

乳化重油의 粘度-溫度特性에 관한 研究

田大熙* · 金基俊* · 李相泰*

A Study on the Viscosity-Temperature Characteristics of the Emulsified Heavy Fuel Oils

Daehi Jeon, Kijoon Kim, Sangtae Lee

Abstract

Preparing for treatment and management of the emulsified fuel oil which will be generalized henceforth, this paper is an attempt to examine the viscosity-temperature characteristics of emulsified heavy fuel oil which is mixed with water and emulsifier in various mixture ratio by mechanical mixer.

The experimental results are summarized as follows:

1. The viscosity-temperature characteristics of the emulsified C & B grade heavy fuel oil mixed with water of same or less weight, is changed according to $\log \cdot \log(\nu + 0.6) = b - 3.8 \log T$.
2. The emulsifier has to be added to the emulsified A grade heavy fuel oil mixed with water of same or less weight, because it is instable. Especially if the emulsifier is sodium stearate, it is added more than 0.3% of the weight of oil and water.
3. In the emulsified A grade heavy fuel oil mixed with water and emulsifier, the higher the ratio of water addition becomes, the higher the viscosity is and the more the viscosity-temperature slope decreases. But the higher the ratio of emulsifier addition is, the more the viscosity-temperature slope increases. In this case, the linearity of viscosity-temperature characteristic curve is poorer than that of B and C grade heavy fuel oil.
4. In the emulsified A grade heavy fuel oil mixed with emulsifier of 0.3% or less, the emulsion type is O/W type when water addition ratio is 40%, but it is W/O type when it is 10%, 20%, 30% and 50%.

記 號 說 明

ν : 動粘度(Kinematic Viscosity), cSt
 b : 粘度截片(Viscosity Intercept)
 m : 粘度-溫度勾配(Viscosity-Tempera-

ture Slope)

T : 絕對溫度(Absolute Temperature), °K
 W/O型 : 油中水滴型(Water in Oil Type)
 O/W型 : 水中油滴型(Oil in Water Type)
 NO_x : 燃燒가스中の 窒素 酸化物($\text{NO} + \text{NO}_2$)

* 正會員, 韓國海洋大學

H. L. B : Hydrophile-Lipophile Balance

1. 序 論

一, 二次의 油價波動으로 油價가 10年 사이에 무려 18배나 急騰^{1),2)}함에 따라 모든 産業은 위축되었고 全世界의 經濟는 不況에 빠졌으며, 다른 한편으로는 石油節約과 代用燃料 開發의 必要性이 高潮되기 始作하였다.

이 새로운 흐름에 따라 다시 石炭과 炭油混合物이 船用燃料로 再登場하게 되었고, 天然가스과 核燃料의 活用도가 더욱 높아졌을 뿐만 아니라, 低質重油의 質도 3,500秒 RW#1(37.8°C)에서 超低質인 5,000秒 RW#1 以上으로 惡化^{3),4)}하는 한편 低質重油의 活用과 燃料 消費率의 節減⁵⁾ 및 燃燒公害防止⁶⁾를 위해서 乳化燃料가 實用段階까지 發展하였다.

이와 같은 動向에 따라 石油의 需要가 急減하게 되었고 原油의 過剩生産이 持續되었으므로 原油價는 다시 배럴당 29\$ 혹은 그 以下로 떨어질 展望이다.

그러나, 全世界의 原油埋藏量과 石油 需要量을 생각하면 그것은 一時的인 現象이고 다시 油價가 再騰할 날이 멀지 않았을 것이므로 石油에 대한 이와같은 경향은 앞으로도 持續될 것으로 思料된다.

