

Vortex-Disc형 유회수기의 성능평가

유 정 석⁽¹⁾

Performance Test of Vortex-Disc Skimmers

J.S. Yu⁽¹⁾

Abstract

Various types of oil response equipments and oil recovery vessels are being developed in Korea from the 1990s to respond oil spill accidents. It should be considered prior to the selection of the oil skimmers to make the oil recovery system more efficient at early stage of oil spill accidents. Rotating baldes of vortex skimmer beneath the water surface concentrate oil and draw it into the weir, where it flows to a collection sump. In this study a recently developed Vortex-Disc skimmer(model : VDS-50) is introduced and the performance test results for the skimmer are discussed.

Keywords: Vortex Skimmer, Disc Skimmer, Oil Recovery Rate(ORR), Recovery Efficiency (RE)

1. 서 론

해상 유류 유출사고시 효과적인 방제작업을 위해서는 초동단계에서 그 해역특성 및 유출유의 특성을 고려한 방제장비의 활용이 무엇보다도 중요하다. 현재 선진국 및 국내에서는 해상 누유사고에 효율적으로 대응하기 위하여 다양한 기능 및 형태를 갖춘 방제장비를 개발중에 있다.

특히 국내에서는 '80년대 말부터 연구소 및 대학을 중심으로 기초연구를 수행하여 '90년대 중반에 이르러 중소기업을 중심으로 국산화 개발이 활발해져 유회수기(Oil Skimmer)는 흡입식으로 벨트 브러쉬, 드럼 브러쉬 유회수기와 흡입식인 위어형 유회수기 등이 개발되었으며, 오일붐(Oil Boom)은 공기팽창

식, 보조장비로는 스킨류 형식의 이송펌프가 개발되어 방제작업에 활용되고 있다.

최근에는 하나의 구동 및 유압시스템을 활용하여 복합적 유회수기 시스템은 개발되고 있다. 즉, 노르웨이의 Transrec Sytem 경우에는 해상조건과 유출유의 특성 등에 따라 하나의 구동시스템에 따라 선택적으로 유회수기를 방제작업자가 선정하여 사용할 수 있는 시스템으로 구성되어 있으며, 일반적으로 오일붐에 의하여 가두어진 상태에서 유출이 두꺼운 경우에는 위어 등 흡입식 형식의 유회수기를 활용하고, 유출이 얇은 경우에는 Disc식 유회수기를 사용하는 방식이 채택되고 있다.

본 연구에서는 흡입식 Vortex 유회수기와 흡입식 Disc 유회수기를 하나의 구동시스템에 의하여

(1) 유정석, 한국해양연구소 선박해양공학분소

복합적으로 사용할 수 있는 유회수기에 대한 시스템설계 및 Vortex-Disc형 유회수기(Portable Vortex-Disc Skimmer, 모델명: VDS-50)에 대하여 수조시험을 기법을 통하여 벙커C유를 대상으로 유회수량(Oil Recovery Rate, ORR)과 유회수효율(Recovery Efficiency, RE)의 측정하는 성능평가를 수행하였다.

2. Vortex Skimmer의 개발현황

2.1 특성

Vortex Skimmer는 1988년 캐나다의 S.L. Ross Environmental Research에서 위어형식의 유회수기의 유회수효율의 단점을 보완하기 위하여 개발되었다. 일반적으로 위어(Weir)형식의 유회수기는 유출사고시 기름을 오일붐으로 가두어진 상태에서 물과 기름의 비중차이를 이용하여 둑(Weir)을 넘어오는 기름을 흡입하는 형식을 말한다. 위어형식의 유회수기의 장점으로는 대용량 유출사고시 한번에 많은 양의 기름과 물을 수거할 수 있는 유회수량(ORR)이 우수한 반면에 유회수효율(RE)은 비교적 낮은 단점을 가지고 있다. 이러한 위어형식의 유회수효율의 단점을 보완하기 위하여 누유(Spilled Oil)에 기계적 또는 유체동력학적 장치 즉 수면하부에서 회전력을 발생시키는 Rotor 또는 Propeller를 이용하여 가능한 기름만을 수거하는 유회수기를 Induced Flow Weir Skimmers라 한다.

