

수차형 유회수기의 개발

노준혁* · 박안진* · 강상훈* · 이영식* · 김종현* · 윤범상**

* : 플러스 인터내셔널, ** : 울산대학교 수송시스템 공학부

Development of Water Wheel Type Oil Skimmer

J.H. Rho*, A.J. Park*, S.H.Kang*, Y.S.Lee*, J.H.Kim*, B.S.Yoon*

* : Plus International Co., Ltd. ** : Transportation System Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea

KEY WORDS : Oil Skimmer(유회수기), Orifice(오리피스), Water Wheel(수차), Recovery Rate(회수율)

ABSTRACT: The ocean is now increasingly suffering from pollution mainly caused by oil spill accidents with increasing marine transportation. It causes not only the deterioration of ocean resources but also critical damage on the ocean ecosystem.

Present study is an experimental one for the development of the oil skimmer which can collect spilled-oil actively and effectively from the sea surface. As an effort of achieving it, a new type of water wheel attached oil skimmer was devised, based upon the concept of orifice

The shapes of the water wheel, blades and oil storing tank are found to be very important factors on the oil skimming performance through systematic experimental analysis. Real oil recovery test was also carried out in square tank using the oil skimmer with their optimal shapes. Quite satisfactory results are obtained from the test which showed 99% and 98% recovery rates for light oil and heavy oil in still water condition, respectively

1. 서 론

산업 물동량의 증가에 따라 해상운송이 점차 증가하고 있으며, 이에 따른 대형선박의 증가와 더불어 선박의 충돌이나 선박좌초 등으로 인한 해상사고가 빈번하게 일어나고 있다. 이러한 해상사고의 발생시 수반되는 해양오염의 실태는 상상을 초월할 정도로 심각한 실정이다. 또한, 이와 같은 해상사고 외에도 공장 등에서 여러 가지 원인에 의하여 해상으로 배출되는 폐수, 폐유는 자국에 한정되는 것이 아니고, 인접국가에도 심각한 영향을 주므로 세계 각국은 이러한 사고를 방지하기 위하여 많은 노력을 해오고 있다.

국제해사기술(IMO : International Maritime Organization)은 선박에 의한 해양오염을 방지하기 위하여 MARPOL73/78을 제정하였으며, 유류 오염사고 발생시 국제협력에 의한 대응방법으로 OPRC(Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation)을 제정하여 국제적으로 적용해 오고 있다.

근래에는 국내 연안에서도 선박의 해난사고가 빈번히 발생하여 주변 어장의 황폐화와 해양환경의 파괴가 심각한 실정이다. 이와 같은 유류 유출에 의한 해양환경 파괴

를 능동적으로 방지하고, 국제간의 해양오염방지에 공동대응할 수 있도록 하기 위해서는 우리 나라도 체계적인 오염방제 기능을 갖추어야 한다.

해양오염사고가 발생하면 해양에 유출된 기름을 제거하는 직접방제에도 막대한 비용과 시간이 소요되지만, 해양오염으로 인하여 파괴된 환경의 원상회복에 더욱 더 많은 시간과 간접비용이 들게 된다. 이러한 해양오염사고에 의한 피해는 매년 증가하고 있으며 우리에게 많은 고통을 주고 있다.

실례로, 1989년 알래스카 해안에서 발생한 유조선 Exxon Valdez호의 좌초로 인한 기름유출사고는 복구비용으로 20억불, 보상금으로 30억불이 지출되었다. 우리 나라 주변에서도 1994년 이후 현재까지 Sea Prince호 사고, Alexandria호 사고, 유일호 사고 등의 대형사고가 발생하였고, 피해도 심각하였으며, 이러한 누유 사고는 매년 증가하고 있다. 따라서, 누유사고를 최소화하기 위해서는 해상교통 통제시스템의 확립, 충돌 및 좌초회피시스템의 개발 및 탑재, 선박 운항자에 대한 지식 및 기술교육훈련 등이 필요하다. 그러나, 해상물동량의 증가, 해상공간 및 해저자원의 확보를 위해 바다를 선점하려는 각국의 경쟁 등은 상기의 노력을 무색하게 하고 있어 사고의 증가는 피할 수 없을 것이라는 것이 관련전문가들의 공통된 견해이다. 따라서, 이에 대한 대비책으로 효율적인 방제대책의

수립이 요구된다.

