



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

2-Ethylhexanoic Acid의 폭발위험성에 관한 연구



2013年 2月

釜慶大學校 産業大學院

消防工學科

金正勳

工學碩士 學位論文

2-Ethylhexanoic Acid의 폭발위험성에 관한 연구

指導教授：崔 載 旭

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



2013年 2月

釜慶大學校 産業大學院

消防工學科

金正勳

金正勳의 工學碩士 學位論文을 認准함

2013年 2月



主 審 工學博士 朴 外 哲 (印)

委 員 工學博士 睦 演 洙 (印)

委 員 工學博士 崔 載 旭 (印)

목 차

1. 서 론	1
2. 이 론 적 배 경	3
2-1. 기체혼합물의 상태 방정식	3
3. 실험장치 및 실험방법	6
3-1. 실험시료	6
3-2. 실험장치	7
3-2-1. 폭발한계 및 폭발압력	7
3-2-2. 최소착화에너지	11
3-2-3. 소형 압력용기	12
3-2-4. 인화점 측정	15
3-3. 실험방법	17
3-3-1. 폭발한계 측정 및 폭발압력측정	17
4. 실험결과 및 고찰	20
4-1. 2-Ethylhexanoic pract	20

4-1-1. 산소농도 변화에 따른 폭발범위	20
4-1-2. 폭발압력	24
4-1-3. 폭발압력 상승속도	27
4-1-4. 온도변화에 따른 증기 발생농도	30
4-1-5. 최소착화에너지	32
4-1-6. 소형압력용기 시험에 의한 압력거동	34
5. 결 론	36
기 호 설 명	38
참 고 문 헌	39
Abstract	43

1. 서 론

에너지원으로 연료를 연소시켜서 발생하는 열에너지를 가정생활이나 산업 활동에 이용하고 있으며, 산업혁명 당시 사용된 화석연료는 연소 시 황산화물이나 질소산화물 등 유독한 가스를 다량으로 배출하여 대기 오염을 가속화 시켰다. 그 후 화학공업의 발달로 새로운 화학물질의 개발과 합성 등으로 에너지 사용량이 증대되어 가연성 물질을 대량으로 수송, 저장하는 기회가 빈번해짐에 따라 가연성 물질에 의한 화재·폭발의 사고가 빈번하게 발생하고 있다.

가스 또는 가연성 액체에서 발생하는 증기 폭발의 경우 폭발상태는 압력에너지의 축적상태에 따라 크게 달라진다. 예를 들면 개방공간에서 가연성 혼합기체가 형성되어 있을 때 착화되면 누설규모가 작을 때는 압력파가 거의 생기지 않으며, 압력상승에 기인하는 피해는 거의 없다. 그러나 건물의 내부 등 밀폐공간 내에서의 폭발은 압력이 크게 상승하고, 밀폐공간을 구성하는 벽면 등에 강력한 충격파를 주어 큰 피해를 발생시키고, 축적된 압력에너지가 압력파로서 외부로 방출됨으로써 인접한 건물, 설비 및 사람들에게 큰 피해를 준다. 개방영역에서 발생하는 폭발보다 밀폐된 영역에서 폭발이 발생할 경우 폭발압력에 의한 파괴효과는 더욱 증가한다.^{2~5)}

폭발 위험성을 평가하기 위한 주요 특성값으로 폭발하한계(lower

explosive limit), 최대폭발압력(maximum explosion pressure), 폭발압력 상승속도(rate of explosion pressure rise), 최소착화에너지(minimum ignition energy) 등이 있으며, 이러한 가스폭발의 연구사례로는 Kakutkina 등⁶⁾의 밀폐용기의 가스폭발에 관한 평가방법과 Haneda 등⁷⁾의 고전압 영역에 대한 메탄의 점화한계에 관한 연구가 있다.

따라서, 본 연구에서는 2-Ethylhexanoic acid의 폭발특성을 파악하기 위하여 압력의 변화에 따른 폭발범위 및 폭발한계산소농도를 측정하였으며, 물질의 기본 특성을 파악하기 위하여 인화점을 측정하고, 소형압력용기에 의한 온도변화에 따른 압력거동을 파악함으로써 이들로부터 화재·폭발 사고의 예방을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 이론적 배경

2-1. 기체 혼합물의 상태 방정식^{8~13)}

두 가지 이상 혼합되어 있는 기체 혼합물의 경우 각 물질의 혼합조성비는 압력이나 부피에 의존하게 되고, 혼합 기체 속에 들어있는 각 물질의 몰수의 합은 전체 혼합기체의 몰수가 되고, 각각의 몰수는 각 성분 기체의 농도, 즉량을 나타낸다. 그러나 전체 혼합기체의 경우 일정 압력에서 부피의 변화나 일정부피에서 각각의 압력이 변화하게 되면, 각 성분의 농도가 변화하게 되므로 물리화학적 조성을 나타내는 것은 몰분율의 형태로 표시하는 것이 더 편리하게 사용된다.

몰분율 x_i 는 존재하는 모든 물질의 몰수의 합, $n_t = n_1 + n_2 + n_3 + \dots$ 에 각 몰수를 나눈 것으로 식 (1)과 같으며, 혼합물 속에 존재한 모든 물질은 몰분율의 합으로서 식 (2)와 같다.

$$x_i = \frac{n_i}{n_t} \quad (1)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_i = 1 \quad (2)$$

식 (2)에 의해 한 물질의 몰분율을 알지 못할 경우, 나머지 물질들의

몰분율만 알면 그 혼합물질의 조성을 알 수 있고, 몰 분율 자체가 혼합 기체의 부피, 압력 및 온도에 무관한 함수이기 때문에 보통 몰분율로 표시한다.

기체 혼합물에 대하여 각 성분을 이상기체로 가정하면, 이상기체의 법칙이 적용되며, 혼합기체의 상태방정식은 식 (3)과 같이 표현된다.

$$PV = n_t RT \quad (3)$$

여기서 온도 T에서 부피가 V인 용기 속에 몰수가 n_1, n_2, n_3 인 세 기체가 혼합되어 있다고 가정하면, $n_t = n_1 + n_2 + n_3$ 가 되고, 이 혼합기체의 압력은 식 (4)와 같이 구할 수 있으며,

$$P = \frac{n_t PT}{V} \quad (4)$$

각 성분에 대한 부분 압력을 구한다면 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_1 = \frac{n_1 RT}{V}, \quad P_2 = \frac{n_2 RT}{V}, \quad P_3 = \frac{n_3 RT}{V} \quad (5)$$

여기서 식 (5)를 식 (4)에 적용시키면, 식 (6)이 된다.

$$P_1 + P_2 + P_3 = (n_1 + n_2 + n_3) \frac{RT}{V} = n_t \frac{RT}{V} = P \quad (6)$$

이것은 일정온도에서 혼합기체가 나타내는 전체 압력은 그 성분 기체들의 부분 압력의 합과 같다는 것은 나타내며, Dalton의 분압법칙이라 한다.

분압 법칙은 혼합물 속에 들어있는 그 기체의 몰분율과 간단한 관계를 가지는데 식 (5)의 첫째 항을 식 (4)로 나누어서 식 (1)에 적용시키면 식 (7)과 같이 된다.

$$\frac{P_1}{P} = \frac{n_1}{n_t} = x_1 \quad (7)$$

식 (7)은 일부의 기체 혼합물에만 국한되지 않고 모든 기체 혼합물에 대해서도 성립되며, 전체 압력과 몰분율만 알면 분압을 계산할 수 있으며, 필요로 하는 화학조성의 농도를 만들 수가 있다.

