

흡착제를 사용한 기름회수기 개발의 기초연구

권 병 근, 고 경 찬, 박 외 철*

부경대학교 산업대학원 안전공학과, *부경대학교 안전공학과

1. 서 론

환경문제에 관한 관심이 급속히 증가하고 있는 가운데, 1995년 여름 유조선 씨프린스호의 여천 앞바다 좌초로 다량의 기름이 유출되었다. 이 사고 이후 두달이 채 지나기도 전에 유조선 제1유일호가 부산 앞바다에서 침몰하는 사고가 발생했다.

통계¹⁾에 의하면, 1991년 1월부터 1995년 9월말까지 우리나라 연안에서 총 1,583건의 오염사고가 발생하였고, 유출량은 22,541톤, 피해금액 3,231억원으로 집계되었다. 해양오염사고중 기름에 의한 오염사고는 총발생건수의 92%로 대부분을 차지하고 있다. 배출원인은 선박사고가 전체 발생건수의 87%, 육상 및 해양시설에 의한 사고가 10.5%, 배출원인 불명이 2.5%였다. 오염물질 중 기름의 종류별 유출량은 경유 6,509톤, 벙커유 3,928톤, 선저폐수 759톤으로, 경유가 가장 많고 다음으로 벙커유가 많았다. 해상 기름유출사고는 기름운반선 등에 의해 하루에 한번 꼴로 크고 작은 기름유출사고를 일으키고 있으며, 발생건수가 매년 증가하고 있다. 우리나라 연안에서의 유류 해상 수송량 증가와 선박의 대형화로 대형기름유출사고의 발생 가능성이 잠재하고 있다.

유출기름은 유처리제를 사용하여 분해시키거나 기름회수기²⁻⁶⁾를 사용하여 회수한다. 그러나 유처리제의 사용은 그 자체의 독성으로 2차오염을 발생시킨다. 유출기름을 흡착재로 회수하기도 하지만, 기름층의 두께가 얇은 경우에는 회수량이 적다. 파도가 높지 않은 해상에서는 기름회수기를 사용한다. 흡입회수기는 일반적으로 기름함유량 10%이하의 물-기름 혼합물을 흡입하므로, 물과 기름을 분리하는 유수분리기^{7,8)}를 함께 사용해야 한다.

흡착재가 유수분리용으로 회수기와 함께 사용되는 예는 지금까지 알려진 바가 없다. 흡입회수기로 흡입한 물-기름 혼합물 중의 기름층이 두껍거나 기름입자와 흡착재의 접촉이 충분한 경우, 흡착재를 사용한다면 별도의 유수분리기 없이 유출기름을 회수할 수 있을 것이다.

본 연구는, 이에 착안하여, 흡착재 내장 소형 기름회수기의 개발에 관한 기초연구이다. 본 연구의 목적은,

- 1) 흡착재의 흡착시험과 여과시험을 통해, 단순여과에 의한 유수분리의 가능성 확인
- 2) 흡착재 단독 또는 흡착재와 기존 유수분리법 병용의 기름회수기에 관한 개념설계에 있다.

본 논문에서는 흡착재의 특성과 공기흡입회수기⁹⁾를 포함한 실험장치, 실험방법 및 결과, 흡착재-비중차법의 조합에 의한 유수분리방식의 개념설계에 대하여 기술한다.

2. 흡착재의 특성

흡착재에는 짚, 건초, 톱밥, 나무껍질 등의 식물성 흡착재와 운모, 경석 등의 광물성 흡착재, 그리고 석유화학계 고분자체 합성물질이 있다.¹⁰⁾ 이 가운데, 기름의 회수성과 후처리 등의 문제점으로 인해, 석유화학계 흡착재가 주로 쓰이고 있다. 흡착재는 다음과 같은 특성을 갖추어야 한다.

1) 밀도

기름이 흡착된 채 흡착재가 물속에 침전되면, 2차 오염을 일으킬 수 있다. 그러므로 흡착재의 밀도가 낮아 물속에 침전되지 않아야 한다.

2) 흡수성

흡수성이 높으면 기름 흡착율이 낮아지고 따라서 물과 기름의 분리기능이 떨어진다. 흡수성이 작을수록 기름 흡착량이 증가하게 된다.