한번 해상에 유출된 기름은 해양표면에 기름막을 형성하여 대기와 해양간의 물질순환을 방해하고, 태양광선의 투과를 저해하여 해양생물에 간접적인 영향을 미치게 된다. 점성이 높은 유류의 경우는 기름띠를 형성하여 해역의 시설물에 부착하거나 해안에 접하여 직접적인 피해와 생태계의 파괴를 유발한다. 또한, 유출된 유류는 자신의 물리, 화학적 성질에 의해 확산되고 동시에 조류, 바람, 파도, 기타 해류 등에 의해 다른 지역으로 이동을 하게 되므로, 해상에 누유 사고가 발생하게 되면 초기방제가 무엇보다 중요하다. 그러므로, 해양오염 사고가 발생하였을 경우 유출된 기름을 적극적으로 신속히 회수·제거하는 방제장비의 개발이 필수적이다. 따라서, 본 연구에서는 기름유출 지역으로 신속히 이동할 수 있고, 임의 선박에도 탈/부착이 가능한 방제장비로 수차를 장착한 유회수기를 연구·개발하게 되었다.

2. 유회수 원리

본 연구에서 개발하고자 한 유회수기는 2개의 수차와 1개의 기름 저장부로 구성되어 있으며, 유층의 두께를 점차 두껍게 하기 위하여 유회수기의 전방에서 후방으로 갈수록 수선면의 면적이 작아지도록 하였다. 전방 수차는 유회수기 전방의 기름을 유회수기 내부로 끌어당기는 역할을 하며, 후방 수차는 유회수기 내부에 모인 기름과 해수 중에서 기름만을 효과적으로 저장부로 보내는 역할을 하도록 하였다. 기름수거 효과를 높이기 위하여 수차 하부에는 경사판을 설치하였다.

유회수기의 저장부에 모인 기름은 해수와의 비중차에 의해 가벼운 기름만 저장탱크에 모이고, 무거운 해수는 유회수기 밖으로 빠져나가게 하였다. 저장부의 입구는 오리피스판 형태로 제작하였다. 이는 후방 수차를 통해서 유입된 기름이 저장부로 쉽게 빨려 들어가게 하기 위함인데, 유입구에 비하여 배출구가 좁으므로 상대적으로 유속이 빨라져 기름이 효과적으로 저장탱크로 이송된다. 저장탱크로 이송된 기름은 펌프를 이용하여 모선으로 수거한다.(Fig. 1, Fig. 2 참조)

3. 실험

3.1 실험장비 및 실험에 사용된 모델

■ 실험장비

실험은 울산대학교에서 보유하고 있는 사각 수조에서 수행하였으며 제원은 다음과 같다. (Fig. 3 참조)

시험장소	울산대학교 조선해양실험동
사각 수조의 제원 (정수중 테스트)	3200×1500×600 (L×B×D : 단위 mm)

■ 실험 모델

실험 모델은 실물크기의 1/2 Scale로 하였으며, 재질은 수차를 통해 유회수기 내부로 들어가는 기름의 거동과 유회수 효율을 급격히 떨어뜨리는 기포발생을 관찰하는데 용이한 아크릴을 이용하였다. 개략도는 Fig. 1과 같다.

3.2 제작시 고려 사항

■ 유회수기의 크기와 무게

본 유회수기는 전용 유회수선과는 달리 임의의 선박에 탈/부착이 가능하도록 설계되어야 하므로 유회수 효율만을 고려하여 크기와 무게를 정하는 것은 바람직하지 못하다. 즉, 운반의 용이성 및 탈/부착할 선박의 특징 등을 고려하여 크기와 무게를 결정해야 한다.

본 유회수기의 크기는 초기 방제작업에 신속히 투입할 수 있도록, 소형 트럭으로 운반이 가능한 크기를 기본 안으로 하여 제작하였다.

