

單一液滴魚油의 蒸發, 着火에 關한 實驗的 研究

(加熱 表面上에 滴下할 경우)

장재은 · 안수길*

등명공고, *부산수산대학교

(1992년 10월 20일 접수)

An Experimental Study on Evaporation and Ignition of the Single Droplet on Hot Surface

Jae-Eun JANG and Soo-Kil AHN*

Dongmyeong Technology High School, *National Fisheries University of Pusan

(Received October 20, 1992)

Recently, many researchers make a great effort to develop high efficient marine diesel engines using low grade heavy oil, and also study substitution fuel oil for engines and boilers.

In case of Fisheries Vessels, we need to know that fish oil can be substituted for fuel oil. Therefore, it is studied that evaporation, ignition and combustion phenomena of the single droplet of fish oils (i.e., Sardine fish oil, File fish oil and Alaska pollac oil) on heated plane surface to evaluate appropriateness as substitution oil.

Methanol and light oil are tested simultaneously to help the evaluation on these Fish oils.

The results are summarized as follows :

1. The type of evaporation and combustion is spherical evaporation in case of methanol and light oil. And fish oil blended with light oil was finished in boiling evaporation after film evaporation at low temperature but was ignited after spherical evaporation happen when high temperature.
2. Ignition of pure fish oil was shorter than that of fish oil blended with light oil.
3. Heat transferred to droplet could make qualitative comparison by contact diameter of droplet with hot surface as time changes. Life time of droplet according to the change of heated surface temperature was greatly influenced by droplet contact condition on the heated surface.
4. As far as combustion phenomena was concerned, apparent diameter of the fish oil droplet increased after ignition and decreased suddenly by internal boiling of

- droplet.
5. Three fish oils had similar phenomena on the evaporation, ignition and combustion.
 6. Evaporation and combustion feature of fish oil could not be shown by coefficient of evaporation velocity of droplet and coefficient of combustion velocity of droplet.

1. 序 論

최근 화석 에너지 자원의 有限性에 비추어 에너지 절감 및 代替에너지 개발이 절실히 요구되고 있다. 자동차용 內燃機關의 代替燃料로는 메탄올, 에타놀, 천연가스, 식물유 등이 연구되고 있으며¹⁻⁴⁾ 대형 내연기관의 경우는 乳化油, CWM, 天然가스 및 魚油 등의 연구^{5,7)}가 활발히 시도되고 있다.

그 중 魚油는 어선의 모선인 공모선에서 魚粉 생산시 발생되는 부산물로서 생산되며 그 성분은 지방산 에스테르에 가깝다. 또한 발열량도 정어리유의 경우, 실측에의하면 8720 kcal/kg 정도이고 硫黃分도 포함되지 않으므로 低溫腐植 등의 위험이 없을 뿐만아니라 가격도 증유와 비슷하다.

따라서 魚油가 漁船의 代替燃料로 사용될 수 있다면, 석유 위기와 어선 운항비 절감에 크게 기여하리라 생각된다. 디젤기관의 경우 燃燒室에 분사된 연료는 그 일부가 고온인 피스톤의 상부 혹은 실린더 벽면에 충돌하여 蒸發, 着火한다. 이에 따른 기초 연구로서 輕油液滴을 고온인 가열면상에 滴下시켜 그에 따른 충돌 후 液滴의 분열이나 분산에 따른 연료증기의 형성 및 燃燒特性等이 연구되고 있다. 그중 Tamura⁸⁾은 가열면상에 충돌하는 液滴의 蒸發 및 燃燒에 관해 상세히 보고하고 있고, 炳澤⁹⁾은 가열면상에 충돌하는 直徑이 2mm 전후의 비교적 큰 液滴을 사용하여 착화현상에 대해서 조사 하였으며, 構本¹⁰⁾은 열면온도와 液滴 증발수명과의 상사성에 대해서 비등형상과 관련하여 설명하였다. 또한 廣安¹¹⁾은 디젤분무를 定容容器 中 열면에 충돌시켜 분위기온도, 압력, 열면온도와 着火遲延과

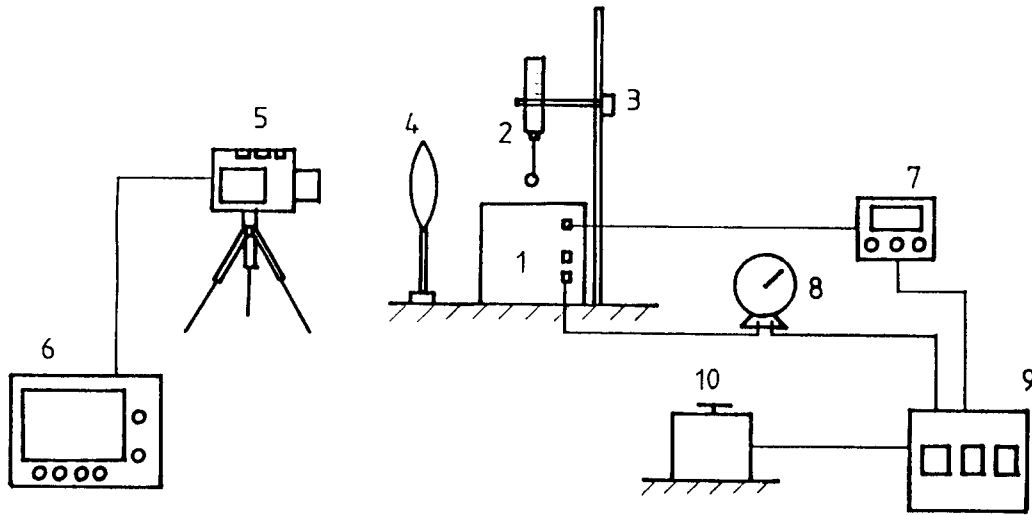
의 관계를 조사 하였으며, 手代目¹²⁾은 副室式 디젤기관에서 燃燒室壁面 온도에 의한 燃燒制御 가능성에 대해서 보고하고 있다. 그러나 魚油에 대한 연구는 거의 없으므로 본 연구에서는 몇종의 單一液滴 魚油를 가열 표면상에 滴下 했을때의 蒸發, 着火 및 燃燒 現象을 실험적으로 검토했다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

Fig.1은 실험 장치의 概略圖이다. 주요 부분은 표면가열기① 및 시료 滴靜裝置②, 촬영장치⑤와 분석장치⑥, 가열기 온도제어장치⑨로 구성되어 있다. 시료 滴靜裝置는 병용용 주사기(내경 0.5mm)의 끝단을 직각 단면으로 정밀 가공하여, 주사기에서 自由落下하는 방법을 택했다.

