

## 흡착재에 의한 유출기름 회수용 유수분리의 가능성 연구

### A Study on Feasibility of Oil Separation with Oil Absorbent for Spilt Oil Recovery

박 의 철\* · 권 병 곤\*\*

Woe-Chul Park · Byung-Gon Kwon

(1998년 3월 31일 접수, 1998년 5월 2일 채택)

#### ABSTRACT

An experimental study on oil absorbent was conducted to investigate the feasibility of utilizing absorbents in oil separation from water-oil mixture for spilt oil recovery. Experiments included investigations of absorptivity and filtering performance of a commercial oil absorbent for different diesel oil concentrations.

The measured average absorptivity of the absorbent was above 92% for oil concentrations, 5, 10, 15vol%, that shows good absorbing performance. Filtering the oil-water mixture, however, was too slow to be used for oil separation. An absorbent baffle system was suggested for oil separation which collects oil particles by increasing contact between the absorbent and oil particles.

#### 1. 서 론

1995년 여름 유조선 씨프린스호의 여천 앞바다 좌초 사고 이후 두달이 채 지나기도 전에 유조선 제1유일호가 부산 앞바다에서 침몰하는 사고가 발생했다. 통계<sup>1)</sup>에 의하면, 1991년 1월부터 1995년 9월말까지 우리나라 연안에서 총 1,583건의 오염사고가 발생하였고, 유출량은 22,541

톤, 피해금액 3,231억원으로 집계되었다. 해양오염사고 중 기름에 의한 오염사고는 총발생건수의 92%로 대부분을 차지하고 있다. 배출원인은 선박사고가 전체 발생건수의 87%, 육상 및 해양 시설에 의한 사고가 10.5%, 배출원인 불명이 2.5%로 나타났다. 오염물질 중 기름의 종류별 유출량은 경유 6,509톤, 벙커유 3,928톤, 선저폐수 759톤으로, 경유가 가장 많고 다음으로 벙커

\* 부경대학교 공과대학 안전공학과

\*\* 부경대학교 산업대학원

유가 많았다.

유출기름은 회수의 곤란 등의 이유로 대부분 유처리제로 분해시키는데, 유처리제의 사용은 그 자체의 독성으로 2차 오염을 발생시킨다. 그러므로 파도가 높지 않은 해상에서는 기름회수기<sup>2-6)</sup>를 사용하여 회수하는 것이 바람직하다. 기름회수기 중에서 흡입회수기는 일반적으로 기름함유량 10%이하의 물-기름 혼합물을 흡입하므로, 유수분리기<sup>7)</sup>를 함께 사용해야 하는 불편한 점이 있다. 유출기름을 물리적으로 회수하는 기름 흡착재는 기름층이 두껍거나 기름입자와 흡착재의 접촉이 충분한 경우에 있어서는 별도의 유수분리기를 사용하지 않고도 기름을 분리하는데 사용할 수 있을 것이다.

본 연구는 이에 착안하여 흡착재를 이용한 소형 기름회수기의 개발에 관한 기초연구로서, 흡착재의 단순여과에 의한 유수분리의 가능성을 확인하고 흡착재를 사용하는 유수분리 방안을 찾은 것이 연구목적이다. 흡착재의 특성과 공기 흡입회수기<sup>8)</sup>를 포함한 실험장치, 실험방법 및 결과, 흡착재-비중차법의 조합에 의한 유수분리에 대하여 기술한다.

## 2. 이론적 배경

물과 기름의 혼합물에서 기름을 분리하는 방법은 비중차법, 원심분리법, 여과법의 세가지로 나눌 수 있다. 비중차법은 물과 기름의 비중차에 의해 밀도가 낮은 기름이 물위로 떠오르게 하는 방법이다. 이때 기름입자가 수면위로 떠오르는데 걸리는 시간은 기름입자의 종말속도로 계산할 수 있다. 유속이 아주 낮거나 정지상태에서 물과 기름의 혼합물에서 기름입자가 떠오르는 경우에 기름입자의 종말속도는 기름입자의 부력과 항력의 평형상태로부터

$$u_0 = \frac{gd^2 \Delta \rho}{18\mu} \dots\dots\dots (1)$$

로 된다<sup>9)</sup>. 여기서  $u_0$ 는 기름입자의 종말속도,  $\Delta \rho$ 는 물과 기름의 밀도차,  $d$ 는 기름입자의 지름,  $\mu$ 는 물의 절대점성계수이다. 기름입자가 물위로 떠오르기 위해서는 물의 흐름이 거의 없어 기름입자가 수면위로 떠오르는 데 방해되지 않

아야 한다. 이 식에서 종말속도는 기름입자 지름의 제곱에 비례하므로 지름이 클수록 분리에 소요되는 시간이 단축된다. 비중차법의 유수분리기는 구조가 간단하지만 큰 공간이 필요하다. 그러므로 비중차법만으로는 유출기름회수용 유수분리에 부적합하다.