■ 모형유회수기 내부 수차 설계

수차는 기름 이송이 원활하도록 설계되어야 하며, 수차 Blade의 형상은 평판형 Blade와 굴곡이 진 Blade로 구분될 수 있다. 본 연구에서는 평판형을 기본으로 하여 제작하였으며, 성능비교를 위하여 일정한 각도로 굴곡이 진 Blade를 제작하였다. 수차 Blade 수는 4개의 Blade를 갖는 수차를 기본으로 하여, 점차적으로 수차 Blade의 숫자를 증가시켜 이송능력이 가장 좋은 Blade수를 결정하였다.

■ 모형유회수기 내 수차 작동모터 설계

수차는 모터에 의해서 작동하게 되는데, 모터 장착위치, 동력연결방법, 적정 R.P.M.의 결정 등이 설계에 있어 중요한 인자들이다. 본 연구에서는 가변 모터를 사용하여 유출된 기름양에 따라 회전속도를 조절할 수 있도록 하였다.

■ 유회수기내 임시 저장된 기름의 이송펌프

수거된 기름의 이송펌프 크기와 형식 결정 또한, 수거 효율을 높이는 데 중요한 인자들이다.

이송펌프를 각각의 유회수기에 설치하여 수거된 기름을 모선으로 보낼 수도 있지만, 이 경우 제작비의 손실뿐 아니라 유회수기의 중량 증가와 함께 Tank의 면적 손실이 있으므로, 본 연구에서는 모선에 대용량의 펌프를 설치하고 유회수기에는 펌프라인만 연결하는 방식을 선택하였다.

4. 성능 테스트

■ 유회수 성능 시험항목

실제 유회수기에 있어서 유회수 성능 평가는, 1997년 12월 30일부터 시행된 해양오염방지법 제49조 2 및 동법 시행령 제27조 제 2항의 규정에 의거한다. 즉, 방제선 및 유

류이송에 관련한 해양시설물 및 선박은 “방제선과 방제장비의 기름회수능력 인정방법에 관한 사항”에 따른 시험인증방법에 따라 시험을 수행해야 한다.

ㄱ. 유회수량(ORR : Oil Recovery Rate):

유회수량의 계산은 각 시험단계에서 수거된 기름의 회수량을 분당(Minute)추정하여 시간당 회수량으로 환산한 값을 사용한다.

ㄴ. 유회수율(RE(%)) : Recovery Efficiency):

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

$$RE = \frac{\text{수거된기름의량}}{\text{전체수거량}} \times 100\%$$

■ 시험절차

- ① 시험유의 유층 두께를 산정하기 위하여 수조의 단면적을 계산한다.
- ② 시험유를 수조에 살포한다.
- ③ 시험유의 두께가 균일해지도록 일정시간 경과 후 수조 내부의 온도를 계측한다.
- ④ 유회수기를 투입한다.
- ⑤ 육상에 저장 탱크를 준비하여 초기 높이를 측정한다.
- ⑥ 유회수기가 일정시간 동안 수거한 회수량을 준비된 저장탱크로 이송한다.
- ⑦ 수거량은 회수통의 초기높이와 일정시간 후의 높이와의 차를 계측한다.
- ⑧ 유회수율은 이송펌프를 통하여 저장탱크에서 회수된 기름을 Sampling하여 계측한다.

■ 정수중 성능 테스트(실제 기름 사용)

정수중 유회수기의 유회수 성능을 시험하기 위하여, 1/2 Scale의 유회수기를 제작하여 사각수조에서 시험을 수행하였다.

▷ 시험 장비 배치

모선 역할을 하는 Table위에 펌프를 설치하여 유회수기에 모아진 기름을 흡입하도록 장비를 배치하였으며, 유회수기에는 아무런 구속도 하지 않았다. 흡입량을 조절하기 위하여 유회수기에 모아진 기름의 양에 따라 RPM을 변화시킬 수 있는 가변 모터를 설치하였다. 이는 실제 해상에서도 반드시 수행되어야 하는 기술로서, 수거를 효율적으로 수행하는데 필수적인 기술이다. 즉, 유회수기안에 일정한 양의 기름이 차있도록 하면, 펌프로 기름을 흡입할 시,

불순물(물)이 흡입되지 않는다. (Fig. 3참조)

▷ 시험에 사용된 기름의 특성

유회수 시험은 실제 기름을 사용하였다. 기름은 경(輕)질유와 중(重)질유를 사용하였으며, 경질유로는 경유를 사용하고, 중질유로는 벙커-A를 사용하였다.

