

무인 컨베이어 벨트식 부유쓰레기 및 고점도유 회수장비 개발 연구

한상구* · 이원주** · 장세현*** · 최재혁****

* 해양환경관리공단, ** 한국해양수산연수원, *** 팀 솔루션, **** 한국해양대학교

Development of an Unmanned Conveyor Belt Recovery Skimmer for Floating Marine Debris and High Viscosity Oil

Sang-goo Han* · Won-ju Lee** · Se-hyun Jang*** · Jae-hyuk Choi****

* KOEM, Korea, ** KIMFT, Korea, *** Team Solution, Korea, **** Korea Maritime & Ocean University, Korea

요 약 : 원유나 벙커C유와 같은 지속성 기름이 해상에 유출되면 풍화과정을 거쳐 점도가 높아지고, 부유 쓰레기와 섞이게 되면 이를 수거할 수 있는 장비는 매우 제한적이다. 본 연구에서는 기존 유회수기의 외부에 위치한 부속장치들을 본체 내부로 배치하고, 컨베이어 벨트와 강제유입장치인 스위퍼 및 부력체를 탑재한 수집조로 구성하여 자항과 리모트컨트롤이 가능한 무인 컨베이어 벨트식 부유쓰레기 및 고점도유 회수장비를 개발하였다. 실험 테스트에서 30 m의 거리를 1.2 knots의 속도로 자항하며, 전·후, 좌·우에서 안정적인 균형유지와 구동부의 정상작동을 확인하였다. 임시저장조를 이용한 유회수 성능테스트 결과, 최소 7.8 kℓ/h에서 최대 23.3 kℓ/h까지 유출유 회수가 가능하였다. 또한, 페트병 등 부유쓰레기와 유출된 기름이 혼합된 조파수조에서 실시한 회수량 측정 테스트 결과는 7.7 kℓ/h로 나타났다. 본 연구를 통해 개발된 장비가 해상기름오염사고 시 현장에 신속하게 투입된다면 방제능력 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대하며, 현재 운용중인 Portable 유회수기의 성능개선 연구에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 풍화, 컨베이어 벨트, 스위퍼, 유회수 성능테스트, 유회수기

Abstract : When persistent oil, such as crude oil or Bunker C oil, is spilled at sea, viscosity increases through the weathering process. Equipment that can collect this oil when mixed with floating marine debris is very limited. In this study, devices that can be attached to the outside of existing oil skimmers have been applied to the inside of the main body, to develop an unmanned conveyor belt type floating marine debris and high viscosity oil recovery skimmer, which is composed of a conveyor belt, a sweeper with a forced inflow device, and a collection tank equipped with a buoyant body. The resulting skimmer was operated at a speed of 1.2 knots at a distance of 30 m in a sea area test. It was stable when moving laterally in any direction. An oil recovery performance test was conducted using a portable storage tank, and oil was recovered from a minimum of 7.8 kℓ/h to a maximum of 23.3 kℓ/h. Moreover, recovery of 7.7 kℓ/h was obtained in a wave water tank test with floating marine debris such as PET bottles and oil mixed. If the equipment developed in this study was used in the field for oil pollution accidents, it could be expected to contribute to improved response capability. We believe our equipment could be used in further studies to improvement the performance of existing portable oil skimmers.

Key Words : Weathering, Conveyor Belt, Sweeper, Oil Recovery Performance, Oil Skimmer

1. 서 론

국내에서 발생한 해상기름오염사고는 부주의에 의한 빈도가 가장 높고 선박의 충돌, 좌초 등 해양사고에 의한 유출량이 전체의 87%를 차지하며, 가장 많은 유종은 벙커C로 알려져 있다(Yun, 2013). 해상에 기름이 유출되면 휘발유와 같

은 비지속성 기름은 유출 초기에 대부분 휘발하는 반면, 원유나 벙커C유 같은 지속성 기름은 대부분이 휘발되지 않고 수면에 남는 동시에, 중질유(重質油)의 일부는 물과 혼합되어 에멀전(water in oil) 형태의 덩어리를 형성하게 된다. 이는 원래의 중질유 보다 훨씬 더 두껍고 끈적거리며, 부피는 최대 5배까지 증가되어 수면에 유막을 형성함으로써 대기와 해양간의 물질순환을 방해하고, 태양광의 투과를 저해하여 해양생물에 간접적인 영향을 미치게 된다(Oh et al., 2008;

* First Author : poseidon@koem.or.kr, 051-400-7711

† Corresponding Author : choi_jh@kmou.ac.kr, 051-410-4257

Rho et al., 2000).

