

## 선박 유수분리기 전처리 장치 성능에 미치는 적층판의 영향

이진열 · 한원희\*

한국해양대학교 운항시스템공학부  
\*한국해양대학교 대학원 기관공학과

### An Effect of Laminated Plate on the Performance of Pre-separator for Marine Oily Water Separator

Jin-Yeol Lee and Won-Hui Han\*

*Division of Ship Operating Systems Engineering, Korea Maritime University  
\*Department of Marine Engineering, School Graduate, Korea Maritime University*

**Abstract** – It's a tendency to strengthen related international laws as the importance on marine oil pollution recently becomes the issue. According to the regulation of IMO, oil discharge from ships is allowed under 15 ppm only and oil filtering equipment is essential. However, for large ships using heavy fuel oil of over S.G 0.98 and viscosity 380 cSt and system oil, it has been in difficulty to process with existing filtering type of oily water separator. Oily water pre-separator of laminated plate type which is one of gravity type separator has very simple structure and it also makes easier to maintain and repair. In another words, it fits well to process large amount of rich oil with high specific gravity. In this paper, oily water pre-separator of laminated plate type has been studied. The function of emulsified oil and 4 different types of oil have been analyzed and each character has been investigated and proved by experiments. As the result of it, the efficiency of separating oil water has been advanced by 10% in case equipped with pre-separator. In addition, the higher temperature is and the more laminated plate has, it turns out to be getting more effect.

**Key words** – oily water separator, pre-separator, heavy fuel oil, laminated plate.

#### 1. 서 론

최근에 그린해양(green ocean)의 보존에 대한 인식이 고조되면서 해양환경 오염억제문제의 관심이 날로 높아져 가고 있다. 해양을 항해하는 선박들이 국가경쟁력 차원에서 대형화, 고속화, 고출력화됨에 따라 해상에 유출되는 유수혼합물의 양도 증가하며 이에 의한 해양오염이 가속화되고 있다[1,2]. 선박으로부터 배출되는 유류에 대한 오염규제는 국가간의 이해와 선박의 운항 특성상 여러 가지 제약을 많이 받고 있다. 이와 관련된 국제협약인 MARPOL73/78에서는 선박으로부터의 유류배출 농도제한치를 15 ppm으로 정하고 이에 적합한 유수분리기(oily water separator) 설치를 의무화하여 선박이 운항될 수 있도록 하고 있다[3,4].

그러나 이 협약에서 요구하고 있는 유류배출 제한치에 적합한 기존의 필터여과방식이 거의 대부분의 선박에 설치, 운용되고 있지만 여러 가지 문제점이 노출되고 있다. 선박의 대형엔진에 사용하는 연료유는 주로 상온에서 비중이 0.99에 가깝고, 동점도가 380 cSt/50°C 이상인 고점도로서 왁스(wax) 또는 락커(laquer)가 많이 발생하고 있는 저질중유를 사용하고 있으며, 선박유회유 또한 산화 안정성 및 점도 특성 등의 여러 안정성이 빨리 저하하기 때문에 고형물이 많이 형성되는 경향을 보이고 있다[5,6]. 따라서 기존의 선박에서 주로 사용하고 있는 필터여과방식의 장치는 연속 사용할 경우 필터의 세공이 잘 막혀서 자주 교체 소제하여야 하므로 인건비의 낭비뿐 아니라 안전 운전에도 많은 어려움과 더불어 필터의 교체에 의한 비용도 많다는 결점이 있다[7].

이러한 필터여과방식 유수분리기의 적절한 보완장치로서 적층판식 유수분리전처리 장치를 들 수 있다. 적층판식 유수분리 전처리 장치는 구조도 비교적 간단하며 유지보수비도 적게되는 장점이 있을 뿐만 아니라 고비중의 유분을 가진 유수혼합물의 분리에 적합하도록 설계하고 있다[8]. 일부 선박회사에서는 적층판식 전처리장치를 개발하여 기존의 유수분리장치에 연계하여 운용하고 있는 선박도 있는 것으로 알려져 있다[9]. 하지만, 전처리장치의 특성에 따른 유류의 조직 구조나 변화에 대해서 설명한 결과는 거의 찾아보기 힘들며, 더욱이 분리된 분리유의 특성에 미치는 전처리장치의 설계에 대해서는 정확히 밝혀진 것이 없는 실정이다[10].

따라서 본 연구에서는 전처리장치를 통한 선박오수(유수혼합물이라고도 하는데, 폐유, 슬러지 및 빌지를 포함함)에 대한 특성을 파악하고 유화유의 수분리성능에 미치는 적층판의 영향에 대하여 고찰하고자 한다. 또한 이러한 방법으로 분리된 기름을 선박보일러의 연료나 선박기기의 윤활유로서 재활용하고 폐유소각기에서 효과적인 소각효율을 높이는 연구의 기초자료로도 활용하고자 한다.

