

분리판식 유수분리기의 평행판 배열과 유수분리 효율에 관한 실험적 연구

한원희⁽¹⁾, 김광수⁽²⁾, 이진열⁽³⁾

An Experimental Study on the Parallel plate Arrangement and Oil/water Separation Efficiency for Plate type Oily water Separator

by

Won-Hui Han⁽¹⁾, Gwang-Su Kim⁽²⁾ and Jin-Yeol Lee⁽³⁾

요 약

갈수록 강화되고 있는 해양오염 기준에 맞추어 유성 빙지 배출시 포함된 기름의 함유량을 제어하기 위한 방법 중의 하나로 중력 분리 방식의 유수분리기가 개발되어왔다. 중력분리 방식 중 분리판식 유수분리기는 고비중을 가진 다량의 농후유를 처리하는데 있어서 효과적이기 때문에, 현재 IMO 기준인 15ppm에 부합하는 필터여과방식의 보완장치로서 사용이 가능하다. 이 논고의 목적은 분리판의 배열에 따른 유수분리 효율에 대해 검토하는 것이다. 유량, 유입유분농도 그리고 분리판 사이의 간격 등을 포함한 여러 가지 운용상의 변수가 있는 유성혼합물에 대한 효율적인 처리를 알아보기 위해 실험적 연구를 수행하였다. 실험결과 얻은 결론에서 분리판 사이의 간격이 분리효율에 지대한 영향을 미치고 있음을 알 수 있었고, 가장 좋은 분리 효율은 분리판과 내통 사이 간격과의 비율(H/Ci)이 2일 때 유입유분농도가 낮고 유량이 작은 경우에 얻어졌다.

Abstract

The need to control the oil content in oily bilge water discharges to meet the increasingly stringent seawater pollution standards has led to the development of gravity type separators. Among the several gravitational methods, a plate type oily water separator can be used as an assistant equipment for the oil filtering system to meet the present IMO standard of 15 ppm, because it is believed to be an efficient method dealing with a large amount of rich oil with high specific gravity.

The purpose of this paper is to examine the efficiency of oil/water separation with the characteristics of separating plate arrangement. An experimental study was carried out to analyse an efficient treatment for oil-water mixture with variation of operating parameters, including flow rates, inlet oil concentrations and the height between the plates.

(1) 학생회원, 한국해양대학교 대학원 기관공학과, wannyhan@hanmir.com

(2) 종신회원, 목포해양대학교 해상운송시스템학부, gwngskim@mail.mmu.ac.kr

(3) 한국해양대학교 기관시스템공학부, jinyeol@hanara.kmaritime.ac.kr

The experimental results show that the height between the plates has a significant effect on the separation efficiency. The best efficiency was acquired when the ratio of the height between the plates to distance(H/Ci) was 2 with lower inlet oil concentration and lower flow rate.

Keywords : Oily water Separator, Separating Plate, Height Between the Plates, Separation Efficiency

1. 서 론

해양으로 유입되는 기름의 양을 정확히 조사한다는 것은 그 오염원이 해양에 이르는 경로가 복잡하고 다양하여 곤란하지만, 1981년 미국립과학원(National Academy of Science)이 조사한 결과에 따르면 전세계의 해양으로 유입되는 석유탄화수소는 연간 약 320만 톤에 이르고 있으며, 그 중 해상 운송으로 인하여 배출되는 유류의 총량은 연간 약 150만 톤으로 추정되고 있다.(해양경찰대[1987]) 또한 1985년 NAS의 조사발표에 의하면 연간 총 147만 톤의 유류배출량 중에서 선박의 선저폐수(Bilge) 및 연료유로 인한 배출을 30만 톤(20.4%)으로 추정(IMO[1988])하고 있어서 결코 간과할 수 없는 양이 되고 있다. 국제해사기구(International Maritime Organization : IMO)는 국제해양오염방지협약(MARPOL 73/78)을 통하여 선박 기관실로부터의 유류배출 제한치를 15ppm (parts per million : mg/l)으로 규정하고 있으며 여기에 적합한 유수분리장치(Oil Filtering Equipment)의 설치를 의무화하고 있다.(IMO[1996]) 유성혼합물을 불과 기름으로 분리하여 처리하는 방식은 여러 가지가 있으나 선박의 유수분리장치로 주로 사용되고 있는 방식은 중력분리방식과 필터(Filter)여과방식이다.(한국해기연수원[1989], 瀬尾[1973], 전[1985], Cormack[1983]) 그 중 필터여과방식은 필터의 재질에 따라서 차이는 있으나 보통은 처리수중의 유분농도를 15ppm정도까지 낮추어 유·수 분리할 수 있기 때문에 MARPOL 73/78에서 규정하는 제한기준치를 충족할 수 있으므로 현재 대부분의 선박에서 제1종 유수분리기로 채택하고 있는 방법이다. 그러나 현재 운용되고 있는 기존의 필터여과방식 유수분리장치는 연속 사용할 경우 필터의 세공이 기름 및 기타 협잡물로 막혀 자주 교체 또는 교체해 주어야 하는 단점이 있다. 그리고 필터 수명

