

유회수기용 디스크 소재별 성능 비교

장덕종 · 나선철**

* 여수대학교 해양경찰학과, ** 한국해양오염방제조합여수지부

Comparison of Oil Recovery Performance between Disk Materials of Oil Skimmer

Duck-Jong Jang* · Son-Cheol Na**

* Department of Maritime Police Science, Yosu National University, San 96-1 Dundeok-dong, Yeosu, Jeonnam 550-749, Korea

** Branches of Yeosu, Korea Marine Pollution Response Corporation, 1052 Gongwha-dong, Yeosu, Jeonnam 550-020, Korea

요약 : 본 연구는 탱크로리용 디스크식 유회수기 개발을 위한 기초 연구로 기존 유회수기 디스크와 기름의 흡착이 가능하다고 판단되는 몇 가지 재료의 디스크에 대한 유회수 차이를 실험을 통해 비교한 것이다. 실험 결과를 요약하면 다음과 같다. 모든 디스크에서 경유보다는 벙커 A유의 회수량이 높았으며, 경유에서는 디스크 소재별 유회수량이 모든 디스크에서 거의 차이가 없는 반면, 벙커 A유에서는 디스크 소재에 따라 회수 성능이 큰 차이를 보였다. 또한, 디스크 구동 시간대별 회수량은 경유의 경우, 모든 디스크 소재에서 초기 시간대부터 단위 구동 시간당 기름의 회수량 차이가 거의 없는 것으로 나타난 반면, 벙커 A유는 모든 소재에서 구동 초기시간에서 회수량이 직선적으로 증가하고 시간이 경과 할수록 증가량이 완만한 경향을 보여 단위 구동 시간당 기름의 회수량이 시간에 따라 차이를 보이는 것으로 나타나 유류의 점도가 디스크 회수 성능에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 또한, 벙커 A유를 대상으로 전체 회수량에서 순수 유회수량과 합수량을 비교했을 때 창문용 알루미늄 소재의 디스크는 다른 재질의 디스크에 비해 기름의 회수량은 차이가 없으면서 상대적으로 물의 회수량은 매우 적게 나타나는 것으로 조사되어 합수량을 고려한 유회수 효율을 고려했을 때 가장 이상적인 결과를 보여주고 있어, 본 연구에서 목적하는 탱크로리 유회수기 디스크 소재로서 가장 유리하다는 것을 알 수 있었다.

핵심어 : 유회수기, 유회수기 디스크, 유회수량, 합수량, 유회수 효율

ABSTRACT : For the development of a disk type oil skimmer for a tank lorry, a basic study on comparison of oil recovery performance between disk materials of oil skimmer was conducted. The experiment results are summarized as follows: In all the disks, the volume of recovery of bunker-A oil was greater than diesel oil. In light oil, there was nearly no differences in the volume of oil recovery by disk material, but in the case of bunker A oil, recovery efficiency showed big differences depending on the disk materials. For diesel oil, the differences in the volume of oil recovery per unit of operation time from the initial time zone were hardly shown. However, the volume of recovery of bunker-A oil linearly increased from the initial operation time in all the disks and the increase showed a slow moving trend as time went on; therefore, the volume of oil recovery per unit of operation time showed differences depending on time. This result shows that oil viscosity has an effect on the disk recovery efficiency. When comparing the mass of pure oil recovery and the volume of water recovery in the total mass of recovery by bunker-A oil, there was no difference in the volume of oil recovery between the window-aluminum material disk and the disks consisting of other materials, but the volume of water recovery of the former was relatively very small. This shows the most ideal result in view of oil recovery efficiency that considers the volume of water recovery. In conclusion, it was found that aluminum is the most advantageous as the material for tank lorry oil skimmer disk.