## 2. 실험방법 및 실험장치

### 2-1. 실험에 응용된 이론식

선박 기관실내에 발생한 오수중 유류성분의 분리 방법에는 비중차를 이용한 부상분리법, 필터와 흡착재를 이용한 유분리법, 화학적인 처리방법, 전기적인 분리법 및 생물화학적 방법등이 있으나, 선박에서는 대부분 비중차를 이용한 중력분리법과 필터에 의한 여과법이 사용되고 있다[11,12].

즉, 적층판을 이용한 유수분리기 전처리장치는 중력분리의 이론식을 응용한 것으로 Fig. 1에 적층판의 규격과 개략도를 나타내었다. 이 장치는 미립유적의 부상속도를 증가시키고 미립유적을 큰 유적으로 합쳐서 유수분리기의 상단에 쉽게 모이게 하여 제거하는데 있다.

이와 같은 작용을 촉진시키기 위하여 적층판의 간격을 적절히 조절하고 적층판의 수를 증가시켜서 오수의 체류시간을 길게 함으로써 분리효과를 높인다. 또한 적층판 사이에서의 마찰, 충돌에 의해 오수중 유분의 분리효과를 높여 부력을 증강시키고, 유동방향의 변환에 의하여 기름과 물의 관성차를 높여서

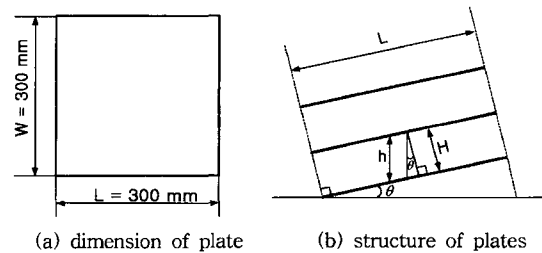


Fig. 1. Principle of separation.

기름을 비중차에 의하여 상부의 집합처에 쉽게 모이도록 하고 있다[13,14].

(I) 중력작용에 의해 분리된 유적은 미립이므로 레이놀즈 수(Reynoldz Number)가 0~2라고 한다면, 그 부상속도는 스토크스(Stokes)법칙에 의하여 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$u = \frac{g(\rho_0 - \rho_w)D_2}{18\mu} \quad (1)$$

- 여기서,  $u$  : 물에 대한 유적의 상대속도,
- $g$  : 중력가속도,
- $D$  : 유적의 직경,
- $\mu$  : 물의 절대점도,
- $\rho_0$  : 유적의 밀도,
- $\rho_w$  : 물의 밀도

Fig. 1(a)는 본 실험장치에 장착한 적층판의 규격을 보여주고 있고, Fig. 1(b)는 경사적층판의 한 단면을 보여주고 있다.

(II) 그림에서 적층판의 너비를  $W$ , 길이를  $L$ 이라고 하고 적층판사이의 간격(높이)을  $H$ , 적층판의 개수를  $n$ 이라고 했을 때, 유수가 유입하는 적층판 사이의 단면  $A$ 는

$$A = WH \quad (2)$$

(III) 유수혼합물의 전유량을  $Q$ 라 했을 때, 각 구획간을 흐르는 유수유량은  $Q/n$  가 되기 때문에, 적층판 내에서 유수의 평균속도  $\bar{v}$  은

$$\bar{v} = \frac{Q}{nWH} = \frac{Q}{nWH} \quad (3)$$

(IV) 적층판내에서 유수의 체류시간  $t_v$ 는

$$t_v = \frac{L}{\bar{v}} = \frac{nWH}{Q} \quad (4)$$

(V) 유적의 부상속도가  $u$ 일 때에  $h$ 를 부상하는 데 요하는 시간  $t_u$ 는

$$t_u = \frac{H}{\frac{H}{u} \cos \theta} \quad (5)$$

(VI)  $t_u$ 시간에 높이  $h$ 를 부상하는 유적이 전부 분리 된다고 가정하면 완전분리 조건은

$$t_v \geq t_u \quad (6)$$

$$\text{즉, } \frac{nWHL}{Q} > \frac{H}{u} \cos \theta \quad (7)$$

$$\text{그러므로, } u \geq \frac{Q}{nWL \cos \theta} \quad (8)$$

(VII) 유적이 미립이므로 그 부상속도가 스토크스법칙( $Re = 0-2$ )에 따르기 때문에 분리 가능한 최소유립의 직경  $D_{min}$ 은 (1)식을 대입함으로써 구할 수 있다.

$$\text{즉, } D_{min} = \sqrt{\frac{18\mu Q}{nWLg(\rho_w - \rho_o) \cos \theta}} \quad (9)$$

위의 (9)식을 살펴보면 유수분리기의 전유량이 적고, 기름과 물의 밀도차가 크며, 적층판의 면적이 넓을수록 분리할 수 있는 유적의 직경이 작아짐을 알 수 있다. 또한 적층판의 분리효과에 있어서 유적의 분리효과는  $H$ 와  $\theta$ 의 영향은 식(9)에 직접적으로 나타나지는 않지만,  $n$ (적층판의 개수)이 크면  $H$ 가 자연히 감소함으로 간접적인 효과가 있고,  $\theta$ 는 적층판 끝에 유적을 모아서 큰 유적으로 만드는데 필요하다.

