

진공청소기를 이용한 휴대용 유출기름 회수기의 개발

Development of a Potable Skimmer with a Vacuum Cleaner

박 외 철*
Woe-Chul Park

ABSTRACT

A potable oil skimmer is in need to remove spilt oils before they spread, which is applicable to various situations of oil viscosity, spill location, current, tides, waves and wind. An air suction skimmer was selected to be developed because of its advantages such as simple structure, excellent transportability, and easy deployment. A prototype operating by a commercial vacuum cleaner was fabricated. Tests of the skimmer showed good performance : the maximum suction rate of water and suction head were 18m³/h and 2.7m, respectively.

1. 서 론

최근 환경문제에 관한 국내외의 관심이 급속히 증가하고 있는 가운데, 해양오염 등의 심각한 문제를 초래하는 해상 기름유출사고가 자주 발생하고 있다. 이 가운데 주요 원유유출사고가 Table 1에 나타나 있다. 특히 Exxon Valdez호의 유출사고에서는 435,000마리의 새가 죽은 것으로 추산되고, 이 사고의 피해배상에 관련된 소송이 아직도 진행되고 있다. 우리나라 근해에서도 기름의 수송 증가로 기름유출 사고 발생건수가 매년 증가하고 있다. Table 2는 1990년 1월부터 1992년 12월까지 3년간 부산항 내에서 발생한 유출량 500ℓ 이상인

사고의 유출기름의 종류와 유출량을 표시한 것으로, 유출된 기름의 대부분이 벙크유였고, 500ℓ 미만의 유출사고에서는 경유의 유출이 많았다¹⁾.

Table 1 Major large-scale crude oil spills

Oil tanker	q'ty (ton)	Date	Location
Torrey Canyon	117,000	1967.3	Cornwall, UK
Amoco Cadiz	230,000	1978.3	Brittany, France
Exxon Valdez	41,000	1989.3	Prince William Sound, Alaska, USA
Braer	84,500	1993.1	Shetland Islands, UK

해상에 유출된 기름은 풍속의 약 3~4%로 이동

* 부산공업대학교 산업안전공학과

2)할 뿐만 아니라 자체의 확산과 조류에 의한 이동으로 넓게 퍼져 많은 피해를 초래하게 된다. 기름이 유출된 후 시간이 흐르고 유출기름의 온도가 떨어질 수록 점성이 증가하므로, 먼저 기름의 확산을 막기위해 기름울(oil fence)을 설치하고, 해상 조건과 유출기름의 종류, 유출상태 등에 따라 적합한 방제법으로 유출기름을 신속하게 제거해야 한다.

Table 2 Major oil spills in Pusan harbor during '90.1~'92.12

Date	Spiller	Oil type	q'ty (t)	Location
1990. 8. 2	Samik Apt.	bunker C	1,899	Kwangang Beach
9.10	Phoenix	"	500	Pier #8
1991. 4.17	Kaenari	bunker A	1,030	Dadaepo
4.26	Yooil #1	bunker C	20,000	North Harbor
12. 5	S Russia	"	7,000	Kwangang Beach
1992. 3.26	Phoenix	bilge	500	North Harbor
6.19	Namsung #9	bunker C	1,000	South Harbor

유출기름을 제거하는 데는 유화제를 분사하여 유출기름을 분해하는 화학적 방법이 흔히 사용된다. 그러나 유화제 자체의 독성으로 어류나 플랑크톤이 죽게되므로 과다하게 사용할 때 그 부작용이 대단히 크게 된다. 그 한 예로 Torrey Canyon 호의 유출사고후 영국의 Cornish해안의 생태계 파괴는 유출기름을 제거하는데 사용된 유화제가 초래한 것이었다³⁾. 따라서 유화제는, 흡착재(sorbent)나 회수기(skimmer)로 유출기름을 회수한 후 잔류기름을 제거할 때, 또는 유막의 두께가 아주 얇을 때 사용하는 것이 좋다. 흡착재로는 대량 회수가 곤란하므로, 기름회수기를 사용하는 기계적 회수법이 바람직하다.

외국에서는 이미 여러가지 기름회수기가 개발되었다. 예를 들면, Nebeker 등⁴⁾의 자유와류회수기, Uyeda 등⁵⁾의 원반회수기, Bruch와 Maxwell⁶⁾의 드럼회수기, Smith 등⁷⁾의 띠회수기의 설계가 있으며, Asper와 Bolli⁸⁾는 회전스크류 회수기를 개발하였다. Oxenham⁹⁾은 띠회수기의 일종인 Oil Scrubber의 성능시험을 수행하였고, Der와 Graham¹⁰⁾은 띠회수기와 위어회수기(weir skimmer), 원반회수기의 성능과 효율 등을 비교하였다. Shum과 Borst¹¹⁾는 로프회수기의 성능시험을 수행하였다. 그러나 연속적으로 유출기름을 회수할 수

는 휴대용 회수기에 관한 논문은 아직까지 알려지지 않고 있다.