기름오염 피해를 최소화하기 위해서는 연안에 위치한 양식장, 조간대 등에 피해를 주기 전에 신속하고 효과적으로 유출유를 회수 하거나 제거하는 방제작업이 매우 중요하다 (Jang et al., 2008). 일반적으로 방제방법은 크게 유처리제를 이용한 화학적 처리와 유회수기를 이용한 기계적 처리로 대별되는데, 유처리제에 의한 화학적 처리방법은 분산된 기름에 의한 2차 오염의 우려가 있기 때문에 국내에서는 유처리제 사용지침에 따라 제한적으로 이용되고 있으며, 주로 유회수기를 이용한 기계적인 처리방법이 활용되고 있다(Song and Yoon, 1997b; Hyun et al., 1997).

유회수기를 이용한 방제작업을 위해서는 유출유의 유종, 풍화(weathering) 정도, 해상상태, 해상부유쓰레기 등을 고려하여 가장 적합한 장비를 선정하여야 한다.

중질유 회수율이 비교적 양호한 흡착식의 일종인 디스크식 유회수기에서, 유회수율은 기름의 점성에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있는데, 동일 조건에서 동점성계수 기준, 300 cSt까지는 유회수율이 증가하나, 그 이상에서는 유회수율이 감소하였고, 여러 종류의 유회수기를 대상으로 유회수율을 실험한 결과에서도 유출유가 고점도인 경우에는 회수율이 크게 저하되거나 회수가 어려운 것으로 확인된바 있다 (Cristodoulou and Turner, 1987; Mackay et al., 1993). 특히, 타르 형태의 기름찌꺼기는 낮은 수온지역에서는 점도가 높아져 수면에 부상한 채 조류를 따라 이동하다가 수온이 높은 지역을 만나면 점도가 낮아지면서 주변해역에 유막을 형성하는 과정을 반복하기 때문에 조류가 미치는 넓은 범위를 지속적으로 오염시키는 원인이 되고 있다(Jang et al., 2008).

해양쓰레기의 발생원은 해상작업 및 어업활동을 통해서 일부 발생하지만, 75~85%는 하천을 따라 해상으로 유입된 육상기인 쓰레기가 차지하고 있다(Hong, 2007). 해상으로 유입된 육상쓰레기가 유입초기에는 부유성 재질일지라도, 시간이 경과함에 따라 수분함량이 높아지고 해양미생물이 부착함에 따라 점차 수중으로 침지되거나 조석활동으로 조간대 수역에 쌓이게 됨으로써 해저나 수변구역을 오염시키는 주요 원인 물질이 되고 있는 실정이다(Jang et al., 2007).

이처럼 해상에 유출된 기름이 풍화작용으로 고점도화되거나 해상부유쓰레기와 섞이는 경우에 방제작업을 위해 선택할 수 있는 유회수기의 종류는 극히 제한적인 실정이며 (Hyun, 1998), 특히 이동식 유회수기는 전무(全無)한 상태이다.

따라서 이 연구에서는 해상에 유출된 기름이 풍화과정을 거쳐 고점도화 되거나, 해상부유쓰레기와 섞여있는 환경에서도 효과적으로 방제작업이 가능한 회수장비를 개발하여, 해양환경관리공단 방제선을 이용해 실험역 운용 테스트를

실시하였고, 해양환경교육원의 임시 저장조 및 조파수조에 서 회수성능 검증을 수행하였다.

2. 회수장비 주요부품 설계 및 본체 제작

2.1 컨베이어 벨트(conveyor belt) 설계

Table 1은 회수장비의 핵심부품인 컨베이어 벨트 개발을 위하여 컨베이어 벨트 구동방식이 적용된 항만청소선의 부유물 회수장비와 방제선에 설치된 유회수 장비의 현장조사 결과를 나타낸 것이다.

Table 1. Field Survey for Conveyor belt type of application Vessels

Item	Vessel A	Vessel B
Belt Type	JOS-20	JOS-15
Length and Width	6.15m / 1.5m	4.85m / 0.9m
Underwater Section	1.5m	-
Slope	28°	30°
Material	STS or Kevlar Belt	Kevlar Belt
Driving Method	Chain or Drum	Drum

Vessel A의 평상시 주 업무는 해상 부유쓰레기를 수거하는 것이며, 기름오염 방제작업 시에는 스테인레스 재질의 부유쓰레기 수거용 컨베이어 벨트를 제거하고, 기름회수가 용이한 케블라 재질의 컨베이어 벨트를 장착하여 기름회수작업을 수행한다. 그러나 컨베이어의 경사도가 높아 해수면에 위치한 유출된 기름, 유출유와 섞여있는 부유쓰레기 등의 부유물이 컨베이어 벨트를 따라 잘 올라오지 않는 문제가 발생되고 있다. 이는 해수면과 컨베이어 벨트의 각도에 대한 연구가 수행되지 않아, 효율적으로 해수면에 위치한 부유물이 효과적으로 회수될 수 있는 경사도가 불명확한 데에서 기인한 것으로 판단된다.

