

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-B.2010.34.5.457

잠수공(潛水孔) 수로를 가진 유회수기 개발<sup>§</sup>

고 흥<sup>\*†</sup>

\* 대불대학교 대학원

Development of Oil Skimmer with Submerged Orifice

Heung Kou<sup>\*†</sup>

\* Graduate School, Daebul Univ.

(Received June 20, 2009 ; Revised February 2, 2010 ; Accepted February 22, 2010)

Key Words: Oil Skimmer(유회수기), Submerged Orifice(잠수공), Oil Recovery Efficiency(유회수율), Oil Recovery Rate(유회수량)

**초록:** 사고로 해양에 유입된 기름을 제거하는 대표적인 방법은 기계적 회수, 화학적인 처리, 수면소각, 미생물에 의한 분해 등이 있으나, 2차오염의 가능성을 방지할 수 있는 기계적인 회수법이 최상으로 생각된다. 기계적 유회수 형태는 벨트, 디스크, Weir, Vortex, 흡입, 드럼, 브러쉬 방식 등이 있다. 저자는 합목적적인 방법으로 회수능력을 개선할 수 있는 실험을 위한 잠수공 모델을 만들었다. 본 스키머의 원리는 외부 액체(물과 기름)를 스키머에 유입시키면, 비중 차에 의해 기름은 뜨고 물은 가라앉는 것이다. 본 스키머는 탱크 바닥의 잠수공으로 물은 빠져나가 스키머 내에 물은 최소로 남고 기름은 모아 회수하는 위어 타입의 혁신적인 것이다. 유회수량과 유회수율을 결과로 보였다. 유회수율은 1차 집유탱크의 기름층이 두꺼워지면 증가한다.

**Abstract:** Representative methods for removing spilled oil include mechanical skimming, chemical treatment, burning at the surface of the spilled oil, and microbiological degradation. Among these methods, mechanical skimmer is the most efficient. Mechanical skimming can be classified into the following categories: belt-type, disk-type, weir-type, drum-type. We designed models with a submerged orifice for use in our experiments, for an objective and systematic evaluation of the recovery efficiency of mechanical skimming. Basically, oil is lighter than seawater and hence tends to float on the surface of the latter if there is sufficient time for floating. The present skimmer is kind of weir-type with the submerged orifice for seawater to be squeezed through, minimizing water content in the tank. From the experimental results, we identify the parameters that influence the oil recovery rate and recovery efficiency. The recovery efficiency can be enhanced by increasing the thickness of the oil layer in the first oil accumulative tank.

- 기호설명 -

$A_o$  : 오일펜스 전반부 기름의 표면적( $m^2$ )  
 $A_w$  : 오일펜스 후반부 수면의 표면적( $m^2$ )  
 $H$  : 오일을 탱크에 넣기 전 물높이( $m$ )  
 $h$  : 유회수기 높이( $m$ )  
 $H_{imp}$  : 탱크바닥에서 회전날개 밑까지 높이( $m$ )  
 $H_{total}$  : 탱크에 채워진 오일과 물의 높이( $m$ )  
 $N_f$  : 전방 회전날개 회전수( $rpm$ )

$N_r$  : 후방 회전날개 회전수( $rpm$ )  
 $Q$  : 총유량( $m^3/min$ )  
 $Q_o$  : 유회수량( $m^3/min$ )  
 $RE(Q_o/Q)$  : 유회수율  
 $S$  : 유회수기 입구의 표면적( $m^2$ )  
 $t$  : 홀수( $= t_o + t_w$ )( $m$ )  
 $t_o$  : 오일의 두께( $m$ )  
 $t_w$  : 물의 두께( $m$ )  
 $t_o/t$  : 오일 두께와 홀수의 비  
 $\rho_o$  : 기름의 밀도( $Kg_f \cdot sec^2/m^4$ )  
 $\rho_w$  : 물의 밀도( $Kg_f \cdot sec^2/m^4$ )

§ 이 논문은 대한기계학회 2009년도 호남지부 춘계학술대회 (2009. 5. 8., 조선대) 발표논문임

† Corresponding Author, kou57@db.ac.kr

## 1. 서 론

해양에서 유조선 사고로 오일이 유출된 사건은 1967년 토레이-케년(Torrey Canyon, 英)호 사고 이후, 1989년 엑슨-발데스(Exxon Valdez, 美)호, 1995년 씨-프린스(Sea Prince, 韓)호, 1996년 씨-엠프러스(Sea Empress, 英)호, 1997년 나호도카(Nakhodka, 日)호, 1999년 에리카(Erika, 프)호, 2007년 나폴리(MSC Napoli, 英)호, 2007년 허베이-스피리트(Hebei Spirit, 韓)호(원유 12,547kl 유출, 해양생물인 썩, 빛조개, 새우, 성게 등이 집단폐사 등 해양생물이 약 80% 감소되고, 해양생태계가 심각하게 파괴됨) 사고 등이 있다. 이 대형 유조선 사고로 오일이 유출되어 생태계 파괴가 실로 막대하여 잘못 방치하면 지구촌 해양이 모두 오염될 수 있다는 우려를 낳게 한다. 해양오염을 철저히 방지하기 위하여 UN해양오염방지협약이 조인되었다. 그러나 언제, 어디에서 인간의 의지와 무관하게 발생, 예측할 수 없는 것이 해양사고의 특징이다.

