

기름오염방제시 유회수기 사용지침

방제기술정보문서

5



서론

해상 기름 유출을 방지할 수 있는 방법은 다양하다. 여러 국가에서 1차적으로 채택하는 기법은 해수면에서 기름을 기계적으로 회수하는 방식이다. 이는 일반적으로 오일펜스를 통해 유출유를 모으고, 유회수기(skimmer)로 기름을 선별적으로 회수하여 저장 탱크로 펌핑하는 작업으로 구성되어 있다. 작업 규모, 기름 유형 및 환경적 조건에 따라 최적화된 다양한 종류의 유회수기가 존재한다.

본 문서에서는 기름 유출 사고 시 유회수기의 효과적인 사용에 필요한 기본 요건에 대해 설명한다. 본 문서의 내용은 특히 오일펜스의 사용, 해안방제 기법 및 수거기름 처리에 관한 ITOPF 방제기술 정보문서들과 연관지어 이해해야 한다.

개요

유출유 회수 작업의 궁극적 목적은 최대한 합리적이고 경제적인 방식으로 기름을 포집하는 것이다. 회수 시스템이 효과를 거두기 위해서는 대량의 유출유와의 조우 및 그러한 유출유의 포집, 집중, 회수, 펌핑 및 저장과 관련된 문제들을 해결할 수 있어야 한다. 회수 및 펌핑 기능은 일반적으로 유회수기에 결합되어 있는 경우가 많다. 모든 유회수기는 물보다는 기름을 회수하도록 설계되어 있지만, 해상, 차폐 지역, 연안 등 용도에 따라 그 설계 방식이 매우 다양하다. 해상에서 사용하기 위한 유회수기는 모종의 부유체 또는 지지 부위로 이루어져 있으며, 더욱 복잡한 제품은 자체추진형이면서 복수의 회수 장치, 통합형 저장 탱크, 기름/물 분리 장치 등을 갖추고 있기도 하다(그림 1).

유회수기를 선택할 때에는 여러 요소를 고려해야 한다. 그중 가장 중요한 요소는 유출유의 점성도 및 흡착력(시간이 지나 '풍화' 작용이 발생하면서 그러한 성질들이 변화하는 것 포함), 그리고 바다 상태 및 해상 쓰레기의 상태이다. 선박 터미널이나 정유소와 같은 고정 시설에서처럼 상대적으로 예측하기 쉬운 상황에서는 처리할 기름의 유형이 알려져 있기 때문에 이에 맞는 유회수기를 선택할 수 있다. 반면 다양한 상황과 기름에 대처할 수 있는 다목적 유회수기는 예컨대 국가 비축물로 관리하기 위한 목적으로 선호될 수 있다. 그러나 어떤 유회수기도 기름 유출 사고의 모든 상황에 대처할 수는 없으므로, 특히 기름이 풍화되는 상황에서는 특정 종류의 유회수기를 선택해야 한다(표 1).

다음 단계로는 유회수기의 예상되는 용도와 작업 조건을 확인한다. 예컨대 선박에 설치되는 외해용 회수 시스템의 일부를 구성할 것인가, 아니면 항구나 해안가에서 수작업으로 설치할 것인가 등을 고려한다. 해당 사항이 확인되면 크기,



▲ 그림 1: 항구 및 근해에서 사용하는 자체추진형 위어식 유회수기. 회수 폭을 넓히고 부유 기름이 유입될 수 있도록 선수문(bow door)이 개방되어 있다. 회수유는 선내 저장탱크로 이동된다.

내구성(robustness)과 작업 용이성, 취급 및 유지 관리 등과 관련된 기준을 평가해야 한다.

기름 회수 메커니즘 및 유회수기의 설계

유회수기의 기름 회수 장치는 해수면에서 기름을 걷어 내어 펌핑 시스템을 통해 저장 탱크로 보낸다. 수면에서 기름이 제거되는 메커니즘은 이동 중인 표면에 기름이 부착되는 것을 활용하는 친유성 시스템, 흡입 시스템, 중력에 의존하는 위어(weir) 시스템, 그리고 기계적 뜰채(scoop), 벨트, 그레브(grab) 등을 통해 기름을 물리적으로 퍼 올리는 시스템이 포함된다.

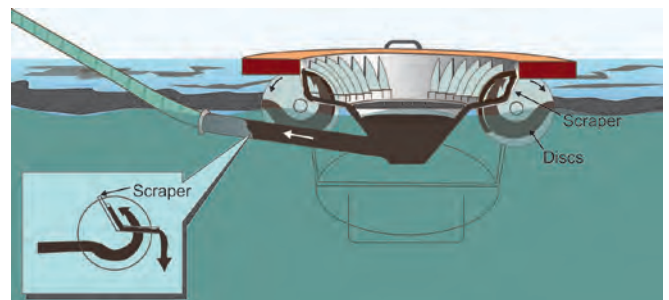
친유성 유회수기

친유성 유회수기는 물보다 기름에 대한 친화력이 있는 소재를 채택한다. 기름은 일반적으로 디스크(그림 2 및 그림 3), 드럼(그림 4), 벨트, 브러시(그림 5) 또는 로프 몹(그림 6 및

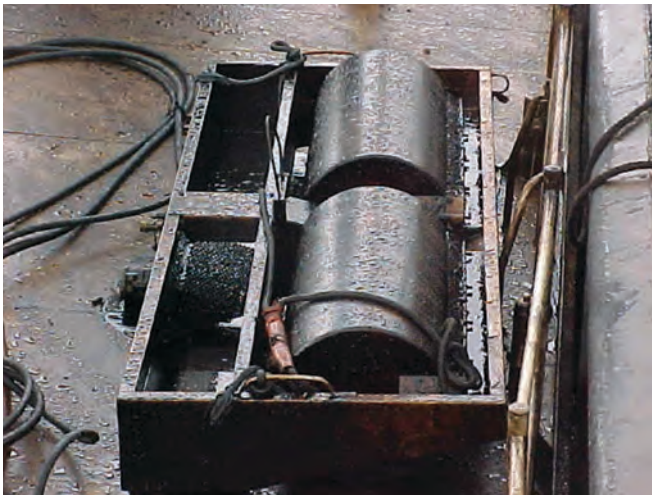
Cover image courtesy Ro-Clean Desmi/Danish Navy.

친유성		회수율	기름	해상 상태	부유 쓰레기	부속 장비 · 부품
Oleophilic	디스크	디스크의 수와 크기에 따라 다름. 테스트에 따르면 흡이 파인 디스크가 매우 효과적임	중점도 기름에 가장 효과적	파도와 조류가 잔잔한 경우, 동반 유입수가 적고 대단히 선별적임. 그러나 거친 해상에서는 잠길 수 있음	쓰레기로 막힐 수 있음	별도의 파워 팩, 수압 호스, 토출 호스, 펌프, 적절한 저장 탱크가 필요
	로프 몹	로프의 수와 속도에 따라 다름. 일반적으로 회수량 이 낮음	중점도 기름에 가장 효과적이나, 고점도 기름에도 효과를 발휘할 수 있음	동반 유입수가 적거나 없음. 거친 바다에서도 작업 가능	상당한 정도의 쓰레기, 얼음, 기타 장애물을 견딜 수 있음	소형 유닛에는 전원과 저장 탱크가 내장되어 있음. 대형 유닛은 별도의 보조 장비가 필요
	드럼	드럼의 수와 크기에 따라 다름. 테스트에 따르면 흡이 있는 드럼이 매우 효과적임	중점도 기름에 가장 효과적	파도와 조류가 잔잔한 경우, 동반 유입수가 적고 대단히 선별적임. 그러나 거친 해상에서는 잠길 수 있음	쓰레기로 막힐 수 있음	별도의 파워 팩, 수압 호스, 토출 호스, 펌프, 적절한 저장 탱크가 필요
	브러시	브러시의 수와 속도에 따라 회수량이 다름. 일반적으로 중간 정도	저점도, 중점도, 고점도 기름별 다양한 브러시 크기	상대적으로 적은 양의 자유수 또는 동반 유입수가 회수됨. 제품별로 거친 바다에서 작업 가능하거나 잠길 수 있음	작은 쓰레기는 효과적이거나, 큰 쓰레기에는 막힐 수 있음	별도의 파워 팩, 수압 호스, 토출 호스, 펌프, 적절한 저장 탱크가 필요
	벨트	낮거나 중간 정도	중점도 내지 고점도 기름에 가장 효과적	동반 유입수가 적고 대단히 선별적임. 거친 해상에서도 작업 가능	작은 쓰레기는 효과적이거나, 큰 쓰레기에는 막힐 수 있음	벨트 상단에 위치한 저장 탱크로 기름을 직접 보낼 수 있음. 선박에서 해안으로 토출 시 보조 장비가 필요
Non-Oleophilic	진공/ 흡입	진공 펌프에 따라 다름. 일반적으로 낮거나 중간 정도	저점도 내지 중점도 기름에 가장 효과적	잔잔한 바다에서 사용. 작은 파도가 있으면 과도한 양의 물이 회수됨. 위어를 추가하면 선별성이 향상됨	쓰레기로 막힐 수 있음	진공 트럭과 트레일러는 일반적으로 자체 전원, 펌프 및 저장 탱크를 갖추고 있음
	위어	펌프 용량, 기름 유형 등에 따라 다름	저점도, 중점도 또는 고점도 기름에 효과적. 고도의 고점도 기름은 위어로 흐르지 못할 수 있음	잔잔한 바다에서는 동반 유입수가 적고 대단히 선별적임. 동반 유입수가 많아지면 쉽게 잠김	쓰레기로 막힐 수 있으나, 일부 펌프는 작은 쓰레기에도 사용가능	별도의 파워 팩, 수압 호스, 토출 호스, 펌프, 적절한 저장 탱크가 필요. 일부 유회수기는 펌프 내장형
	벨트	낮거나 중간 정도	고점도 기름에 가장 효과적	동반 유입수가 적고 대단히 선별적임. 거친 해상에서도 작업 가능	작은 쓰레기에는 효과적이거나, 큰 쓰레기에는 막힐 수 있음	친유성 벨트와 스키머가 필요
	드럼	중간 정도	고점도 기름에 효과적	잔잔한 바다에서는 동반 유입수가 적고 대단히 선별적임. 그러나 파도로 인해 잠길 수 있음	위어식 유회수기와 동일	위어식 유회수기와 동일

