

Ethylene Glycol과 물의 혼합비에 따른 자연발화온도 특성

김정훈 · 최재욱*†

부경대학교 대학원 소방공학과, *부경대학교 소방공학과

Characteristic of Auto Ignition Temperature due to the Mixture Ratio of Ethylene Glycol and Water

Jung-Hun Kim · Jae-Wook Choi*†

Graduate School of Fire Protection Engineering, Pukyong National Univ.

*Dept. of Fire Protection Engineering, Pukyong National Univ.

(Received November 11, 2015; Revised December 29, 2015; Accepted January 25, 2016)

요 약

자연발화 특성은 가연성물질의 취급 및 화재예방을 위한 중요한 인자이다. 본 연구는 ASTM D2155식 발화온도 측정 장치를 사용하여 Ethylene Glycol과 물을 혼합한 시료의 자연발화 특성을 고찰하였다. Ethylene Glycol 100%는 시료량 75 μ l~160 μ l의 범위에서 434 $^{\circ}$ C로 나타났다. 물을 첨가하여 Ethylene Glycol 80%와 물 20%를 혼합한 시료는 시료량 100 μ l~125 μ l의 범위에서 434 $^{\circ}$ C로 나타났고, Ethylene Glycol 60%와 물 40%를 혼합한 시료에서 시료량 120 μ l~160 μ l의 범위에서 437 $^{\circ}$ C로 나타났다. 또한 순간발화온도는 시료량 125 μ l에서 각각 579 $^{\circ}$ C, 595 $^{\circ}$ C 및 611 $^{\circ}$ C를 구하였으며, 물의 비율이 증가할수록 자연발화온도와 순간발화온도는 증가되는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

Autoignition characteristic is an important factor of all combustible substances, and a critical determinant in assessing the effectiveness of fire hazard prevention. This study investigated the autoignition characteristic of mixtures of Ethylene Glycol and water using an ASTM D2155 type ignition temperature measuring apparatus. It was possible to get the minimum temperature as 434 $^{\circ}$ C from 100% Ethylene Glycol within range of 75~160 μ l. A volume of 100~125 μ l of a mixed sample of Ethylene Glycol and water (80 : 20) was ignited at the same temperature (434 $^{\circ}$ C). Also it was possible to get the auto ignition temperature as 437 $^{\circ}$ C from a mixed sample of Ethylene Glycol and water (60 : 40) within range of 120~160 μ l. The instantaneous ignition temperatures determined for 125 μ l of each of the three samples were 579 $^{\circ}$ C, 595 $^{\circ}$ C and 611 $^{\circ}$ C, respectively. Both auto ignition temperatures and instantaneous ignition temperatures were increased through the addition of water to the samples.

Keywords : Auto ignition, Flammable, Minimum auto ignition temperatures, Instantaneous ignition temperatures

1. 서 론

국가 경제력의 발달에 따라 차량의 제조, 판매가 급격히 증가 되었으며 이에 따라 차량 내부의 내연기관의 과열방지를 냉각수의 동결을 방지하기 위해 주입되는 부동액의 사용 또한 증가되었다. 부동액의 주성분은 Ethylene Glycol 또는 Propylene Glycol이 사용된다. 이중 Ethylene Glycol은 물과 혼합하여 차량의 부동액 및 산업용 엔진설비의 부동액뿐만 아니라 최근에는 폴리에스테르 섬유, PET병과 같은 플라스틱 제조 및 시멘트 분쇄효율을 높이기 위한 용제로 널리 이용되고 있다. 이와 같이 산업전반에 널리 이

용되고 있는 Ethylene Glycol은 부동액으로 사용 시 순수 물질의 농도가 낮고 물이 다량 포함되어 있어 화재조사 시 발화원인물질로서 인정을 잘 하지 않으나 이를 증명할 실험적 연구는 매우 빈약한 실정이다. 그러나 Ethylene Glycol은 소방법의 위험물 분류상 제4류 3석유류로 분류 되어있고, 이에 따른 잠재적 화재, 폭발위험성은 항상 존재하므로 용제의 화재, 폭발의 특성치 파악은 매우 중요하다. 특히 화재 및 폭발의 위험성을 평가하기 위한 주요 특성중 하나인 자연발화(自燃發火)는 외부에서 착화원을 주지 않아도 물질이 공기중의 상온에서 자연적으로 발화하거나 가연성기체 또는 공기를 포함하는 고체 및 분체 등을 외부

† Corresponding Author, E-Mail: jwchoi@pknu.ac.kr
TEL: +82-51-629-6470, FAX: +82-51-629-7078

에서 가열하게 되면 혼합계 내의 화학반응에 의해서 발생되는 열이 내부에 축적되고, 이로 인하여 내부온도를 상승시켜 그 열이 장기간 축적되어 마침내 발화점에 도달하여 연소를 일으키는 현상이다. 또한 외부에서 가열하는 경우에도 발화점에 도달하는 과정이 주로 반응열의 축적에 의한 경우에는 자연발화에 포함시키는 것이 보통이다^(1,2).

