單一液滴 魚油의 蒸發과 着火에 관한 硏究

羅鎭洪・張在銀・安秀吉
釜山水產大學校
(1991년 2월 5일 접수)

A Study on the Evaporation and Ignition of Single Fish Oil Droplet

Jin-Hong RA, Jae-Eun JANG and Soo-Kil AHN
National Fisheries Uniersity of Pusan
(Received Februauy 5, 1991)

In this paper, to percuss whether fish oil can substitute for marine fuel oil, the characteristics on the evaporation and ignition of 3 fish oils, Sardine oil, File fish oil and Alaska pollac oil, were investigated experimentally by suspending single fish oil droplel in hot atmosphere, and experiments on methanol and light oil were also carried out to compare the characteristics.

The results abtained are summarized as follow;

1) Evaporation and ignition phenomena on the methanol and light oil by the present experimental method agreeded with the results of the earlier investigation.

2) The characteristic on evaporation and ignition of all 3 fish oils took the same pattern; in late stage of evaporation at atmospheric Temperature 550°C droplet rapidly expanded and contracted, and then remained solid corbide, but in case of 650°C rapidly expanded and ignitied, and then completly burned non-remained solid carbide.

3) As fish oil mixed with light oil (50% weight), in beginning stage of evaporation droplet depended on the characteristics of light oil, but in end stage depended on fish oil.

4) Ignition temperature of fish oil droplets was about 470°C, higher than about 250°C of light oil, but atmospheric temperature to ignite droplet was about 650°C, lower than about 750°C of light oil.

緖 論

船舶에 사용되는 디젤기관과 보일러에서는 주로 액체연료인 輕油와 重油가 사용되고 있다. 그러나 1970년대의 두차례에 걸친 유류파동과 최근 Gulf 전쟁으로 化石에너지 유효이용 측면에서의 極低質油의 사용과 대체연료의 개발이 필요하게 되었다. 특히 魚油는 그 가격이 重油와 비슷할 뿐 아니라 現地 船上에서 직접 생산 가능하므로 漁船의 燃料油로써 사용할 경우 燃料탱크 공간의 절감과 代替燃料油란 측면에서 매우 유효하리라 생각된다. 따라서 본 연구에서는 魚油의 증발 및 연소특성을 조사하기 위하여 먼저 單一液滴 魚油의 증발과 연소특성에 대해 조사하고자 한다. 單一液滴의 연소에 대해서는 Godsave[1]가 液滴蒸發過程이 燃燒過程을 지배하는 요소라는 것을 지적했고, Spalding[2]은 燃燒過程이 燃燒蒸氣의 확산에 의해 크게 지배 된다는 것을 실험을 통해 확인 했으며 小林[3]는 고온 雰圍氣中의 液滴蒸發에 대해 蒸發速度를 液滴直徑과 蒸發時間과의 함수로 유도하고 실험을 통해 확인한 후, 物性値가 불명확한 多種의 燃料油가 單一構成物일 때 이론식과 일치함을 알았다. 본 연구에서도 單一構成物인 메탄올의 蒸發現象을 懸垂法으로 조

사한 후, 魚油인 명태유, 쥐치유, 정어리유, 그리고 輕油와 이들 3種의 魚油를 混合한 混合油에 대한 蒸發, 着火現象을 검토하였다.

實驗裝置 및 實驗方法

1. 實驗裝置

Fig. 1은 본 실험에서 사용한 실험장치의 槪略圖이다. 실험장치는 고온 분위기 조성, 液滴 및 분위기 溫度 측정, 그리고 液滴直徑 변화 촬영 장치로 나눌 수 있다. 고온분위기 조성장치로는 B-5의 軟質耐火벽돌을 내경 40*mm*, 길이 190*mm*로 가공하여 외부에 kantal열선을 捲線하고 ceramic wool로 단열한 전기로 ③으로 하였다. 측정실 내의 照度를 맞추기위해 液滴이 들어가는 반대측에 내열유리를 부착했다. 그리고 전기로 하단에 레일을 설치해서 전기로를 수평으로 이동할 수 있도록 했다. 측정실내 분위기溫度는 0.5*mm*의 C.A 熱傳帶 ②로 溫度를 감지한 후 내부 補償回路가 들어 있는 digital indicator ⑥으로 알아 내고 분위기 溫度제어는 slidac ⑦로 전압조절을 해서 얻었다. 또한 0.3*mm*의 C.A 熱傳帶에 液滴을 懸垂함과 동시에 液滴의 溫度변화는 직접 레코더