KEY WORDS : Oil skimmer, Oil skimmer disk Volume of recovery oil, Volume of recovery water, Oil recovery efficiency

1. 서론

기름 유출에 의한 해양오염사고 발생시 이루어지는 일반적

인 방제 방법은 유화제를 이용한 분산처리 방안과 기계적인 회수방안으로 크게 구별할 수 있다. 이 중 화학적인 분산처리 방법은 해양생물이나 생태계에 미치는 영향으로 인한 2차오염의 문제가 수반되기 때문에 국가별로 유처리제 사용지침을 수립하여 제한적으로 사용하고 있으며, 유회수기 등을 이용한 기계적인 방법으로 유출유를 회수하는 방제작업이 대부분의 국가에서 권장되고 있다. 오늘날 기름 유출사고시 사용되는

* 대표저자 : 정회원, jdj@yosu.ac.kr 061)659-3182

** kmprcrsc@hanmail.net 061)654-6431

유회수기는 유출유를 회수하는 방법에 따라 다양하게 나누어 지는데, 물과 기름의 비중차를 이용하여 기름을 회수하는 위어식과 펌프구동에 의한 흡입식, 특정한 재질에 기름이 흡착 되도록 하여 회수하는 흡착 구동식 등이 주류를 이루고 있다(송과 윤, 1997; 현, 1998). 이들 장치는 운용특성이 각기 다르기 때문에 실제 사고 해역에서는 유출유의 종류나 성상, 해상 상태, 회수장소 등을 고려하여 적합한 유회수기가 결정된다. 보통 위어식이나 흡입식 유회수기는 해상상태가 거칠 경우 회수되는 기름과 함께 유입되는 물의 양이 과다해진다는 단점이 있고, 디스크나 드럼, 벨트, 목(rope mop) 등을 이용한 흡착식은 흡입식에 비해 흡수율은 낮지만 고점도나 저점도의 유종에 대해서는 회수효율이 저하되는 문제점이 있다고 보고되고 있다(CANCAWE 1987; 송과 윤, 1998; 현, 1998).

본 연구는 내수면이나 항내 등 천해의 협소 공간에서 기름 유출사고가 발생할 경우 방제선박의 진입이 용이하지 않거나 기존의 규모가 큰 유회수기를 투입하기 곤란하다는 문제점이 제기되어 탱크로리 차량을 이용, 유출유를 회수하는 방안에서 기초 연구로 수행된 것이다. 즉, 부두 내 계류 중인 선박 사이 등과 같이 협소한 공간에 형성되는 유출유에 대해서 탱크로리에 갖추어진 전원과 펌프를 이용하여 공기 주입식 오일펜스와 소형 유회수기를 함께 운용함으로써 탱크로리 유출유 회수 시스템이 구축된다. 이 때 기름회수 능력은 탱크로리의 용량에 따라 제한될 수밖에 없기 때문에 유출유 회수시 수분의 함량은 최소화하면서 상대적으로 기름의 회수율은 높은 유회수기가 채택되는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 탱크로리의 용량과 내수면이나 항내에서 유출되는 기름은 주로 운송수단의 연료유인 경중질유가 대부분을 차지하고 있다는 점(해양경찰청, 2005)을 고려하여 유출유를 흡착하여 회수하는 디스크 구동식이 탱크로리용 유회수기로 유리하다고 판단하고, 유회수기 개발을 위한 기초연구로 디스크 소재별 유회수 차이를 실험을 통해 비교하였다. 디스크형 유회수기의 유회수 성능에 영향을 미치는 요인은 보통 유류의 종류나 점성, 유막 두께, 디스크 크기 및 잠김 깊이, 구동 회전수, 디스크 소재 등을 들 수 있는데(유, 1999; 윤, 1999; 송과 정, 2003), 유류의 성상이나 디스크 구동 조건이 동일할 경우 디스크를 구성하는 재질에 따라 흡수율이나 유회수 효율 등이 차이를 보일 것으로 추정된다. 따라서 본 연구에서는 유출유의 회수 효율이 우수할 뿐만 아니라 고가이면서 외산인 기존 디스크 제품을 국산화하여 경쟁력을 확보하고 탱크로리용 유회수기에 적합한 디스크 소재를 구하고자 실제 유회수기에 사용되고 있는 각종 디스크와 기름 흡착이 가능하다고 판단되는 몇 가지 재료를 디스크 형태로 가공하여 재질에 따른 유회수 성능 차이와 유회수 효율, 흡수율 등을 비교 조사하였다.

