

경사각을 갖는 적층판식 유수분리기의 유수분리 효율에 관한 연구

한원희* · 김준효** · 최민선**

A Study on the Oil/Water Separation Efficiency of Laminated Plate Type Oily Water Separator with Inclined Angle

W-H Han* · J-H Kim** · M-S Choi**

Key words : Separation Efficiency(분리 효율), Oily Water Separator(유수분리기), Laminated Plate(적층판), Space of the Plates(분리판 간격), Inclined Angle(경사각), Particle Image Velocimetry(PIV:입자영상유속계), Flow Visualization(유동가시화)

Abstract

It's a tendency to strengthen related international laws as the importance on marine oil pollution recently becomes the issue. According to the regulation of IMO, oil discharge from ships is allowed under 15PPM only and oil filtering equipment is essential.

Oily water separator of laminated plate type which is one of gravity type separator can be use as assistant equipment for the oil filtering system to meet the present IMO standard, because it fits well to process large amount of rich oil with high specific gravity.

The purpose of this paper is to investigate an efficiency of oil/water separation with the characteristics of laminated plate arrangement. The analyse of oil contents for oil-water mixture were carried out in order to find an efficiency of oil/water separation and an experimental study was simultaneously carried out to investigate internal flow characteristics of separator by visualization method and PIV(Particle Image Velocimetry) measurement at three spaces of plates for 5, 10, and 15mm with variation of inlet flow rates of 0.25m³/h and 0.5m³/h.

The experimental results showed that the space of the plates acts a significant role in the separating process.

* 정회원, 한국해양대학교 대학원(원고접수일 : 2000년 12월)

** 정회원, 목포해양대학교 기관공학부

기호설명

- H : space of the plate(mm)
- L : length of the plate(mm)
- l : distance between particles
- n : number of the plates
- ppm : parts per million(mg/liter)
- pps : number of pictures per second
- Q : inlet flow rate(m³/hour)
- Re : modified Reynolds number, $v \cdot D/\nu$
- U : unit velocity (m/sec)
- u : x-axis direction velocity
- v : y-axis direction velocity
- V/V₀ : inlet oil volume per water(%)
- W : width of the plate(mm)
- (x, y) : pixel coordinate of image
- Δt : time interval between image frame
- λ : wave length of laser
- θ : angle of inclination
- μ : absolute viscosity of water
- ρ : density
- ρ_o : density of oil
- ρ_w : density of water
- v : flow velocity
- \bar{v} : mean flow velocity

1. 서 론

최근 해양환경 보존에 대한 관심이 높아지면서 해양으로 유입되는 각종 유류에 대한 규제가 강화되고 있다. 국제해사기구(IMO)는 국제해양오염방지협약(MARPOL 73/78)¹⁾을 통하여 선박 기관실로부터의 유류배출 제한치를 15ppm으로 규정하고 있으며 여기에 적합한 유수분리장치(Oil Filtering Equipment)의 설치를 의무화하고 있다. 또한 국내에서도 해양오염방지법²⁾을 통하여 유류의 해양 배출을 규제하고 있으며 특히 1998년 7월부터 총톤수 400톤 이상의 선박은 건조 시기와 관계없이 제1종 유수분리장치(유분농도 15ppm 미만 배출 장치)를 설치해야하고 총톤수 400톤 미만의 선박도 선저폐수저장장치 또는 유수분리장치를

를 설치해야 한다고 규정하고 있다.

유성혼합물을 물과 기름으로 분리하여 처리하는 방식은 여러 가지^{3)~6)}가 있으나 선박의 유수분리장치로 주로 사용되고 있는 방식은 중력분리방식과 필터(Filter)여과방식이다.^{6)~7)} 중력분리방식은 유분배출의 규제치가 100ppm을 만족할 수 있는 제2종 유수분리기로 사용되고 있으며 현재 단독으로는 거의 사용되지 않는다. 필터여과방식은 필터의 재질에 따라서 차이는 있으나 보통은 처리수중의 유분농도를 15ppm정도까지 분리할 수 있기 때문에 현재 대부분의 선박에서 채택하고 있는 방법이다. 그러나 현재 운용되고 있는 필터여과방식 유수분리장치는 연속 사용할 경우 필터의 세공이 기름 및 기타 협잡물로 막혀 자주 교체 또는 소제해 주어야 하고, 필터 수명도 그리 길지 못하여 비용이 많이 드는 등의 단점이 지적되고 있다.^{8)~10)} 따라서 법적 규제치인 유분농도 15ppm 미만 유류배출의 실제 적용을 위하여 필터여과방식 유수분리장치에 연계되어 처리할 수 있는 적절한 보완장치가 요구되고 있다. 기존의 필터여과식 장치의 문제점을 보완할 수 있는 여러 가지 방법 중 적층판식 유수분리장치는 구조가 비교적 간단하면서도 유지·보수가 용이할 뿐만 아니라, 비중이 높은 기름이 다량 함유된 유성혼합물의 처리 및 분리에 적합한 장점이 있어서 前처리장치(Pre-separator)로 많이 채택되고 있다.^{11)~12)}

