접수 / 2009. 3. 4. 채택)

Investigation of Reliability of Flash Points and Autoignition Temperatures of Acids

Dong-Myeong Ha

Department of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University
(Received December 15, 2008 / Accepted March 4, 2009)

Abstract : The flash point and the AIT(auto-ignition temperature) are the most important combustible properties used to determine the potential for the fire and explosion hazards of flammable material. In order to know the accuracy of data in MSDS(Material Safety Data Sheet), the flash point of n-acids were measured by using Pensky-Martens closed cup tester(ASTM D93), Setaflash closed cup tester(ASTM D3278), Tag open cup tester(ASTM D1310) and Cleveland open cup tester(ASTM D92). Also, the AIT of n-acids were measured by using ASTM E659-78 tester. The measured the flash points and the AIT were compared with literatures and MSDS in KOSHA. The measured the flash points and the AIT were different from those in literatures and MSDS. Therefore, This paper shows that it is needed to investigate the MSDS compatibility of n-acids for the fire safety objectives.

Key Words : flash point, AIT(auto-ignition temperature), Pensky-Martens closed cup tester, Setaflash closed cup tester, Tag open cup tester, Cleveland open cup tester, ASTM E659-78 tester

1. 서론

산업현장에서의 안전 확보 및 손실예방을 위해서는 연소특성치(화재 및 폭발특성치)의 정확한 지식은 매우 중요하며, 연소특성치들 가운데 인화점(Flash Point)과 자연발화온도(AIT, Autoignition Temperature)는 위험물을 취급하는 공정에서 물질의 위험성을 평가하는 중요한 수단이 된다^{1,2)}.

최근 재해 예방을 위해 산업현장에서 널리 사용되고 있는 순수물질의 인화점 및 자연발화온도를 측정하여 기존 자료와 비교한 연구가 활발히 진행되고 있다. 인화점의 신뢰성 연구로 Montemayor 등³⁾은 n-decane 등에 대해 Tag 밀폐식, Pensky-Martens 밀폐식, Cleveland 개방식 등을 사용하여 인화점을 측정하여 기존 자료와 비교 고찰하였으며, Mitchell 등⁴⁾은 산업용 아민류의 인화점 실험을 통해 기존 NFPA 자료와 비교하여 고찰하였다. Jones 등⁵⁾은 Formic Acid, Glycerol, Ethylamine, Dimethylamine

등에 대해 자체 제작한 밀폐식 장치를 이용하여 인화점을 측정하고, 측정된 값을 문헌값들과 비교하여 자료의 신뢰성을 연구한 바 있다. 또한 Ha 등⁶⁾은 Acid류에 대하여 Pensky-Martens 밀폐식과 Tag 개방식을 이용하여 하부인화점을 측정하여 문헌값들과 비교하여 자료의 신뢰성을 고찰한 바 있다.

또한 가연성물질의 자연발화온도의 연구로는 Zabetakis 등⁷⁾은 ASTM D286-30 장치를 이용하여 탄화수소의 자연발화온도에 대한 실험적 연구를 하였고, Yagy⁸⁾는 자체 제작한 실험 장치를 이용하여 알코올류와 일부 산류의 자연발화온도를 측정하였다. 최근에 Kong 등⁹⁾은 붐배형태의 장치를 이용하여 프로판과 부탄의 자연발화온도를 측정하였으며, Smyth 등¹⁰⁾은 고온금속표면을 발화원으로 탄화수소의 자연발화온도를 연구하였다. Hshieh 등¹¹⁾은 최근 널리 사용되고 있는 ASTM E659-78 장치를 이용하여 Trichlorosilanes에 대한 최소자연발화온도 측정을 연구하였으며, Ha 등^{12,13)}도 ASTM E659-78 장치를 이용하여 2개의 알코올류와 산류에 대해 발화온도와 발화지연시간을 측정하였다.

hadm@semyung.ac.kr

본 연구에서는 Acid류 중에서 용제, 유기합성재료, 의약품, 염색, 향료 등으로 다양하게 사용되고 있는 Formic acid, Acetic acid, n-Propionic acid, n-Butyric acid에 대하여 Pensky-Martens 밀폐식(ASTM D93), Setaflash 밀폐식(ASTM D3278), Tag 개방식(ASTM D1310), Cleveland 개방식(ASTM D92) 장치 등을 이용하여 인화점을 측정하였다. 또한 ASTM E659-78장치를 사용하여 최소자연발화온도도 함께 측정하였다. 측정된 인화점과 자연발화온도를 문헌들에 제시된 자료 및 한국산업안전공단의 MSDS와 비교 검토하였다. 그리고 측정된 인화점에 대해서는 실험 자료의 신뢰성을 고찰하기 위해 측정된 실험값을 화학양론계수 이용한 인화점 예측값과 비교 고찰하였다. 본 연구에서 제시된 자료와 예측 방법을 이용하여 다른 위험물의 특성 연구에 이용되고, 산업현장에서 재해를 예방 감소에 기여하고자 한다.