2. 재료 및 방법

유출유를 흡착하여 회수하는 디스크식 유회수기에 사용되는 디스크의 재질은 일반적으로 알미늄계와 Polyethylene 등의

합성 섬유 재질이 대부분을 차지하고 있다. 이를 근거로 본 연구에서 실험에 사용된 디스크는 주변에서 쉽게 구할 수 있고 기름 흡착이 가능하다고 판단되는 재료와 기존 유회수기에 사용되고 있는 디스크를 이용하여 Fig. 1과 같이 지름이 공히 $\varnothing 120\text{mm}$ 인 10종의 디스크를 가공·제작하였으며, 주요 제원은 Table 1과 같다. Fig. 2의 (A)는 유종에 대한 디스크 재질별 회수량 차이를 조사하고자 실험에 이용한 수조(L: 150cm, B: 54cm, H: 87cm)로, 전면에 100cm×60cm의 관측창이 있어 표층의 기름이 주어진 디스크 표면에 흡착되는 것과 각각의 디스크에 기름이 흡착될 때 영향을 미치는 요소를 조사할 수 있다.

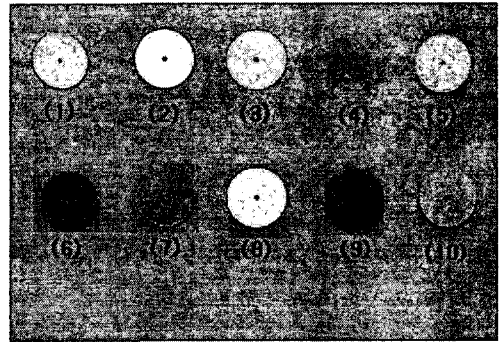


Fig. 1 Various kinds of disk for experiment, (1) TR200, (2) Komara20K, (3) Window-aluminum, (4) Stainless, (5) PP, (6) HDPE, (7) Acrylic, (8) Terminator100, (9) ABS, (10) PVC.

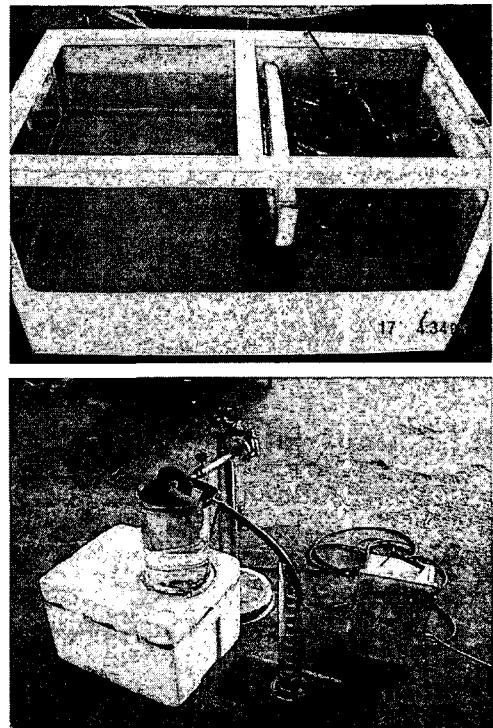


Fig. 2 The experimental apparatus, measuring water tank for mass of recovery oil and measuring device for recovery rate of pure oil and water.

Table 1 Specifications of experimental disks

	Oil skimmer models and disk materials			Experimental materials						
	RAMO, TR200 (Marine aluminum)	VIKOMA, Komara20K (Polyulethane)	RO CLEAN DESMI, Terminator100 (Polyethylene)	Window-aluminum	Stainless	PP	HDPE	Acrylic	ABS	PVC
Thickness (mm)	1.2	2.1	3.0	1.5	1.2	2.1	2.1	2.5	3.5	5.2
Diameter (mm)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Weight (g)	37.3	35	49.2	49.3	103.2	22.9	21.6	35	40.3	82.9

Table 2 Properties of experimental oils

Specification	Diesel oil	Bunker-A
Dynamic viscosity (50°C/cst)	6 or below	20 or below
Density (kg/l at 15°C)	0.81~0.87	0.975
Flash point(°C)	40 or more	60 or more
Sulphur (weight %)	0.043 or below	2.0 or below
Residual carbon (10% residual, %)	0.15 or below	8 or below
Volume of water, sediment(%)	0.1 or below	0.5 or below

* Supplied oil : GS Caltex, Yeosu Plants.