도 그리 길지 못하여 비용이 많이 드는 문제점 또한 지적되고 있다.(John-Nan Chicu[1975], 김[1994]) 따라서 법적 규제치인 유분농도 15ppm 미만 유류 배출의 실제 적용을 위하여 기존 필터여과방식 유수분리장치에 연계되어 처리할 수 있는 적절한 보완장치가 요구되고 있다. 기존의 필터여과식 장치의 문제점을 보완할 수 있는 여러 가지 방법중 분리판식 유수분리장치는 구조가 비교적 간단하면서도 유지·보수가 용이할 뿐만 아니라, 비중이 높은 기름이 다량 함유된 유성혼합물을 다른 방식에 비해 보다 효율적으로 유·수 분리하고 처리할 수 있는 장점이 있어서 前處理장치(Pre-separator, 이,한[2000])로 많이 채택되고 있다. 국내의 H해운에서는 분리판식 전처리 장치를 자사 선박들에 장착하여 운용한 결과, 유수분리효율이 향상되고 비용절감의 효과를 가져오고 있다고 보고된 바 있다.(한진해운[1997])

이 연구는 선박으로부터 유분농도 배출 규제치인 15ppm 미만 유류배출의 실질적이며 보다 효율적인 적용을 위한 기존 필터여과방식 유수분리장치의 적절한 보완장치가 요구되고 있는 실정에 착안하여, 전처리방식으로 사용할 수 있는 분리판식 유수분리장치의 최적 설계조건을 연구·개발 하는데 그 목적이 있다. 분리판식 유수분리장치는 여러 가지 형식의 제품이(小川 勝[1975], SASAKURA ENGINEERING CO., LTD., M&C ENGINEERING CO., LTD., 슈미로[1996]) 개발되어 시판되고 있지만 그 주요 특징이 되는 분리판의 설계 및 배열에 있어서 기술적인 검증 및 성능 평가가 부족하고 주로 경험에 의한 설계에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 이 연구에서는 분리판식 유수분리장치에 적용되는 이론 고찰과 실제 유성혼합물의 유·수 분리를 통한 실험적 연구를 바탕으로 분리판 배열에 관한 설계 자료로서 유용하게 사용될 수 있는 정량적인 실험결과를 제시하고자 하였다.

2. 관련 이론

2.1 발지의 처리

유성혼합물중 기름은 遊離狀(浮上油狀), 에멀전狀, 현탁물과 공존상등으로 존재하는데 실제에 있어서의 유탁은 거의 이들이 혼합된 상태이다. (김[1981]) 유분이 유리상으로 존재할 때는 일반적으로 비중차에 의한 중력분리(부상분리)법을 사용하지만, 유립자의 직경이 1 μm ~수십 μm 정도인 에멀전상으로 존재할 때는 기포에 의한 분리, 가열법, 초음파 분리, 필터 등에 의한 여과법, 화학적 분리(응집침강, 응집부상법), 전기화학적 분리, 생물학적 처리법 등이 쓰인다.

선박용 유수분리기는 주로 분리판식, 세판식 등의 중력분리방식과 필터여과 방식이 사용되고 있다. 중력분리방식은(Cormack[1983], 김[1981], Eckenfelder[1980], Eckenfelder, Jr.[1989]) 유분배출의 규제치가 100ppm을 만족할 수 있는 제2종 분리기로 사용되며, 현재 단독으로는 사용되지 않는 방식이다. 그 중 API(American Petroleum Institute)방식은 보통 유적의 직경이 150 μm 이상의 것을 분리하도록 설계되었고, PPI(Parallel Plate Interceptor), CPI(Coagulated Plate Interceptor) 방식은 유적직경이 60 μm 이상의 것을 분리, 회수하도록 설계된 것이다. 일반적으로 중력분리 방식은 유성혼합물중의 유분농도가 높거나 유적직경이 큰 기름의 분리에는 효과적이거나, 유분이 에멀전상이나 현탁물상으로 존재할 경우에는 후처리를 해주어야 하는 단점이 있다. 현재 선박용 유수분리기의 대부분을 차지하고 있는 필터 여과 방식은(John-Nan Chieu[1975], 이유[1983]) 여과 재료의 종류에 따라 차이가 있으나 보통은 유분농도를 15ppm까지 낮추어 분리할 수 있도록 설계되어서 제1종 유수분리기로 사용되고 있다. 필터의 작용에 따라서 선별 작용을 이용한 것, 흡착 작용을 이용한 것, 粗大化 작용을 이용한 것 등으로 분류되기도 하는데 실제 사용에서는 위 세 가지 작용을 겸하고 있는 것이 많다. 이 방식은 유분제거 효율이 높은 반면 필터가 기름 및 기타 협잡물로 폐쇄되기 쉬워서 자주 교환해 주어야 하고 농후유가 다량 함유된 유성혼합물의 대량처리에는 부적합한 방식이다. 또한 에멀전상 유분을 처리할 경우에도 10 μm 이하의 유적은 집적하기가 매우 어려워서 전처리 또