▲ 표 1: 일반적인 유회수기의 유형과 특성. 효과적인 작업을 위한 유회수기의 선택 기준은 유출유의 종류이다. 기름의 풍화에 따라 특정 제품의 효과가 달라지기 때문에 회수 작업을 계속하기 위해서는 여타의 제품이 필요한 경우도 있다. 회수율은 기름이 넓게 퍼져 있거나 분산되어 있지 않으며 균일한 유막에서 유회수기를 사용한다는 가정하에 계산되었다.



◀▲ 그림 2 및 그림 3: 중점도 기름에 적합한 소형 친유성 디스크식 유회수기. 회전하는 디스크에 부착된 기름을 긁어내어 기름통으로 보낸 뒤 저장 탱크로 펌핑한다. 적절한 펌프와 수압식 전원공급장치를 필요로 한다.



▲ 그림 4: 중점도 기름에 적합한 친유성 드럼식 유회수기. 회전하는 드럼에 부착된 기름을 긁어내어 기름통으로 보낸 뒤 저장탱크로 이동한다는 점에서 디스크식 유회수기와 흡사하다.



▲ 그림 5: 자유 부양형 브러시식 유회수기. 회전하는 브러시 세트에 부착된 기름이 수면 위로 들어올려진다. 빗 모양의 장치가 브러시에 달라붙은 기름을 제거하여 저장 탱크로 보낸다. 브러시 뒤에 위치한 프로펠러는 유회수기 쪽으로 부유 기름을 유인함으로써 조우율과 처리량을 향상시킨다. (사진 제공: Lamor)



▲▲ 그림 6 및 그림 7: 수평 및 수직 친유성 로프식 유회수기. 서로 엮인 흡착 루프가 하나의 연속적인 몸을 구성하면서 수면에서 기름이 부착된다. 물러로 끌어올린 몸에서 짜낸 기름은 저장 탱크로 이송된다. 로프 몸 유회수기는 쓰레기, 얼음, 기타 장애물과 기름을 분리하여 회수하려는 경우에 유용하다.

그림 7) 형태의 소재에 부착되는데, 이들 소재가 회전하면서 기름을 수면으로부터 퍼 올리게 된다. 친유성 소재에 부착된 기름은 긁어내거나 짜내어 기름통(ump)으로 보내진 뒤 저장 탱크로 펌핑된다. 친유성 유회수기는 분리수(free water) 또는 동반 유입수(entrained water)에 비해 기름이 회수되는 비율, 다시 말해 회수 효율이 가장 높다. 친유성 유회수기는 100-2,000센티스토크(cSt)의 중점도 기름에서 최고의 효과를 발휘한다. 디젤유나 등유와 같은 저점도 기름은 일반적으로 친유성 표면에서 충분히 두껍게 축적되지 않기 때문에 회수율이 높지 않다. 병커유와 같은 고점도 기름은 점성도가 지나치게 높기 때문에 제거가 어렵다. 반면 유중수형 에멀전(Water in Oil)은 부착성이 거의 없기 때문에 일부 친유성 유회수기 제품으로는 회수하기 어렵다. 예컨대 디스크식 유회수기를



사용하면 기름이 회수되지 않고 에멀전이 갈라져 버린다. 일반적으로 친유성 소재는 모종의 폴리머로 제작되지만, 금속 표면도 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 표면에 흠이 파인 디스크 및 드럼은 부드러운 표면보다 회수율이 높은 것으로 알려져 있다.*

흡입식 유회수기

이론적인 측면에서 볼 때 가장 단순한 설계는 흡입 장치이다.

*출처: Optimisation of Oleophilic Skimmer Recovery Surfaces: Field Testing at the Ohmsett Facility, V. Broje, A. Keller, Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara, CA, 36 pp., June 2006.



▲ 그림 8: 진공 시스템은 광범위하게 사용할 수 있기 때문에 해안가나 연안에서 기름을 회수할 때 이상적이다.



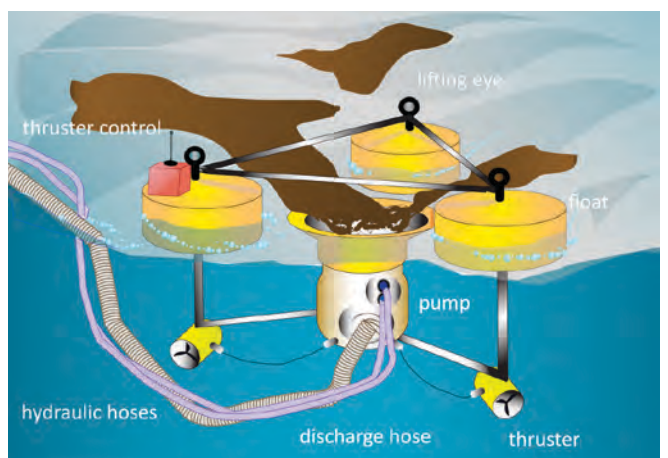
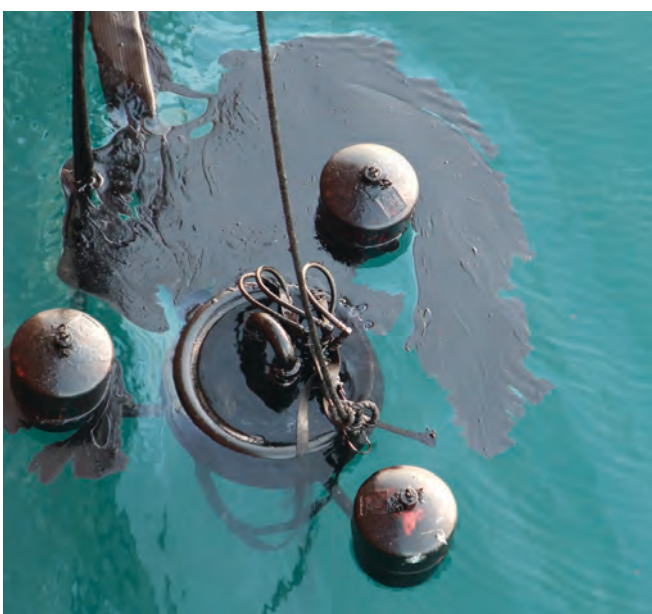
▲ 그림 9: 이동식 진공 시스템은 모래사장 및 바위 해안에서의 기름 회수 작업을 원활하게 한다. 크기가 소형이므로 저장 공간은 제한적이지만, 다른 장비로는 접근하기 어려운 지역에서 작업이 가능하다.