오늘날 환경보존의 중요성에 대한 인식이 확산되어 오염방지기술 또한 발전을 하였지만 아직도 시행착오를 면하지 못하는 부분이 많다. 오일사고 발생 시 피해를 최소화하기 위한 최선의 방법은 신속한 방제 작업이다.

사고로 해양에 유입된 오일을 제거하는 대표적인 방법으로는 화학적인 처리(계면활성제에 의한 분산),<sup>(1)</sup> 수면소각,<sup>(1,2)</sup> 미생물에 의한 분해<sup>(1,3)</sup> 등이 있으나, 이들은 모두 2차오염의 가능성(해양오염, 대기오염, 미생물의 변종에 의한 오염 등)을 가지고 있다. 2차오염을 방지할 수 있는 오염방제는 기계적인 회수법이 최상으로 생각된다.

현재 기계적 유회수(油回收)기는 벨트식,<sup>(4-8)</sup> 디스크식,<sup>(9-11)</sup> Brush식,<sup>(4,7,10)</sup> 자항식,<sup>(4,10,12)</sup> 위어(Weir)식,<sup>(10,12,13)</sup> Vortex-Disk식,<sup>(10,14)</sup> 흡입식,<sup>(10,15,16)</sup> 드럼식<sup>(17)</sup> 등이 있으나 효율성 및 경제성 측면에서 아직 미흡한 점이 많다.

이에 본 연구는 해양, 호수, 물탱크 등에서 누유(漏油)를 회수할 수 있는 효율이 높고, 조작이 간편하며, 내구성을 갖고, 인력과 경비를 최소화할 수 있는 장치를 구상, 수로(水路)인 잠수공(潛水孔 Submerged Orifice)을 가진 유회수기를 개발, 모형을 제작 실험하여 우수한 누유 회수 성능을 객관적으로 입증하고자 한다.

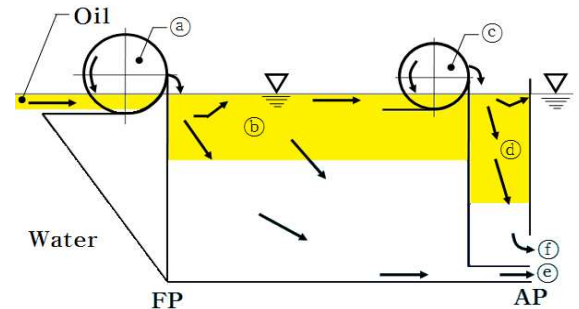


Fig. 1 Oil Skimmer with a Submerged Orifice (SOOS)

## 2. 기본원리

본 잠수공(潛水孔)유회수기(Submerged Orifice Oil Skimmer, SOOS)란 유회수기 하부에 수로인 잠수공(潛水孔)을 구성하여 물과 오일의 비중차에 의해 자연적으로 각기 다른 방향으로 흐르도록 하여 오일을 회수하는 기술이다.

Fig. 1은 개략도이다(FP : 선수, AP : 선미). 여기에서 회전날개는 (a)와 (c), 잠수공(Submerged Orifice)은 (e)와 (f), 집유탱크는 (b)와 (d)의 기호를 사용하여 표시하였다. 유회수기(Oil Skimmer) 입구에 쓰레받기형 집수기를 달고, 집수기의 내측에 설치된 전방 가변 회전날개(이후 전방 회전날개라 한다) (a)로 수면 위의 오일과 물을 동시에 앞 잠수공이 있는 수로점 집유탱크(이후 1차 집유탱크라 한다) (b)에 펌핑한다. 전방 회전날개를 통해 유입된 오일과 물은 1차 집유탱크 (b)내에서 물과 기름의 비중 차에 의해 물은 집유탱크 내 바닥으로 내려가 잠수공 (e)로 빠져나가고, 오일은 수면에 부유 축적되어 오일층이 두꺼워진다. 이 두꺼워진 오일층의 오일을 회수하기 위하여 1차 집유탱크 후방측에 장착한 후방가변 회전날개 (c)를 회전시켜 물과 오일을 다시 뒤의 잠수공이 있는 집유탱크(이후 2차 집유탱크라 한다) (d)로 유입시키면, 1차 집유탱크 (b)에서와 마찬가지로 비중 차에 의해 물은 잠수공을 통해 집유탱크 밖으로 빠져나가고 오일은 부유 축적된다.

잠수공(Submerged Orifice)의 역할은 다음과 같다. 만약 집유탱크 바닥에 잠수공(submerged orifice) (e)가 없다면 기름과 물을 전방회전날개 (a)로 집유탱크 (b)에 유입시키면 유체가 빠져나갈 곳이 없어 집유탱크에서 유체는 넘칠 것이다.

그러나 집유탱크⑥의 바닥에 잠수공(submerged orifice) ㉔를 뚫어놓고 전방회전날개 ㉑를 이용하여 기름과 물을 집유탱크⑥에 유입시키면 유체는 비중차이에 의해 기름은 뜨고 물은 가라앉을 것이다. 이때 물은 당연히 집유탱크바닥에 뚫어놓은 잠수공 ㉔를 통해 흘러나가게 될 것이다. 그리고 집유탱크의 상단에 떠 있던 기름은 그대로 집유탱크 ⑥안에 남을 것이다.

전방 회전날개 ㉑의 지속적인 반복 펌핑과정을 통하여 집유탱크에 기름과 물을 유입시키면 물은 바닥의 잠수공을 통하여 흘러나가고 유입된 기름이 집유탱크 상단에 누적되면서 기름을 회수할 수 있다. 즉 잠수공의 역할은 유입된 유체를 비중차에 유수 분리할 때에 물을 집유탱크 밖으로 내보내는 수로 역할을 한다.