수조에서 각종 재질의 디스크를 구동시킬 수 있는 구동장치는 디스크를 교체하여 끼울 수 있도록 소형 모터에 축을 연장하여 구성된 회전축과 구동되는 디스크에 흡착된 기름을 긁어서 측정용기(1,000ml메스실린더)에 보내는 스크래퍼(Scraper), 흡착판의 회전 속도를 조절하는 컨트롤 보드, 디스크의 수중 침강 깊이를 조절할 수 있는 지지부로 구성된다. 디스크 소재별 유회수량 조사는 먼저, Fig. 2의 수조에 시험유인 Table 2의 경유와 병커 A유 1,000ml를 각각 투여(유층 1.9cm)한 후 디스크 회전 속도를 54rpm/min으로 고정한 채 수분이 회수되기 전의 시간대인 8분 동안만 구동하여 각 디스크별 기름의 회수량을 조사하여 흡착성능 차이를 파악하였으며, 디스크 구동 3분과 5분, 8분대의 회수량을 함께 조사하여 수면에 있는 유류의 양(유층 깊이)에 따른 성능차이를 분석하였다.

한편, 본 연구에서 탱크로리용으로 고려하는 유회수기의 이상적인 방안은 탱크로리의 용량을 고려하여 수분의 함유는 최소화하면서 유류에 대한 회수효율은 높도록 고안되는 것이다. 이를 위해서는 유류의 흡착성능은 우수하면서 수분을 회수하는 비율은 상대적으로 낮은 디스크 소재를 선정하는 것이 중요하므로 디스크 소재별 순수 유회수율과 수분 함량을 파악할 필요가 있는데, 수면의 기름이 대부분 회수되는 시점까지 디

스크를 구동하여 구할 수 있다.

Fig. 2의 (B)는 디스크 소재별 순수 유회수 효율과 수분 함량을 측정하기 위한 실험장치로, 짧은 시간에 공급한 기름을 회수하고 수분함량을 정확히 파악하고자 4,000ml 용적의 유리 비커(Beaker)를 수조 대응으로 사용하고 구동장치의 스크래퍼에 의해 긁어져 회수되는 기름과 물을 50ml용 시험관에 떨어지도록 구성하였다. 실험유는 Table 2의 병커 A유를 비커에 20ml 투여하였으며 예비실험을 통해 공급한 기름이 대부분 회수되는 디스크 구동 시간은 10분정도임이 파악되어 모든 소재의 디스크 구동 시간은 10분으로 고정하였다. 각각의 디스크에서 회수되는 기름과 물은 약 10분 동안 시험관을 고정시켜 분리되도록 한 후 순수 유회수량과 함수량을 측정하여 유회수 효율을 파악하였다.

상기의 모든 실험은 Fig. 1의 디스크 소재별로 각각 5회씩 실시하였으며, 수조와 비커의 수온 및 디스크 구동 조건은 Table 3과 같다.

Table 3 Condition of experiments

Disk depth(cm)	Slick thick(cm)	Disk speed (rpm/min)	Water temp.(°C)	
			Light oil	B-A oil
2.7	1.9	54	24~24.2	25~25.8

3. 결과 및 고찰

3.1 디스크 소재별 회수성능

Fig. 3은 본 조사에서 제공한 재질이 다른 10가지 디스크에 흡착되어 수거되는 유회수량을 측정된 것으로, 병커 A유에 각각의 디스크를 8분 동안 같은 속도로 구동하여 3분, 5분 8분 경과시 회수된 유류량을 5회씩 측정하여 평균값으로 나타낸 것이다. 이것에서 보면 구동 시간 8분 동안 디스크 소재별로 회수된 유류의 총량은 최저 808.8ml에서 최고 926.8ml를 기록하여 약 118ml 정도의 회수성능 차이를 보이는데, 가장 많은 회수량을 보인 디스크는 TR200(926.8ml)이고, 다음이 코마라

