

## 드럼식 유회수기의 디젤유 회수에 관한 실험적 연구

송동업<sup>(1)</sup>, 정송환

### An Experimental Study on the Recovery of Diesel Oil Using a Drum Type Skimmer

by

Dong-Eub Song<sup>(1)</sup> and Song-Whoan Jung

#### 요 약

본 연구에서는 물리, 기계적인 누유 제거방법으로서 부착식의 일종인 드럼식 유회수기를 사용하여 회수조건의 변화에 따른 유회수율을 실험적으로 구하였다. 일반적으로 기계적인 유회수방법에서 문제시 되는 것은 고점도 유체에서 유회수가 어렵고, 얇은 유막층에서 회수유종물의 함량이 증가하며, 유회수율이 크게 감소되는 점이다. 본 연구에서는 드럼식 유회수기를 이용하여 드럼의 잠긴 깊이에 따른 접촉각, 이송속도, 유막두께 등의 유회수 조건이 유회수율에 미치는 영향을 디젤유를 사용하여 구하고 이를 분석하여 효과적인 유회수 조건을 구하였다. 실험결과 드럼식 유회수기에서 유회수율은 부착유량과 부착유량의 이탈손실에 의하여 영향을 받으며, 부착유량은 잠긴 깊이에 의한 접촉각에 영향을 받는다. 드럼식 유회수기에서의 유회수율은 드럼의 지름에 대한 잠긴 깊이의 비  $h/d=0.15$ (접촉각  $45^\circ$ )에서 가장 효과적인 유회수율을 보이며, 얇은 유막두께에서도 비교적 효과적인 유회수율과 회수효율을 보였다. 또한 이송속도는 최대양정유량을 보이는 임계이송속도를 갖으며, 임계이송속도는 유막두께의 증가에 따라 증가한다.

#### Abstract

Generally we have difficulty in removing oil using mechanical devices because recovery rate and recovery efficiency decrease remarkably when operating in thin oil films or in oils of very high viscosity. In the present study a series of experiments were carried out to study the effect of operating conditions on the rate of recovery for the spilled oil using a drum type skimmer. For each set of experiments depth of immersion, oil film thickness and the circumferential speeds were varied systematically to find the effects on the recovery rate. The results shows that recovery rate is dependent on the contact angle for the depth of immersion and the highest rate of oil recovery shows in the case of a contact angle of  $45^\circ$  ( $h/d=0.15$ ). For the removal of spilled oil the optimal circumferential speed can be found as the critical value to reach the saturated recovery rate for a given oil film thickness and depth of immersion. Even in thin oil thickness we have enough recovery rate and recovery efficiency within critical circumferential speed this way.

(1) 정희원, 충주대학교 기계공학과, desong@gukwon.chungju.ac.kr

Keywords: recovery efficiency, drum type skimmer, optimal circumferential speed.

## 1. 서 론

산업의 발달에 따라 기름의 사용이 증대하고, 기름의 수송이 대부분 해상을 통하여 주로 이루어짐으로서 해상에서의 기름누출에 의한 해양오염의 우려는 더욱 증가되고 있다.

누출된 기름은 쉽게 확산되어 그 피해면적이 광범위해지며 해양생태계에 막대한 영향을 줄뿐만 아니라, 복구에 많은 시간이 필요하게 되므로 그 피해는 대단히 크게 된다.

해양 누유의 원인이 선박의 좌초, 충돌 및 접촉에 의한 사고에서 대부분(75%) 비롯되고 있어(이봉길[1995]) 누유의 근본적인 방지대책에는 한계가 있을 수밖에 없으며, 해상 누유는 대부분 대단위 누출을 보이고 있어 이에 대한 피해 또한 막대할 수밖에 없다.

누유 시 기름은 발생 초기에 중력, 관성력, 기름과 물의 표면장력에 영향을 받으며 급격히 확산되게 된다.

유출된 누유의 확산은 파랑이나 조류, 바람 등의 영향에 의하여 0.3 m/s 이상의 속도로 확산되며 누유된 기름의 일부는 증발되게 되지만 유막두께가 0.1~0.01 mm까지 계속 확산이 이루어진다고 하였다(Oebius[1985]).

누유된 기름은 이후 생물학적 풍화과정을 거쳐 분해되게 된다. 그러나 이와 같은 자연적인 분해과정은 많은 시간을 필요로 하며, 연안의 오염 및 풍랑에 의한 emulsion과정에서 물속에 과다한 기름을 포함하게 하고 침전 시 수중 생물이나 해저 생물에 영향을 미치게 된다. 따라서 그 피해가 대단히 커지게 되므로 누유 시 가급적 빠른 시간 안에 누유된 기름의 방제에 대한 적절한 대책이 필요하게 된다.

일반적으로 사용되고 있는 분산에 의한 방법은 대단위 누유 및 확산에 따른 대처가 간편하고 경제적이므로 많이 사용되고 있으나 누출된 기름은 일반적으로 170 cP 이상의 점성에서 분산이 어렵게 되며(Lee *et al.*[1981]) 침전된 기름에 의해 해저 생물이 오염될 우려가 있다. 따

라서 누유 방제 방법으로 2차 오염의 우려가 없고, 회수율의 재활용 등 장점이 있는 기계적인 방법이 효과적이다. 그러나 기계적인 유회수 방법은 대단히 많은 요인에 의하여 영향을 받으므로 회수조건에 따라 그 특성에 맞는 적절한 유회수기를 선정하여 사용하여야 한다. 따라서 유회수조건에 따른 유회수기의 특성에 관하여 연구들이 이루어져 왔지만, 기계적인 유회수기의 회수율은 많은 요인에 의하여 영향을 받으므로 이에 관한 체계적인 해를 구하는 것은 매우 어렵다(Wilson[1982], Oebius[1985]).

이와 같이 유회수기는 복합적인 여러 요인에 의하여 영향을 받으므로 사용조건에 맞는 여러 형태의 유회수기가 개발되어 사용되고 있지만, 적절한 유회수기의 운용을 위해서는 유회기의 특성에 대한 이해와 적용 특성에 맞는 유회수기의 개발이 요구되고 있으나 이에 대한 구체적인 연구결과는 많지 않다. 또한, 대부분의 유회수기에서 문제가 되고 있는 것은 고점도인 기름의 회수가 어렵고 얇은 유막층에서 회수가 어려운 점이다.

Christodoulou와 Turner[1987]는 부착식의 일종인 디스크식 유회수기에서 유회수율은 점성의 1/2 승에 비례하며 300 cSt. 까지는 유회수율이 증가하지만 이후 감소한다고 하였고, Mayers [1989]는 흡착식 유회수기인 드럼식 유회수기에서 유막두께 6.4 mm 이하에서는 유회수율이 감소한다고 하였다. 그러나 송과 윤[1997, 1998]은 벨트식 유회수기를 이용한 연구에서 벨트와 유면의 접촉각이 45°일 경우 고점도인 병커 C유와 비교적 점도가 작은 디젤유 모두 작은 유막 두께에서도 비교적 양호한 유회수율을 보이고 있음을 확인하였으며, 유회수율에 미치는 영향이 두 유체에서 모두 비슷한 거동을 보임을 밝혔다.