2. Acid류의 위험성 및 사용용도

Formic acid는 휘발하여 연소하기 쉬우며, 유독성가스를 발생한다. 알칼리 금속류와 반응하여 수소가스를 발생한다. 용도로는 합성화학에서 환원제로 이용되는 외에 각종 유기화합물의 합성원료로서 이용된다. 그 밖에 염색조제, 부식제, 살균제, 도금액, 고무용고제, 향료, 용제 등으로서 용도가 넓다.

Acetic acid는 고농도의 경우 증기가 공기와 쉽게 혼합하여 폭발성가스를 만들며, 혼합가스는 공기보다 무거우므로 낮은 곳에 체류하여 위험성이 크다. 금속과 반응하여 수소가스를 발생하고, 연소시 유독성가스를 발생한다. Acetic acid는 공업적으로 염색, 합성식초, 섬유가공제, 사진정착액 등으로 쓰이는 외에 의약품, 염료 등의 합성원료로 사용되고 있다. 또한 아세트산비닐 등의 아세트산에스테르, 아세트산무수물, 아세틸셀룰로오스, 모노클로로아세트산 등 공업 상 중요한 물질의 합성원료에도 대량으로 사용되고 있으며, 실험실에서도 용매나 아세틸제로 이용되고 있다.

Propionic acid 역시 증기가 공기와 쉽게 혼합하여 폭발성가스를 형성하며, 혼합가스는 공기보다 무거우므로 낮은 곳에 체류하여 위험성이 크다. 산화성물질과 부식성물질과 반응한다. 용도로 에스테르화 제조, 유기합성, 농약, 향료, 의약품, 식품첨가제 그리고 아연염은 살균제로서 백선(白癬) 등 피부

병의 치료약으로 반창고 등에 쓰인다. 또한 Butyric acid는 합성향료, 니스의 제조 원료로 사용되고 있다.

3. 실험

3.1. 실험재료

본 연구에서 사용한 산(Acid)류의 제조사 및 순도를 Table 1에 나타내었으며, 시료는 별도의 정제과정을 거치지 않고 사용한다.

3.2. 실험장치

3.2.1. 인화점 측정 장치

인화점 측정은 여러 매개변수(Parameter)에 의해 영향을 받는다. 영향을 주는 변수로는 용기형태, 시료량, 발화원, 온도조절기, 주위압력, 시료의 균일성, 실험자, 자료의 편차 등이 있다.

본 연구에서 사용된 장치의 Pensky-Martens과 Setaflash 밀폐식 그리고 Tag와 Cleveland 개방식 장치의 구성 요소를 간략히 소개한다.

Pensky-Martens 밀폐식 장치는 몸체부, Test Cup 장치부, 교반부, 화염 공급부로 나눌 수 있다. 몸체부는 가열공기조, 전원 개폐기, 전열 조절기, 투구판 등으로 구성되어 있다. Test Cup 장치부의 Cup은 용량이 100mL 정도이며, 재질은 열전도도가 높은 구리로 되어 있고, Test Cup Handle, 온도계 삽입구, Test Cup 상부 개폐기 손잡이로 구성되어 있다. 교반부는 교반기, 굴곡축, 140~150회/min을 교반하는 전동기로 구성되어 있다.

Setaflash 밀폐식 장치는 몸체부, 시료컵 장치부, 화염 공급부로 크게 나눌 수 있다. 몸체부는 가열공기조, 전원 개폐기, 전열 조절기 등으로 구성되어 있다. 시료 장치부는 4mL 용량의 시료컵, 온도계 삽입구, 시료컵 상부 개폐기 손잡이로 구성되어 있다. 화염 공급부는 화염접근장치(Flame Exposure Device), 연료통, 화염 조절기, 가스관, 가스 안전 밸브 등으로 구성되어 있다.