液滴의 촬영 및 분석장치는 표면가열기 표면에 시료가 滴靜되는 순간부터 液滴이 蒸發하여 燃燒가 완료 될 때까지의 전과정을 렌즈④로 9배 확대한 후 고성능 비디오 카메라⑤로 2배속 촬영하였다.

한편 촬영된 녹화 테이프는 디스플레이어⑥에 의해 재생 분석했다. 표면온도 조절은 가변 변압기⑩과 정온 조절기⑨에 의해 온도를 일정히 유지했다. 표면 가열기의 온도측정은 가열기 中央部下의 1mm에 C-A 열전대(φ 0.3mm)를 애관에 매입하여 디지털 온도계⑦로 측정하고, 滴靜 높이는 가열기 표면 중앙에서 상방 10mm 위치로 하였으며 滴靜間隔은 가열면이 선행 실험후 열적 안정 상태에 도달할 때까지의 시간을 고려하여 30초 이상의 시간 간격을 두었다. 측정 시료는 메탄올(methanol), 輕油(light oil), 명태유(alaska pollac oil), 정어리유(sardine fish



- 1. Electric Surface Heater
- 2. Capillary Tube
- 3. Stopper
- 4. Lens
- 5. Video Camera
- 6. Displayer
- 7. Digital Thermometer
- 8. Voltage Meter
- 9. Thermo Controller
- 10. Variable Transformer

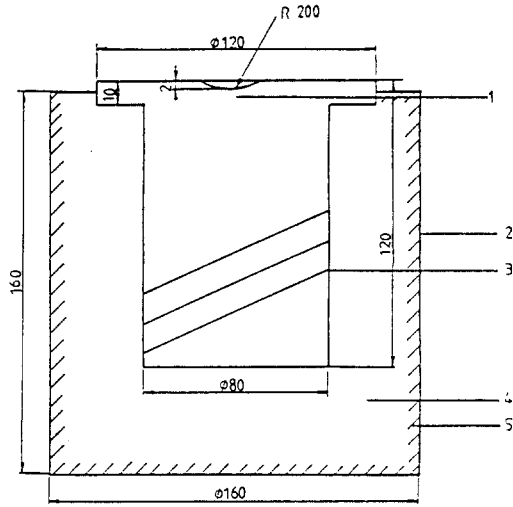
Fig. 1. Schematic of the experimental apparatus

Table 1. Physical properties of testing liquid (30°C)

Testing liquid	Density (g/cm ³)	Viscosity (cSt)	Surfaces Tension (dynel/cm)
Light oil	0.842	3.8	88.9
Methanol (20°C)	0.792	0.737	28.28
Alaska pollac oil	0.927	39.0	113.0
25wt% Alaska pollac oil	0.852	9.3	94.9
File fish oil	0.933	25.0	89.0
25wt% File fish oil	0.853	7.6	88.9
Sirdine fish oil	0.934	27.3	95.0
25wt% Sardine fish oil	0.854	8.3	90.4

oil), 쥐치유 (file fish oil)의 原液 5종류와 魚油를 輕油에 25wt% 혼합한 魚油混合輕油 3종류를 합한 총 8종류의 시료에 대해 蒸發, 着火 및 燃燒現象을 관찰했다.

Table 1은 실험에 사용된 시료의 물성치를 나타내며 Fig. 2는 실험에 사용된 표면가열기를 나타낸다. 표면가열기는 지름이 120mm인 스테인레스강재(SUS316)의 中央部에 깊이2mm의 凹를 만들어 液滴의 飛散을 방지했으며 외부에 칸탈선(φ 1.3mm)을 감아 열선으로 사용했다. 한편 표면가열기의 열손실을 막기위해 적정표면을 제외하고는 전 표면가열기를 내열재인 개스터블(INCT-120S)로 단열시킨 후 이를 耐熱 세라믹포로 감은 스테인레스 용기에 고정시켰다. Fig. 3은 실험시 측정된 가열기 중앙하 1mm의 온도를 표면가열기 표면의 온도로 환산하기 위하여 표면가열기 내부와 표면의 온도를 동시에 측정된 결과를 나타낸다. Fig. 에서 X軸은 표면가열기 내부온도를 Y軸은 표면가열기 상부 測定點의 온도를 나타낸다.



1. Thermo Couple
2. Stainless Tube
3. Kantal Wire
4. Insulator
5. Ceramic Wool

Fig. 2. Sectional drawing of electric surface heater

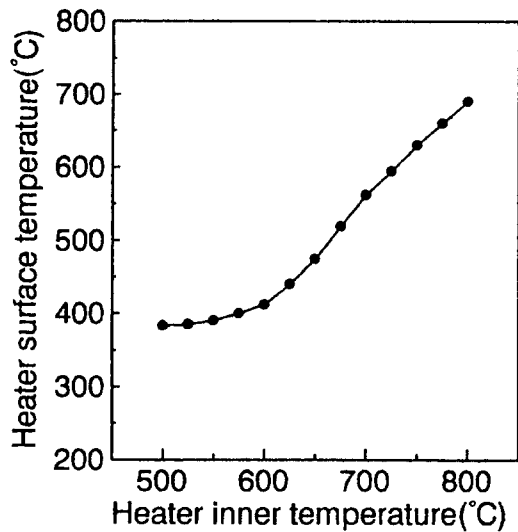


Fig. 3. Calibration were of surface temperature

본 실험에서의 가열면 온도는 표면가열기의 내부온도를 표면가열기 상부의 측정점 온도로 換算하여 고찰하였다.

또한 액적의 직경은 가열면상에 적하한 액적

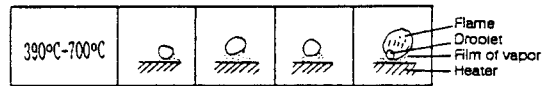
의 장경(長徑)과 단경(短徑)을 측정하여 사용했다¹³⁾.

3. 結果 및 考察

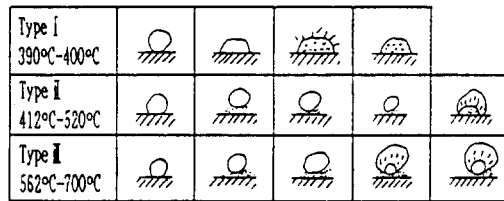
3.1 蒸發 및 燃燒 形態

Fig. 4는 가열면에 滴下한 液滴의 蒸發 및 燃燒 形態를 묘사한 것이다.