원심분리법은 유수분리를 촉진시키기 위해 고압으로 물과 기름의 혼합물을 접선방향으로 유입시켜 원심력으로 분리하는 방법이다. 구조가 간단하며 2개 이상을 직렬로 배치하면 미세입자의 기름도 제거할 수 있는 하이드로사이클론(hydrocyclone)<sup>10)</sup>이 이 방법을 이용한 것이다. 강한 원심력을 얻기 위해서는 물-기름 혼합물을 고압으로 가압하는 장치가 필요하다. 이에 비해 강제소용돌이를 이용한 유수분리기<sup>11)</sup>는 가압장치가 필요하지 않아 구조가 더 간단하지만 정밀한 가공과 조립이 필요하다.

여과법은 물-기름 혼합물이 필터를 통과하게 하여 기름입자가 필터에 달라붙게 하는 것으로 선박에 많이 사용한다. 여과법의 단점으로는 필터의 값이 비싸고 수명이 짧은 것을 들 수 있으며, 이 때문에 많은 양의 물-기름 혼합물을 처리해야 하는 유출기름회수용으로는 부적합하다.

기름 흡착재는 유수분리에 직접 사용되는 것은 아니지만, 기름 흡착성이 우수하여 유출기름의 물리적 회수에 사용되고 있다. 그러므로 기름회수기, 특히 흡입회수기로 흡입한 물-기름 혼합물과 같이 기름층이 두꺼운 경우에는 흡착재를 유수분리에 사용할 수 있을 것이다.

## 3. 실험

### 3.1 실험장치

실험장치는 폴리프로필렌(polypropylene)으로 만든 20ℓ 들이 원통형 용기 2개를 조립하여 만든 것으로, 진공펌프로 작동하는 흡입회수기와 물-기름 혼합물을 저장하는 혼합물탱크로 구성되어 있다(Fig. 1참조). 흡입회수기는 물-기름 혼합물 흡입구와 진공펌프 연결부로 구성되어 있고, 혼합물 탱크와의 사이에는 흡입회수기가 작동할 동안 진공을 유지하도록 체크밸브를 설치하였다. 흡입구와 진공펌프 연결부, 체크밸브는

각각 지름 40mm의 304 스테인리스강이다. 또한 하나의 실험장치로 흡착제의 기름흡착시험과 여과시험을 수행하기 위하여 혼합물 탱크 내부의 철망과 철망걸이의 착탈이 용이하도록 하였다. 진공펌프로는 교류 110V, 흡입일률 300W의 진공청소기를 사용하였다.

실험에 사용한 흡착제는 국내 타이가상사에서 제조한 TO-S형이다. 재질은 폴리우레탄이고, 치수는 50cm×50cm×0.5cm, 무게가 100g이며, 해상 유출기름 제거용이다.

서론에서 언급한 바와 같이 유출기름 중에서 경유의 유출량이 가장 많고, 병커유는 실험실에서 취급하기 곤란하므로 실험에 경유(비중 0.84)를 사용하였다.

### 3.2 실험방법

실험은 흡착제의 흡착실험과 여과실험의 두 가지로 나누어 수행한다. 각 실험에는 Table 1과 같이 10ℓ의 물-기름 혼합물중 기름 함유량이 5, 10, 15, 20vol%일 때 각 함유량마다 10회씩 실험한다. 본 실험에 사용된 흡착제는 최대 약 2kg의 기름을 흡착<sup>12)</sup>할 수 있으므로, 실험에서 기름의 양이 이보다 많은 경우에는 흡착실험의 의미가 없다.