2차 집유탱크 ㉒의 유층이 점차적으로 두꺼워지면 센서에 의해 펌프가 작동하여 ㉒에 회수된 오일만을 회수하는 Oil Skimmer로 경제적이고, 구조 및 조작성이 간편하면서 누유 회수 효율이 높은 시스템으로써 2차레에 걸쳐 오일을 집유, 각 집유탱크의 오일층 두께를 높여 수거량과 효율을 극대화한 것이다.

실험시 임의의 흡수  $t(=t_o + t_w)$ 를 맞추기 위하여 실험조건에 따른 오일량  $A_o$ ,  $t_o$ 와 흡수 간의 관계식 (1)을 사용하였다.

실험 데이터를 얻기 위하여 Fig. 2와 같이  $H$ 는 오일을 수조에 넣기 전 물높이,  $t_o$ 는 기름 두께,  $t_w$ 는 물 두께,  $H_{imp}$ 는 회전날개 밀면까지의 높이,  $A_o$ 는 오일펜스(경계 내에서 오일수거 실험이 적절히 진행되도록 돕도록 설치함) 전반부 기름의 단면적,  $A_w$ 는 오일펜스 후반부의 수면의 단면적,  $\rho_o$ 와  $\rho_w$ 는 기름과 물의 밀도라면 오일이 채워진 상태의 물과 오일의 전체높이  $H_{total}$ 은 식 (1)로 계산된다.

$$H_{total} = t_o + t_w + H_{imp} = H + t_o \left[ 1 + \left( \frac{A_o}{A_o + A_w} - 1 \right) \frac{\rho_o}{\rho_w} \right] \quad (1)$$

Fig. 2는 물탱크로 물높이  $H$ 만큼의 점선이 실험전에 원래 물탱크의 물높이다. 만약 오일펜스를 치지 않고 기름을 물탱크에 넣었다면 기름을 넣은 만큼 액체높이가 생겨 油面이 생길 것이다.

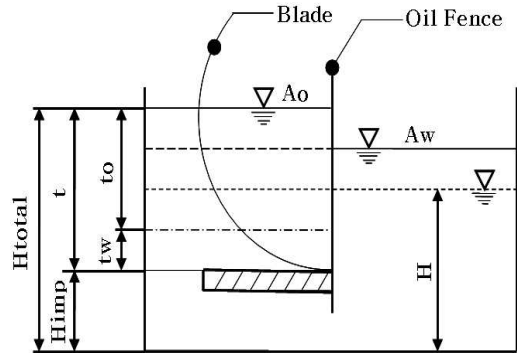


Fig. 2 Thickness of oil ( $t_o$ ) and water ( $t_w$ )

그러나 본 논문에서는 Fig. 2와 같이 오일펜스를 치고 물탱크의 왼쪽(오일펜스 왼쪽)에  $t_o$  만큼의 오일을 투입시키니 오일의 무게에 의해  $H$ 이었던 물높이가  $A_w$ 인 水面이 되었다. 한편, 오일펜스 왼쪽의 油面은  $A_o$ 가 된다(기름과 물의 밀도 차이에 의해 생기는 액체 높이차). 이들의 관계를 알기 쉽게 Fig. 2에 그렸으며, 물과 기름의 밀도를 넣은 관계식을 유도한 것이 식 (1)이다. 즉, 실험 전의 물탱크의 물높이는  $H$ 이다. 실험을 위하여 오일펜스를 친다(이는 유회수기를 설치하는 것과 같은 뜻임). 이때의 물 높이는  $H$ 이다. 이후 실험을 위하여 기름을  $t_o$  만큼 넣는다. 이때 물과 기름의 밀도 차에 의해 오일펜스의 좌측과 우측에 높이차가 생기면서 Fig. 2와 같은 단면도가 될 것이다.

식 (1)에서 첫째 줄  $H_{total} = t_o + t_w + H_{imp}$ 은 Fig. 2에 나타난 기호로 표시된 크기이며, 둘째 줄의 계산식은 물높이  $H$ , 실험조건에 따른 오일량(기름 표면적  $A_o \times$ 기름두께  $t_o$ ), 기름과 물의 비중에 의한 계산식이다.

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 실험장치

본 실험에 사용된 SOOS 장치의 개략도를 Fig. 1(측면도)과 Fig. 3(평면도)에 나타내었다. 실험 전에 실험조건(Fig. 2 참고)으로 주어지는 흡수  $t(=t_o + t_w)$ 로부터 식 (1)을 사용, 오일을 넣기 전 물높이  $H$ 를 구하고, 초기 기름량  $A_o$ ,  $t_o$ 를 결정한다. 실험 시 누유 두께를 유지하기 위하여 가변회전 오일 공급 펌프(3.1A, 220V)를 별도로 설치, 수조(120cm×240cm×90cm)와 연결하였다.