(VII) 물속에 적은 유적의 부상특성은 스토크스의 법칙에 의해 나타낼 수 있으나 큰 유적에 대한 와류 흐름의 경우에는 뉴턴(Newton)법칙이 적용될 수 있다. 유적이 표면에 떠오르는 시간  $t$ 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다[15].

$$t = \frac{18\mu h}{(\rho_w - \rho_o)gd^2} \quad (10)$$

여기서,  $h$  : 표면까지의 거리,  
 $\rho_w - \rho_o$  : 물과 기름의 밀도차,  
 $d$  : 유적의 직경,  
 $\mu_w$  : 물의 절대점도

(IX) 유화유에서의 유수분리 성능평가는 수분리 성능(efficiency of water separation :  $W_e$ )을 다음과 같은 식에 의하여 퍼센트(%)로 나타내었다[16].

$$W_e = \frac{E_w - S_w}{E_w} \quad (11)$$

여기서,  $E_w$  : 유화유에 포함된 물의 체적,  
 $S_w$  : 유수분리된 물의 체적

## 2-2. 시료유 및 실험방법

본 실험에 사용한 시료유는 중속엔진에 사용되는 유류로서 선박용 연료유(fuel oil : F.O), 윤활유(lubricating oil : L.O-선박엔진유인 system oil), 슬러지 연료유(sludge fuel oil : S.F.O) 및 슬러지 윤활유(sludge lubricating oil : S.L.O)등으로, 이들 각 시료유의 특성은 Table 1과 같다.

또한 유화유(emulsified oil)는 Table 1에 정리한 신유 및 슬러지유(단, 수분이 거의 없는 유류로 가정함)의 각 체적에 10%에 해당하는 증류수(distilled water : D.W, 비저항  $15 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 으로 전기 화학적인 부식작용이 없다고 간주함)를 혼합·유화하여 사용하였다. 실험에 사용한 유수분리기는 IMO MEPC 60(33)규정에[17] 맞는 유배출농도가 15 ppm에 맞게 제작된 것이며, 전처리장치내의 적층판의 간격은 3 mm, 적층판 수는 10장을 표준으로 정하고 시료유의 온도는 40°C를 표준으로 하였다.

또 시료유의 양상을 보다 더 정확히 파악하기 위

Table 1. Properties of fuel oil, lubricating oil and sludge oil

| 종류    | 성상 | 동점도 (cSt)@40°C | 비중 (S.G) @15/4°C | 인화점 (F.P)°C | 유동점 (P.P)°C | 잔류탄소 (Wt%) | 전산가 mgKOH/g | pH  |
|-------|----|----------------|------------------|-------------|-------------|------------|-------------|-----|
| F.O   |    | 43.7           | 0.923            | 93.8        | 7           | 0.05       | -           | -   |
| L.O   |    | 111.4          | 0.889            | 252.0       | -15         | 0.36       | 0.60        | 5.1 |
| S.F.O |    | 75.5           | 0.965            | 123.0       | -           | 1.74       | -           | -   |
| S.L.O |    | 152.7          | 0.922            | 240.0       | -15         | 4.50       | 1.80        | -   |

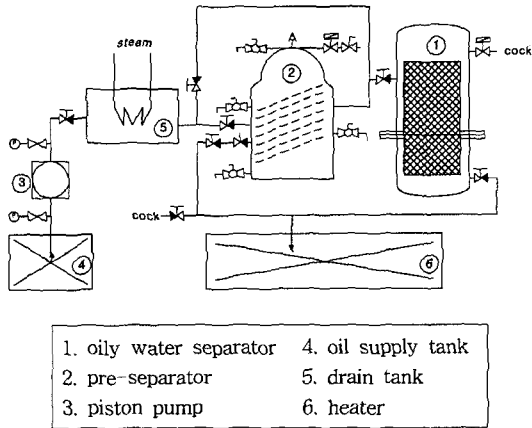


Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus.

하여 현미경(Microscope DW THN/1011) 및 특수 사진기(Nikon AF 52 mm with Adapter)를 사용하여 조직의 상태를 관찰하였으며 시료유의 스폿테스트(spot test)는 거름종이(ashless filter paper: 100 circles 11.0 cm, No.93)을 사용하였다. 또한 가열온도의 열원으로는 증기를 사용하였고 오차는  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 로 자동조정하였다. 시료인 유화유에서 분리한 물은 체적을 기준으로 그 함량을 퍼센트(%)로 측정하였다.