따라서 본 연구에서는 고점도에서도 비교적 양호한 유회수율을 보이는 부착식 유회수기의 일종인 드럼식 유회수기에서 디젤유를 사용하여 회수요인에 따른 회수율을 구하고 이를 분석하여 유회수율에 영향을 미치는 요인을 분석함으로써 효과적인 유회수기의 운용조건을 구하고, 유회수기의 개발자료로 이용할 수 있도록 하였다.

Table 1 Properties of experimental diesel oil.

Material	Dynamic viscosity (Pa.s)	Kinematic viscosity (m <sup>2</sup> /s)	Density (Kg/m <sup>3</sup> )	Surface tension (N/m)
Diesel* (30°C)	1.975×10 <sup>-3</sup>	2.466×10 <sup>-6</sup>	801	2.84×10 <sup>-2</sup>
Water** (30°C)	7.97×10 <sup>-4</sup>	8.00×10 <sup>-7</sup>	996	7.30×10 <sup>-2</sup>

\* Tested by Korea Machinery - Meter and Petrochemical Testing & Research Institute.

\*\* Bolt,R.E. and Tuve,G.L., 1973, "Handbook of Tables for Applied Engineering Science" CRC Press, Inc., Cleveland.

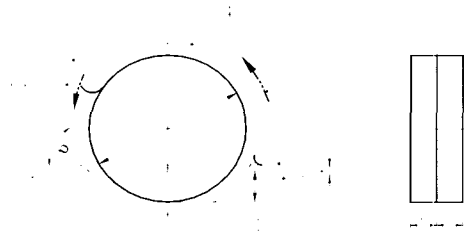
## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험 장치

본 실험에 사용된 드럼식 유회수기의 개요도를 Fig. 1에 나타내었다. 드럼이 회전하면서 유체표면의 누유된 기름층을 통과할 경우 기름은 접촉조건(no slip condition)에 의하여 드럼의 원주표면에 부착되게 되고 드럼의 회전에 따라 원주속도로 이송되게 된다. 이때 부착 이송되어진 기름과 물의 혼합물을 압착식 와이퍼에 의하여 회수하였다.

드럼은 지름 360 mm, 폭 100 mm로 제작하였으며 드럼에 부착되는 부착유량은 모서리 효과(edge effect)에 의하여 회수유량에 영향을 미칠 수 있으므로 이러한 모서리 효과에 의한 영향을 파악하기 위하여 드럼을 폭 50 mm로 분리할 수 있도록 제작하였다. 또한, 이때 연결 부위의 영향을 줄이기 위하여 드럼을 가공오차 ±0.01 mm로 정밀 가공하였다. 사용된 재질은 가공에 용이한 쾌삭성의 폴리우레탄(polyurethane)을 사용하였으며, 부착식 유회수기의 일종인 디스크식 유회수기를 사용한 연구결과 재질에 의한 영향은 거의 없는 것으로 알려져(Athantic Research Systems Division Marine Systems, A Division of the Susquehanna Corporation Costa Mesa, California 92626[1976]) 재질에 대한 고려는 특별히 하지 않았다.

유체의 물성치는 온도에 따라 민감하게 변하며 특히 부착식 유회수기는 점도에 따른 영향을 크게 받는다. 따라서 본 연구에서는 실험유체의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 수조 밑면에 작은 용량의 가열기(100 W)를 다수(10개) 설치하여 균일한 온도분포를 갖도록 하였으며 사용



- ① Water      ② Oil layer      ③ Upward pickup
- ④ Adhesive oil thickness      ⑤ Scraper
- ⑥ Downward pickup

Fig. 1 A schematic diagram of the experimental apparatus.

된 온도조절기(HY72D, PT100Ω)의 오차범위는 1oC를 유지하였다. 누출된 기름은 낮은 온도에서 유출되어도 복사열의 흡수율이 매우 커 기름의 온도는 쉽게 40°C까지 상승하게 되므로(Mackay et al.[1993]) 본 실험에서는 실험유체의 온도를 30°C로 유지하였다. 또한, 사용된 디젤유와 참고로 순수한 물의 점도, 밀도, 표면장력계수를 Table 1에 각각 나타내었다.

사용된 수조의 규격은 120(L)×60(W)×50(H) cm<sup>3</sup>이었으며, 유량은 단위시간당 질량유량(kg/hr)으로 표시하였고, 수거된 기름과 물의 질량을 측정하기 위한 중량계는 로드 셀 방식으로 오차범위는 2 gr이었다. 드럼의 회전수 측정은 반사식 회전계(TM3011)를 사용하였으며 오차 범위는 0.01 %이었다.

## 2.2 실험방법

드럼식 유회수기의 원주표면이 유체층을 운동할 경우 유체는 접착조건(no slip condition)에 의하여 원주표면에 부착되며, 유회수기의 회전운동에 따라 이송되게 되어 수면 위에 누유된 기름을 회수할 수 있다.

일반적으로 유회수기의 회수율은 다양한 유회수 요인에 의하여 영향을 받게 되지만, 크게 유회수율에 영향을 미치는 요인으로는 누유된 기름이 유회수기의 작업면에 부착되는 부착유량과 부착된 기름이 이송되는 과정에서 자중에 의하여 흘러내리거나 기타 요인에 의하여 이탈되는 손실유량으로 나누어 볼 수 있으며, 또한 회수된 유량중 물의 함유량이 될수록 적어야 하는 요인 등으로 생각할 수 있다.

드럼식 유회수기에서 부착유량은 회수기의 원주표면이 수면 위에 누유된 기름층을 통과할 경우 기름의 점성에 의하여 원주표면에 부착되어 드럼의 회전속도에 의한 원주속도로 이송되어지게 된다. 이때 원주표면이 누유된 기름층과 접촉하며 부착되어지는 경우는 Fig. 1에서와 같이 작업면이 물보다 기름층에 먼저 접촉되어 기름이 선부착되게 되는 하향이송과 드럼의 작업면이 수중을 통과한 후 기름층에 접촉하며 기름이 후부착되는 상향이송의 두 방법에 의하여 기름의 부착이 이루어지게 된다

송과 윤[1997, 1998]은 벨트식 유회수기를 이용한 실험결과 부착유량은 기름이 선부착되는 하향이송에서 주로 이루어짐을 확인하였으며 또한, 하향이송에서 작업면과 유면이 이루는 접촉각에 의하여 크게 영향을 받음을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 드럼식 유회수기의 특성도 이와 유사하므로 드럼식 유회수기의 효과적인 유회수 조건을 구하기 위하여 드럼식 유회수기가 물에 잠기는 잠수깊이를 7, 24, 36, 53, 72, 108 mm로 하여 잠수깊이에 따른 유회수율을 구하였다. 이때 기름층과 접촉하는 원주표면의 접선이 유면과 이루는 접촉각은 각각 15°, 30°, 37°, 45°, 53°, 66°이며 드럼의 지름과 잠수깊이 비 ( $h/d$ )로 나타나는 무차원 값은 각각 0.02, 0.07, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3 이다.

드럼식 유회수기에서 부착유량은 누유된 기름이 선부착되어 이송되는 하향이송에 의하여 주로 부착되어 이송되게 되므로 부착유량이 수중

을 통과하게 되는 경우 물이 부착되어 회수유량에 물이 함유되게 되고 회수효율(recovery efficiency)을 감소시키게 된다.