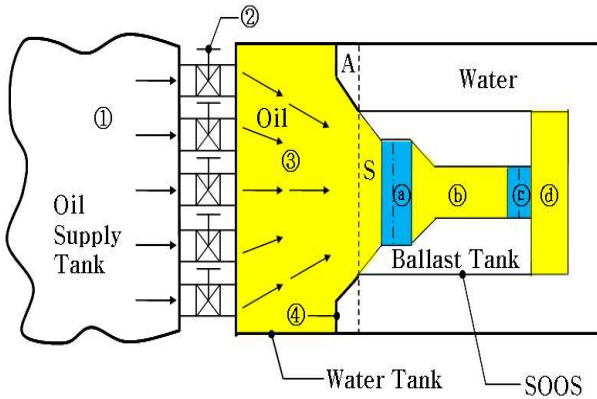


Fig. 3 Experimental equipment

잠수공 유회수기(SOOS)를 수조에 넣은 상태에서 오일펜스 ④를 설치하고, 초기 기름량  $A_o t_o$ 를 오일펜스 전방에 공급한다. 가변회전 오일공급펌프를 수조와 연결하여 스키머에 의해 감소되는 오일량을 반복하여 측정 한 후 기름두께  $t_o$ 가 유지되도록 펌프 회전수를 조절하였다.

Fig. 3의 중앙 점선으로부터 좌측 음영 부위가 누유된 오일 면적  $A_o$ 이다. 여기서 실험전 초기 오일을 공급하기 위한 면적  $A_o$ 의 계산을 쉽게 하기 위하여 면적  $2A$ 와 입구 S부분의 면적이 같도록 오일펜스를 설치하여 두었다.

Fig. 1과 3에서의 ②, ③는 전·후방 회전날개로서 직경이 각각 25cm, 18cm이며, 폭이 각각 30cm, 11cm로 인덕션모터 (25W, 0.32A, 220V, 1.5 $\mu$ F, 1,500rpm) 사용, 회전수를 조절할 수 있도록 컨트롤러를 연결하였고, 직선형 날개를 달았다.

본 SOOS의 전체크기는 46cm×146cm×h48cm이고 오일을 집유하는 2차 집유탱크 ④는 15cm×25cm×h40cm로 하였다. 전·후방 회전날개 ②, ③의 축간거리는 100cm, 스키머 바닥으로부터 입구 S까지 높이는 30cm이며, 1차 집유탱크 하부에 잠수공(10cm×10cm)이 뚫려 있어 스키머에 들어온 물이 밀빠진 독에 물을 넣는 것과 같아 동력이 필요 없이 자유로이 스키머 밖으로 흘러 나갈 수 있도록 하였다(Fig. 1에서 수로 ⑤).

Fig. 3에서 보는 바와 같이 입구 S로 기름과 물이 전방 가변 회전날개에 의해 수로겸 1차 집유탱크인 ⑥로 들어와 비중차에 의해 두꺼워진 기름 층이 최종 집유탱크(2차 집유탱크) ④에 수거된다. 2차 집유탱크 ④의 후방 중앙 바닥도 Fig. 1에 보이는 바와 같이 수로인 잠수공(3cm×5cm) ⑦

Table 1 Experiment parameter(Only water)

Experiment parameter	Water ( $10^{-3}m$ )	Experiment parameter	(rpm)	
	$t=t_w$		$N_f$	$N_r$
Draught ( $t \times 10^{-3}m$ )	10	Blade (rpm)	0	19
				26
	15		19	19
				26
20	31			

Table 2 Experiment parameter(Oil and water)

Experiment parameter	Oil & Water ( $10^{-3}m$ )		Experiment parameter	(rpm)
	$t=t_w+t_o$	$t_w$		$t_o$
Draught ( $t \times 10^{-3}m$ )	10	5	5	19
		0	10	
	15	10	5	26
		5	10	
	20	15	5	31
		10	10	

가 뚫려 있어 비중 차에 의해 기름은 집유되어 기름 층이 두꺼워지고 물은 탱크 밖으로 흘러 나가게 되어 있다.

3.2 실험방법

본 실험에서는 비중이 0.75인 경유를 사용하였다. Table 1과 2에는 실험변수들을 요약하여 나타내었다. 여기서  $t$ 는 흘수,  $t_w$ 는 물의 두께,  $t_o$ 는 기름두께이다.  $N_f$ 는 전방 회전날개 회전속도 (rpm),  $N_r$ 은 후방 회전날개 회전속도(rpm)를 의미한다.

실험변수 선정은 본 실험 장치를 상용화하기 위한 실제 선박(본 장치의 5~10배 정도)에 적용시킬 때 가능한 범위를 채택하였다.

실험은 본 연구에서 사용될 유회수기의 특성을 파악하기 위하여 먼저 물만으로 여러 가지 특성을 검토한 후 기름을 넣어 오일수거 성능을 계측하였다. 즉, 유회수기장치의 유체역학적 특성파악을 위해 물을 사용한 점과 오일 수거성능을 위해 기름을 넣어 실험 계측하였음을 뜻한다.

본 연구를 위해 시종(始終), 기름을 사용할 경우 취급(화재 위험성, 접촉시 피부로 흡수, 휘발성에 의한 환각, 기름냄새의 악취 등의 건강문제) 및 매 실험 후 처리(폐유처리, 안전관리 등)가 매우 어려움이 있었다. 그래서 먼저 유회수기의 원리 및 일반적인 특성은 안정성이 양호한 물을 사용하여 알아보았다. 이후 실제 오일수거 성능을 알아보기 위하여 물에 기름을 투여하여 유회수기 장치의 성능을 알아보았다.

동일조건에서 최소 5회에 걸쳐 반복 실험하였으며, 그래프에 제시한 값들은 이들의 평균치로서, 평균치 대비  $\pm 5\%$  오차범위 이하인 3회 이상의 측정치들을 평균한 결과이다.