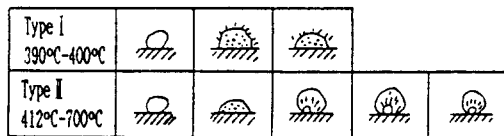
Fig. 4(a)는 가열면의 온도 $390^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$ 에 메탄올 및 輕油을 滴下한 경우로 가열면에 滴下한 液滴은 Lidenfrost 現象이 일어나 液滴은 가열면의 蒸氣膜上에서 球狀蒸發하여 메탄올은 595°C , 輕油는 660°C 근방에서 着火, 燃燒하였다. Fig. 4(b)는 25wt% 정어리유 混合輕油의 가열면 온도에 따른 蒸發 및 燃燒 形態로 Type I은 가열면 온도 $390^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$ 에 滴下한 경우다. 液滴이 가열면에 충돌하면 液滴은 렌즈모양 액막을 형성하여 시간이 경과함에 따라 液滴内部의 휘발 성분인 輕油가 蒸發하여 기포를 발생하고 液滴은 가열면에 접촉된 상태로 蒸發을 완료한다.



(a) Methanol and light oil



(b) 25wt% Sardine fish oil blended with light oil



(c) Sardine fish oil

Fig. 4. Type of the evaporation and combustion

Type II는 가열면 온도가 $412^{\circ}\text{C} - 520^{\circ}\text{C}$ 에
 滴下한 것으로 滴下한 정어리 混合輕油는 輕油
 成分이 沸騰蒸發하여 液滴內部를 膨脹시켰고,
 液滴의 온도 상승에 따라 그 활동이 활발해져 가
 열면 사이에 蒸氣層을 형성하여 Lidenfrost 現
 象이 나타나 液滴은 球狀狀態에서 蒸發을 한다.

그러나 시간이 경과함에 따라 液滴은 蒸氣層
 이 소실되어 렌즈모양의 沸騰蒸發하여 510°C
 근방에서 着火, 燃燒하였다.

Type III은 가열면 온도가 $562^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$ 사
 이로 온도가 상승됨에 따라 液滴은 滴下 즉시
 Lidenfrost 現象이 나타나 球狀蒸發하고, 液滴
 주위는 가연혼합기가 형성되어 着火, 燃燒하였
 다. 液滴은 시간이 경과함에 따라 內部沸騰 등
 에 의해 겉보기 直徑이 증가함을 나타내었다.

Fig. 4(c)는 정어리유 原液의 경우로 Type I
 은 가열면 온도가 $390^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$ 에 液滴이 滴下
 되면 液滴은 가열면과 직접 접촉하여 렌즈 모양
 의 液膜蒸發을 일으켜 맹렬한 기포를 飛散 시키
 면서 沸騰蒸發로 蒸發을 완료한다.

Type II는 가열면 온도가 $412^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$ 사
 이로 가열면 온도가 상승함에 따라 가열면에 滴
 下한 液滴은 렌즈 모양의 液膜蒸發後 沸騰蒸發
 로 可燃混合氣가 早期에 형성되어 410°C 근방에
 서 着火, 燃燒하며 魚油混合輕油 보다 燃燒中
 液滴의 겉보기 직경 增加 現象이 두드러졌다.

이상의 시료들의 蒸發 및 燃燒 形態를 종합해
 보면 메탄올 및 輕油의 경우는 球狀蒸發, 燃燒
 하고 魚油混合輕油의 경우 저온일 때는 液膜蒸
 發後 沸騰蒸發로 蒸發을 완료하지만, 가열면의
 온도가 상승하게 되면 球狀蒸發하여 着火 및 燃
 燒를 완료한다. 魚油原液인 경우는 液膜蒸發後
 沸騰蒸發로 液滴은 급격한 液滴 내부의 기포를

飛散하면서 蒸發 및 燃燒를 완료하였다. 한편
 液滴을 고온인 가열면에 滴下했을 경우, 液滴이
 着火할 수 있는 조건은 液滴 주위의 어느 한 부
 분에서 蒸發에 의한 蒸氣와 주위 공기와의 혼합
 이 可燃混合比 범위에 있어야 하고, 着火溫度
 이상으로 유지 되어야 한다. 그러나 동일 가열
 표면 溫度下에서도 液滴 주위의 可燃混合比 형
 성 確率에 따라 着火하는 경우와 着火하지 않는
 경우가 있다.

Table 2는 각시료들의 着火溫度를 나타내며
 본 실험에서 着火溫度는 가열면에 液滴을 滴
 下한 횟수의 50% 이상 着火되는 가열면의 온도
 를 着火溫度로 定義하였다. Table에 의하면 시
 료 중 정어리유가 410°C 로 着火溫度가 가장 낮
 았고 魚油混合輕油인 경우는 魚油의 함량이 많
 을수록 낮은 온도에서 着火가 일어났다. 이는
 魚油混合 비율의 증가에 따라 점성이 증가하여
 가열면상의 液滴 접촉면적이 증가하여 수열량
 이 많아졌기 때문이라 생각된다.

3.2 加熱面 溫度變化에 따른 液滴의 壽命

가열면에 滴下한 液滴이 가열면상에서 消滅
 할 때까지의 시간을 液滴壽命이라 하면 液滴壽
 命은 液滴이 가열면에 滴下하여 증발만으로 소
 멸하는 경우의 蒸發 液滴壽命 T_e 와 液滴이 가열
 면에 滴下하여 증발한 후 着火하여 燃燒하는 경
 우의 燃燒 液滴壽命 T_c 로 구분 하여 생각할 수
 있다.

여기서 燃燒 液滴壽命 T_c 는 가열면에 滴下한
 液滴이 증발하여 着火되기 전까지의 着火遲延
 時間 T_{ie} 와 液滴이 가열면에서 着火하여 燃燒를
 완료할 때까지의 燃燒時間 T_{ic} 으로 나누어 생

Table 2. Ignition temperature of testing liquid

Test liquids	Alaska pollac oil				File fish oil				Sardine fish oil				Methanol	Light oil
	25wt%	50wt%	75wt%	100wt%	25wt%	50wt%	75wt%	100wt%	25wt%	50wt%	75wt%	100wt%		
Ignition temperature	518	446	436	420	532	450	440	425	510	440	419	410	595	660

각할 수 있다.

Fig. 5, 6은 輕油와 메탄올을, Fig. 7, 8은 25 wt% 정어리유 混合輕油와 정어리유 원액의 가열면 온도 변화에 따른 液滴壽命을 나타낸다.

Fig. 에서 □은 液滴이 가열면에 滴下된 후 증발하여 소멸할때까지의 시간을 ■은 液滴이 가열면에 滴下된 후 着火될때까지의 시간을 나타내며 ●은 착화후 연소를 완료할때까지의 경과 시간을 나타낸다.