기름회수기 개발의 낮은 경제성으로 인해 국내의 기름회수기에 대한 연구가 미미하다. 국내에서 제작되고 있는 소용량의 띠회수기와 로프회수기는 해상 유출기름을 회수하는데 사용할 수 없으므로, 용량이 큰 회수기를 수입하여 사용하고 있다. 기름회수 전용 방제선을 건조하는데 많은 비용이 들 뿐만 아니라, 유출사고가 일어나면 기름회수기를 신속하게 배치해야 하므로, 유지비가 거의 들지 않으면서 일반 소형선박에도 간단히 설치할 수 있는 휴대용 기름회수기의 개발이 필요하다.

이러한 필요성에 따라 여러가지 기름회수기의 특성을 조사한 후, 진공청소기를 이용한 휴대용회수기를 제작하였다. 이 논문에서는 기름회수기의 특성을 요약하고, 휴대용 기름회수기의 제작과 성능시험에 대하여 기술한다.

2. 기름회수기의 특성과 개발대상 회수기의 선정

2.1 회수기의 특성^{12~15)}

기름회수기의 종류는 흡입식 회수기와 부착식 회수기로 나누어 진다. 흡입식 회수기는 호스와 배관, 흡입장치, 이송펌프, 유수분리장치, 저장탱크로 구성되어 있고, 수면의 기름을 흡입구 또는 위어(weir)를 통해 펌프나 진공흡입장치로 회수한다. 호스와 배관이 막히기 쉬우나 부착식 회수기에 비해 더 넓은 범위의 점성에 사용할 수 있다. 회수된 기름은 함수율이 높으므로 유수분리장치로 물과 기름을 분리해야 한다. 흡입식 회수기에는 공기흡입회수기, 위어회수기, 와류회수기, 분회수기가 있다.

부착식 회수기는 띠, 원반, 드럼, 합성수지 로프 등의 친유성을 이용한 것으로, 흡입식 회수기에 비해 함수율이 낮고, 100~2000 cSt(1 cSt=0.01 cm²/s)의 중점성유에 적합하다. 디젤유나 경유와 같은 저점성유의 경우에는 친유면에 충분히 두꺼운 유막을 형성하지 못하여 회수율이 떨어지고, 또 벙커C유 등 점착성이 높은 고점성유는 친유면으로 부터 제거하기 어렵다. 흡입식 회수기의 단점인 해상 부유물에 의한 막힘이 부착식 회수기에는 발생하지 않는다. 부착식 회수기에는 띠회수

기, 원반회수기, 드럼회수기, 로프회수기, 솔회수기가 있다.

(1) 공기흡입 회수기(air suction skimmer)

공기흡입 회수기는 진공장치와 흡입구, 연결호스로 구성되어 있다. 그 용량은 진공펌프의 용량에 따라 다양하고, 구조가 간단하고 조작성이 용이하며, 가격이 저렴하다. 또 어떤 장소에도 신속하게 배치할 수 있고, 유지비가 거의 필요하다. 상당히 높은 파도에도 사용이 가능하고, 중간 또는 낮은 점성의 기름흡입에 적합하다. 그러나 부유물에 의해 흡입구가 쉽게 막히고, 물과 기름을 동시에 흡입하므로 함수율이 높아 회수율이 떨어진다. 또한 사용목적에 따라 다양한 형태의 흡입구를 사용할 수 있다. 다른 회수기에 비해 적용가능한 기름의 점성범위가 넓고, 기름의 두께가 클 때 효과적이다. 진공트럭도 공기흡입회수기로 사용되고, 육상에서 흡입할 수 있는 곳에는 언제든지 동원할 수 있는 잇점이 있지만, 육지에서 떨어진 곳에 유출된 기름은 회수할 수 없다. 공기흡입회수기의 사용한계는 풍속 7~15노트(1knot=1852m/h), 파고 1.2m인 해상상태 3이다.

(2) 위어 회수기(weir skimmer)

Fig. 1과 같이 위어(weir) 위로 흘러들어가는 기름을 펌프로 이송하는 장치로, 다른 회수기에 비해 구조가 간단하고, 고요한 수면에서는 안정된 회수기이다. 소형은 운반과 설치가 쉽고 가격이 저렴하고, 낮은 점성의 기름흡입에 적합하다. 위어회수기는 부유물에 의해 쉽게 막히고, 기름-물의 접촉면에 위어를 유지하기 곤란하여 파도가 높으면 회수율이 떨어지므로 외해에는 부적합하다.

