

Technical Report

전기구동 시스템을 이용한 디스크형의 자항식 유회수기 개발

박종복¹ · 이용우^{2,†} · 한상구³ · 김중재⁴ · 김도엽⁵ · 나선철⁶

¹해양환경공단 교육운영처 항해사

²해양환경공단 해양수질처 차장

³해양환경공단 교육운영처 처장

⁴성동마린 대표

⁵성동마린 실장

⁶해양환경공단 해양환경교육원 원장

Development of Self-Propelling Disk Type Oil Skimmer using an Electric Driven System

Jong-Bok Park¹, Yong-Woo Lee^{2,†}, Sang-Goo Han³, Jung-Jae Kim⁴, Do-Yup Kim⁵, and Sun-Cheol Na⁶

¹Technician, Education Administration Department, Korea Marine Environment Management Corporation, Busan 49111, Korea

²Senior Researcher, Marine Environment Monitoring Department,

Korea Marine Environment Management Corporation, Busan 49111, Korea

³General Manager, Education Administration Department,

Korea Marine Environment Management Corporation, Busan 49111, Korea

⁴CEO, SD Marine Inc., Chungcheongnam-do 32714, Korea

⁵Research Manager, SD Marine Inc., Chungcheongnam-do 32714, Korea

⁶CEO, Marine Environment Education and Training Institute,
Korea Marine Environment Management Corporation, Busan 49111, Korea

요 약

수면에 부유된 기름을 효과적으로 제거하기 위하여 기존 유압 구동식, 비자항식 유회수기의 단점(무거운 중량, 복잡한 구성, 짧은 작업 반경 등)을 개선한 전기구동 방식의 무선 컨트롤이 가능한 자항식 유회수기(KOSSED-100)를 개발하였다. KOSSED-100은 알루미늄 재질로 제작하여 무게(약 350 kg)를 감소시키고, 방제 작업시 기동성을 향상시켰으며, 수면에서 본체(skimmer head)의 요동을 방지하기 위해 본체의 좌우 양측과 하부에 안정판을 부착하였다. 해상에 유출된 기름의 기계식 회수를 위해 디스크(총 30장, 지름 380 mm, 두께 3T)를 이용한 방식을 채택하였다. 유회수기 중앙에 위치한 호퍼(hopper)로 회수된 기름은 호퍼 바닥에 설치된 자연 흡출식 펌프(2대)를 통해 외부로 신속하게 이송할 수 있도록 설계하였다. 유회수기의 자항이 가능하도록 본체 하부 양현에 추진기를 설치하였으며, 무선 리모트 컨트롤러로 조작이 가능하도록 하였다. 시험수조에서 경질유(벙커A)를 이용하여 측정한 KOSSED-100의 단위 시간당 최대 회수량은 평균 112.17 m³/h였다. 본 장비는 기존 동급의 유압식 유회수기들과 비교했을 때 경량화 및 사용자 편리성이 대폭 향상되어 향후 해양에서 기름 유출 시 신속하고 효율적인 방제 작업이 가능할 것으로 판단된다.

Abstract – To effectively remove oil suspended on the surface of water, we have developed a self-propelled, electrically powered oil skimmer (KOSSED-100), which can be wirelessly controlled. Previously widely used oil skimmers adopted hydraulic driving and non-self-propelled methods, which carried disadvantages including heavy weight, complex structure, and short working radius. The KOSSED-100 uses aluminum to minimize weight (approximately 350 kg) and improve mobility in responding to an oil spill. Stabilizers are attached to both sides, and to the bottom of the skimmer head to stabilize against fluctuations in the sea. For mechanical recovery of oil spilled over water, a disc (30 sheets in total, 380 mm in diameter, 3T in thickness) collection mechanism was adopted. Recovered oil is temporarily stored in a hopper inside the oil skimmer head. KOSSED-100 has been designed to permit rapid oil transfer to external storage through dual pumps installed on the bottom of the hopper. Thrusters have been installed

[†]Corresponding author: wbluese@koem.or.kr

on both sides of the lower part of the skimmer head so that it can be moved independently, and can be operated via a wireless remote controller. The oil volume recovered per unit hour by KOSED-100 was measured using light oil (Bunker-A) in a test tank. The maximum recovery rate was 112.17 m³/h. This newly developed oil skimmer offers significantly reduced weight and enhanced user convenience compared to previously used hydraulic oil skimmers, and is expected to enable rapid and efficient oil spill responses in the sea.