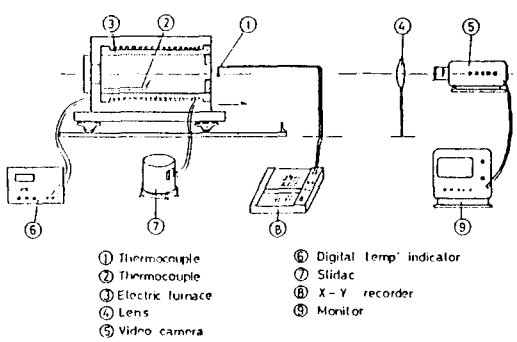

Fig. 1. Experimental apparatus.

⑧에 C.A 熱傳帶의 전위차를 기록한 후 溫度로 환산했다. 그리고 ①에 懸垂한 液滴을 렌즈 ④로 확대한 후 카메라 ⑤로 촬영해서 모니터 ⑨로 液滴직경의 변화과정을 재현하여 분석했다.

爐內 溫度분포는 Fig. 2와 같이 시험영역에서의 液滴주위 분위기溫度는 대체로 균일한 溫度분포를 갖도록 하였다.

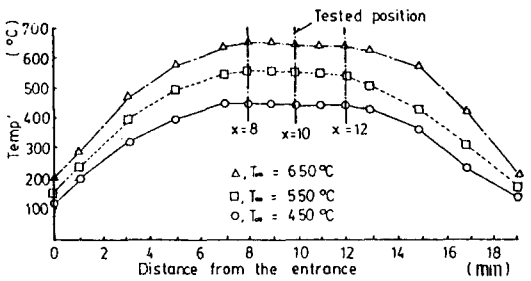

Fig. 2. Temperature distribution at the center line of the furnace.

2. 實驗方法

실험에 사용한 시료는 메탄올, 輕油, 명태유, 쥐치유, 정어리유의 5종이며 측정하고자 하는 시료의 물성치는 Table 1과 같으며 混合油는 각 魚油와 輕油를 1 : 1로 혼합하여 사용했다.

먼저 slidac ⑦로 전압조절을 하면서 적당한 분위기溫度로 일정하게 유지시킨 후, 측정하고자 하는 시료를 熱傳帶 ①에 懸垂하고 렌즈 ④를 통해 비데오카메라 ⑤에 들어온 懸垂된 液滴의 照度와 촛점을 맞춘다. 비데오카메라와 X-Y 레코더를 작동시킴과 동시에 전기로 ③을 "→"방향으로 이동시켜 ①에 懸垂된 液滴이 고온분위기 속에 들어가도록 한다. 이때 고온분위기속에 들어가는 순간은 모니터 ⑨에 나타난 畵像의 照度변화로 알 수 있음과 동시에 X-Y 레코더의 液滴溫度변화를 추적함으로써 알 수 있다. 시간변화

Table 1. Properties of the test oils and furnace temperature

	Specific gravity (20°C)	Viscosity (30°C, *cSt*)	Lower calorific value (*cal/g*)	Furnace temp. (°C)
Methanol	0.802	0.720	4800	
Light oil	0.830	3.270	10500	
File fish oil 450, 500, 650	0.930	25.20	9400	
Sardine oil	0.935	22.30		
Alaska pollac oil	0.925	35.10		

에 따른 液滴직경의 측정은 液滴을 0.3*mm*의 熱傳帶에 懸垂했으므로 熱傳帶의 직경과 液滴직경의 크기를 상대 비교함으로써 액적의 長徑과 短徑을 알아내어 代表直徑을 구했다. 측정시의 시간경과는 모니터 재현속도를 1/4로 줄여 蒸發시작 순간부터 측정될 때까지의 시간을 측정한 후, 실제속도로 환산하여 측정오차를 가능한 한 줄이도록 하였다.