3. 실험장치 및 실험방법

3-1. 실험시료

본 실험에서 사용된 실험물질은 (주)OO화학에서 제공한 시료를 사용하였으며, 주요 특성 치는 한국산업안전보건공단에서 제공하는 물질안전보건자료로서 Table 1과 같으며, 실제 제공한 물질의 물성 값과 다를 수 있다.

Table 1 Characteristic of 2-ethylhexanoic acid

Chemical name	2-Ethylhexanoic acid
CAS NO.	149-57-5
Flash point	< 118℃
Boiling point	227℃
Melting point	-59℃
Specific gravity	0.9 at 25℃ (H ₂ O=1)
Vapor density	5 (air=1)
Vapor pressure	4mmHg at 20℃
Auto ignition temperature	371℃
Explosion range	0.8~6%

3-2. 실험장치

3-2-1. 폭발한계 및 폭발압력

가스폭발한계를 측정하는 장치로서는 전파법과 버너법이 있으며, 이 중에서 전파법은 원통형 또는 구형의 용기 내에 혼합가스를 넣고 한쪽에서 점화하여 화염이 전체적으로 확산되는 한계조성을 결정하는 방법이고, 버너법은 버너위에 안정된 화염이 가능한 혼합가스 조성의 한계치를 결정하는 방법이다.^{14~15)}

본 연구에 사용한 실험장치는 전파법을 개량한 장치로써 Photo 1에 나타내었으며, 그 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

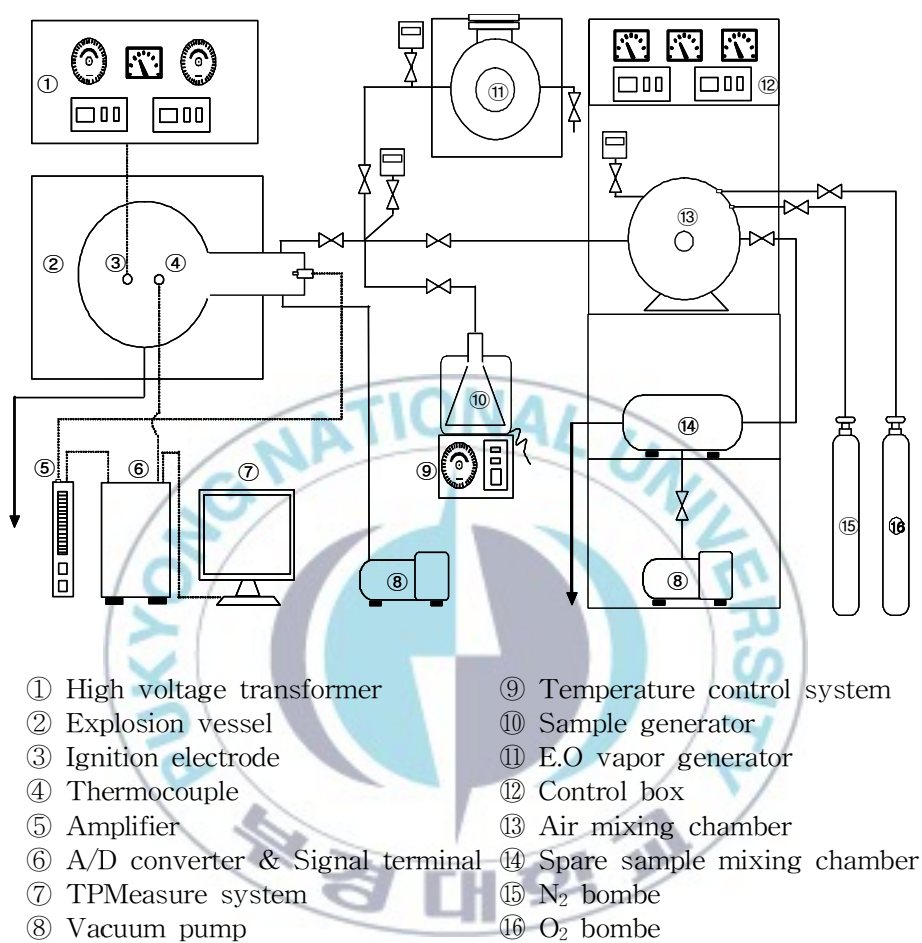
폭발시험 장치는 내부의 용적이 1.1ℓ로서 용기내의 온도와 압력의 측정을 위하여 Chromel-Alumel Thermocouple(O.D 1.0mm)의 열전대 온도계와 Kyowa제 PGM 100KD 압력센서를 사용하였다. 폭발용기의 재질은 SUS 304를 사용하였으며, 용기내의 점화에너지를 공급하기 위하여 자동차용 점화플러그와 유사하게 특수 제작된 전극을 부착하였다. 폭발용기의 가열로는 0~800℃까지 가열이 가능한 전기로를 제작하였고, 폭발 및 연소의 유무를 판정하기 위하여 증폭기를 거쳐 온도·압력 측정 프로그램에 의하여 모니터에서 온도 및 압력의 변화를 확인하고, 컴퓨터에 Data를 저장할 수 있도록 하였다. 또한 폭발용기 내에 시험하고자하는 가스의 조성을 정밀하게 하기 위해서 용기내의 공기 및 미연소 가스의 배출은 -0.098066~-0.098557MPa.G까지 진공이 가능한

Vacuum pump를 사용하여 진공상태로 만들고, 필요한 농도만큼의 시료를 1차적으로 투입하였으며, 산소의 조성은 질소, 산소가스를 계산식에 의해 폭발용기에 투입되도록 하였다.





Photo 1 The picture of experimental apparatus
for vapor explosion tester.



**Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus
for explosion measurement.**

3-2-2. 최소착화에너지

본 연구에 사용된 에너지는 미세한 에너지에 의하여 가연성 물질이 폭발할 수 있는 여부를 판단하기 용이한 장치로서 (주)Kikusui사에서 제작된 기기를 사용하였으며, 최대 30Kv까지 승압이 가능한 구조로서 Photo 2에 나타내었다.



Photo 2 The picture of experimental apparatus for energy supply system.

3-2-3. 소형압력용기

2-Ethylhexanoic Acid의 분해폭발 위험성을 평가하기 위하여 K. Hasegawa와 J. Peng이 OECD-IGUS-EOS(Organization for Economic Cooperation and Development International Group of Experts on the Explosion Risk of Unstable Compounds Energetic and Oxidizing Substances)에서 논의되어 UN recommendations에 제한되어진 개량형 밀폐용기 시험법을 모델로 Mini cup pressure vessel tester(MCPVT)장치는 photo 3과 같으며, 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다.

소형압력용기 시험기는 외형이 73×63mm이고, 용기의 표면에서 상부까지 관의 길이는 약 170mm로 하였다. 용기의 내부는 Φ 14mm×20mm의 내용적을 가진 밀폐형으로서 재질은 SUS 316으로 제작하였다.

압력측정은 고온에서도 압력게이지의 손상을 방지하기 위하여 용기의 중심으로부터 Φ 5.5mm×170mm관의 꼭대기에 압력게이지를 부착할 수 있게 하였다. 또한 시험용기내의 이상폭발시 안전성 확보를 위하여 파열판을 설치하여 위험성을 최소화 하였다.

온도변화에 따른 분해거동을 관찰하기 위하여 온도측정용으로 Chromel-Alumel Thermocouple(O.D 1.0mm)를 사용하였으며, 압력을 측정하기 위한 압력센서는 Kyowa제 PGM 100KD를 사용하였다. 또한 시료의 열분해 거동을 위하여 가열용 전기로는 0~1000℃의 승온이 가능한 구조로서 소형압력용기 시험기가 장착될 수 있도록 제작하였다.