3.2.1 물만으로 실험(Table 1의 실험변수 해당)

(1) 정수 중 ( $N_f=0$ ) 2차 집유탱크의 유량 측정

2차 집유탱크의 유량  $Q$ 를 측정하기 위하여 Fig. 1의 1차 집유탱크 ⑥의 후방 하단에 있는 잠수공 ③은 개방하고, 2차 집유탱크 ④의 후방 중앙하부에 있는 잠수공 ⑤는 막는다. 임의의 흡수  $t$ 까지 물을 채운 후 흡수 각각에 대하여 전방 회전날개 ①는 고정( $N_f = 0 \text{ rpm}$ )시키고, 후방 회전차 ②의 회전속도  $N_r$ 를 변화시켜 가며 2차 집유탱크 ④에 유입되는 유량을 측정하였다.

(2) 2차 집유탱크의 실제상황 유량 측정

실 작동 조건을 구현하고자 앞의 실험과 동일한 조건에서 전·후방 회전차를 동시에 가동시켜 2차 집유탱크에 유입되는 유량을 측정하였다.

1차 집유탱크에 유입된 물은 전방 회전차의 맥동에 의해 수면파가 발생한다. 이 경우 잔잔한 수면(전방 회전날개 고정,  $N_f = 0 \text{ rpm}$ )에서의 2차 집유탱크 유입 유량과 차이가 예상된다.

3.2.2 오일수거 성능 실험(Table 2)

앞의 3.2.1 (2)의 실제상황 유량 측정과 같이 전방 회전날개가 회전하는 상태에서 오일을 지속적으로 가변회전 오일공급펌프로 공급하면서 기름 두께  $t_0$ 에 따른 실험을 행하여 2차 집유탱크에 유입되는 단위시간당 총유량  $Q$ 와 단위시간당 유회수량  $Q_o$ (ORR: Oil Recovery Rate)을 측정하였다. 총유량  $Q$ 와 유회수량  $Q_o$ 일 때 유회수율(RE: Recovery Efficiency)을 식 (2)로 정의하고 계산하

였다.

$$RE = Q_o / Q \tag{2}$$

1차 집유탱크의 중앙하부 잠수공 ③은 개방하고, 2차 집유탱크의 중앙하부 잠수공 ⑤는 막는다. 유동의 관성을 줄이기 위하여 전방 회전날개의 가동 시점에서 5초경과 후 후방 회전날개를 30초 간 가동하고 정지시켰으며, 총유량과 유회수량은 이 시간(30초)동안 2차집유탱크에 유입된 량을 단위시간당 값으로 환산한 수치이다. 실험변수는 흡수  $t$ , 기름두께  $t_0$  및 후방 회전날개 속도  $N_r$  등이다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 물만으로 실험

본 실험을 통해 회전날개의 누설효율과 2차 집유탱크 ④로의 유입 유량에 대한 흡수  $t$ 의 영향 및 회전날개 회전속도(전방 회전날개 속도  $N_f$ , 후방 회전날개 속도  $N_r$ )의 영향을 파악하였다.

회전날개 누설효율이란 기하학적 형상으로부터 구한 이상적 최대 유량과 측정된 유량과의 비율을 의미하며, 차후 회전날개의 설계 개선에 활용할 것이다. 누설효율은 회전속도가 클수록, 흡수가 클수록 약간 효율이 떨어지나 큰 차이 없이 50 ~ 60%로 측정되었다.

4.1.1 정수 중 ( $N_f=0$ ) 2차 집유탱크의 유량 측정

2차 집유탱크의 유량 측정을 위하여 2차 집유탱크 중앙하단 잠수공은 개방하고 1차 집유탱크 중앙하단 잠수공은 막는다. 임의의 흡수까지 물을 채운 후 흡수 각각에 대하여 전방 회전날개는 정지( $N_f = 0$ )시키고 후방 회전날개의 회전속도  $N_r$ 을 변수로 흡수  $t$ 를 변화시켜가면서 실험을 하여 얻은 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

$N_r$ 이 증가하면 집수 유량  $Q$ 는 약간 증가하고, 흡수  $t$ 가 증가하면 비례적으로 유량이 증가함을 알 수 있다. 이는 회전날개에 담아지는 유량이 흡수가 증가함에 따라 늘어나기 때문이며,  $N_r$ 에 의해 빠른 속도로 펌핑 되어 나타나는 것이다.

4.1.2 2차 집유탱크의 실제 상황 유량 측정

2차 집유탱크의 중앙하부 잠수공은 개방하고, 1

차 집유탱크의 중앙하부 잠수공은 막는다. 전방 회전날개의 작동에 의해 1차 집유탱크 내에 수면 파가 발생한다.