Key words: Oil skimmer(유회수기), Disk type(디스크형), Electric driven system(전기구동 시스템), Oil spill(기름 유출), Marine pollution(해양오염)

1. 서 론

산업의 발달로 세계적 해상 물동량 증가 및 해양 레저 활동의 증가로 인하여 해양사고의 위험성은 더욱 증가하고 있으며(Lee *et al.*[2011]; Lee *et al.*[2019]), 선박의 대형화 및 고속화 등으로 인한 대형 해양오염사고 발생의 잠재적 위험성이 증가하고 있다. 국내 해역에서 국적선에 의한 해양오염사고(2009~2018년)는 연평균 약 187건 발생하였고, 이로 인해 해양으로 유출된 유류의 양은 연평균 약 202톤에 이른다(KCG[2019]). 기름 유출은 해양환경 뿐만 아니라 해양생물에게 직·간접적으로 영향을 미치게 된다(Burger and Fry[1993]; Wells *et al.*[1995]). 1967년 영국 남서부 해안에서 발생한 ‘토레이 캐니언(Torrey Canyon)’ 원유 유출사고로 인하여 10만 마리 이상의 바닷새가 사망하였으며(Bourne *et al.*[1967]), 2010년에 발생한 ‘딥워터 호라이즌(Deepwater Horizon)’ 기름 유출 사고는 멕시코만으로 유입되어 수천 마리의 바닷새, 포유류, 멸종위기종 등이 목숨을 잃었다(Corn and Copeland[2010]). 해상으로 유출된 휘발유와 같은 비지속성 기름은 대부분 휘발되지만 원유나 벵커C 유의 경우 대부분 휘발되지 않고 수면에 부유하게 되고 일부는 물과 혼합되어 에멀전(emulsion) 형태의 덩어리를 형성하여 조간대와 해안환경에 장기적으로 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 기름 유출이 해양생태계에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 해상으로 기름 유출시 신속한 대응이 가장 중요하다.

유출된 기름을 방제하는 방법으로는 유처리제(dispersant) 등을 이용한 화학적 분산 처리 방법과 유회수기(oil skimmer) 등을 이용한 기계적인 방법으로 나눌 수 있다. 그러나 화학적 처리 방법은 2차 오염의 문제가 발생할 수 있어 기름을 수면으로부터 분리하여 수거하는 유회수기를 이용한 물리적인 회수가 가장 기본적인 방법 중 하나이다. 유회수기는 기름의 물리적 특성(밀도, 점도 등)을 이용하여 기름을 회수하는 장비로, 수백 톤급의 방제선에 설치되어 사용되는 것에서부터 휴대가 가능한 소형까지 다양한 형태의 장비가 개발되어 있으며, 유회수기는 작동원리에 따라 흡착식, 댐(weir)식 등으로 구분할 수 있다(Song and Yoon[1997]).

기존의 유회수기는 주로 내연기관의 힘을 이용한 유압 펌프를 사용하고 있으며, 스키머헤드, 파워팩, 유이송 펌프, 유압 호스, 유이송 호스 등으로 구성되어 있다. 기존 유회수기는 주로 방제선에 탑재되어 방제 작업에 사용되며, 방제선에 유압 펌프를 구동하기 위한 대형엔진(power pack)을 설치하고 유회수기와 다수의 유압 라인 및 유이송 라인 등이 물리적으로 연결되어 있다. 그러나 이들은 중

량이 무겁고 연결하는데 많은 시간이 소요되어 신속한 현장 투입에 어려움이 있다. 또한 각종 라인으로 연결되는 본체(skimmer head)는 기름 회수 범위(방제선으로부터 본체까지 거리)에 한계가 있어 유회수기와 방제선이 같이 이동하면서 기름을 회수해야 하는 번거로움 뿐만 아니라 안전에도 위험요인이 상존하고 있다.

본 연구에서는 기존의 내연기관의 힘을 이용한 유압 구동식, 비자항식 유회수기의 단점(복잡한 구성, 무게, 부피, 효율성, 작업환경 및 시간, 짧은 작업 반경 등)을 개선한 전기구동 방식의 무선 컨트롤이 가능한 자항식 유회수기를 개발하고자 하였으며, 기존의 동급 회수 용량의 유압식 유회수기에 비해 경량화 및 사용자 편리성을 향상시키고자 하였다.