Photo 3 The picture of experimental apparatus for
Mini cup pressure vessel tester.

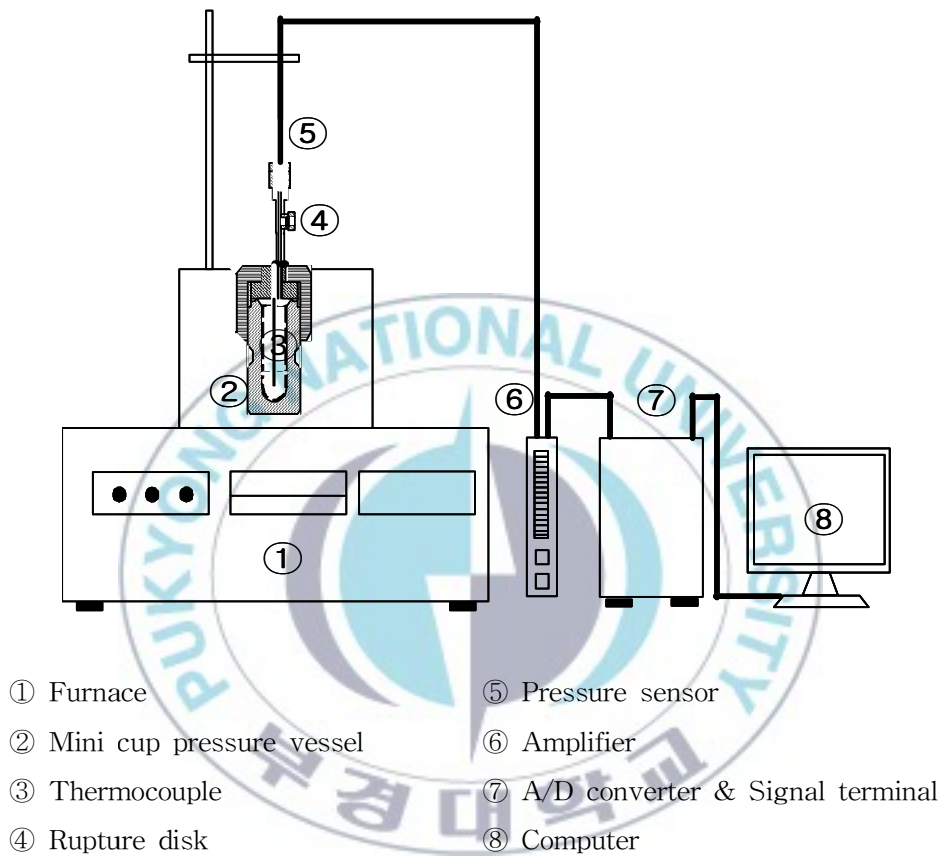


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus for mini cup pressure vessel tester.

3-2-4. 인화점측정

물질의 기본적인 특성을 파악하기 위한 인화점 측정장치는 Fig. 3과 같이 ASTM D-56 k145의 밀폐식 인화점 시험장치와 시료 등을 준비하여 메스실린더를 사용해서 시료를 $50 \pm 0.5 \text{ml}$ 를 취하고, 시료컵의 최종액면 이상을 젖지 않도록 주의해서 전량을 시료컵에 넣고, 시료표면의 기포가 없어지면 상부의 뚜껑을 덮는다.

시료내의 온도를 상승시키기 위하여 외통의 승온속도는 약 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 조작하여 전원을 넣는다.¹⁶⁾

시험불꽃을 점화하고 불꽃의 크기를 표준구에 맞추고, 개폐기를 작동시켜 시험불꽃을 시료컵에 접근시킨 후 인화의 유무를 판별하고 원래의 상태로 되돌린다. 이 조작은 약 1초간에 원활하게 하고, 이때 시험불꽃을 급격히 내리거나 올려서는 안된다.

따라서 시료컵 내부에 명확하게 인화가 확인되면 그 온도를 인화점으로 기록하고 즉시 가열을 중단한다. 또한 동일한 방법으로 실험을 3회 반복 실시하여 최저온도를 인화점으로 한다.

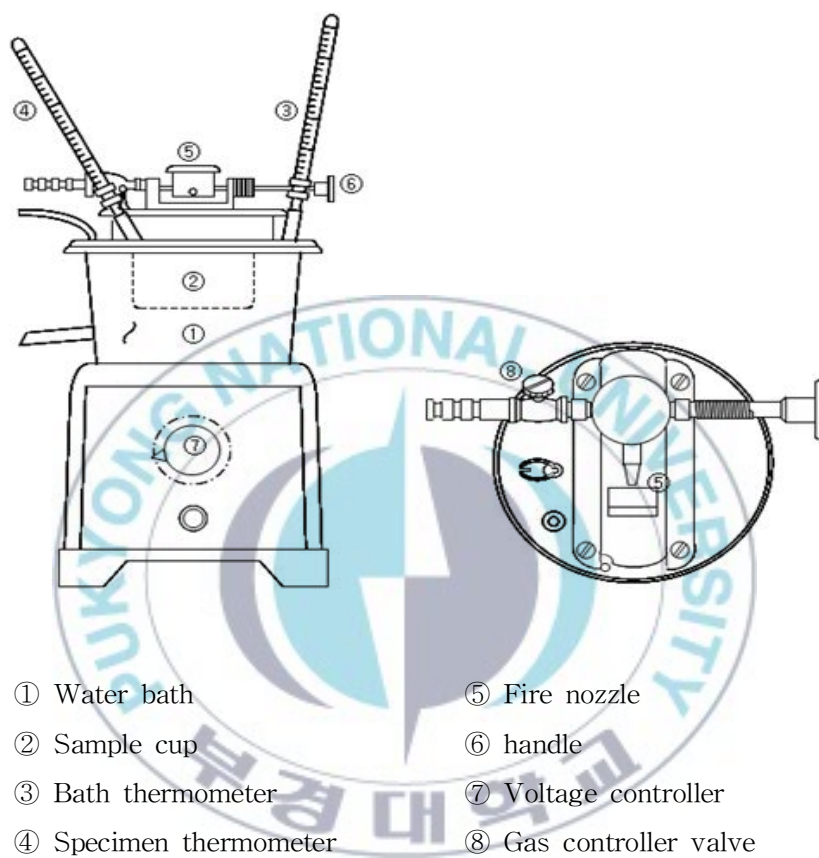


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus for flash point measurement.

3-3. 실험방법

3-3-1. 폭발한계 측정 및 폭발압력 측정

가연성 증기의 농도 변화에 대한 실험을 행하기 위한 폭발용기에 주입하는 산소, 질소의 순도는 99.99%의 것을 사용하였으며, 실험은 다음의 순서에 의해 진행하였다.

- (1) 폭발용기탱크 내부를 진공펌프를 사용하여 상부에 설치된 압력의 수치가 -0.098557MPa.G 까지 진공으로 만든다.
- (2) 소정의 온도로 가열시킨다.
- (3) 기체 혼합물의 상태방정식으로 계산된 압력의 수치만큼 2-Ethylexanoic acid의량을 주입구를 통해서 주입한다.
- (4) 산소를 산소주입구를 통해 해당 압력만큼 주입한다.
- (5) 질소를 질소주입구를 통해 해당 압력만큼 주입한다. 이때 질소주입부의 밸브를 급격히 열어 혼합조 내부로 질소가 빠르게 유입되면서 내부의 난류를 형성시켜 시료가 잘 혼합될 수 있도록 한다.
- (6) 농도의 조성을 균일하게 하기 위하여 혼합탱크의 내부를 프로펠러형 교반기로 교반한다.
- (7) 점화플러그에 전원을 연결한다.
- (8) 점화스위치를 ON시켜 폭발유무를 관찰한다.
- (9) 폭발시 오실로스코프상에 나타난 전압과 전류치를 기록한다.
- (10) 폭발시의 압력과 압력상승속도 등을 프로그램에 의한 데이터를

컴퓨터에 기록·저장한다.