Tag 개방식 장치는 가연성 액체의 인화점 및 연소점 측정이 가능한 장치로서, 구성은 시료컵, 승은

Table 1. Chemicals

Reagents	Companies (Nationals)	Assay[%]
Formic acid	Acros(USA)	99
Acetic acid	Junsei(Japan)	99.7
n-Propionic acid	Acros(USA)	99
n-Butyric acid	Acros(USA)	99

Table 2. Comparison of several flashpoint 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	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

다이얼, 수조, 시험염 발생 장치 등으로 구성되어 있으며, 부가 장치로는 시료 컵의 시료 수위를 조절할 수 있는 레벨수준 유지장치(Level Device)가 있다.

Cleveland 개방식 장치는 인화점 및 연소점을 측정하는 장치로서, 몸체부, 시료컵 장치부, 화염 공급부로 크게 나눌 수 있다. 몸체부는 가열공기조, 전원 개폐기, 전열 조절기 등으로 구성되어 있다. 시료장치부의 시료컵의 용량은 80mL 정도이며, 재질은 열전도도가 높은 구리이며, 시료컵 조절기, 온도계 삽입구, 시료컵 상부 개폐기 손잡이로 구성되어 있다. 화염 공급부는 화염접근장치, 연료통, 화염 조절기, 가스관, 가스 안전밸브 등으로 구성되어 있다.

각 인화점 측정 장치들의 용기 특성 및 시험 방법을 요약하여 Table 2에 나타내었다.

3.2.2. 자연발화온도 측정장치(ASTM E659)

본 실험에서는 액체 화학물질의 자연발화점 측정 장치로서 ASTM E659 장치를 사용하여 자연발화온도를 측정하였으며, 장치는 크게 Furnance, Temperature Controller, Thermocouple, Test Flask, Hypodermic Syringe, Mirror, Air Gun으로 구성되어 있다.

실험 방법은 기준 온도를 설정하고, 실험 장치를 가열하고, 설정온도에 도달하면 플라스크 내부에 주사기로 시료를 0.1mL를 넣는다. 그리고 10분 동안 관찰 후 발화가 일어나지 않으면 다시 온도를 설

정한 후 10분전에 발화가 일어나면 설정 온도 보다 30°C 낮게 설정하고 3~5°C 혹은 10°C씩 증가 시키면서 측정하며, 발화가 일어났을 때 시간과 온도를 기록한다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 인화점 고찰

4.1.1. 인화점비교

본 연구에서는 Formic acid, Acetic acid, n-Propionic acid, n-Butyric acid 등의 산류에 대한 인화점을 측정하였으며, 이 측정값을 위험성평가 및 공정 안전을 목적으로 산업현장에서 널리 사용되고 있는 자료인 NFPA¹⁴⁾, Sigma¹⁵⁾, Lange¹⁶⁾ 등의 문헌값 그리고 한국산업안전공단 D/B의 MSDS¹⁷⁾와 비교하여 Table 3에 나타내었다. 그리고 4개의 산류에 대한 측정값들을 비교하여 Fig. 1에 나타내었다.

Formic acid의 경우는 문헌들과 공단의 MSDS에서는 약 69°C를 제시하고 있으며, 본 실험에서는 개방식(OC, Open Cup)인 Tag 개방식에서 52°C로서 밀폐식(CC, Closed Cup)인 Pensky-Martens와 Setflash 밀폐식보다 보다 약 15~18°C 정도 낮은 인화점을 보이고 있다. 이는 Formic acid가 갖고 있는 특성이라 볼 수 있는데, 다른 산류와 다르게 알킬(alkyl) 그룹을 갖지 않은 강한 수소결합의 영향으로 사료된다. 최근 Jones 등⁵⁾도 Formic acid에 대해 Sanyo-Gallenkamp 밀폐식 장치를 이용하여 인화점을 측정

Table 3. Comparison of experimental and reported flash temperatures for n-acids

Compounds	Flash Points (°C)							
	PM (CC)	Setaflash (CC)	Tag (OC)	Cleveland (OC)	NFPA	Sigma	Lange	MSDS
Formic acid	70	67	52	72	69	68.9	68	69
Acetic acid	40	40	48	46	39	40	39	39
n-Propionic acid	50	49	59	61	52	51.7	58	54
n-Butyric acid	62	67	74	75	72	76.7	77	72