자연발화온도에 관하여는 Zabetakis 등⁽³⁾, Scoot 등⁽⁴⁾, Choi 등⁽⁵⁾, Ha 등^(6,7)의 연구가 있다. 그러나 실험방법에 따라 실험조건이 상이하여 동일물질의 측정값이 문헌마다 편차를 보여 비점이나 인화점과 같은 물성치라고 할 수 없지만 자연발화온도는 물질의 발화 위험성을 나타내는 발화특성치로서 산업현장의 안전관리를 위한 중요한 수치이다⁽⁸⁾.

본 연구의 시료물질인 Ethylene Glycol은 차량 및 산업용 엔진설비의 부동액 및 플라스틱 재료 등 산업 전반에 널리 쓰이는 물질이며 부동액으로 사용시 순수물질이 아닌 물과 혼합하여 사용하게 되는데 이에 대한 실험적 연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 ASTM D2155식 자연발화온도 측정장치를 사용하여 지금까지 거의 연구가 되지 않은 Ethylene Glycol 및 물을 혼합한 시료의 자연발화온도와 순간발화온도를 측정하여 발화특성을 파악하며 Ethylene Glycol의 제조소, 판매소, 저장소 및 이를 사용하는 사업장등에 재해예방을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 이론적 배경

발화라고 하는 현상은 기본적으로 미연소 상태에서 연소라고 하는 일종의 정상상태로 전이하는 빠른 속도의 산화반응에 의한 과도현상으로 이와 같은 전이가 일어나기 위해서는 물적 조건과 에너지 조건이 만족하여야 한다. 물적 조건은 예열에 의한 충분한 양의 가연성 증기 및 기체가 산화제와 발화가 가능한 농도범위로 혼합한 것을 말하며 에너지 조건으로는 해당 증기 및 기체를 자체 가속형 산화를 유발시킬 수 있는 온도 또는 국소 가열해 단열 화염온도에 도달하도록 하는 발화원이다. 자연발화는 축열과정에 있는 것으로 내부에서의 방열과 발열의 속도균형에 문제가 있는 것으로 발열이 방열보다 큰 경우에 발생한다^(8,9).

일반적으로 액체의 자연발화는 Semenov 열발화이론을 적용하는 것이 바람직하다. 열발화이론은 발열반응에 의하여 생성된 열과 반응영역에서 전도, 대류 및 복사에 의해 방산되는 열과의 평형의 문제를 취급하는 이론으로, 발화현상은 계내에서의 발열속도와 계외로의 방열속도와의 평형의 문제로 생각하여 발화가 일어나는 한계조건을 수학적으로 도입한 것이 Semenov 이론이다⁽¹⁰⁾. 자연발화는 화학반응에 의한 발열속도와 계외로의 방열속도에 의해서 발생하게 되므로 Figure 1과 같이 나타낼 수 있다.

즉 가열온도가 T_a^I 와 같이 낮을 때는 직선과 곡선은 A점에서 교차되어 점차적으로 일정한 값으로 수렴한다. 이에

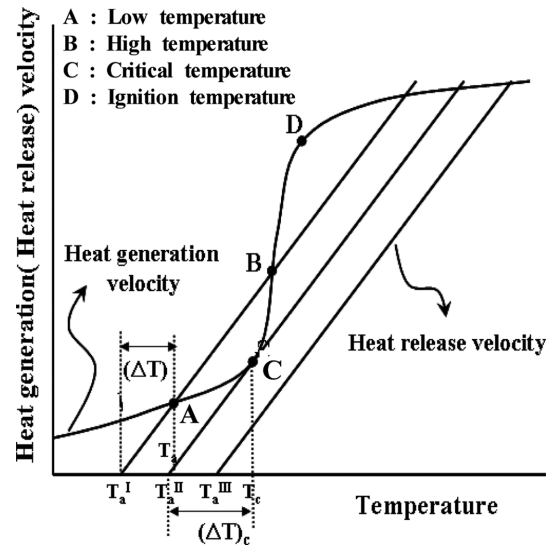


Figure 1. Relation between heat generation and heat release in autoignition.

대하여 가열온도가 T_a^{III} 와 같이 높으면 발열속도는 온도에 관계없이 방열속도를 상회하여 반드시 발화가 일어난다. 따라서 발화가 일어나는 한계는 곡선과 직선이 접하는 가열온도 T_a^{II} 의 경우이며, C점이 정상상태가 얻어지는 최대치이다. 발화가 일어나기까지의 유도기간 내에서는 연료의 소비는 그렇게 많지 않다고 생각하여 이것을 무시하고, 발열량이 큰 계내는 0차 반응을 가정하고 있으므로 반응물이 모두 소비될 때까지 계의 온도는 T 로 유지되며, 반응속도의 온도의존성은 Arrhenius형을 따르고 계외로의 방열속도는 온도 T 와 주위온도 T_a 와의 차이에 비례하는 뉴턴형의 냉각법칙을 따르는 것으로 가정하면 식(1)과 같이 에너지 방정식이 성립한다. 여기에서 계의 온도가 균일하다는 가정은 현상학적으로는 반응유체가 충분히 교반되어 있고, 용기 벽으로의 방열이 대류에 의해 일어나는 경우에 해당한다.