2. 유회수 장비 개발

2.1 유회수기 장비 주요 제원

개발된 유회수기(KOSED-100)는 본체, 전원공급 컨버터(AC→DC 변환장치), 그리고 리모트 컨트롤러로 구성되어 있다(Figs. 1, 2, Tables 1, 2). 본체(skimmer head)의 무게는 약 312 kg으로 해수의 부식에 강한 해상용 알루미늄으로 제작하였으며, 크기는 가로, 세로, 높이 각각 1,300 mm, 1,300 mm, 950 mm이다. 본체와 연결되어 전원을 공급하는 컨버터의 크기는 가로, 세로, 높이 각각 130 mm, 130 mm, 90 mm로 제작하였으며, 무게는 약 26 kg이다. 무선 리모트 컨트롤러의 크기는 가로, 세로, 높이 각각 200 mm, 110 mm, 100 mm이며, 무게는 약 1 kg이다. 무선 리모트 컨트롤러와 유회수기 본체와의 최대 수신거리는 약 1 km이다.

기존의 유회수기는 구성이 복잡하며, 부피가 크고 무거운 중량으로 인하여 신속한 현장투입에 어려움이 있었으나, 본 장비는 적은 인력으로도 신속하게 현장 방제 작업이 가능하도록 제작하였다. 또

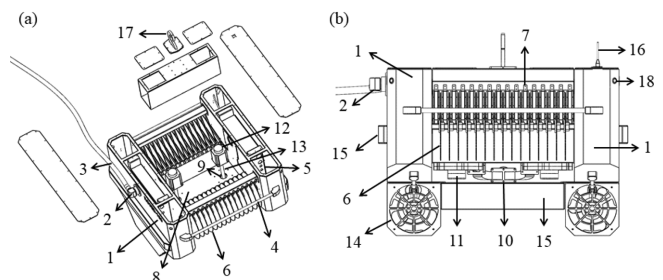


Fig. 1. A detailed design diagram of rotary disk oil skimmer (KOSED-100).



Fig. 2. The photograph of (a) the final production of rotary disk oil skimmer (KOSED-100) and (b) the scenes of KOSED-100 being tested in the field.

한 기존 유압 구동식 유회수기의 경우 파워팩 엔진에 의한 소음과 매연이 발생되지만, 전기구동 방식을 이용하는 KOSED-100은 매연과 소음 발생량이 거의 없는 장점을 가지고 있다.

2.2 전기구동

기존의 유회수기는 대부분 파워팩을 이용한 유압 구동 방식을 채택하고 있으며, 이로 인하여 장비의 무게와 부피가 증가하고 소음 및 매연으로 인하여 작업환경이 열악한 문제가 발생하였다. KOSED-100은 전기구동 방식을 채택함으로써 사용 편의성을 높이고 작업 환경 개선 및 기존 유압 구동 방식의 유회수기 대비 중량을 대폭 감소시켰다. 해상에서 누전에 의한 감전사고를 방지하기 위해 교류(입력 전원: AC 220V)를 직류(출력 전원: DC 48V)로 변환해 주는 컨버터를 설치하여 안정적으로 전원을 공급할 수 있도록 하였다. 컨버터의 용량은 약 10 kW이며, 과부하 및 누전 발생 시 2중 안전 차단장치 및 실시간 출력전원 모니터링 장치를 내장하여 안전성을 확보하였다.

Table 2. Each part name of oil skimmer (KOSED-100)

| Part No. | Part name | Part No. | Part name |
|----------|----------------------|----------|------------------|
| 1 | Buoyant body | 10 | Oil outlet |
| 2 | Power line code | 11 | Oil pump |
| 3 | Floating power cable | 12 | Pump motor |
| 4 | Safety guard | 13 | Motor shaft |
| 5 | Module box | 14 | Thruster |
| 6 | Disk | 15 | Stabilizer |
| 7 | Scraper and bracket | 16 | Antenna |
| 8 | Hopper | 17 | Crane hook |
| 9 | Oil inlet | 18 | Indicating light |

2.3 디스크 제원

해수 표층으로 유출된 기름을 효과적으로 회수하기 위하여 흡착식 디스크 형식을 채택하였으며, 유회수기의 경량화를 위하여 재질은 해상용 알루미늄으로 제작하였다. 유회수를 위한 디스크(지름 380 mm, 두께 3T)는 총 30장(15장×2열)으로 구성하였고, 디스크의 최대 회전수는 150 rpm이며, 회전수를 원격으로 조절함으로써 기름의 회수 속도를 변화시킬 수 있도록 하였다. 회전하는 디스크를 통해 호퍼(hopper)에 모아진 기름은 유이송 펌프를 통해 외부로 이송된다.