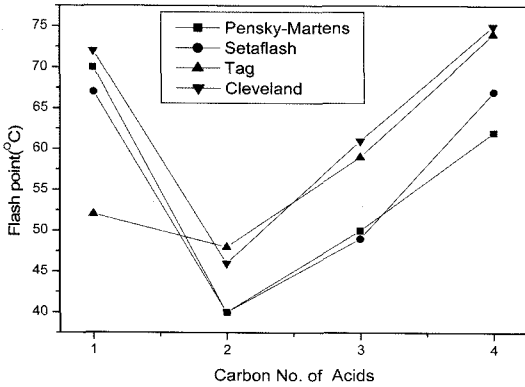


Fig. 1. Comparison of experimental flash points by using the testers for n-acids.

한 결과 $43 \pm 5^\circ\text{C}$ 를 얻었다. 따라서 Formic acid의 안전한 취급을 위해서는 이론적 고찰이 필요하다. 그러나 본 연구에서 4개의 장치를 이용하여 측정된 결과 Tag 개방식에서 52°C 로 측정되었으므로 이를 취급하는 공정에서 안전설계 및 위험성평가를 위해 사용해 오던 69°C 보다는 본 실험에서 얻은 52°C 를 사용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

Acetic acid의 경우 밀폐식 측정값은 문헌값과 일치하고 있다. 그러나 n-Propionic acid는 경우는 NFPA나 Sigma 문헌값보다는 약 2°C 정도 낮게 측정되었으며, 공단의 MSDS보다는 약 4°C 정도 낮으므로 이에 대한 신뢰성 고찰이 필요하다.

n-Butyric acid의 경우 Pensky-Martens와 Setflash 밀폐식에서는 각각 62°C 와 67°C 로 측정되었으며, 개방식에서는 약 75°C 로 측정되었다. 그러나 문헌들에서 제시한 인화점들은 밀폐식에 의한 자료가 아니고 개방식에 의한 자료로 판단되므로, n-Butyric acid를 취급하는 공정 안전을 위해서는, 밀폐식의 인화점인 62°C 를 사용하는 것이 타당하다고 본다.

4.1.2. 양론계수를 이용한 인화점 예측값과 측정값의 비교

산류의 인화점 실험 자료의 신뢰성을 고찰하기 위해서는 폭발한계 예측식을 이용하면 고찰이 가능하다. 즉 폭발한계는 하부인화점과 같다는 이론을 근거로 인화점의 신뢰성 고찰을 위해 양론계수를 이용하여 폭발한계를 예측하는 이론을 도입하였다.

지금까지 발표된 화학양론 계수(C_{st})를 이용한 폭발한계 추산식들을 살펴보면, Jones¹⁸⁾는 다음과 같은 추산하는 식을 제시하였다.

$$LEL = 0.55 C_{st} \quad (1)$$

여기서 C_{st} 는 다음과 같이 계산된다.

$$C_{st} = \frac{\text{연료몰수}}{\text{연료몰수} + \text{공기몰수}} \times 100 \quad (2)$$

Hilado¹⁹⁾는 폭발한계 예측에 필요한 보정계수에 대해 C, H, O를 포함하는 물질에 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$LEL = 0.537 C_{st} \quad (3)$$

그러나 최근의 문헌²⁰⁾을 보면, C, H, O로 구성된 탄화수소 및 비탄화수소 화합물에 대해 폭발한계 예측을 위해 보정계수를 0.5(Half Stoichiometric Rule)로 사용하고 있다.

$$LEL = 0.5 C_{st} \quad (4)$$

본 연구에서는 식 (4)를 이용하여 폭발한계를 계산하고, 계산된 폭발한계에 의해 증기압을 계산한 후 인화점을 예측하여 실험값과 비교하였다. Table 4에 식 (4)를 이용한 인화점 예측값과 측정값을 비교하여 나타내었다. 인화점 예측을 위해 증기압 계산은 Antoine 식을 이용하였다.

Formic acid의 경우 식 (4)에 의한 예측값이 약 45°C 로서 Tag 개방식에서 측정된 52°C 와 가장 일치하므로 공정안전의 위험성평가를 위해서는 52°C 를 사용하는 것이 효과적이라고 본다. Acetic acid의 예측값은 약 41°C 로서 밀폐식 측정과 거의 일치하였다. n-Propionic acid의 경우는 예측값이 약 54°C 로서 밀폐식과 개방식의 중간 값을 보이고 있으며, n-Butyric acid의 예측값 역시 약 69°C 로서 밀폐식과 개방식의 중간 값을 보이고 있다.