Induced Flow Weir Skimmers는 누유를 유회수부 안쪽으로 이동하는 방법에 따라 크게 Weir Vortex Skimmer와 Induced Flow Weir Skimmer로 구분할 수 있다.

Weir Vortex Skimmer는 위어내로 누유를 끌어당기기 위하여 유회수기의 수면하부에 위치하고 있는 Rotor를 회전시켜 누유된 주변에 회전력(Vortex)을 발생시켜 Stator내에 모은 다음 이송호스를 통하여 펌프로 흡입하는 형식이다(Fig. 2.1). Weir Vortex형식의 유회수기는 일반적으로 사용되고 있는 위어형식과 비교하여 높은 유회수효율(RE)을 얻을 수 있는 장점이 있다.

Induced Flow Weir Skimmers는 수면하부에서 일정한 압력을 가진 Waterjet을 이용하여 노즐을 통하여 분사하여 Skimmer Plane을 넘어오는 기름만을 수거하는 원리를 이용한 것이다(Fig. 2.2). Table 2.1은 Induced Flow Weir Skimmers의 일반적인 특성을 나타내었다.

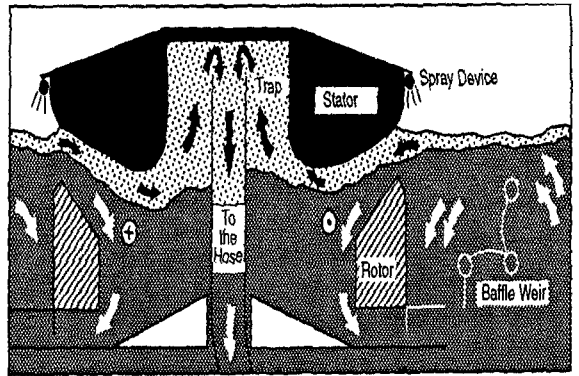


Fig 2.1 Weir vortex skimmer

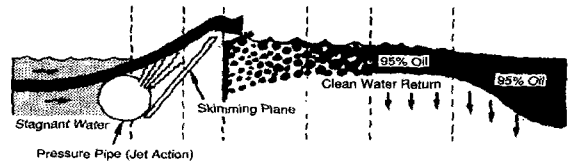
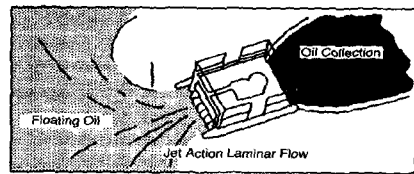


Fig. 2.2 Induced flow weir skimmer

Table 2.1 Selection consideration of induced flow weir skimmers

적용 유류 (Oil Type)	저·중 점도 (Viscosity)
고형물(Debris)처리	비교적 작은 막대기 또는 고형물
파 고 (Wave Condition)	파고 1m이내
유 속 (Current)	1노트이하 (빠른 유속에서는 Vortex효과 감소)
적용상태 (Mode of Application)	정지 또는 저속

2.2 Vortex 원리

Vortex란 다수의 질점들이 공동(共同)의 중심 주위로 회전하는 운동으로, Vortex Skimmer는 나선형 와동으로 흡입와동의 특성을 이용하여 Fig. 2.3(a)에 나타난 바와 같이 용기내에 물을 휘젓고 밑바닥 중앙에 있는 한 출구로 나가게 한다면 자유표면을 갖는 와동을 형성하게 되며, 그 모양은 회전의 세기, 침수깊이 등에 좌우한다. 회전력이 작거나 침수깊이가 크면 수표면은 단지 보조계를 형성할 뿐이다[3]. 그러나 더 강한 회전력을 주거나 같은 회전력을 주더라도 침수깊이가 작을수록 보조계 모양은 Fig. 2.3(b)와 같이 와핵이 형성되며, 이때 비중이 가벼운 기름은 일정한 형상을 유지하면서 수면에 떠있게 되며, 물은 비중차에 의하여 Hopper내의 바깥쪽으로 빠져나간다. 수표면에 모인 기름은 이송호스를 통하여 흡입하게 되는 원리를 이용한 것이 Vortex Skimmer이다.