Vessel B의 경우에도 케블라 재질의 컨베이어 벨트가 양 끝단의 구동축의 회전력에 의해 구동되기 때문에 다량의 기름이 벨트에 올라왔을 때 벨트와 구동축 간 미끄러짐(slip) 현상이 발생되어 기름 등의 부유물을 올리지 못하는 문제가 발생되고 있다.

Fig. 1은 Vessel A 및 Vessel B에서 발생하는 문제점을 개선할 수 있는 컨베이어 벨트 설계도를 나타낸 것이다. 설계된 컨베이어 벨트는 해수면에 위치한 기름, 부유쓰레기 등의 부유물이 컨베이어 벨트가 상향으로 회전하는 경우에 벨트 표면에 부착되어 이송되는 상향이송(Upward pickup) 방식을 채택하였고, 벨트가 수거한 부유물은 와이퍼형 스크래퍼

(wiper type scraper)에 의해 수집조(hopper)에 모이도록 구성하였다.

컨베이어 벨트의 회전에 따른 혼합유체의 유동은 선(先) 부착 유체유동이 추후에 부착되는 유체유동에 영향을 미치게 되므로, 상향이송 방식인 본 회수장비는 선(先)부착 유체인 물(water or sea water)의 배수(排水)가 원활하지 않을 경우, 후(後)부착 유체인 고점도의 기름 혼합물이 벨트에 부착되지 못하고 벨트에서 밀려나는 현상이 발생할 수 있다. 이와 같은 문제를 방지하기 위하여 벨트의 재질을 해수의 배수가 용이하고, 점성유체가 원활히 부착되며, 구동축에서 슬립(Slip)이 일어나지 않도록 체인구동 방식의 케블라(Kevlar, mesh 5 mm × 5 mm)로 적용하였다. 또한, 부유쓰레기 및 기름 등 혼합유체의 회수효율을 높이기 위하여 기존에 수선상부에만 적용된 컨베이어 벨트를 수선하부까지 확장하여 Fig. 1와 같이 2단으로 구성하였으며, 수선상부 및 수선하부 컨베이어 벨트의 회수각을 설정하기 위한 테스트를 Fig. 2와 같이 실시하여, 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

컨베이어 벨트 회수각 결정을 위하여 회수각의 증가에 따른 회수량의 변화가 미미한 수선상부는 유사선박 사례를 참고하여 회수각을 30°로 설정하였고, 수선하부의 회수각은 테스트 결과를 반영하여 13°로 설정하였다. 수선하부 회수각 설정을 위한 테스트는 총 4 case로, 15°미만, 15°, 17° 및 20°에서 각각 진행하였으며, 15°이상에서는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 컨베이어 벨트의 회전에 의해 선 부착된 유체인 물의 영향으로 기름이 벨트에 부착되지 못하고 벨트로부터 밀려나 예멸전화 된 기름의 회수에 지장이 있는 것을 확인하였다. 또한, 케블라가 손상될 경우 유사방식을 적용한 선박에서는 벨트 전체를 교환하도록 되어 있지만, 개발된 회수장비에서는 유지보수의 편리성과 비용절감을 위해 다수의 케블라를 환봉으로 연결하고, 환봉이 체인과 체결되는 구조로 설계하여 손상된 케블라만 교환할 수 있도록 하였다.

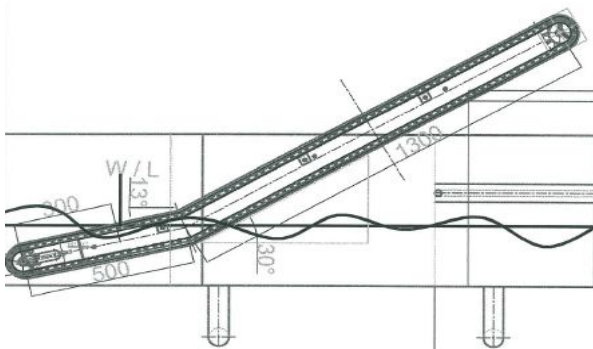


Fig. 1. Schematic diagram of conveyor belt.

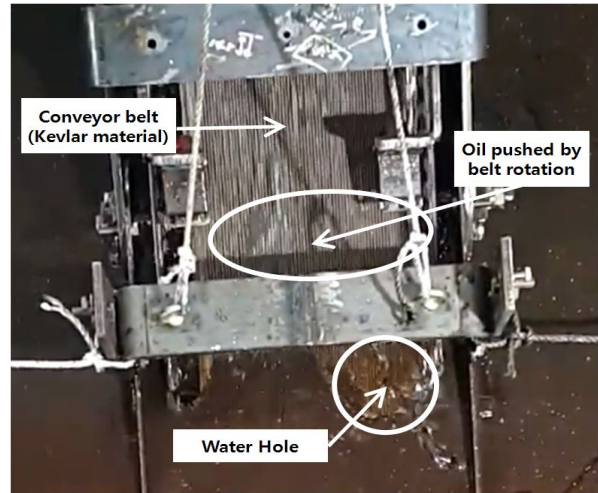


Fig. 2. Picture of Water hole near Conveyor belt.