Fig. 5, 6의 輕油와 메탄올의 경우 390°C의 가열면에 滴下된 液滴은 Fig. 4(a)와 같이 가열면

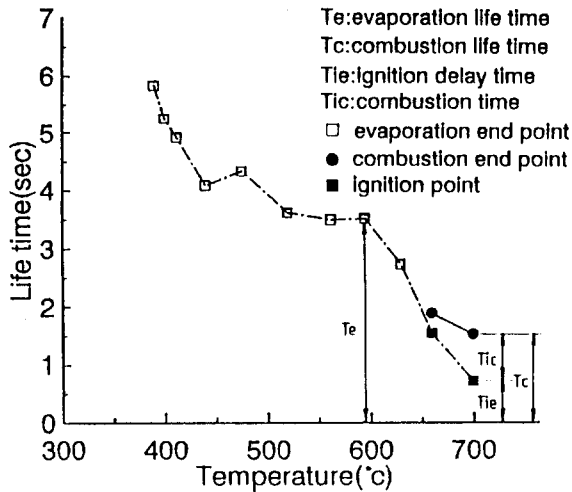


Fig. 5. Life time curve of Light oil

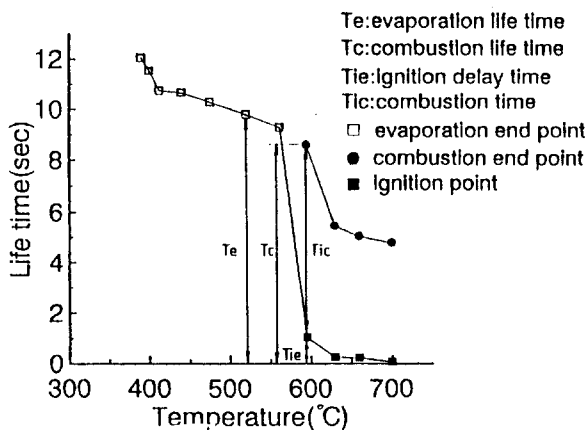


Fig. 6. Life time curve of Methanol

과 液滴 사이의 蒸氣膜이 형성 되어 傳熱을 방해하는 Lidenfrost 현상이 일어나 液滴壽命은 最大值를 나타낸 후 온도의 상승에 따라 증발량이 커져 증발 액적수명 T_e 는 점차 짧아졌다.

그러나 메탄올이 輕油보다 액적의 수명이 긴 것은 메탄올의 증발열이 輕油보다 크기 때문이라 생각된다. 또한 가열면의 온도가 착화온도에 達하면 液滴은 着火되어 메탄올 액적의 연소시간이 輕油보다 길었다.

이는 輕油의 경우 火炎은 熱炎이므로 연소중인 액적은 액적주위의 火炎으로 부터 輻射熱을 받는데 대해 메탄올의 火炎은 靑炎이므로 액적이 받는 輻射熱이 輕油에 비해 적기 때문이라 생각된다.

가열면의 온도가 더욱 상승하게 되면 蒸發이 促進되어 반응물질의 상대 운동이 더욱 활발하여 연소액적수명 T_c 는 짧아졌다. Fig. 7은 25 wt% 정어리유 混合輕油의 경우이며 가열면 온도가 390°C에 滴下한 액적의 증발 액적수명 T_e 가 가장 짧았다.

이는 Fig. 4(b)에서 보는바와 같이 가열면 온도가 비교적 低溫인 경우 가열면과 액적이 직접 접촉을 하므로 접촉면적이 커 증발량도 많아지기 때문에 증발 액적수명 T_e 가 짧아졌다고 생각된다. 그러나 점차 가열면의 온도를 상승시키면

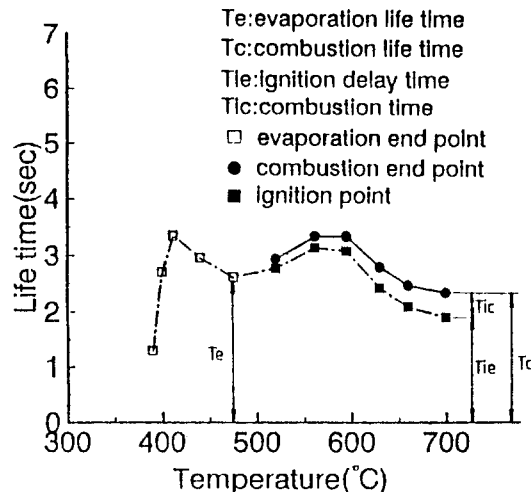


Fig. 7. Life time curve of 25wt% Sardine fish oil blended with Light oil

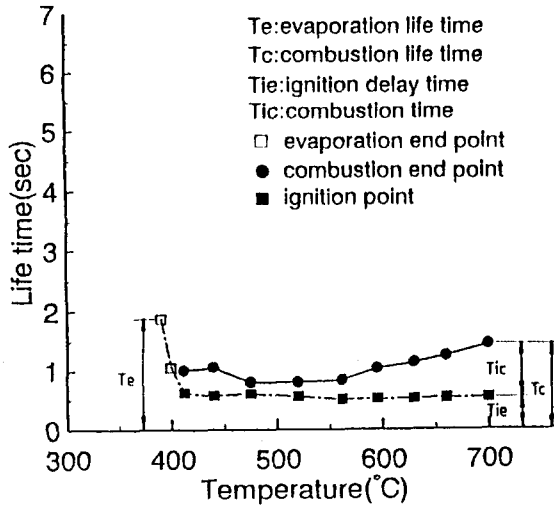


Fig. 8. Life time curve of Sardine fish oil

25wt% 정어리유 혼합輕油中 沸騰點이 낮은 輕油分이 먼저 증발하여 가열면과 液滴 사이에 蒸氣膜을 형성하여 가열면과 직접 접촉을 방해하므로 蒸發 液滴壽命 T_e 는 길어져 가열면 온도가 410°C 근방에서 최대가 된 후 液滴內 輕油의 沸騰分이 분출되어 점차 蒸發 液滴壽命 T_e 는 짧아졌다. 그러나 가열면 온도가 510°C 근방이 되면 Lidenfrost의 영향으로 전열이 방해되어 증발수명이 길어짐과 동시에 殘留魚油 성분의 연소로 燃燒 液滴壽命 T_c 는 증가를 시작하여 Lidenfrost가 격심한 가열면 온도 560°C 근방에서 燃燒 液滴壽命 T_c 는 최대치를 나타낸 후 가열면 온도의 상승에 따라 증발량의 급격한 증가에 따라 燃燒 液滴壽命 T_c 는 점차 짧아졌다. 또한 착화 후 연소완료시 까지의 시간 T_{ic} 도 輕油 액적의 경우와 같이 액적이 輝炎에 의한 輻射熱로 짧아지는 경향을 나타내었다.