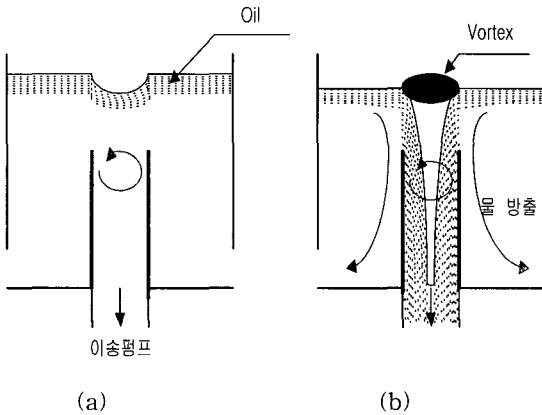


Fig. 2.3 Concept of the vortex principal

3. Vortex-Disc 유회수기 성능평가

3.1 주요제원 및 시스템구성

Vortex-Disc형 유회수기는 크게 유출유를 수거하기 위한 유회수기 본체(Frame of Oil Skimmer), 디젤엔진으로부터 유압을 발생시키는 동력부(Power) 수거된 누유를 이송하기 위한 이송펌프(Transfer Pump) 및 흡배출호스(Suction and Discharge Hose)등 4부분으로 구성되어 있다(Fig. 3.1, Fig. 3.2). 이에 대한 상세한 사양(Specification)은 Table 3.1에 나타내었다.

3.2 수조시험설비

본 연구에 사용되는 시험설비는 크게 수조시설과 시험장비로 구분할 수 있다.

Table 3.1 Specification of vortex-disc skimmer

모델명	Portable Vortex-Disc Skimmer, VDS-50		
유회수기	규격	작업시	- Vortex : 2182×1940×1550mm - Disc : 2182×1940×1640mm
		보관시	- Vortex : 914×792×1020mm - Disc : 1725×1657×758mm
	재질/중량	해상용 알루미늄, 60kg이하	
이송펌프	디스크 재질	폴리프로피렌	
	디스트열수	30개	
	형식	스크류 펌프	
동력부	구동방법	유압구동	
	용량(m ³ /h)	50	
	동력(hp)	디젤엔진 35hp × 2800rpm	
부속	중량(kg)	400	
	시동장치	전기시동(12V), 수냉식	
	규격	1200×650×1125mm	
이송호스	유압Unit	가변용량펌프, 속도조절밸브	
	규격	3" × 30m	
	연결방법	윈터치형 커넥플링	
기타	호스릴은 수동 및 유압구동 병행 가능		