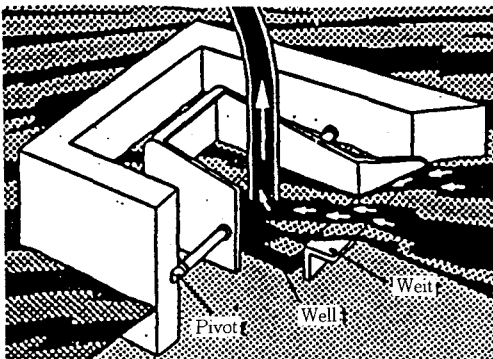


Fig. 1 Weir skimmer

사용한계는 해상상태 1(풍속 1~4노트, 파도 거의 없음)이다.

(3) 와류 회수기(vortex skimmer)

와류회수기(Fig. 2)는 회전자(impeller)의 회전으로 생기는 소용돌이의 원심력을 이용하여 물과 기름을 분리, 기름을 회수한다. 파도가 낮은 곳에 적합하고, 해상 부유물에 민감하다. 사용한계는 해상상태 1, 조류속도 0.5노트이다.

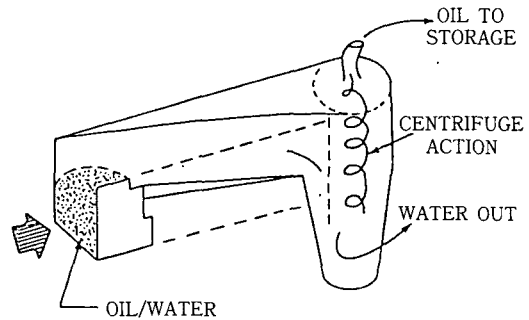


Fig. 2 Vortex skimmer

(4) 붐 회수기(boom skimmer)

붐회수기는 일종의 위어회수기로, 방제선으로 기름을 모으면서 위어로 흘러드는 기름을 회수한다. 외해의 대규모 유출사고에 적합하지만, 운반이 곤란하고 고가인 것인 단점이다.

(5) 띠 회수기(belt skimmer)

띠회수기는 Fig. 3과 같이 회전하는 친유성 벨트에 수면위의 유출기름이 부착되어 회수된다. 상향회전식과 하향회전식의 두가지가 있고, 중간점성의 기름에 적합하다. 파도가 낮은 곳에 적합하

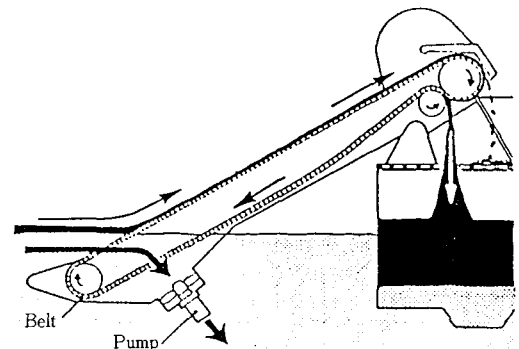


Fig. 3 Belt skimmer

고, 해상 부유물에 의한 문제가 없고, 설치가 곤란하다. 사용한계는 상향회전식의 경우 해상상태 1, 조류속도 0.5노트, 하향회전식의 경우 해상상태 2(풍속 4~10노트, 파고 0.9m), 조류속도 2노트이다.

(6) 원반 회수기(disk skimmer)

원반회수기는 회전하는 다수의 원반에 부착된 기름을 회수하는 장치이다. 원반 표면에 묻은 기름을 스크레이퍼로 제거하여 모인 기름을 펌프로 저장탱크로 보낸다(Fig. 4). 원반은 플라스틱, 염화폴리비닐, 스테인리스강, 알루미늄 등의 친유성 재질로 만든다. 파도가 낮은 곳에 적합하고, 회수율은 기름의 두께와 원반의 회전속도에 따라 결정되는데, 두께가 얇은 경우에는 회수율이 낮아 부적합하다. 일반적으로 기름/물의 비는 대단히 높지만, 회수율은 높지 않다. 낮은 점성의 기름에는 그 성능이 떨어지므로 중간점성의 기름에 적합하고, 파도와 해상 부유물에 민감하다. 사용한계는 해상상태 2(풍속 4~10노트, 파고 0.9m)이다.

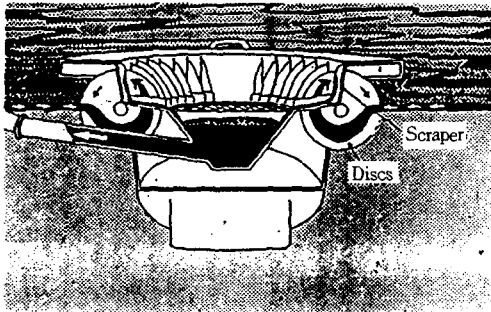


Fig. 4 Disk skimmer

(7) 드럼 회수기(drum skimmer)

드럼의 표면에 부착된 유출기름을 회수하는 것으로, 회수원리와 구조가 원반 회수기와 거의 같고, 구조가 간단하다. 해상 부유물이 있거나 고점성 기름을 회수할 때는 원반 회수기보다 유리하다.