이 경우 4.1.1에서 행한 것 같이  $N_f=0$ 일 때의 잔잔한 수면에서 2차 집유탱크에 유입되는 유량과 차이가 예상된다. 실 작동 조건을 구현하고자 정수( $N_f=0$ ) 중 2차 집유탱크 유량 측정 실험과 동일한 조건에서 전방 회전날개를 가동시켜

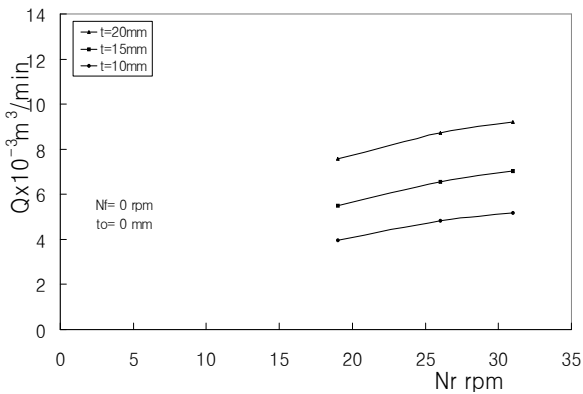


Fig. 4 At  $N_f=0rpm$ ,  $Q$  according to  $t-N_r$

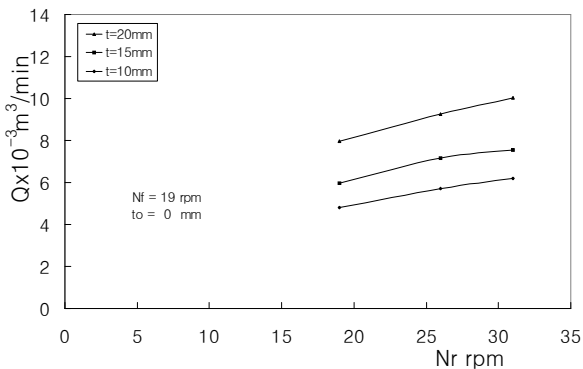


Fig. 5 At  $N_f=19rpm$ ,  $Q$  according to  $t-N_r$

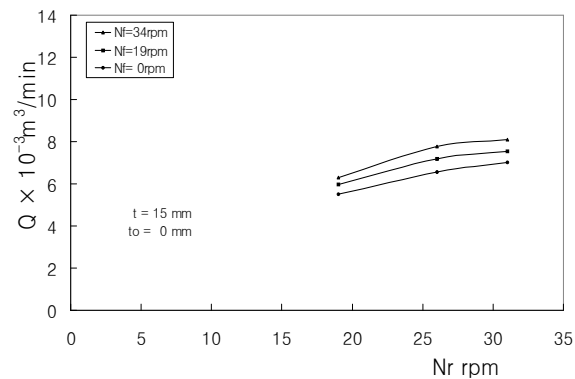


Fig. 6 At  $t=C$ ,  $Q$  according to  $N_f-N_r$

2차 집유탱크 내부에 유입되는 유량을 측정, Fig. 5와 6에 나타내었다.

Fig. 5는 전방 회전날개가  $N_f=19rpm$ 으로 일정한 속도로 회전할 때에 2차 집유탱크에 유입되는 유량이 흡수  $t$ 와 후방 회전차 속도  $N_r$ 에 따라 어떠한 영향을 받는가에 대하여 실험한 결과이다.  $N_r$ 이 클수록 유량  $Q$ 가 미소치 증가하다. 이는 본 장치와 동일한하거나 유사한 유회수기에 관한 연구는 없다. 회전차를 이용하여 바다, 호수 등에 유출된 기름을 회수하기 위해 집유탱크 안으로 유출유를 넣는 일은 중요하다. 일반적인 예상 결과로 회전차의 속도가 증가할수록 회수량이 증가하지만  $N_r=25rpm$  이상에서는 증가추세가 완만해짐을 보인다. 이는 회전차의 속도가 빨라져도 주위의 오일량이 일정 수준 만큼만 공급되므로 그 양만큼만 일정히 수거되는 것이다. 한편, 흡수  $t$ 의 영향이 크게 나타났으며, 전방 회전날개가 정지( $N_f=0rpm$ ) 했을 때의 유량 변화 경향과 유사한 특성이 나타났다.

Fig. 6은 흡수  $t=15mm$ 로 일정하게 고정하고 전방 회전날개의 속도 변화에 따른 유량 변화를 나타낸 그림으로서, 후방 회전차 속도  $N_r$ 이 동일할 경우, 전방 회전날개 속도  $N_f$ 가 증가함에 따라 유량이 증가함을 볼 수 있다. 그러나 변화량은 작다. 여기에서도 일반적인 예상 결과로 회전차의 속도가 증가할수록 회수량이 증가하지만 Fig. 5의 결과와 유사한  $N_r=25rpm$  이상에서는 증가추세가 완만해짐을 나타내고 있는데 이것도 Fig. 5에서 설명한 것과 같다. 전방 회전날개 가동에 따른 수면 파동의 영향은 전반적으로 미소하였다.

4.2 오일수거성능 실험

오일 수거 성능에 관한 모든 실험에 걸쳐 전방 회전날개는  $N_f=19rpm$ 으로 고정시켰다. 이때 오일 공급펌프로 오일을 지속적으로 공급하여 기름 두께를 유지하면서 유회수기의 2차 집유탱크로 유입되는 총유량  $Q$ 와 유회수량(ORR)  $Q_o$ 를 측정된 결과를 나타낸 것이 Fig. 7, 8, 9, 10 이다.

Fig. 7에는 흡수  $t$ 와 오일 두께  $t_o$ 에 대한 유회수량  $Q_o$ 를 나타내었다( $N_r$  영향 포함). 유회수량  $Q_o$ 가 오일 두께  $t_o$ 에 직결되어 있음을 볼 수 있으며, 오일 두께가 10mm인 경우에는 흡수  $t$ 의 영향 역시 매우 크게 나타난다.