Table 2. Test Result of Upper Water

Slope	Rev. (rpm)	Kevlar Belt(kℓ)				STS Belt(kℓ)			
		1	2	3	Avr.	1	2	3	Avr.
25°	4	0.7	0.62	0.69	0.67	0.33	0.51	0.47	0.44
	6	1.42	1.48	1.51	1.47	0.78	0.82	0.88	0.83
	7.5	1.7	1.65	1.8	1.72	1	1.1	0.9	1.00
30°	4	0.63	0.51	0.68	0.61	0.34	0.4	0.38	0.37
	6	1.4	1.4	1.55	1.45	0.87	0.79	0.81	0.82
	7.5	1.62	1.83	1.7	1.72	0.9	1.3	1.5	1.23
35°	4	0.69	0.76	0.81	0.75	0.29	0.36	0.42	0.36
	6	1.03	1.49	1.39	1.30	0.75	0.89	0.71	0.78
	7.5	1.62	1.71	1.49	1.61	0.98	0.96	1.3	1.08

* Air Temp.: 18°C, Test Oil(Bunker C) Temp.: 18°C

2.2 스위퍼(sweeper) 설계

일반적으로 상향이송 방식의 컨베이어 벨트 회전은 선 부착 유체인 물의 유동에 의하여 벨트의 표면 중심부에서부터 물 위에 부유된 실험유 층이 타원형 모양으로 밀려나는 water hole 현상이 발생한다(Song et al., 1997a).

Fig. 3은 컨베이어 인덕션 펌프의 개략도 및 실물사진을 나타낸 것이다. 기존 선박에 설치된 컨베이어 벨트의 경우에도 부유물이 벨트에 잘 올라타지 못해 벨트 후면에 인덕션 펌프를 사용하지만, 흡입력이 약할 뿐만 아니라 부유쓰레기 중 로프, 비닐 등의 장애물로 인해 작동이 멈추는 사례가 빈번히 발생하고 있어 작업자가 갈퀴 등을 이용하여 수작업으로 부유물을 벨트에 안착시키고 있는 실정이다.

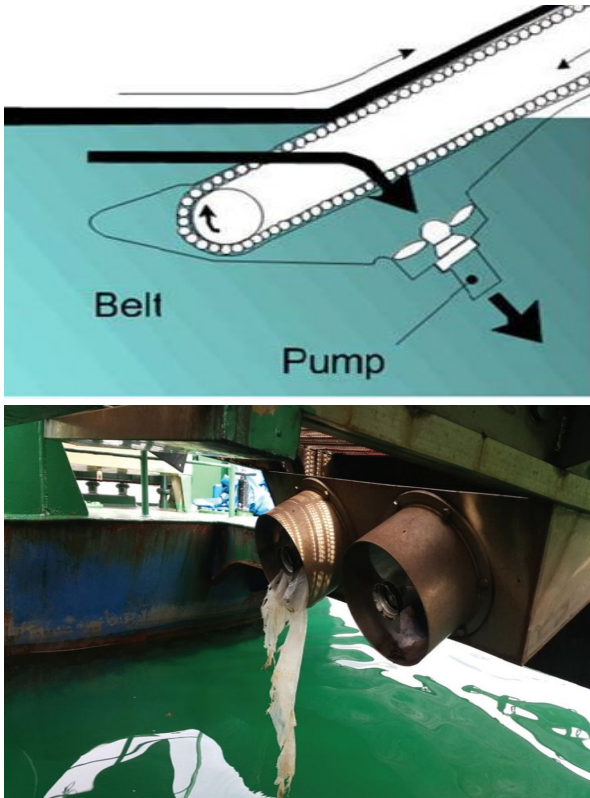


Fig. 3. Schematic diagram of conveyor induction pump.