또한, 수중을 통과하는 동안 부착된 기름은 물과의 마찰과 드럼의 회전속도에 의한 원심력에 의하여 작업 면에서 이탈되거나 양정과정에서 자중에 의하여 흘러내려 손실유량이 발생되게 된다. 따라서 유회수율은 유체의 밀도, 점도, 표면장력 등의 물성치와 유막두께 및 회전속도에 따른 원주속도에 영향을 받게 된다. 따라서 본 실험에서는 유막두께를 1, 2.5, 5, 10 mm로 변화시키고 각각의 유막두께에서 잠수깊이가 변할 경우 이송속도에 따른 디젤유의 회수유량 및 회수효율을 구하여 유회수조건이 유회수율에 미치는 영향을 분석하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 물위에 누유된 디젤유의 유막두께 1 mm에서 드럼식 유회수기의 잠긴 깊이를 7, 24, 36, 53, 72, 108 mm로 변화하였을 경우 잠긴 깊이별 회수된 기름의 양정유량을 드럼의 원주속도에 따라 나타낸 것이다. 여기서 양정유량은 질량유량으로 나타내었다.

드럼식 유회수기의 유회수 과정은 하향이송에서 원주표면에 기름이 선부착되게 되고 이후 드럼식 유회수기의 원주표면은 회전속도에 따른 원주속도로 이송되게 되며, 기름은 원주표면에 부착된 상태로 이송되게 된다. 따라서 드럼식 유회수기의 원주속도는 회수유의 이송속도가 된다. Fig. 2에서 디젤유의 양정유량은 이송속도에 따라 증가하다가 잠긴 깊이에 따라 일정한 이송속도 이후에서는 다시 감소하고 있음을 보이고 있다.

디젤유의 양정유량은 드럼이 물에 잠긴 깊이가 53 mm인 경우에 최대양정유량을 보이며, 또한 잠긴 깊이가 이 보다 작을 경우 양정유량은 급격히 감소하고, 최대양정유량을 보이는 이송속도는 잠긴 깊이가 작을수록 매우 작은 이송속도에서 나타나고 있으며, 잠긴 깊이가 53 mm 이상인 경우 양정유량 및 최대양정유량을 보이는 이송속도는 잠긴 깊이가 53 mm 보다 작은 경우에 비하여 다소 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

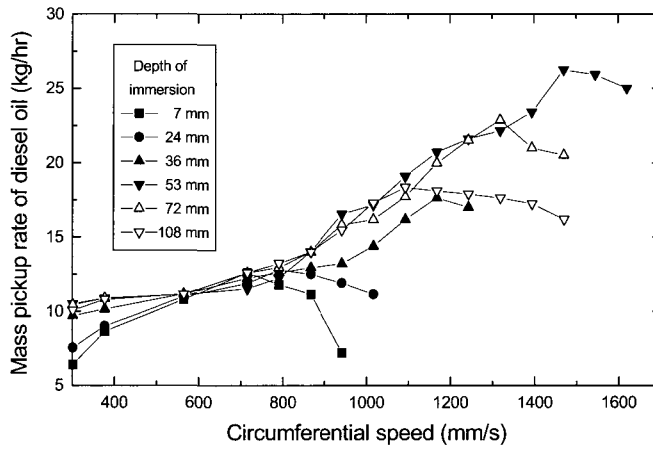


Fig. 2 Mass pickup rate of diesel oil vs circumferential speed for the depth of immersion (slick thickness 1 mm).

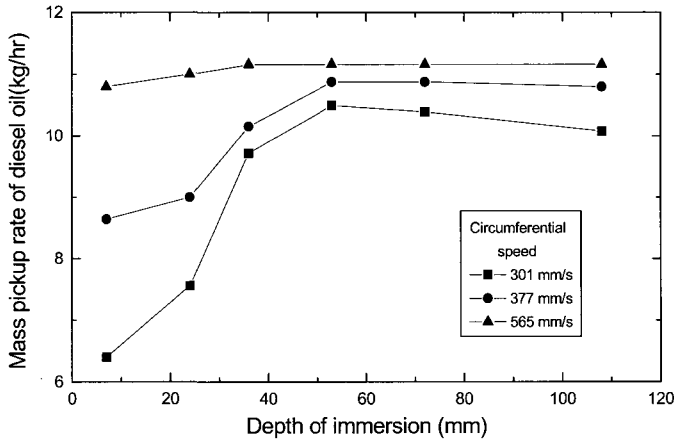


Fig. 3 Mass pickup rate of diesel oil vs depth of immersion for the circumferential speed (slick thickness 1 mm).

또한, 잠긴 깊이가 53 mm인 경우 최대양정유량을 보이고 있는데, 이때 드럼식 유회수기와 유면과의 접촉각은 45°이었다. 송과 윤[1997, 1998]은 벨트식 유회수기에 관한 연구에서 접촉각이 45°인 경우 가장 큰 양정유량을 보이고 있음을 확인 하였는데, 이는 위의 결과와 잘 일치하고 있다.

Fig. 3은 유막두께 1 mm에서 작은 이송속도 범위에서의 양정유량을 잠긴 깊이에 따라 나타

낸 것이다. 여기서 이송속도가 작을수록 잠긴 깊이에 따른 양정유량의 차가 크게 나타나고 있고, 또 잠긴 깊이가 작을수록 양정유량은 크게 감소하고 있음을 알 수 있는데 이는 접촉각이 작고 이송속도가 작을수록 상대적으로 스타베이션(starvation)의 영향이 증가하는 것으로 이해된다.

Fig. 4는 유막두께 1 mm에서 잠긴 깊이별 회수효율을 이송속도에 따라 나타낸 것이다. 여기

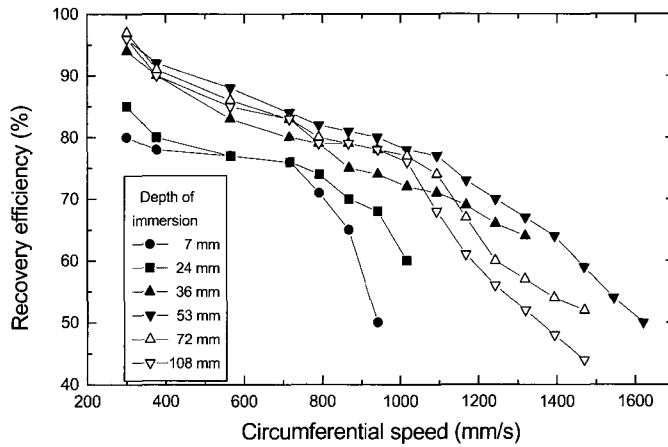


Fig. 4 Recovery efficiency vs circumferential speed for the depth of immersion(slick thickness 1mm).