그러나 가열면 온도가 상승하여 着火遲延期間 T_{ie} 가 짧으면 짧을수록 擴散燃燒 할수 있는 연소량의 증가로 연소시간 T_{ic} 는 길게 나타났나.

Fig. 8은 정어리유 원액의 가열면 온도변화에 따른 液滴壽命을 나타낸 것으로서 가열면에 적합한 액적의 着火遲延時間 T_{ie} 은 25wt

% 정어리 混合輕油 보다 짧았고 증발 액적수명 T_e 는 급격히 짧아졌다.

이는 Fig. 4(c)에서 보는 바와 같이 가열면에 적합한 액적은 가열면과 직접 접촉하므로 전열량이 많아 증발 액적수명 T_e 가 급격히 감소되었음과 동시에 이에따라 着火遲延時間 T_{ie} 도 짧아졌다고 생각된다.

그러나 가열면온도의 상승에 따른 착화지연 T_{ie} 의 감소가 매우 작은것이 특성이다. 이는 Fig. 4(c)에서 보는 바와같이 실험범위의 온도에서는 어유 원액의 경우 전열을 방해하는 Lidenfrost의 현상이 일어나지 않기 때문이라 생각된다. 이상으로 고온의 가열면에 적합한 액적의 수명은 액적과 가열의 접촉상태에 따라 크게 영향을 받음을 알수 있었다.

3.3 蒸發現象

單一液滴의 蒸發 모델에서 蒸發速度係數 k_e 와 液滴直徑 D 의 관계는 $dD^2/dt = k_e$ 가 성립되므로¹³⁾ 시간에 따른 液滴直徑 제곱의 변화를 도시하면 蒸發速度係數을 알수 있다. Fig. 9는 착화가 불가능한 가열면 온도 440°C 에 메탄올과 輕油의 單一液滴을 滴下했을 경우 시간 경과에 따른 증발시의 D^2-t 의 관계를 나타낸다. Fig.

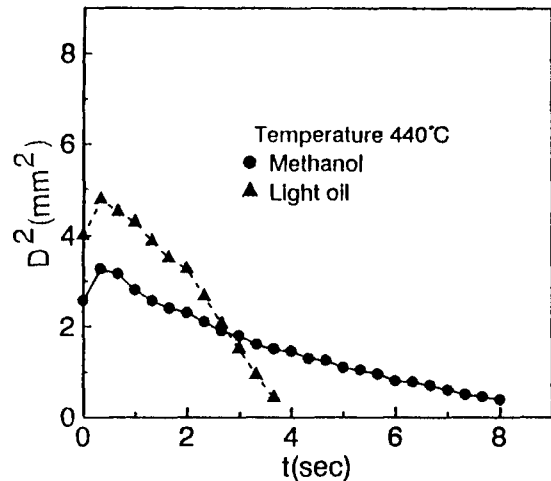


Fig. 9. D^2-t curve of Light oil and Methanol

에 의하면 初期液滴이 가열에 의한 팽창 기간을 지난 약 0.5초 이후에는 飽和液滴 주위로부터 定常蒸發에 의한 D^2 의 감소율이 대체적으로 일정했다. Fig. 에서 메탄올과 輕油의 蒸發速度係數은 각각 $0.37(mm^2/sec)$, $1.184(mm^2/sec)$ 정도로 輕油에 비해 메탄올의 蒸發速度係數가 낮았다. 이는 메탄올은 輕油에 비해 蒸發潛熱이 크므로 蒸發氣化熱에 의해 주위로부터 열을 흡수하여 가열기의 표면온도를 降下시킬 뿐만 아니라 증발에 따른 가열면과 液滴 사이에 蒸氣層이 輕油에 비해 두꺼워 가열면으로부터의 傳熱量이 적기 때문이라 생각된다.

Fig. 10은 명태유, 쥐치유, 정어리유를 輕油에 각각 25wt%씩 혼합한 魚油混合輕油를 着火가 불가능한 가열면온도 $440^{\circ}C$ 에서의 D^2-t 관계를 나타낸다. 이때 魚油混合輕油의 D^2-t 는 單一組成物인 메탄올의 D^2-t 와는 달리 어느 혼합유나 증발 초기에는 液滴의 微弱한 팽창, 수축으로 凹 및 凸 형상이 있었으나 시간 경과에 따라 液滴 내부의 거품을 형성하면서 급격히 팽창한 후 가스의 분출과 함께 수축하는 심한 凸 현상을 나타내었다.