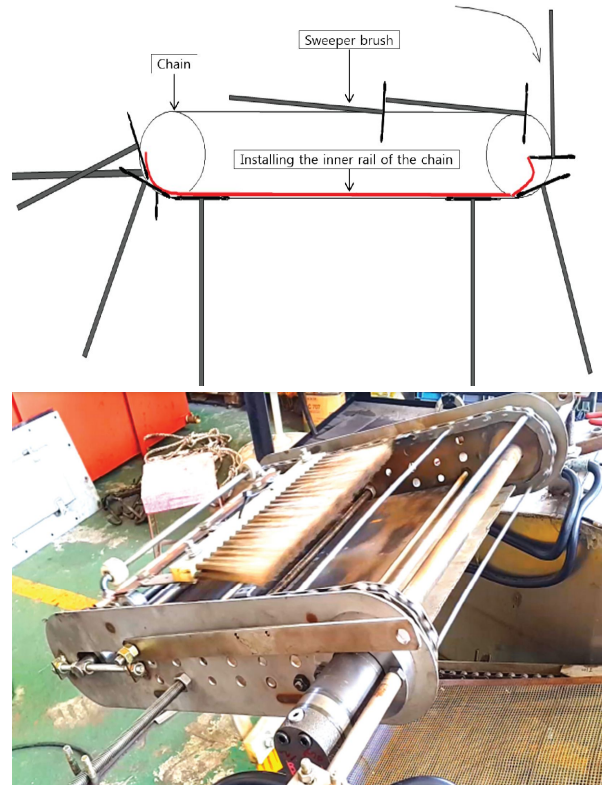


Fig. 4. Schematic diagram of sweeper.

Fig. 4는 스위퍼(Sweeper)의 개략도 및 실물사진을 나타낸 것이다. 앞서 살펴본 컨베이어 인덕션 펌프의 단점인 부유물(로프, 비닐 등)의 흡입을 방지할 수 있도록, 컨베이어 벨트 전면부에서 부유쓰레기 및 기름 등 혼합물의 회수를 용이하게 할 수 있는 강제 유입장치인 스위퍼를 적용하였다. 스위퍼는 탈부착이 가능한 4개의 브러시가 체인구동에 의해 회전하는데, 스위퍼 상부에서는 수평으로 접혀져 이동하고 하부에서는 수직으로 세워져 부유물 및 기름을 수선하부 컨베이어 벨트 위로 강제 이송시킬 수 있도록 가변형으로 설계하였다.

2.3 수집조(hopper) 및 수집조 프레임(frame) 설계

Fig. 5는 수집조 및 부속장치 사진을 나타낸 것이다. 컨베이어 벨트에 의해 회수된 부유쓰레기 및 기름 등 혼합물이 모이는 곳인 수집조는 수거된 폐기물이 최종적으로 처리되기 전까지 보관되는 임시저장소 역할을 수행하며, 수집조에 수거된 폐기물의 양이 늘어날수록 회수장비의 무게를 증가시켜 안정성을 떨어뜨릴 수 있으므로 자체 부력유지는 필수 사항이다. 수집조의 자체 부력유지를 위해 부유쓰레기 및 기름 혼합물을 600리터 용량으로 인양 시 하중을 견딜 수 있도록, 안전바(차량 안전벨트와 동일한 재질) 2개조를 삽입한

형태로 저장백과 저장백의 형태를 유지시키고, 크레인에 의해 인양이 가능하도록 수집조 프레임 및 프레임에 결합되어 부력을 형성하는 부력체로 구성되도록 설계하였다.



Fig. 5. Photograph of hopper & accessories.

2.4 회수장비 본체 제작

기존 회수장비의 구성은 외부에서 유압을 만드는 파워팩(power pack), 해상에서 기름을 회수하는 유회수부(skimmer head), 파워팩과 유회수부를 연결하는 유압호스, 유회수부를

이용하여 회수된 기름을 저장탱크로 이송하는 펌프, 펌프와 연결된 기름 이송용 배출 호스로 이루어진다. 이와 같은 구성으로 이루어진 대부분의 회수장비는 구동을 위해 다양한 부속 연결 장치가 필요하고, 이에 따른 장비운반, 유압호스 체결, 방제선 갑판의 작업 공간 협소로 인한 운용상 어려움 및 방제작업 종료 후 세척 등으로 작업자에게 상당한 피로감을 주는 단점이 있다.

Fig. 6은 개발된 회수장비의 본체와 본체 내부를 나타낸 것이고, Fig. 7은 완성된 본체의 모습을 나타낸 것이다. 기존 회수장비의 단점을 보완하여 컨베이어 벨트, 스위퍼 및 호퍼 암 등의 작동을 위한 구동유닛(전기모터; 2.2kw/3.7kw 각 1대, 유압펌프, 솔레노이드 밸브 등)을 본체 내부에 탑재하여 회수장비에 외부 전원 케이블만 연결하면 작동이 가능하도록 부속 연결 장치를 간소화 하였다. 또한, 천해(淺海) 및 암초구역, 잔교 하부 등으로 밀려온 부유쓰레기 및 기름 등의 혼합물은 기존 유사선박의 경우에는 접근이 어려워 수거에 어려움이 있었으나, 본 장비는 자항장치(Thrustor, 유압모터 OMM-20) 및 무선 리모트컨트롤장치(maker: SH CONTROL)를 적용하여 원거리에서도 회수가 용이하도록 하였다.