20K(904.6ml), 창문용 알미늄(893ml), 스테인레스(885.2ml), PP(883ml), HDPE(882.2ml) 순으로 나타났으며 터미네이터100(808.8ml)에서 가장 낮은 값을 보였다. 또한, 구동 시간대별 회수량 차이는 터미네이터100 디스크를 제외하고는 소재별로 회수량이 큰 차이가 없고, 전체적으로 모든 소재에서 구동 초기시간 대인 3분내에서 회수량이 최고 500ml까지 직선적으로 증가한 반면, 3분 이후부터는 비교적 완만한 증가량을 보이고 있다.

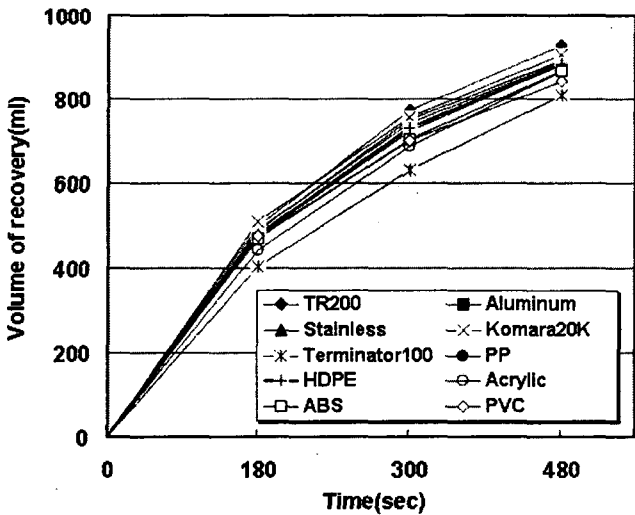


Fig. 3 Variations of volume of bunker A oil recovered by experimental disks with times.

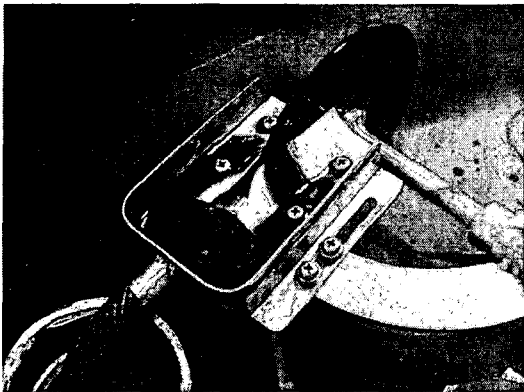
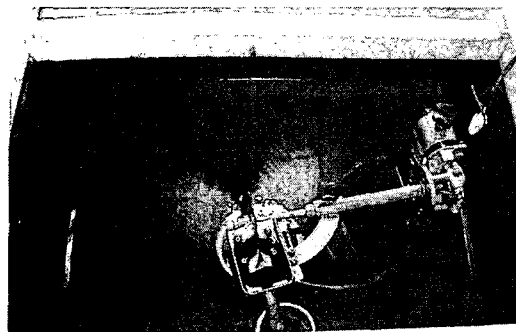


Fig. 4 Appearance of recovery on bunker-A.

이것은 단위 구동 시간당 디스크에 흡착되어 회수되는 유류량이 초기 시간대에는 높고 시간이 경과할수록 낮아지는 것을 의미하는 것으로 유류 투입량이 적을 경우, Fig. 4의 형태처럼 디스크 구동 시간이 경과함에 따라 초기 회수 후 잔존량이 적어지면서 유막두께가 얇아지기 때문에 디스크에 흡착되는 기름의 양이 차이가 나는 것으로 사료된다.