이는 증발 초기에는 液滴 내의 輕油의 내부 비등으로 인해 液滴 直徑의 증대와 증발가스의 분

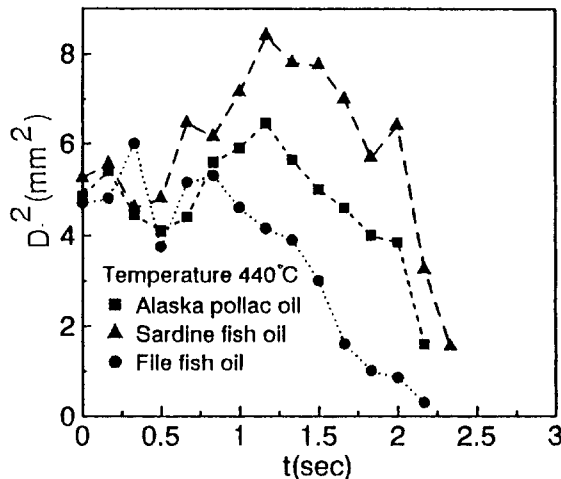


Fig. 10. D^2-t curve of 25wt% Fish oil blended with Light oil

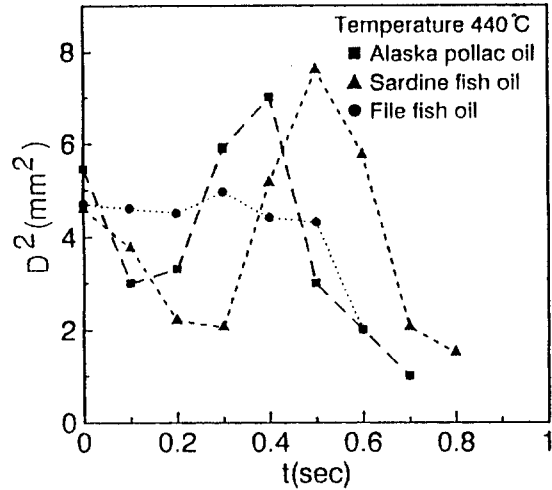


Fig. 11. D^2-t curve of Fish oil

출에 의한 것이며 후기에는 魚油의 熱分解에 의한 심한 가스의 생성 때문이라 생각된다. 따라서 D^2 의 增減 現象이 현시하여 D^2-t 법칙을 따르지 않았다. Fig. 11은 3종의 魚油原液을 가열면온도 $440^{\circ}C$ 에 滴下한 D^2-t 의 관계를 나타낸 것으로 蒸發 완료 기간이 1초 미만으로 魚油混合輕油보다 짧았으며 Lidenfrost 現象은 관찰되지 않는 경우이다. 이는 液滴이 직접 가열면에 접촉하여 가열면으로부터 많은 수열량이 液滴 内部로 傳熱됨에 따라 液滴 内部에서는 熱分解가 심하게 일어나 熱分解 가스에 의한 결보기 直徑의 증가 및 가스 분출에 의한 直徑의 감소가 컸다고 생각된다. 이상의 蒸發 現象에서 單一組成物인 메탄올과 비교적 분자량 범위가 좁은 輕油의 시간 변화에 따른 D^2-t 관계는 거의 직선적으로 변하므로 D^2-t 법칙에 따라 蒸發速度係數을 표시 할 수 있으나 魚油混合輕油나 純粹魚油는 液滴 内部의 熱分解가스 형성으로 인한 거품 형성과 급격한 가스 분출로 시간 경과에 따른 液滴의 直徑 2승에 의한 蒸發速度係數을 구할 수 없었다.

3.4 時間의 變化에 따른 液滴의 接觸直徑

가열면에 滴下한 液滴은 시간이 경과함에 따

라 그 형상이 변하며 그 液滴形狀의 시간적인 변화에 따른 액적과 가열면 사이의 접촉면적은 液滴의 傳熱量을 解析하는데에 중요하다. 가열면에서 傳熱量은 液滴과 가열면 사이의 接觸面積을 시간적분치와 증기층의 두께에 의해 결정된다.

西尾¹⁴⁾는 液滴의 체적이 변하면 그에 따라 증기층의 두께도 변한다고 보고 하고 있다. 그러나 체적의 변화에 따른 증기층의 두께의 변화량을 구하는 것은 매우 어려우므로 佐藤¹⁵⁾은 가열면 상에서 접촉하는 液滴의 접촉면적을 구해 접촉면적이 최대가 되는 경우 傳熱量도 최대가 되는것을 확인했다. 따라서 본 연구의 경우 液滴에 전달되는 傳熱量의 비교는 시간변화에 따른 液滴의 接觸直徑 Dt 을 구해 그 결과를 $Dt-t$ 로 나타내어 그 경향을 정성적으로 비교 하였다. 여기서 Dt 는 가열면에 충돌한 液滴이 액막을 형성한 후 수축하여 분열하지 않는 안정한 非分裂形으로 液滴이 가열면과 접촉하는 부분의 直徑을 의미하며 가열면에 접촉하는 액적의 接觸直徑 측정은 모니터상에 나타나는 화상으로 부터 구했다.

Fig. 12는 메탄올과 輕油의 액적이 가열면에 접촉될 때의 그 접촉직경의 변화를 가열면 온도가 440°C 일때를 나타낸 것이다. Fig. 에 의하면 초기는 液滴의 충격에너지에 의해 최대 접촉면적에 達한 후 표면장력에 의한 復原力이 작용하여 수축되고 그후 가열면의 傳熱에 의해 증기를 발생하여 液滴과 가열면 사이에 증기층이 介在하는 球狀蒸發로 接觸直徑 Dt 은 감소하는 경향을 보였지만 메탄올의 경우 증발 말기에는 시간경과에 따라 Dt 는 변화가 거의 없음을 나타내었다. 이는 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 증발완료 시간이 길어진 것과 일치하였다.

이는 증발이 완료될쯤에는 증발 하고있는 액경에 비해 증기층이 두꺼워 가열면에서 液滴으로의 전열이 어려우므로 증발속도가 늦기 때문이라 생각된다. Fig. 13은 가열면 온도가 440°C 일때 25wt% 魚油混合輕油의 경우로 滴下한 液

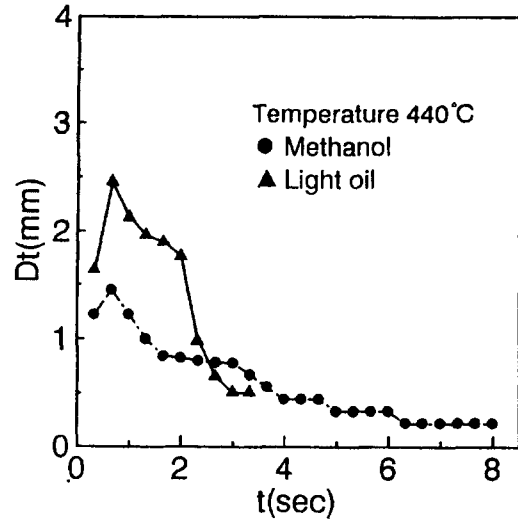


Fig. 12. $Dt-t$ curve of Light oil and Methanol
* Dt : Diameter of contact area

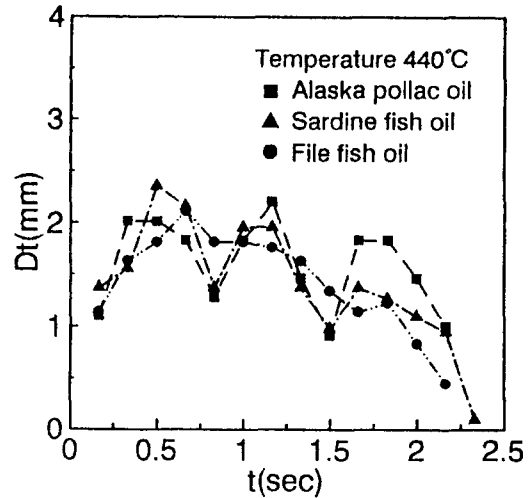


Fig. 13. $Dt-t$ curve of 25wt% Fish oil blended with Light oil
* Dt : Diameter of contact area

滴은 가열면에 충돌하여 접촉면적이 넓혀지고 다시 표면장력에 의해 수축된 후 가열면의 시간이 경과함에 따라 液滴 내부에서는 내부비동에 의한 걸보기 直徑등의 증가, 감소가 반복되므로 接觸直徑도 증가, 감소가 반복되었다. Fig. 14는 가열면 온도가 440°C 인 어유원액의 경우로 시간에 따른 접촉직경의 변화는 魚油混合輕油