이 연구에서는 선박에서 사용되는 적층판식 유수분리 전처리 장치를 대상으로 설계데이터를 얻는 것을 일차적인 목표로 하였다. 적층판식 유수분리장치는 여러 가지 형식의 제품^{12)~13)}이 시판되고 있지만 적층판실 내부에 장착되어 있는 분리판의 설계 및 배열에 있어서 기술적인 검증 및 성능 평가가 부족하고 주로 경험에 의한 설계에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 이 연구에서는 경사각을 갖는 분리판의 내부유동특성을 정량적으로 검토하고, 분리판 배열에 따른 유수분리 효율을 실험적으로 고찰하여 적층판식 유수분리기의 핵심장치인 분리판 배열 및 내부유로의 설계에 응용하고자 하였다. 분리판 사이에서의 내부유동특성을 알아보기 위한 방법으로 가시화 실험을 수행하였고, 가시화 실험으로 얻어진 결과는 동시다점계측의 장점을

Table 1 Experimental Condition

	Item	Specification
Visualization equipment	Image board	DT3155 (640 x 480 Pixel, B/W)
	Light source	5W Argon - Ion Laser, $\lambda = 514\mu\text{m}$
	Sheet light	Cylindrical Lens & Fiber Line, about 2mm
	Model dimension	Actual size, B x L x H : 300 x 300 x 400mm
Measuring condition	Flow meter	Water, Digital, Maker : ISOIL Co., Model : MC108 - G7
	Particle	Tiny vegetable powder(10 ~ 30 μm)
	Time resolution	$\Delta t = 1/120$ sec
	Calculation time	30 second/Frame(200MHz, Pentium II)
Image processing	Image record	Hi - 8mm, Sony, Model : Pro5000
	Data for time-mean	100 ~ 300 Frame(Random Acquire)
	Identification	CACTUS' 2000(grey-level cross correlation algorithm)
	Error vector(%)	Under 0.5 %/Frame, Average : about 0.15%

을 갖고 있는 PIV(Particle Image Velocimetry) 기법^{[14]~[16]}에 의해 속도성분을 구하였다. 또한 실험모델을 대상으로 경유를 사용한 유성혼합물의 유수분리 실험을 수행하여 분리판 배열에 따른 유수분리 효율을 고찰하였다.

2. 실험

2.1 가시화실험 및 PIV계측

이 연구에서는 적층판 및 분리판 사이에서의 내부유동특성을 알아보기 위한 방법으로 가시화 실험을 수행하였다. 가시화 실험은 유체기계나 기기의 설계 또는 성능향상을 위해서 가장 기본적인 고찰이 되는 유동장의 거동을 파악하기 위한 목적으로 실행하는 것이며, 많은 연구에서 이러한 기법을 채택하고 있다. 이 기법은 대상유동장에 추적입자를 넣고 적절한 조명을 가하여 얻어진 영상을 이용하여 순시 또는 시간평균의 유동장에 대해 유체역학적인 특성을 고찰하는 실험방법이다. 그림 1은 실험에 사용된 장치의 전체구성을 보여주고 있다. 실험장치인 대상유동장은 경사진 분리판을 갖는 적층판식 유수분리장치를 실험모델로 제작하였고, 가시화 실험의 투명성을 확보하기 위해 투명 아크릴 재질로 되어있다. 그림 2는 유수분리 실험모델의 규격 및 계측영역을 보여주고 있다. 실험은 수조를 이용하여 작동유체를 펌프로 순환시켜 행