$$C_p \rho V (dT/dt) = QVC_0^n k_0 \exp(-E/RT) - \alpha S(T - T_a) \quad (1)$$

여기서 ρ : Density of mixture system [g/cm³]

V : Volume of mixture system [cm³]

T : Mean temperature of internal system [K]

t : time [sec]

C_0 : Concentration of reactant [mol/cm³]

n : Order of reaction [-]

k_0 : Reaction constant [-]

α : Heat transfer rate in surface area [cal/cm² · s · K]

Q : Heat of reaction per unit mass [cal/g]

E : Activation energy of reaction [cal/mol]

R : Gas constant [cal/mol · K]

T_a : External heating temperature [K]

S: Surface area [cm³]

Figure 1에서 발화가 일어나는 한계는 곡선과 직선이 만나는 경우가 되며, 이때 내부온도는 $(\Delta T)_c = T_c - T_a$ 만큼 상승하여 멈춘다. 결국 정상상태가 얻어지는 최대치로서 식(1)의 정상방정식에 접선의 조건을 사용하면 식(2), (3)과 같이 된다.

$$[QVC_0^m k_0 \exp(-E/RT)]_c = [\alpha S(T - T_a)]_c \quad (2)$$

$$[d\{QVC_0^m k_0 \exp(-E/RT)\}/dT]_c = [d\{\alpha S(T - T_a)\}/dT]_c \quad (3)$$

접선조건을 결과는 식(4)가 얻어지고, 그 근은 식(5)와 같다.

$$T_c^2 - (E/R)T_c + (E/R)T_a = 0 \quad (4)$$

$$T_c = (E/2R)\{1 \pm (1 - 4RT_a/E)^{1/2}\} \simeq T_a + RT_a^2/E \quad (5)$$

그러므로 발화가 일어나지 않는 최대의 온도상승 $(\Delta T)_c$ 는 식(6)으로 나타낼 수 있다⁽⁸⁾.

$$(\Delta T)_c \equiv T_c - T_a \simeq (RT_a^2/E) \quad (6)$$

3. 실험 장치 및 실험 방법

3.1 실험 시료

본 실험에서 사용된 Ethylene Glycol은 Junsei Chemical Co., Ltd.에서 생산되는 순도 99% 순정 1급의 시료를 사용였고 Table 1은 KOSHA의 물질안전보건자료(MSDS)를 참고하여 Ethylene Glycol의 물적특성을 나타내었다. 또한 Ethylene Glycol에 정수된 물을 20 Vol%, 40 Vol%의 비율로 혼합한 시료 2종을 사용하여 실험하였다.

3.2 실험 장치

본 연구에서 사용한 실험장치는 자연발화온도 측정장치로 가장 많이 사용되고 있는 ASTM D2155식 장치로서 액체석유제품의 발화온도를 측정하는 방법으로 규격화되어 있는 방법이다. 이것은 일정온도로 가열한 용기 내에 시료를 떨어뜨려 발화온도를 측정하며, 그 개략도를 Figure 2에

Table 1. Characteristic of Ethylene Glycol⁽¹¹⁾

Chemical name	Ethylene Glycol
Structural formula	HO(CH ₂) ₂ OH
Phase	Liquid
Flash point	111 °C
Autoignition temperature	398 °C
Molecular weight	62.07
Specific gravity	1.1
Upper explosive limit	15.3%
Lower explosion limit	3.2%

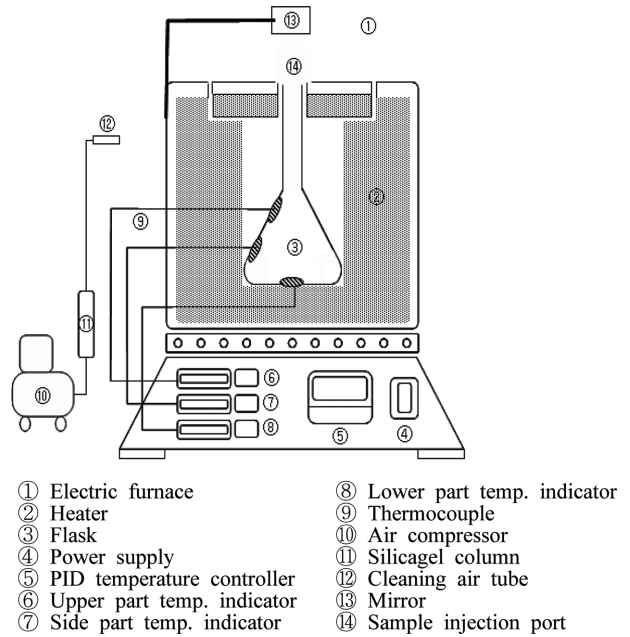


Figure 2. Schematic diagram of experimental apparatus for auto ignition measurement.