▲ 그림 10: 작업 인원들이 진공 펌프에 부착되어 있는 호스로 기름을 직접 회수하고 있다. 이 경우, 소형 위어 부품이 제거된 상태이기 때문에 고점도 연료유의 유입이 가능하지만 동반 유입수의 양이 증가할 가능성이 있다.



▲ 그림 11: 진공 펌프에 부착된 고정형 위어식 유회수기. 헤드의 가장자리 부분에 작은 입구가 여러 개 있기 때문에 기름을 선별적으로 회수할 수 있다. 잔잔한 바다에서 쓰레기가 아주 적은 경우에 적당하다.(사진 제공: Lamor社)



◀ 그림 12 및 그림 13: 위어식 유회수기는 유막의 상단 표면 바로 아래에 위치한 중앙 위어를 통해 중력의 힘으로 기름을 회수하여 중앙 저장 장치로 보낸 뒤 저장 탱크로 펌핑한다.



▲ 그림 14: 플라스틱 용기와 금속 조각으로 즉석에서 제작된 위어식 유회수기가 진공 펌프에 부착되어 있다. 이 장치는 초보적인 회수 작업이 가능하며, 용기를 제거하거나 추가함으로써 조정할 수 있다.



▲ 그림 15: 대형 회수선에 설치된 벨트식 스키머. 망사로 제작된 벨트는 물은 빠져나가고 기름은 부착하도록 설계되어 있다. 선상으로 끌어 올려진 기름은 굽어낸 뒤 저장 탱크로 이송한다.



▲ 그림 16: 에멀전화가 심한 인료유의 회수 능력을 향상시키기 위해 위어식 유회수기에 추가된 벨트 어댑터. 고점도 기름은 위어의 주둥이 부분으로 잘 흐르지 않기 때문에, 흡수 모양의 벨트 어댑터를 추가하여 기름을 '붙잡아' 회수 효율을 향상시킨다. 또한 기름의 결속 에너지가 나머지 기름을 회수기 쪽으로 '흐르게' 한다.(사진 제공: Ro-Clean Desmi社/덴마크 해군)

이것은 펌프나 공기 흡입 시스템을 통해 수면에서 기름을 직접 회수하는 방식이다. 특히 회수, 저장, 이송 및 물/기름 분리 장치를 갖춘 진공 트럭 또는 트레일러는 현지에서 구매하거나 지자체 또는 농업 관련 기관을 통해 유출 현장에서 즉각적으로 사용할 수 있으며, 해안가 또는 근처에서 기름을 회수하는 데 이상적이다(그림 8). 규모가 더 작고 이동성이 높은 장치들도 이용할 수 있다(그림 9). 부유 기름 또는 표착유에 흡입 호스를 직접 설치하고 망사 스크린으로 쓰레기 진입을 막으면 가장 간단한 방식의 회수시스템이 구성된다(그림 10). 그러나 이러한 작업은 무차별적으로 이루어지는 경우가 많기 때문에 회수되는 물의 양이 굉장히 많아지게 된다. 관련 법규가 허용하고 필요 장비가 사용 가능한 경우, 이렇듯 과도하게 유입된 물은 다른 곳으로 옮김으로써 기름의 저장 용량을 극대화해야 한다.

위어식 유회수기

위어라는 장치를 흡입 호스에 부착하면 더 많은 양의 기름을 선별할 수 있다(그림 11). 위어식 유회수기는 수면에서 기름을 선별적으로 회수하기 위해 중력을 이용한다. 부유 기름과 물 사이의 계면 또는 그 약간 아래로 위어의 주둥이 부분을 위치시키면 기름이 위어를 통해 선별적으로 회수되고 최소량의 물이 유입된다. 고급형 제품은 조절식 위어가 부착되어 있으며, 자체 수평성 장치를 통해 위어를 정확히 수직으로 위치시킬 수 있다(그림 12 및 그림 13). 그 밖에도 매우 단순하고 기본적인 위어식 유회수기도 있는데(그림 14), 동반 유입수가 많을 수 있다. 일반적으로 너울성 파도만으로 유회수기의 작동이 방해받는 것은 아니지만, 파도가 심한 곳에서는 어떤 위어식 유회수기도 효과적이지 못하다. 이송 호스에서의 마찰 손실 문제를 해결하기 위해 일부 위어식 유회수기는 자체 펌프가 설치되어 있어서 단순히 흡입에 의존하기 보다는 호스를 따라 회수 기름을 펌핑할 수 있다.

기타 종류

파도와 거친 바다에 더욱 효과적으로 대처하기 위한 유회수기도 존재한다. 예컨대 상향 회전식 벨트는 일부분을 기름/물 계면 아래로 내려서 수면과의 영향을 감소시킬 수 있다. 수면 위로 회수된 기름은 벨트에서 굽어내어 저장 탱크나 그 밖의 용기로 떨어뜨린다. 회전식 브러시(그림 5), 체인 링크 또는 망사(그림 15)의 개별 부위에 대한 기름의 접착력에 의존하여 벨트를 친유성 소재로 제작할 수 있다. 그 밖에도 벨트에 버킷이나 패들을 사용하여 수면에서 기름을 건져 올리는 것을 용이하게 하는 종류도 있다. 일부 벨트 제품은 앞서 언급한 특성들이 결합된 경우도 있다. 반면 하향 회전식 벨트는 기름을 바닷속으로 밀어 넣은 뒤 벨트 뒤의 잔잔한 지역으로 다시 떠오르면 회수한다.

회전 디스크, 벨트 및 드럼에 의해 국지적으로 유도된 조류는



▲ 그림 17: 항구 지역에 배치된 기계적 드럼식 유회수기. 회전 드럼의 톱니에 의해 회수기 쪽으로 유도된 기름은 드럼에서 회수되어 저장 탱크로 이동된다. 드럼은 물 회수를 최소화하기 위해 망사로 제작되었다.

회수 개시 상태에서 저점도 또는 중점도 기름이 유회수기 쪽으로 자연스럽게 흐르게 하는 데 충분하다. 기름을 ‘붙잡기’ 위해 디스크나 벨트가 톱니 모양으로 된 제품은 점성도가 더 높은 기름의 흐름을 향상시켜 유회수기로 유입시킬 수 있다. 일부 위어식 유회수기는 교체 가능한 어댑터를 채택하여 기름의 풍화 및 점성도 증가 상황에서도 오래 사용할 수 있다(그림 16). 점성도가 매우 높은 기름의 회수를 위한 제품은 회전 드럼 또는 원통형 망사를 통해 기름은 망사에서 걸리고 물은 빠져나가도록 설계되어 있다(그림 17). 그러나 점성도가 매우 높은 일부 기름이나 에멀전은 궁극적으로 회수 장치로의 흐름을 방해하기 때문에, 회수 작업을 계속하려면 모종의 추진체를 통해 유회수기가 기름 쪽으로 이동하거나 기름이 유회수기 쪽을 향하도록 해야 한다.

일부 유회수기 시스템은 유속이 높거나 예인 속도가 높은 상황에서 작업할 수 있도록 설계되어 있다. 일반적인 접근법은 회수 구멍 뒤에 위치한 영역을 확장시킴으로써 유회수기로 들어가는 물과 기름의 속도가 느려지고 기름이 수면으로 떠올라서 회수될 수 있도록 하는 것이다. 이러한 시스템이 효과를 발휘하려면 유속이 높은 대량의 바닷물과 난류에 대처할 수 있어야 한다.

기름 회수 작업의 한계

다른 많은 방제 방법과 마찬가지로, 성공적인 기계적 회수 작업은 악천후, 기름의 점도 및 조류와 파도의 영향과 같은 요인들에 의해 제약을 받는다. 유막의 확산 및 파편화는 주어진 시간 내에 회수 가능한 기름의 양, 다시 말해 ‘조우율(encounter rate)’ 을 감소시킨다. 마찬가지로 어떤 시스템이 기름을 선별적으로 회수할 수 있는 능력은 저장 용량이 제한되어 있는 경우 대단히 중요한 고려 사항일 것이다. 그 밖의 제약

요인으로는 기름이 저장 탱크로 이동할 수 있는 거리에 영향을 미치는 펌핑 능력을 들 수 있다. 기름 회수 시스템의 잠재적 성능은 처리 효율, 회수 효율 및 기름 회수율 등의 테스트 성능 기준으로 표시할 수 있지만, 이러한 각각의 기준은 근본적으로 조우율의 제약을 받는다.