는 후처리가 필요한 경우도 있다.

2.2 분리판식 유수분리기에 응용된 이론식

분리판식 유수분리장치는 중력분리의 이론식을 응용한 것으로, 미립유적의 부상속도를 증가시키고 미립유적을 보다 큰 유적으로 합쳐지게 하여 유수분리기의 상단에 쉽게 모이게 함으로서 기름을 제거하는 장치이다. 중력 작용에 의해서 분리된 유적은 미립이므로 레이놀드 수(Reynolds number)가 0 에서 2 전후라고 한다면, 그 부상속도는 스토크스(Stokes)법칙의 범위 내에서 다음과 같이 구할 수 있다.(瀬尾[1973])

$$u = \frac{(\rho_o - \rho)D^2g}{18\mu} \quad (1)$$

여기서,

u : 물에 대한 유적의 상대속도

ρ_o : 유적의 밀도, ρ : 물의 밀도

g : 중력가속도, D : 유적의 직경

μ : 물의 절대점도,

Fig. 1은 평행판 방식 유수분리기의 한 단면을 보여주고 있다. 분리판의 내경을 R_i , 외경을 R_o , 평균경을 R_m 이라 하고 분리판사이의 간격(높이)을 H , 분리판의 개수를 n 이라고 했을 때,

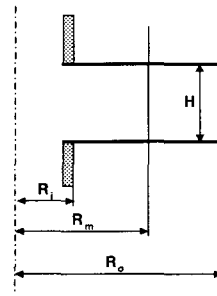


Fig. 1 Structure of Parallel plate

$$R_m = \frac{R_o + R_i}{2} \quad (2)$$

유성혼합물의 전유량을 Q 라 했을 때, 각 구획간을 흐르는 유수유량은 Q/n 가 되기 때문에, 분

리판 내에서 유수의 평균속도 \bar{v} 은

$$\bar{v} = \frac{Q}{2\pi R_m H} = \frac{Q}{\pi n(R_o + R_i)H} \quad (3)$$

분리판내에서 유수의 체류시간 t_v 는

$$t_v = \frac{R_o - R_i}{\bar{v}} = \frac{\pi n(R_o^2 - R_i^2)H}{Q} \quad (4)$$

유적의 부상속도가 u 일 때에 H 를 부상하는 데
요하는 시간 t_u 는

$$t_u = H/u \quad (5)$$

t_v 시간에 높이 H 를 부상하는 유적이 전부 분리된
다고 가정하면 완전분리 조건은

$$t_v \geq t_u \quad (6)$$

$$\text{즉, } \frac{\pi n(R_o^2 - R_i^2)H}{Q} \geq \frac{H}{u} \quad (7)$$

$$\text{그러므로, } u \geq \frac{Q}{\pi n(R_o^2 - R_i^2)} \quad (8)$$

유적이 미립이므로 그 부상속도가 스토크스법칙
에 따르기 때문에 분리 가능한 최소유립의 직경
 D_{min} 은 (1)식을 대입함으로써 구할 수 있다.

$$\text{즉, } D_{min} = \sqrt{\frac{18\mu Q}{\pi n g (\rho_w - \rho_o)(R_o^2 - R_i^2)}} \quad (9)$$

위 (9)식을 보면 유적의 분리효과에 H (높이)의
영향은 없으나 일정한 크기의 분리기에서 n (분리
판수)가 크면 H 가 자연히 감소되므로 간접적 효
과가 있음을 알 수 있다. 또한 유수분리기의 전
유량이 작을수록, 기름과 물의 밀도차가 클수록,
분리판의 면적이 넓을수록 분리할 수 있는 유적
의 직경은 작아져서 유수분리 효율이 좋음을 알
수 있다.