Table 1 Parameters to be investigated

Experiment	Oil Concentration (vol%)
Absorptivity	5, 10, 15, 20
Filtering	5, 10, 15, 20

#### 3.2.1 흡착실험

물과 기름을 위의 Table 1에 나타나 있는 기름 함유량이 되도록 혼합한 다음, Fig. 1의 흡입 회수기를 작동하여 흡입탱크로 흡입한다. 흡입한 혼합물을 체크밸브를 통해 혼합물탱크에 모은 다음, 혼합물내의 기름이 비중차에 의하여 물 표면에 떠오르게 하기 위하여 10분동안 정지시킨 후, 흡착제를 투입하여 5분동안 두었다가 흡착제를 꺼낸다. 혼합물 탱크에 남은 혼합물을 2시간동안 정지시켜 흡착되지 않은 기름이 떠오르게 한 다음, 메스실린더로 남은 기름의 양을 측정한다.

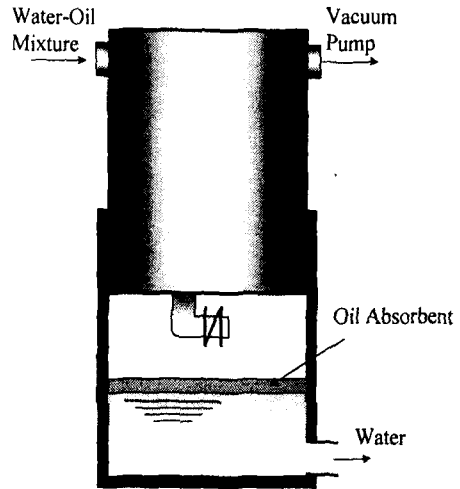


Fig. 1 Experiment on oil-absorbing performance

흡착율(absorptivity)은

$$A = \Delta V / V \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

로 계산한다. 여기서 A는 흡착율(%), V는 흡착 전 혼합물중의 기름의 체적, ΔV는 흡착된 기름의 체적이다.

#### 3.2.2 여과실험

흡착제를 필터와 같은 기능으로 사용할 수 있는가를 알아보기 위해 Fig. 2와 같이 혼합물 탱크 중간에 철망을 설치한 후, 흡착제를 철망위에

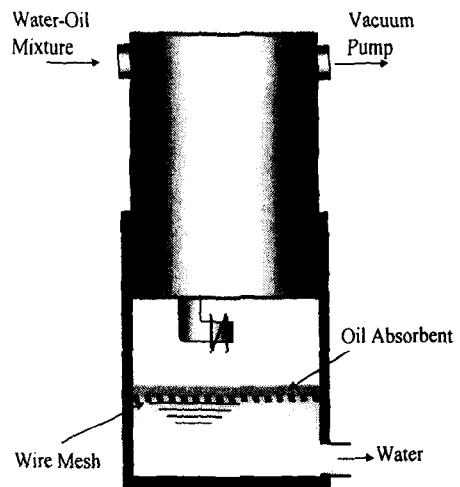


Fig. 2 Experiment on filtering performance

농은 다음 혼합물이 완전히 여과하는데 걸리는 시간과 흡착율을 측정한다. 이 경우에도 흡착율을 위의 식(2)로 계산한다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 흡착실험

Fig. 3은 흡착재의 기름흡착실험의 결과인 흡착율을 나타낸 것으로, 5vol%일 때 흡착율은 98.2%이상, 10vol%일 때 96.0~98.9%, 15vol%일 때 90.0~94.7%, 20vol%일 때는 77.5~85.5%이다. 기름함유량이 10vol%이하일 때는 혼합물 중 기름의 96%이상이 흡착재로 제거되지만 15vol%와 20vol%의 경우에는 흡착율이 이보다 훨씬 낮음을 알 수 있다. 기름함유량이 적을 때는 흡착율의 편차가 작지만, 함유량이 증가하면 흡착율의 측정치에 편차가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 기름이 적은 경우에는 흡착재의 표면에 기름이 거의 모두 흡착되지만, 기름이 증가하면 흡착재의 표면 뿐만 아니라 내부에까지 흡착되어 실험마다 흡착기름의 양에 편차가 나기 때문으로 보인다.

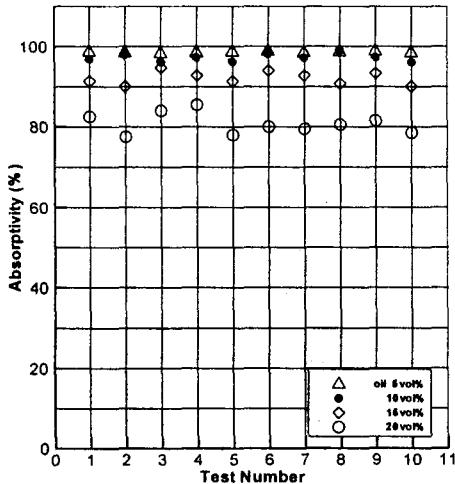


Fig. 3 Absorptivity for different oil concentrations

위의 측정치로부터 계산한 평균흡착율이 Fig. 4에 나타나 있다. 평균흡착율은 기름 함유량이 5vol%일 때 98.5%, 10vol%일 때 97.2%, 15vol%

일 때 92.1%, 20vol%일 때 80.8%이다.