조우율

조우율은 회수 시스템이 ‘휩쓸고’ 지나가는 해수면 부분(기름 회수 폭 및 회수 시스템 전진 속도)과, 유막의 확산 및 파편화 정도라는 두 가지 요소로 구성되어 있다. 해상에서 갓 유출된 기름은 충분히 두껍고 응집력이 있으며 균일한 상태를 유지한다면 포집할 필요 없이 적절한 상태로 회수할 수 있다(그림 18). 이 경우 유회수기의 능력은 회수 능력과 적정 저장 용량의 제한만 받게 된다. 따라서 기름이 갓 유출된 상황에서는 신속한 자원 동원이 유회수기의 효과적 작업을 위해 중요하다.

유회수기 제조업체들이 발표하는 회수율을 입수할 수 없는 경우가 많은 1차적 이유는 유출된 기름이 확산, 파편화 및 풍화되는 경향이 있기 때문이다(그림 19 및 그림 20). 다양한 유출 사고를 통해 얻은 경험에 따르면 시험 상황에서의 회수율을 유지할 정도로 기름이 포집되지 않는다. 따라서 시험 결과는 오류의 가능성이 있으므로 비교 목적으로만 사용해야 한다.

기름이 확산되고나면 회수 시스템의 효과는 기름의 조우율에 더욱 의존하게 된다. 회수선의 속도, 유효 회수 폭, 유막의 두께 및 기름의 분산 정도 등이 조우율을 결정한다. 유막의 두께와 기름의 분산 정도는 확산 비율, 경과 시간, 기후 상태, 기름 유형 및 에멀전화의 정도가 결정하는데, 이들 요소에 대한 통제는 거의 불가능하다. 그러나 특정 요인으로 인해 회수 폭과 작업 속도는 달라질 수 있다. 예컨대 오일펜스를 사용하여 부유 기름을 포집하면 회수 폭이 넓어진다. 따라서 오일펜스의 설치 방식은 유회수기의 작업 방식에 커다란 영향을 미치게 된다. 특히 해수의 움직임에 비해 회수 시스템이 정적으로 설치되어 있는 경우, 대부분의 유회수기는 0.35-0.5 m/s(0.7-1노트)를 초과하는 조류에서 부유 기름이 오일펜스를 탈출하기 때문에 성능이 약화된다. 이러한 제약 조건은 자체추진형 유회수기를 통해 부분적으로 해결할 수 있다. 일반적으로 쌍동선의 선체 사이에서 벨트나 흡착 몸 어레이가 회전하면서 항행 시 부유 기름 대비 속도가 효과적으로 감소하거나 0이 되는 방식이다. 또한 이러한 방식은 부유 기름의 난류를 최소화함으로써 에멀전화의 가능성을 감소시키는 장점이 있다.

부유 기름이 해상에서 바람의 방향을 따라 집중되면서 기름띠가 형성되면 일반적으로 회수 폭이 넓지 않아도 된다. 이러한 기름띠는 회수 폭이 상대적으로 좁은 회수 장치로 회수할 수 있으며, 이때 항공기의 인도를 받는 것이 이상적이다. 기름띠가 형성되면서 기름의 집중도와 유막의 두께가 증가하고 기름띠 사이에 위치한 해수에는 기름이 상대적으로 적기 때문에 훨씬 넓은 회수 폭을 가진 장치를 사용한 것과 같은 성과를 거둘



▲ 그림 18: 균일하고 두꺼운 대규모의 유막에서 작업 중인 회수선. 장비와 인력을 대단히 효과적으로 사용할 수 있다.



▲ 그림 19: 기름의 확산 및 파편화로 인해 조우율이 감소하기 때문에 더 많은 회수 노력이 요구된다.



▲ 그림 20: 몇 주가 지나자 해상의 유막이 지름 1 m 이내의 점시 모양으로 풍화 및 파편화된 모습(동그라미 표시). 또한 타르볼이 광범위하게 산재해 있어 전반적인 회수 효율이 현저하게 저하된다. 이 시점에서는 회수 작업을 계속하는 것이 비효과적이기 때문에 방제(회수)선을 철수시켜야 한다.

수 있다.

항구, 계선지, 내륙 수로, 해안 근처 등과 같이 협소한 지역에서는 선체, 말뚝 및 기타 항구 시설, 바위 또는 쓰레기, 천해로 유입된 기름 또는 연안 표착유 등으로 인해 조우율이 영향을 받게 된다. 방파제나 그 밖에 해안가에 위치한 장애물로 인해 충분히 두꺼워진 기름은 쉽게 회수할 수 있지만, 기름이 주변을 이동하는 경우에는 회수기의 작업 능력이 제한된다.

증발, 분산 또는 기타 풍화 작용으로 인해 해수면에 잔존하는 기름의 양이 감소하거나 대부분이 회수되어 잔존유의 양이 감소한 경우에는 조우율 역시 유사한 정도로 감소하며, 이에 따라 회수 인력과 장비의 철수를 결정해야 할 시점이 도래하게 된다.

성능 기준

실험용 수조에서 회수 시스템을 테스트함으로써 여러 종류의 성능 기준을 수립할 수 있다. 시스템의 전반적인 성능을 결정하는 중요한 요소는 회수 효율이다. 회수 효율은 물 대신 기름을 회수하는 선별성을 측정하는 지표로서, 포집된 물과 기름의 총량 중에서 회수유가 차지하는 비율로 표시된다.

처리 효율은 조우한 기름의 양과 회수유의 양을 비교한 것으로서, 포집 장벽과 회수 장치에서 발생한 손실이 부각된다. 작업 속도가 증가하고 해상 상태가 악화되는 상황, 특히 파고는 증가하나 파장은 줄어들면서 작은 파도가 거칠게 이는 바다에서는 처리 효율이 감소한다. 다시 말해 속도가 증가하면 처리 효율은 줄어드는 반면, 조우율이 증가한다는 트레이드오프가 발생한다.

파도는 오일펜스가 포집한 기름의 손실을 초래한다. 넘침손실이 발생하거나 해수의 작용에 제대로 적응하지 못하면서 물마루 사이에 브리징(bridging) 현상이 생기기 때문이다. 마찬가지로 회수 장치, 특히 위어식 유회수기가 기름/물 계면의 최적 위치에 머물지 못하면 대량의 물이 유입되는 경우가 많다. 또한 파도에 비례하여 유회수기에 의해 발생하는 난류는 유회수기 아래의 기름 손실을 초래한다. 이상적인 회수 장치는 질량과 크기가 작아서 파도의 작용에 효과적으로 적응해야 한다. 선박에 견고하게 부착되거나 내장되어 있어서 독립적으로 움직일 수 없는 장치는 바다 상태가 악화되는 경우 해수면이 달라지기 때문에 효과가 감소한다. 반면 심한 너울성 파도라도 파장이 충분히 길면 무해하다.

또 다른 성능 기준으로는 기름 회수율을 들 수 있다. 기름 회수율은 단위 시간당 유회수기가 회수하는 기름의 양으로서, m³/h 등으로 표시한다. 기름 회수율은 모든 시스템 장치(특히 펌프와 저장 탱크)가 특정 회수율을 처리할 수 있는 경우, 조우율과 처리 효율에 의해 결정된다. 전형적인 기름 점성도와 수두 손실을 감안해 조정된 최대 펌프 용량은

보통 유회수기의 용량을 가리키는 단독 지표로 간주되며, '네임플레이트 비율(nameplate rate)' 로도 알려져 있다. 이는 분명 중요한 고려 사항이지만, 시스템이 회수하지 못한 기름의 양 및 기름과 함께 회수된 물의 양 역시 고려해야 한다. 시스템의 전반적인 성능은 펌프 용량, 기름 회수율 및 회수 효율을 모두 고려하여 판단해야 하며, 이들 세 요소는 기름이 회수되는 비율과 자유수가 회수되는 양을 결정하게 된다.

기름의 점성도

기름의 점성도는 대다수 회수 장치의 효율성에 1차적인 제약을 가한다. 일부 고점도 원유 및 연료유와 같이 유동점이 높은 기름은 일반적으로 쉽게 흐르지 않는다. 주위 온도가 유동점 이하인 경우, 이들 기름은 반고체 상태가 되어 유회수기 쪽으로 잘 유입되지 않기 때문에 회수하기가 어려워진다.

점성도는 여러 종류의 기름이 W/O(Water in Oil) 에멀전을 형성하려는 경향 때문에 영향을 받기도 한다. 이러한 에멀전은 오염물의 전체 부피를 서너배 증가시킨다. 에멀전이 형성되면서 점성도 역시 일반적으로 100,000 cSt 이상으로 현저하게 증가한다. 어떤 경우에는 이러한 문제를 해결하기 위해 유탁제 또는 화학적 유화과외제를 끌고루 섞어 토출함으로써 펌핑을 촉진하고 저장 용량을 최소화하기도 한다.