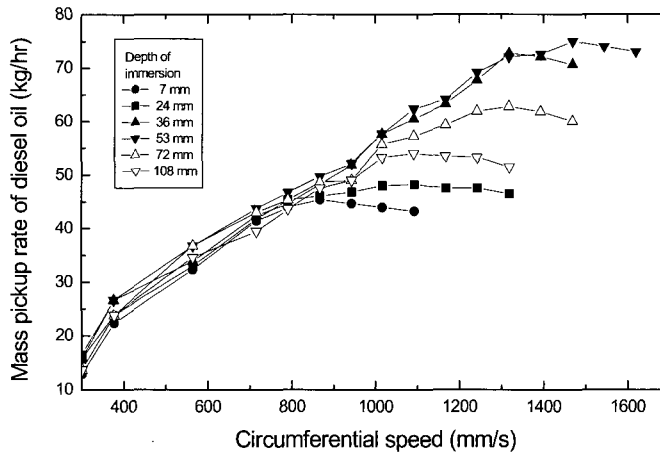


Fig. 5 Mass pickup rate of diesel oil vs circumferential speed for the depth of immersion(slick thickness 2.5 mm).

서 회수효율은 전체양정된 유광중 기름의 질량비(%)를 나타낸다. 회수효율은 이송속도의 증가에 따라 전체적으로 감소하지만 위에서 보인 바와 같이 잠긴 깊이에 따라 디젤유의 양정유량이 변하게 되는데, 디젤유의 양정유량이 크게 나타나는 잠긴 깊이에서 회수효율이 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 즉 잠긴 깊이 53 mm에서 회수효율은 가장 크게 나타나고 있으며, 잠긴 깊이가 7mm에서 가장 작게 나타나고 있다.

드럼의 작업면이 하향이송에서 기름이 부착되어 수중을 통과하게 되고 다시 상승하며 양정유량을 이송하게 되는데 잠긴 깊이에 따라 부착유량의 차가 발생하게 되고, 수중을 통과할 경우 다시 작업면에 부착된 물이 수면을 벗어나 드럼의 작업면이 상승하게 될 때 물과 기름의 일부가 자중에 의하여 흘러내리게 되는데 잠긴 깊이가 작을수록 수중 이송되는 거리가 작아지게 되고 상승 이송되는 양정은 크게 되어 회수효율

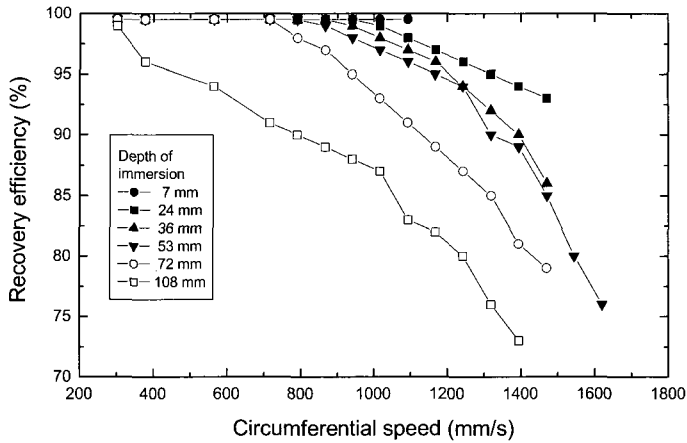


Fig. 6 Recovery efficiency vs circumferential speed for the depth of immersion(slick thickness 2.5 mm).

이 증가할 것으로 유추할 수 있다. 그러나 잠긴 깊이가 작은 경우에 회수효율이 작게 되는 이유는 잠긴 깊이가 작은 경우 기름의 부착유량이 작아 물의 부착유량을 증가시키지 못하기 때문으로 판단된다. 이러한 기름의 부착유량의 감소는 잠긴 깊이가 작을수록 접촉각이 작아 작업 면이 기름과 접촉하는 접촉면적이 증가하지만 접촉면 주위에 기름의 유막층이 급격히 줄어들어 기름의 부착유량을 감소시키게 되는 스타베이션의 발생으로 인하여 결국 기름의 부착유량이 감소하게 되고 수중 이송중 물의 부착유량을 증가시켜 기름의 양정유량은 감소하게 되고 회수효율은 작아지게 되는 것으로 판단된다. 따라서 스타베이션의 발생은 접촉각의 영향을 받으며, 또한 물과 기름의 계면에서 발생하는 2차 유동에 의하여 영향을 받게 되는 것으로 판단된다.

또, 하향이송 과정에서 기름이 선부착되므로 물은 후부착되게 되고 물의 점도가 기름에 비하여 상대적으로 작으므로 자중에 의하여 흘러내리게 되는 손실유량은 물이 더 많을 것으로 판단할 수 있는데, 실제 가시적인 관찰을 통하여 이러한 손실유량의 대부분은 물인 것을 확인할 수 있었다.

이상에서 고찰된 결과 유회수율은 부착유량에 의하여 크게 영향을 받게 되며, 부착유량은 접촉각에 따른 스타베이션의 발생에 의하여 영향을 받음을 알 수 있다. 또, 이러한 스타베이션은 유막두께의 크기에 따라 기름의 확산속도가 다르

게 되므로 유막두께의 영향을 받는다.

Fig. 5는 유막두께 2.5 mm에서 잠긴 깊이별 디젤유의 양정유량을 이송속도에 따라 나타낸 것이다. 양정유량은 유막두께 1 mm의 경우에서와 같이 잠긴 깊이 53 mm(접촉각 45°)에서 가장 큰 양정유량을 보이며 또한 최대양정유량을 보이는 이송속도가 가장 크게 나타남을 확인할 수 있다. 또한 이송속도 900 mm/s 이하에서는 잠긴 깊이에 따른 양정유량의 차가 매우 작게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 유막두께의 증가에 따라 스타베이션에 의한 영향이 감소하여 잠긴 깊이에 따른 부착유량의 차가 작게 발생하기 때문으로 판단된다.

Fig. 6은 유막두께 2.5 mm에서 잠긴 깊이별 회수효율을 나타낸 것이다. 회수효율은 Fig. 6에서 보인 유막두께 1 mm에서는 잠긴 깊이 7 mm에서 가장 작게 나타나고 있고, 가장 큰 디젤유의 양정유량을 보이는 잠긴 깊이 53 mm에서 가장 큰 회수효율을 보이고 있으나 유막두께 2.5 mm에서는 잠긴 깊이 7 mm에서 가장 큰 회수효율을 보이고 있고, 잠긴 깊이 108 mm에서 가장 작은 회수효율을 보이는 서로 다른 결과를 보이고 있다. 이는 유막두께가 작은 경우 스타베이션의 발생에 의한 영향이 증가하며, 잠긴 깊이가 작을 경우 즉, 접촉각이 작은 경우 스타베이션의 영향이 증가하여 부착유량을 감소시키고 상대적으로 물의 부착유량이 증가하므로 잠긴 깊이가 작을 경우 회수효율이 작아지게 되나 유

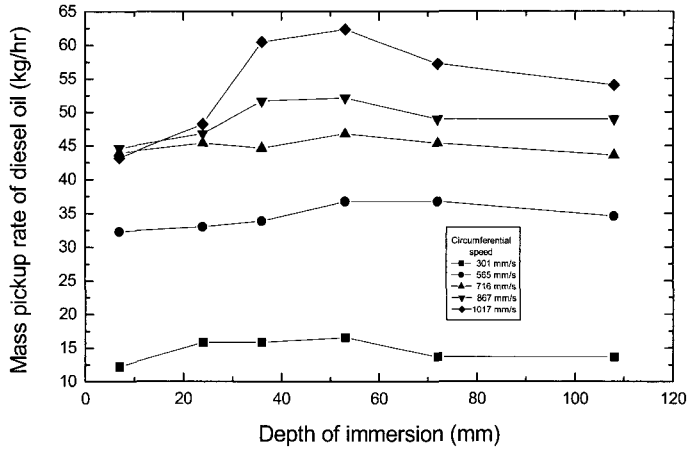


Fig. 7 Mass pickup rate of diesel oil vs depth of immersion for the circumferential speed(slick thickness 2.5 mm).