3) 기름 흡착성

기름 흡착량이 많을수록, 그리고 흡착속도가 빠를수록 좋다. 흡착재는 기름과의 부착성이 좋은 재질이어야 흡착성이 높다.

이 밖에도 흡착후 시간이 지나도 흡착되어있는 기름 입자가 흡착재로부터 탈락하지 않아야 한다.

유수분리기 대신에 흡착재를 기름회수기에 사용하기 위해서는 위의 특성 가운데 기름 흡착성이 가장 중요한 요소다. 기름입자만 흡착되고 물은 쉽게 흡착재를 통과하면 여과로도 기름의 분리가 가능하지만, 물의 여과는 흡착재의 흡수성과 밀접한 관계가 있다. 즉, 흡수성이 낮으면 기름의 흡착량이 많지만, 물의 여과성은 떨어지게 된다.

3. 실험

3.1 실험장치

실험장치는 폴리프로필렌(polypropylene)으로 만든 20ℓ들이 원형통 2개를 Fig. 1과 같이 조립하여 만든 것으로, 진공펌프로 작동하는 흡입회수기와 물-기름 혼합물을 저장하는 혼합물 탱크로 구성되어 있다.

각 부분의 명칭은 Fig. 2의 실험장치 개략도에 나타나 있다. 흡입회수기는 혼합물 흡입탱크와 흡입구, 진공펌프 연결구로 구성되어 있고, 아래쪽 혼합물 탱크와의 사이에는 체크밸브를 설치하여, 흡입회수기가 작동할 동안 진공을 유지하도록 하였다. 흡입구와 진공펌프 연결구, 체크밸브는 모두 지름 40mm, 재질 304 스테인리스강이다. 흡착재의 여과시험을 수행할 수 있도록 혼합물 탱크의 내부에 철망걸이를 부착하였다. 교류 110V, 흡입일률 300W의 진공청소기를 진공펌프로 사용하였다.

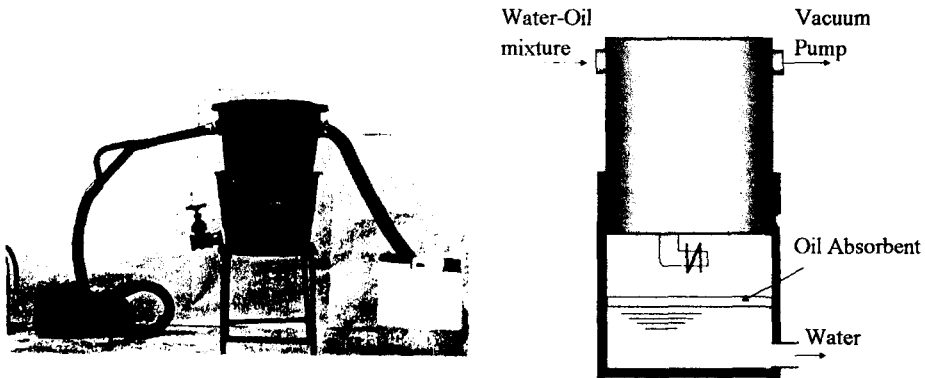


Fig. 1. Experimental apparatus Fig. 2. Schematic of experimental apparatus

Fig. 3은 실험에 사용한 (주)타이가상사의 TO-S형 흡착재이다. 재질은 폴리우레탄이고, 규격은 가로 50cm, 세로 50cm, 두께 0.5cm, 무게는 100g이며, 해상 유출기름 제거용이다. 본 연구의 목적이 흡착재의 흡착성능 비교가 아니므로, 기름유출 사고에 흔히 쓰이는 한가지 흡착재만 실험에 사용하였다.

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

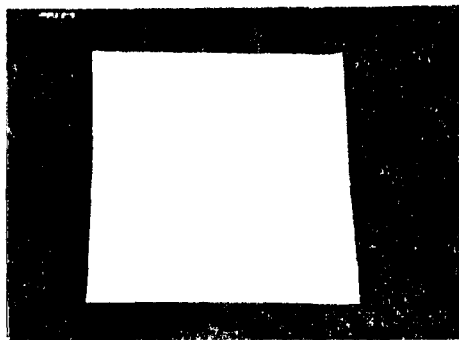


Fig. 3. Oil absorbent
(type TO-S, Tiger Trading Co., Ltd.)