2-3. 실험장치

Fig. 2는 실험장치의 개략도로서 유수분리기(15ppm, oil filtering type), 전처리장치(pre-separator), 항온시스템 및 이들의 배관계통도를 나타내고 있다. 이들의 내부 재질은 SUS304이고 공급용 펌프(horizontal piston pump)의 토출용량은  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ 이다. 시료유의 샘플채취는 전처리장치를 통한 유수분리기와 전처리장치를 바이패스(by-pass)한 유수분리기의 시험쪽에서 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 선박유류 및 유화유의 조직 비교

Fig. 3과 Fig. 4는 신연료유, 신윤활유, 슬러지연료유 및 슬러지윤활유와 각 체적에 10%의 증류수를 혼합·유화시킨 유화유에 대한 조직변화를 25배율로 확대한 사진으로 나타낸 것이다. Fig. 3은 (A) 연료유, (B) 슬러지 연료유, (C) 윤활유 및 (D) 슬러지 윤활유 등의 조직변화를 나타낸 것이고, Fig. 4는 (a) 연료유의 유화유, (b) 슬러지 연료유의 유화유, (c) 윤활유의 유화유, (d) 슬러지 윤활유 등의 유화유를 나타내고 있다.

이에 의하면 신유들에서는 유화유에 비하여 바탕의 조직상태가 조밀하지만 유화유에서는 다소 거칠고 조대한 모습을 발견할 수 있으며 윤활유에 비하

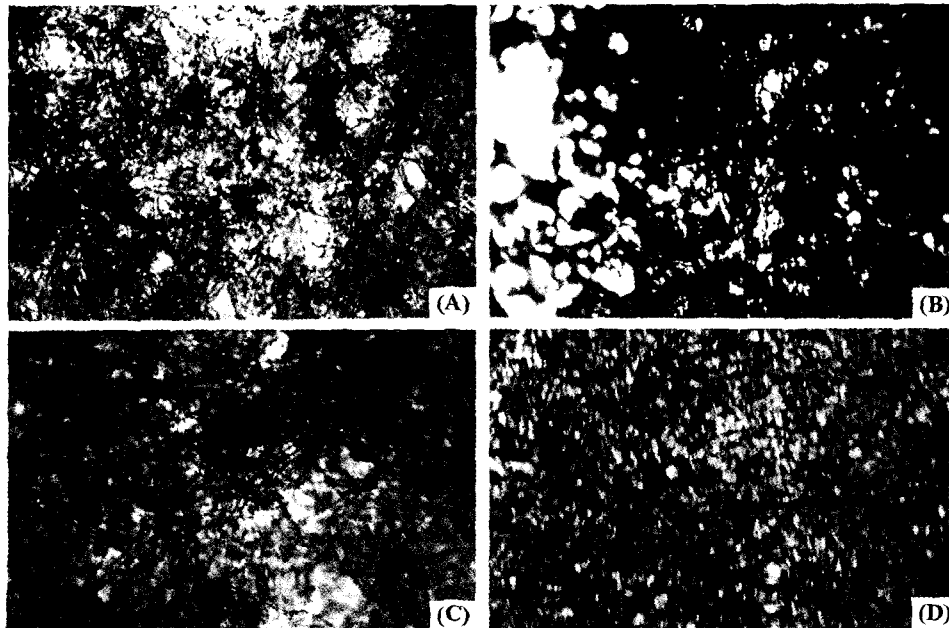


Fig. 3. Comparison of matrix structure for F.O and L.O.