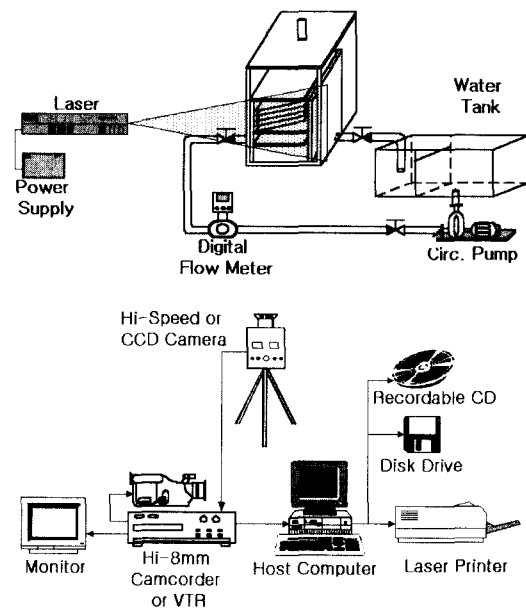


Fig. 1 Experimental Setup for PIV

하였다. 수조의 물은 원심펌프에 의해 순환하며 유수분리기에 유입되는 유량은 디지털유량계(ISOIL사, Model : MC108)에서 연속적으로 계측된다. 디지털유량계의 공칭내경은 32mm이며 설치위치는 펌프의 출구밸브와 유동장의 사이이다. 즉, 작동유체는 수조의 바닥에 있는 파이프를 통하여 순환수 펌프로 유입된다. 그리고 유량조절밸브 및 디지털유량계를 거쳐 유동장으로 유입되며 적

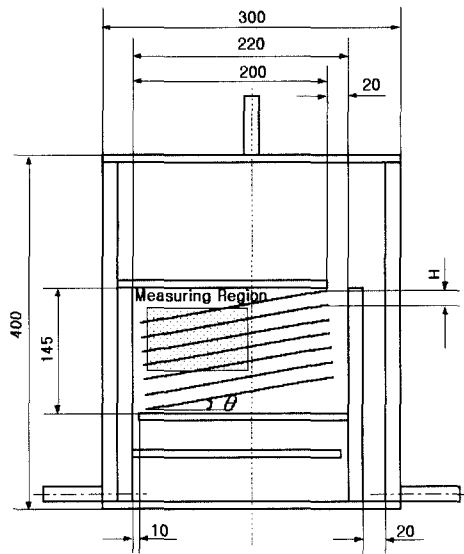


Fig. 2 Dimension and Measuring Region

층판실을 통과한 유체는 내부에 설치된 중간 격벽의 상부로 넘쳐흘러 수조로 재순환 되게 된다. 유량은 출구밸브의 개도를 20%~40% 전후로 조정하여 조절하였다. 5mm, 10mm, 15mm인 세 가지 분리판 간격은 유동장의 내부에 설치되는 분리판의 매수를 달리하여 조정하였고, 유입 유량은 0.25m³/hour, 0.5m³/hour 두 가지로 하였다. 자세한 실험조건은 표 1에 나타내었다.

가시화 실험을 위한 광원으로는 기체레이저의 일종인 알곤이온 레이저[INNOVA 90-5, 0.4579μm(Blue) & 0.514μm(Green), PLASMA TUBE Type]를 사용하였다.

레이저광은 원형의 직진광이므로 Fiber optic cable 및 원통형 렌즈(Cylindrical lens)를 통과시켜 퍼짐각 45도, 두께 1.5mm전후의 시이트라이트를 계측단면에 직접 조사하였다.

유동장내에서 유체입자의 거동을 가시화하기 위하여는 추종성이 우수한 구형입자를 선택하여야 하는데, 실험에서는 추적입자로 비중이 1.02전후이고 직경이 10~30μm인 식물성 파우더를 사용하였다. 또한 카메라 촬영 방향 및 레이저광선이 통과하는 부분을 제외한 모든 수조 벽면은 검은색으로 코팅 처리를 행하여 입자의 계조치의 구분을 용이하게 하였다.

유동장의 촬영은 고속도카메라(Photron사, 640×240픽셀, 흑백, 240pps) 및 고화질 비디오 카메라를 이용하였다. 고속도 카메라의 프레임 속도는 120pps으로 선정하였다. 고속도카메라의 자체 메모리(160MB)에 임시 저장되어 있는 유동장의 연속영상은 매초 30장의 비율로 다시 재생하여 NTSC방식의 Hi-8mm 카메라에 기록하였다. 이 영상은 다시 이미지보드(DT3155, Data Translation사, 640×480 Pixel, B&W)에서 이진 원시화일로 변환되어 주처리 컴퓨터에 저장되어 속도벡터 추출에 사용되게 된다.

PIV계측에 적용된 가시화 영상에서 유동장의 영역은 각 단면에 따라 다소 다르나 약 580픽셀 460픽셀이며 입자의 최대 이동거리와 계조치상호 상관법을 적용하기 위한 격자 수는 각각 l=4~8 픽셀 및 50×40이다. 실험영상에 대하여 카메라의 수평도는 θ=-10.5이며, 전처리과정에서 보정하였다. 탐색영역의 반경과 상관영역은 7~9픽셀과 40~55픽셀이며, 계측영역의 순간속도분포를 얻는데 필요한 처리시간은 펜티엄 II 기종(CPU 200MHz)에서 약 20초 전후였다.