3.2 실험방법

실험은 흡착재의 흡착시험과 여과시험의 두가지로 나누어 수행한다. 각 시험에는 Table 1과 같이 10ℓ의 물-기름 혼합물중 기름 함유량이 10, 20 vol%일 때 각 함유량마다 10회씩 실험한다. 본 실험에 사용된 흡착재는 최대 약 2kg의 기름을 흡착¹¹⁾할 수 있으므로, 실험에서 기름의 양이 이보다 많은 경우에는 흡착시험의 의미가 없다.

Table 1. Parameters to be investigated

Experiment	Oil Concentration (vol%)
Absorptivity	10
	20
Filtering	10
	20

1) 흡착시험

물과 기름을 위의 Table 1에 나타나 있는 기름함유량이 되도록 혼합한 다음, 흡입회수기를 작동하여 흡입탱크로 흡입한다. 흡입한 혼합물을 체크밸브를 통해 혼합물탱크에 모은 다음, 10분동안 정치시킨 후, 흡착재를 투입하여 5분동안 두었다가 흡착재를 꺼낸다. 혼합물 탱크에 남은 혼합물을 2시간동안 정치시켜 흡착되지 않은 기름이 떠오르게 한 다음, 메스실린더로 남은 기름의 양을 측정한다. 흡착율 (absorptivity)은

$$A = \Delta V/V \times 100 \quad (1)$$

로 계산한다. 여기서 A는 흡착율(%), V는 흡착전 혼합물중의 기름의 체적, ΔV 는 흡착된 기름의 체적이다.

2) 여과시험

흡착재를 여과기와 같은 기능으로 사용할 수 있는가를 알아보기 위해 Fig. 4와 같이 혼합물 탱크 중간에 철망을 설치한 후, 흡착재를 철망위에 놓은 다음 혼합물이 완전히 여과하는데 걸리는 시간을 측정한다. 이 경우에도 흡착율을 식 (1)로 계산한다.

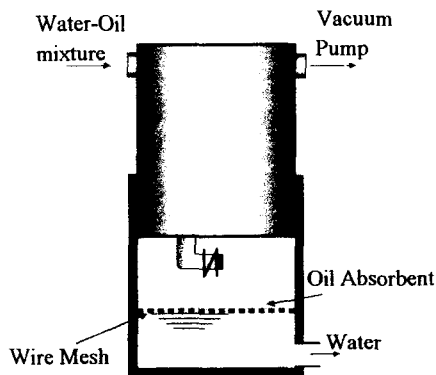


Fig. 4. Experiment on filtering

4. 결과 및 고찰

4.1 흡착시험

Table 2는 기름 함유량이 10vol%(물 9ℓ, 경유 1ℓ) 및 20vol%(물 8ℓ, 경유 2ℓ)일 때 흡착후 혼합물 탱크에 남은 물과 기름의 양이다. 10vol%의 경우 흡착되지 않고 남은 기름은 1~4%이지만 20vol%의 경우에는 15~23%의 기름이 흡착되지 않았음을 알 수 있다.

Table 2. Remained mixture after Oil absorption

Test No.	Oil 10vol%		Oil 20vol%	
	Water(ℓ)	Oil(ℓ)	Water(ℓ)	Oil(ℓ)
1	8.94	0.03	7.94	0.35
2	8.96	0.02	7.87	0.46
3	8.93	0.04	7.91	0.32
4	8.94	0.03	7.96	0.30
5	8.95	0.04	7.95	0.44
6	8.89	0.02	7.88	0.40
7	8.92	0.03	7.94	0.41
8	8.97	0.01	7.94	0.39
9	8.89	0.03	7.89	0.37
10	8.88	0.04	7.91	0.43

Fig. 5는 앞의 식 (1)을 사용하여 계산한 흡착율이다. 10vol%일 때 흡착율은 96%이상이고, 10회 측정결과의 평균흡착율은 97%였다. 20vol%일 때 평균흡착율은 100vol%의 경우보다 훨씬 낮은 80%였다.