시간이 지남에 따라 기름의 풍화로 인해 점성도가 증가하기 때문에, 가장 적절한 유회수기 및 펌핑 장치의 사용 등 방제 전략의 지속적인 재평가가 필요하다. 예컨대 친유성 유회수기는 잘 유출되어 상당 정도의 풍화 과정을 겪지 않은 기름에 효율적으로 작업할 수 있다. 그러나 점성도가 증가하고 쓰레기가 포함되면서 회수 작업의 효과는 감소하게 되며, 이에 따라 쓰레기 커터가 달린 스크류 펌프가 장착된 위어식 유회수기 등으로 대체해야 하는 경우가 발생한다(앞표지 그림). 그러나 어떤 종류의 유회수기라도 궁극적으로 효과를 상실하기 때문에 그랩(mechanical clam shell bucket) 또는 굴착기를 필요로 하게 된다(그림 21). 그물 및 포획물을 처리하기 위해 크레인이 달린 어선 또는 기타 선박은 그랩을 사용할 수 있도록 조정 가능한 경우가 많다. 그러나 그 가용성에 비해 그랩과 굴착기는 속도가 느리고 신중하게 작업하지 않는 경우 많은 양의 물이 유입될 수 있다. 고점도 및 반고체 기름의 회수를 위한 가장 단순하고 효과적인 접근법 중 하나는 소형 어선에서 뜰채를 사용하여 수작업으로 회수하는 것이다(그림 22). 뜰채에 뚫린 구멍으로 물이 빠져나가게 되며, 회수된 기름은 선상에 있는 드럼이나 1톤 백(bag)으로 이송된다.

펌프, 호스 및 전원공급장치

펌핑 단계는 유회수기의 전반적인 성능을 결정하는 경우가 많다. 기름의 점성도가 증가하면서 모든 펌프가 비록 정도의 차이는 있지만 효율성을 잃기 때문이다. 일반적으로 회수유의 처리는 정변위 펌프(positive displacement pump)가 더욱 적합하다. 원심 펌프(centrifugal pump)는 처리할 수 있는



▲ 그림 21: 고점도 연료유의 회수를 위한 굴착기 작업. 버킷을 수면 약간 위로 들어 올린 상태를 잠시 유지하면서 유입수가 빠져나가도록함으로써 회수유의 농도가 극대화되었다. 이를 통해 후속적인 처리 비용이 절감되었지만, 회수 효율은 감소되었다.



▲ 그림 22: 뜰채로 고점도 연료유 덩어리를 회수하고 있는 어부



▲ 그림 23: 고점도 기름을 펌핑하는 과정에서 과도한 내부 압력이 발생하여 터진 호스(사진 제공: NOFO)

기름의 점성도에 제약을 받으며 W/O 에멀전의 형성을 촉진하는 경향이 있다. 콘크리트나 슬러리의 펌핑을 위해 설계된 제품이나 나사 펌프를 포함한 전문적인 제품들은 매우 높은 점성도에도 견딜 수 있지만, 토출 호스의 내부 저항이 제약 조건으로 작용할 수 있다.

일반적으로 기름과 함께 회수되는 물의 양은 저장의 최적화 및 처리 비용의 절감을 위해 최소한으로 유지되어야 한다. 그러나 고점도 기름의 경우, 자유수 또는 동반 유입수의 회수는 펌핑 시 기름의 저항으로부터 발생하는 배압 및 특정 거리로 펌핑하기 위한 동력을 절감시킬 있다는 초기 장점이 있다. 또한 이에 따라 구성 부품의 마모와 손상을 줄일 수 있다(그림 23). 설계상의 특성으로 인해 대량의 물을 회수하게 되는 유회수기는 저장 용량이 충분하고 추후 물을 배출할 수 있다면 앞서 언급한 상황에서 장점을 발휘할 수 있다. 또한 펌프와 호스의 막힘을 감소시키기 위한 스팀 가열 또한 기름의 흐름에 도움을 준다. 물 분사 링을 장착하면 분사된 물이 호스 내부 표면과 기름 사이의 윤활제 역할을 하면서 호스 입구의 압력이 감소한다는 결과가 도출되었다(표 2). 가능한 경우, 길이가 짧거나 구경이 큰 배출 호스를 사용하면 펌핑 효율의 향상에 도움이 된다.

이송 호스와 고압 호스는 부유 장치에 잘 들어맞아야 하고 유회 수기가 당겨지지 않아야 한다. 그렇지 않으면 유회수기가 잘못된 위치에 뜨게 된다. 또한 부유 장치는 호스의 가시성이 높도록 설치하여 막힘을 최소화하고 선박의 프로펠러와 얽히지 않도록 해야 한다. 고압 호스를 포함한 모든 호스는 기름이 묻었을 경우 취급하기가 까다로워진다. 아울러 이들 호스는 단순하지만 효과적인 성능을 발휘하는 커플링(coupling)에 잘 들어맞아야 한다. 직경이 다른 호스를 서로 연결하거나 상이한 종류의 커넥터를 연결할 때에는 적절한 어댑터를 사용하는 것이 유용하다.

여러 유회수기 제품은 펌핑 및 (필요 시) 기름 회수를 위한 전용 파워 팩이 장착되어 있다. 예컨대 디젤 파워 팩은 직접적으로 사용하거나 전기, 유압 또는 공기압 시스템을 유도하기 위해

장비	토출 압력(psi)	유량 (m³m/hr)
펌프	181	4.5 – 5.9
펌프 + 물 분사 장치	7 – 9	46.7 – 58.2

▲ 표 2: 펌프의 입구와 출구에 물 분사 장치를 설치하면 펌핑 능력이 향상된다. 구체적으로 토출 압력은 약 95% 감소하고 유량은 10배 정도 증가한다. 점성도가 210,000 cSt인 기름을 길이가 92 m인 호스를 통해 펌핑했으며, 다양한 종류의 스크류 펌프를 사용했다. (출처: Floating Heavy Oil Recovery - Current State Analysis, US Coast Guard, Research and Development Centre/David Cooper, SAIC Canada, 27 July 2006.)

사용할 수 있다. 화재 또는 폭발의 위험이 있는 정유소, 석유 탱크 집합 지역, 기타 제한 지역에서 적용되는 안전 규제 요건을 준수하는 파워 팩을 (가솔린 엔진을 제외하고) 설치할 수 있다. 고점도 기름을 펌핑할 때에는 파워 팩을 최대 용량으로 작동시켜야 하는 경우도 있으므로 펌프 용량을 충족시킬 수 있는 전원공급장치를 선택하는 것이 중요하다.

저장 탱크

회수된 기름과 기름수의 저장 문제는 전체 작업을 심각하게 제약하는 요소인 경우가 많다. 여러 선박, 특히 VOO(Vessel Of Opportunity)의 경우(그림 24), 선상 저장 탱크의 용량이 제한되어 있어서 대량의 기름과 조우하는 시스템인 경우에는 급속히 차오르게 된다. 이때 기름/물 분리 장치를 사용하면 회수유의 농도를 높이고 제한된 공간의 사용을 극대화할 수 있다. 그러나 분리된 물의 토출 능력은 현지 규정의 제약을 받을 수 있다. 대용량 저장 탱크(그림 25) 또는 적절한 기름/물 분리 시설을 갖춘 선박은 해상에서 더 오랫동안 기름을 회수할 수 있지만, 규모가 상대적으로 크기 때문에 특히 해안과 근접한 경우와 같이 다양한 상황에서 기동력을 충분히 발휘하지 못할 수 있다.

회수 작업의 물류 운용은 해상에서 회수된 기름을 저장할 수 있는 전용 바지선이나 탱커를 통해 향상될 수 있다. 그 밖에도 팽창식 바지선(그림 26)과 같이 특정 목적을 위해 임시로 설치된 부유 저장 탱크를 활용할 수도 있다. 그러나 이러한 장치는 거친 바다에서 파도에 휘말릴 가능성을 고려해야 한다. 드래곤(dracone), 블래더(bladder) 및 그 밖의 밀폐형 저장 탱크는 사용 후 내용물을 비우고 세척하기가 어려울 수 있기 때문에 신중하게 고려해야 한다. 궁극적으로 회수유는 해안에 토출해야 하므로 적절한 적하 장비를 갖춘 부두 근처의 탱크나 기타 저장 장치를 식별해야 한다. 저장 탱크에 가열 장치가 없는 선박의 경우, 이동식 히팅 코일을 사용하면 파이프와 호스를 통해 기름이 흐르는 것을 촉진함으로써 해당 선박이 해상으로 돌아가 회수 작업을 재개하는 시간을 줄일 수 있다(그림 27).