2.1 유수분리 실험

2.2.1 실험에 응용된 이론식

적층판을 이용한 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(Reynoldz number)가 0 에서 2 전후라고 한다면, 그 부상속도는 스토크스(Stokes)법칙의 범위 내에서 다음과 같이 구할 수 있다.^{[3][4]}

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

그림 3(a)는 실험장치에 장착한 분리판의 규격을 보여주고 있고, 그림 3(b)는 경사분리판의 한 단면을 보여주고 있다. 그림에서 분리판의 너비를 W, 길이를 L 이라 하고 분리판사이의 간격(높이)을 H, 분리판의 개수를 n이라고 했을 때, 유수가

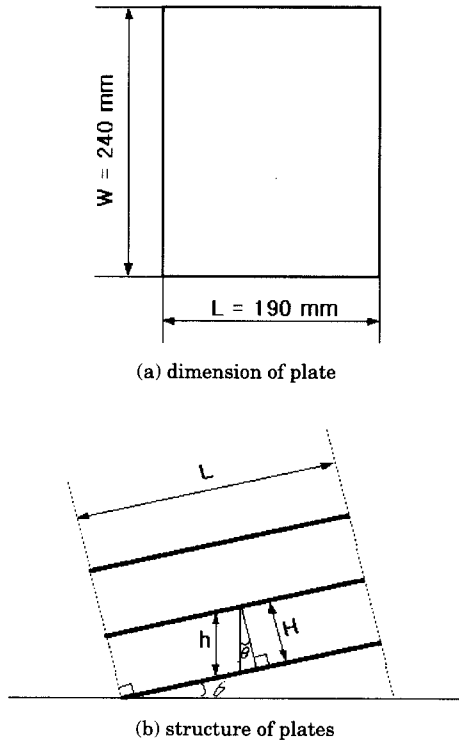


Fig. 3 Principle of separation

유입하는 분리판 사이의 단면 A는

$$A = WH \tag{2}$$

유수혼합물의 전유량을 Q라 했을 때, 각 구획간을 흐르는 유수유량은 Q/n가 되기 때문에, 분리판 내에서 유수의 평균속도 \bar{v} 은

$$\bar{v} = \frac{Q}{nWH} = \frac{Q}{nWH} \tag{3}$$

분리판내에서 유수의 체류시간 t_v 는

$$t_v = \frac{L}{\bar{v}} = \frac{nWHL}{Q} \tag{4}$$

유적의 부상속도가 u일 때에 h를 부상하는 데 요하는 시간 t_u 는

$$t_u = \frac{H}{u \cos \theta} \tag{5}$$

t_v 시간에 높이 h를 부상하는 유적이 전부 분리된다고 가정하면 완전분리 조건은

$$t_v \geq t_u \tag{6}$$

$$\text{즉, } \frac{nWHL}{Q} \geq \frac{H}{u \cos \theta} \tag{7}$$

$$\text{그러므로, } u \geq \frac{Q}{nWL \cos \theta} \tag{8}$$

유적이 미립이므로 그 부상속도가 스토크스법칙 ($Re=0-2$)에 따르기 때문에 분리 가능한 최소유립의 직경 D_{min} 은 (1)식을 대입함으로써 구할 수 있다.

$$\text{즉, } D_{min} = \sqrt{\frac{18\mu Q}{nWLg(\rho_w - \rho_o) \cos \theta}} \tag{9}$$

위 (9)식을 보면 유적의 분리효과에 H(높이)의 영향은 없으나 일정한 크기의 분리기에서 n(분리판수)가 크면 H가 자연히 감소되므로 간접적 효과가 있음을 알 수 있다. 분리판의 경사각 θ 는 작을수록 분리효율이 좋지만, 분리판 끝에서 유적을 모아서 큰 유적을 만들고, 쉽게 유적이 부상하려면 적당한 θ 가 필요하다. 또한 유수분리기의 전유량이 작을수록, 기름과 물의 밀도차가 클수록, 분리판의 면적이 넓을수록 분리할 수 있는 유적의 직경은 작아져서 유수분리 효율이 좋음을 알 수 있다.