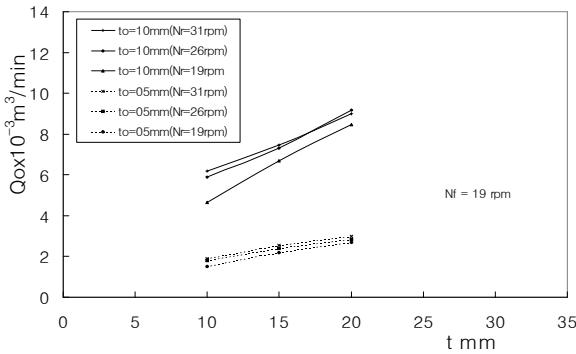


Fig. 7 Oil recovery volumetric flow rate  $Q_o$  (Effect of  $t_o(N_r) - t$ )

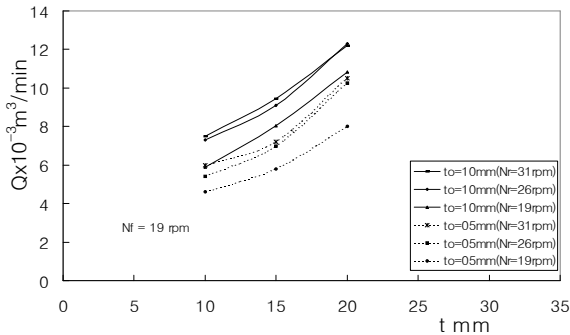


Fig. 8  $Q(Q = Q_o + Q_W)$  according to  $t_o(N_r) - t$

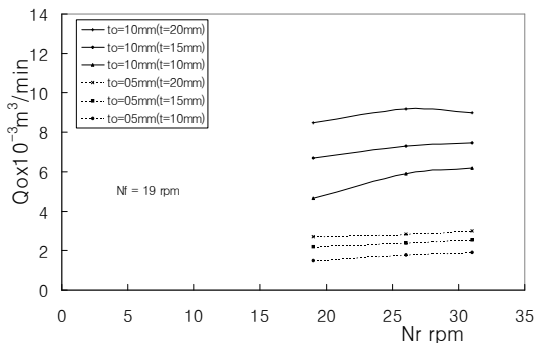


Fig. 9 Oil recovery volumetric flow rate  $Q_o$  (Effect of  $t_o(t) - N_r$ )

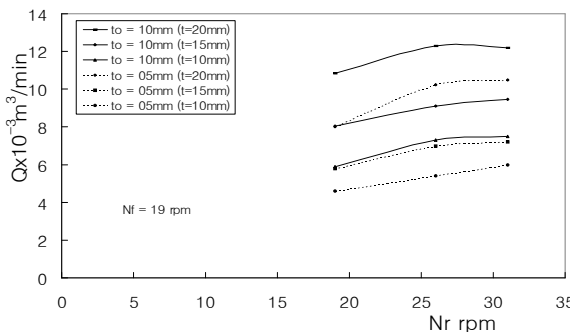


Fig. 10  $Q(Q = Q_o + Q_W)$  according to  $t_o(t) - N_r$

Fig. 8에서  $t_o(N_r)$ 와  $t$ 가 총유량  $Q$ 에 미치는 영향을 볼 수 있다. 흡수  $t$ 가 총유량  $Q$ 를 좌우하는 가장 중요한 인자임을 알 수 있으며(Fig. 5 참고), 흡수  $t$ 가 동일한 경우에  $t_o = 0 \text{ mm}$ 와  $t = 5 \text{ mm}$ 인 경우는 총유량이 유사하며 오일 두께가  $t_o = 10 \text{ mm}$ 로 증가하면 총유량이 상당히 증가한다.

Fig. 9은 유회수량(ORR)  $Q_o$ 에 미치는 후방 회전차의 회전속도  $N_r$ 의 영향을 가지적으로 보여 준다.  $t$ 와  $t_o$ 가 커지면  $Q_o$ 가 증가하나  $N_r$ 의 영향은 거의 없거나 미소하였다.

Fig. 10에서 총유량  $Q$ 가  $N_r$ 에 의해 변화되는 양상을 용이하게 볼 수 있다.  $N_r$ 의 영향이 크지 않으며,  $N_r = 25 \text{ rpm}$  이상이 되면 기름 흐름상의 관성에 의해 후방 회전차에 공급이 완만해져서 유회수기 안에 유입되는 효과가 적어져서 증가 추세마저 사라진다고 생각된다.

앞의 실험 결과를 토대로 유회수율( $RE = Q_o / Q$ )을 얻은 결과가 Fig. 11이다. 유회수량(ORR)과 마찬가지로 유회수율(RE)을 좌우하는 일차 요인은 오일 두께  $t_o$ 임을 볼 수 있으며, 유회수율이 오일 두께와 흡수의 비  $t_o/t$ 에 거의 무관한 점이 흥미롭다. 입구 S(Fig. 3)의 오일 펜스 등으로 유층을 인위적으로 두껍게 함으로써 유회수율을 대폭 향상시킬 수 있음을 의미한다.

이상의 고찰을 통해 다른 방식보다 우수한 점은 잠수공을 활용한 자동유회수기이므로 간단한 조작이 실현되어 적은 인력이므로 경비를 최소화할 수 있다. 그리고 잠수공이 수로로 이용되어 기름층을 두껍게 하는 유회수 시스템으로 구조가 간단하여 고장의 염려가 적기 때문에 내구성을 가진 고효율성 누유 수거장치라 할 수 있다.