나타내었다.

액체의 자연발화를 측정하기 위하여 전기로 내에 250 ml의 파이렉스제 삼각플라스크를 넣고 고정시켜 측정용기로 사용하였으며, 0.35 mm의 Chromel-Alumel 열전대를 플라스크의 상부, 하부 및 측부에 밀착시켜 사용하였다. 이외에 발화의 유무를 관찰하기 위해 반사경을 용기 상부에 설치하였으며, 측정용기 내의 증기를 치환하기 위하여 공기압축기를 사용하였다. 시료량의 채취는 미국 Hamilton 제로서 250 μl와 500 μl용 마이크로실린저를 사용하였으며, 발화지연시간의 측정은 정도 1/100초인 Kappa제 정밀 초시계를 사용하였다.

3.3 실험 방법

Figure 3은 자연발화온도를 측정하기 위한 실험방법의 순서도를 나타내었다. 파이렉스제 시험용기의 상부, 하부 및 측부에 열전대를 밀착시키고, 온도제어장치로 측정 온도를 미리 설정하고 AC 220 V의 전원을 공급한다. 발화측정장치 내의 온도가 측정온도에 도달하게 되면 마이크로실린저로 시료를 채취하여 플라스크의 상부에서 수직으로 일시에 주입함과 동시에 스톱워치를 눌러 발화할 때까지의 발화지연시간을 측정한다. 발화의 유무는 플라스크 내에서 발화하는 화염을 반사경에 의해 육안으로 관찰하여 판정한다. 만약 5분이 경과하여도 발화하지 않는 경우에는 발화하지 않는 것으로 간주하고, 플라스크 내에 압축공기를 보내어 잔류성분을 제거한 후 1회의 측정을 마친다.

그 후 다음측정 준비로서 발화의 유무에 관계없이 플라스크 내의 오염가스를 신선한 공기로 치환하기 위하여 공기 압축기로서 충분히 치환시킨다. 동일한 시료량으로써

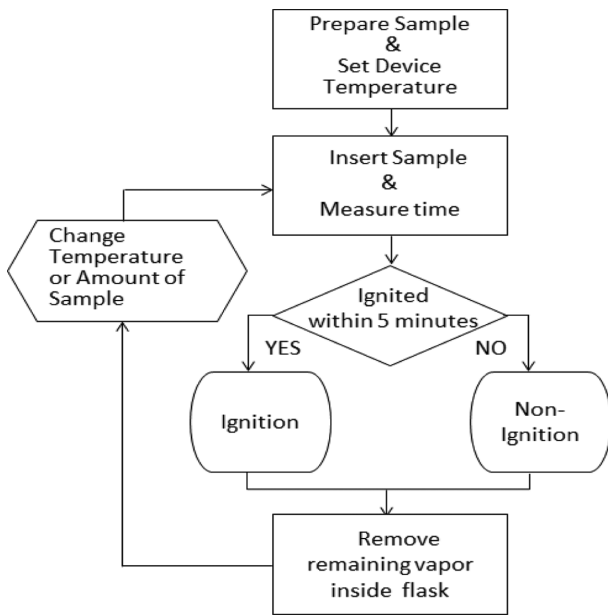


Figure 3. Flowchart of experiment method.

온도를 낮추면서 발화하지 않는다고 판단되는 온도까지 이 조작을 10회 반복하여 한계온도를 구하고 또한 시료량을 변화시켜서 동일한 실험조작으로 자연발화온도를 구한다. 또한 자연발화온도를 구한 시료량으로부터 온도를 상승시켜 발화될 때까지의 지연되는 측정시간이 1초가 되는 온도를 측정함으로써 그 물질의 순간발화온도를 구하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 자연발화온도

부동액의 주재료 널리 쓰이는 Ethylene Glycol의 제조, 저장, 취급하는 산업현장에서의 자연발화 위험성을 예방하고자 각각의 시료량에 대하여 온도를 변화시켜 발화한계온도를 구하였다. 이와 같이 시료량과 발화한계온도의 관계를 그림으로 도시하면 발화영역과 비발화영역으로 구분되는 발화한계온도 곡선을 얻을 수 있으며, 발화영역 내에서 최저의 한계온도가 그 시료의 자연발화온도이다. 이러한 자연발화온도는 온도, 시료량, 시료의 성분비, 발화지연시간의 수치로써 나타낸다. 또한 동일한 온도에 있어서도 시료량에 따라 발화지연시간이 다른 경우가 많으므로 온도와 발화지연시간과의 관계를 일률적으로 정의한다는 것은 곤란하지만 자연발화에 대한 위험성을 파악할 수 있는 중요한 자료로 위험물질의 안전성 평가에 응용할 수 있다⁽¹²⁾.