3. 液滴의 代表直徑

熱傳帶 선단에 懸垂한 液滴은 완전한 구형이 아닐 뿐 아니라 촬영한 畵像으로는 2차원 정보 밖에 얻을 수가 없다. 따라서 液滴직경은 畵像에서 측정한 長徑과 短徑을 갖는 회전 타원체로 가정해서, 液滴의 체적 V를 측정하고 아래의 식에 의해 계산한 代表直徑 D로 정리했다.

$$\text{代表直徑 } D=2\left\{\frac{3(V-V_o)}{4\pi}\right\}^{1/3}$$

$$V=\pi/6\cdot l_1\cdot l_2^2$$

단, 여기서 V_o은 液滴에 삽입된 熱傳帶 체적이고 l_1, l_2 은 液滴의 長徑과 短徑이다.

結果 및 考察

1. 單一 組成物의 蒸發

Fig. 3은 單一液滴을 고온분위기 중에 懸垂한 單一組成인 메탄올의 D^2-t의 변화, 液滴내부의 溫度변화 과정을 나타낸다.

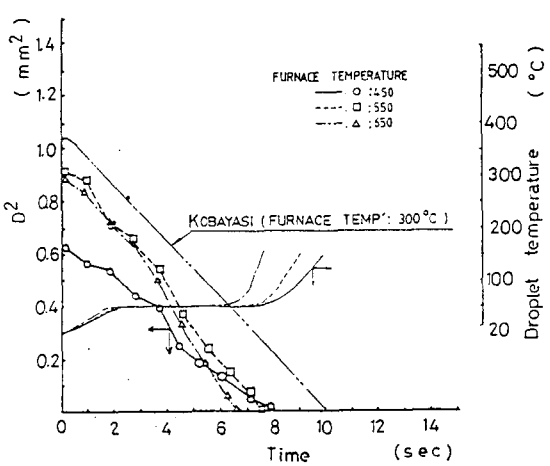

Fig. 3. Droplet evaporation of methanol.

Fig.에 의하면 시간경과에 따른 D^2의 변화는 거의 직선으로 감소하고 그 기울기는 분위기 溫度의 증가에 따라 증대하며 蒸發完了時間도 짧아짐을 알 수 있다. 또한 液滴 내부의 溫度는 분위기 溫度에 크게 좌우됨이 없이 약 2.3초까지는 서서히 증가한 후 메탄올의 蒸發溫度(64.7°C)인 60°C 근방에서 일정히 유지된 후 蒸發完了와 동시에 급격히 상승됨을 알 수 있다.

일반적으로 單一組成物인 單一液滴의 蒸發 特性은 液滴표면으로부터의 溫度상승에 의해 膨脹과 蒸發을 시작하여 液滴이 飽和狀態의 平衡狀態에 도달하면 正常蒸發을 하게 된다. 그러나 沸點이 높은 연료는 液滴이 飽和狀態에 도달할 때까지의 시간이 길어지므로 이 시간까지 蒸發과 膨脹에 따라 液滴직경의 변화는 없거나 오히려 커지는 경우도 있다. 이와같이 液滴의 蒸發은 液滴의 종류, 분위기 溫度 및 壓力 등에 지배되나 그 蒸發速度는 정상蒸發과정에서의 D^2-t 곡선에 의한 기울기 즉 $dD^2/dt=-k_s$ 의한 상수 k_s(蒸發常數)로서 蒸發速度를 나타내는 바, 이는 初期直徑의 크기와는 무관계함을 小林[3]등이 실험으로 증명하였다. 이상의 單一組成인 單一液滴의 蒸發特性과 본실험 결과인 메탄올의 蒸發特性을 비교해보면, 메탄올의 蒸發特性은 蒸發初期부터 蒸發이 완료될 때까지의 D^2-t관계는 거의 직선으로 나타나 있다. 이는 메탄올의 沸點이 낮아 짧은 시간에 蒸發의 平衡狀態(飽和狀態)에 도달할 뿐 아니라 初期의 가열에 의한 膨脹이 蒸發의 속도에 비해 무시할 정도로 작기 때문이라 생각된다. 또한 先行 硏究者들의 결과와 정성적으로 거의 일치하므로서 실험결과의 신뢰성을 확인할 수 있다.