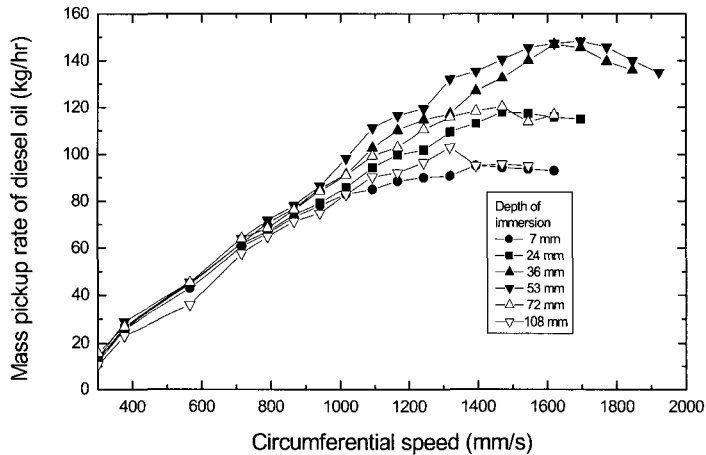


Fig. 8 Mass pickup rate of diesel oil vs circumferential speed for the depth of immersion(slick thickness 5 mm).

막두께가 증가할 경우 스타베이션의 영향이 감소하여 잠긴 깊이에 따른 부착유량의 차는 작아지고 잠긴 깊이가 클수록 수중 이송길이가 길어져 물의 부착유량을 증가시키기 때문으로 이해된다. 이러한 결과에서 유회수율은 유막두께가 작을수록 잠긴 깊이(접촉각)에 의한 영향이 증대되는 것으로 확인된다.

Fig. 7은 유막두께 2.5 mm에서 이송속도별 디

젤유의 양정유량을 잠긴 깊이에 따라 나타낸 것이다. 여기서 큰 이송속도에서보다 이송속도가 작을 경우 잠긴 깊이에 따른 디젤유의 양정유량의 차가 작게 나타나고 있음을 보이고 있는데, 이는 이상에서의 고찰결과와 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다. 또 이송속도가 증가할수록 양정유량의 차가 증가하고 있는 것은 이송속도의 증가에 따라 스타베이션의 발생이 증가하고



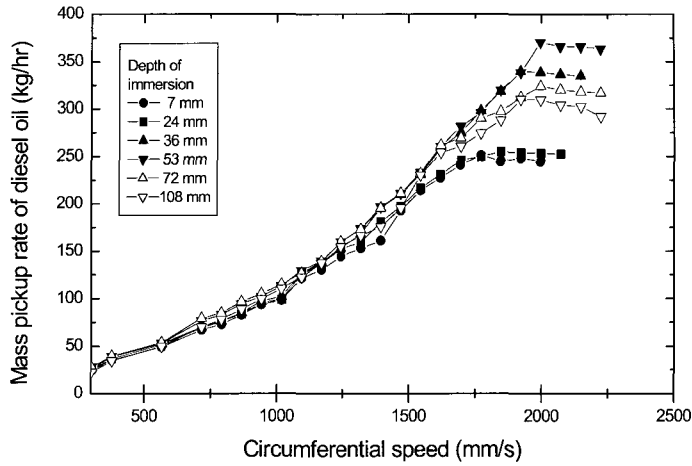


Fig. 9 Mass pickup rate of diesel oil vs circumferential speed for the depth of immersion(slick thickness 10 mm).

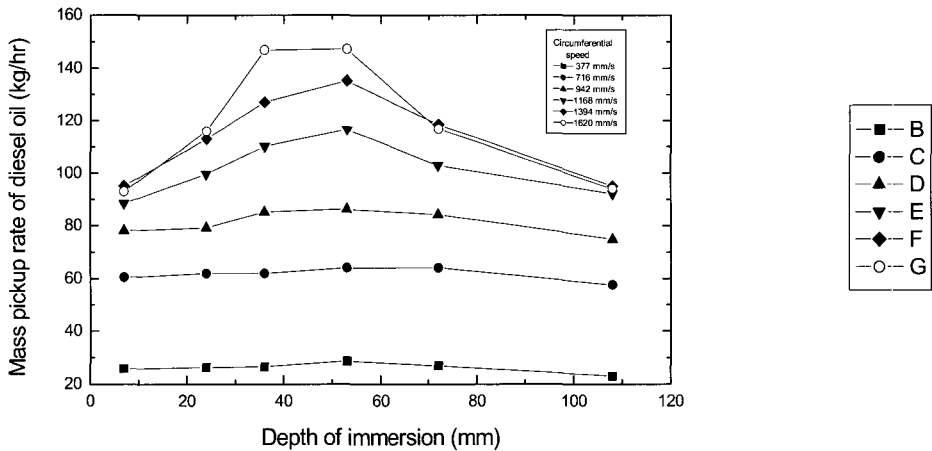


Fig. 10 Mass pickup rate of diesel oil vs depth of immersion for the circumferential speed(slick thickness 5 mm)

또한 이송손실유량이 증가하기 때문이며, 따라서 이러한 스타베이션의 발생 및 이송손실유량은 잠긴 깊이에 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8과 Fig. 9는 유막두께 5 mm에서와 유막두께 10 mm에서 잠긴 깊이에 따른 디젤유의 양정유량을 나타낸 것이다. 유막두께 1 mm와 2.5 mm인 Fig. 2 및 Fig. 5에서와 같이 잠긴 깊이 7 mm에서 가장 작은 디젤유의 양정유량을 보이고

있으며 잠긴 깊이 53 mm에서 가장 큰 디젤유의 양정유량을 보이고 있으나, 유막두께가 증가할수록 작은 이송속도에서 잠긴 깊이에 따른 양정유량의 차가 감소하고 최대양정유량의 차도 작아지고 있음을 확인할 수 있다. 이는 일반적으로 스타베이션의 영향은 이송속도의 증가에 따라 증가하게 되지만, 유막두께가 증가 할 경우 큰 이송속도에서도 스타베이션의 발생이 작아져 비

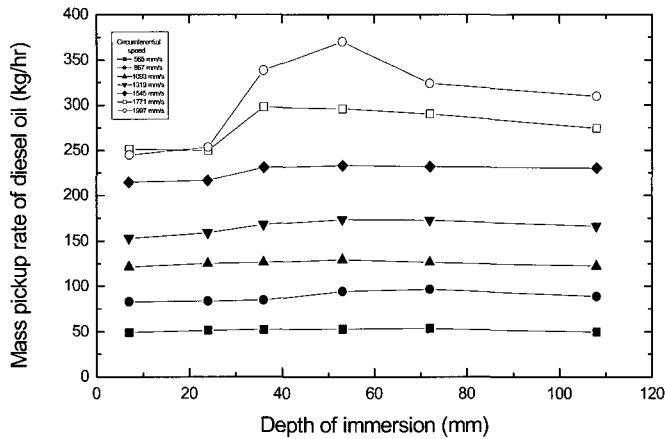


Fig. 11 Mass pickup rate of diesel oil vs depth of immersion for the circumferential speed(slick thickness 10 mm).