▲ 그림 24: 공간 제약이 있는 회수유 저장 탱크가 갑판에 설치된 선박



▲ 그림 25: 회수선 내의 저장 탱크에 담겨 있는 고점도 회수유(사진 제공: NOFO)



◀ 그림 26: 팽창식 저장바지선으로 기름을 회수하고 있는 드럼식 유회수기



▲ 그림 27: 회수선으로부터 기름을 해안으로 토출하는 작업을 지원하기 위한 이동식 히팅 코일



▲ 그림 28: 에멀전화한 연료유가 유회수기를 통해 해안가에서 회수되어 절벽 꼭대기에 있는 임시 저장 탱크로 펌핑되고 있다.

해안 또는 근해에서 회수한 기름의 현지 저장 문제는 하나의 제약 요소로 작용할 수 있으므로, 지속적인 운송을 위해 탱크로리로 직접 이송하는 방식이 선호되는 경우가 많다. 앞서 언급한 바와 같이, 산업용 또는 농업용 진공 탱커는 기름 회수 작업을 위한 여러 요소들을 하나로 결합하는 데 유용하게 사용될 수 있다. 그 밖에도 이동식 저장 탱크, 스킵(skip), 선형 피트(pit) 등을 최고수위선 위에 설치하면 문제가 어느 정도 해결된다(그림 28). 특히 선형 피트의 경우에는 구축하기 전에 현지 당국의 허가를 받아야 한다. 아울러 현장 계획은 분리수의 배출 능력을 반영하여 수립되어야 한다.

유회수기의 설치

해상 회수 작업

방제 계획에서는 해상 회수 작업에 필요한 일체의 물류 요건을 고려해야 한다. 가장 두꺼운 기름층의 위치를 파악하고

회수선이 최적의 효과를 발휘할 수 있도록 유도하기 위해서는 정찰기가 필요하다. 또한 기름이 확산하여 회수가 불가능할 정도로 분산되기 전에 오일펜스 및 유회수기를 설치할 적절한 선박을 최대한 신속히 확보해야 한다. 공중으로부터의 조율 작업은 공중과 바다간의 커뮤니케이션 장치를 갖춘 항공기가 회수선과 직접 연락을 취함으로써 변화하는 상황에 신속히 대처하는 방식이다. 예상되는 회수율에 맞추기 위해 충분한 저장 용량이 해상에 확보되어야 하며, 앞서 논의한 바와 같이 해안에서는 회수 기름을 모을수 있는 설비가 갖추어져 있어야 한다. 그러나 이러한 요건 모두를 신속히 충족시키기는 어렵다. 여러 유출 사고에서 상당수의 방제선이 투입됨에도 불구하고 유출유의 약 10% 이상만 회수되며, 보통은 그보다 더 낮은 비율로 회수되기 때문이다.

해상에서 부유하는 기름을 모으기 위해서는 일반적으로 두 척의 선박을 이용하여 U자형, V자형 또는 J자형으로 오일펜스를 예인하는 방법을 취할 수 있다. 회수 장치는



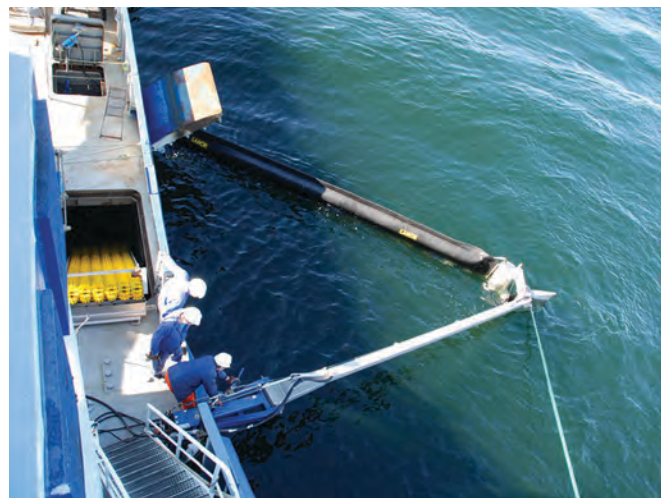
▲ 그림 29: U자형으로 예인되고 있는 오일붐. 주 회수선을 통해 유회수기가 배치되어 있다.



▲ 그림 30: V자형으로 예인되고 있는 오일붐과 벨트형 유회수기를 갖춘 회수선



◀ 그림 31: 아웃리거에 부착된 팽창식 오일붐과 해안경비정에 탑재된 자유부양형 위어식 유회수기로 구성된 단일선박 회수 시스템. 견현이 높기 때문에 잔잔한 바다에서 바람 부는 쪽으로 배치가 가능하다.(사진 제공: USCG)



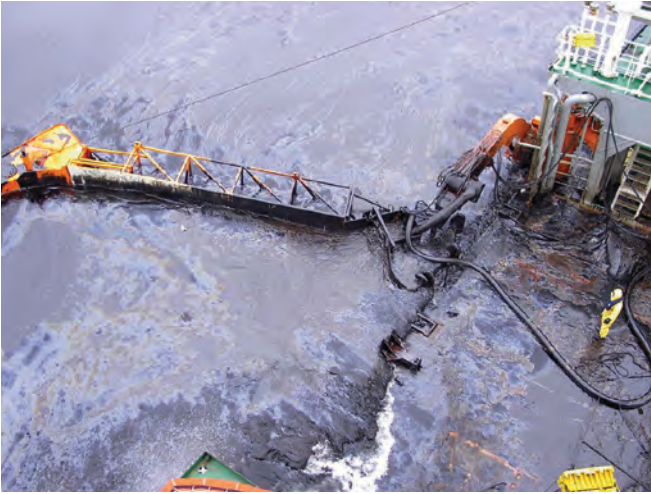
▲ 그림 32: 내장형 단일선박 회수 시스템. 선박 측면 구역에 보관되는 오일붐은 선내 크레인을 통해 입구에서 수상으로 배치된다. 이러한 입구는 유입 기름이 선내 유회수기에 의해 회수되도록 한다. 사진에서는 컨베이어 장치에 있는 6세트의 브러시로 구성된 유회수기가 사용되고 있다.(사진 제공: Lamor社)

하나의 선박에서 배치되거나(그림 29) 오일펜스 구성 형태의 일부로서 예인될 수 있다(그림 30). 유회수기는 가장 두꺼운 유막에 위치해야 하지만, 오일펜스의 마멸 또는 기타 손상을 방지하기 위해 유회수기와 오일펜스가 서로 접촉하지 않아야 한다. 대형 유회수기에 부딪히는 파도는 기름이 회수부로 흐르는 것을 방해한다. 이에 따라 장비를 요령 있게 운용해야 하며, 상황 변화에 따라 지속적인 조정 작업을 실시해야 한다. 요구되는 저속으로 오일펜스를 예인할 수 있는 전문성은 유출 사고 훈련 및 정기적인 훈련을 통해 확보할 수 있다. 여러 선박이 참여하는 회수 시스템의 유지 관리는 일차적으로 각 선박 간 조율이 어렵기 때문에 까다로운 작업이다. 이에 따라 유연성이 있는 또는 견고한 스위핑 장치를 통해 기름 포집, 회수 및 저장 기능을 선박 한 척으로 수행할 수 있는 해결책을 고려할 수 있다.

유연성 있는 시스템에서는 아웃리거(outrigger)에 부착된 오일펜스를 사용한다(그림 31). 그러나 회수 폭이 너무

넓으면 거친 바다나 커다란 너울성 파도로 인해 장치가 손상을 입을 수 있고 기동성이 제약을 받음으로써 선박의 운용에 심각한 영향을 미친다. 이러한 시스템에서는 기름이 가장 많이 집중되어 있는 오일펜스 정점에 유회수기가 위치하며, 자유롭게 떠 있거나 선박의 측면에 설치되어 적절한 입구를 통해 기름이 유입될 수 있도록 한다(그림 32). 견고한 시스템은 고형 부유 장벽 또는 스위핑 암이 크레인이나 수압식 암을 통해 선박으로부터 배치된다(그림 33). 유회수기는 회수 기름의 종류에 따라 일반적으로 위어식 또는 브러시식으로 되어 있으며, 회수를 촉진하기 위해 선박 근처에 있는 암에 설치된다. 견고한 스위핑 시스템은 배치하기가 상대적으로 용이하고 설계가 간단명료하다는 장점이 있다.