燃料油에 물을 混入해서 乳化燃料를 만들어 使用하거나 燃燒하고 있는 실린더内の 燃料에 물을 噴射해서 燃燒狀態를 改善하려는 研究는 일찍부터 始作되었다. 가솔린機關의 실린더內에 물을 噴射해서 燃燒를 改善하는 研究⁷⁾는 1886년부터 始作되어 高過給 高性能의 機關에 實用化 되었으며, 노크輕減에도 도움을 주었을 뿐만 아니라 機關部品の 腐蝕이나 磨滅등에도 障害를 주지 않았다. 그러나, 1922年 以後에는 알티노크劑가 開發 活用됨으로써 特殊한 境遇 外에는 가솔린機關에 대해서 물 噴射가 中止되었다. 디젤機關의 실린더內에 重質燃料油와 함께 물을 噴射해서 燃燒性을 改善하는 方法⁸⁾은 1901년에 美國 特許를 얻었다. 이러한 研究^{9),10)} 2次大戰後에도 계속 發展되어 1950年代에는 W/O型이나 O/W型의 乳化燃料를 디젤機關, 보일러 가스스터어빈 등에 活用할 수 있게 함으로써 重質

燃料油의 燃燒性을 改善하였고, 燃料消費率을 輕減하였을 뿐만 아니라 오늘날에는 燃燒가스中の NO_x와 그을음의 濃度를 同時에 減少시킬 수 있는 公害防止 燃燒法까지도 發展시켰다.

英國의 Bell Reliant號 (2,213톤, 13.15 Knots)의 Mak 6M 453AK 디젤機關(2,100 BHP, 600 rpm)에 대해서 乳化燃料油를 海上에서 試用한 實績¹¹⁾은 다음과 같다.

이 機關에 30cSt(200秒 RW#1, 37.8°C)의 燃料를 使用할때 燃料消費率은 물 添加率이 2~12%일 境遇에 平均 3% 減少되었고 最大出力下에서는 무려 4.56%까지 減少하였다. 또, 이 機關의 排氣가스中の NO_x 含率도 減少되었고 그 燃燒系統과 排氣 터어보 過給機에는 카아본 堆積量이 減少되었을 뿐만 아니라 실린더 헤드와 밸브도 깨끗하였고, 500時間의 試用後에도 腐蝕과 磨滅에 異常이 없었다.

그러나, 燃料油를 乳化시키면 粘度가 增加하므로 加熱溫度를 4~6°C 增加시켜야 했고 發熱量이 減少하므로 Fuel Rack를 1~1.5mm程度 增加시켜야 했다. 또, 이 機關에 裝備한 Emulsa라는 乳化機는 370cSt(3,500秒 RW#1, 37.8°C) 以上の 重質油에 대해서도 滿足스럽게 作動하였다.

本 研究는 앞으로 使用이 一般化될 乳化燃料油의 活用に 對備해서 乳化裝置의 設計와 乳化油管理에 必要하게 될 다음 事項을 調査한 것이다.

- (1) 油質과 물 및 乳化劑의 添加率에 따른 乳化油의 粘度變化
- (2) 安定한 乳化油의 生成에 乳化劑의 必要有無
- (3) W/O型和 O/W型의 乳化油의 變化 限界
- (4) 乳化油의 粘度 - 溫度特性

2. 試料, 實驗裝置 및 實驗法

本 研究에 使用된 試料油는 粘度 35.5 SSU (37.8°C)의 A重油와 298.0 SSU의 B重油 및 425.0 SSU의 C重油의 3種이고, 그 特性은 Table 1과 같다.

試料油에 添加한 물은 上水道水를 使用하였으며, Table 2는 그 水質이다.

Table 1. Characteristics of Heavy Fuel Oils

Grade of Oils	API Gravity @15.56°C	Flash Point °C	Viscosity @ 37.8°C SSU	Pour Point °C	Sulfur Content wt. %	Carbon Residue wt. %	Ash wt. %	Water and Sediment vol. %
A	37.2	64.0	35.5	-20.0	0.82	0.06	0.0002	0.05
B	21.8	72.0	298.0	-12.5	2.81	5.62	0.005	0.1
C	12.3	75.0	425.0	-7.5	2.93	8.92	0.04	0.5

Table 2. Qualities of Water

Hardness	M Alkalinity	Chloride	PH	Specific Resistance	Water Temp.
48ppm as CaCO ₃	25ppm as CaCO ₃	21.3ppm as CaCO ₃	6.6	7.8KΩ-Cm	21.5°C

安定한 乳化燃料油를 얻기 위해서 A重油에 대해서 乳化劑인 스테아린酸 나트륨(H.L.B 14.6)을 添加하였으나, B重油和 C重油에 대해서는 乳化劑를 添加하지 않아도 安定한 乳化燃料油가 얻어지므로 添加하지 않았다.