교적 안정된 부착유량을 보이며 또, 이에 따라 최대양정유량을 보이는 임계 이송속도가 증가하게 되고 따라서 이송도중 자중에 의해 흘러내리게 되는 손실유량을 감소시키게 되는 결과로 해석된다. 그러나 이송속도가 클 경우 자중에 의해 흘러내리는 손실유량은 감소하게 되지만 수중 이송중 물과의 마찰에 의한 부착유의 수중 이탈 손실과 원심력에 의한 이탈손실이 증가하여 양정유량을 감소시킨다. 이는 가시적인 관찰을 통하여 확인할 수 있었으며, 유막두께 5 mm 이상에서는 디젤유의 최대양정유량을 보이는 임계이송속도 이내에서 양정유량중 물의 함량은 거의 나타나지 않았다.

Fig. 10 및 Fig. 11은 유막두께 5 mm, 10 mm에서 이송속도별 디젤유의 양정유량을 잠긴 깊이에 따라 나타낸 것이다. 유막두께가 증가할수록 작은 이송속도에서 잠긴 깊이에 따른 양정유량의 차가 매우 작게 나타나고 있으며 잠긴 깊이 53 mm에서 최대양정유량을 보이고 있고, 또 유막두께가 증가할수록 잠긴 깊이에 따른 최대양정유량의 차가 작아지는 것을 보이고 있는데, 이는 위에서 고찰된 결과와 같은 결과를 보이고 있음을 확인할 수 있다.

드럼식 유회수기의 작업 면에 부착되어 회수되는 유량은 모서리 효과에 의하여 부착유량이 증가될 수 있다. 이는 유회수기의 운전조건에 따

른 정량적인 유회수율의 측정에 영향을 미칠 수 있으므로 모서리 효과에 의한 영향을 파악하기 위하여 드럼식 유회수기의 폭을 5 mm와 10 mm로 하여, 이 두 경우에서의 유회수율을 비교하였다.

Fig. 12는 유막두께 2.5 mm, 잠긴 깊이 53 mm에서 드럼식 유회수기의 폭이 50 mm인 경우와 100 mm인 경우에 이송속도별 디젤유의 양정유량을 비교한 것이다. 이때 폭 50 mm인 경우의 양정유량을 폭 100 mm인 경우의 양정유량과 직접 비교하기 위하여 폭 50 mm인 경우의 양정유량을 2 배로 하여 나타내었다.

여기서 디젤유의 양정유량은 작은 이송속도에서는 거의 같은 값을 보이다가 이송속도 600~1200 mm/s 부근에서는 폭 50 mm인 경우에서 폭 100 mm인 경우보다 양정유량이 감소하고 있음을 볼 수 있다. 이는 모서리 효과가 발생할 경우 모서리 부분에 부착유량이 증가하여 단위 면적당 부착유량을 증가시키게 되므로 양정유량이 폭 50 mm인 경우에서 증가할 것으로 예측할 수 있으나 오히려 폭 50 mm에서 양정유량이 감소함을 보이고 있는데, 이는 모서리 효과에 의한 영향이 거의 발생하고 있지 않는 것으로 판단된다.

또한, 유회수기가 수중을 통과할 경우 물을 유동하게 되고 물은 기름층과 부딪치며 2차 유동

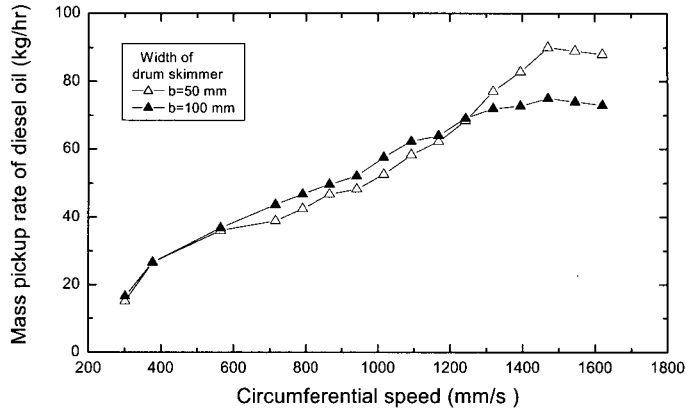


Fig. 12 Comparison of Mass pickup rate of diesel oil for the case of width of drum skimmer 50 mm and 100 mm(slick thickness 2.5 mm).

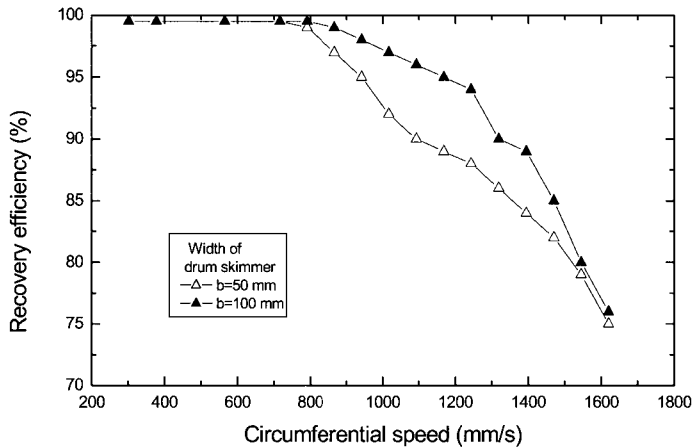


Fig. 13 Comparison of recovery efficiency for the case of width of drum skimmer 50 mm and 100 mm(slick thickness 2.5 mm).

을 발생시키게 된다. 따라서 이때 발생하는 기름 층과 물과의 계면유동은 유회수기 주위에 기름 층을 확산시켜 스타베이션의 발생을 감소시키게 되고, 유회수기의 폭이 클수록 계면유동을 증가시켜 스타베이션에 의한 영향이 감소하므로 폭이 큰 10 mm에서 양정유량이 증가하는 것으로 보인다. 또 이송속도가 1200 mm/s 보다 더 증가 하였을 때 유회수기의 폭이 큰 경우에 양정유량이 감소하고 있는 것을 볼 수 있는데 이는 이송

속도의 증가에 따라 단위 시간당 부착유량이 증가되어 기름의 부착유량이 확산유량보다 증가하므로 스타베이션에 의한 영향이 유회수기의 폭이 작은 경우보다 증가하기 때문으로 보인다.