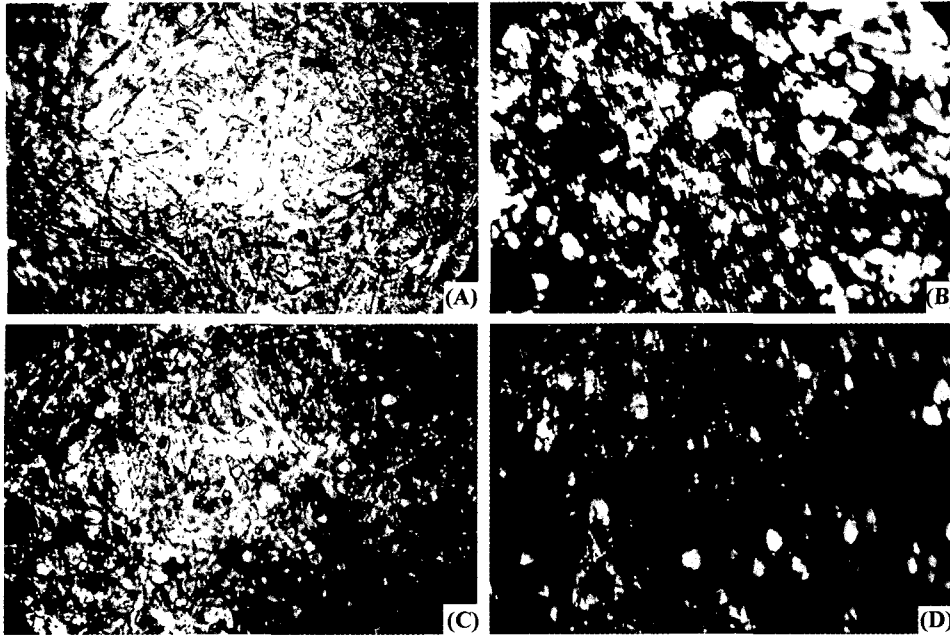


Fig. 4. Comparison of matrix structure for emulsified oil.

여 연료유가 더욱 심하고, 슬러지유에 비하여 신유가 보다 안정적인 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 연료유가 윤활유에 비하여 점도가 물의 점도에 가깝고 유동점이 높기 때문에 쉽게 유화되며 항유화성이 적기때문이라고 하겠다[5].

3-2. 유화유에 미치는 전처리장치의 효과

Fig. 5은 각 유화유를 전처리장치를 통한 것과 통하지 않고 유수분리기만으로 분리한 물의 량을 수분리

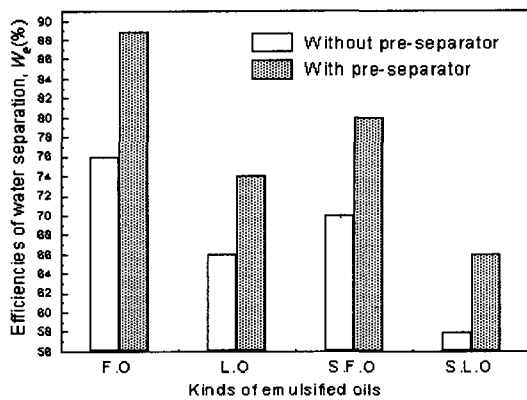


Fig. 5. Efficiencies of water separation for oily water separator with and without pre-separator.

성능값으로 표시한 것이다. 이에 의하면 연료유가 윤활유에서 보다 전처리장치를 통하여 얻은 수분리성의 값이 크며, 신유의 유화유보다는 슬러지 유화유에서 수분리성의 효과가 약하다는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 유성이 강하고 유중수형(W/O)이나 수중유형(O/W)로 유화되어 표면장력보다는 계면장력이 약하고[18], 소포성과 수분리성이 우수하기 때문으로 생각된다.

3-3. 온도의 변화에 따른 유화유의 수분리 특성

Fig. 6는 연료유, 윤활유, 슬러지 연료유 및 슬러지 윤활유에 대한 유화유의 온도를 20°C, 40°C, 60°C, 80°C로 변화시키면서 유수분리기와 전처리장치가 부착된 유수분리기를 통과한 시료유에서의 수분리 성능값을 나타낸 것이다. 이에 의하면 온도가 상승할수록 (최고 80°C까지) 분리효율은 우수하였지만, 60°C 이상의 온도에서는 효율의 증가가 다소 둔화되었다. 또 연료유가 윤활유에 비하여 상대적으로 수분리 성능이 우수하며, 슬러지 윤활유가 수분리성이 가장 약했다.

이러한 현상은 윤활유에 비교하여 연료유는 가열하게 되면 점도지수(VI)가 적게 되어 물과 기름의 비중차가 크게 되므로 기름이 쉽게 분리되어 유수분리기의 상부 집합부에 모이기 때문이다. 슬러지유는 신유에 비하여 수분리 성능값이 낮은 이유는 고흡물,

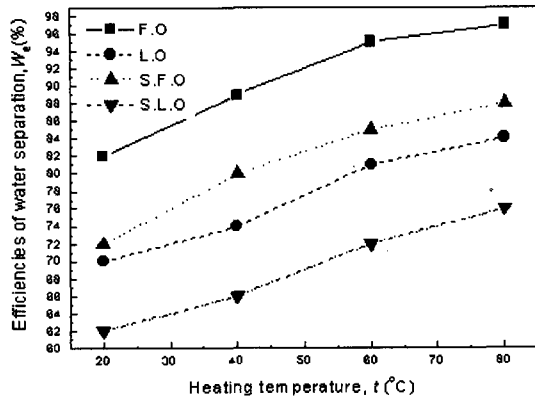


Fig. 6. Efficiencies of water separation vs change of heating temp for emulsified oil.

불용해분, 왁스 등이 결합되어 유화되었기 때문에 온도의 상승에 따른 수분리성이 상대적으로 미약하기 때문이라고 사료된다. 80°C 온도에서 수분리성 효과의 증가가 다소 미약한 것은 물의 온도상승으로 인하여 미세한 수포로 분산되어 수분리 성능의 상승을 다소 둔하게 하는 것으로 생각된다.