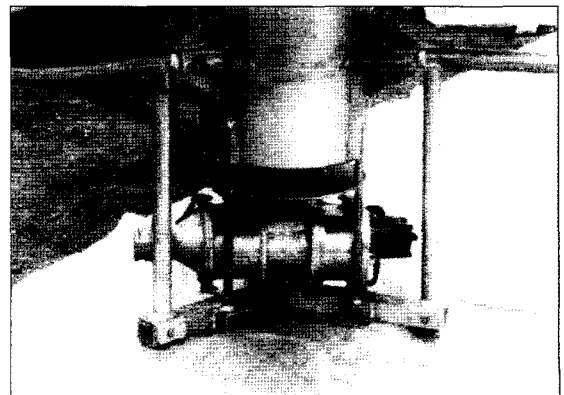


Fig. 3.1 Vortex skimmer

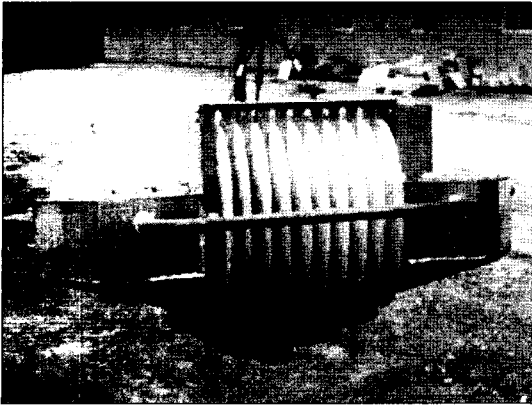


Fig. 3.2 Disc skimmer

3.2.1 시험유(油)

본 연구에 사용된 시험유는 병커C유로 이에 대한 특성은 Table 3.2에 정리하였다.

Table 3.2 Characteristics of Test Oil

제품명	저유황 중질중유 (Low Sulfur Bunker-C)
시험 항목	시험 결과
비중, @50 °C	0.989
점도, @52 °C(CST)	200
황분	0.87
수분 및 침전물 VOL(%)	0.05

3.2.2 시험수조 및 장비

시험수조는 정수중에서 Vortex-Disc형 유회수기의 유회수성능을 측정하기 위한 시설로 옥외수조를 사용하였다.

- 수조제원(길이×폭×깊이) : 6.0×3.0×7.0 m
- 사용수 : 지하수
- 구 조 : - 콘크리트 구조(4각형)
- 길이방향의 한쪽면이 아크릴판으로 되어있어 기름이 회수되는 부분을 관찰 가능

시험장비는 아래와 같으며 수조내에 병커C유 540ℓ를 살포하여 유층 두께를 30mm로 살포한 다음 유회수기를 통하여 수거하였다.

- 비중계 : 병커C유의 비중계측용
- 디지털 온도계 : 사용수 및 병커C유의 온도계측용

- 디지털 Rpm 측정기 : 브러쉬 벨트의 회전수계측용

3.3 성능평가

3.3.1 성능평가방법

1997년 12월 30일부터 시행된 해양오염방지법 제49조2 및 동법시행령 제27조 제2항의 규정에 의거 방제선 및 유류이송에 관련한 해양시설물 및 선박은 “방제선과 방제장비의 기름회수능력 인정방법에 관한 사항”에 따른 시험 인증방법에 따라 정수중에서의 유회수 성능을 시험하였다.

- 유회수량(ORR ; Oil Recovery Rate) :

유회수량의 계산은 각 시험단계에서 수거된 기름의 회수량을 분당(Minutes)측정하여 시간당 회수량으로 환산하는 값을 사용한다.

- 유회수율(RE(%) ; Recovery Efficiency) :

유회수율의 계산은 각 시험단계에서 수거된 기름의 회수율을 측정하는 것으로 유회수율은 다음 공식에 의하여 계산된다.

$$\frac{\text{수거된 기름의 량} \times (1 - \%bs \ \& \ w)}{\text{전체수거량}} \times 100$$

여기서, bs : 부유물 및 쓰레기

w : 물

3.3.2 성능평가 조건

본 연구는 수조시험을 통하여 Vortex-Disc형 유회수기의 유회수성능 및 펌프 자체의 이송량(m³/h)을 측정하는데 있다. 이에 대한 성능평가 조건은 다음과 같다.

- 시험내용 : 유회수량과 유회수효율 측정
- 시험 유 : 병커C유
- 유층두께 : 30mm

3.3.3 시험절차

본 연구에서 수행된 시험평가의 절차는 다음과 같다.