본 연구에 사용된 시료의 양은 5 μl에서 350 μl까지 시료량의 범위에서 행하였으며, 발화 영역내에서는 25 μl의 간격으로 변화시켜 실험을 하였고 발화한계온도 곡선의 경계 영역에서는 5 μl~10 μl의 간격으로 변화시켜 자연발화온도를 구하였다.

Figure 4는 Ethylene Glycol 100%의 시료량과 발화한계

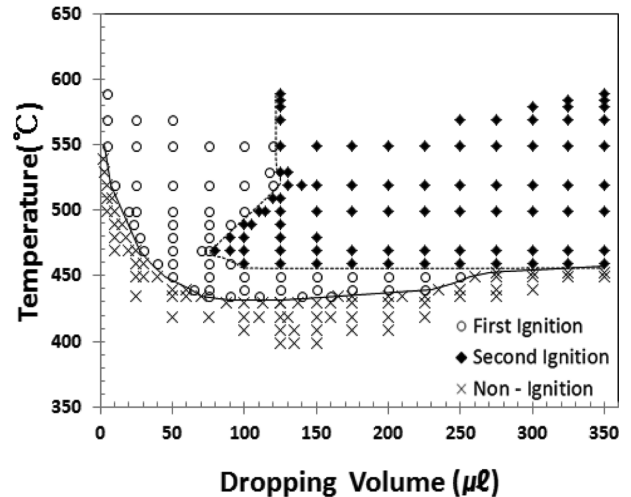


Figure 4. Relation between ignition temperature and dropping volume of Ethylene Glycol 100%.

Table 2. Comparison of Auto Ignition Temperature (AIT) between Experimental Data and Several Material Safety Data Sheets

Ethylene Glycol		AIT
MSDS	This study	434 °C
	Poly Science ⁽¹⁴⁾	427 °C
	Shell Chemicals ⁽¹⁵⁾	413 °C
	Fisher Scientific ⁽¹⁶⁾	410 °C
	KOSHA ⁽¹¹⁾	398 °C

온도를 나타내었으며 자연발화온도는 75 μl~160 μl의 범위에서 434 °C를 측정하였고 다른 MSDS의 자연발화온도와 비교하여 Table 2에 나타내었다. 자연발화온도는 개시 온도, 증기농도, 용기크기, 산소농도, 촉매등의 영향을 받으므로 물질의 고유한 특성치가 아니기 때문에 동일 물질임에도 문헌마다 편차를 나타내었다⁽¹³⁾.

459 °C 이상의 온도에서 시료량이 100 μl 이상일 때 2회 이상 연속적인 발화를 하였으며 469 °C에서는 더 낮은 용량인 80 μl 이상 시료량에서도 2회 이상 발화하였고 온도가 상승함에 따라 2회 이상 발화하는 시료량의 양이 점차 증가를 하였다. 529 °C 이상의 온도에서는 125 μl 이상의 시료량에서 2회 이상의 발화가 일어났다. 이것은 플라스크 내로 주입된 시료의 평균온도는 포화온도이하이지만 플라스크내의 열면의 온도가 높아 액적 표면에서 급격히 비등이 일어나며 비등된 표면과 내부 액적이 분리된 상태에서 증기화 되고 발화가 가능한 농도범위에서 1차 발화되는 것으로 사료된다. 또한 발화시 발생하는 열에너지에 의해서 분리된 큰 액적이 2차적으로 발화가 일어나는 것으로 판단된다.

Figure 5는 Ethylene Glycol 80%와 물 20%를 혼합한 시료의 시료량과 발화한계온도를 나타내었으며 100 μl~

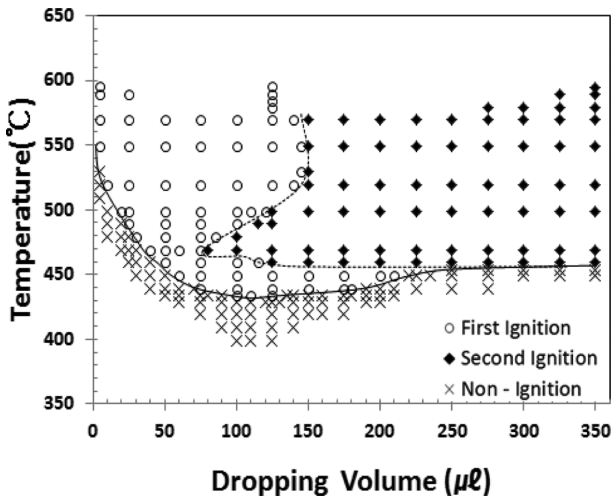


Figure 5. Relation between ignition temperature and dropping volume of Ethylene Glycol 80% and Water 20%.