乳化燃料油는 所定溫度로 維持된 恒溫水槽內에서 乳化劑를 添加한 後 3,000 rpm 程度로 回轉하는 乳化混合機를 20分間씩 作動시켜서 얻었으며 여기서 乳化劑와 물의 各 添加率은 重量比로 計算하였다.

粘度는 韓國工業規格 KS M 2013에 따라서 所定溫度下에서 低粘度油는 Seconds Saybolt Universal(SSU)로 高粘度油는 Seconds Saybolt Furol(SSF)로 測定하고, SSU로 換算하였다.

乳化燃料油의 乳化型은 Methyl Yellow 指示藥에 의해서 着色되면 W/O型, Methyl Orange 指示藥으로 着色되면 O/W型의 乳化油로 判斷하였으며, 乳化油의 電氣比抵抗의 測定에 의해서도 그 型을 確認하였다.

또 乳化油의 安定性은 實用狀態를 考慮해서 乳化後 恒溫下에서 30分間 靜置하였을 경우에 그 乳化油의 下層에 分離水層을 肉眼으로 確認할 수 있을때 不安定이라 判定하였다.

本 研究에 使用된 重要裝置와 試藥은 다음과 같다.

- (1) Saybolt Viscometer, H-7, Precision Scientific Co.
- (2) Homo-mixer, D3-S0920, Dong Yang

Scientific Co.

(3) Water Bath, D2-B0440, Dong Yang Scientific Co.

(4) Conduct-meter, CM-3M, TOA Electronic, Ltd.

(5) Cp Sodium Stearate, Wako Pure Chemical Ind., Ltd.

(6) Cp Methyl Orange, Wako Pure Chemical Ind., Ltd.

(7) Cp Methyl Yellow, Wako Pure Chemical Ind., Ltd.

3. 實驗結果와 考察

3.1 물 添加率에 따른 乳化 C重油의 粘度-溫度特性

Fig.1은 C重油와 이에 各各 물을 0, 5, 10, 15 및 20%씩 添加해서 乳化燃料油를 만든 後에 粘度-溫度特性을 調査한 것이다. (乳化劑無添加) 이때 形成되는 乳化油는 모두 安定하고 W/O型이며 물이 添加率이 높은 乳化燃料油일수록 粘度가 더 높아진다. 그러나 그들의 粘度-溫度特性은 $\log \cdot \log(\nu+0.6)$ 과 $\log T$ 座標의 圖面上에서 直線性이 좋으며 粘度-溫度勾配 m 도 3.8 程度로서 잘 一致한다. 換言하면 C重油와 이에 의해서 만들어진 乳化燃料油의 粘度-溫度特性은 Walter-ASTM式인 $\log \cdot \log(\nu+0.6)=b-$

3.8 log T를 잘 滿足하고 粘度截片 b는 試料油質과 물 添加率에 따라 變한다.