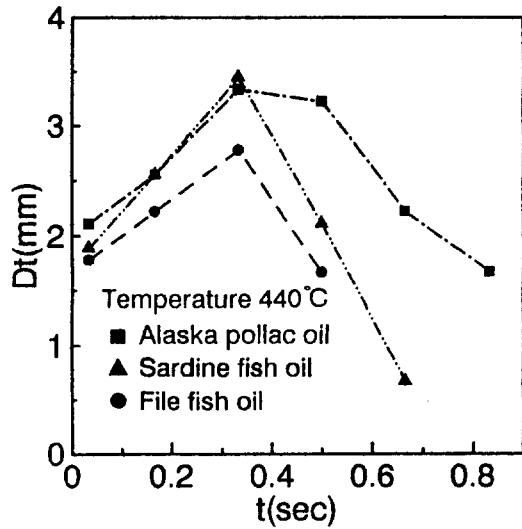


Fig. 14. Dt-t curve of Fish oil
 $\times Dt$: Diameter of contact area

에 비해 전반적으로 크다. 이는 어유원액은 魚油混合輕油에 비해 점성이 크므로 가열면에 적하한 액적은 변형저항이 커져서 수축이 어렵게 되기 때문이라 생각된다. 또한 가열면에 적하한 액적은 가열면과 접촉직경이 크므로 Fig. 11에 나타난바와 같이 魚油混合輕油에 비해 증발 완료시간이 짧았다.

3.5 燃燒現象

單一液滴 주위로부터 蒸發量이 燃燒量과 동일하다면 燃燒中인 液滴直徑의 변화를 시간에 따라 조사함으로써 燃燒速度係數를 $dD^2/dt = -k_b$ 로 구할 수 있다. Fig. 15, 16, 17은 着火 가능한 가열면 온도 $700^\circ C$ 에서 着火 부터 消炎까지의 D^2-t 를 나타낸 것으로 시간축의 최초의 0점은 液滴이 蒸發을 계속한 후 着火直前의 液滴直徑이고 최종점은 消炎직전의 液滴直徑을 나타낸다. Fig. 15는 메탄올과 輕油의 경우로 시간경과에 따른 액적의 변화가 Fig. 5의 蒸發現象과 거의 유사했으며, 메탄올과 輕油의 대략적인 燃燒速度係數는 각각 $1.1(mm^2/sec)$ 과 $1.89(mm^2/sec)$ 로 輕油가 메탄올에 비해 燃燒速度係數가 약간 크다. 이는 輕油는 熱炎인데 비

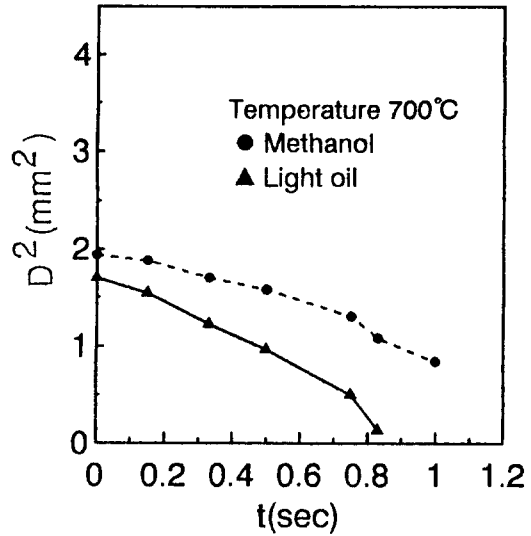


Fig. 15. D^2-t curve of Light oil and Methanol

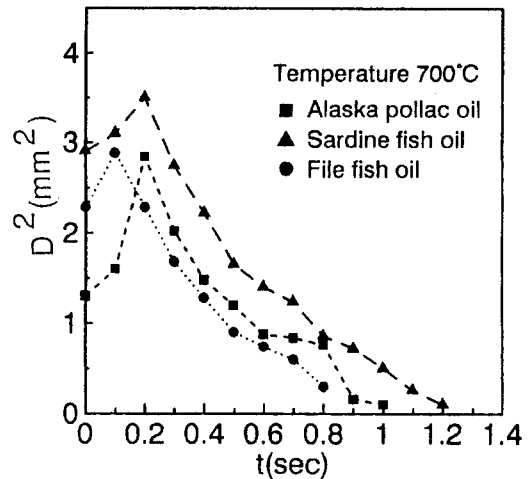


Fig. 16. D^2-t curve of 25wt% Fish oil blended with Light oil

해 메탄올은 靑炎이므로 메탄올 火炎의 輻射熱이 작기 때문이라 생각된다.

Fig. 16은 25wt% 魚油混合輕油의 D^2-t 를 보면 착화한 후 液滴은 火炎으로부터 輻射熱에 의해 고분자인 어유가 연소하기 쉬운 저분자로 변해 液滴內部에서는 가스가 생성되어 겉보기 直徑을 증가시킨 후 가스를 분출하면서 연소를 하는 puffing 혹은 splashing 현상을 나타내므로 어는 魚油混合輕油의 경우라도 착화시의 液滴徑

은 다르지만 山과 같은 형태를 나타내었다. Fig. 17은 魚油原液의 경우로 魚油混合輕油의 경우와 비슷한 형태이나 山의 정점이 낮게 나타났다. 이는 정어리유원액인 경우 점성이 크므로 수열 및 열분해의 시간이 많이 걸리기 때문이라 생각된다. 한편 착화한 液滴은 액적주위 火炎으로부터의 복사열과 가열면으로부터 전도열을 비연소시 보다 많은 전열량을 받게 된다. 따라서 火炎의 크기에 대한 액적직경의 비를 조사하여 보는 것은 액적의 연소현상을 이해하는데 도움이 된다.