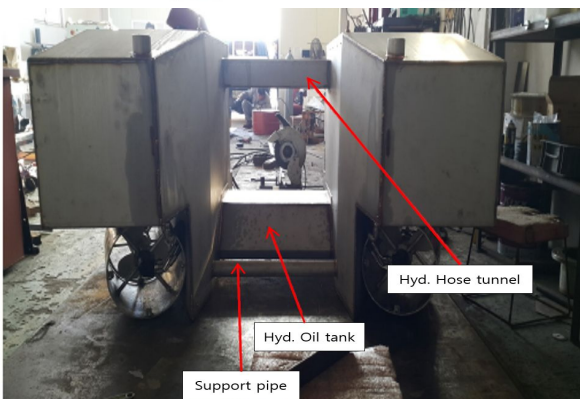
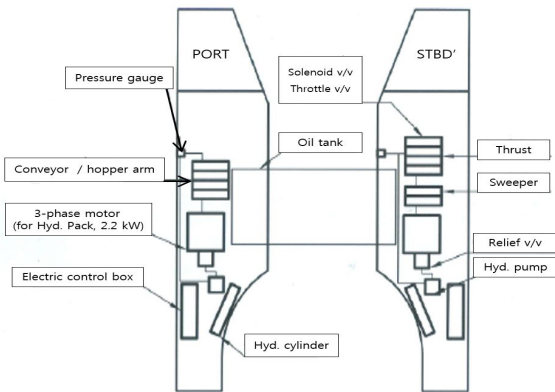


Fig. 6. Schematic diagram of body & body inside.

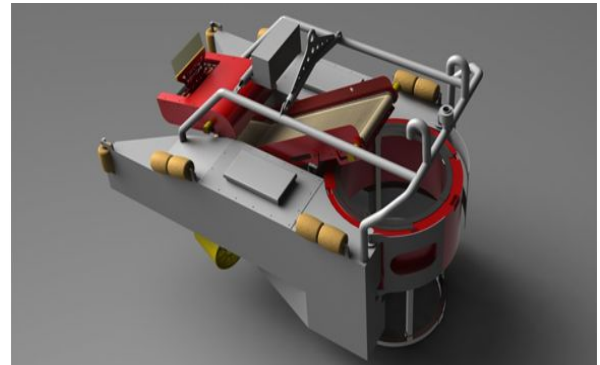


Fig. 7. Completed diagram of recovery equipment (Smart Skimmer).

3. 회수장비 운용·성능시험 결과 및 고찰

3.1 실효역 운용 시험

Fig. 8은 해양환경관리공단 방제선 212황룡호의 선박전원 (AC 220V)을 이용해 회수장비 본체를 작동시키고, 크레인 (S.W.L 0.9 ton)을 이용해 회수장비를 해상에 투입하여 본체의 부력 안정성 등을 테스트하는 모습을 나타낸 것이다. 테스트는 자항 안정성 및 원격 조종 성능을 파악하기 위하여 실시하였으며, 시험 결과 리모트 컨트롤러로 자항장치를 원격 조작하여 해상에서 원하는 지점으로 30m 이상 이동(최대속도 1.2 Knots)이 가능하였고, 전진 및 후진, 좌회전 및 우회전이 모두 안정적으로 균형과 부력이 유지되면서 움직이고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 유흡착재 등을 이용해 수거기능을 확인한 결과 스위퍼, 컨베이어 벨트의 작동, 수집조의 분리/체결이 원활히 이루어져 실제 기름오염사고 현장에서의 활용도가 기존 유사 선박보다 클 것으로 판단되며 효율적인 방제작업이 가능할 것으로 기대된다.

3.2 Portable 임시저장조에서의 기름회수 성능시험

Table 3은 실효역 테스트 후 기름회수 성능시험을 위한 시험유와 시험조건을 나타낸 것이다. 길이 3m, 넓이 2.5m, 높이 1m 규모의 임시저장조를 제작하여 높이 51cm까지는 청수를 채우고, 시험유를 부어 유층을 7cm로 만든 후 기름의 두께가 균일해지도록 일정시간이 지난 후 회수장비를 투입하여 기름 회수량을 측정하였다. 회수율은 유체의 밀도, 점성, 표면장력 등의 여러 요인에 의하여 영향을 받지만, 이에 관해 체계적인 연관성은 밝혀져 있지 않아(Song et al., 1997b) 기름회수 성능시험에서는 Table 3에 제시된 시험조건을 Fig. 9처럼 구성된 시험장치에서 회수장비의 회수량만을 측정하였고, 그 결과를 Table 4에 나타내었다.

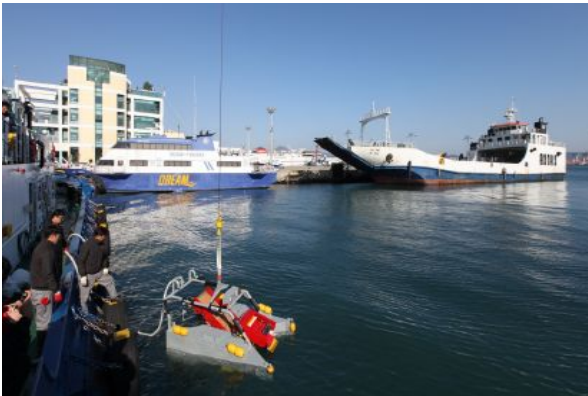


Fig. 8. Photograph of recovery equipment test in open sea.