3. 실험

Fig. 2는 유수분리실험 장치의 구성 및 배치도이
다. 시료인 유수혼합물은 혼합탱크(Oily Water
Mixing Tank) 내에서 제조되어 공급되는데 탱크
내에 교반기(Lightnin LabMaster SI Mixer)를 삽
입하여 지속적으로 물과 기름이 혼합될 수 있도
록 하였다. 시료의 공급은 높이 1m에서 중력으로
하였고 공급유량의 조절은 유수리기의 처리수측
에 있는 출구밸브의 開度로 조정하였다. 시료채
취를 위한 샘플코크(Sample Cock)는 유수분리기
의 입구밸브 앞 및 처리수 출구밸브 다음에 설치
하여 유입구 및 출구측의 유분농도를 모두 계측
할 수 있게 하였고 샘플 채취량은 각 경우마다
200ml로 하였다. 유수분리기의 집유실에 모아진
기름은 높이 1m 위치에 설치된 중력수탱크에서
물을 유수분리기 내로 유입시켜 수압을 이용하여
회수유탱크로 배출된다.

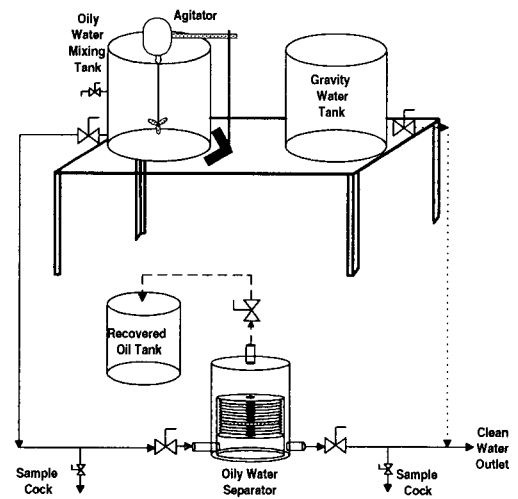


Fig. 2 Schematic Arrangement of Experimental Apparatus

Table 1은 유수분리 실험의 조건을 나타낸 것이
다. 시료는 선박의 연료유로 사용중인 비중
0.8438의 경유를 사용하여 만들었다. 시료의 양은
각 실험마다 50 l로 하였고 온도는 28℃였다. 실험
의 변수인 분리판의 간격은 5,10,15mm로 3가
지 경우이며 일정 용적 내에서 간격을 변화시킨
다는 것은 분리판의 수를 조절한다는 것과 같으

므로 분리판의 수는 간격이 5mm 일 때 26개, 10mm 일 때 14개 15mm 일 때 10개를 장착하였다.

Table 1 Experimental Condition for Oil/Water Separation

Item	Specification	
Test Oil	Type	Light Fuel Oil
	Specific gravity	0.8438 @15/4°C
	Kinematic viscosity	2.7 cSt @ 40°C
	Flash point	55°C
Oil/Water Mixture	Volume	50 liters
	Temperature	28°C
	Pressure in Separator	0.13~0.08 kg/cm ²
Variation of Operating Parameters	H (3 cases)	5,10,15 mm
	n	26, 14, 10
	V/V ₀ (3 Cases)	5, 15, 25 %
	Q (2 Cases)	0.5, 1.0 m ³ /hour

where,

- V/V₀ : inlet oil volume per water(%),
- H : height between the plates(mm),
- n : number of the plates,
- Q : inlet flow rate(m³/hour)

유입수의 유분 함유량은 물에 대한 비율(V/V₀)을 5, 15, 25%로 하여 변화시켰는데 시료의 총량이 각 경우마다 50 l로 일정하므로 기름의 양은 5% 일 경우 2.5 l, 15% 경우 7.5 l, 25% 경우 12.5 l로 하였다. 유입유량은 시간당 0.5m³, 1.0m³의 두 가지 경우에 대해서 실험하였는데, 50 l의 시료를 0.5m³/h로 유입시키면 처리시간이 6분, 1.0m³/h로 유입시키면 처리시간은 3분이 소요되었다

Fig. 3은 유수분리기에 장착된 분리판을 도시한 것이다. 분리판의 재질은 투명 아크릴로 되어 있고 두께는 1.5mm이다. Fig. 4는 실험용 유수분리기의 개략도이다. 유수분리기는 크게 유수입구와 출구, 회수유 출구, 1차 와류실과 분리판실,