시험은 시험물질의 폭발하한과 상한은 같은 농도에서 3회이상 실험하여 1회라도 폭발할 때의 최소농도를 폭발하한계로, 최대농도를 폭발상한계로 하였으며, Fig. 4에는 폭발용기내에 공급되는 전압과 전류치를 나타내었다.



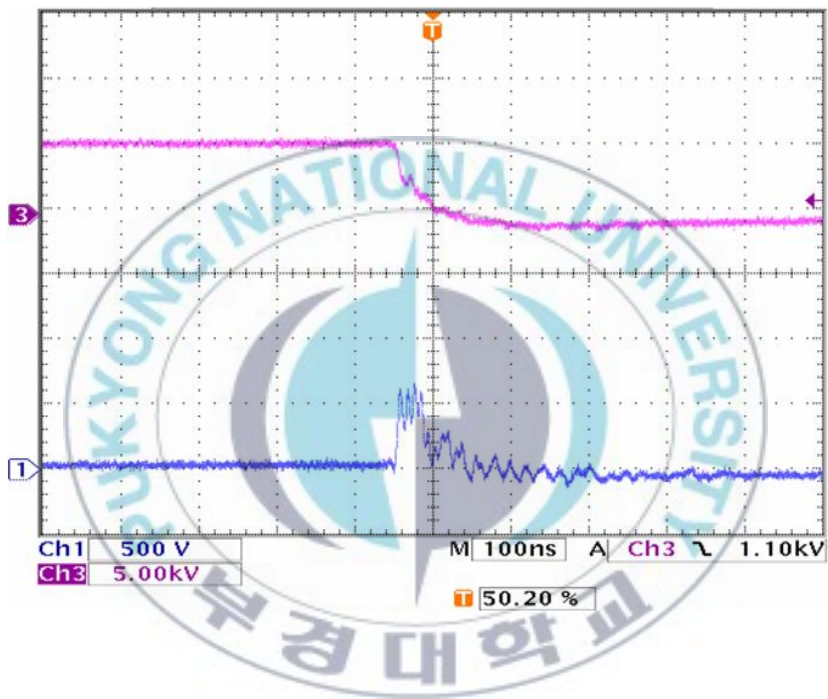


Fig. 4 The plotted wave from the oscilloscope.

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 2-Ethylhexanoic pract.

4-1-1. 산소농도 변화에 따른 폭발범위^{17~22)}

가연성 물질의 경우 가연성 증기와 지연성 가스와의 혼합상태에서 점화원이 가해진다고 해서 항상폭발이 일어나지는 않는다. 가연성 증기와 지연성 가스가 어떤 농도범위내에 있을 경우에만 폭발이 일어나고, 이때의 범위를 폭발범위라 하며 폭발범위의 정확한 측정은 가연성 증기의 폭발사고 방지 대책의 가장 기본적이고 중요한 사항이다. Fig. 5는 폭발통과 2-Ethylhexanoic acid의 온도를 50℃로 유지하고 산소의 농도를 20~70%범위내에서 10% 간격으로 실험을 행하였다.

실험을 하기위한 2-Ethylhexanoic acid의 증기 발생은 0.8%의 농도인 경우 약 5~10분의 시간이 경과하였고, 증기의 농도가 1.5%에서는 약 25~30분의 소요시간이 경과되었으며, 산소농도 변화에 따른 최대 증기의 농도 1.5%이하에서는 폭발이 발생하지 않았다.

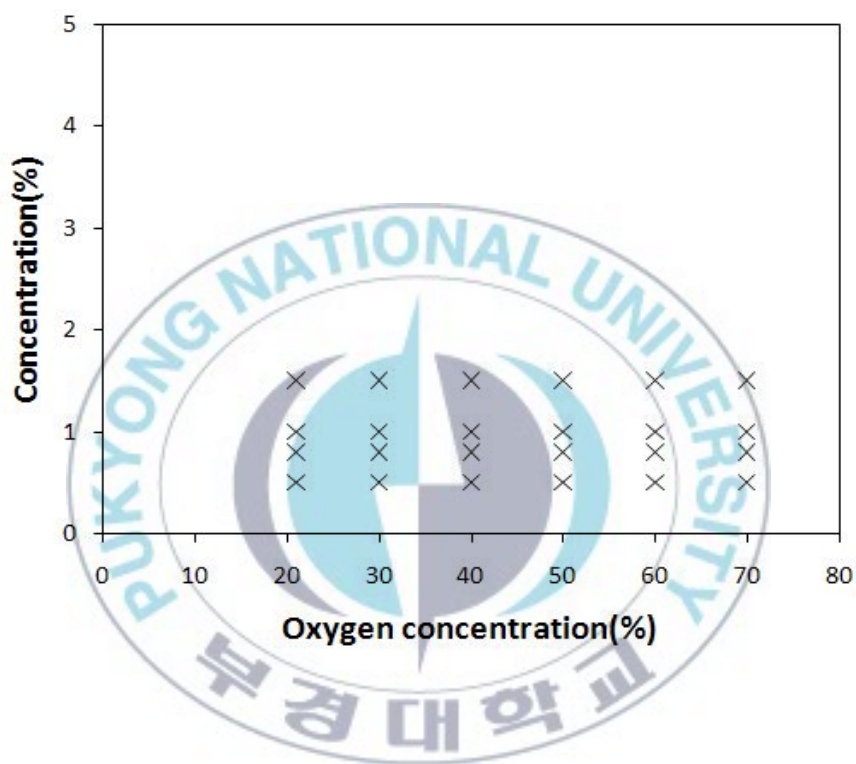


Fig. 5 Relation between oxygen concentration and 2-ethylhexanoic acid concentration at 50°C.

Fig.6는 폭발통과 시료용기의 온도를 100℃로 유지한 상태에서 압력 0.1471MPa일 경우에 있어서 산소농도 변화에 따른 2-Ethylhexanoic acid의 폭발범위를 나타낸 것으로서 산소농도 21%에서 폭발하한 농도는 4.0%, 폭발상한 농도는 4.5%를 구하였으며, 산소 농도 30%에서 하한계 3.4% 이었으며, 산소농도 40~70%에서 동일하게 폭발하한농도 3.2%를 구하였다. 또한 산소농도 30%에서는 온도 100℃에서 2-Ethylhexanoic acid의 증기가 7%이하에서만 생성되기 때문에 상한계를 구할 수가 없었다.

일반적으로 가연성 물질의 위험성을 판단하는 것은 폭발하한 농도와 한계산소 농도가 대단히 중요하다.

따라서 2-Ethylhexanoic acid의 물질은 폭발하한농도 3.2%와 산소농도 21%에서 peak치(한계산소농도)를 구하였다.