- ① 시험유인 병커C유의 유층두께를 산정하기 위하여 수조의 단면적을 계산하였다.
 - 수조의 평균 단면적(m²) : 18.0 m²
 - 수조길이 6m × 폭 3m = 18.0 m²
 - 병커C유량 : 0.54m³
 - 유층두께(mm) = 0.54 ÷ 18.0 = 30mm
- ② 병커C유를 수조내에 살포한다.
- ③ 병커C유의 두께가 균일해지도록 일정시간

- 경과한 후 수조내 온도를 계측한다.
- ④ Vortex-Disc형 유회수기를 수조내에 투입하여 시험준비를 한다.
 - ⑤ 욕상에 일정규격의 저장탱크(1.0톤용량)을 준비하여 회수통의 초기높이를 계측한다.
 - 저장탱크의 규격 : 길이 1.0m × 높이 1.0m × 폭 1.0m
 - ⑥ 유회수기가 30초동안 수거한 회수량을 준비된 저장탱크에 이송한다.
 - ⑦ 수거한 양을 회수통의 초기높이와 30초후의 높이와의 값을 빼면 이때의 최대유회수량을 계측할 수 있다.
 - ⑧ 유회수효율은 이송펌프를 통하여 저장탱크에서 회수한 기름을 Sampling하여 계측한다.

3.3.4 이송펌프 성능평가

본 연구를 통한 스크류펌프의 이송량(m³/h)은 Vortex형 유회수기를 장착한 후 일정한 깊이에서의 스크류펌프의 이송능력을 계측하였다. 이송펌프의 시험 데이터는 수조내에서 3회 시험하였으며 그 시험결과는 Table 3.3에 정리하였다.

Table 3.3 Test results of a screw pump

PUMP EVALUATION DATA				
날 짜	시험유	물	15 °C	
'99. 4. 01				
이 송 성 능(m ³ /h)				
Test # 1			49.6	
Test # 2			51.1	
Test # 3			51.0	

3.3.5 Vortex-Disc 유회수기 성능평가

본 연구를 통한 Vortex-Disc형 유회수기의 유회수 성능평가를 위한 시험조건 및 범위는 다음과 같다.

- 유층두께 : 30 mm
- Vortex 임펠러의 최대회전수 상태
- Disc 회전수 : 130rpm

Vortex 유회수기와 Disc형 유회수기의 시험 데이터는 3회 시험하였으며 그 시험결과는 각각 Table 3.4와 Table 3.5에 정리하였다.

Table 3.4 Test results of a vortex skimmer

OIL SKIMMER EVALUATION DATA					
날 짜	시험유	방카C유	비중	0.989	
'99. 4. 01		물	온도	14 °C	
			온도	15 °C	
시 험 조 건			회 수 성 능		
Test #	유층두께 (mm)	회전속도 (rpm)	회수량 (RR,m ³)	회수효율 (RE,%)	비고
1	30	80	30.2	60.8	
2			30.6	61.9	
3			31.8	59.8	

Table 3.5 Test results of a disc skimmer

OIL SKIMMER EVALUATION DATA					
날 짜	시험유	방카C유	비중	0.989	
'99. 4. 01		물	온도	14 °C	
			온도	15 °C	
시 험 조 건			회 수 성 능		
Test #	유층두께 (mm)	회전속도 (rpm)	회수량 (RR,m ³)	회수효율 (RE,%)	비고
1	30	130	30.6	87.2	
2			33.0	86.5	
3			28.2	91.8	

4. 결과해석 및 분석

4.1 시험결과

Vortex-Disc형 유회수기의 최대 유회수량(m³/ h) 및 유회수효율을 계측하기 위하여 Table 3.1~ Table 3.3에 정리한 바와 같이 수조에서 3회 시험을 수행하였다.

- 스크류펌프의 이송량(m³/h)은 3번 수행한 값의 평균값으로 계산하였다.
 - (49.6 + 51.1 + 51.0) ÷ 3 = 50.6(m³/h)
- Vortex형 유회수기의 유회수량(m³/h)은 유층 두께 30mm에서 3번 수행한 값의 평균값으로

로 계산하였으며, 유회수효율(%)은 Sampling 방법을 통하여 평균값으로 산정하였다.