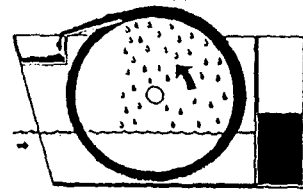
(8) 로프 회수기(rope mop skimmer)

친유성 로프를 회전시켜 묻어오는 기름을 제거한다. 높은 파도에도 사용이 가능하고, 휴대용은 수심이 얇은 곳과 부유물이 있는 곳에도 효과적으로 사용할 수 있다. 또 얼음조각이 많은 곳이나 얼음 아래의 기름을 회수하는 데도 사용된다. 운반

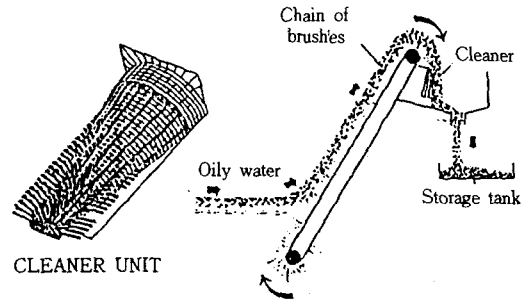
과 배치가 쉽고, 중간점성의 기름에 적합하며, 유지비가 적다. 기름회수율이 낮고, 점성의 변화에 민감하여 점성이 높을 수록 회수율이 떨어진다. 해상상태 3(풍속 7~15노트, 파고 1.2m)까지 사용할 수 있다.

(9) 솔 회수기(brush skimmer)

드럼 솔회수기(drum brush skimmer)와 체인 솔 회수기(chain brush skimmer)가 있다(Fig. 5). 기름/물의 비가 높고, 넓은 범위의 점성에 적용할 수 있으며, 파도와 바람, 부유물의 영향이 작다. 다른 부착식 회수기와 같이 점성이 낮은 기름의 회수율이 낮고, 방제전용선외에는 설치하기 곤란하다.



(a) drum brush skimmer



(b) chain brush skimmer

Fig. 5 Brush skimmer

2.2 개발대상 회수기의 선정

이 연구의 목표를

- (1) 바다, 강, 호수 뿐만 아니라 모래, 바위의 기름제거에도 사용할 수 있을 것
- (2) 다양한 점성의 기름과 높은 파도와 조류에도 사용할 수 있을 것
- (3) 전용 방제선이 필요없고, 운반, 조립, 설치, 운전이 간단할 것

(4) 부품을 쉽게 구할 수 있는 구조일 것
 (5) 가격이 저렴할 것
 의 5가지 조건을 만족하는 휴대용 기름회수기의 개발로 설정하였다. 이 목표에 따라 앞에서 설명한 9가지의 기름회수기 가운데, 전용방제선을 필요로 하거나 새로운 부품을 제작 또는 개발해야 하는 것, 구조가 복잡하고 설치가 곤란한 것, 기름의 점성과 파도에 민감한 회수기를 제외할 때, 휴대용 기름회수기의 개발대상으로 공기흡입회수기가 선정되었다. 또한 위의 여러가지 조건에 부합하는 회수기를 만들기 위해 진공펌프 대신 진공청소기를 흡입펌프로 사용하였다.

3. 공기흡입회수기의 제작 및 성능시험

3.1 제작

진공청소기를 사용한 휴대용 기름회수기는 Fig. 6과 같이 흡입호스(suction hose)와 흡입구(suction head), 흡입탱크(suction tank), 흡입펌프(suction pump), 이송펌프(transfer pump)로 구성되어 있다. 흡입펌프(진공청소기)를 기동하면 흡입탱크속에 진공이 형성되며, 이로 인해 흡입구와 흡입호스를 통해 유출기름과 물, 공기의 혼합물이 흡입탱크에 유입된다. 흡입탱크가 물-기름의 혼합물로 일정수위까지 차면 이송펌프의 기동으로 혼합물이 유수분리기로 배출된다. 흡입탱크에 자동 펌프기동장치를 부착함으로써 연속적으로 유출기름을 회수할 수 있다. 모든 부품의 시중에서 쉽게 구할 수 있는 것으로 하고, 제작비, 크기, 중량, 소요동력, 전원, 운반, 조립, 설치 등에 관련된 문제점을 고려하여 제작하였다.