기름종류	밀도(kg/m ³) at 15℃	투입량
경유	약 8.3×10 ²	20 l
벙커-A유	약 9.0×10 ²	20 l

▷ 시험조건 및 시험 내용

시험 조건	<ul style="list-style-type: none"> · 수조온도 4℃ · 수차 R.P.M. : 3.5v 10 Cycle/27sec (중속) · 흡수 235 mm (유회수기 높이 : 245mm)
시험 내용	<ul style="list-style-type: none"> · 시험 1. 경유 20l을 수조에 뿌린 후 모형 유회수기의 유회수 성능시험 · 시험 2. 벙커-A유 20l을 수조에 뿌린 후 모형유회수기의 유회수 성능시험

▷ 시험 결과

시험에 앞서 사각 수조에 부은 기름의 유층 두께가 내략 4mm정도로 일정해지도록 얇은 판으로 기름을 잘 지어 주었다. 이후 수온을 체크하고 유회수기를 작동 시켜 시험을 시작하였다.(수온 체크는 기름의 점성을 파악하기 위한 기본 자료이므로 정확히 체크해야만 한다.) 회수량과 회수율 측정뿐만 아니라 유회수기 내에서의 유동 현상을 관찰하기 위해 비디오 카메라와 디지털 카메라를 이용하여 시험과정을 보존하였다.

Fig. 4는 벙커-A유 20ℓ를 수조에 뿌리는 장면이며, Fig. 5는 유회수기를 작동시킨 후 20분이 경과한 그림이다. 대부분의 기름이 수거되었음을 볼 수 있다. Fig. 6은 경유 20ℓ를 수조에 뿌리는 장면이다. Fig. 7은 경유를 수거하기 위해 유회수기를 작동시키는 장면이다. Fig. 8은 유회수기내 임시 기름 저장소(유수 분리기)에 경유가 차있는 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 일정량 이상의 기름이 임시 저장소(유수 분리기)에 저장되어 있도록 모터의 RPM을 조절해야만 회수율이 좋아진다. 본 시험을 통해서 볼 때, 비록 불순물(물)이 많이 섞일지라도 후방수차 보다 전방수차의 RPM을 높게 하여 많은 양의 기름을 후방수차로 이송시키는 것이 효율적임을 알 수 있었다.

▷ 최종 결과

시험 구분	시험유	투입량	회수량	회수율
시험 1.	경유	20l	171,600 ml/ h	99%
시험 2.	벙커-A유	20l	54,720 ml/ h	98%

5. 결론

이상과 같이 유희수기에 대한 시험연구를 수행하여, 경질유인 경우 유희수율 99%, 중질유인 경우에는 유희수율 98%을 보이는 유희수 시험을 완료하였다. 이는, 아직 정수중 테스트에 지나지 않지만 수차형 유희수기의 가능성을 보여주는 실험으로 판단된다. 세부항목에 관한 유희수율을 평가는 아래와 같다.

■ 기름층의 두께가 얇아도 수거가 용이하다.

본 수차형 유희수기는 전방에서 후방으로 갈수록 수선면적이 줄어들도록 설계하였기 때문에 후방으로 갈수록 유층의 두께가 점점 두꺼워진다. 따라서, 얇게 확산된 기름을 회수하는데 용이하였다.

■ 수차는 반사파의 영향을 줄인다.

방제선에 유희수기를 장착하여 기름을 수거할 때, 방제선이 전진하면 반사파의 영향으로 방제선 전방의 기름이 방제선으로부터 멀어진다. 그러나, 수차가 구동되면 반사파의 영향을 줄일 수 있으며, 방제선 전방의 기름을 능동적으로 끌어당길수 있다.

■ 수차는 수거된 기름의 역류를 방지한다.

수차는 수면에 위치하여 비중이 가벼운 기름만을 유희수기 내부로 끌어당기며, 수거된 기름이 유희수기 밖으로 빠져나가는 것을 방지하도록 설계 되어있다. 따라서, 수거된 기름의 역류를 방지하여 회수율을 높일 수 있었다.

■ 경사판은 유희수율을 증가시킨다.