또한, Fig. 7과 Fig. 8은 20°C, 40°C, 60°C, 80°C 온도변화에 따른 유화유를 전처리장치가 부착된 유수분리기에서 채취한 시료의 조직 변화양상이고, Fig. 7은

연료유의 유화유이고, Fig. 8은 윤활유의 유화유를 나타내고 있다. 또한 Fig. 7과 Fig. 8의 (A)는 20°C, (B)는 40°C, (C)는 60°C, (D)는 80°C을 표시하고 있다.

이에 의하면 온도가 증가할수록 수분의 결합에 의한 영향이 적으며 수지상의 조직 분포가 확대되고 이들의 결합 공간이 넓게 퍼져 있는 것을 알 수 있다. 또한 연료유에는 온도상승으로 인하여 불용해분이 조밀하게 산포되어 있고, 특히 슬러지유에는 더욱 이러한 현상이 심하게 노출되어 있다.

이러한 원인은 온도 상승으로 인하여 기름의 비중이 크게 저하하므로 수분리 성능은 우수하며 기름의 입자가 미세하게 분포되기 때문이다. 또한 불용해분도 온도의 상승으로 인하여 미세하게 분리되면서 분포하기도 한다. 윤활유 유화유에 비하여 연료유 유화유에서 조직이 온도상승으로 인하여 더욱 조밀한 것은 왁스 등의 고형물이 용해되면서 쉽게 분포되기 때문으로 생각된다.

Fig. 9는 연료유, 윤활유, 슬러지 연료유, 슬러지 윤활유 및 증류수의 온도변화에 대한 밀도의 변화관계를 나타낸 것이다. 이에 의하면 연료유는 증류수의 가열온도가 증가함에 따라 밀도값이 감소하고 있고 윤활유는 그 변화가 아주 미약하다. 슬러지도 연료유가 윤활유보다 온도증가에 따라 더 많이 감소한다.

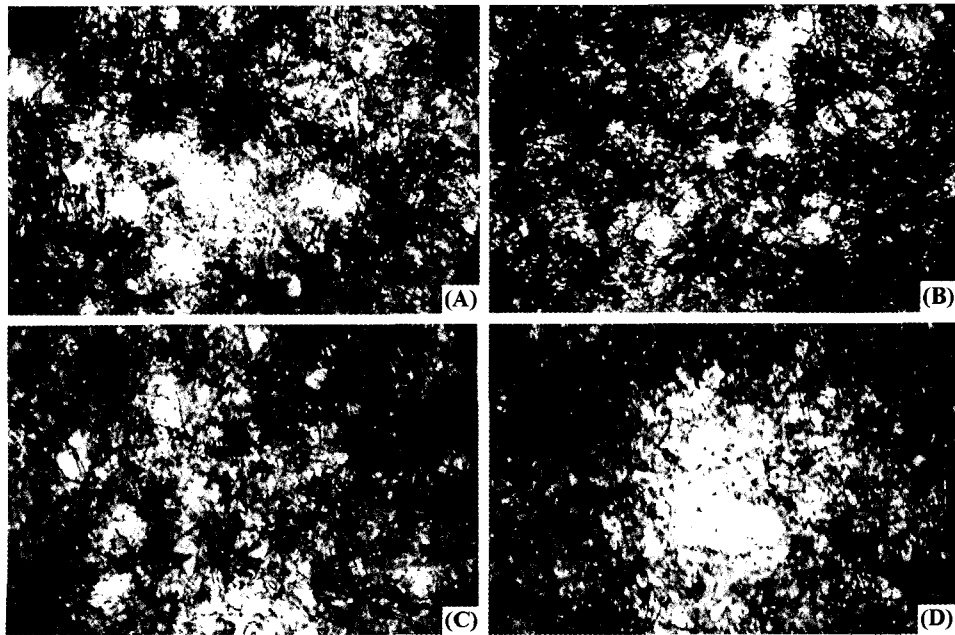


Fig. 7. Comparison of matrix structure after water separation for F.O emulsified oil.