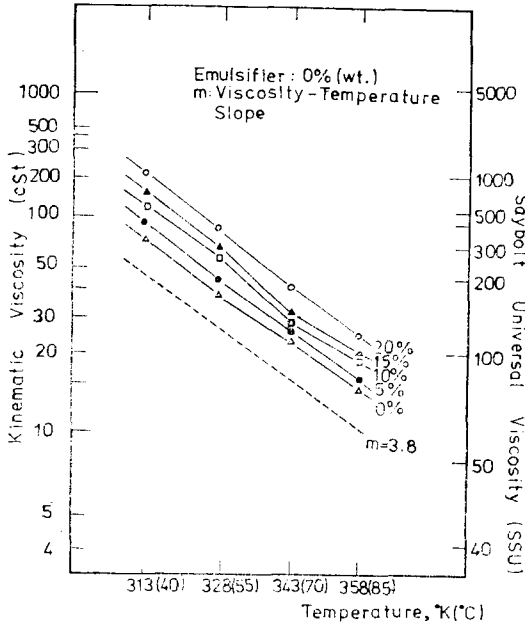


Fig. 1. Viscosity-Temperature Characteristics of the Emulsified C Grade Heavy Fuel Oil by Various Water Addition Ratio.

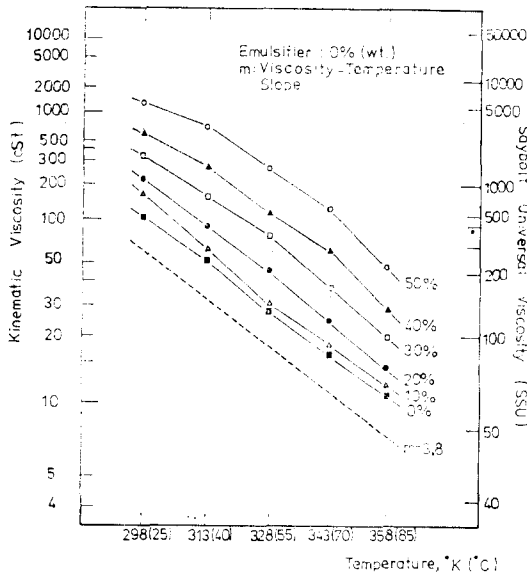


Fig. 2. Viscosity-Temperature Characteristics of the Emulsified B Grade Heavy Fuel Oil by Various Water Addition Ratio.

3.2 물 添加率에 따른 乳化 B重油의 粘度-溫度特性

Fig. 2는 B重油와 이에 各各 물을 10, 20, 30,

40 및 50%씩 添加해서 乳化燃料油를 만들어서 粘度-溫度特性을 調査한 것이다. (乳化劑無添加) 이때 生成되는 乳化油도 C重油의 경우와 같이 모두 安定하고 W/O型이다. 이들의 乳化油의 粘度-溫度特性도 $\log \cdot \log(\nu+0.6) = b - 3.8 \log T$ 를 대체로 滿足하며, 粘度截片 b도 역시 油質과 물의 添加率에 따라 變化한다.

3.3 乳化 C重油와 乳化 B重油의 適正 粘度와 加熱溫度

低質重油의 粘度는 霧化시키는데 대단히 重要的 因子로 作用하므로 노즐에서 噴射前에 어떤 溫度로 加熱하여 適正 粘度를 維持시키는 것은 대단히 重要하다.

Fig. 1과 Fig. 2에 의하면 C重油와 B重油에 의해서 만들어지는 乳化劑 無添加 乳化燃料油에 있어서 適正 粘度를 얻을 수 있는 燃料油의 加熱溫度나 어떤 溫度로 加熱할 때 얻어지는 燃料油의 粘度는 非乳化的 C重油와 B重油와 같이 그 乳化燃料油의 한 溫度下의 한 粘度만 알면 普通 燃料油의 粘度-溫度特性을 表示한 Walter-ASTM圖面에 의해서 求할 수 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 Walter-ASTM圖面이며, 이것은 이미 알고 있는 代表的인 粘度-溫度勾配 및 B重油에 물을 10% 添加한 乳化 B重油의 粘度-溫度特性線을 表示한 것이다.