- $(30.2 + 30.6 + 31.8) \div 3 = 30.8(\text{m}^3/\text{h})$
- $(60.8 + 61.9 + 59.8) \div 3 = 60.8(\%)$
- Disc형 유회수기의 유회수량(m^3/h)은 유층두께 30mm에서 3번 수행한 값의 평균값으로 계산하였으며, 유회수효율(%)은 Sampling 방법을 통하여 측정한 값의 평균값으로 산정하였다.
- $(30.6 + 33.0 + 28.2) \div 3 = 30.6(\text{m}^3/\text{h})$
- $(87.2 + 86.5 + 91.8) \div 3 = 88.5(\%)$

4.2 결과분석

4.2.1 Vortex 유회수기 성능

본 연구에서 수행한 Vortex-Disc형 유회수기중 Vortex형식은 유출된 유류가 오일폼에 의하여 가두어진 상태에서 점도가 높은 유류일지라도 유상화 되기전에 사용하면 수거효과가 우수할 것으로 생각되며, Vortex의 발생에 따른 유회수효율을 증가시키기 위해서는 유층두께에 따른 임펠러의 회전수를 적절하게 조절하여 사용하는 것이 중요하다. 즉 Vortex Skimmer의 유회수효율(RE)은 아래의 함수에 의존한다.

$$E = f(Re, \nu, V_f, O_t, D)$$

- 여기서, Re : Reynold Number,
 ν : 유류의 점도(Viscosity),
 V_f : 임펠러의 회전수(rpm)
 O_t : 유층두께(Oil Thickness),
 D : 침수깊이(Depth)

Fig. 4.1은 Vortex형식 유회수기가 임펠러의 회전수에 따라 Vortex를 발생시키면서 기름을 비중차에 의하여 수거하는 것과 임펠러의 회전수를 점차적으로 증가시키면 Vortex의 생성이 깨지는 광경을 정리하였다.

4.2.2 기존 Vortex 유회수기 성능평가

선진국의 Weir Vortex Skimmer의 W-2 (Walosep)경우 중질유(Crude Oil)인 경우 점도가 200cst 까지는 유회수량(ORR)이 14~18 m^3/h 범위에 있으며, 유회수효율(RE)은 95~100%의 범위에 있다. 그러나 점도가 높거나 에멀전이 진행된 병커C유의 경우에는 유회수량(ORR)이 2~5 m^3/h 범위에 있으며, 유회수효율(RE)은 17~47%의 범위에 있다(Table 4.1).

Table 4.1 Tests of the W-2 weir vortex skimmer

시험조건	유종(油種)	유층두께(mm)	유회수효율(%)	유회수량(m^3/h)
정수중 파고(0.3~0.8m) “	<u>IPS sweet crude</u> 7.7~8.7cst	45	95	16
	9.3~11.8cst		100	16
	24cst		100	24
정수중 “ “ 파고(0.3~0.73m) “	<u>병커C유</u> 64% 에멀전	45	17	2.0
	56% 에멀전		30	3.0
	67% 에멀전		38	2.0
	67% 에멀전		47	5.0
	70% 에멀전		10	2.0
정수중 “ “ 파고(0.4~0.7m) “	<u>Terra Nova Crude</u> 6% 에멀전, 36cst	45	100	14.0
	21% 에멀전, 50cst		100	14.0
	25% 에멀전, 50~37cst		100	14.0
	10% 에멀전, 30cst		100	14.0
	87% 에멀전, 220cst		100	18.0