2.2.2 실험장치 및 방법

그림 4는 유수분리실험 장치의 구성 및 배치도이다. 실험에 사용된 적층판식 유수분리장치는 앞서 가시화 실험에 사용된 실험모델을 동일하게 사용하였고, 개략도와 규격은 그림 2에 밝힌바와 같다. 시료인 유수혼합물은 혼합탱크(Oily Water Mixing Tank) 내에서 제조되어 공급되는데 탱크 내에 교반기(LIGHTNIN LabMaster SI Mixer)를 삽입·설치하여 지속적으로 물과 기름이 혼합될 수 있도록 하였다.

시료의 공급은 높이 1m에서 중력으로 하였고 공급유량의 조절은 유수분리기의 처리수측에 있는 출구밸브의 개도로 조정하였다. 시료채취를 위한 샘플코크는 유수분리기의 입구밸브 앞 및 처리

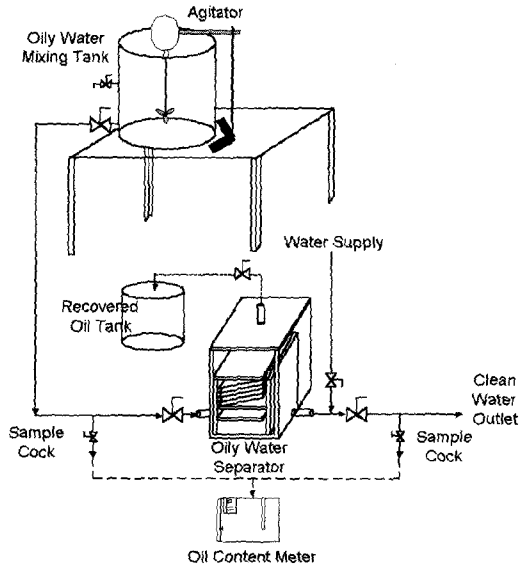


Fig. 4 Experimental apparatus

수 출구밸브 다음에 설치하여 유입구 및 출구측의 유분농도를 모두 측정할 수 있게 하였고 샘플 채취량은 각 경우마다 200ml로 하였다. 유수분리기의 집유실에 모아진 기름은 압력을 가진 수도수를 치환수로써 유수분리기 내로 유입시켜 수압을 이용하여 회수유탱크로 배출된다.

표 2는 유수분리 실험에 사용된 시료 및 실험조건을 나타낸 것이다. 시료는 선박의 연료유로 사용 중인 비중 0.8438의 경유를 사용하여 만들었다. 시료의 양은 각 실험마다 50l로 하였고, 온도는 21°C였다. 유입수의 유분 함유량은 물에 대한 비율(V/V₀)을 25%로 하였고, 시료의 총량이 50l이므로 기름의 양은 12.5l로 하였다. 실험의 변수인 분리판의 간격은 5, 10, 15mm로 3가지 경우이며 일정 용적 내에서 간격을 변화시킨다는 것은 분리판의 수를 조절한다는 것과 같으므로 분리판의 수는 간격이 5mm 일 때 18개, 10mm 일 때 10개, 15mm 일 때 7개를 장착하였다. 유입유량(Q)은 시간당 0.25m³로 하여 유수분리기에 공급하였다.

유수분리기에 장착된 분리판은 그림 3에 나타낸 바와 같이 너비가 240mm, 길이는 190mm, 두께는 1.5mm이고, 재질은 투명 아크릴로 되어있다. 실험에 사용된 유수분리기는 크게 유수입구와 출구, 회수유 출구, 1차 와류실과 적층판실, 집유실

Table 2 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	21° C
	Pressure in separator	0.13~0.08 kg/cm ²
	V/V ₀	25 %
	Q	0.25 m ³ /hour
	Space of the plates	H (3 cases)
	n	18, 10, 7

등으로 구성되어 있다. 또한 분리판의 배열간격을 조절하여 장착할 수 있도록 제작하였고 분리판의 간격은 두께 5mm의 Spacer를 이용하여 각각 5, 10, 15mm로 조정하였다. 경사각은 어느 경우에서나 약 10.5도로 고정시켰다.

일반적으로 유수분리기의 성능 시험 및 효율 검증은 단위시간당 처리할 수 있는 유수혼합물의 양과 처리수측에서 측정된 유분농도를 이용하여 평가한다.¹¹⁾ 실험장치의 유수분리 효율 분석을 위한 시료는 처리수 배출밸브 다음에 있는 샘플코크에서 채취하였으며 채취량은 200ml로 하였다. 유분농도의 분석은 비분산형 적외선 분석계(Model: HORIBA OCMA-350 Oil Content Meter)를 사용하였고 분석기의 측정범위는 정상적인 경우에 0~200ppm이다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 가시화실험 결과에 따른 유동특성

사진 1은 가시화 실험에서 촬영된 영상을 100회 중첩한 영상이다. 사진 2는 PIV 계측에 있어서 장애물의 처리를 원활하게 하고 계산의 편의를 위해서 기록한 영상을 분리판의 기울어진 경사각만큼 반대로 회전하여 나타낸 영상을 보여주고 있다. PIV계측의 결과는 회전된 영상을 처리하였으므로

수평으로 나타나게 된다.