여기서 乳化重油의 適正 粘度를 얻기 위한 加熱溫度를 求하는 例를 들어보면 37.8°C(100°F)에서 300 SSU의 乳化重油를 霧化狀態가 좋은

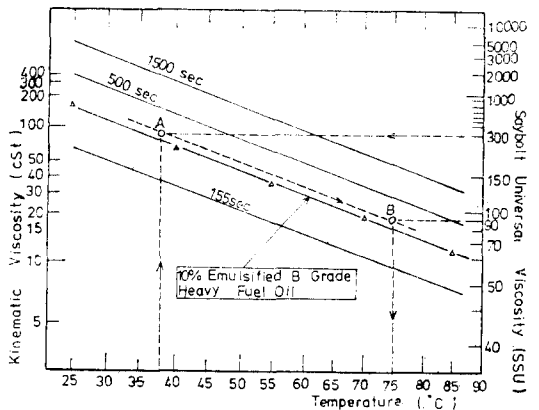


Fig. 3. Viscosity-Temperature Characteristics of the Heavy Fuel Oil by Walter-ASTM.

90 SSU로 하려면 먼저 Fig. 3에서 37.8°C에서 300 SSU粘도와 만나는 點을 A로 잡고 A에서 代 表的인 粘度-溫度勾配線과 平行線을 그으면 이 線이 37.8°C에서 300 SSU인 乳化重油의 粘度-溫度特性線이 된다.

한편 粘度 90SSU에서 수평선을 그어 이 特性 線과 만나는 點을 B라 하고 B에서 溫度座標에 수직선을 그어서 만나는 溫度가 求하는 加熱溫度 75°C이다.

3.4 물과 乳化劑의 添加率에 따른 乳化 A重油의 粘度-溫度特性

Fig. 4~8은 A重油에 乳化劑로서 스테아린酸 나트륨을 0, 0.1, 0.3, 0.5 및 1.0%씩 添加하고 물 添加率을 各各 0, 10, 20, 30, 40 및 50%로 해서 乳化시켰을 경우에 그 乳化燃料油의 粘度-溫度特性을 Walter-ASTM圖面에 表示한 것이다. 이들 中에서 乳化劑를 0.3%以上 添加한 乳化燃料油는 安定하였으나, 乳化劑를 添加하지 않거나 혹은 乳化劑를 0.1% 添加한 乳化燃料油는 乳化後 30分以內에 水分離現象이 일어

나는 不安定한 狀態였다.

이들 圖面에 의하면 A重油의 乳化燃料油 粘度-溫度特性은 B重油나 C重油의 경우보다 Walter-ASTM圖面上에서 直線性이 떨어진다. 이 乳化燃料油는 물 添加率이 높을수록 粘度가 높아지나 그 粘度-溫度勾配는 작아지고 乳化劑의 添加率이 높을수록 그 勾配는 커지는 경향이 있다. 그러나 乳化劑의 添加率이 0.3%以下이고 물 添加率이 40%以上일 경우에는 물 添加率이 높아짐에 따라 粘度가 오히려 低下된다.

Fig. 9는 Fig. 6의 座標를 바꿔서 粘度-물 添加率圖로 表示한 것이다. 이것은 Fig. 6에서 물 添加率이 40%와 50%의 경우에 粘度-溫度特性이 왜 逆轉하는가를 說明하여 준다. 即, 물 添加率이 40%와 50%의 境遇에 乳化油의 型을 調査한 結果 O/W型에서 W/O型으로 變換하면서 粘度가 떨어지고 電氣比抵抗이 增加하기 때문이었다.

이러한 乳化型의 判斷은, 물 混合率이 10, 20, 30 및 50%의 境遇는 油溶性인 Methyl Yellow 指示藥에 의해 全 油面이 黃色으로 着色된 反面