유연성을 가진 또는 견고한 시스템은 특별히 설계된 선박이나 적절한 부품을 갖춘 VOO에서 사용할 수 있다. 작업 플랫폼을 갖춘 선박이 적절한 핸들링 기어와 충분한 기동성을 갖추므로써 회수 위치를 바람과 조류에 맞서 유지할



▲ 그림 33: 수압식 크레인을 통해 회수선에 부착되어 있는 유연성 있는 스위핑 암. 견련이 낮고 커다란 너울성 파도가 생기면서 갑판에서는 작업자들에게 위험한 상황이 발생하고 있다.(사진 제공: WSA Cuxhaven)



▲ 그림 34: 바위로 이루어져 있는 차폐 지역에서 기름을 회수하고 있는 자체추진형 위어식 유회수기. 흘수가 낮은 회수선은 해안 근처에서 작업이 가능하다. 회수 작업을 보조하기 위해 작업 인원들이 기름을 위어 입구 쪽으로 이동시키고 있다.



▲ 그림 35: 일반적으로 항구에서 쓰레기를 회수하기 위해 사용되는 자체추진형 선박. 사진에서는 낮은 온도와 비교적 높은 유동점으로 인해 기름이 반고체 상태가 되어 있기 때문에 뜰채와 그레브를 사용하여 유회수기로 회수시켜야 한다.

수 있는 것이 이상적이다. AHTS(Anchor Handling Tug Supply) 선박 또는 PSV(Platform Supply Vessel)의 대형 개방형 갑판은 장비의 보관, 취급, 배치, 유지 관리 및 세척에 용이하다. 그러나 경험에 따르면 개방된 갑판은 거친 바다에서 작업자들에게 위험하다. 낮은 견련이나 그 밖의 선박 유형도 너울성 파도가 큰 상황에서 물과 기름이 다량으로 쇄도하면서 유사한 문제를 발생시킬 수 있다(그림 33).

일부 선박 유형은 특히 다량의 부유 기름을 회수하는 데 효과적인 것으로 입증되었다. 특히 저장 용량이 큰 준설선, 연안 탱커(coastal tanker), 벙커 바지선 등은 배출 작업에 앞서 더 오랫동안 해상에 머물 수 있다. 이들 선박과 아울러 견련이 상대적으로 높은 그 밖의 선박들은 바람이 부는 쪽으로 회수하는 데 도움이 되지만(그림 31), 높은 곳에서 장비를 배치하면 풍손(windage)이 발생할 수 있다. 회수된 기름의 취급은 그러한 종류의 선박들에 일반적으로 설치되어

있는 고용량 펌프 및 히팅 코일 내장형 저장 탱크의 도움을 받게 된다. 준설선의 경우, 제한된 상황에서는 준설관 또는 버킷을 기름에 직접 사용하는 것이 가능할 수 있으며, 이들 시스템은 비선별적이고 파이프 직경이 크기 때문에 쓰레기나 고도로 에멀전화된 기름에 막힐 가능성을 감소시킬 수 있다.

연안 및 해안에서의 회수 작업

자체추진형 유회수기는 잔잔한 해상일 경우 항구, 항만, 차폐 지역 등에서 효과적으로 사용 가능하며(그림 34 및 그림 35), 예컨대 쓰레기 수집기와 같은 2차적 기능도 일부 수행할 수 있다. 이들 선박은 오염 위험 및 기름의 유형이 알려져 있고 방제 계획이 상대적으로 단순명료한 유류 터미널이나 정유소를 위한 방제 계획의 일환으로 활용되는 경우가 많다. 특수 목적을 위해 제작된 자체추진형 유회수기는 비교적 고가의 장비이지만, 사방이 막힌 지역, 특히 해안으로부터의 접근이 용이하지 않은 경우에 효과적이다.

이동식 유회수기의 경우에는 천(홀)수선(shallow-draught vessel)이 해안 근처에서 최적의 작업 플랫폼을 제공할 수 있다(그림 6). 이 경우, 이동식 저장 탱크 또는 IBC(Intermediate Bulk Container)를 선상에 설치하여 기름을 저장할 수 있다. 그러나 저장 기름의 양과 파워 팩 및 기타 장비가 선박의 안전성을 저해하지 않도록 주의해야 한다.

기타 부유 물질과 마찬가지로 기름은 바람과 물의 영향을 받아 해안을 따라 특정 위치에서 축적된다. 이렇듯 자연적으로 집중되어 있는 지점은 일반적으로 쓰레기가 대량으로 존재하는데, 유회수기가 쓰레기를 처리할 수 있다면 회수 작업에 도움을 주는 지점이다(그림 10). 다른 유회수기에 비해 쓰레기의 제약을 덜 받는 친유성 로프 몸 유회수기는 최고의 효과를 발휘할 수 있다(그림 6). 회수 작업은 오일펜스를 활용하여 기름을 포집하고 바람 또는 조류의 변화에 따른 이동 가능성을 감소시킴으로써 향상될 수 있다. 또한 로프

몸 유회수기는 오일펜스의 안쪽에 설치되어 오일펜스를 따라 부유하는 소량의 기름을 효과적으로 회수할 수 있다.

가능하면, 해안으로부터 유회수기를 작동시키는 편이 일반적으로 더욱 용이하다. 이는 특히 기름 회수 지점과 가까운 곳에 연결 도로, 포장 주차장 또는 편평한 작업 구역이 있는 경우에 그러하다. 유회수기는 안벽 또는 방파제에 설치된 크레인을 통해 작동시키거나(그림 7), 유막이 충분히 두꺼운 경우에는 펌프종류를 기름에 직접 댈 수도 있다.

작업 현장이 식별되면 간단한 현장 계획을 수립함으로써 회수유의 취급을 간소화하고 작업 위험을 줄일 수 있다. 작업자들에게 제공하는 연료, 숙식 및 사고통제센터와의 커뮤니케이션과 같은 물류 운용은 신중하게 이루어져 한다.

기름이 진흙 또는 모래 해변에 걸려 있는 경우, 상황에 따라 구덩이에 집중되어 있는 기름을 회수할 수 있는데, 이때 일반적으로 진공 장비를 사용한다(그림 8). 바위나 땅의 틈에 고인 기름도 비슷한 방식으로 회수할 수 있다. 단단한 모래사장에서는 트랙터에 장착한 친유성 드럼이나 기타 장치를 통해 타르볼을 회수함으로써 작업을 가속화할 수 있다(그림 36). 기타 특화된 유회수기는 상황별로 해안에서 효과적으로 사용될 수 있다. 그러나 수작업에 의한 회수 등의 기법이 더욱 적절한 경우가 대부분이다.

강과 호수에서의 기름 회수는 앞서 언급한 것과 비슷한 종류의 제약, 특히 접근성과 조류의 영향을 받게 된다. 그러나 얼음에 유출된 기름의 회수는 별도의 문제가 다수 발생한다. 특히 기름이 얼음 속에 갇힐 가능성이 있다. 회수가 가능하도록 얼음을 분쇄하는 장치는 아직 연구 중이다. 이러한 접근법에 내재하는 근본적인 문제점은 회수된 기름 얼음의 기름 농도가 일반적으로 매우 낮다는 점이며, 이에 따라 해빙기가 지나야 더 나은 회수율을 달성할 수 있다. 로프 몸 유회수기를 사용하면 유빙 사이에서 부유하는 기름을 회수할 수 있겠지만, 저온 때문에 기계가 작동을 멈출 위험이 있다.

회수 작업의 관리

과거의 유출 사례 경험에 따르면 일반적으로 가장 성공적인 회수 작업은 적절한 물류 운용, 잘 훈련된 작업 인원 및 신속한 기동 능력이 결합된 효과적 조직을 통해 이루어진다. 모든 경우에 전체 방제 조직의 유효성은 장비의 성능만큼이나 중요하다. 시스템을 성공적으로 배치하려면 포집, 회수 및 저장 작업의 모든 구성 요소가 지속적으로 모니터링 되어야 하며, 기름 확산 상태의 변화에 대처할 수 있을 만큼 기동성을 유지하는 시스템이어야 한다.