유희수기의 전방수차와 후방수차 사이에는 비스듬히 경사진 판이 있다. 이 경사판은 비중이 무거운 해수는 유희수기 밖으로 내보내고, 비중이 가벼운 기름은 경사판의 상부에 모이게 한다. 이는, 수차의 회전으로 순도 높은 기름만 회수유 저장실로 보내게 되므로 회수율을 높일 수 있다.

■ 회수유 저장실이 있어 회수율을 높일 수 있다.

유희수기가 수거한 기름을 곧바로 모선에 이송시키지 않고, 유희수기 내, 임시 저장실에 잠시 보관하여, 비중이 가벼운 기름만을 방제선에 이송시키는 방식을 택했기 때문에 유희수 효율을 높일 수 있었다.

향후, 본 유희수기의 성능향상을 위해 파랑 중 테스트를 수행할 예정이다. 이를 통해 파고 2m에 조류속

도 5knot인 해역에서도 회수율 90%이상인 유희수기를 개발하고자 한다. 뿐만 아니라 본 개발은 Wheel Type 이므로 향후 보완 개발이 이루어진다면 해상에 부유된 쓰레기 회수도 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 최학선, 홍기용, "위어식 자항 유희수기 개발", 한국해양공학회 추계학술대회 논문집, pp.117-122, 1998.
- [2] 유정석, 최준석, "자항식 유희수기 및 이송펌프 성능평가", 한국해양환경공학회 추계학술대회 논문집, pp.95-104, 1998.
- [3] 현범수, "유희수기의 유체역학적 특성", Journal of Korea Society for Marine Environmental Engineering Vol.1, pp.66-82, 1998.
- [4] 유정석, 공의준, "Vortex-Disc형 유희수기 개발", 한국해양환경공학회 춘계학술대회 논문집, pp.33-42, 1999.
- [5] Joachim Schwarz, "Test of Oil Skimmer at Low Temperatures", MARIENV, 1995.
- [6] Toshio Suzuki, Hidenmasa Takahama, "Development of O Skimming Devices" MARIENV, 1995.
- [7] G.F. Clauss & W.L. Kuhnlein, "Innovative Vessels of The German Oil Spill Recovery Fleet", MARIENV, 1995
- [8] E. Muller, "Model Test with Oil Skimmer and Their Carr MARIENV, 1995.
- [9] Manfred Hartel, "More Safety for The German Coast of North Sea New Oil Recovery Vessel Ready for Duty", MARIENV, 1995.
- [10] 안원태, "정유공장의 방제시스템 설계", 한국해양환경공학회 추계학술대회 논문집, pp.255-260, 1999.
- [11] 이봉길, "북서태평양지역 국가간 해양오염방제체계 구축방안", 한국해양환경공학회 추계학술대회 논문집, pp.209-222, 1999.
- [12] 유정석, "유류오염 대응 방제정보시스템 개발", 한국해양환경공학회 추계학술대회 논문집, pp.197-204, 1999
- [13] 홍석원 외 8명, "해양장비 핵심기술 개발, 해상유출유 확산방지 기술 개발", 과학기술처 "해양장비 핵심기술 개발" 연차보고서, 1995.
- [14] 홍도천 외 10명, "해양유출사고 예방 및 방제장치 개발 I", 환경처, 과학기술처, "해양오염 방지기술" 최종보고서, 1993.
- [15] "해양오염방제('92)", 해양경찰청, 1992.
- [16] "해양유류오염방제지침", 환경처, 1987.
- [17] "해양오염방지법", 해양경찰청, 1999.
- [18] "해양오염방지법시행령", 해양경찰청, 1999.