Table 4. Comparison of experimental and calculated flash temperatures for n-acids

Compounds	Flash Points ($^\circ\text{C}$)				
	PM (CC)	Setaflash (CC)	Tag (OC)	Cleveland (OC)	Half stoichiometric rule
Formic acid	70	67	52	72	45.3
Acetic acid	40	40	48	46	41.1
n-Propionic acid	50	49	59	61	53.9
n-Butyric acid	62	67	74	75	69.1

Table 5. Comparison of experimental and reported AITs for n-acids

Compounds	AITs(°C)						
	This study	NFPA	Sigma	Hilado	Scott	SFPE	MSDS
Formic acid	498	539	540	540	-	540	520
Acetic acid	512	463	516	464	550	465	427
n-Propionic acid	511	465	513	475	-	-	485
n-Butyric acid	500	443	440	452	552	450	452

4.2. 최소자연발화온도 고찰

본 연구에서는 ASTM E659 장치를 사용하였으며 인화점 측정에 사용된 4종의 산류에 대하여 최소자연발화온도를 측정하였으며, 측정된 실험값을 NFPA¹⁵⁾, Sigma¹⁶⁾, Hilado²¹⁾, Scott²²⁾, SFPE²³⁾의 문헌값들과 한국산업안전공단 D/B의 MSDS¹⁷⁾와 비교하여 Table 5에 나타내었다.

Formic acid의 경우 본 연구에서 측정된 값이 널리 인용되고 있는 문헌의 자료 값 보다 약 40°C 정도 낮게 측정되었으므로, Formic acid를 취급하는 공정에서 방호를 목적으로 안전 조치를 취할 경우 본 연구에서 제시한 실험값을 활용하는 것이 효율적이라고 본다.

Acetic acid는 본 연구에서 얻은 실험값이 문헌값과 비교했을 때 중간값을 보이고 있다.

n-Propionic acid의 경우에는 실험값은 NFPA와 Hilado 문헌보다는 높게 측정되었으며, Sigma 문헌보다는 2°C 정도 낮게 측정되었으므로 사업장에서 안전을 확보하기 위해서는 기존 자료를 사용하는 것이 바람직하다고 본다. n-Butyric acid는 Scott 등¹⁹⁾의 실험값 보다는 작게 측정되었지만 기존의 자료 보다는 50°C 정도 높게 측정되었으므로 이에 대한 신뢰성 검토가 필요하다.

5. 결론

Acid류에 대하여 인화점과 자연발화온도를 측정하였으며, 측정된 자료를 기존에 널리 인용되고 있는 자료 및 MSDS에서 제시된 자료와 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Formic acid의 인화점은 문헌들과 공단의 MSDS에서 약 69°C를 제시되고 있으나, 본 실험에서는 Tag 개방식에 의한 인화점이 52°C로서 측정되었으며, 이는 Pensky-Martens와 Setflash 밀폐식보다 보다는 약 15~18°C 정도 낮게 나타났다. 또한 Formic acid

의 경우 50% 화학양론 법칙(Half Stoichiometric Rule)에 의한 예측값이 약 45°C로서 Tag 개방식에서 측정된 52°C와 가장 일치하므로 공정안전의 위험성 평가를 위해서는 52°C를 사용하는 것이 효과적이라고 본다.

2) n-Propionic acid의 인화점은 기존의 문헌값보다 약 2°C정도 낮게 측정 되었고, n-butyric acid의 경우는 Pensky-Martens 장치에 의한 인화점이 62°C로서 문헌 따라서 이에 대한 재평가가 필요하다.

3) Formic acid의 AIT는 498°C로서 문헌값 보다 약 40°C 정도 낮게 측정되었다. 이를 취급하는 공정에서 화재의 방호 목적으로 안전을 고려한다면 본 연구에서 제시한 실험값을 활용하는 것이 타당하다.

4) 본 연구를 기반으로 공단에서 보유하고 있는 MSDS DB의 최신화(up-date)에 도움을 주고, 근로자에게 위험화학물질에 대한 유효한 정보를 제공 하므로써 화학물질로 인한 산업 재해 예방 감소에 기여할 것으로 본다.