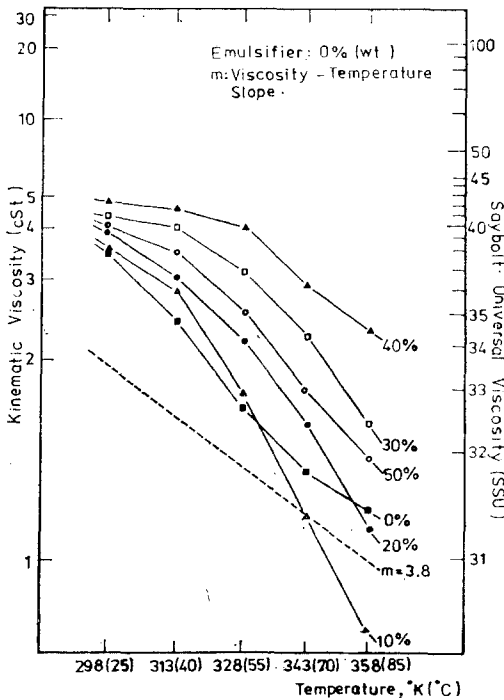


Fig. 4. Viscosity-Temperature Characteristics of the Emulsified A Grade Heavy Fuel Oil by Various Water Addition Ratio.

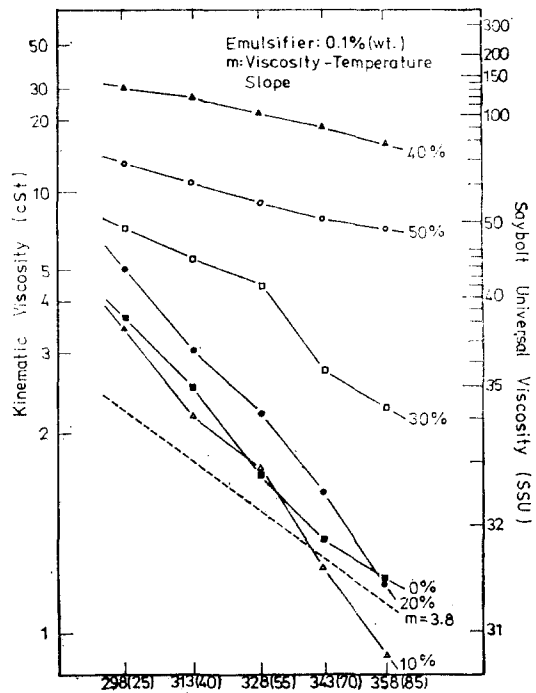


Fig. 5. Viscosity-Temperature Characteristics of the Emulsified A Grade Heavy Fuel Oil by Various Water Addition Ratio.

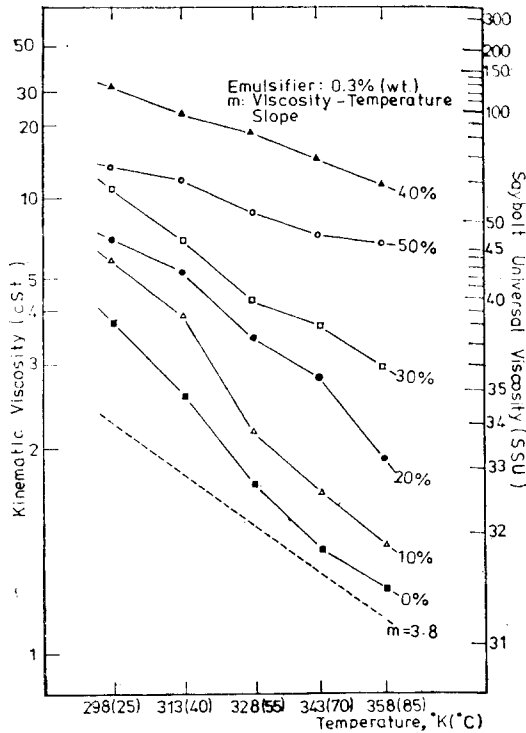


Fig. 6. Viscosity-Temperature Characteristics of the Emulsified A Grade Heavy Fuel Oil by Various Water Addition Ratio.