2. 試料油의 蒸發特性

Fig. 4, 5, 6은 분위기 溫度가 각각 450 °C, 550 °C 및 650°C에 쥐치유 혼합유, 輕油 및 메탄올에 대해 D^2-t의 관계를 나타낸다. 魚油의 蒸發特性과 輕油를 혼합한 混合魚油의 蒸發特性은 魚油의 종류와는 관계없이 그 경향이 서로 비슷하므로 여기서는 대표적인 쥐치유와 쥐치混合油만을 택했다.

분위기 溫度가 450°C인 경우에는 單一組成物인 메탄올은 初期 溫度상승기간중의 液滴膨脹은 나타나지 않고 D^2-t의 관계는 직선적으로 감소한 반면, 輕質混合油인 輕油는 初期 溫度상승기간 중은 液滴表面 蒸發과 熱膨脹이 서로 相殺되어 液滴徑의 변화가 없으며, 이후 正常蒸發 과정에는 高揮發生 물질이 먼저

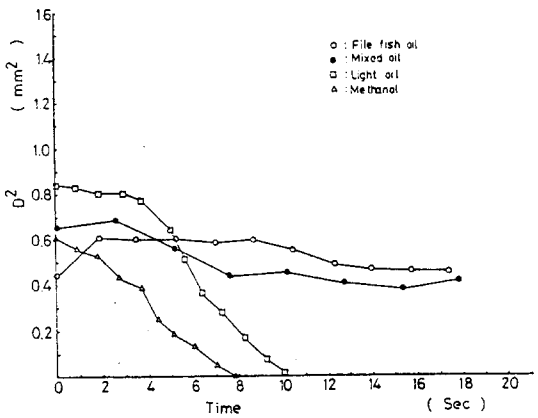

Fig. 4. Droplet evaporation at 450°*C* on tested oil.

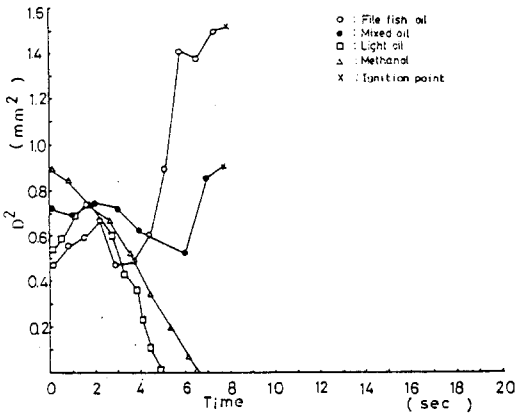

Fig. 6. Droplet evaporation at 650°*C* on tested oil.

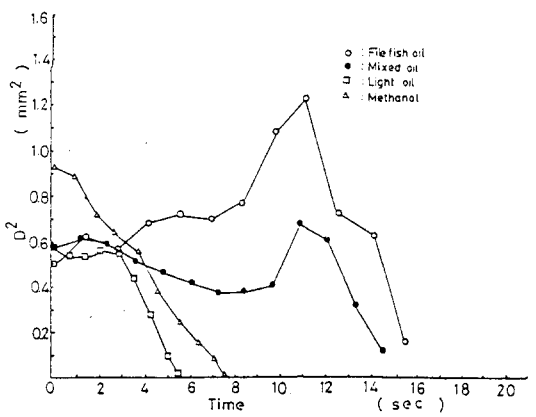

Fig. 5. Droplet evaporation at 550°*C* on tested oil.

蒸發하는 관계로 D^2-t의 관계는 "凹"형의 곡선을 나타내고 있다. 그리고 魚油는 대부분의 성분이 非揮發生 물질이므로 初期에는 液滴의 熱膨脹과 더불어 液滴徑이 증대한 후, 그 이후 液滴徑의 변화는 거의 없이 固形分으로 남게된다. 輕油를 혼합한 귀치유는 蒸發初期에는 輕油분이 蒸發하면서 液滴徑이 조금 감소하다가 輕油분이 蒸發한 후에는 거의 변화가 없이 魚油의 蒸發特性을 따르게 된다.