그림 5는 유입유량이 $0.5\text{m}^3/\text{hour}$ 이고, 채널 간격이 $H=10\text{mm}$ 의 경우에 전유동장의 순간속도분포를 회전하지 상태로 처리 한 결과이다. 위로부터 다섯 번째까지의 분리판 내부유동은 좌측 하부로부터 상부로 흐르고 있으며 속도도 점차 낮게 유지되고 있음을 알 수 있다. 그러나 일곱 번째 분리판 사이에서의 내부유동을 살펴보면 상류로부터 역류하여 내려오는 흐름이 관찰되고 있다. 이러한 현

상은 적층판실을 통과하는 내부 유동의 속도가 일정하지 못하고, 상부 분리판 측으로 흐르는 빠른 유속의 흐름이 미치 유로를 통하여 빠져나가지 못하고 하부 분리판 측으로 재순환 하기 때문인 것으로 판단된다.

그림 6은 유입유량이 $0.5\text{m}^3/\text{hour}$ 의 경우에 각각

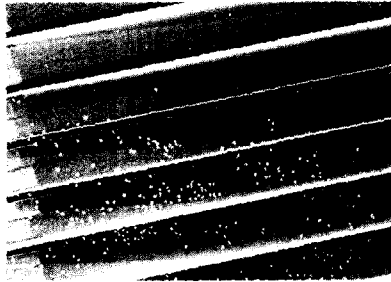


Photo. 1 Original Image



Photo. 2 Rotating Image

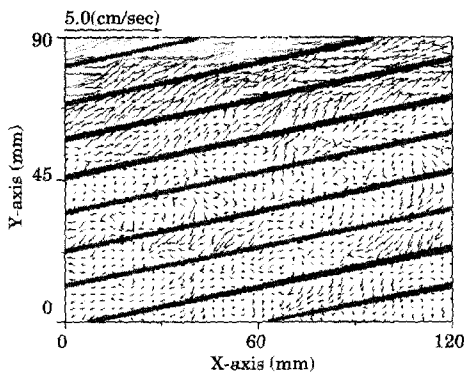
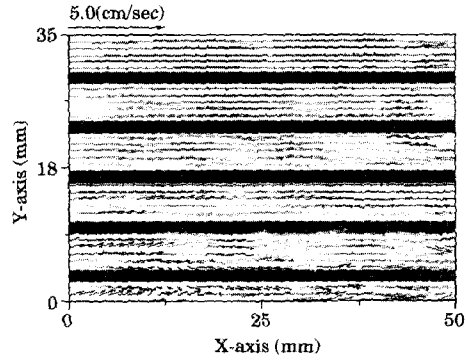
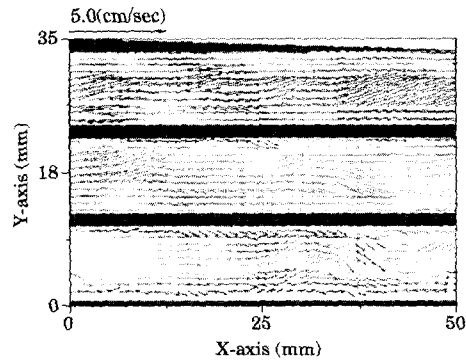


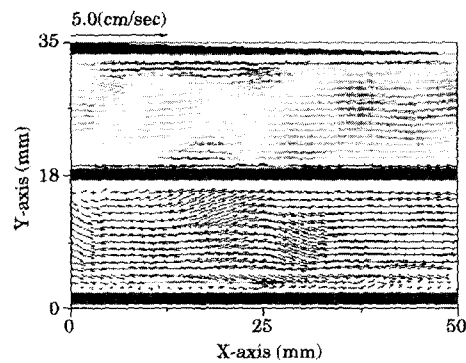
Fig. 5 Instantaneous Velocity Distribution (Flow rate = $0.5\text{m}^3/\text{hour}$, $H=10\text{mm}$)



(a) $H=5\text{mm}$



(b) $H=10\text{mm}$



(c) $H=15\text{mm}$

Fig. 6 Instantaneous Velocity Distribution (Flow rate = $0.5\text{m}^3/\text{hour}$)

의 분리판 간격에 따른 순간 속도 벡터의 분포를 보여주고 있다. 계측영역이 비교적 적층판실의 상부 쪽에 치우쳐져 있기 때문에 전체적으로 빠른 흐름이 고르게 형성되고 있다. 이러한 빠른 유속의 영향이 그림 5에 나타난 바와 같이 하부 분리판 측에서의 역류흐름의 형성을 촉진하는 것으로 판단

된다. 따라서 식(9)에서 살펴본 바와 같이 유입유량을 가능한 한 작게 하여 이와같은 재순환에 의한 역와류 현상등을 감소시켜야 할 것으로 판단된다.