2.4 자항장치와 안정판(stabilizer)

일반적으로 해상에 기름 유출시 일차적으로 오일펜스를 이용하여 유출된 기름을 포집한 후 유회수기를 이용하여 포집된 기름을 회수하는 시스템으로 작업이 진행된다. 그러나 대부분의 유회수기는 자항장치가 없어서 기름이 포집된 위치로 이동하는데 어려움이 있으며, 유회수기의 이동을 위해서는 별도의 소형 작업선 투입이 필요하다. KOSED-100에는 전·후·좌·우 자항할 수 있도록 추진기를 장착하여 작업선의 추가 배치 없이 작업이 가능하도록 하였다. 또한 대부분의 자항장치가 없는 유회수기는 작업자의 작업 반경 내에서만 작업이 가능하지만, KOSED-100의 경우 자항장치를 장착하여 작업 반경이 기존의 유회수기 보다 넓고 천수지역, 협소지역, 잔교 하부 등 선박의 투입이 어려운 지역에서도 작업이 가능하도록

Table 1. Major specifications and characteristics of oil skimmer (KOSED-100)

| Classification | | Major specification |
|---------------------------------|-----------------------|---|
| Skimmer head | Size (L × W × H) | 1,300 mm × 1,300 mm × 940 mm |
| | Weight | 312 kg |
| | Material | Aluminium, Stainless steel, Teflon |
| | Operation power | Input: AC 220V / Output: DC 48V |
| | Movement speed | 1.5 knot |
| Working radius (Floating cable) | | 30 m |
| Pump | Quantity and capacity | 2 EA, 112 m ³ /h |
| | Motor | (Manufacturer) TM Tech-I, Korea, BLDC motor 2 KW |
| Oil skimmer disk | Quantity and material | 30 EA (380 ø), Aluminium |
| | Motor | (Manufacturer) TM Tech-I, Korea, BLDC motor 500 W |
| Scraper material | | Teflon |
| Self-propelling motor | | (Manufacturer) Mercury Marine, USA, 450 W |
| Remote controller | | (Manufacturer) Gross Funk, Germany |

하였다.

유회수기의 자항을 위하여 3엽의 날개를 가진 추진기를 사용하였으며, 유회수기의 방향 전환이 용이하도록 본체 하부의 양현에 각각 설치하였다. 추진기의 회전수는 전진 3단, 후진 3단으로 조절이 가능하며, 최대 1.5 knot의 속력으로 전진이 가능하도록 하였다. 현재 30 m 반경 내에서 작업이 가능하도록 설계되어 있으며, 상황에 따라 작업 영역의 확대가 가능하다.

해양에서 외력에 의한 영향(rolling, heave 등)을 최소화하고 독립적인 부력 장치를 통한 장비의 안정적인 흘수(draft)를 유지하기 위해서 유회수기 본체의 측면 양쪽에 공기로 채워진 긴 막대와 하부에 넓은 판 모양(사각 형태)의 안정판(stabilizer)을 설치하였다(Figs. 1, 2).

2.5 무선 컨트롤러

KOSD-100은 유회수의 원활하고 효율적인 작업을 위하여 무선 리모트 컨트롤러를 통해서 제어가 가능하도록 설계하였으며, 무선 리모트 컨트롤러는 해상에서 유회수기의 이동 방향 조작, 디스크의 회전수, 유이송 펌프 작동까지 모든 과정을 제어할 수 있도록 하였다.

2.6 호퍼와 유이송 펌프

디스크 회전을 통해 해수면으로부터 분리한 기름은 본체의 중앙에 위치한 호퍼로 모이도록 설계하였으며, 호퍼의 크기는 가로, 세로, 높이 각각 720 mm, 300 mm, 200 mm로 최대 용량은 약 43 L이다.

유회수 디스크를 통하여 호퍼로 모인 기름은 외부로 이송시키기 위하여 본체 중앙 하부에 2대의 유이송 펌프를 설치하였다. 2대의 펌프를 통하여 외부로 회수유를 원활히 이송시키기 위해 토출구 라인의 지름을 4인치로 설계하였다. 각각의 토출구는 Y 자형으로 라인을 구성하고 각 라인에 유체의 역류를 방지하기 위한 밸브를 부착하였으며, 공통라인(common line)의 최종 토출구의 구경도 4인치로 제작하였다. 대부분의 기존 유회수기는 유이송 펌프를 호퍼의 상부에 설치하고 회수유를 외부로 배출시킬 수 있도록 설계되어, 호퍼에 일정량 이상의 유류가 회수되어야만 유류를 펌핑할 수 있고 일정량 이하로 회수된 경우 펌프가 공회전됨으로써 펌프의 성능이 저하되는 문제가 발생하였다. KOSD-100은 호퍼의 바닥에 유이송 펌프를 설치하고 회수유를 외부로 배출하도록 설계함으로써 펌프의 공회전 뿐만 아니라 호퍼에 모인 기름을 외부로 안정적으로 이송할 수 있도록 하였다. KOSD-100에 설치된 유이송 펌프의 최대 회전수는 약 2,000 rpm까지 가능하다.