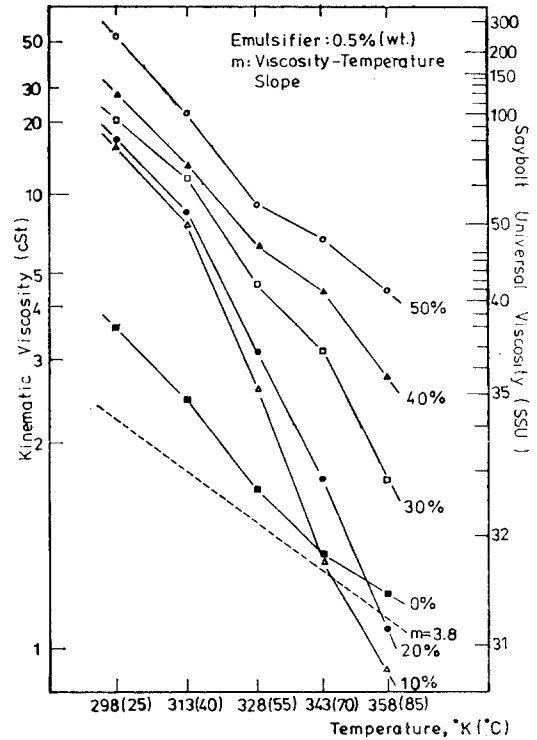


Fig. 7. Viscosity-Temperature Characteristics of the Emulsified A Grade Heavy Fuel Oil by Various Water Addition Ratio.

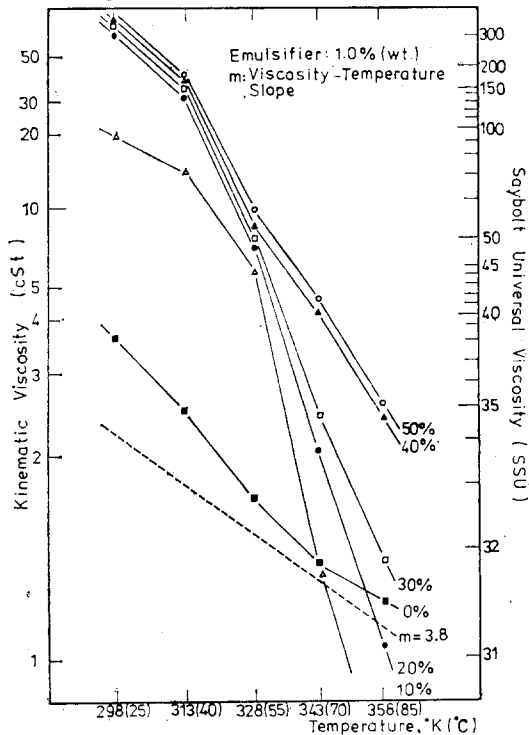


Fig. 8. Viscosity-Temperature Characteristics of the Emulsified A Grade Heavy Fuel Oil by Various Water Addition Ratio.

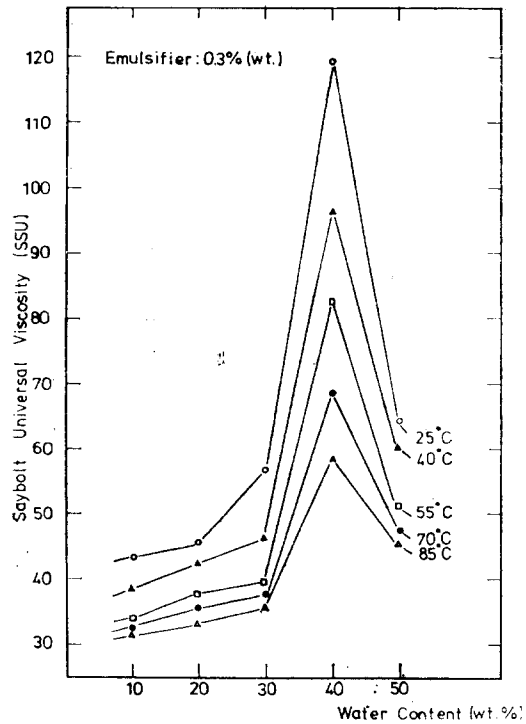


Fig. 9. Viscosity-Water Addition Characteristics of the Emulsified A Grade Heavy Fuel Oil by Various Water Addition Ratio.