4.2 여과시험

흡착재를 통해 물이 쉽게 여과될 수 있다면 혼합물의 여과와 동시에 기름을 흡착하여 유수분리기의 기능을 할 수 있다. 흡착재의 여과성능을 알아보기 위해 기름 함유량 10vol%와 20vol%의 혼합물이 흡착재를 통과하는데 걸린 시간을 측정할 결과가 Fig. 6에 나타나 있다. 여과에 걸린 시간은 10vol%의 경우 2~4분, 20vol%의 경우 12~14분이었다. 기름의 함유량이 높을 때 여과시간이 많이 걸리는 것은 기름의 흡착으로 흡착재의 다공성(porosity)이 낮아졌기 때문이다. 이 시간은 신속히 기름을 제거해야 하는 기름유출사고에 사용하기에 너무 길다. 여과시험에서 측정한 흡착율은 기름 함유량이 10vol%인 경우 89%이상이었으나, 20vol%의 경우에는 흡착율이 45~60%로, 기름 함유량이 높은 경우에 흡착율이 좋지 않았다.

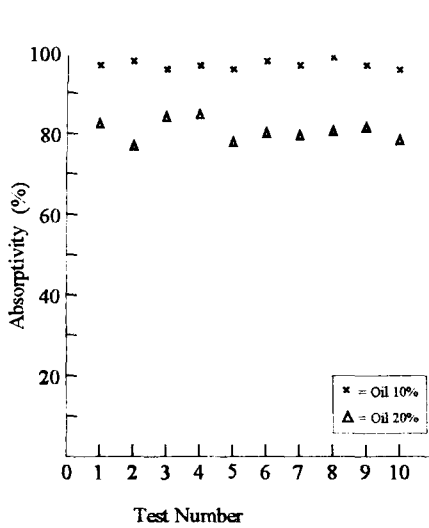


Fig. 5. Absorptivity for oil concentrations 10vol% and 20vol%

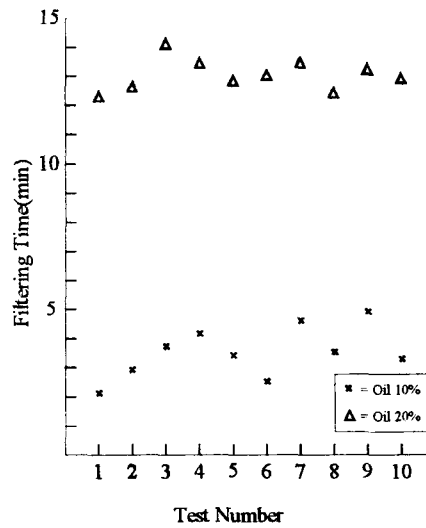


Fig. 6. Filtering time for oil 10vol% and 20vol%

4.3 개념설계

기름 흡착재의 흡착시험과 여과시험의 결과, 흡착재의 기름흡착성능은 우수하지만 혼합물에서 분리된 물이 쉽게 여과되지 않았다. 그러므로 혼합물의 여과에 의해 기름을 흡착하는 방법은 유출기름 회수에 사용할 수 없음을 알 수 있다. 위의 흡착시험에서 기름함유량이 10vol%의 경우 90%이상의 기름을 흡착한 것은 흡착재의 유흡착성이 높았기 때문이고, 기름의 흡착은 흡착재와 기름입자의 접촉에 의한 것이었다.

이러한 사실로부터 혼합물 속의 기름을 분리하기 위해서는 혼합물 내부의 기름입자와 흡착재의 접촉 증가와 흡착재와 접촉하지 않은 기름입자가 수면위로 떠오르게 할 필요가 있다.

기름의 밀도는 기름의 종류와 온도에 따라 다르지만, 물의 밀도보다 작아 물 위에 떠오른다. 이 물리적 성질을 이용하여 물과 기름을 분리하는 방법이 비중차법이다. 고요한 물속에서 기름입자의 부력과 기름입자가 상승할 때의 항력의 평형상태에서 기름입자의 최종상승속도(종말속도)는 스토크의 법칙(Stoke's law)에 따라

$$u = \frac{ga^2 \Delta \rho}{18\mu} \quad (2)$$

가 된다¹²⁾. 여기서 u 는 기름입자의 최종상승속도, $\Delta \rho$ 는 물과 기름의 밀도차, a 는 입자의 지름, μ 는 물의 절대점성계수이다. 이 식에서 기름입자가 수면 위로 떠오르는데 걸리는 시간은 기름입자의 지름과 물과 기름의 밀도차, 기름의 점성에