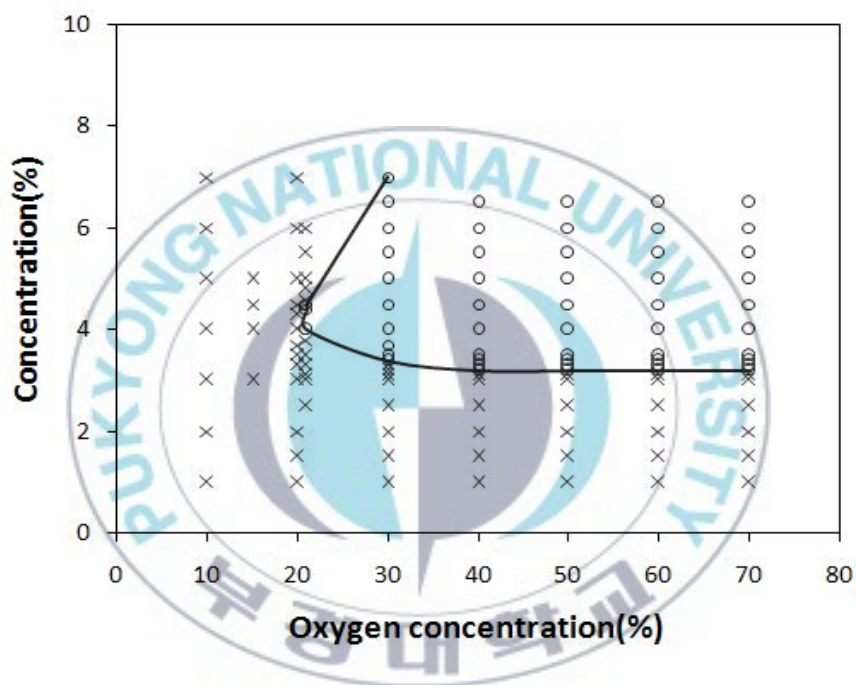


Fig. 6 Relation between oxygen concentration and 2-ethylhexanoic acid concentration at 100℃.

4-1-2. 폭발압력

가연성 물질의 폭발에 있어서 폭발압력은 안전대책을 강구하는데 중요한 인자로서, 가연성가스 및 액체의 저장, 취급시설, 설비시에 내압능력과 방폭설비의 산정기준이 된다.

본 실험에서는 폭발통내의 전극 간극을 5mm내외로 하고 전압을 13kv로 설정하여 실험을 행하였다.

Fig. 7은 산소농도 20~70%의 범위내에서 폭발하한계 부근에서의 최대폭발압력을 나타낸 것으로서 폭발에 따른 압력의 변화는 산소의 농도가 증가할수록 증가하였으며, 산소농도 20~40%로 증가할 경우 폭발압력의 변화는 크지 않았지만 50~60%의 산소농도에서는 압력의 변화가 크게 나타났다. 이는 2-Ethylhexanoic acid의 산소농도가 50~60%에서 산소와 연료비의 조성이 양호하기 때문에 최대폭발압력이 나타나는 것으로 사료된다. 또한 산소농도 70%에서는 산소농도 60%일 경우와 유사하게 나타났다.

따라서 산소농도 60%에서 화학양론 조성이 양호한 것으로 생각된다.

Fig. 8은 산소농도 70%일 경우에 있어서 폭발이 일어났을 때, 시간의 변화에 따라서 최대 폭발압력을 나타낸 것으로서 1.4164MPa를 나타내었다.

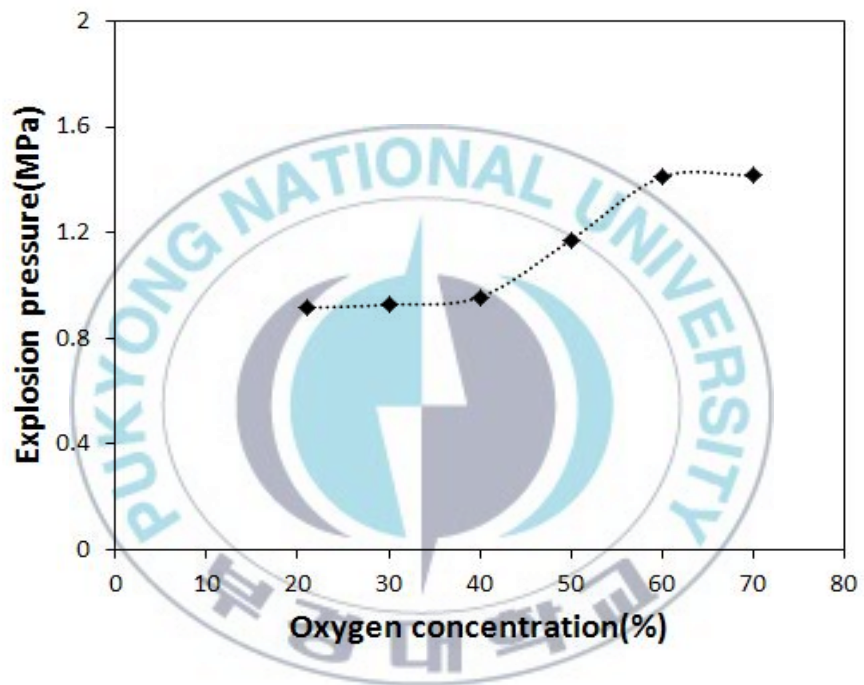


Fig. 7 Relation between oxygen concentration and maximum explosion pressure.

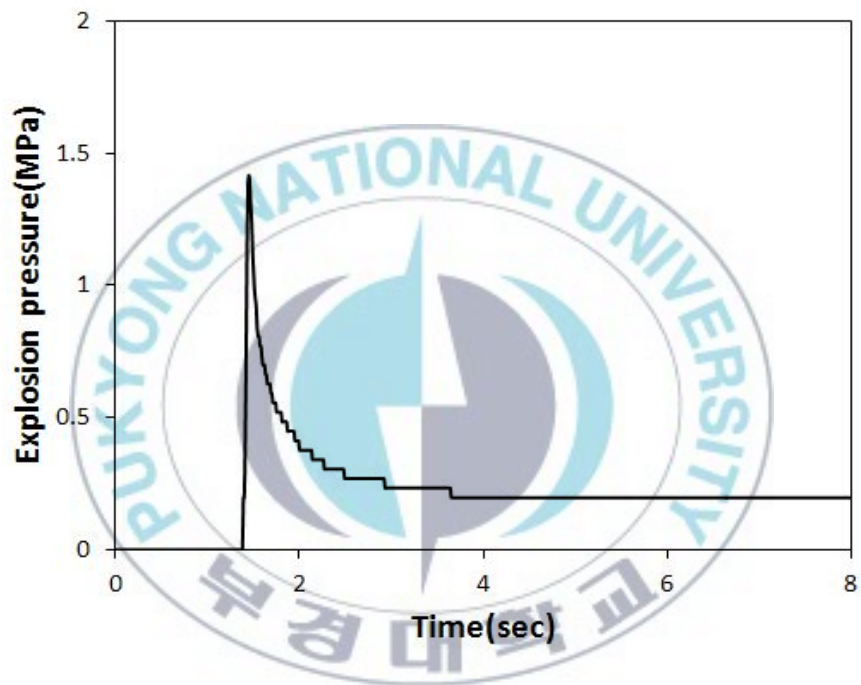


Fig. 8 Relation between time variation and maximum explosion pressure at oxygen concentration at 70%.

4-1-3. 폭발압력 상승속도

Fig.9는 Fig. 7의 산소농도 변화에 대한 최대폭발 압력의 각 산소 농도에서 폭발이 발생하였을 경우 폭발압력 상승속도를 나타내었다. Fig. 7의 폭발압력과 동일하게 산소 농도가 증가할수록 폭발압력 상승속도도 증가하였다.

이는 용기내의 폭발압력이 증가할수록 분자간의 충돌횟수가 증가하기 때문에 최대폭발압력 상승속도가 증가하는 것으로 사료된다. 또한 Fig. 10은 산소농도 70%일 경우에 있어서 시간변화에 대한 폭발압력 상승속도를 나타낸 것으로서 62.692MPa를 구하였다.