모든 회수 작업에서는 기름이 유회수기로 제대로 유입되고

쓰레기가 축적되거나 장치로 들어가서 효율을 감소시키거나 손상을 초래하지 않도록 감독해야 한다. 여러 종류의 유회수기에 장착되어 있는 쓰레기 스크린은 기름이나 쓰레기에 막히는 경우가 많다. 높은 성능을 유지하려면 회수 속도를 상황에 맞게, 그리고 기름이 회수 지점에 도착하는 비율에 맞도록 조정되어야 한다. 소량의 기름만 존재하는 경우, 회수 작업은 적당한 간격을 두고 진행함으로써 물이 과다하게 회수되지 않도록 하고, 가능한 경우에는 오일펜스를 사용하여 기름을 포집한다.

일반적으로 유회수기 및 관련 장비(파워 팩 등)는 튼튼하지만, 손상, 쓰레기 막힘, 부정확한 사용, 마모 등으로 인해 최종적으로 고장이 발생한다. 보수 작업은 전문 지식, 교체 부품 및 적절한 도구가 요구된다. 적절한 훈련을 받고 장비의 한계를 이해하며 해당 기계를 분해 및 재조립할 수 있는 능력을 보유한 작업 인원이 있으면 작업 지연이 줄어든다. 장비가 정기적으로 유지 보수 프로그램의 적용을 받는다면 해당 장비는 보관 상태에서 즉각적으로 사용 가능하게 되며, 현장에서의 고장 위험도 줄어든다. 이러한 유지 보수 프로그램은 장비의 일정 사용 기간 이후 마모된 표면의 교체, 윤활유의 보충 또는 교체, 고장 점검을 위한 시험 운전 등으로 구성되며, 고정된 스케줄로 수행된다.

유처리제의 살포와 회수 작업을 병행하는 것은 바람직하지 않다. 두 방식에 내재하는 기본 원리가 상호 배타적이며, 물속으로 분산된 기름은 유회수기를 사용하여 수면에서 회수할 수 없기 때문이다. 나아가 유처리제는 기름의 표면 특성을 변화시키며, 특히 친유성 유회수기 근처에서 살포할 경우 해당 장비의 효과를 무력화할 수 있다. 마찬가지로 유흡착재, 특히 입자형 또는 패드형 유흡착재를 회수 작업이 진행 중인 수면에 대량으로 살포하면 회수 시스템이 막힐 수 있다.



▲ 그림 36: 단단한 모래사장에 있는 타르볼을 회수하는 데 사용되는 트랙터 장착형 친유성 드럼식 유회수기(사진 제공: Le Floch Dépollution).

야간 회수 작업은 기름의 식별 및 포집이 사전에 이루어졌고 적절한 조명이 갖추어져 있는 항구 등의 특정 장소에서 가능할 수 있다. 그러나 야간에 해상에서 기름의 위치를 파악하고 회수하려는 노력은 효과적이지 않으며 작업 인원의 안전이 위협받을 수 있다.

회수 자원의 사용, 회수 기름의 양, 장비의 손상 또는 보수 등의 활동에 대한 세부 사항을 매일 기록해 두면 통제 센터에서 진척 상황을 모니터링할 수 있고, 추후 보상 청구와 관련된 업무에 도움을 줄 수 있다. 대형 회수선의 경우, 이러한 정보는 일반적으로 해양 관계 당국이 요구하는 선박 일지에 정기적으로 포함시킬 수 있다.

조우율 또는 기름 회수율이 감소하여 무시할 만한 수준이 되면서 회수 작업의 효과가 감소하면 유회수기 및 관련 자원을 철수해야 한다. 유회수기와 보조 장비는 사용 후 세척 및 정비하여 마모 및 손상 부분을 식별하고 보수해야 한다(그림 37). 스팀 노즐이나 솔벤트는 기름을 제거하는 데 사용할 수 있지만, 세척용 화학약품은 친유성 디스크나 흡착 목에 사용하지 않아야 한다. 이들 장비의 친유성이 손상될 수 있기 때문이다. 보관 시설로 반환된 장비는 손상, 습기, 그리고



▲ 그림 37: 고점도 기름의 회수 후 해안으로 수거된 위어식 유회수기. 철수 후에는 장비를 세척 및 정비하여 향후 사용에 대비해야 한다.

부식을 초래할 수 있는 소금기 등으로부터 보호해야 한다. 유회수기에 포함되어 있는 흡착 목, 고무 벨트, 플라스틱 소재 등은 장기간 직사광선에 노출되면 사용할 수 없게 된다. 장비는 특히 그 사용 빈도가 낮을 가능성이 높기 때문에 정기적인 검사, 유지 보수 및 시험이 가능하고 즉각적으로 접근할 수 있는 방식으로 보관되어야 한다.

Key Point

- 해상 및 해안에서의 회수 작업이 지니는 장점은 바다 상태, 바람, 조류, 민감 지역의 위치 등과 같은 조건을 고려하여 평가해야 한다.
- 회수유의 유형, 주위 온도에서의 점성도, 시간 흐름에 따른 특성 변화 등은 가장 효과적인 유회수기를 선택할 때 대단히 중요한 고려 사항이다.
- 용량, 신뢰성, 강건성, 현장 성능, 중량, 취급 방식, 다용도성, 전원, 유지 관리, 비용 등에 대한 기준은 가장 적절한 유회수기를 선택할 때 고려해야 하는 사항이다.
- 진공 트럭 및 기타 흡입 시스템은 해상 또는 해안의 두꺼운 유막 흡수에 사용하기 편리한 경우가 많다.
- 기름 회수 작업의 효과적 조율은 항공기를 활용하여 유출유 및 정화 과정을 모니터링하고 최적의 효과를 위해 가장 두꺼운 유막으로 회수선을 인도함으로써 향상될 수 있다.
- 유회수기의 성능은 최적의 효율을 위해 지속적으로 모니터링해야 한다.
- 회수 지연을 최소화하기 위해 회수 기름의 펌핑, 저장 및 처리에 대한 물류 운용 사항이 다루어져야 한다.
- 작업 인원의 교육훈련 기준을 유지하고 장비에 발생하는 문제를 해결하기 위해 정기적인 장비 검사 및 시험이 계획되어야 한다.

ITOPF 방제기술정보집 목록

- 1 기름오염 항공탐색 지침
- 2 해상 유출기름의 특성변화
- 3 기름오염방제시 오일펜스 사용지침
- 4 기름오염방제시 유처리제 사용지침
- 5 기름오염방제시 유회수기 사용지침
- 6 해안오염 식별지침
- 7 해안방제 지침
- 8 기름오염방제시 유흡착재 사용지침
- 9 기름 및 폐기물의 처리 지침
- 10 기름유출 방제의 리더쉽, 지휘 및 관리
- 11 어업 및 양식업에 대한 기름유출의 영향
- 12 사회·경제적 활동에 대한 기름유출의 영향
- 13 환경에 대한 기름유출의 영향
- 14 해상유출기름의 시료채취 및 모니터링 지침
- 15 기름오염에 대한 보상청구 지침
- 16 기름오염에 대한 긴급방제계획 수립지침
- 17 해상에서의 화학오염사고 대응 지침



국제유조선선주오염연맹(ITOPF)은 유류, 화학물질 및 기타 유해물질의 해양 유출에 효과적으로 대응하기 위해 전 세계 선주들과 그들의 보험사를 대표하여 설립된 비영리 조직입니다. 긴급 사고대응, 방제기술에 대한 권고, 피해 평가, 방제계획 수립 지원 및 교육훈련 제공 등의 기술적 서비스를 제공합니다.

본 방제기술정보집은 국제유조선선주오염연맹(ITOPF)의 기술진들의 경험을 바탕으로 개발되었고, 국제유조선선주오염연맹(ITOPF)의 승인 하에 해양경찰청에서 국문으로 번역하였습니다.



ITOPF Ltd

1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1HQ, United Kingdom

Tel: +44 (0)20 7566 6999
 Fax: +44 (0)20 7566 6950
 24hr: +44 (0)20 7566 6998

E-mail: central@itopf.org
 Web: www.itopf.org

번역기관



해양경찰청

인천광역시 연수구 해돋이로 130
 Tel: 032-835-2293 Fax: 032-835-2991
 Web: www.kcg.go.kr



해양환경관리공단

서울특별시 강남구 삼성로610
 (삼성동 71번지 해공빌딩)
 Tel: 02-3498-8500 Fax: 02-3462-7707
 Web: www.koem.or.kr

※ 본 정보집에 수록된 해양오염 방제기술은 다양한 오염사고 특성 및 환경에 따라 다르게 적용될 수 있으며, 내용중 일부는 생략 또는 의역되어 있을 수 있으므로 해당부분은 원문을 참고 하시길 바랍니다.