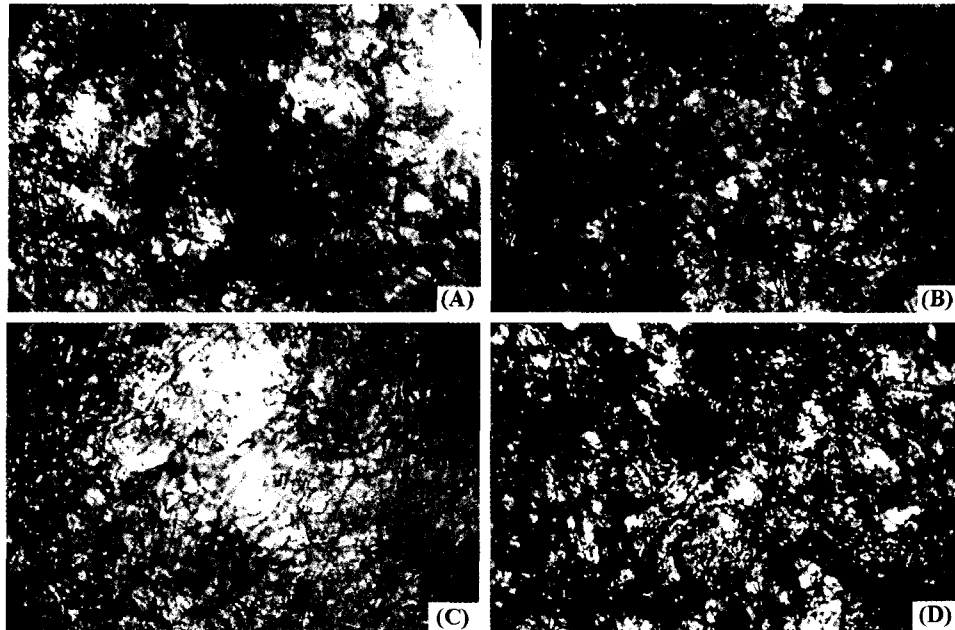


Fig. 8. Comparison of matrix structure after water separation for L.O emulsified oil.

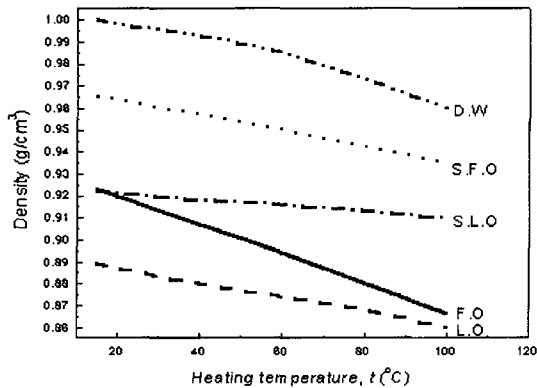


Fig. 9. Relationship of density vs heating temp. between FO, LO, S.F.O, S.L.O and D.W.

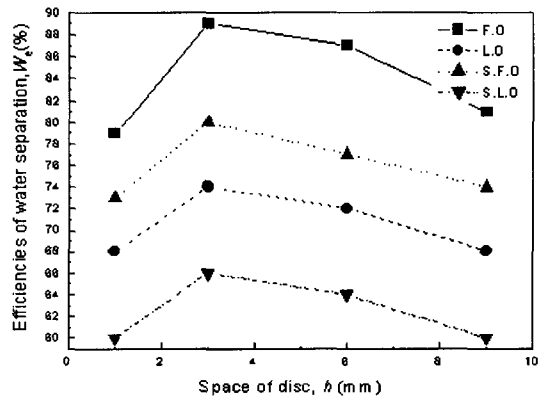


Fig. 10. Efficiencies of water separation vs space of plate.

이러한 현상은 연료유 성분이 윤활유 성분에 비하여 점도지수값이 낮고, 온도에 따른 체적의 변화에 민감하기 때문이다. 또한 고형분이 많고 점성이 강한 슬러지유가 다른 기름에 비하여 온도증가에 비하여 밀도값에 둔감한 것은 유동점이 낮고 휘발분이 적은 것으로 추정된다.

3.4. 적층판의 간격변화에 따른 수분리성의 영향

Fig. 10은 적층판의 간격을 1, 3, 6, 9 mm로 변화시켜 각종 유화유를 실험한 결과를 수분리 성능값으

로 나타낸 것이다. 이에 의하면 적층판의 간격이 3 mm에서 네 종류의 유화유 모두 최대의 수분리 효율을 보이고 있다. 또한 적층판의 간격이 1 mm 일 경우 가장 낮은 효율을 보이다가 3 mm에서 최대의 효율을 나타낸 후 적층판의 간격이 커질수록 점차 효율이 저하되는 양상을 보였다.

이러한 현상은 간격이 너무 적으면 적층판을 통과하는 체류시간은 증가하나 유체사이의 충돌과 마찰력이 감소하며, 간격이 너무 크면 충분한 적층판에서의 체류시간이 부족하여 분리할 수 있는 시간이

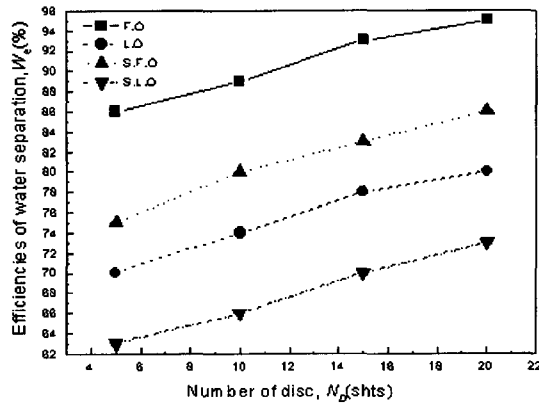


Fig. 11. Efficiencies of water separation vs number of plates.