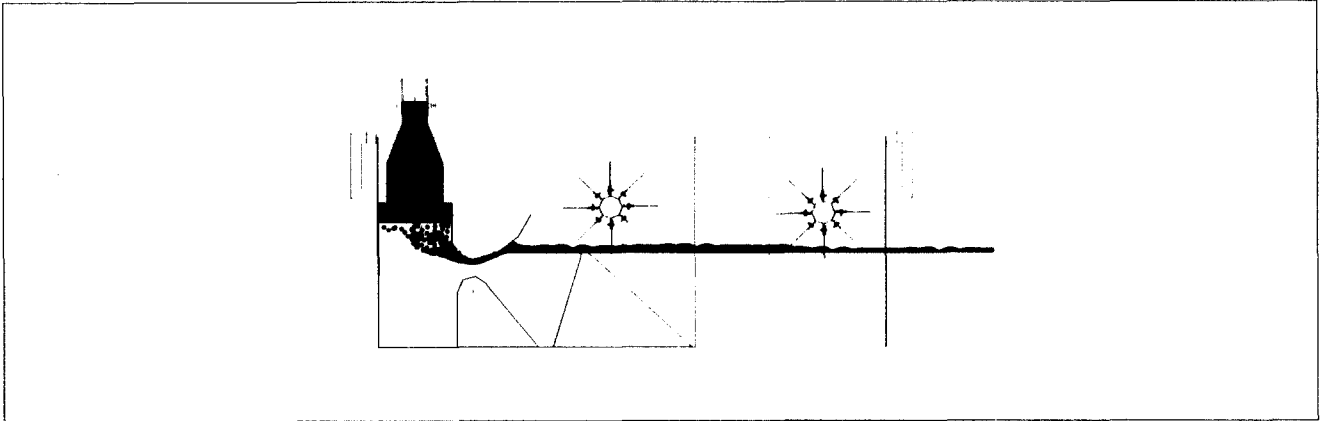


Fig. 1 Concept View of Oil Skimmer

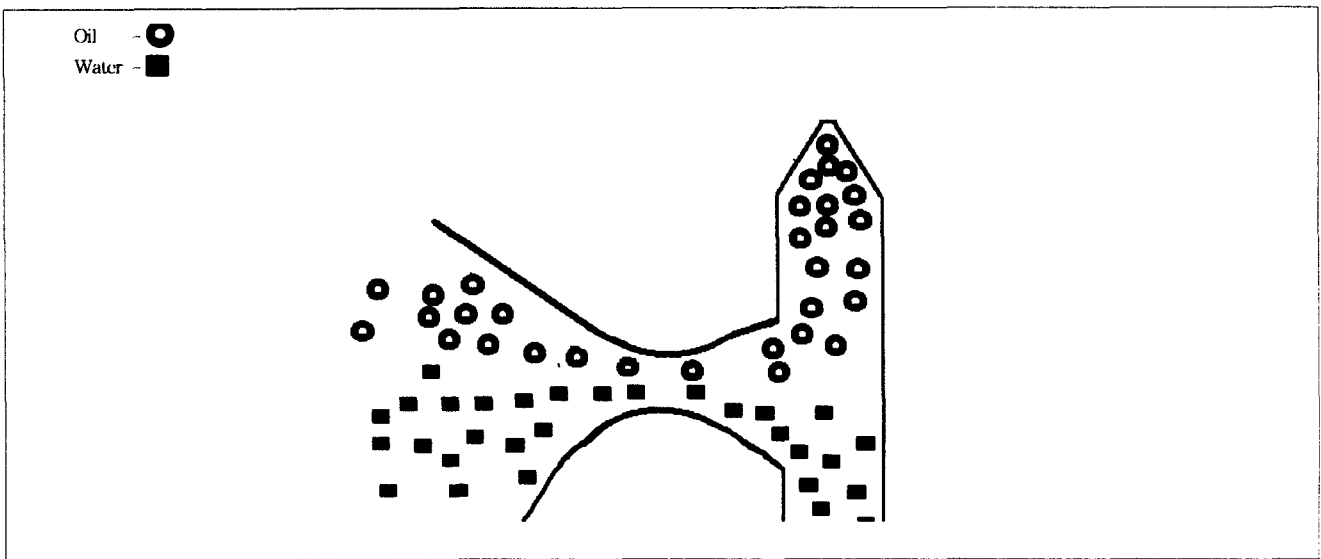


Fig. 2 Principle of Oil Skimmer

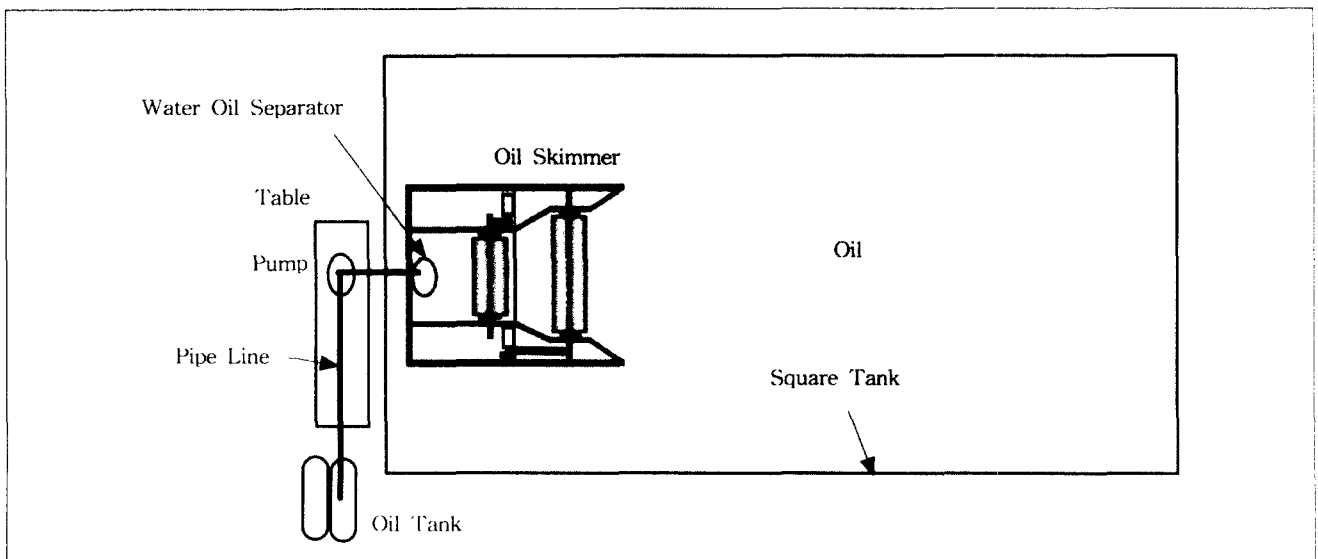


Fig 3. Square Tank for Calm Water Test



Fig 4. Before of Oil Recovery
(Heavy Oil)