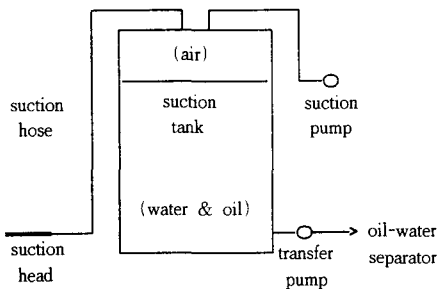


Fig. 6 Schematic diagram of the air suction skimmer

제작된 회수기로 실험실에서 흡입실험을 수행하고 있는 모습이 Fig. 7에 나타나 있다. 흡입탱크와 흡입펌프(진공청소기), 이송펌프, 저장탱크가 호스로 연결되어 있다.



Fig. 7 Prototype of the air suction skimmer

흡입탱크(suction tank)는 두께 1.6mm의 강판제 200 l 들이 드럼통으로 제작하였다. 탱크의 윗면에 흡입호스와 진공청소기를 각각 연결하였고, 진공계와 이송펌프 자동기동장치를 달았다. 또 측면에서 이송펌프를 연결하였다. 사용된 드럼통은 해수에 의해 쉽게 부식되지만, 유출 사고후 기름의 회수기간이 부식두께를 고려해야 할 만큼 길지 않으므로 어디서나 쉽게 싼 값으로 구입할 수 있다. 그러나 장시간 반복해서 사용해야 하는 폐유처리장이나 석유화학공장에서는 내식성 탱크를 사용하는 것이 좋다.

이 연구에서는 흡입구(suction head)로 Fig. 8과 같이 PVC로 만든 3가지를 사용하였다. 수면의 얇은 기름 또는 해안의 바위나 모래에 부착된 기름을 흡입할 때는 바닥청소용 흡입구 (a), 기름이 가득 찬 集油口(oil pit)와 같은 곳에서 기름을 흡입할 때는 (b)와 같은 원형 흡입구, 두꺼운 기름의 흡입에는 (c)를 사용한다. 파도가 높은 해수면의 기름을 회수할 경우에는 부유식 흡입구가 필요하다. 흡입구는 파도가 높은 곳, 고요한 수면, 해안의 모래나 바위 또는 해초, 유출이 두꺼운 곳 등 기름의 유출장소와 유출상태에 따라 적합한 형상으로 만들어 효과적으로 사용할 수 있다. 부유물이 많은 수면에서 기름을 회수할 때는 흡입구의 주위에 철망을 씌움으로써 막히지 않도록 해야 한다.

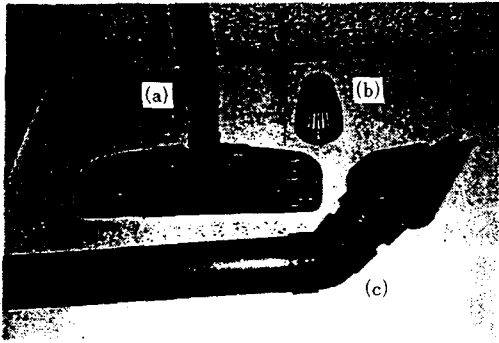


Fig. 8 Three types of suction heads

흡입탱크와 흡입구 사이를 연결하는 흡입호스 (suction hose)는 큰 強度를 필요로하지 않으므로, 해수에 의한 부식이 없으며 시중에서 쉽게 구할 수 있는 합성수지 나선호스를 사용하였다. 호스 양단을 니플에 끼운 뒤 밴드 클램프로 잠그도록 하여 조립을 간편하게 하였다. 흡입탱크와 이송펌프 사이의 연결에도 같은 호스를 사용하였다. 흡입유량은 흡입호스와 관이음쇠에서의 압력손실에 따라 달라진다. 일반적으로, 총류 또는 난류 관흐름에서의 주손실수두 h_L 은

$$h_L = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (1)$$

으로 표시되는데, 여기서 λ 는 관마찰계수, d 는 관의 지름, L 은 관의 길이, v 는 평균유속이다. 관마찰계수 λ 는 기름의 점성변화에 민감하다. 서론에서 언급한 바와 같이 유출기름의 온도가 떨어지고, 유출후 시간경과와 함께 점성이 증가하면 λ 도 증가하여 기름회수기의 흡입율이 떨어진다. 부차적 손실수두는 엘보, 티, 니플 등의 관이음쇠에서 발생한다. 이 회수기에 사용된 호스의 길이가 3m이내이고 관이음쇠가 1개뿐이므로, 흡입호스에서의 손실수두는 아주 작다. 위의 식에서 알 수 있듯이 관의 지름이 클수록 손실수두가 줄고, 또한 해상 부유물에 의한 막힘이 줄어들지만, 호스의 지름이 커지면 작업이 곤란하게 되므로 지름 50mm의 호스를 사용하였다.