### 5. 결론

잠수공을 가진 1차 및 2차 집유탱크 2개를 직렬로 연결한 오일 스키머를 개발, 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 잠수공을 활용한 자동유회수기이므로 누유 회수시 조작이 간편하고 내구성을 가진 경제적인 장치 개발이다.
- (2) 유회수율을 좌우하는 일차 인자는 기름 두께이다.
- (3) 동일한 흡수에서 기름층이 두꺼워지면 유회

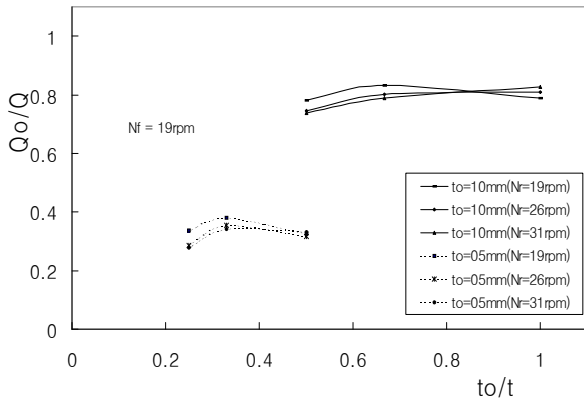


Fig. 11 Recovery Efficiency  $Q_o/Q$  (Effect of  $t_o - t_o/t$ )

수량이 크게 증가한다. 기름 두께가 일정한 경우에도 흘수가 커지면 유회수량이 증가한다.

(4) 후방 회전차의 회전속도가 유회수량에 미치는 영향은 작다.

## 후 기

이 논문은 2010년도 대불대학교 교내연구비 지원에 의하여 씌어진 것임. 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Lee, Y. H., 1995, "Characteristics and Operation of Clean-up Equipments Against Marine Pollution," *Journal of the Korea Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 1, No. 2, pp. 119~131.
- (2) Sung, H. G., 2000, "A Note on In-Situ Burning of Marine Oil Spills," *KOSMEE*, Vol. 3, No. 3, pp. 58~65.
- (3) Jin-Won Chung, Joo-yong Yoon, Jae-Rouk Shin and Han-gyu Kim, 2003, "The Study for Practical Use of Bioremediation Agent in Oil-Contaminated Area," *KOSMEE*, Vol. 6, No. 2, pp. 3~15.
- (4) YOO, J. S. etc., 1998, "A Self-Propulsion Style Belt Skimmer," *Proceedings of the KOSMEE Spring Annual Meeting*, pp. 141~147.
- (5) Dong-Eub Song and Kyunghwan Yoon, 1997, "An Experimental Study for the Effect of Rotational Direction on the Recovery Rate of Spilled Oil Using a Belt Skimmer," *KSME(B)*, Vol. 21, No. 5, pp. 679~690.
- (6) Dong-Eub Song and Kyung-Hwan Yoon, 1997, "An Experimental Study on the Recovery of Diesel Oil Using

a Belt Type Skimmer," *Journal Ocean Engineering Technique*, Vol. 11, No. 3, pp. 132~143.

- (7) Dong-Eub Song, K. H. Yoon, 1998, "An Experimental Study on the Recovery of Oil Using a Belt Type Skimmer," *Trans of the KSME(B)*, Vol. 22, No. 12, pp. 1702~ 1714.
- (8) Yoon, K. H., 1999, "A Study on the Nondimensional Analysis for Recovery Rate of Oil Using a Belt Type Skimmer," *KOSMEE*, Vol. 2, No. 1, pp. 34~39.
- (9) YOON, Kyeong Hwan, 1998, "The Influences to Oil Recovery Rate by Disk Style Oil Recovery Skimmer's Operating Condition," *Proceedings of the KOSMEE Autumn Annual Meeting*, pp. 105~110.
- (10) Hyun, B. S., 1998, "Review on the Hydrodynamic Characteristics of Oil Skimmers," *KOSMEE*, Vol. 1, No. 1, pp. 66~82.
- (11) Jang, D. J. and Na, S. C., 2005, "Comparison of Oil Recovery Performance between Disk Materials of Oil Skimmer," *Journal of the Korea Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 11, No. 2, pp. 103~108.
- (12) Choi, H. S., Hong, K. and Cha, S. Y., 1998, "Development of Advancing Wear Type Oil Skimmer," *Proceedings of the KOSMEE Autumn Annual Meeting*, pp. 117~122.
- (13) Rho, J. H., Kim, Y. K., Kim, J. H., B. S. and Kim, J. Y. 2000, "The Development of Wear Type Oil Skimmer Fixed Water Wheel," *Proceedings of the KOSMEE Autumn Annual Meeting*, pp. 117~123.
- (14) Yu, J. S., 1999, "Performance Test of Vortex-Disc Skimmers," *KOSMEE*, Vol. 2, No.2, pp. 95~102.
- (15) Hyun, B. S. and Kim, J. W., 1997, "A stability analysis of oil film on an adhesion-type oil skimmer," *Journal of the Korea Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 3, No. 2, pp. 85~92.
- (16) Kim, J. W., Hyun, B. S., 1997, "Investigation on Recovery Rate of Adhesion-Type Oil Skimmers," *Journal Ocean Engineering Technique*, Vol. 11, No. 3, pp. 124~131.
- (17) Song, D. E. and Jung, S. W., 2003, "An Experimental Study on the Recovery of Diesel Oil Using a Drum Type Skimmer," *KOSMEE*, Vol. 6, No. 4, pp. 52~66.