125 μl 의 범위에서 434 $^{\circ}\text{C}$ 의 자연발화온도를 구하였다. Ethylene Glycol 100%일 때와 마찬가지로 459 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 온도에서 시료량이 125 μl 이상일 때 2회 이상 발화를 하였으며 469 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 더 낮은 용량의 80 μl 이상 시료량에서도 2회 이상 발화하였고 529 $^{\circ}\text{C}$ 까지는 온도가 상승함에 따라 2회 이상 발화하는 시료량의 양이 점차 증가하다 529 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 온도에서는 다시 더 적은 시료량에서도 2회 이상의 발화가 일어났다. 이는 Figure 4와 동일한 표면비동현상으로 인하여 발생된 것을 사료된다.

Figure 6은 Ethylene Glycol 60%와 물 40%를 혼합한 시료의 시료량과 발화한계온도를 나타내었으며 120 μl ~160 μl 의 범위에서 자연발화온도 437 $^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 459 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 온도에서 시료량이 150 μl 이상일 때 2회 이상 발화를 하였으며 469 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 더 낮은 용량의 100 μl 이상

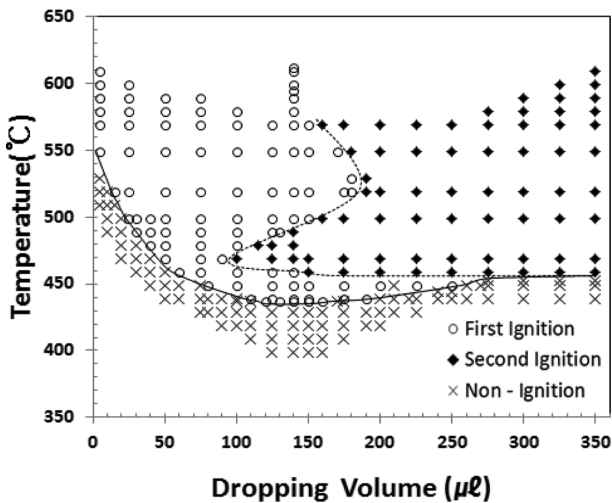


Figure 6. Relation between ignition temperature and dropping volume of Ethylene Glycol 60% and Water 40%.

시료량에서도 2회 이상 발화하였고 529 $^{\circ}\text{C}$ 까지는 온도가 상승함에 따라 2회 이상 발화하는 시료량의 양이 점차 증가하다 529 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 온도에서는 다시 더 적은 시료량에서도 2회 이상의 발화가 일어났다.

물의 혼합비율이 20%일 경우 자연발화온도는 Ethylene Glycol 100%의 자연발화온도와 동일하지만 발화가 가능한 시료량의 범위가 줄어들었고, 물의 혼합비율이 40%로 증가 되었을 경우 자연발화온도는 3 $^{\circ}\text{C}$ 상승하였다. 이는 시료에 포함된 물이 증발하여 플라스크 내부의 열에너지를 감소시키므로 Ethylene Glycol 원액에 비교하여 물의 함유량이 증가 할수록 발화가 되기 위해서는 더 많은 열에너지가 필요하기 때문이다.

엔진설비의 라디에이터와 같은 냉각장치가 기계적 결함, 부식, 스케일 등으로 인한 고장이 빈번히 발생하며 이 경우 배관의 파손 및 과열에 따른 냉각수 비등, 누설, 분출이 발생할 우려가 있다. 이와 같은 사고 발생시 부동액이 혼합된 냉각수가 과열로 오버히팅 된 엔진설비 또는 배기관 등의 표면으로 누설 시 열에너지를 받아 발화로 이어 질 수 있을 것으로 사료된다.

4.2 순간발화온도

동일물질에 대하여 시료량 변화에 대한 발화한계온도를 구하였을 경우, 그 물질의 자연발화온도를 구할 수 있다. 일반적으로 발화지연시간이 긴 자연발화온도 부근에서 시료량의 차이에 따른 지연시간의 영향은 크고, 온도가 상승함에 따라 지연시간이 짧게 되어 이에 대한 영향이 점차 줄어진다. 그러므로 자연발화온도를 결정한 이 때의 시료량에 대하여 온도를 점차 상승시켜 발화되는 시간이 1.0초에 도달할 때 까지의 온도범위에서 온도와 발화지연시간의 관계를 구하고, 여기에서 발화지연시간이 1.0초 때의 온도를 순간발화온도로 하였다.

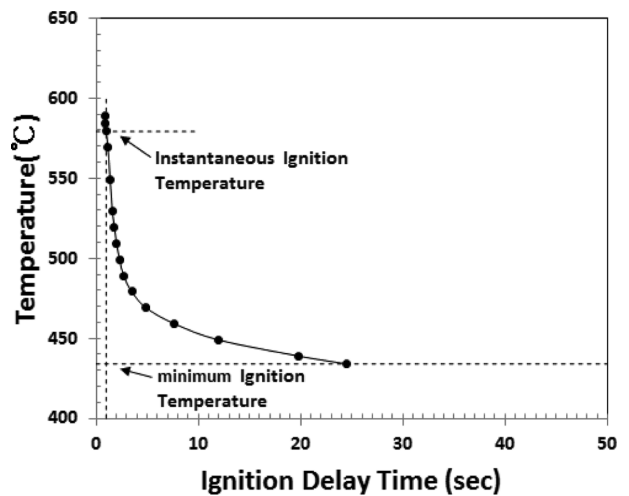


Figure 7. Relation between ignition delay time and ignition temperature of Ethylene Glycol 100% at 125 μl .