흡입펌프(suction pump)는 이 회수기의 핵심적인 기기로서, 흡입탱크에 유출기름을 흡입하기 위해 진공압력을 지속적으로 유지하는 것이어야 한다. 또 장시간 사용이 가능하고 흡입유량이 커야

하고, 큰 동력을 요하지 않고 무게가 작아야 운반과 이동이 쉽다. 진공펌프는 일반적으로 가격이 높고, 소요동력과 중량이 크며, 높은 진공압력이 필요한 곳에 사용된다. 반면에 가정용 진공청소기는 쉽게 구입할 수 있고, 무게와 부피가 작고 흡입유량이 크므로, 진공청소기를 흡입펌프로 사용하였다. 교류 110V 또는 220V의 전원을 사용하므로 소형선박에서도 장시간 연속적으로 사용할 수 있다.

최대 흡입높이 h 는

$$h = \frac{p}{\rho g} \dots\dots\dots (2)$$

로 표시할 수 있다. 여기서 p 는 흡입펌프의 최대진공압력, ρ 는 흡입되는 유체(물 또는 기름)의 밀도이다. 그러므로 흡입펌프로 사용되는 진공청소기의 최대진공압력으로부터 수면에서 흡입탱크의 최고수위까지의 높이 h 가 결정된다. 한편, 진공압력이 기름 또는 해수의 증기압보다 낮으면 흡입이 불가능하게 될 뿐만 아니라, 흡입높이가 클수록 흡입유량이 감소하므로, 흡입높이를 가능하면 작게 할 필요가 있다. 흡입탱크의 높이를 낮게 하고, 회수작업에 갑판높이가 낮은 선박을 이용하면 흡입높이를 줄일 수 있다.

이송펌프(transfer pump)는 흡입탱크 속의 물-기름 혼합물을 유수분리기로 보내는 펌프로, 해수에 장기간 사용할 수 있도록 내산, 내식성 원심펌프를 사용하였다. 유량은 14m³/h이고, 단상 교류 110/220V, 출력 0.75kW, 전장형 16m이다.

이송펌프의 자동기동장치는 흡입탱크내의 물-기름 혼합물이 일정수위 이상일 때 자동으로 이송펌프를 기동한다. 흡입탱크 속의 자유표면이 심하게 흔들리므로 부유식 대신 전극식 자동기동장치를 사용하였다. 흡입탱크와 이송펌프 사이에 게이트밸브(gate valve)를 설치하고, 흡입펌프로 기름을 흡입할 때 이송펌프로 부터의 역류를 막기 위해 체크밸브(check valve)를 설치하였다. 여기에 사용된 관이음쇠와 밸브의 재질은 304 스테인리스강이다.

유수분리기(oil-water separator)에는 여과기(filter)를 사용하는 여과식, 물과 기름의 비중차에 의한 비중차방식, 원심력을 이용한 원심분리방식이 있는데, 여과식 유수분리기는 신속한 물-기름 분리가 필요한 기름회수기에 적합하지 않으며, 비

중차방식과 원심분리방식의 병용이 가장 효과적이다. 이 연구에서는 유수분리기를 별도로 제작할 필요가 없는 비중차방식을 사용하였다. 그러나 비중차이에 의한 유수분리에 시간이 많이 소요되므로, 기름만 흡입하는 경우외에는 물과 기름을 신속하게 분리하는 유수분리기가 필요하다.

3.2 성능시험

기름회수기의 성능은 ASTM F808-83에 따라 회수효율(recovery efficiency, RE), 기름회수율(oil recovery rate, ORR), 총효율(throughput efficiency, TE) 등으로 표시한다. 회수효율과 총효율은

$$\eta_r = \frac{R_o}{R_m} \times 100(\%) \dots\dots\dots (3)$$

$$\eta_t = \frac{V_r}{V_s} \times 100(\%) \dots\dots\dots (4)$$

이다. 여기서 η_r 는 회수효율(RE), R_o 는 기름의 회수율(m^3/h), R_m 은 물-기름 혼합물의 회수율(m^3/h)이고, η_t 는 총효율(TE), V_r 은 회수기름의 체적, V_s 는 유출기름의 체적을 나타낸다. 회수효율은 회수된 물-기름 혼합물 중의 기름의 양을, 총효율은 유출기름의 체적에 대한 회수기름의 체적비를 각각 퍼센트로 표시한 것이다.