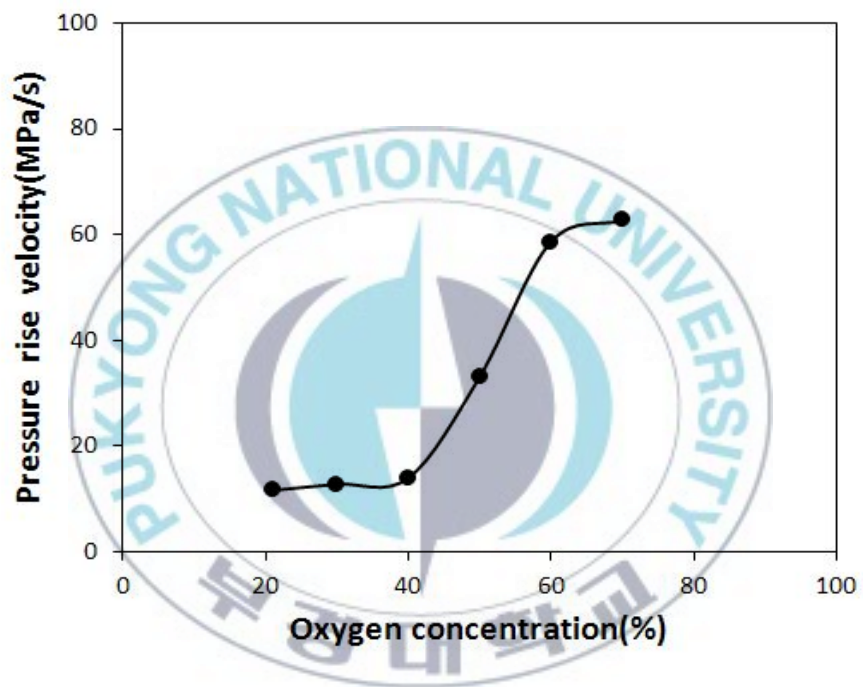


Fig. 9 Relation between oxygen concentration and rate of explosion pressure rise velocity.

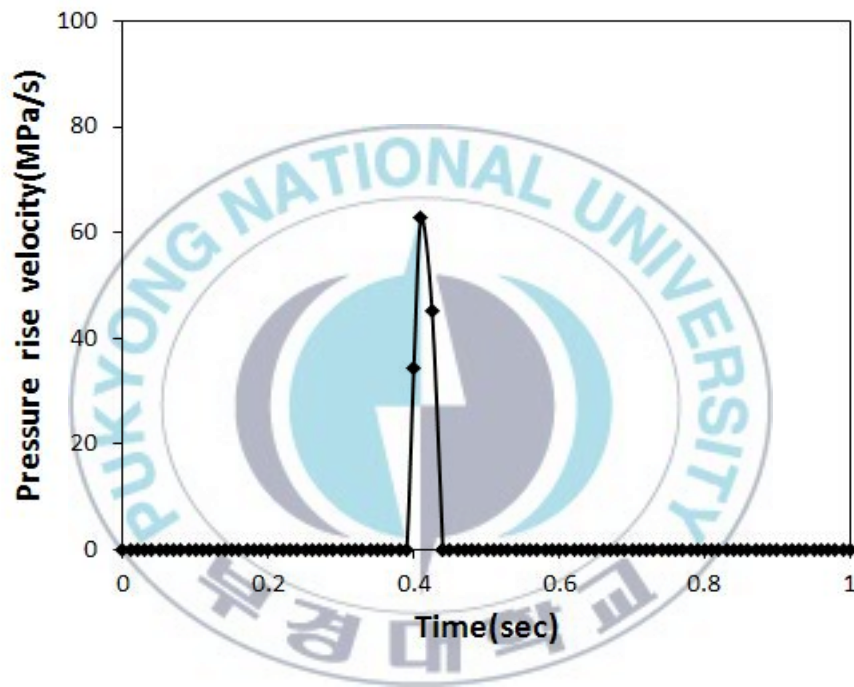


Fig. 10 Relation between time variation and rate of explosion pressure rise velocity at oxygen concentration at 70%.

4-1-4. 온도 변화에 따른 증기 발생농도

반응기 내에서 물질을 제조할 경우에 있어서 가연성 증기의 농도가 폭발하한계 이상이 되면 대단히 위험하다. 따라서 온도변화에 따라 가연성 증기가 발생하는 농도를 구하였다. Fig. 11에서 70℃이하에서는 최대의 증기발생 농도는 2.8%로서 폭발하한계 이하이지만, 80℃에서는 4.7%까지 증기가 생성되어서, 폭발하한계 이상에서 폭발이 일어났다.

따라서 반응기의 운전 시 이상반응에 의한 온도 상승시 70℃부근에서 온도상승을 감지할 수 있는 알람시스템을 설치하고 반응기의 내부온도를 낮출 수 있는 냉각장치가 필요할 것으로 사료된다.

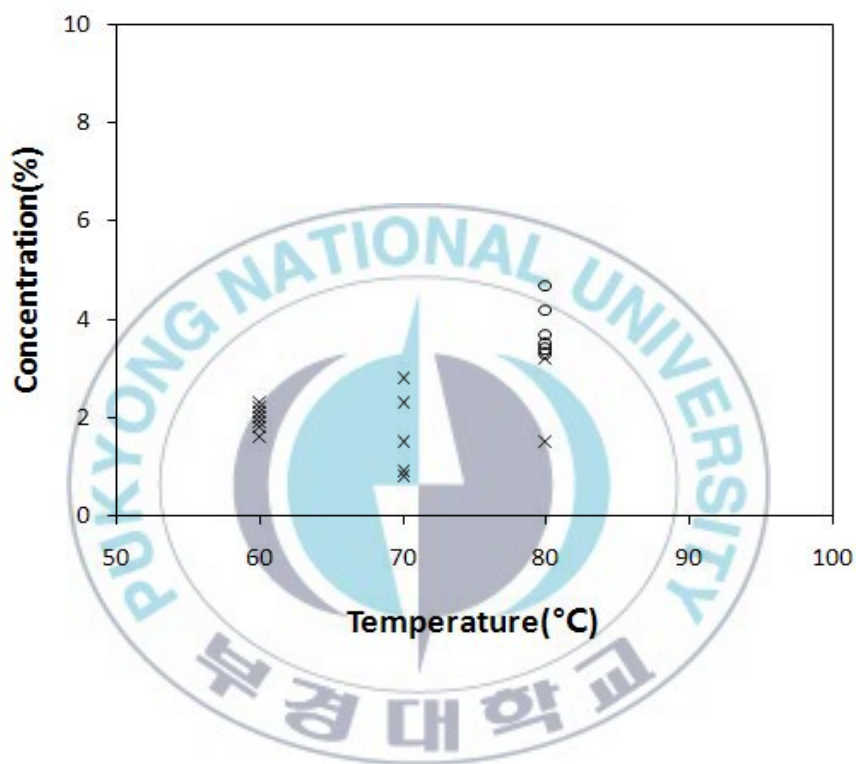


Fig. 11 Relation between temperature variation and 2-ethylhexanoic acid concentration.

4-1-5. 최소착화에너지

최소착화에너지는 가연성 물질의 폭발특성 중에서 중요한 인자이며, 이 수치는 물질 특유의 것이기는 하지만 물질의 환경조성과 측정방법에 따라 변화하므로, 고정적인 수치로 생각하는 것은 바람직하지 않다. 즉, 최소착화에너지는 가연성 물질의 착화원에 따른 위험성을 인식하게 함으로서 중요한 의미를 지니는 것이다. 그러나 가연성 물질이 지니는 몇 가지의 특성 때문에 기존의 측정결과는 절대적인 값이 아니고, 실험조건에 따라 달라지는 점도 있기 때문에 정량적으로 논하기는 곤란하다.²²⁾ Fig. 12는 산소농도 변화에 대한 최소착화에너지를 측정한 것으로서 산소농도 60%에서 착화에 필요한 최소 에너지 0.42mJ를 구하였다.