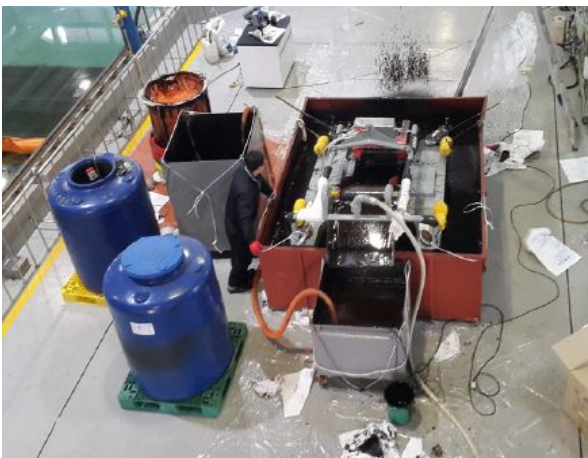


Fig. 9. Photograph of test-bed in portable pool.

회수장비의 기름회수 성능시험 결과, 시험유의 점도는 실 내온도가 낮아질수록 증가하나, 온도변화량에 비해 점도가 급격히 상승하는데, 이는 시험유 하부에 위치하는 청수에 의해 시간이 경과할수록 에멀전화(water in oil)가 진행되어 나타나는 현상으로 판단된다. 또한, 점도가 높아질수록 기름 회수 성능은 점진적으로 상승하는데, 해상에 유출되어 풍하

Table 3. Test oil and test Conditions

Test Oil	Type (wt%) : Bunker (C: 86.48 %, H: 13.05 %)
	Viscosity (50°C) : 16.36 mm ² /s
	Density (15°C) : 921.9 kg/m ³
Test Conditions	Sweeper (Brush 2sets) Rev. : 30 rpm
	Conveyor Belt (L: 2 m) Rev. : 13 rpm

Table 4. Performance test results of recovering equipment in temporary storage tank

Times	Air temp.(°C)	Visco.(cSt)	Recovery Quantity(kℓ/h)
1	11	1,300	7.8
2	10	1,450	10.69
3	9	4,500	13.122
4	9	4,570	15.066
5	9	4,570	15.066
6	8	5,050	15.552
7	8	8,600	16.525
8	7	8,600	17.982
9	7	12,000	22.356
10	7	12,000	23.328

* Viscosity is measured using FUNGILAB (Expert series) Viscometer

과정을 통해 고점도가 된 유출유를 회수하는데 탁월한 성능을 보일 것으로 기대된다.

3.3 조파수조에서의 오염물질회수 성능시험

Fig. 10은 조파수조에서의 오염물질회수 성능시험을 위해 구성된 테스트 베드의 개략도를 나타낸 것이며, Fig. 11은 조파수조에서 오염물질회수 성능시험을 실시하는 모습을 나타낸 것이다. 성능시험이 해상기름유출 상황과 비슷한 환경에서 진행될 수 있도록, 해양환경교육원이 보유한 조파수조에 고흡식 B형 오일펜스로 가두리 수조를 조성하고, 시험유 800 리터 및 유흡착재, 페트병 등의 부유쓰레기를 투입하여 실시하였다.

정확한 성능 측정을 위해 회수된 오염물질은 회수장비의 수집조가 아닌, 90 리터 규모의 저장용기를 수집조 위치에 임시로 설치하여 회수물이 저장용기에 가득 담기는 시간을 측정하여 단위시간당 회수량으로 환산하였다. 시험결과 90 리터의 저장용기에 회수물이 가득차는 시간은 42초로, 단위시간당 회수량은 7.7 kℓ/h 정도로 파악되었다.

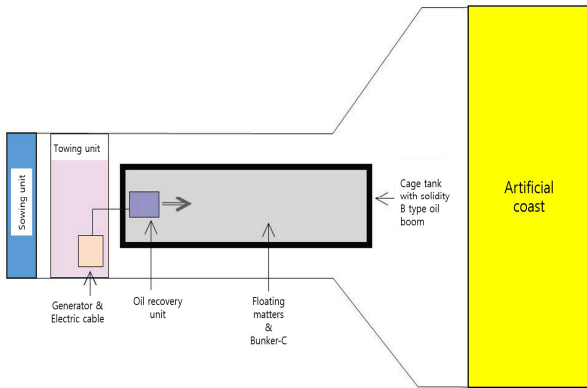


Fig. 10. Schematic diagram of test-bed in wave pool.