분위기 溫度가 550°*C*인 경우는 單一組成物인 메탄올과 輕油는 450°*C* 일 때와 거의 동일한 양상을 보이고 있으나 魚油는 어느 시점에서 液滴내부에 거품을 형성하면서 液滴徑이 급격히 증대한 후 소멸하고 소량의 固形分을 남겼다. 이는 液滴溫度가 상승하여 魚油의 熱分解 溫度에 도달하면 低分子 物質로 分解된 가스가 내부에서 거품을 형성하여 겉보기 直徑이 커지고 이들이 외부로 빠져나가면 급격히 液滴徑이 감소하게 되며 이 溫度에서 分解 되지않는 高分子 物質은 炭化되어 固形分으로 남게 된다고 생각된다. 또한 輕油를 혼합한 魚油는 蒸發初期에는 輕油分의 內部沸騰으로 거품을 형성하면서 조금 膨脹한 후 輕油분의 蒸發에 의해 감소되어 魚油만 남게되며, 그 후 魚油의 蒸發特性을 따르게 된다.

분위기 溫度가 650°*C*가 되면 메탄올의 D^2은 시간에 비례해서 감소하나 輕油는 熱膨脹으로 液滴徑이 일단 증대했다가 450°*C*, 550°*C*일 때와 동일한 양상으로 감소해 간다. 그러나 魚油는 蒸發初期에 약간의 液滴徑의 증가를 보이다가 급격히 膨脹되어 순간적으로 폭파음을 내면서 着火 燃燒하며, 燃燒후의 固形分은 남기지 않았다. 輕油를 혼합한 경우 혼합魚油의 蒸發, 着火경향도 魚油와 비슷하였으나 D^2의 시간적 변화는 魚油보다 적었다.

이상의 각 연료유에 대한 실험 결과에 의하면, 單一組成燃料油에 대한 D^2과 시간과의 관계는 선형적인 비례관계가 있는 데 비해 輕質混合物인 輕油는 初期에서의 가열과정에 의한 液滴 膨脹이 뚜렷하며, 그 후 正常蒸發過程으로 선형적인 비례관계가 있음을 알 수 있었다. 또한 魚油는 대부분이 非揮發成 물질이므로 D^2과 시간과의 관계는 熱分解되는 溫度에 달할 때까지는 D^2의 변화가 없다가 熱分解되면서 급격히 증대한 후 감소되었으며, 輕油를 혼합한 魚油는 初期에 液滴 중의 揮發性 輕油分으로 인하여 일단 증대한 후 감소한 다음에는 魚油와 비슷한 경향을 나타냄을 알았다.

그러나 분위기 溫度가 650°*C* 이상이면 魚油는 液滴내부의 熱分解에 의한 低分子 가스의 생성으로 급

격히 膨脹 후 着火 燃燒하고 固形物을 거의 남기지 않았다.

이와같이 魚油들의 蒸發着火特性은 최근 玉林[4] 등이 보고한 分子量 분포가 10^2~10^4인 極低質油의 蒸發, 着火 패턴과 비슷한 경향을 나타내었다.