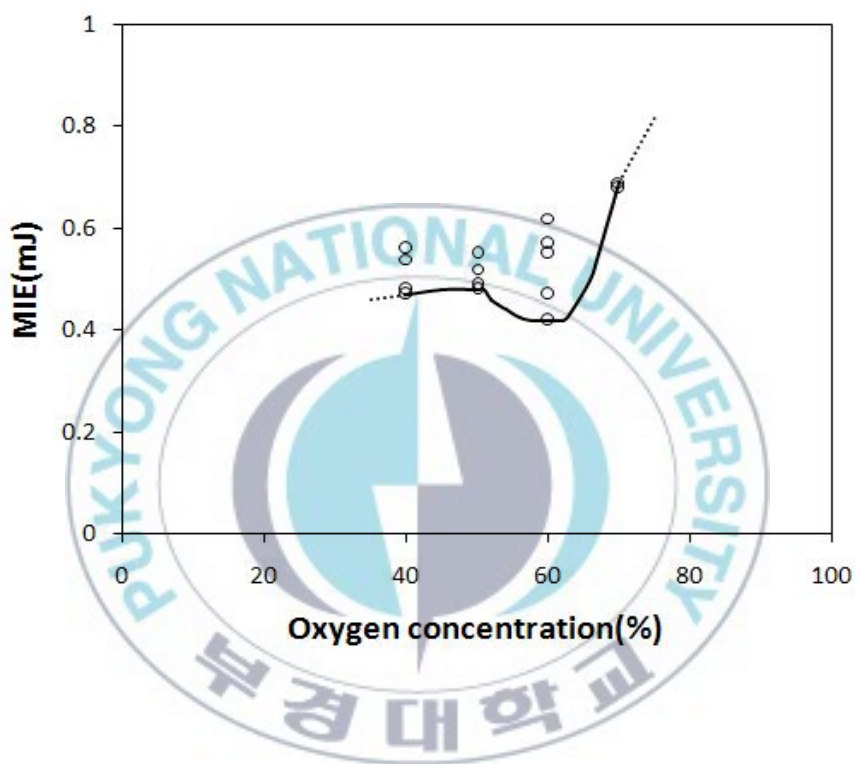


Fig. 12 Relation between oxygen concentration and minimum ignition energy.

4-1-6. 소형압력용기 시험에 의한 압력거동

2-Ethylhexanoic acid의 폭발위험성을 파악하기 위하여 소형압력용기를 이용한 실험을 행하여, 온도변화에 따른 압력의 거동을 구하였다. Fig. 13는 2-Ethylhexanoic acid 1ml를 시료용기 내에 넣고 온도를 상승시켰을 경우에 있어서 폭발압력은 125℃ 부근에서 압력이 증가하기 시작하였으며, 이 온도에서 시료가 분해되는 것으로 생각되고, 400℃에서 최대압력 0.871MPa로 나타났다.



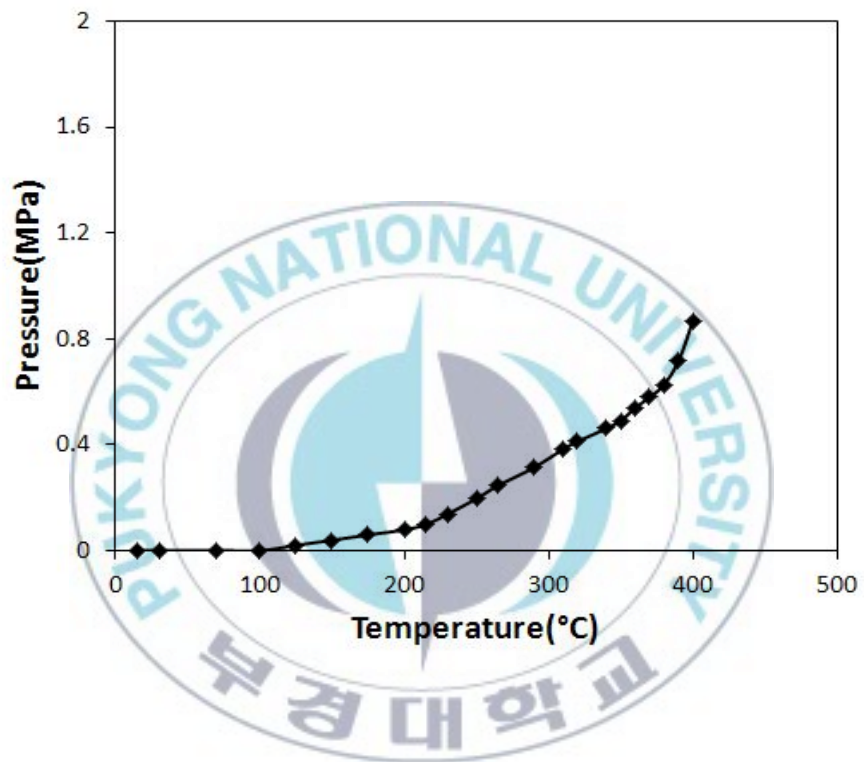


Fig. 13 Relation between temperature variation and pressure.

5. 결 론

2-Ethylhexanoic acid의 폭발위험성을 고찰하기 위하여 산소농도 변화에 따른 폭발범위, 폭발압력, 폭발압력 상승속도, 최소착화 에너지 및 소형압력용기 시험에 의한 압력의 거동을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 2-Ethylhexanoic acid의 폭발범위는 온도 100℃, 산소농도 40~70%에서 폭발하한농도 3.2%를 구하였으며, 산소농도 21%에서 한계산소농도를 구하였다.
- 2) 2-Ethylhexanoic acid의 폭발압력은 산소농도 70%에서 1.4161MPa의 최대 폭발압력을 구하였다.
- 3) 2-Ethylhexanoic acid의 폭발압력 상승속도를 구한 결과 산소농도 70%에서 62.692MPa/s를 구하였다.
- 4) 2-Ethylhexanoic acid의 온도변화에 따른 증기발생 농도는 70℃ 이하에서는 최대 증기 발생농도가 2.8%이하로 폭발하한계 이하이지만, 80℃에서는 폭발하한계를 넘어 4.7%까지 증기가 생성되는것을 구하였다.

5) 2-Ethylhexanoic acid의 산소농도 변화에 따른 최소착화에너지를 측정한 결과 산소농도 60%에서 0.42mJ의 최소착화에너지를 구하였다.

6) 2-Ethylhexanoic acid의 온도변화에 따른 압력거동은 125℃ 부근에서 시료가 분해되어 압력이 상승되었으며, 400℃에서 최대압력 0.871MPa을 구하였다.

7) 2-Ethylhexanoic acid의 인화점을 측정한 결과 60℃를 구하였다.