이밖에 파고, 파도의 파장과 주기, 방향, 회수기의 전진속도, 풍속과 풍향, 조류의 속도, 기름의 두께, 종류, 점도 등에 따라 회수기의 성능시험을 수행할 필요가 있다. 미국 환경청(EPA) OHMSETT(Oil and Hazardous Materials Simulated Environmental Test Tank)의 성능시험에는 간간한 상태, 파고 0.3m와 0.3~0.6m, 0.6~1.2m의 4가지의 파도와 고점성, 중점성, 저점성의 세 가지 기름에 대한 회수기의 성능시험을 수행하여 회수효율과 기름회수율, 총효율을 구하도록 되어 있다. 이러한 성능시험에는 대규모 시설이 필요하므로 실험실에서 간단하게 수행할 수 없다. 더구나 비중차방식의 유수분리기는 신속한 유수분리가 불가능하므로, 공기흡입회수기의 성능을 회수효율, 기름회수율, 총효율로 표시하는 것은 의미가 없다. 반면에 흡입회수기는 다량의 물-기름 혼합물을 짧은 시간내에 흡입해야 하므로 단위시간당 물의 흡입율이 회수기의 성능을 나타내는 척도로

사용될 수 있다. 그러므로 이 연구에서는 물의 흡입율을 측정하였고, 기름을 회수할 때 예기치 못한 문제점을 파악하기 위하여 실제 기름유출현장에서 흡입시험을 수행하였다. 이 회수기의 성능이 진공청소기의 흡입일률과 밀접한 관계가 있으므로, 진공청소기의 흡입일률에 따른 회수기의 성능을 비교하기 위해, 흡입일률이 각각 300W와 430W인 두대의 가정용 진공청소기를 사용하였다.

성능시험을 연속적으로 수행할 수 있도록 유수분리탱크와 흡입탱크 사이에 개폐밸브를 설치하여, 밸브를 열면 물이 물탱크-이송펌프-유수분리탱크-물탱크로 순환하도록 하였다. 흡입탱크내 수위가 탱크높이의 90% 정도에 도달했을 때, 이송펌프를 자동적으로 기동하여 물을 유수분리탱크로 보내게 하였다.

흡입구를 막고 진공청소기를 기동하였을 때, 흡입탱크의 진공압력은 흡입일률 300W의 진공청소기의 경우 150mmHg, 430W의 경우 200mmHg이었다. 이 압력은 유출기름이 떠 있는 수면과 흡입탱크내 수위사이의 최대높이를 결정하는 것으로, 식(2)를 사용하여 수두로 환산하면 각각 2.0m, 2.7m가 된다. 유출기름을 수직거리 2m 이상 흡입할 수 있으므로, 소형선박에서 기름회수작업을 수행할 수 있음을 알 수 있다.

물의 흡입율은 흡입탱크의 진공압력이 클수록 커서 흡입일률 300W의 경우 12 m^3/h , 430W의 경우에는 이보다 50%가 많은 18 m^3/h 였다. 기름만을 흡입할 때는 기름의 점성으로 인해 기름흡입율이 물흡입율보다 떨어지고, 수면의 유출기름을 흡입할 때에는 물-기름 혼합물 뿐만 아니라 공기도 함께 흡입하게 되므로, 실제 물-기름 흡입량은 이보다 훨씬 적게 된다.

Fig. 9는 울산 소재 주식회사 유공에서 흡입일률 430W의 진공청소기를 사용하여 유출기름을 회수하고 있는 모습이다. 이곳에는 파도가 없고, 물의 색깔이 검어 기름과 물의 구분이 어려운 상태였다. 그림 (a)는 진공청소기의 바닥청소용 흡입구를 사용한 경우로, 그림 (b)에 사용된 흡입구(Fig. 8의 c에 해당)보다 흡입성능이 높았다. (b)에 사용한 흡입구는 입구가 너무 넓어 흡입이 자주 중단되었다.

430W의 진공청소기의 경우, 흡입할 때 진동이

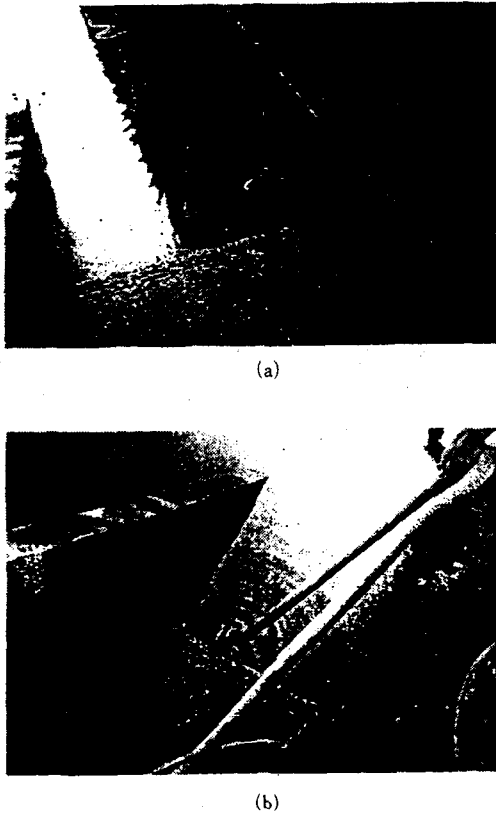


Fig. 9 Performance test at a confined area

심하게 일어나므로, 이보다 더 큰 흡입일률의 진공청소기는 오히려 취급하기 곤란함을 알 수 있었다. 한편, 200ℓ 드럼통으로 만든 흡입탱크는 운반하기에 불편하므로 지름이 더 작은 것이 필요하고, 장기간 사용하기 위해서는 플라스틱 또는 스테인리스강 등 내식성 재질의 흡입탱크를 사용하는 것이 바람직하다.