Fig. 13은 유회수기의 폭 50 mm, 100 mm에서 양정된 유량에 대한 회수효율을 이송속도에 따라 나타낸 것이다. 여기서 회수효율은 폭 50 mm인 경우에 폭 100 mm인 경우에 비하여 Fig. 12에서 보인바와 같이 양정유량이 감소하는 이

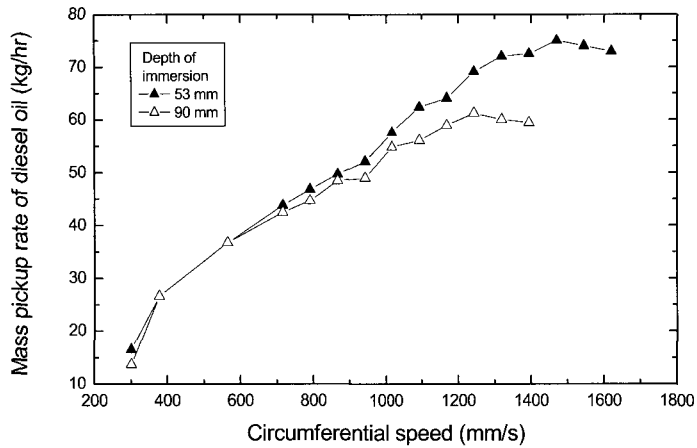


Fig. 14 Mass pickup rate of diesel oil vs circumferential speed for the depth of immersion(slick thickness 2.5 mm).

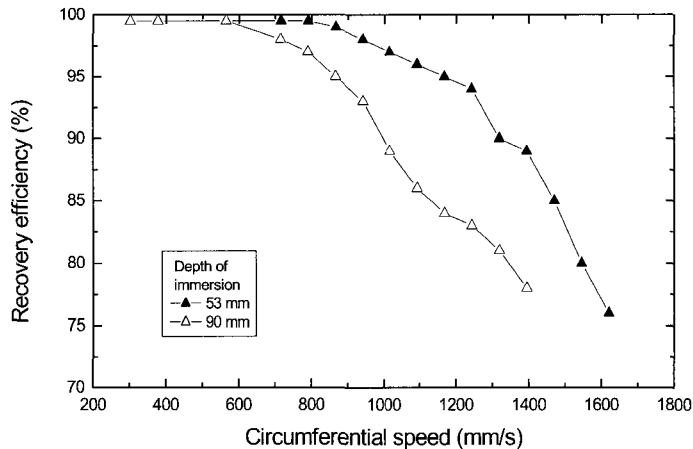


Fig. 15 Recovery efficiency vs circumferential speed for the depth of immersion(slick thickness 2.5 mm).

송속도 600~1200 mm/s 부근에서 회수효율이 크게 감소하고 있음을 확인할 수 있는데 이는 스타베이션에 의하여 기름의 부착유량이 감소하므로 물의 함량이 증가하고 있는 것으로 판단되며, 이는 위에서의 검토 결과와 잘 일치하는 것으로 확인된다.

이상의 결과에서 확인된 바와 같이 드럼식 유회수기는 유막두께에 관계없이 잠긴 깊이 53 mm(접촉각 45°)에서 가장 효과적인 유회수율을

보이며, 유회수율은 접촉각에 따른 부착유량과 잠긴 깊이에 따른 수중에서의 마찰에 의한 이탈 손실, 상승과정에서의 자중에 의한 손실유량 및 원심력에 의한 이탈손실에 영향을 받고 있다.

디스크 지름의 1/4이 물에 잠겨있는 경우 최대양정유량을 보인다고 하였다. 본 연구에서는 이 결과와 비교하기 위하여 실험에 사용된 드럼식 유회수기의 지름의 1/4인 잠긴 깊이 90 mm에서와 본 실험에서 최대양정유량을 보인 잠긴

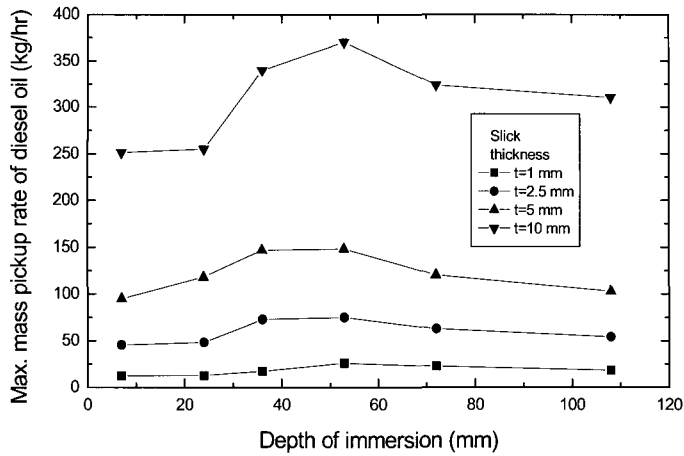


Fig. 16 Max. mass pickup rate of diesel oil vs depth of immersion for the slick thickness.

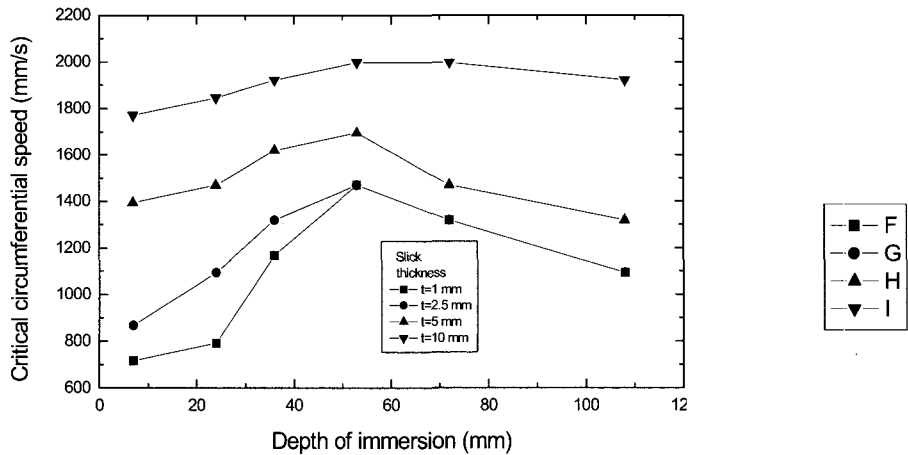


Fig. 17 Critical circumferential speed vs depth of immersion for the slick thickness.

깊이 53 mm에서 디젤유의 양정유량 및 회수효율을 Fig. 14와 Fig. 15에 나타내었다. 여기서 잠긴깊이 53 mm에서 잠긴 깊이 90 mm에서 보다 디젤유의 양정유량이 크게 나타나고 있으며 또한, 회수효율도 크게 나타나고 있음을 보이고 있다.

이는 디스크식 유회수기에서는 디스크의 측면에 기름이 부착되게 되며, 기름 부착면의 접촉각이 90°로 항상 일정하고 회전속도에 따른 이송속

도가 기름 부착부위의 반지름에 따라 달라지게 되므로 디스크식 유회수기와 드럼식 유회수기의 유회수율은 서로 다른 특성을 보이게 되는데 기인되는 것으로 보인다. 따라서 이러한 결과로부터 드럼식 유회수기에서의 부착유량은 접촉각과 이송속도에 영향을 받음을 다시 확인할 수 있다.