그림 7은 유입유량을 $0.25\text{m}^3/\text{hour}$ 로 설정했을 때 순간 속도 벡터의 분포를 나타낸 것이다. 분리판의 간격이 5mm 의 경우에 전체적으로 각 분리판 사이에 유입하는 흐름이 균일하지만, 각각의 분리판 내부의 유동은 속도벡터의 크기가 고르지 못한 유동분포를 나타내고 있다. 분리판 간격이 10mm 인 경우에 전체적인 흐름은 상부 분리판 측에 좀더 많은 유동을 보이고 있으나, 5mm 인 경우보다 분리판 내부의 흐름은 균일한 양상을 보이고 있다. 분리판 간격이 15mm 인 경우 상부 측으로 통과 유량이 편중되는 현상이 더욱 두드러지게 나타났다. PIV 실험의 경우 계측 특성상 작동유체를 유성혼합물이 아닌 수도수를 대상으로 한 것이기 때문에, 이와 같은 유동특성을 고려하여 실제 유수분리의 분리판 배열을 설계 할 경우에는 분리판 사이의 간격이 기름입자의 응집으로 좁아질 것을 감안하여 전체적인 유입흐름을 고르게 하고, 분리판 내부에서의 유동분포를 균일하게 하여 와류 등에 의해 유성혼합물이 유화되는 것을 방지해야 할 것이다.

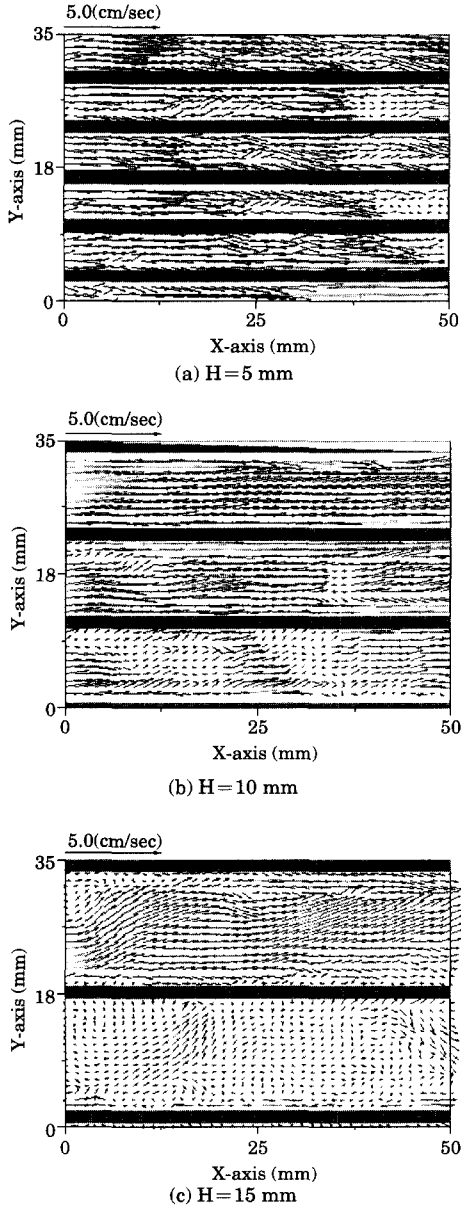


Fig. 7 Instantaneous Velocity Distribution (Flow rate = $0.25\text{m}^3/\text{hour}$)

3.2 분리판 간격 변화에 따른 유수분리 효율

표 3은 식(9)에 유수분리 실험장치의 규격 및 유입유량을 대입하여 계산된 분리 가능한 최소 유적의 직경을 나타내고 있다. 분리할 수 있는 최소 유적의 직경은 분리판의 수가 18개 일 때(분리판 간격 5mm) 약 $320\mu\text{m}$, 10개 일 때(분리판 간격 10mm) 약 $420\mu\text{m}$, 7개 일 경우(분리판 간격 15mm) 약 $510\mu\text{m}$ 가 되어 분리판의 개수가 많을수록(분리판의 간격이 좁을수록) 더 작은 유적을 분리할 수 있는 것으로 나타나 유수분리의 효율이 증가하는 것으로 계산된다.