3. 성능 시험 방법

3.1 유회수기 성능 시험시설

전기구동 자항식 유회수기(KOSD-100)의 유회수 성능을 측정하기 위한 시험 시설 및 시험유는 아래와 같다. 성능 시험을 위한 시험유는 병커A유를 사용하였으며, 시험유의 특성은 Table 3에 정리하였다. 시험유의 점도는 50 °C에서 11.95 cSt, 밀도는 15 °C에서

Table 3. Properties of test oil (Bunker-A)

| Items | Result |
|--------------------------------------|--------|
| Kinematic viscosity (cSt at 50 °C) | 11.95 |
| Density (kg/m ³ at 15 °C) | 908.3 |
| Flash point (°C) | 76 |
| Sulfur (wt%) | 0.25 |
| Water & sediment (vol%) | 0.05 |

908.3 kg/m³, 인화점은 76 °C, 황분은 0.25 wt%, 수분 및 침전물 함량은 0.05 vol%이다. 장비의 유회수 성능 시험을 위해 지름 2,800 mm, 높이 1,100 mm의 간이형 시험수조를 이용하였으며, 최대 회수량 측정을 위해 가로, 세로 각각 900 mm의 간이 측정용 수조를 사용하였다.

3.2 유회수 성능 평가방법

유회수기의 최대 회수량은 시험수조에서 유회수기를 일정시간 동안 구동한 후 회수량 측정용 수조로 이송된 혼합액(기름+물)의 양(부피)으로 계산하였다(식 (1)). 측정된 분당 회수량을 식 (2)에 의해 시간당 회수량으로 환산하였다.

$$\text{회수유 양(m}^3\text{)} = \text{수조면적(가로 } 0.9 \text{ m} \times \text{세로 } 0.9 \text{ m)}$$

$$\times \text{회수유 높이(x m)} \quad (1)$$

$$\text{회수량(m}^3\text{/h)} = \text{분당 회수량(m}^3\text{/min)} \times 60(\text{min}) \quad (2)$$

3.3 유회수 성능 시험절차

유회수기의 회수량 성능 시험을 위하여 먼저 유회수기 가동을 위한 시험수조(지름 2,800 mm, 높이 1,100 mm)에 청수와 시험유(병커A)를 투입하여 유층이 100 mm가 되도록 하였다(ASTM[2008]). 유층은 시험수조의 규격을 근거로 시험유의 양을 계산하여 투입한 후, 측정도구를 이용해 유층이 적정하게 형성되었는지 측정하였다. 시험유는 아래의 식 (3)을 이용하여 투입하였다.

$$\text{시험유 투입량(m}^3\text{)} = \text{시험수조의 면적(m}^2\text{)} \times \text{유층두께(0.1 m)} \quad (3)$$

시험전에 대기온도 및 습도 등의 시험환경을 측정하였다. 회수량 측정을 위하여 먼저 시험수조 내 KOSD-100을 투입하고 안정화 시킨 후 5초 동안 구동하여 정사각형의 측정용 수조(가로, 세로 각각 900 mm)로 유입되는 혼합물(기름+물)의 양(부피)을 측정하였다. 측정은 동일조건에서 총 3회 실시하고 평균값(단위시간당 회수량)으로 최종 성능을 도출하였다(Fig. 3). 시험의 신뢰도를 확보하기 위해서 회수량 측정 시험은 한국조선해양기자재연구원에 의뢰하여 실시하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 유회수기 실제 해역 운용 시험