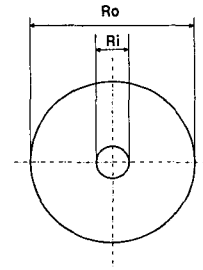


Fig. 3 Dimension of Separating Plate

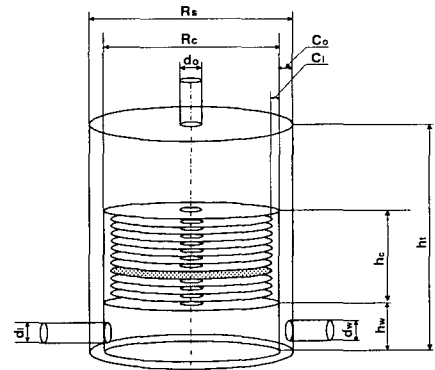


Fig. 4 Schematic Diagram of Oily Water Separator

Table 2 Dimension of Oily Water Separator

unit : mm

Symbol	Description	Dimension
R _o	outer diameter of plate	270
R _i	inner diameter of plate	40
R _s	diameter of separator	310
R _c	diameter of plate chamber	290
d _o	diameter of oil outlet pipe	40
d _i	diameter of inlet pipe	40
d _w	diameter of water outlet pipe	40
C _o	distance between the plate chamber and outer barrel	10
C _i	distance between plate and inner barrel	5
h _w	height of 1st chamber	100
h _c	height of plate chamber	175
h _t	height of separator	475

집유실 등으로 구성되어 있고 재질은 투명 아크릴로 되어있다. 또한 분리판의 배열간격을 조절하여 장착할 수 있도록 제작하였고 분리판의 간격은 두께 5mm의 Spacer를 이용하여 각각 5, 10, 15mm로 조정하였으며 분리판실로 유입된 유수혼합물이 중앙유로를 통하여 곧바로 상부로 유출되는 것을 방지하고자 1차 와류실에서 높이 45mm되는 지점에 중앙유로가 없는 격판을 분리판 사이에 설치하였다. Table 2는 각 부분의 규격을 상세하게 보여주고 있다. 유수분리 효율 분석을 위한 시료는 처리수 배출 밸브 다음에 있는 샘플코크에서 200ml를 채취하였다. 유분농도는 적외선 흡수원리를 이용한 미분산형 적외선 분석기(HORIBA, Ltd [1995])의 일종인 HORIBA OCMA-350 Oil Content Meter를 사용하여 분석하였으며, 분석기의 측정범위는 0~200ppm(mg/ℓ)이다. 측정 범위 한계를 벗어나는 고농도의 유분 측정은 시료를 용매로 희석시켜서 유분농도를 측정한 후 희석배율을 곱하여 정산하는 방법을 이용하였다.

끝으로, 유수분리기의 성능시험에서는 목포해양대학교 실습선 “새유달호”의 기관실 선저(Bilge Well)에서 채취한 빌지를 시료로 사용하였다. 일반적으로 유수분리기의 성능 시험 및 효율 검증은 단위시간당 처리할 수 있는 유수혼합물의 양과 처리수층에서 측정된 유분농도를 이용하여 평가한다.(해운항만청[1994]) 채취한 빌지의 양은 총 150ℓ이고 각 실험의 경우마다 50ℓ씩 나누어 사용하였다. 채취한 빌지 150ℓ에 대한 평균 유분농도는 약 58,000ppm이었다.

성능 시험에 사용된 유수분리기의 분리판 간격은 10mm이고 분리판의 수는 14개로 하여 제조 유수혼합물에서 고찰한 결과 가장 좋은 분리효율을 나타낸 경우를 기준으로 삼았고, 유입유량 0.2, 0.5, 1.0m³/hour에 대해 유수분리 효율을 알아보았다.

4. 결과 및 고찰

Table 3은 유수분리 실험의 결과 처리수층의 유분농도를 각각의 경우에 따라서 분석해 놓은 것을 나타내고 있다. 분리판의 배열 간격 및 장착 개수에 따른 유수 분리효율은 분리판의 간격이 10mm인 경우가 가장 좋았다. 앞서 밝힌 식(9)에 의하면 분리할 수 있는 유적의 최소직경 즉, 분

리효율은 분리판의 수 “n”이 클수록 좋다고 되어 있다. 하지만 실험에 의하면 분리판 장착 개수가 가장 많은 26개이고 배열간격이 5mm일 때 처리수층의 유분농도가 최저 78.2ppm에서 최고 144ppm을 보이고 있고, 분리판 배열 간격이 10mm이고 장착 개수가 14개인 경우 처리수층의 유분농도는 최저 29.3ppm부터 최고 88.1ppm까지의 분포를 보이고 있어 분리판의 개수가 더 적은 경우에서 더 좋은 분리효율이 나타났다. 그 원인은 유수혼합물이 분리판 사이로 유입할 때 원활한 유로가 확보되지 못할 정도로 분리판의 간격이 작으면 분리 효율이 낮아지기 때문이라고 판단되었다.