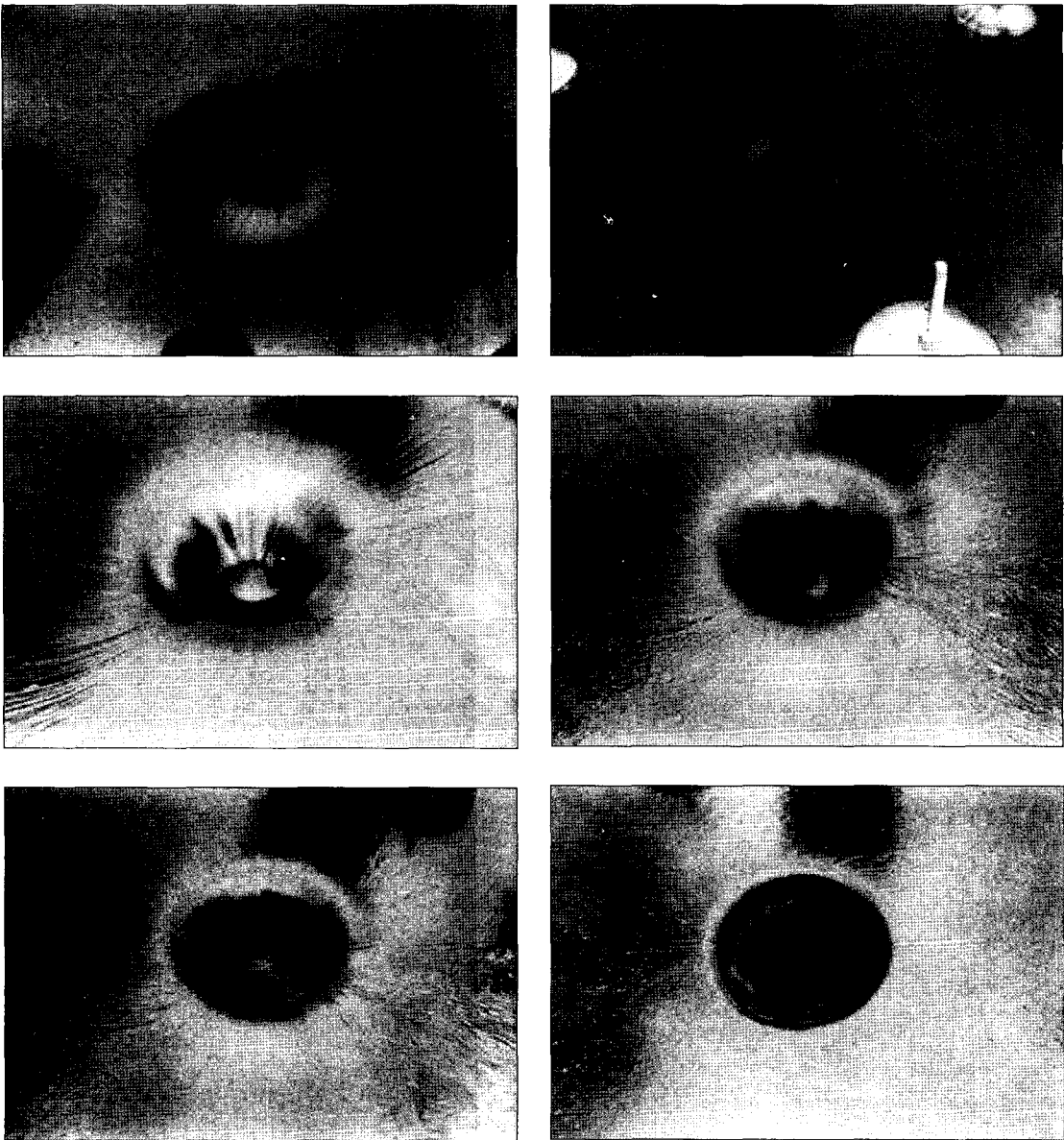


Fig. 4.1 Concentrating effect of vortex skimmer

Induced Flow Weir Skimmers의 제품인 Price-Darnall Pup(PUP)의 경우 정수중에서 유층두께 5mm에서 유회수량(ORR)이 1.76m³/h, 유회수효율(RE)은 93%의 범위에 있으며, 예인속도 0.5노트, 유층두께 5mm인 상태에서는 유회수량(ORR)이 0.68m³/h범위에 있으며, 유회수효율(RE)은 82%의

범위에 있다.

4.3.3 Disc 유회수기 성능

Disc형식의 유회수기는 유회수효율 관점에서는 Vortex형식에 비하여 우수하며, 고점도유인 병커 C유를 대상으로 하는 경우에는 기름이 유상화되

기 이전에 사용하는 것이 유회수량을 증가할 수 있으며, 점도가 낮은 경질유에서는 유류 수거효과가 증가될 것이다. Fig. 4.2는 Disc형식 유회수기가 수조내에 벙커C유를 수거하는 장면을 정리하였다.