이상의 고찰결과들을 종합하면 드럼식 유회수기는 유막두께에 관계없이 접촉각이 45°인 잠긴 깊이 53 mm( $h/d=0.15$ )에서 최대양정유량을

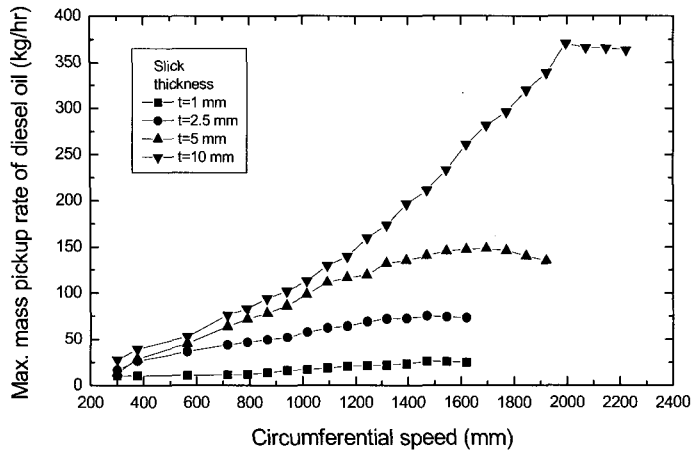


Fig. 18 Max. mass pickup rate of diesel oil vs circumferential speed for the slick thickness.

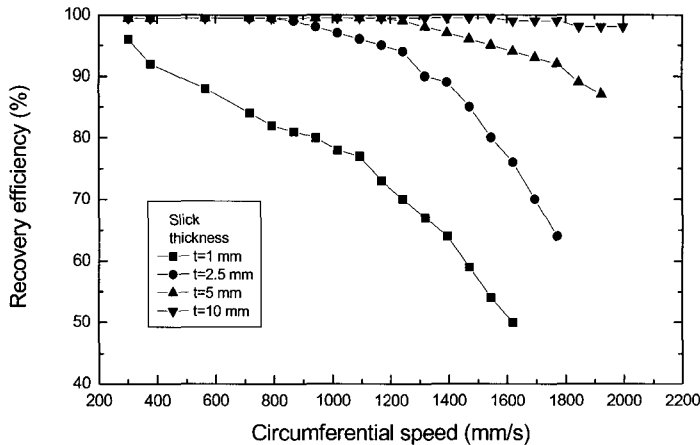


Fig. 19 Recovery efficiency vs circumferential speed for the slick thickness.

보이며 또 유막두께에 따라 최대양정유량을 보이는 임계이송속도를 갖는다.

Fig. 16은 유막두께 별 최대양정유량을 잠긴 깊이에 따라 나타낸 것이며, Fig. 17은 이때 최대양정유량을 보이는 임계이송속도를 나타낸 것이다. Fig. 16에서 최대양정유량은 유막두께에 관계없이 잠긴 깊이 53 mm에서 나타남을 확인할 수 있다.

또, Fig. 17에서 임계이송속도는 잠긴 깊이에

따라 다르며 잠긴 깊이 53 mm에서 가장 크게 되고, 유막두께가 증가할수록 잠긴 깊이별 임계 이송속도의 차가 작아지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 18은 가장 효과적인 유회수율을 보이는 잠수깊이 53 mm(접촉각 45°)에서 유막두께별 디젤유의 양정유량을 이송속도에 따라 나타낸 것이며, 또 Fig. 19는 이때의 회수효율을 나타낸 것이다. Fig. 18에서 디젤유의 양정유량은 유막 두께의 증가에 따라 증가하고, 최대양정유량을

보이는 임계 이송속도도 유막두께의 증가에 따라 증가하고 있음을 볼 수 있다. 또 Fig. 19에서 회수효율은 이송속도의 증가에 따라 감소하지만 유막두께가 증가할수록 전체적으로 커짐을 보이고 있는데, 유막두께가 클 경우 임계이송속도 이내에서 양정된 유량은 거의 기름만이 양정됨을 보이고 있으며 작은 유막두께에서도 비교적 양호한 회수효율을 보이고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

드럼식 유회수기에서 잠긴 깊이에 따른 접촉각, 이송속도, 유막두께 등의 유회수조건이 유회수율에 미치는 영향을 디젤유를 사용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 드럼식 유회수기의 유회수율은 부착유량과 수중 이탈손실, 자중에 의한 손실유량 및 원심력에 의한 이탈손실에 의하여 영향을 받으며, 이러한 영향은 잠긴 깊이 변화에 따른 접촉각의 변화에 의하여 영향을 받는다. 또한, 유막두께가 작을수록 잠긴 깊이에 의한 영향은 증가한다.
- 2) 드럼식 유회수기는 접촉각 45° 즉, 기름에 대한 잠긴 깊이의 비  $h/d=0.15$ 에서 가장 효과적인 유회수율을 보이며, 작은 유막두께에서도 비교적 양호한 유회수율을 보인다.
- 3) 드럼식 유회수기는 임계 이송속도 이내에서 유막두께가 클 경우 물은 거의 양정되지 않으며, 작은 유막두께에서도 비교적 양호한 회수효율을 보인다.

#### 참고문헌

[1] 이봉길, 1995, “유류오염 현황과 대책”, 해양오염 방제 기술에 관한 세미나, 해양경찰청, pp. 6~7.  
 [2] 송동업·윤경환, 1997, “벨트식 유회수기를 사용한 디젤유 회수에 관한 실험적 연구”, 한국해양공학회지, 제11권, 제3호, pp.132~143.  
 [3] 송동업·윤경환, 1988, “벨트식 유회수기의 접촉각이 회수율에 미치는 영향에 관한 실험적 연구”, 대한기계학회 논문집 B권, 제22권, 제12호, pp. 1702~1714.

[4] Athantic Research Systems Division Marine Systems, A Division of the Susquehanna Corporation Costa Mesa, California 92626, 1976, “Recovery of Floating Oil; Rotating Disk Type Skimmer”, Water Quality Office Environmental Protection Agency, Project #1508 FWN, pp. 25.  
 [5] Christodoulou, M. S. and Turner, J. T., 1987, “Experimental Study and Improvement of the Rotating Disc Skimmer”, Proc. Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Washington, D. C., pp. 101~108  
 [6] Lee, M., Martinelli, F., Lynch, B. and Morris, P. R., 1981, “The Use of Dispersants on Viscous Fuel Oils and Water in Crude Oil Emulsions”, Proc. Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Washington, D. C., pp. 31~35.  
 [7] Mackay, D., Berger, D., Charles, M. E. and Ooijen, H. V., 1993, “Rheological Characterization of Waxy Crude Oils for Environmental Purposes”, 17<sup>th</sup> Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar, June, Vol. 1, pp. 85~98.  
 [8] Mayers, R. J., 1989, “Oil Spill Response Guide”, Research Planning Institute, Inc., Noyes Data Corporation, Library of Congress Catalog Card Number 89~38445.  
 [9] Oebius, H. U., 1985, “Physical Requirements of Oil Combating Equipment”, Marine Technology, Vol. 16, No. 1, pp. 9~15.  
 [10] Wilson, S. D. R., 1982, “The Drag-out Problem in Film Coating Theory”, Journal of Engineering Mathematics, Vol. v16, pp. 209~221.