3. 試料油의 着火

Fig. 7은 각 시험연료유에 대한 着火時 분위기 溫度와 液滴 溫度의 관계를 나타낸다. 메탄올은 분위기 溫度를 850°C까지 상승시켜도 着火가 일어나지 않았으나, 輕油는 분위기 溫度 750 ℃에서서 着火하기 시작했고 그때 液滴溫度는 250°C~280°C부근이었다. 그리고 魚油의 경우는 분위기 溫度가 650°C 이상에는 着火되기 시작했고, 이 때의 液滴 溫度는 470°C 부근이었으며, 분위기 溫度가 높을수록 着火時의 液滴 溫度는 낮아졌으며, 輕油混合魚油는 魚油의 着火特性에 좌우되었다. 또한 着火時의 분위기 溫度는 魚油가 輕油보다 100°C정도 낮았지만 液滴溫度는 魚油가 輕油보다 200°C 정도 높았다. 이것은 魚油의 熱分解에 의한 活性化된 低分子 가스의 着火에 의한 것으로 생각된다. 그리고 연료유가 着火되기 위한 조건으로는 분위기 溫度 뿐만아니라 燃燒 할 수 있는 可燃混合氣의 형성 여부가 주요한 요소이므로 液滴徑의 크기와 蒸發速度에 대한 液滴 주위의 濃度分布에 큰 영향을 미치리라 판단되며, 이러한 측면에서 볼 때 메탄올이 분위기 溫度가 850°C 이상에서도 着火되지 않았던 것은 蒸發擴散速度가 너무 빨라 液滴주위에 可燃混合氣를 형성하지 못하고 油蒸氣가 공기 중으로 擴散되기 때문이라고 생각된다.

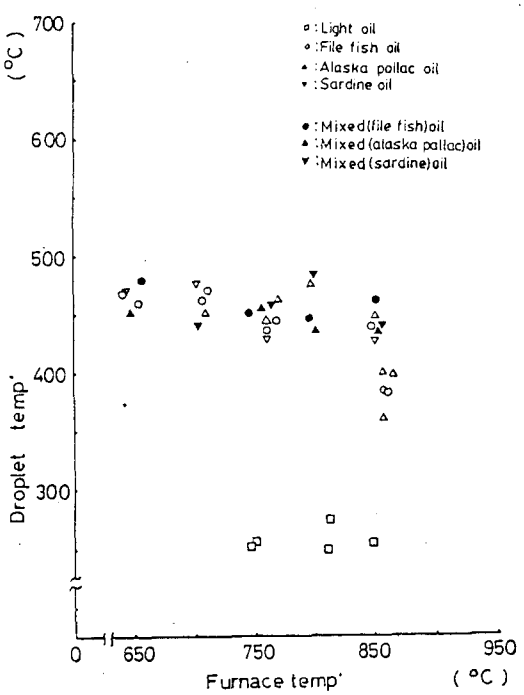

Fig. 7. Ignition of droplets.

結　　論

메탄올, 輕油 그리고 명태유, 정어리유 쥐치유의 3종의 魚油와 이들의 魚油를 輕油와 1 : 1의 중량비로 혼합한 혼합유등 총 8종의 單一液滴을 고온의 공기중에 懸垂하여 시간변화에 대한 蒸發, 着火과정을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 메탄올 및 輕油와 蒸發현상은 先行 연구자들의 결과와 일치 하였다.

2. 3종의 魚油는 모두 동일한 蒸發, 着火 현상을 나타내었으며, 550°C에서는 液滴이 급격히 팽창 수축 후 찌꺼기(固形分)을 남겼으나 650°C에서는 급격 膨脹후 着火로 固形分을 남기지 않았다.

3. 輕油을 혼합한 3종의 魚油도 동일한 蒸發, 着火 현상을 나타내었으나, 蒸發초기에는 輕油의 蒸發 特性을 蒸發후기에는 魚油의 蒸發着火 特性을 따랐다.

4. 본실험 범위내에서 메탄올은 着火되지 않았으나, 輕油는 분위기 溫度가 750°C이고 液滴溫度가 250~280°C에서, 魚油는 분위기 溫度가 650°C이고 液滴溫度가 470°C 부근에서 着火 되었다.

参考文獻

1) Godsave, A. E. (1953): Studies of the combustion of drops in a fuel spray-the burning of single drops of fuel. 4th Symp. on Combustion, 818.

2) Spalding, D. B. (1953): The combustion of liquid fuels. 4th Symp. on combustion, 847.

3) 小林 清志 (1954) : 液粒の蒸發および燃燒に關する研究(第 2, 3報). 日本 機械學會論文集, 20-100, 831.

4) 玉木 怒平 外2名 (1987) : 船舶低質燃料油單一液滴の燃燒. 日本舶用機械學會誌, 22-6, 363.