Table 3 Analysis Data for Separator Performance - Light Fuel Oil

V/V ₀ (%)	Inlet Oil Concentration (ppm)	Q (m ³ /h)	Outlet Oil Concentration (ppm)		
			H=5 (n=26)	H=10 (n=14)	H=15 (n=10)
5	42,190	0.5	78.2	29.3	47.0
		1.0	90.0	48.5	68.6
15	126,570	0.5	101	46.0	62.5
		1.0	134	64.8	91.2
25	210,950	0.5	109	63.5	89.1
		1.0	144	88.1	106

유수분리 실험장치에서 분리판과 내통사이의 간격은 5mm로 고정되었는데 분리판과 분리판 사이의 간격이 5mm보다 작거나 같을 경우 유입된 유수혼합물은 분리판 사이로 유입하지 못하고 분리판 양쪽의 측면유로를 통해 상부로 부상하여 배출되어 버리기 때문에 분리판 효과가 감소하는 결과를 보였다. 분리판의 배열 간격이 15mm이고 장착수가 10개일 경우 처리수층의 유분농도는 47ppm~106ppm로 나타나 분리판의 개수가 26개일 경우보다는 분리효율이 좋으나 14개일 경우보다는 좋지 않은 결과를 보였다. 이 경우를 고찰한 결과 분리판 사이의 유로가 적정 수준이 될 만큼 확보되었다면 분리판의 개수가 많을수록 분리 효과가 커짐을 알 수 있었다. 결과적으로 분

리판의 배열 간격과 분리판과 내통사이의 간격과의 비율(H/C)이 2일 때 유수분리 효율이 가장 좋았으며, 그 비율은 분리 효율에 큰 영향을 미치고 있었다. 분리판의 배열과 유입 유량이 변화할 경우에 분리판실 내부 및 분리판 사이에서 발생하는 유동장의 특징을 고찰하여 분리효율을 높이기 위해서는 실험결과를 전산유체역학 또는 입자영상유속계(Particle Image Velocimetry : PIV)의 분야와 연계하여 체계적으로 검토해야 한다고 사료된다. 한등[1998]은 분리판식 유수분리기의 유동특성을 알아보기 위해 가시화 실험 및 PIV측정을 수행한 결과 전체 공급유량이 일정하다고 하면 분리판과 분리판 사이로 유입하는 유량이 많을수록 분리판 상부로 부상하는 흐름도 증가해 유수분리 효율이 좋아질 수 있으며, 분리판 사이의 간격이 적정치 보다 클 경우 역압력 구배등의 현상이 나타나서 효율저하의 원인이 될 수 있다고 밝힌 바 있다. Fig. 5는 실험결과를 한 그래프에 도시해 총 18가지 경우에 대한 분리효율을 비교해 볼 수 있도록 하였다. 분리판과 분리판 사이의 간격이 10mm일 때가 다른 경우에 비해 가장 낮은 유분농도를 나타내고 있다.

유입 유분 함유량에 따른 유수분리 효율은 물과의 혼합 비율(V/V₀)로 계산 할 때 5, 15, 25%의 세 가지 경우에 대하여 알아보았는데 유입유량이 동일하고 분리판 장착 개수가 같을 경우 유입수의 유분 함유량에 따른 분리효율은 유분함유량이 적을수록 좋았다. 관련연구에 의하면,

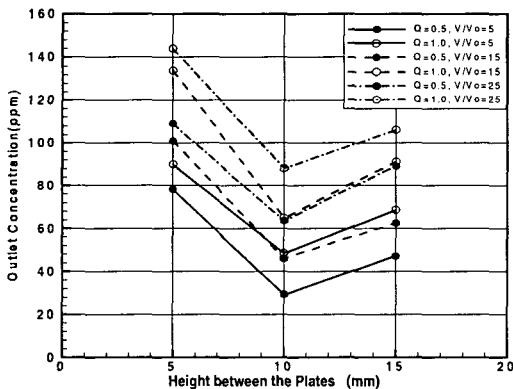


Fig. 5 Variation of Outlet Concentration with Height between the Plates on 5, 15, and 25% Oily Water Mixture

유분농도가 유수분리효율에 미치는 영향은 명확하지 않다고 하였다.(瀬尾[1973], 전[1985]) 유화되는 정도와 유분농도는 비례하지 않고, 또한 유분농도 증가에 따라 유립의 상호 충돌의 기회가 증가되므로 유화된 일부나 상당량이 조립화 될 가능성이 있으며, 그 정도는 유수분리기의 종류와 구조등에 따라 차이가 생기기 때문이다. 이 실험에 사용한 경유의 비중은 0.8438이므로 유입 유분 함량은 5%일 때 42,190ppm, 15%일 때 126,570ppm, 그리고 25%일 때 210,950ppm이 된다. 유입 유분 함유량이 42,190ppm일 때 처리수중의 유분농도는 최저 29.3ppm에서 최고 90.0ppm였고, 유입유분이 126,570ppm의 경우 46.0ppm~134ppm, 유입유분이 210,950ppm일 경우는 63.5ppm~144ppm으로 나타나 유입유분 함유량이 5%일 경우에 처리수중의 유분농도가 가장 낮게 분석되어 유입 유분함유량이 적으면 처리수중의 유분농도도 낮았다.