본 연구개발 장비(KOSD-100)는 기름이 유출된 해역에 본체를 투

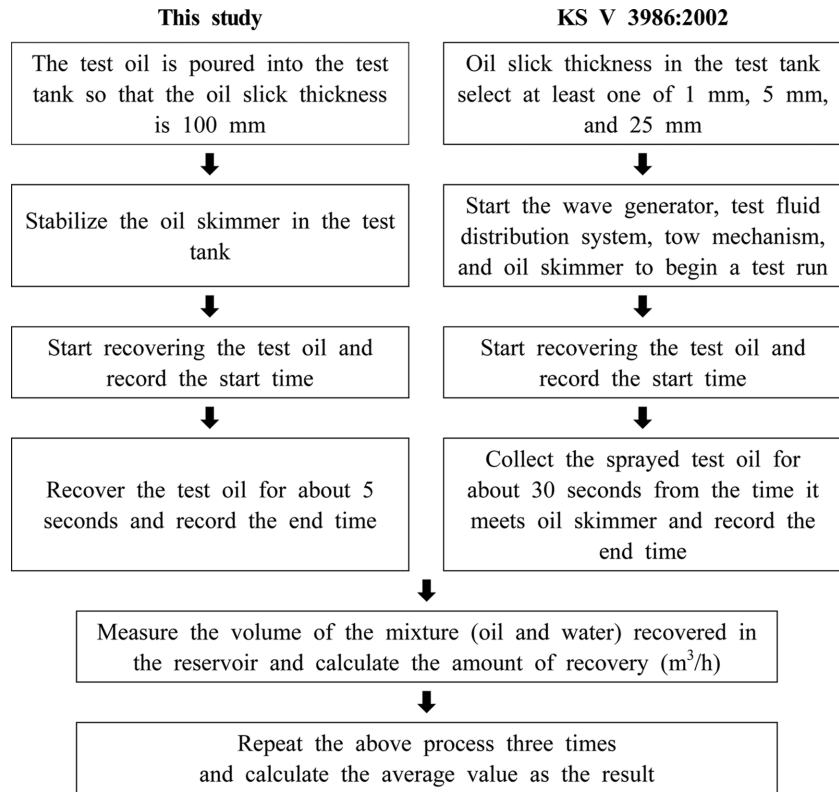


Fig. 3. Test method procedure comparison for fluid recovery rate (m³/h) evaluation of oil skimmer performance (this study versus KS V 3986:2002).

입하여 회전하는 디스크에 기름을 묻혀 올려 스크레이퍼(scraper)로 분리 후 호퍼에 모인 기름을 호퍼 하부에 장착된 유이송 펌프를 이용하여 외부 저장탱크로 배출하는 방식으로 제작하였다.

연구개발 장비의 실제 해상에서 작동 여부 및 안정성 등을 확인하기 위해서 부산 연안에 정박하고 있는 해양환경공단 소속의 청항선(항만정화2호)을 이용하여 시험하였다. 청항선의 선박 전원(AC 220)을 컨버터를 통해 유회수기 본체와 연결하고, 크레인(S.W.L 0.9 톤)을 이용해 회수장비를 해상에 투입하여 본체의 부력 안정성을 시험하였다. 본선으로부터 KOSED-100으로 직류식 전원이 안정적으로 공급되었으며, 해수 표면에서 본체가 안정적으로 균형이 유지됨을 확인하였다. 또한 무선 리모트 컨트롤러를 통해 본체의 자항 및 유회수를 위한 디스크의 조정이 원활하게 작동됨을 확인하였다(Fig. 2).

4.2 유회수기 자항능력 시험 결과

해상에서 효과적인 기름 제거를 위해 자항이 가능하도록 유회수기의 본체 하부 양현에 추진기를 설치하였으며, 해양환경공단 소속 해양환경교육원에 구비되어 있는 조파수조(길이 20 m, 너비 8 m,

깊이 3.2 m)에서 KOSED-100의 자항능력을 시험하였다. 조파수조에 KOSED-100을 투입한 후 자항 장치를 작동시켜 파고가 없는 상태에서 최대 선속을 측정하였으며, 최대 선속(최대 rpm)은 조파수조 내에서 10 m 이동하는데 걸리는 시간으로 계산하였다. 자항시험은 3회 측정하였으며, 최대 선속은 1.5 knot였다(Table 4).

4.3 유회수기 성능 시험 결과

시험수조(지름 2,800 mm, 높이 1,100 mm)에 청수를 채우고 표면 유층이 100 mm가 되도록 시험유(병커A)를 투입한 후 KOSED-100 장비를 설치하고 디스크의 최대 rpm(150 rpm)으로 작동하여 기름의 최대 회수량을 측정하였다. 같은 조건에서 유회수 성능을 3회 시험한 결과, 평균 최대 회수량(recovery rate)은 112.17 m³/h(표준편차: 13.46 m³/h)였다(Table 5). 본 연구에서 측정된 최대 회수량은 유회수기에 의해 시험수조에서 측정용 수조로 회수된 단위 시간당 기름과 물 혼합액의 부피를 나타낸다. 실제 해역에서 본 장비를 적용시 다양한 환경변수들에 의해서 유회수기의 성능은 저하될 수 있을 것으로 사료된다. 한국표준협회에서 발행한 ‘유회수기의 성능 평가