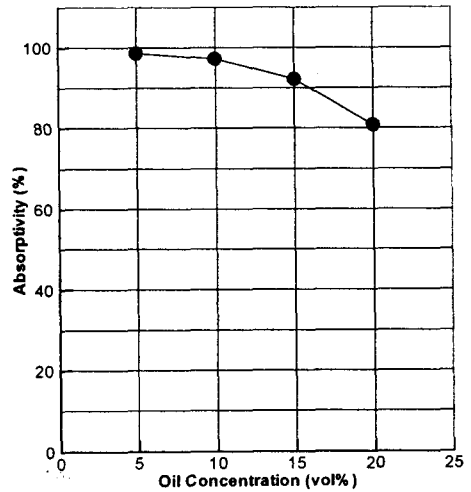


Fig. 4 Comparison of average absorptivity

##### 4.2 여과실험

흡착재를 통해 물이 쉽게 여과될 수 있다면 혼합물의 여과와 동시에 기름을 흡착하여 유수분리기의 기능을 할 수 있다. 흡착재의 여과성능을 알아보기 위해 기름 함유량 5vol%, 10vol%, 15vol%, 20vol%인 혼합물 10 l을 흡착재로 여과하는데 걸린 평균시간이 Fig. 5와 같다. 5vol%

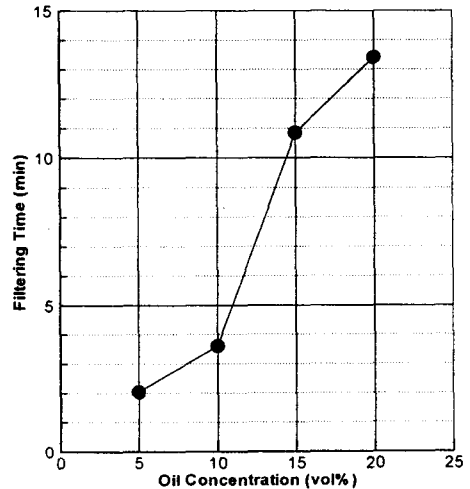


Fig. 5 Average filtering time for different oil concentrations

의 경우 2.0분, 10vol%의 경우 3.6분, 15vol%의 경우 10.8분, 20vol%의 경우 13.4분이다. 기름의 함유량이 높을 때 여과시간이 많이 걸리는 것은 기름의 흡착으로 흡착제의 다공성(porosity)이 낮아졌기 때문이다. 이 시간은 신속히 기름을 제거해야 하는 기름유출사고에 사용하기에 너무 길다.

Fig. 6은 여과시험에서 측정한 각 기름 함유량별 평균흡착율이다. 5vol%의 경우 94.8%, 10 vol%의 경우 91.8%, 15vol%의 경우 57.3%, 20 vol%의 경우 51.1%이다. 기름 함유량이 높은 경우에 흡착율이 좋지 않음을 알 수 있다.

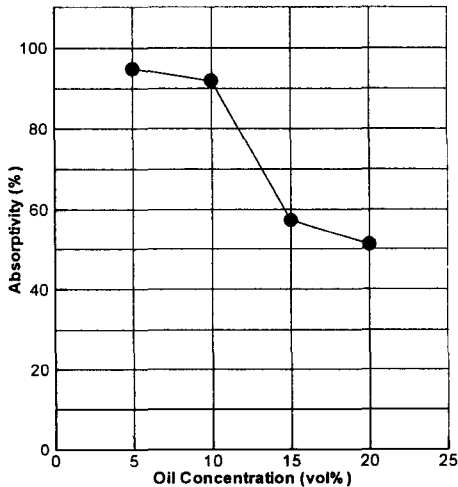


Fig. 6 Average absorptivity in filtering for different oil concentrations

### 4.3 흡착제의 사용방안

위의 여과 및 흡착 실험결과, 흡착제의 기름 흡착성능은 우수하지만 여과시간이 길어 여과에 의한 기름흡착은 유출기름회수용으로 사용할 수 없음을 알 수 있다. 혼합물 탱크속에서 비중차에 의해 기름입자가 물위로 떠오르도록 배수구 까지 혼합물이 흐르는 시간을 길게 하고, 흡착제와 기름입자의 접촉이 쉽도록 하는 방법이 필요하다.