기호 설명

n_i : mole	[-]
x_i : mole ratio	[%]
P : pressure	[MPa]
T : absolute temperature	[K]
a, a', b : constant	[-]
L_1 : lower explosive limit	[%]
V_{st} : stoichiometric vapor concentration	[vol%]
MOC : minimum oxygen for combustion	[vol%]
U_1 : upper explosive limit	[%]

참고 문헌

- 1) 小林清志, 荒木信幸, 牧野敦, 燃焼工学, 理工學社, pp.1~24, 1988.
- 2) I.G. Choi, I.K. Cho, Y.S. Mok, D.H. Lee, J.W. Choi and D.H. Ha, "The Measurement of Minimum Ignition Energy and Explosion Limit for Pine Tree Dust", J. of the Korean Institute of Gas, vol.2, No.2, pp.55~60, 1998.
- 3) 최재욱, 목연수, 박승호, "도시가스의 폭발 특성에 관한 연구", 한국 산업안전학회지, 제16권, 제4호, pp. 109~114, 2001.
- 4) W.S. Lim, Y.S. Mok and J.W. Choi, "Ignition Temperture of Hydroxy Propyl Methyl Cellulose Dust Cloud", APSS, pp.97~100, 2003.
- 5) 平野橋右, ガス爆發豫防技術, 海文堂, pp.2~3, 1983.
- 6) 板垣晴彦, 安藤隆之, 熊崎 美枝子, 水谷高彰, "ヒドロキシルアミン等の爆發危險特性", 安全工学, Vol.42, No.2, pp.92~97 2003.

- 7) 羽田博憲, 高橋保盛, 木山保, 皿田滋, 鍋谷弘, "高電壓領域における
メタンの點火限界", 安全工學, Vol.28, No.3, pp.139~144, 1989.
- 8) 목연수, 최재욱, 임우섭, 전세호, 이인식, "프로필렌의 폭발 위험성
평가", (주)LG화학 여수공장 보고서, pp.3~5, 2003.
- 9) 최재욱, 김태근, 민철웅, "Acrolein의 폭발 위험성 평가", (주)LG화
학 나주공장 보고서, pp.3~5, 2006.
- 10) 최재욱, 임우섭, 김태근, 김원주, "Ethylene Oxide의 폭발 위험성 평
가에 관한 연구", (주)LG화학/기술연구원 보고서, pp.3~5, 2007.
- 11) 이병철, "표면열처리용 변성가스의 폭발특성에 관한 연구", 부경대
학교 산업대학원 석사학위논문, pp.12~14, 2005.
- 12) 류태욱, "산소농도 변화에 따른 유기용제의 인화특성에 관한 연구",
부경대학교 대학원 석사학위논문, pp.4~5, 2000.
- 13) 장원석, "LP가스의 폭발 위험성에 관한 연구", 부경대학교 산업대학
원 석사학위논문, pp.4~6, 2006.

- 14) 安全工學協會, 防爆工學, 海文堂, pp.39~40, 1983.
- 15) 近藤重雄, 浦野洋吉, 岩阪雅二, 堀口貞茲, 德僑和明, "AH_n水素化物ガスの爆發下限界溫度と結合解離エネルギー", 安全工學, Vol.25, No.5, pp.258~264, 1986.
- 16) 김태영, "2-프로판올과 O-xylene 혼합물질의 인화점과 자연발화 측정에 관한 연구", 부경대학교 대학원 석사학위논문, p.14, 2012.
- 17) I. Wierzba and V. Kilchyic, "Flammability Limits of Hydrogen-carbon Monoxide Mixtures at Moderately Elevated Temperatures", Journal of Hydrogen Energy, No.26, pp.636~643, 2001.
- 18) C.M. Shu, P.J. Wen and R.H. Chang, "Investigations on Flammability Model and Zones for O-xylene under Various Initial Pressure, Temperatures and Oxygen Concentration", Elsevier Science B. , pp. 271~287, 2002.
- 19) W. Jost, Explosion and Combustion Process in Gases,

McGraw-Hill, NewYork, USA, p.56, 1955.

20) E. Meyer, Chemistry of Hazardous Materials, Prentice Hall,
pp. 446 ~ 450, 1999.

21) M.G. Zabetakis, S. Lambiris and G.S. Scott, "Proceeding of
the Seventh Symposium on Combustion", p.484, 1959.

22) 최재욱, 임우섭, 김원주, 김태영, 이성욱, 강명섭, 권영섭, "메셀로스
분진의 화재·폭발 위험성과 안전대책에 관한 연구", 삼성정밀화학(주),
p.18, 2008.



A Study on the Explosion Risk of 2-Ethylhexanoic Acid

Jung-Hun Kim

*Dept. of Fire Protection Engineering, Graduate School of Industry,
Pukyong National University*

Abstract

In order to examine the explosion risk of 2-ethylhexanoic acid, we experimented the explosion limit, explosion pressure, and rate of explosion pressure rise velocity, the minimum ignition energy according to the change of oxygen concentration, and the pressure behavior by the mini cup pressure vessel test, and then arrived at the conclusions like the following.

- 1) The explosion limit of 2-ethylhexanoic acid showed the lower explosive limit of 3.2% at the temperature of 100°C and the oxygen concentration of 40~70%, the minimum oxygen concentration was 21%.

- 2) The maximum explosion pressure of 2-ethylhexanoic acid was 1.4161MPa at the oxygen concentration of 70%.
- 3) The explosion pressure rise velocity of 2-ethylhexanoic acid was 62.692MPa/s at the oxygen concentration of 70%.
- 4) The maximum vapor generation concentration of 2-ethylhexanoic acid according to the change of the temperature was below 2.8%, namely below the lower explosive limit, in case of the temperature of 70°C or lower, but was up to 4.7%, over the lower explosive limit, in case of the temperature of 80°C.
- 5) The minimum ignition energy of 2-ethylhexanoic acid measured according to the change of oxygen concentration was 0.42mJ at the oxygen concentration of 60%.
- 6) The pressure behavior of 2-ethylhexanoic acid according to the change of the temperature showed the pressure rise at about 125°C when the sample decomposed, and showed the maximum pressure 0.871MPa at the temperature of 400°C.

7) The flash point of 2-ethylhexanoic acid was 60°C.



감사의 글

소방공학이란 학문을 탐구하기위해 많은 기대와 많은 걱정을 함께 지니고 대학원에 입학한 것이 었그제 같은데 논문을 마무리 짓는 시점에서 2년간의 학위과정이 많은 추억으로 남아 주마등처럼 스쳐 지나갑니다.

본 논문이 완성되기 까지 부족한 저를 바른 길로, 바른 지식으로, 참된 인성으로 이끌어 주신 최재욱 지도교수님의 은혜에 진심으로 머리숙여 감사드리며 이 은혜는 가슴에 깊이 새겨 잊지 않겠습니다.

아울러 바쁘신 가운데 논문심사와 격려를 해주신 박외철 교수님과 목연수 교수님께서 진심으로 감사드립니다. 또한 학문의 부족함을 일깨워 주시고 가르침을 베풀어 주신 최일곤 교수님, 우경일 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

소방공학과 석사과정이 생기며 함께 입학하여 즐거운 학위과정과 많은 추억을 갖게해주신 동기 조순우 기술사님, 신현철 기술사님, 김호교 소방관님, 이동기 관리사님, 신기호 사장님, 이창수님, 장건형님께 감사드리며 함께 수학한 선·후배님께 깊은 감사드립니다.

저에게 많은 조언과 용기를 주셨던 박형범 박사님, 함께 기술사공부를 하였던 스터디 모임 회원분께도 깊은 감사드립니다.

제가 살아가는데도 많은 도움을 주신분들께 지면을 빌어 감사드립니다.

항상 곁에서 부모님을 대신하여 저를 챙겨주는 큰누나 김윤희, 작은누나 김나영에게 감사드립니다.

마지막으로 묵묵히 자식이 잘 되길 바라시는 아버지, 지금의 제가 있기까지 깊은 사랑과 애정으로 헌신적으로 길러주시며 항상 자식이 잘 되길 빌고 계시는 어머니께 진심으로 감사드리며 저의 작은 결실을 바칩니다.



2012년의 마무리와 희망찬 새해를 계획하며

김 정 훈 배상