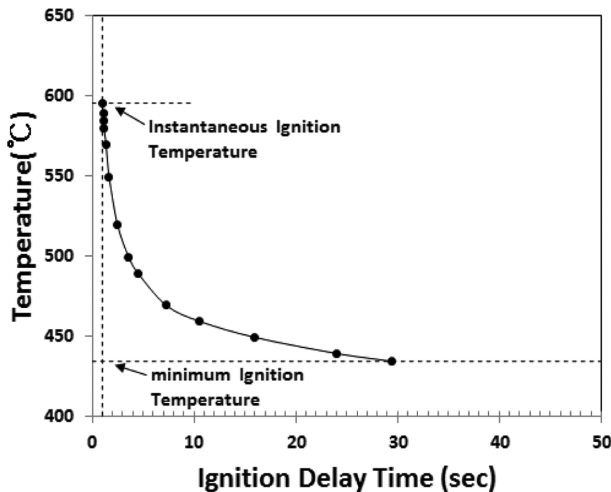


Figure 8. Relation between ignition delay time and ignition temperature of Ethylene Glycol 80% and Water 20% at 125 μ l.

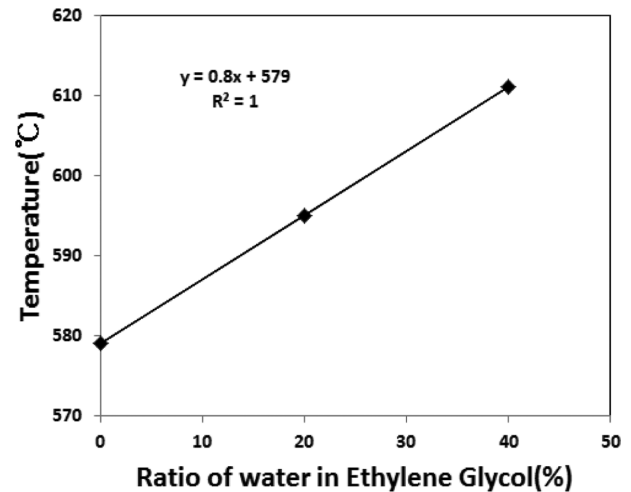


Figure 10. Relation between ratio of water in Ethylene Glycol and instantaneous ignition temperature.

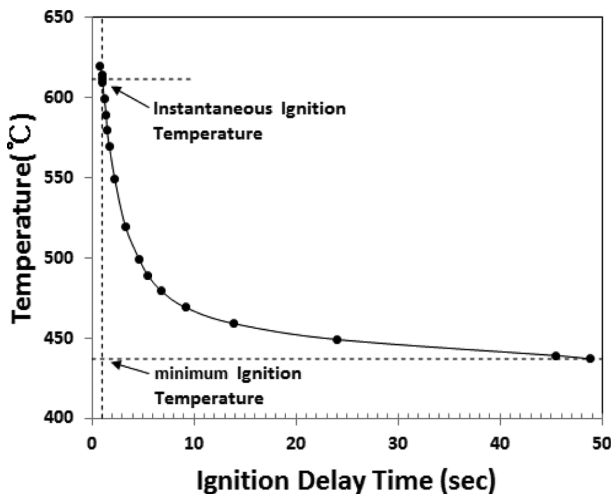


Figure 9. Relation between ignition delay time and ignition temperature of Ethylene Glycol 60% and Water 40% at 125 μ l.

Figure 7은 Ethylene Glycol 100%, Figure 8 및 Figure 9에서는 각각 Ethylene Glycol 80%와 물 20% 및 Ethylene Glycol 60%와 물 40%를 혼합한 시료에 대하여 시료량 125 μ 에서의 발화온도와 발화지연시간의 관계를 나타내었다. 실험결과 Ethylene Glycol 100%의 순간발화온도는 579 $^{\circ}$ C이고, Ethylene Glycol 80%와 물 20%의 순간발화온도는 595 $^{\circ}$ C이며 Ethylene Glycol 60%와 물 40%의 순간발화온도는 611 $^{\circ}$ C로서 물의 함유량이 증가할수록 순간발화온도 또한 높게 나타났다. 이것은 시료에 포함된 물이 Ethylene Glycol이 발화하는데 방해가 됨으로 인하여 순간발화온도가 높게 되는 것으로 판단되며 회귀분석을 통해 물의 함유량에 따른 순간발화온도를 분석한 결과 다음과 같은 식을 얻었다.

$$T = 0.8x + 579 \quad (7)$$

여기서 T는 순간발화온도, x는 물의 함유량이다. Figure 10은 각 실험데이터를 적용한 결과 물의 함유량이 20%씩 증가 할수록 순간발화 온도는 16 $^{\circ}$ C씩 증가하여 결정계수 R^2 은 1로서 회귀방정식에 의한 회귀선이 데이터값에 수렴하고 있다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