Fig. 7은 흡착제를 유수분리에 사용하는 방안으로, 혼합물 탱크속에 흡착제 배플(baffle)을 구성하여 기름을 흡착하는 방법이다. 흡착제를 수

평으로 일정한 간격으로 설치하여 혼합물이 흡착제 사이로 통과할 때, 기름입자의 일부는 흡착제와의 접촉으로 흡착하고 나머지 기름입자는 위로 떠오르게 하여 흡착제로 제거한다.

기름입자가 비중차에 의해 떠오를 때 앞의 식(1)에서의 종말속도로 떠오르므로, 흐름은 가능한 난류가 없는 고요한 흐름이 되어야 한다. 이와 관련하여 흡착제의 간격 등 배열과 흡착율의 관계에 대한 실험과 흡착제의 교환방법에 대한 검토가 필요하다.

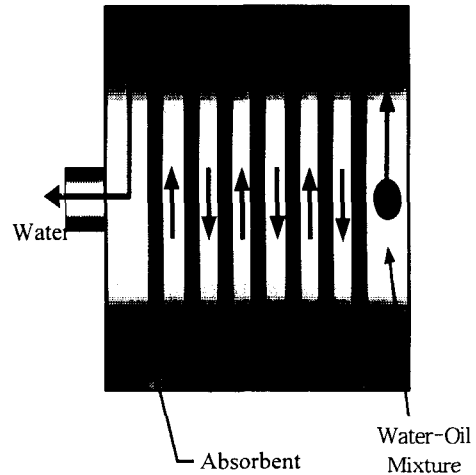


Fig. 7 Suggested oil separator by using oil absorbent (top view)

## 5. 결 론

기름 흡착제를 유수분리에 사용할 수 있는 방안을 알아보기 위해 흡착제의 기름 흡착실험과 여과실험을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 실험에 사용된 기름 흡착제의 평균흡착율은 각각 물-기름 혼합물 중 기름함유량이 5vol%일 때 98.5%, 10vol%일 때 97.2%, 15vol%일 때 92.1%, 20%vol%일 때 80.8%였다.
- 2) 혼합물을 흡착제로 여과하는데 걸리는 평균 시간은 5vol%의 경우 2분, 10vol%의 경우 3.6분, 15vol%의 경우 10.8분, 20vol%의 경우 13.4분이었다. 이 시간은 유출기름 회수용으로

사용하기에 너무 길므로, 단순여과에 의해 기름을 분리하는 방법은 사용할 수 없음을 알 수 있었다.

- 3) 흡착재 배플(baffle)을 혼합물 탱크에 설치하여 기름입자와 흡착재의 접촉과 비중차에 의해 기름을 분리하는 것이 적합한 방안으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

- 1) 이봉길, "유류오염 현황과 대책", 한국해기연수원 해양오염 방제기술에 관한 세미나, pp. 3~5, November, 1995.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) J.B.H. Smith, C. McLellan and L.R. Pinter, "Development of an Oil Skimming System to Meet Navy Specifications", Proc. Oil Spill Conf., Baltimore, Maryland, pp. 91~94, 1987.
- 6) 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.
- 7) 이광진, "해양유출기름 회수용 유수분리기의 개발", 부경대학교 산업대학원 공학석사 학위논문, 1996.
- 8) 박외철, "진공청소기를 이용한 휴대용 유출기름 회수기의 개발", 한국산업안전학회지, Vol. 10, No. 1, pp. 41~48, 1995.
- 9) V.L. Streeter and E.B. Wylie 원저, 손병진, 조강래 공역, 유체역학, 희중당, p. 274, 1991.
- 10) D.A. Colman and M.T. Thew, "Correlation of Separation Results from light Dispersion Hydrocyclone", Chem. Eng. Res. Des. Vol. 61, pp. 233~240, 1983.
- 11) 박외철, 이광진, "강제와류 유수분리기의 개발", 한국산업안전학회지, Vol. 12, No. 2, pp. 22~26, 1997.
- 12) (주)타이가상사 제품카탈로그, Tiger Oil Absorbent, 1997.