참고문헌

- 1) United Nations, "Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals(GHS)", 2007.
- 2) V. Babrauskas, "Ignition Handbook", FSP & SFPE, 2003.
- 3) R.G. Montemayor et al., "Reference Verification Fluids for Flash point Determination", J. of Testing and Evaluation, Vol. 27, No. 6, pp. 423~427, 1999.
- 4) J.W. Mitchell et al., "Experimental Flash Points of Industrial Amines", J. of Chem. Eng. Data, Vol. 44, pp. 209~211, 1999.
- 5) J.C. Jones and J. Godefroy, "A Reappraisal of the Flash Point of Formic Acid", J. of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 15, pp. 245~247, 2002.
- 6) D.M. Ha, J.G. Han and S.J. Lee, "A Study on Flash Points and Fire Points of Acids Using Closed Cup and Open-cup Apparatus", J. of the Korean Institute of Fire Sci. & Eng., Vol. 20, No. 3, pp. 29~33, 2006.
- 7) M.G. Zabetakis, A.L. Furno and G.W. Jones, "Minimum Spontaneous Ignition Temperature of Combustibles in Air", Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 46, No. 10, pp. 2173~2178, 1954.
- 8) S. Yagyu, "Systematization of Spontaneous Ignition Temperature of Organic Compounds-Spontaneous Igni-

- tion Temperature of Alkyl Alcohols-”, Research Report of the Research Institute of Industrial Safety (RIIS-RR-26-5), Japan, 1978.
- 9) D. Kong, R.K. Eckhoff and F. Alfert, “Auto-ignition of CH₄/air, C₃H₈/air, CH₄/C₃H₈/air and CH₄/CO₂/air using 1L ignition Bomb”, J. of Hazardous Materials, Vol. 40, pp. 68~84, 1995.
 - 10) K.C. Smyth and N.P. Bryner, “Short-Duration Auto-ignition Temperature Measurement for Hydrocarbon Fuels Near Heated Metal Surfaces”, Combustion Sci. and Tech., Vol. 126, pp. 225~253, 1997.
 - 11) F-Y. Hshieh, D.B. Hirsh and J.H. Willams, “Auto-ignition Temperature of Trichlorosilanes”, Fire and Materials, Vol. 26, pp. 289~290, 2002.
 - 12) D.M. Ha, “Measurement and Prediction of Autoignition Temperature(AIT) of Flammable Substances -Methanol and Ethanol-”, J. of the Korean Society of Safety, Vol. 19, No. 2, pp. 54~60, 2004.
 - 13) D.M. Ha, “Relationship between Autoignition Temperature(AIT) and Ignition Delay Time for Acids”, T. of the Korean Institute of Fire Sci. & Eng., Vol. 18, No. 2, pp. 27~33, 2004.
 - 14) NFPA, “Fire Hazard Properties of Flammable Liquid, Gases, and Volatile Solids”, NFPA 325M, NFPA, 1991.
 - 15) R.E. Lenga and K.L. Votoupal, “The Sigma-Aldrich Library of Regulatory and Safety Data, Vol. I-Vol. III”, Sigma Chemical Company and Aldrich Chemical Company Inc., 1993.
 - 16) A.D. John, “Lange's Handbook of Chemistry”, 4th ed., McGraw-Hill, Inc., 1992.
 - 17) Korea Occupational Safety & Health Agency, <http://www.kosha.net/members/login.jsp>
 - 18) G.W. Jones, “Inflammation Limits and Their Practical Application in Hazardous Industrial Operation”, Chem. Rev., Vol. 22, No. 1, pp. 1~26, 1938.
 - 19) C.J. Hialado, “A Method for Estimating Limits of Flammability”, Vol. 6, pp. 130~139, 1975.
 - 20) J.C. Jones, “Reid Vapour Pressure as a Route to Calculating the Flash Points of Petroleum Fractions”, J. of Fire Sciences, Vol. 16, No. 3, pp. 222~227, 1998.
 - 21) C.J. Hilado and S.W. Clark, “Autoignition Temperature of Organic Chemicals”, Chemical Engineering, Vol. 4, pp. 75~80, 1972.
 - 22) G.S. Scott, G.W. Jones and F.E. Scott, “Determination of Ignition Temperature of Combustible Liquids and Gases”, Analytical Chemistry, Vol. 20, No.3, pp. 238~241, 1948.
 - 23) A.M. Kanury, “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering ; Ignition of Liquid Fuels”, 2nd Ed., SFPE, 1995.