Fig. 5는 경유를 대상으로 병커 A유와 동일한 실험방법으로 측정된 값을 나타내는데, 이것에서 보면, 구동 시간 8분 동안 디스크 소재별로 회수된 기름의 총량은 최저 803.8ml에서 최고 819.0ml로 약 15.2ml 정도의 차이에 지나지 않아 모든 소재에서 흡착능력이 유사하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 디스크 구동 시간대별 회수량도 병커 A유와는 다른 특성을 보이는데, 모든 디스크 소재에서 초기 시간대부터 8분대까지 회수량이 대체로 직선에 가깝게 증가하여 단위 구동 시간당 기름의 회수량 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 디스크 소재에 따라 회수 성능이 차이를 보인 병커 A유의 측정 결과와는 크게 다른 것으로, 유류의 점도가 낮은 경유에서는 본 실험에서 사용한 각각의 디스크 재료가 유회수 성능에 미치는 영향이 크지 않음을 의미하며, 모든 디스크에서 경유보다는 병커 A유의 회수량이 전체적으로 높아 유류의 점도가 디스크 회수 성능에 미치는 영향이 크다는 것을 추측할 수 있다. 또한 병커 A유에서 유회수량이 가장 많은 디스크 재질의 경우, 디스크 구동 초기 3분대에 공급한 유류 1,000ml의 50%인 약 500ml까지를 회수하여 유층이 빠른 시간에 얇아져 시간이 경과할수록 단위 시간당 유류의 회수량이 크게 감소한 반면, 경유는 같은 시간인 초기 3분대에 병커 A유보다 훨씬 낮은 320ml정도만을 회수하기 때문에 유층의 변화가 크지 않아 시간 경과에 따른 단위 시간당 유류의 회수량이 큰 차이를 보이지 않는 것으로 판단된다.

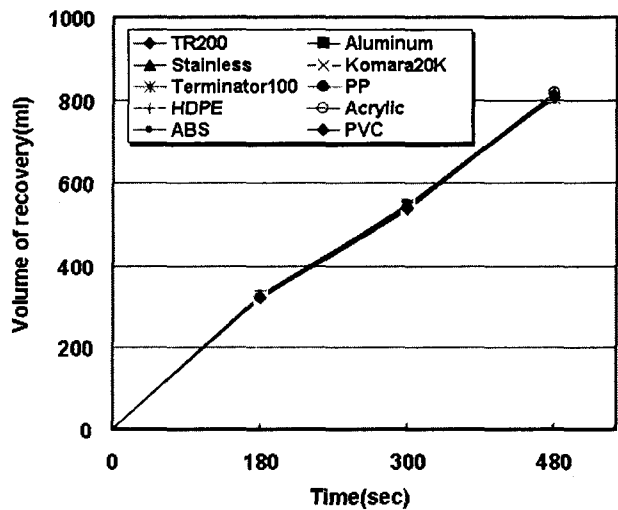


Fig. 5 Variations of volume of diesel oil recovered by experimental disks with times.

3.2 흡착판 재질별 유회수 효율 및 함유율

Fig. 6은 디스크 소재별 유회수 효율을 파악하고자 소재별로 각각의 디스크를 10분 동안 구동하여 회수된 전체 회수량에서 순수 유회수량과 함유율을 측정하여 bunker A유와 물의 양을 디스크 소재별로 각각 5회씩 측정하여 평균값으로 나타낸 것이다. 이것에서 보면, 전체 회수량은 유회수기 TR200 디스크에서 두드러지게 높게 나타나고, 스텐레스, HDPE, 코마라 20K, PP, 아크릴 순으로 나타나며 PVC 재질의 디스크에서 전체 회수량이 가장 낮은 것을 볼 수 있다. 전체 회수량에서 기름과 물을 구분하여 보면, 기름의 경우 회수량이 가장 낮은 PVC 재질의 디스크를 제외하고는 대부분 큰 차이 없이 15ml내외의 회수량을 보여 유류 투입량(20ml) 대비 75%내외의 유회수 효율을 보이고 있다. 그러나 수거되는 물의 함량은 디스크 소재별로 큰 차이를 보이는데, TR200 디스크의 경우 수분이 전체 회수량에서 50.3%를 함유하고 있어 가장 높고 스텐레스, HDPE, PP, 코마라 20K, 아크릴 순이며, 이들 디스크에서는 전체 회수량에서 수분의 함량이 약 22~50%의 높은 비율을 차지하는 것을 볼 수 있다. 그런데, 창문용 알미늄 디스크는 상기 재질의 디스크에 비해 수분의 함량은 11.8%정도로 적으면서 기름의 회수량은 거의 같은 수준을 보이고, 수분 함량이 비슷한 수준의 다른 디스크에 비해서 유류 회수량은 약간 높게 나타나는 것으로 나타났다.