유입유량에 따른 분리효율은 유량이 작을수록 좋았다. 식(9)에서도 나타났듯이 유량이 유수분리 효율에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있는데 유량이 작으면 유적이 부상할 수 있는 체류시간이 길어지며, 유속도 느려지기 때문으로 판단되었다.

Table 4는 식(9)에 유수분리 실험장치의 규격 및 유입유량을 대입하여 계산된 분리 가능한 최소 유적의 직경을 나타내고 있다. 분리판 장착 갯수가 26개 일 때 분리할 수 있는 최소 유적의

Table 4 Minimum Separable Oil Droplet Size (μm) by Equation(9)

Number of Plate / Flow rate(m ³ /h)	Number of Plate		
	10	14	26
0.5	270	228	167
1.0	381	322	236

직경은 유입유량이 0.5m³/h 일 경우 약 167 μm , 1.0m³/h 일 경우 약 236 μm 로 계산되어 분리판의 개수가 10개 및 14개인 경우에 비해서 분리효율이 좋은 것으로 나타났다. 하지만 실험을 통한 분리효율은 분리판의 개수가 14개이고 유입유량이 0.5m³/h 일 때 처리수중의 유분농도가 29.3ppm으로 나타나 분리효율이 가장 좋았고 이

경우 분리 가능한 최소 유적의 직경은 228 μm 이므로 실제로 분리할 수 있는 유적의 최소 직경은 약 230 μm 이 된다고 할 수 있다. 그 원인은 앞서 설명한 바와 같이 분리판과 분리판 사이의 간격에 따라서 분리판 사이로 유입하는 유수혼합물의 양이 달라지기 때문에 분리판 효과를 극대화하기 위해서는 분리판과 분리판 사이로 좀 더 많은 양의 유수혼합물이 유입되어야 하기 때문으로 사료된다. Fig. 6은 Table 4에서 보여준 계산결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 살펴보면 유량의 변화와 분리판 장착개수에 따른 분리 가능한 최소 유적의 직경 분포가 잘 나타나 있고, 유량 변동에 따른 유적직경의 변화가 0.5 m^3/h 일 경우와 1.0 m^3/h 경우에 대해서 거의 등간격으로 변하는 경향을 보여주고 있다.

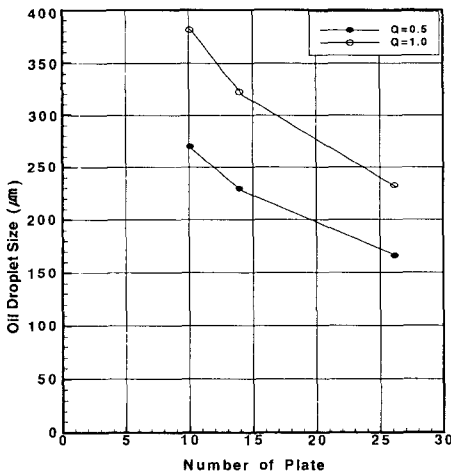


Fig. 6 Variation of Minimum Separable Oil Droplet Size with Number of Plate and Flow Rate by Equation(9)

Table 5는 빌지를 사용하여 유수분리기의 성능을 시험한 결과이다. 유입유량이 1.0 m^3/h 일 경우 처리수중의 유분농도는 48.2ppm였고, 0.5 m^3/h 일 경우에는 29.3ppm였다. 유입유량이 작으면 분리 효율을 더 높일 수 있을 것으로 추정되어 유량을 0.2 m^3/h 로 하여 처리해 보았지만 유분농도는 29.5ppm로 분석되어 0.5 m^3/h 일 경우와 거의 동일한 결과를 얻었다. 즉, 실험에 사용된 유수분리기로서 분리 가능한 유분농도의 한계는 약 30ppm정도이고 이러한 분리효율을 낼수 있는 최

대 유입유량은 시간당 0.5 m^3 (처리시간 6분)였다. Fig. 7은 처리시간에 따른 처리수 중의 유분농도를 그래프로 나타낸 것으로 처리시간이 6분일 경우(유입유량 0.5 m^3/h)와 15분(유입유량 0.2 m^3/h)일 경우에 있어서 유분농도의 변화는 거의 없는 것을 알 수 있다.