Fig. 18은 着火後 燃燒過程中 火炎의 수평방

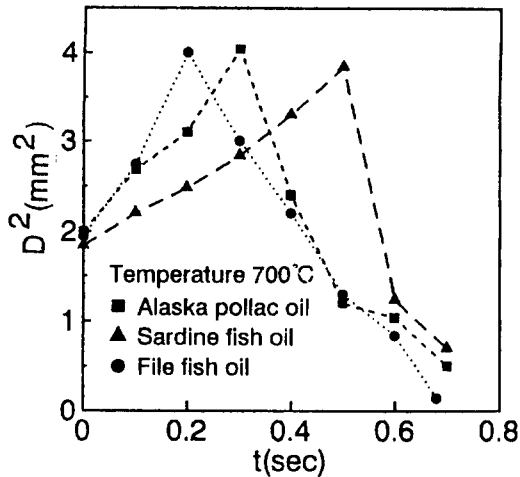


Fig. 17. D^2-t curve of Fish oil

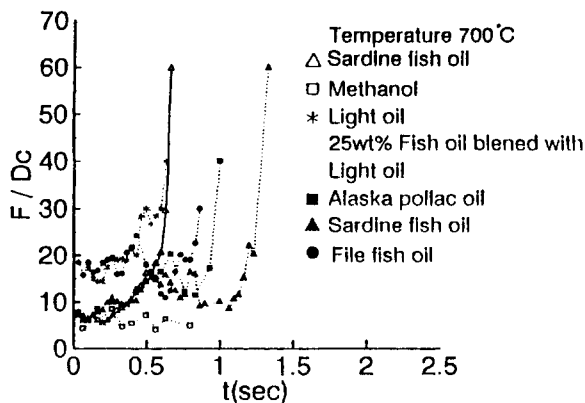


Fig. 18. Comparison of flame dia./droplet dia and combustion time

향 最大直徑 F 와 燃燒時의 液滴의 直徑 D_c 와의 관계를 나타내었다. Fig. 에서 메탄올은 시간의 경과에 따라 F/D_c 의 변화가 적는데 대해 魚油混合輕油와 정어리유 원액의 경우는 그 증가 현상이 컸다. 이는 魚油混合輕油의 경우 가열면으로부터 傳導熱 및 火炎의 輻射熱 등에 따른 燃燒液滴 내부의 熱分解 등에 의한 液滴內部的 가스 생성 및 폭발에 의한 것이라 생각된다. 한편 燃燒末期에는 가열면으로부터의 傳熱量 및 火炎에 의한 복사열은 커지고 반면에 燃燒液徑은 점차 작아지므로 F/D_c 가 급격히 증가한 후 燃燒을 완료했다.

Fig. 에서 정어리유 混合輕油의 F/D_c 가 가장 크고 쥐치유 混合輕油가 가장 적은 것은 Table 2에 나타낸 바와같이 정어리유 混合輕油가 비교적 낮은 온도에서 着火가 되고, 쥐치 混合輕油가 높은 온도에서 着火가 되기 때문에 정어리유 混合輕油의 경우 着火가 조기에 일어나 燃燒할 수 있는 액경도 크기 때문이라 생각된다. Fig. 에서 정어리유 원액의 경우 魚油混合輕油에 비해 시간에 따른 F/D_c 변화는 증가, 감소가 크지 않았다. 이는 魚油混合輕油는 비등점이 다른 輕油와 어유의 혼합유이므로 비등점의 차이에 의한 것이라 생각되며 정어리유 원액의 경우는 순수 원액이므로 F/D_c 의 증가, 감소가 크지 않았다고 생각된다. 한편 輕油의 경우는 魚油混合輕油와 그 형태는 비슷했다.

4. 要 約

3종의 魚油, 魚油混合輕油, 輕油 및 메탄올의 單-液滴을 가열면상에서 滴下하여 가열면의 온도변화에 따른 시료의 蒸發, 着火 및 燃燒 결과를 要約하면 다음과 같다.

1. 蒸發 및 燃燒 형태는 메탄올과 輕油는 球狀蒸發, 燃燒하고 魚油混合輕油인 경우 低溫일 때는 液膜蒸發 후 沸騰蒸發로 蒸發을 완료하고 高溫이 되면 球狀

蒸發 하여 着火, 燃燒를 했다.

2. 魚油混合輕油의 着火溫度는 어유의 성분이 많을수록 낮은 온도에서 着火가 일어났다.
3. 액적에 전달되는 傳熱量은 시간변화에 따른 액적의 接觸直徑으로 定性的인 비교를 할 수 있었다. 또 가열면온도 변화에 따른 液滴壽命은 액적과 가열면의 接觸狀態에 큰 영향을 받았다.
4. 魚油의 燃燒現象은 着火후 液滴이 內部沸騰을 일으켜 걸보기 直徑이 增大한 후 급격히 減少했다.
5. 3종 魚油의 蒸發, 着火 및 燃燒現象은 類似했다.
6. 魚油의 蒸發 및 燃燒特性은 蒸發速度係數와 燃燒速度係數로 표시할 수 없었다.

參 考 文 獻

- 1) 村山 正, 宮本登, 山田貴延, 川島純一(1972): 알코올驅動디젤機關에 關する 研究. 日本機械學會論文集(B), 48(434), 2134-2142.
- 2) 藤田尙毅, 吉田光明, 山口信之(1989): 含水メタノール燃料의 小形사이클火花點火機關의 性能에 及ぼす 影響. 日本機械學會論文集(B), 55(510), 535-539.
- 3) Jacob Klimstra (1990): Performance of lean-burn Natural-Gas-Fueled engines. SAE 901495.
- 4) 飯本光雄(1977): なたね油燃料として 農用小形디젤機關의 運轉(1). 農業機械學會, 38(4), 484-487.
- 5) 木本恭司, 尾鷲辛男, 大前義弘(1986): 加熱面上での 乳화燃料 油滴의 蒸發 舉動. 日本機械學會論文集(B), 52(477), 2275-2284.
- 6) 壹支典彦, 平井哲郎, 永井伸樹(1989): 單一懸垂 石炭, 水, 스텔리-液滴의 燃燒過程. 日本機械學會論文集(B), 55(517), 2897-2903.
- 7) 長谷川 勝男, 小田健一, 山田敏夫(1990): 小型高速機關における 魚油의 燃燒. 日本船舶用機關學會誌, 25(4), 277-285.
- 8) Z.Tamura, Y.Tanasawa(1959): Evaporation and combustion of a drop contacting with a hot surface. 7th Int. Symp. Comb., 509-522.
- 9) 炳澤隆夫, 志加聖一, 倉林俊雄(1985): 熱面に衝突する 燃料液滴의 點火現象について. 日本機械學會論文集(B), 51(465), 1725-1730.
- 10) 構本雄彦·早野裕康·猪飼茂(1978): 加熱平板における 燃料液滴의 蒸發と 着火(1報). 日本機械學會論文集(B), 44(380), 1366-1382.
- 11) 廣安博之, 大橋勘司(1973): ふ圍氣溫度および 壓力を 高めた 場合의 燃料의 壁面蒸發について. 日本機械學會論文集(2部), 39(328), 2779-3787.
- 12) 手代目 尙久, 大橋 司(1975): 熱面による 디젤機關의 燃燒制御. 日本機械學會論文集(2部), 39(344), 1263-1272.
- 13) 小林清志(1954): 液粒의 蒸發および 燃燒에 關する 研究(第2, 3報). 日本機械學會論文集(2部), 20(100), 831-843.
- 14) 西尾茂文, 平田賢(1977): ไลท์ソフrost溫度에 關する 研究. 日本機械學會論文集(2部), 43(374), 3856-3867.
- 15) 佐藤 豪, 鈴木敏夫, 徳岡直靜(1985): 高溫壁面における 液滴의 舉動에 關する 研究. 日本機械學會論文集(B), 51(465), 1703-1711.