여러대의 공기흡입회수기를 하나의 유수분리기에 설치하여, 신속한 물-기름의 분리가 이루어질 때 효과적인 기름회수작업이 가능하므로, 유수분리기의 개발이 남은 과제이다. 이 회수기의 사용 한계를 알기 위해서는 유수분리기가 있어야 하고, 파고, 유출 기름의 종류와 점성 등의 여러가지 다른 조건에서 성능시험을 수행할 필요가 있다.

4. 결 론

휴대용 기름회수기를 개발하기 위해 여러가지 기름회수기의 특성을 검토한 후, 구조가 간단하고, 이동과 설치가 용이한 공기흡입회수기를 개발 대상으로 선정하였다. 진공청소기를 흡입펌프로 사용한 공기흡입회수기를 제작하여 성능시험을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 진공청소기는 흡입유량이 크고, 진공펌프에 비해 가격이 저렴하고, 소형이며, 쉽게 구입할 수 있을 뿐만 아니라 흡입성능이 우수하여 흡입펌프로서 적합하였다.
- 2) 회수기의 최대흡입율은 흡입일률 300W의 진공청소기의 경우 12m³/h, 430W의 경우 18m³/h이었다.
- 3) 최대흡입높이는 흡입일률 300W의 진공청소기의 경우에 2.0m, 430W의 경우에 2.7m로, 소형 선박에서 유출기름을 흡입할 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) 해운항만청, “부산항내 오염사고 발생현황”, 부산청 업무연락, 1993.
- 2) K. V. Ellis, G. White and A. E. Warn, Surface Water Pollution and its Control, Macmillan Press, pp. 182~207, 1989.
- 3) R. B. Clark, Marine Pollution, Oxford University Press, pp. 33~64, 1989.
- 4) E. B. Nebeker, S. E. Rodrigues and P. G. Mikolaj, Free Vortex Recovery of Floating Oil, Proc. Joint Conf. Prevention and Control of Oil Spills, Washington D. C., pp. 319~327, 1971.
- 5) S. T. Uyeda, R. L. Chuan, A. C. Connolly and P. O. Johnson, Concept Development of a Powered Rotating Disk Oil Recovery System, Proc. Joint Conf. Prevention and Control of Oil Spills, Washington D. C., pp. 329~338, 1971.
- 6) B. Bruch and K. R. Maxwell, Lockheed Oil Spill Recovery Device, Proc. Joint Conf. Prevention and Control of Oil Spills, Washington D. C., pp. 329~338, 1971.
- 7) J. B. H. Smith, C. McLellan and L. R.

- Pintler, Development of an Oil Skimming System to Meet Navy Specifications , Proc. Oil Spill Conf., Baltimore, Maryland, pp. 91~94, 1987.
- 8) J. J. Asper and P. Bolli New Device for Removing Oil Slicks from the Surface of Water , Proc. Conf. on Prevention and Control of Oil Spills, pp. 315~332, 1973.
 - 9) J. P. Oxenham A Study of the Performance Characteristics of the Oleophilic Belt Oil Scrubber , Proc. Joint Conf. Prevention and Control of Oil Spills, Washington D. C. , pp. 309~317, 1971.
 - 10) J. J. Der and D. J. Graham Quantative Evaluation of Mechanical Oil Spill Cleanup Devices, Proc. Conf. on Prevention and Control of Oil Spills , pp. 627~633, 1973.
 - 11) J. S. Shum and M. Borst OHMSETT Tests of a Rope-Mop Skimmer in Ice-Infested Waters , Proc. Oil Spill Conf. Los Angeles, CA, pp. 661~666, 1985.
 - 12) 해양경찰청, 해양오염방제, pp. 131~388, 1987.
 - 13) R. J. Meyers & Asso. and Reseach Planing Inst. Inc., Oil Spill Response Guide , Noyes Data Corp., NJ, pp. 97~120, 1989.
 - 14) R. Schulze(ed.), World Catalog of Oil Spill Response Products, pp. 213~245, 1991.
 - 15) The Int'l Tanker Owners Pollution Federation Ltd., Use of Skimmers in Combating Oil Pollution , Technical Information Paper, No. 5, London, UK, 1983.
-