Table 5 Analysis Data for Separator Performance - Engine Room Bilge

Flow rate (m^3/h)	Treatment Time (minutic)	Oil Concentration (ppm)	
		Inlet	Outlet
0.2	15	56,400	29.5
0.5	6	59,000	29.3
1.0	3	58,200	48.2

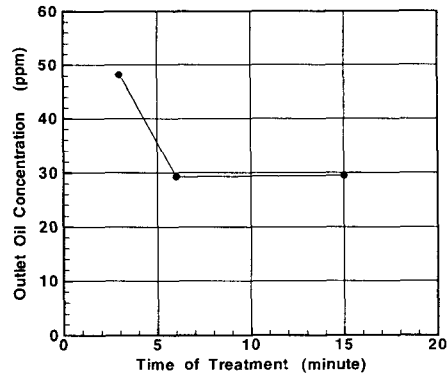


Fig. 7 Variation of Outlet Oil Concentration with Treatment Time for Engine Room Bilge

5. 결론

선박 빌지의 처리에 있어서 15 ppm 미만의 유분농도로 배출하기 위한 Oil Filtering 장치의 전처리방식으로 분리판식 유수분리장치를 제안하고 분리판의 배열 간격에 따르는 유수 분리효율을 고찰하였으며 실제 선박의 선저폐수탈 사용한 성능 시험을 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 이론식에 의하면 분리판의 개수는 많을수록

(분리판의 간격은 좁을수록) 유수분리 효율이 향상된다고 하였으나, 실제 적용에 있어서는 원할한 유로가 확보되지 못할 정도로 분리판의 간격이 좁으면 유수분리 효율이 낮았다.

2. 분리판의 배열 간격과 분리판과 내통사이의 간격과의 비율(H/C_i)이 2일 때 유수분리 효율이 가장 좋았으며, 그 비율은 분리 효율에 큰 영향을 미쳤다.

3. 실험에 사용된 유수분리기로 유분농도 약 58,000ppm를 함유하고 있는 실제 선박 기관실 빌지를 유수분리 해본 결과 이 장치로서 분리할 수 있는 최저 유분농도는 약 30ppm이었고 이 때 유입유량은 0.5m³/h였다. 또 분리할 수 있는 최소 유적의 직경은 약 230 μ m로 추정되었다.

참고문헌

- [1] 김인수, 1994, "불용성전극에 의한 선박오폐수 전해처리", 동아대학교 대학원 환경공학과 공학박사학위논문
- [2] 김환기, 배주성, 1981, "부상법에 의한 수중 유분의 제거에 관한 연구", 대한환경공학회지 제 3권 1호
- [3] 마이클 비이 슈미로, 1996, "기름-물 분리기", 대한민국특허청 특허 공보 제4363호
- [4] IMO, 1996, "1973/78년 해양오염 방지협약-1994통합본", 해인출판사, 141-203
- [5] 이진열, 한원희, 2000, "선박 유수분리기 전처리 장치 성능에 미치는 적층판의 영향", Journal of the KSTLE Vol.16, No.6
- [6] 전대회, 1985, "연료와 연소의 관리", 일중사, 266-305
- [7] (주)한진해운 자체 보고서, 1997, "前처리장치 설치 효과"
- [8] 한국해기연수원, 1989, "해양오염방지", 한국해기연수원 편찬, 151-194
- [9] 한원희, 김광수, 최민선, 조대환, 1998, "격판을 갖는 분리판식 유수분리기의 PIV계측", 한국해양환경공학회 1998년 춘계학술대회 논문집
- [10] 해양경찰대, 1987, "해양오염방지", 해양경찰대편찬, 13-77
- [11] 해운항만청, 1994, "海洋汚染防止機資材 등의 型式承認을 위한 性能試驗基準 및 檢定基準", 해운항만청고시 제 1994-14호
- [12] Cormack, D. 1983, "Response to Oil and Chemical Marine Pollution", Applied Science Publishers London and New York, 4-5, 379-405
- [13] Eckenfelder, W.W., 1980, "Principles of Water Quality Management," CBI Pub., 165-178, 461-473
- [14] IMO 1988, "Manual on oil pollution" Section IV "Combating Oil Spills", London, 1-2
- [15] John-Nan Chieu and Robert Schechter, 1975 "Coalescence of emulsified oily waste water by fibrous beds" The proceeding of Industrial Waste Conference, purdue University.
- [16] HORIBA, Ltd., 1995, Instruction Manual for OCMA-350 Oil Content Meter
- [17] M&C ENGINEERING CO., LTD. Instruction Manual for OWPS-5 Oily Water Pre-Separator
- [18] SASAKURA ENGINEERING CO., LTD. Instruction Manual for TFU-1 Oily Water Separator
- [19] W. Wesley Eckenfelder, Jr., 1989, "Industrial Water Pollution Control" Second Edition, McGraw-Hill, Inc., 70-79
- [20] 小川 勝, 1975, "海洋の汚染" 海文堂, 9-22
- [21] 瀬尾 正雄, 1973, "海洋油濁處理" 産報, 34-72