작우됨을 알 수 있다. 기름의 물리적 성질인 밀도와 점성의 값은 온도가 높을수록 감소하므로 기름의 분리에 유리하지만, 기름회수과정에서 혼합물을 가열하기 어렵다. 또 기름입자의 지름의 크기를 증가시키는 원심가속장치 등을 설치하기도 곤란하다. 따라서 흡착재를 이용하여 기름을 분리하는 장치는 혼합물의 이동시간을 연장하여 접촉과 수면부상으로 기름을 흡착하는 방식을 사용해야 한다.

Fig. 7은 흡착재를 배플(baffle)로 사용하여 기름을 흡착, 제거할 수 있도록 혼합물 탱크를 개조한 것이다. 흡착재를 수직으로 일정한 간격으로 설치하고 혼합물이 흡착재 사이로 통과할 때 기름입자의 일부는 흡착되고, 나머지 기름입자는 위로 떠오르게 한다. 떠오른 기름입자는 흡착재로 제거한다.

기름입자가 비중차에 의해 떠오를 때 흐름은 가능한한 난류가 없는 고요한 흐름이 되어야 한다. 이와 관련하여 흡착재의 간격 등 배열과 흡착율의 관계에 대한 실험과 흡착재의 교환방법에 대한 검토가 필요하다.

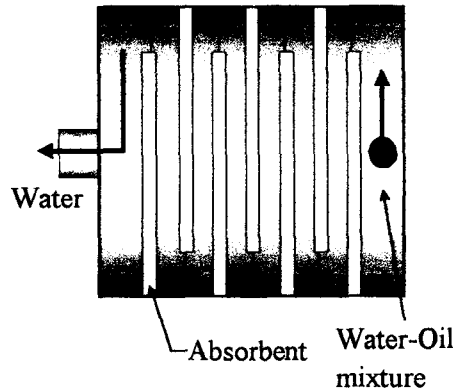


Fig. 7. Suggested Oil Separator using oil absorbent

5. 결론

기름 함유량 10vol% 및 20vol%에 대해 각각 흡착재의 흡착율시험 및 여과시험을 수행하고, 흡착재를 사용하는 기름분리방안을 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 실험에 사용된 기름 흡착재는 물-기름 혼합물 중 기름함유량이 10vol%일 때 기름을 90%이상 흡착하였으나 20vol%일 때는 평균흡착율이 80%였다.

2) 기름 함유량이 10vol%인 10l의 혼합물을 흡착재로 여과하는데 2~4분, 20vol%의 경우 12~14분이 소요되므로, 단순여과에 의해 기름을 분리하는 방법은 사용할 수 없었다.

3) 혼합물 내부의 기름입자와 흡착재의 접촉을 증가시키고 남은 기름입자를 수면위에 떠오르게 하는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

4) 흡착재로 배플(baffle)을 구성하여, 기름입자와 흡착재의 접촉과 비중차방법으로 기름을 분리하는 방안을 제시하였다

참고문헌

- 1) 이봉길, “유류오염 현황과 대책,” 한국해기연수원 해양오염 방제기술에 관한 세미나, pp. 3~5, 1995. 11.
- 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. Pintler, “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, “해상유출기름 회수용 유수분리기의 개발,” 부산공업대학교 산업대학원 공학석사 학위논문, 1996. 6.
- 8) 박외철, 이광진, “강제와류 유수분리기의 개발”, 한국산업안전학회지, 제12권, 제2호, pp. 22~23, 1997.
- 9) 박외철, “진공청소기를 이용한 휴대용 유출기름 회수기의 개발” 한국산업안전학회지, 제10권, 제1호, pp. 41~48, 1995
- 10) 홍기용, “해양 유류오염의 확산 및 회수기술,” 한국해기연수원 해양오염 방제기술에 관한 세미나, p. 28, 1995. 11.
- 11) 타이가상사 제품카탈로그, Tiger Oil Absorbent. 1997
- 12) 손병진, 조강래 공역, V.L. Streeter E.B. Wylie 원저, 유체역학, 회중당, p. 274, 1991