물 混合率 40%인 경우는 水溶性인 Methyl Orange 指示藥에 의해서 黃色으로 着色되었고, 電氣比抵抗을 測定하여 보면 물 添加率 10, 20, 30과 50%일 때는 거의 無限대로 나타나나 물 添加率 40%일 때는 10KΩ-Cm 程度로 減少되었기 때문이다.

따라서 A重油의 경우는 安定한 乳化燃料을 얻으려면 0.3% 以上の 乳化劑를 添加하여야 하고, 乳化劑의 添加有無에 相關없이 또 물 添加率 이 높거나 낮거나 이들 乳化燃料油의 粘度-溫度特性을 Fig.3의 要領으로 求할 때는 B重油나 C重油의 경우보다 精度가 상당히 떨어진다는 것을 알 수 있고, 물 添加率 이 낮을 때는 特히 精度가 더 낮다는 것을 알 수 있다.

4. 結 論

乳化重油의 粘度-溫度特性에 關한 以上の 研究에서 다음의 結論을 얻었다.

(1) C重油와 B重油 및 이들에 50%이하의 물을 添加한 乳化燃料油(乳化劑 無添加)의 粘度-溫度特性은 $\log \cdot \log (\nu + 0.6) = b - 3.8 \lg T$ 에 잘 따르고, 粘度截片 b 는 試料油 粘度와 물의 添加率에 따라 變한다.

(2) A重油에 물을 添加한 乳化燃料油는 不安定하므로 乳化劑를 添加하여야 하며, 特히 乳化劑로서 스테아린酸나트륨을 使用할 때는 0.3% 以上 添加하여야 安定하게 된다.

(3) 乳化劑와 물을 A重油에 添加해서 만든 乳化燃料油는 물 添加率 이 높을수록 高精度로 되나, 粘度-溫度 勾配는 減少하고, 乳化劑 添加率 이 높을수록 이 勾配가 커진다.

이 境遇의 粘度-溫度特性線은 Walter-ASTM

圖面에서 直線性이 C重油와 B重油의 境遇보다 떨어질 뿐만 아니라 그 直線의 기울기가 이들 重油의 境遇보다 一般的으로 더 커진다.

(4) A重油에 0.3% 以下の 乳化劑와 50% 以下の 물을 添加해서 만든 乳化燃料油는 물 添加率 40%에서는 O/W型이나 그 内外에서는 W/O型으로 된다.

參 考 文 獻

1. H. J. Jeon: Marine Diesel Engine Design Trends, Mobil Marine Diesel Engine Symposium, p.8(Seoul, 1981.6).
2. 田大熙: 將來의 船用燃料油質과 그 燃燒對策의 展望, 韓國船用機關學會誌, 第5卷 第2號, p.20 (1981).
3. 橫澤歲二: 將來豫想される 船用燃料油について, 日本船用機關學會誌, 第14卷 第9號, p.32(1979).
4. 鈴木一矢: 將來豫想される 粗悪油의 燃燒について, 日本船用機關學會誌, 第14卷 第9號, pp.34~37(1979).
5. Emulsified Fuel Produces Savings on Ship Board Trials, The Motor Ship, March, pp.61~62(1982).
6. 田大熙: 燃料와 燃燒의 管理(補訂版), 海事圖書出版部, p.237, 245(1982).
7. 俞炳澈: 디젤機關에의 물 噴射의 影響, 大韓機械學會論文集, 第1卷 第1號, p.48(1977).
8. Hayes, A: 美國特許 688245(1901).
9. 三井博之: 乳化燃料について, 日本船用機關學會誌, 第15卷 第7號, pp.483~488(1980).
10. 三橋・高嶋外: 内燃機關의 水分添加燃燒について, 日本船用機關學會誌, 第13卷 第8號, pp.600~607(1978).
11. 前掲書(5), pp.61~62.