Ethylene Glycol과 물을 혼합한 시료의 자연발화특성을 고찰하기 위하여 ASTM D2155식 발화온도 측정장치를 사용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Ethylene Glycol 100%의 자연발화온도는 시료량 75 μ ~160 μ 의 범위에서 434 $^{\circ}$ C로 나타났으며 순간발화온도는 시료량 125 μ 에서 579 $^{\circ}$ C를 측정하였다.
- 2) Ethylene Glycol 80%와 물 20%를 혼합한 시료에서의 자연발화온도는 시료량 100 μ ~125 μ 의 범위에서 434 $^{\circ}$ C로 나타났으며 순간발화온도는 시료량 125 μ 에서 595 $^{\circ}$ C를 측정하였다.
- 3) Ethylene Glycol 60%와 물 40%를 혼합한 시료에서의 자연발화온도는 시료량 120 μ ~160 μ 의 범위에서 437 $^{\circ}$ C로 나타났으며 순간발화온도는 시료량 125 μ 에서 611 $^{\circ}$ C를 측정하였다.
- 4) Ethylene Glycol과 물의 혼합물에서 물의 비율이 증가 할수록 시료에 포함된 물이 Ethylene Glycol의 발화에 방해가 됨으로 인해 순간발화온도가 증가하는 것으로 나타났다.

사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2015년)에 의하여 연구되었음.

References

1. J. W. Choi, Y. S. Mok and D. M. Ha, "A Study on Spontaneous Ignition of Hydroxy Propyl Methyl Cellulose", *Fire Science and Engineering*, Vol. 15, No. 4, pp. 34-40 (2001).
2. T. Y. Kim, Y. S. Mok and J. W. Choi, "A Study on the Flash Point and Spontaneous Ignition Determination of 2-Propanol and O-xylene Mixtures", *Proceedings of 2011 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 360-363 (2011).
3. M. G. Zabetakis, A. L. Furno and G. W. Jones, "Minimum Spontaneous Ignition Temperature of Combustible in Air", *Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 46, No 10, pp. 2173-2178 (1954).
4. 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).
5. J. W. Choi, Y. S. Mok and S. Y. Kim, "A Study on Autoignition Characteristics of 1-Heptene, 2-Heptene and 3-Heptene", *Journal of KIIS*, Vol. 5, No. 2, pp. 17-23 (1990).
6. D. M. Ha, "Appropriateness of MSDS by Means of the Measurement of Combustible Properties of Anisole", *Fire Science and Engineering*, Vol. 29, No. 2, pp. 20-24 (2015).
7. D. M. Ha and K. H. Kim, "A Study of Minimum Autoignition Temperature Behavior (MAITB) of Benzene and n-Hexane Mixture", *Fire Science and Engineering*, Vol. 27, No. 1, pp. 8-13 (2013).
8. P. J. Dinunno, D. Drysdale, C. L. Beyler, W. D. Walton, R. L. P. Custer, J. R. Hall and J. M. Watts, "The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", Third Edition, SFPE, Maryland, USA, pp. (2)188-(2)199 (2002).
9. J. W. Choi, Y. S. Mok, I. G. Choi, S. H. Jeon, W. S. Lim and C. W. Min, "A Study on the Spontaneous Ignition of Gasoline and Additive of Fuel", *Fire Science and Engineering*, Vol. 20, No. 1, pp. 1-5 (2006).
10. N. N. Semenov, "Chemical Kinetics and Chain Reaction", Oxford University Press, Oxford, Oxfordshire (1935).
11. KOSHA, "Material Safety Data Sheet of Ethylen Glycol", <http://msds.kosha.or.kr/> (2015.12.06.).
12. D. K. Jung, J. W. Choi, I. S. Lee, W. S. Lim and D. K. Kim, "A Study of Characteristics Such as Spontaneous Ignition, Flash Point and Explosion behavior of Methyl Ethyl Ketone Peroxide in Order to Determine its Hazardousness", *Journal of the KOSOS*, Vol. 20, No. 3, pp. 78-83 (2005).
13. D. M. Ha, "Measurement and Prediction of Autoignition Temperature of n-Butanol and sec-Butanol System", *Fire Science and Engineering*, Vol. 26, No. 5, pp. 48-53 (2012).
14. Poly Science, "Material Safety Data Sheet of Ethylen Glycol", <http://www.horizontechinc.com/MSDS/PDF/p110-157.pdf> (2015.12.04).
15. Shell Chemicals, "Material Safety Data Sheet of Ethylen Glycol", http://www.ppe.com/msds/EGF05_EGF55.PDF (2015.12.06.).
16. Fisher Scientific, "Material Safety Data Sheet of Ethylen Glycol", http://avogadro.chem.iastate.edu/MSDS/ethylene_glycol.htm (2015.12.06.).