적다는 것을 알 수 있다. 따라서 충분한 체류시간을 갖고 서로 유체끼리 충돌하여 분쇄하면서 비중차를 증가시킴으로써 기름과 물의 분리효과가 우수하다는 것을 입증하고 있다.

### 3-5. 적층판 수에 의한 수분리성의 성능효과

Fig. 11은 각 유화유에 전처리장치내의 적층판을 5, 10, 15, 20장으로 변화시켜 수분리 성능을 실험한 결과를 나타낸 것이다. 이에 의하면 적층판 수가 증가할수록 수분리 성능이 우수함을 알 수 있다. 앞서 2-1에서 살펴본 이론식(9)에서도 나타났듯이 적층판의 면적이 넓고, 개수가 증가할수록 유체의 유동에 의한 충돌이 증가하고, 유체의 전단속도가 증가하여 수분리성이 우수함을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

선박용 연료유, 윤활유, 슬러지 연료유, 슬러지 윤활유 및 10% 증류수를 혼합·유화시킨 각종 유화유를 유수분리기의 전처리장치내의 적층판과 용액의 온도변화 등에 의한 특성들을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 수분리성능의 효과는 윤활유계통의 시료유보다는 연료유계통의 시료유에서가 더 우수하며, 전처리 장치를 부착한 경우에는 그 효과가 더욱 컸다.

2) 전처리장치를 부착한 경우에 유수분리 성능이 10% 정도 상승되는 효과가 있으며, 특히 가열온도에 민감하게 작용하였다.

3) 수분리성은 온도의 증가에 따라 양호하지만, 60°C의 온도상승에서는 상승폭이 다소 둔화되었다.

4) 유화유 수분리 성능의 상승효과는 전처리 장치내의 적층판의 개수가 증가하고, 적층판의 간격이 조밀할수록 우수하였지만, 적층판의 간격이 극단적으로 작아진 경우에는 그 효과가 감소하였다.

## 참고문헌

- John Latour, "The Canadian Response Model : the Necessity for Public-Private Cooperations," Proceedings of the third Korea-Canada Symposium on Marine Environment, pp 196-207, 1996.
- Bieger, T., J. Hellou and T. A. Abrajanno Jr, "Petroleum Biomarkers as Tracers of Lubricating Oil Contamination," Marine Pollution Bulletin, Vol.32, No.3, Pergamon, pp 270-274, 1996.
- "Manual of Sasakura oily water separator(Model SMT-A)," Sasakura Engineering Co., Ltd, Osaka, Japan, 1996.
- IMO, "MARPOL73/78 1992 Amendment to Annex I," IMO, London, pp 1-4, 1992.
- 李鎮烈, "油類工學", 暁星出版社, pp.69-89, pp.174-188, 1998.
- 小西 誠一, 上田 亨, "潤滑油の基礎と應用", コロナ社, pp.110-130, 1992.
- "Manual of Oily Water Pre-Separator(type OWPS-5.0)," M & C Engineering Co., Ltd., Korea, 1996.
- "Instruction Manual for Oily Water Separator(UST type)," Geo Rim Engineering Co, Ltd., Korea, 1997.
- (株) 韓進海運 自體 報告書, "油水分離器の 前處理裝置 設置效果", 韓進海運(株), 1997.
- 林祐助, 李鎮烈 (1996), "潤滑工學", 螢雪出版社, pp.102-108.
- 韓國船用機關學會 機關管理研究委員會, "船舶機關의 安全 및 補修管理", 太和出版社, pp 38-41, 1986.
- 西川榮一, "國際船用機關システム會議(ICMES)", 船用汚染抑制技術會議(TC-8)의 內容, 日本船用機關學會, 31卷, 5號 pp.315-317, 1996.
- 全大熙, "船舶油類管理", 一中社, pp.439-441, 1990.
- 韓國船用機關學會, "春季學術大會論文集", pp.M21-M23, 1998.
- 韓國海技研修院, "海洋汚染防止管理人 教育課程", 世宗文化社, pp.8-13, 1995.
- Alpha-Laval, "Separation System for Fuel Oil and Lubricating Oil," Handbook, Japan, 1996.
- Blohm & Voss AG, "Manual of TURBULO separator(TCS-10 HD)," Hamburg, Germany, 1993.
- 益子正文, 岡田和三, "O/W エマルジョンの トライボロジ-", トライボロジスト, 第36卷, 第5號, pp.369-374, 1991.