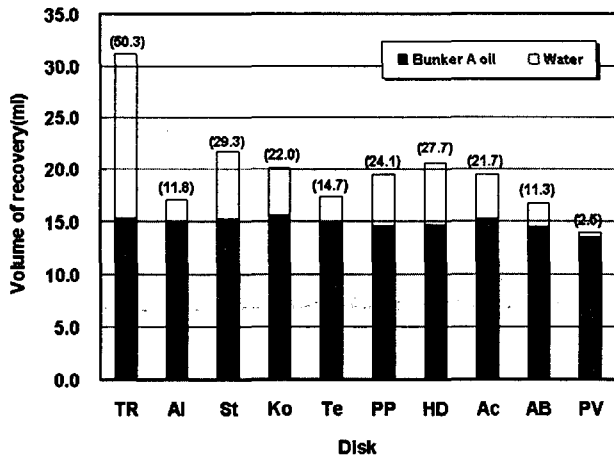


Fig. 6 Recovery rate of bunker A oil and water by experimental disks.

Fig. 7은 디스크 소재별 회수 특성을 파악할 목적으로 각종 재질의 디스크를 10분 동안 구동하였을 때 물이 회수되기 시작하는 시간과 회수되는 성분이 기름보다 물이 많을 때의 시간을 나타낸 것으로 스크래퍼에 물방울이 맨 처음 맺히는 시점과 스크래퍼에서 끊어지는 물의 양이 기름보다 많을 때의 시간을 조사한 것이다. 이것에서 보면, 물이 가장 먼저 회수되는 디스크는 TR200으로 디스크 구동을 시작한지 33초만에 물이 회수되기 시작하고 67초가 경과한 시점에 물의 회수량이 기름보다 많아지는 것으로 나타났으며, PVC는 물이 회수되는

시작 시간과 물의 회수량이 기름보다 많아지는 시간이 거의 같은 약 480초 정도로 가장 늦게 나타난다. 또한, 창문용 알미늄 재질의 디스크는 구동을 시작한지 240초 정도에 물이 회수되기 시작하고 261초가 경과한 시점에 물의 회수량이 기름보다 많아지는 것으로 나타났으며, 이들을 제외한 다른 재질의 디스크는 약 55~170초 정도에 물이 회수되기 시작하거나 기름보다 많아지는 것으로 나타났다.

이로 인해 TR200은 디스크 구동 후 짧은 시간에 물이 회수되기 시작하여 전체 구동시간(10분) 동안 물의 회수량이 가장 많아 전체 회수량에서 함유율이 가장 높고, PVC는 물이 회수되는 시간이 가장 늦게 나타나 함유율은 가장 낮지만 기름의 회수량도 낮아 Fig. 6에서처럼 전체 회수율이 가장 저조하였다. 그러나 Fig. 6에서 다른 재질의 디스크에 비해 수분의 함량은 적으면서 기름의 회수량은 큰 차이가 없었던 창문용 알미늄 재질의 디스크는 물이 회수되기 시작하는 시간과 기름보다 물이 많이 회수되는 시간이 PVC 디스크를 제외하고 가장 늦게 나타나 함유율을 고려한 유회수 효율을 고려했을 때 가장 이상적인 결과를 보여주고 있어 본 연구에서 목적으로 하는 탱크로리 유회수기 소재로서 가장 유리한 것으로 판단된다.