Table 4. Speed test result of self-propelling oil skimmer (measurement in 10 m travel time in an artificial bath)

| Classification | First test | Second test | Third test | Average |
|--------------------------------|------------|-------------|------------|---------|
| Travel time (second) | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Maximum linear velocity (knot) | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |

Table 5. The results (recovery rate, m³/h) of the oil skimmer test at maximum rotary disk speed

| Classification | Air temp.: 26~27°C | | Humidity : 56~57% | |
|---|--------------------|-------------|-------------------|------------------|
| | First test | Second test | Third test | Average (SD) |
| Measurement time (second) | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Height of recovered oil (cm) | 20.9 | 16.6 | 20.2 | 19.2 (± 2.23) |
| Capacity of recovered oil (m ³ /h) | 121.89 | 96.81 | 117.81 | 112.17 (± 13.46) |

Table 6. Comparison of oil skimmers with oil recovery capacity similar to KOSED-100

| Classification | KOSED-100 | NorMar 200 TI | TransRec 100 | Terminator 100 | TransRec Hiwax |
|---------------------------------|---|---|--|---|---|
| Picture |  |  |  |  |  |
| Amount of recovered oil (kL/h) | 112 (m ³ /h) | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Manufacturer (nation) | SD Marine (Korea) | AllMaritim AS (Norway) | Framo (Norway) | DESMI (Denmark) | Framo (Norway) |
| Power supply equipment type | Electric | Hydraulic | Hydraulic | Hydraulic | Hydraulic |
| Oil skimmer type | Disk | Disk / Brush | Disk | Disk | Shovel drum |
| Skimmer head weight (kg) | 312 | | 260 | 190 | 980 |
| Power pack (engine) weight (kg) | 26 | 7,900 | 800 | 1,100 | 800 |
| Hydraulic hose weight (kg) | - | (All-in-one crane type) | 225 | 225 | 225 |
| Oil transfer hose weight (kg) | 12 | | 50 | 50 | 50 |
| Hose reel device weight (kg) | - | | 100 | 100 | 100 |
| Total weight (kg) | 350 | 7,900 | 1,435 | 1,665 | 2,155 |

방법(KS V 3986:2002)에는 유회수기를 이용한 기름과 물 혼합액의 회수량 및 회수된 혼합액에서 분리한 기름의 유회수 효율 등을 측정하기 위한 시험방법과 시험시설 및 장치들의 규격들에 대해서 기술되어 있다. 본 규격서에는 예인과 조파가 가능한 대형 수조에서 유회수기 시험을 하도록 규정하고 있다. 그러나 본 연구에서는 신규 개발장비의 기름과 물 혼합액의 회수량 측정에 초점을 맞추어 실내 시험수조에서 실시하였으며, 대용량의 유회수기의 시험을 위한 기자재들의 용량 한계로 상대적으로 짧은 작동시간(5초)으로 회수량을 측정하였다(Fig. 3). 이로 인하여 시험결과에 오차가 다소 증가할 수 있을 것으로 판단되나, 동일 조건에서 3회 반복 시험한 결과, 회수량의 상대표준편차는 약 12%였다.

4.4 기존의 유회수기와의 비교

해양환경공단에서는 해양 재난 및 해양오염사고 대응을 위하여 전국 주요 항만을 중심으로 12개 지사에 방재대응센터를 설치하여 24시간 방재대응태세를 구축하고 있다. 총 78척의 방제선을 보유하고 있으며, 유회수기 및 유흡착재 등의 각종 방제기자재들을 체계적으로 유지·관리하고 있다. 해양환경공단에서 보유하고 있는 기계식 회수방식의 유회수기는 위어식(weir), 흡착식(oleophilic), 진공식(vacuum), 트롤(trawl) 등으로 분류할 수 있다.

이 중 KOSED-100과 유사한 회수용량을 가지는 기계식 유회수기와 제원을 비교 분석하였다(Table 6). 해양환경공단에서 보유하고 있는 유회수기 중 시간당 약 100톤의 회수량을 가지는 장비는

NorMar 200 TI(AllMaritim AS, Norway), TransRec 100(Framo, Norway), Terminator 100(DESMI, Denmark), TransRec Hiwax(Framo, Norway)이다. NorMar 200 TI는 자항장치가 장착된 흡착식 유회수기로 총 무게가 약 7,900 kg이며, 선박에 고정식으로 운영되고 있다. TransRec 100은 자항장치가 장착된 유회기로 파워팩(독립 엔진구동 방식)을 이용한 구동 방식을 채택하고 있으며, 본체(skimmer head)의 무게가 약 260 kg, 파워팩이 약 800 kg에 달한다. Terminator 100은 위어식과 디스크 방식을 겸용으로 사용이 가능하며, 유압식 구동방식을 이용하고 있다. TransRec Hiwax는 자항장치가 장착된 드럼식 유회수기로 유압 구동 방식을 채택하고 있다. 이 장비의 본체 무게는 980 kg, 파워팩은 약 800 kg으로 고정식으로 운영되고 있다.