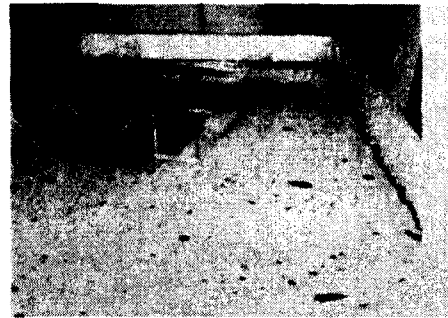


Fig 5. After Oil Recovery
(Heavy Oil)

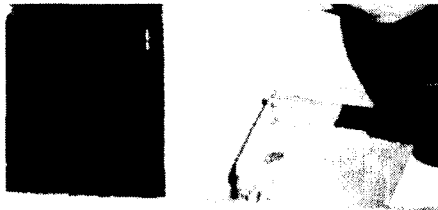


Fig 6. Before of Oil Recovery
(Light Oil)

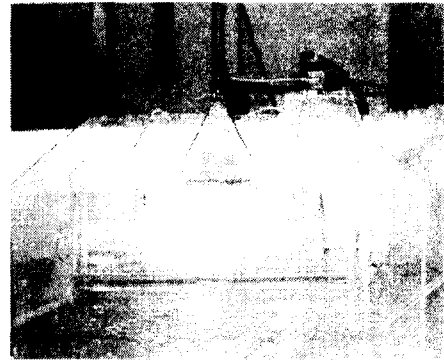


Fig 7. Before of Oil Recovery
(Light Oil)

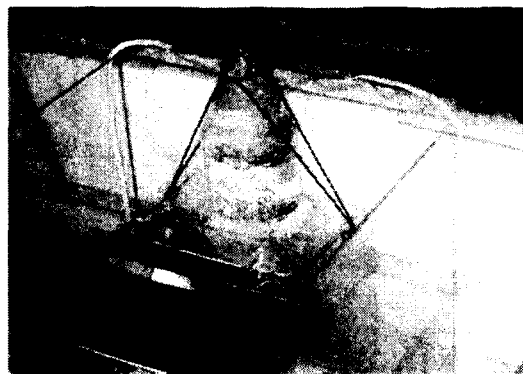


Fig 8. Water Oil Separator