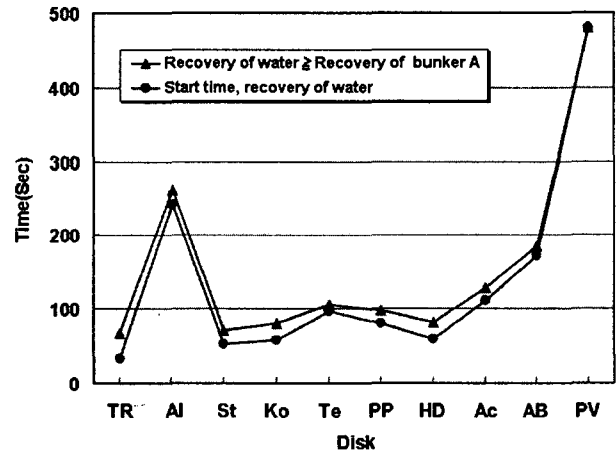


Fig. 7 Recovery properties of by disks.

4. 결론

본 연구는 탱크로리용 디스크식 유회수기 개발을 위한 기초 연구로 기존 유회수기와 기름의 흡착이 가능하다고 판단되는 몇 가지 디스크 소재별 유회수 차이를 실험을 통해 비교한 것이다. 실험 결과를 요약하면 다음과 같다. 모든 디스크에서 경우보다는 bunker A유의 회수량이 전체적으로 높았으며, 경우에는 디스크 소재별 유회수량이 모든 디스크에서 거의 차이가 없는 반면, bunker A유에서는 디스크 소재에 따라 회수 성능이 큰 차이를 보였다. 또한, 디스크 구동 시간대별 회수량은 경우의 경우, 모든 디스크 소재에서 초기 시간대부터 단위 구동

시간당 기름의 회수량 차이가 거의 없는 것으로 나타난 반면, 병커 A유는 모든 소재에서 구동 초기시간에서 회수량이 직선적으로 증가하고 시간이 경과할수록 증가량이 완만한 경향을 보여 단위 구동 시간당 기름의 회수량이 시간에 따라 차이를 보이는 것으로 나타나 유류의 점도가 디스크 회수 성능에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

또한, 병커 A유를 대상으로 전체 회수량에서 순수 유회수량과 함수량을 비교했을 때 창문형 알미늄 소재의 디스크는 다른 재질의 디스크에 비해 기름의 회수량은 차이가 없으면서 상대적으로 물의 회수량은 매우 적게 나타나는 것으로 조사되어 함수량을 고려한 유회수 효율을 고려했을 때 가장 이상적인 결과를 보여주고 있어, 본 연구에서 목적하는 탱크로리 유회수기 디스크 소재로서 가장 유리하다는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 송동업 · 정송환(2003), 드럼식 유회수기의 디젤유 회수에 관한 실험적 연구, Jour. Kor. Soc. Mar. Env. Eng., Vol. 6 No. 4, pp. 52-66.
- [2] 송동업 · 윤경환(1998), 벨트식 유회수기의 접촉각이 회수율에 미치는 영향에 관한 실험적 연구, 대한기계학회 논문집(B), 제22권 제12호, pp. 1702-1714.
- [3] 송동업 · 윤경환(1997), 벨트식 유회수기의 회전방향이 유회수 효율에 미치는 영향에 관한 실험적 연구, 대한기계학회 논문집(B), 제21권 제5호, pp. 679-690.
- [4] 유정석(1999), Vortex-Disc형 유회수기의 성능평가, 한국해양환경공학회, 제2권 제2호, pp. 95-102.
- [5] 윤경환(1999), 벨트식 유회수기의 유회수율 데이터의 무차원화 과정에 관한 연구, 한국해양환경공학회, 제2권 제1호, pp. 34-39.
- [6] 해양경찰청(2005), 해양경찰 백서, pp. 234-251.
- [7] 현범수(1998), 유회수기의 유체역학적 특성. 한국해양환경공학회, 제1권 제1호, pp. 66-82.
- [9] CANCAWE(1987), A field guide to coastal oil spill control and clean-up techniques. Hague, Netherlands, pp. 112
- [8] Kim, J.W. and B.S. Hyun(1997), Investigation on the recovery rate of adhesion-type oil skimmers. Jour. Oce. Eng. Tec, Vol. 11 No. 3, pp. 124-131.

원고접수일 : 2005년 11월 7일

원고채택일 : 2005년 12월 15일