기존에 많이 사용되고 있는 유회수기들은 파워팩을 이용한 유압식 구동방식을 채택하고 있어, 중량이 무거운 단점을 가지고 있다. 또한 대부분 국외에서 생산된 제품으로 가격이 비싸고 유지보수를 하는데 어려움이 있다. KOSED-100은 총 무게 약 350 kg으로 기존 동급 유회수기의 중량 대비 약 4~23배 감소시켜 이동식 운영이 가능하게 하였으며(Table 6), 국내에서 제작되어 완제품의 비용 절감 및 원활한 유지보수가 가능한 장점을 가지고 있다.

5. 결 론

최근 연안에서 소형선박에 의한 기름 유출 사고가 지속적으로 발생하고 있어, 해상에서 기름 유출 사고 발생시 신속 대응이 가능한

소형의 유회수기 개발의 필요성이 증가하고 있다. 본 연구를 통해 개발된 디스크 형식의 자항식 유회수기(KOSED-100)는 기존 유압식 유회수기의 단점들을 보완하여 장비의 경량화, 복잡한 부속장비의 간소화 등을 통하여 작업자의 작업 편의성을 대폭 향상시켰다. 유회수기의 경량화를 위하여 기존 유회수기에 주로 사용되는 유압식 동력 공급 시스템을 직류 전원 공급 방식으로 변경하였다. 또한 본체 하부 양현에 추진기를 설치하여 유회수기 본체의 자유로운 이동 및 효율적인 작업이 가능하도록 하였으며, 해상에 투입되는 유회수기 본체는 무선 리모트 컨트롤이 가능하도록 설계하였다. 경질 유(벙커A)를 이용하여 시험수조에서 측정한 KOSED-100의 최대 회수량은 평균 112.17 m³/h였다. 국내 해상 방제에 투입되고 있는 대부분의 유회수기들은 국외에서 제작된 고가의 장비들을 사용하고 있어 국내 연안에 최적화된 유회수기의 국산화를 통한 효율적인 해상 방제 세력 구축이 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] ASTM, 2008, Standard guide for collecting skimmer performance data in controlled environment. American Society for Testing and Materials.
- [2] Bourne, W.R.P., Parrack, J. and Potts, G., 1967, Birds killed in the Torrey Canyon disaster, *Nature*, 215, 1123-1125.
- [3] Burger, A.E. and Fry, D.M., 1993, Effects of oil pollution on seabirds in the northeast Pacific. In: Vermeer, K., Briggs, K.T., Morgan, D. (Eds.), *The status, ecology, and conservation of marine birds of the north Pacific*, Canadian Wildlife Service Special Publication, Ottawa, pp. 254-263.
- [4] Corn, M.L. and Copeland, C., 2010, Deepwater Horizon oil spill: Coastal wetland and wildlife impacts and response, DIANE Publishing, Collingdale.
- [5] KCG, 2019, Statistics of marine pollution accidents (2009~2018), Korea Coast Guard.
- [6] Lee, Y.J., Kang, S.K. and Gu, J.Y., 2019, A study on marine accident ontology development and data management: based on a situation report analysis of southwest coast marine accidents in Korea, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.*, 25(4), 423-432.
- [7] Lee, S.J., Kim, H.S., Long, Z.J. and Lee, S.K., 2011, A study on the Korea marine accidents and the countermeasures, *J. Navig. Port Res.*, 35(3), 205-211.
- [8] Song, D.E. and Yoon, K., 1997, An experimental study for the effect of rotational direction on the recovery rate of spilled oil using a belt skimmer, *J. Mech. Sci. Technol.*, 22(5), 679-690.
- [9] Wells, P.G., Butler, J.N. and Hughes, J.S., 1995, Exxon Valdez oil spill: Fate and effects in Alaskan Waters, ASTM, Philadelphia.

Received 10 May 2021

1st Revised 17 June 2021, 2nd Revised 21 July 2021

Accepted 27 July 2021