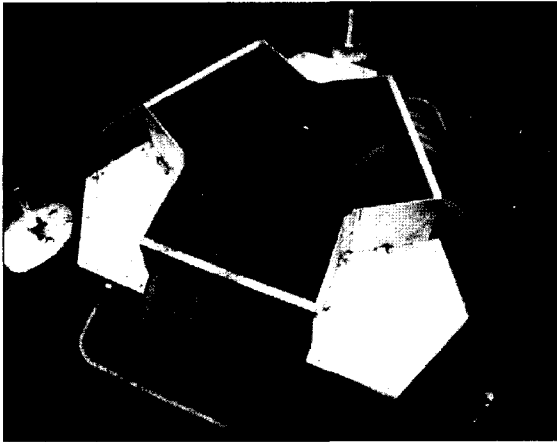


Fig.4.2 Oil Skimming of the Disc Skimmer

5. 결 론

본 연구에서는 국내 방제장비 제조업체인 에덴환경에서 개발한 Vortex-Disc형 유회수기(모델명 : VDS-50)의 유회수 성능평가를 수행하였다. 본 연구를 통하여 수행된 시험결과를 정리하면 다음과 같다.

5.5.1 스크류펌프의 이송량

Vortex-Disc형 유회수기의 하부에 설치된 상태에서 물을 이송하는 이송량은 평균적으로 약 50.6 m³/h으로 측정되었다.

5.5.2 Vortex 유회수기 성능

옥외수조내의 정수중에서 벙커C유 유층두께 30mm에서 평균 유회수량(Recovery Rate) 30.8 m³/h이었으며, 최대 유회수량(Max.Recovery Rate)은 31.8m³/h이었다. 또한 이때의 유회수효율(Recovery Efficiency) 60.8%로 측정되었다. 이러한 결과는 외국의 제품인 Walosep과 비교하여 정성적인 측면(벙커C유가 유상화된후)에서는 VDS 50과 비교하기는 어려우나, 국산화 개발된 Vortex

Skimmer가 우수한 것으로 생각된다.

5.5.3 Disc형 유회수기 성능

상기의 Vortex Skimmer 시험조건과 같은 조건하에서 평균 유회수량(Recovery Rate)은 30.6m³/h이었으며, 최대 유회수량(Max.Recovery Rate)은 33.0m³/h으로 측정되었다. 또한 유회수효율(Recovery Efficiency) 평균값은 약 88.5%이었다.

향후 본 연구를 통하여 Vortex-Disc형 유회수기중 Vortex형 유회수기에 대한 유층두께 변화에 따른 임펠러의 최적 회전수와와의 관계를 정리하는 것과 다른 유종(油種)에 대하여 유회수성능을 규명하는 연구 및 같은 종류의 유류라 할지라도 유상화되기전과 후의 기름의 특성 변화에 따른 유회수성능의 차이에 대한 실험을 수행할 예정이다.

후 기

본 논문은 에덴환경에서 의뢰한 “Vortex-Disc형 유회수기 개발” 연구결과중 일부를 포함한다.

참고문헌

- [1] 유정석, 1999.4., “Vortex-Disc형 유회수기 개발”, 한국기계연구원 연구보고서 BSI 201-2152.D
- [2] 장근식, 노오현, 1991.6. “자연과 기술에서의 와유동(번역판)”, 대영출판사
- [3] “Transrec 250 Technical Specification-Catalogue”, Framo Oil & Gas Division
- [4] Robert Schulze, 1998.10 “Oil Spill Response Performance Review of Skimmers”, American Society for Testing and Material
- [5] Robert Schulze, 1999.3 “World Catalogue of Oil Spill Response Products(1999/2000)-Seventh Edition”, ISSN 1076-4666,