4. 결론

무인 컨베이어 벨트식 부유쓰레기 및 고점도유 회수장비 연구개발을 통해 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

첫째, 개발된 회수장비는 체인구동의 2단 컨베이어 벨트, 부유물을 강제로 이송할 수 있는 스위퍼, 부력체와 인양 장치가 적용된 수집조 및 각종 부속장구들이 내장된 본체로 구성되며, 안정적인 자향이 가능하고 방제선의 갑판 또는 천수구역, 잔교부근 및 계류장에서의 작업능률 향상을 위해 원격조정이 가능한 무선 리모트컨트롤 시스템을 적용하여 제작되었다.

둘째, 회수장비를 실험역에서 자향 테스트를 실시, 30m의 거리를 최대 1.2Knots의 속도로 움직일 수 있고, 전후좌우 안정적으로 부력을 유지하며 각 구동부도 정상 작동함을 확인하였다. 이를 통해 해상오염발생 현장에 회수장비를 즉시 투입할 수 있는 안정성과 효과적인 방제작업 도구를 확보할 수 있게 되었다.

셋째, 임시저장조에서의 기름회수 성능시험을 통해 점도에 따른 성능차이는 다소 존재하지만, 최소 7.8kl/h에서 최대 23.3kl/h까지 기름이 회수됨을 확인하였다.

마지막으로, 조파수조에 설치한 가두리 수조에서 유흡착재, 페트병 등 부유쓰레기와 기름이 혼합된 오염물질 회수 성능 시험결과 7.7kl/h의 오염물질을 회수할 수 있음을 확인하였다.

이와 같은 운용 및 성능시험 결과를 통해 개발된 무인 컨베이어 벨트식 회수장비가 실제 오염사고 현장에 투입될 경우, 해상기름오염사고 방제능력 향상에 크게 기여할 것으로 판단되며, 파워팩, 유압호스, 이송펌프 및 회수장치 등 다양한 부속장치로 구성된 기존 portable 유회수기의 성능개선을 위한 연구에도 많은 도움이 될 것이다.



Fig. 11 Photograph of recovery test in wave pool

사 사

이 연구는 해양환경관리공단(이사장 장 만)과 네오테크(대표 진 청)의 무인 컨베이어 벨트식 부유쓰레기 및 고점도유 회수장비 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- [1] Cristodoulou, M. S. and J. T. Turner(1987), Experimental Study and Improvement of the Rotating Disc Skimmer, Oil Spill Conference, Baltimore, pp. 101-108.
- [3] Hong, J. W.(2007), A Study on the Sharing Methods of Marine Debris Management, Gyeongnam Development Institute, p. 3.
- [4] Hyun, B. S. and J. W. Kim(1997), A stability analysis of oil film on an adhesion-type oil skimmer, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 3, No. 2, pp. 85-92.
- [5] Hyun, B. S.(1998), Review on the Hydrodynamic Characteristics

- of Oil Skimmers, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 66-82.
- [6] Jang, D. J., S. C. Na and M. S. Choi(2007), A collect system of marine floating garbages by towing to the surface, Proceedings of the KOSOMES Fall Conference, pp. 91-95.
- [7] Jang, D. J., T. H. Kim, K. U. Yang, S. C. Na and K. H. Nam(2008), A Study of Marine Response System for the Tar Type Waste Oil, Proceedings of the KOSOMES Spring Conference, pp. 117-120.
- [9] Mackay, D., D. Berger, M. E. Charles and H. Van Ooijen (1993), Rheolo-gical Characterization of Waxy Crude Oil for Environmental Purposes, Sixteenth Artic and Marine Oilspill Program Technical, Vol. 1, pp. 85-87.
- [10] Oh, J. W., H. J. Cho, D. H. Kim, E. Y. Na, M. G. Jang, S. H. Hwang and J. G. Shin(2008), Response of Tarball entering the South-Western Sea by HEBEI SPIRIT Oil Spill, Proceedings of the KOSOMES Spring Conference, pp. 121-124.
- [11] Rho, J. H., A. J. Park, S. H. Kang, Y. S. Lee, J. H. Kim and B. S. Yoon(2000), Development of Water Wheel Type Oil Skimmer, Proceedings of the KSOE Fall Conference, pp. 123-128.
- [12] Song, D. E. and K. H. Yoon(1997a), An Experimental Study for the Effect of Rotational Direction on the Recovery Rate of Spilled Oil Using a Belt Skimmer, Journal of KSME(B), Vol. 21, No. 5, pp. 679-690.
- [13] Song, D. E. and K. H. Yoon(1997b), An Experimental Study on the Recovery of Diesel Oil Using a Belt Type Skimmer, Journal of the Korean Society of Ocean Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 132-143.
- [14] Yun, J. H.(2013), The Basics of Marine Spill Response, pp. 16-189.

Received : 2017. 03. 06.

Revised : 2017. 03. 31. (1st)

: 2017. 04. 18. (2nd)

Accepted : 2017. 04. 27.