표 4는 유수분리 실험의 결과 처리수중의 유분

Table 3 Minimum separable oil droplet size(μm) by equation

Number of plate(n)	18	10	7
Droplet size(μm)	320	420	510

Table 4 Analysis Data for Separator Performance

H(mm)	5 (n=18)	10(n=10)	15(n=7)
Outlet Oil Concentration (ppm)	41.5	31.3	47.6

농도를 각각의 경우에 따라서 분석해 놓은 것을 나타내고 있다. 분리판의 배열 간격 및 장착 개수에 따른 유수 분리효율은 분리판의 간격이 10mm인 경우가 가장 좋았다.

앞서 살펴본 (9)식 및 표 3에 의하면 분리할 수 있는 유적의 최소직경 즉, 분리효율은 분리판의 수 "n"이 클수록 좋다고 되어 있다. 하지만 실험에 의하면 분리판 장착 개수가 가장 많은 18개이고 배열 간격이 5mm일 때 처리수중의 유분농도가 41.5ppm이고, 분리판 배열 간격이 10mm이고 장착 개수가 10개인 경우 처리수중의 유분농도는 31.3ppm을 보이고 있어서 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. 유수분리 실험장치에서 분리판과 좌측 내벽 사이의 간격은 10mm로 고정되었는데 분리판과 분리판 사이의 간격이 10mm보다 작을 경우 유입된 유수혼합물은 적층판실의 분리판 사이로 유입하지 못하고 분리판 좌측의 측면유로를 통해 상부로 곧바로 흐르기 때문에 분리판 효과가 감소하는 결과를 보였다. 분리판의 배열 간격이 15mm이고 장착수가 7개일 경우 처리수중의 유분농도는 47.6ppm으로 나타나 분리판의 개수가 18개일 경우보다는 분리효율이 좋으나 10개일 경우보다는 좋지 않은 결과를 보였다.

3.3 결과 비교 고찰

그림 8에서는 이와 같은 결과를 보여주고 있다. 우측의 Y축은 유수분리 결과의 유분농도이고 좌측의 Y축은 PIV계측영역의 평균속도에 대한 최대속도의 비를 나타내고 있다. 분리판 간격이 10mm의 경우 5mm 및 15mm에 비해 두 가지 결과에서 모두 작은 값을 보이고 있다. 분리판 사이에서 평균속도에 대한 최대속도의 비가 작다는 것은 비교

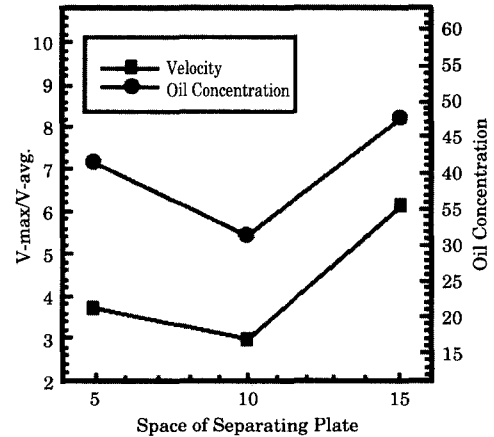


Fig. 8 Effect of Channel space (Flow rate=0.25m³/hour)

적 고른 흐름을 유지하고 있으며, 상호간섭 등에 의한 와류 분포가 작기 때문으로 추정된다.

분리판의 간격이 5mm인 경우에 효율저하의 결과는 벽면효과 및 유입되는 흐름의 상호간섭에 의한 것으로 추정된다. 작동유체를 유성혼합물로 할 경우에는 가시화실험에서 채택한 수도수에 의한 경우보다 이러한 현상은 더 큰 차이를 보일 것으로 예상된다. 따라서 실제 유수분리기의 설계시 유성혼합물에 혼합된 유분의 점성을 고려한 분리판의 배열이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

이 연구에서는 전처리방식으로 이용될 수 있는 적층판식 유수분리기의 핵심장치인 경사각을 갖는 평행 평판형 분리판의 배열에 따른 내부유동특성을 가시화실험 및 PIV 계측을 통하여 고찰하였으며, 분리판의 배열 간격에 따른 유수분리 효율을 실험적으로 알아보았다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

적층판실에서 보이는 역와류 현상은 유성혼합물의 유화를 발생하게 하는 요인이 되므로 차후 유수분리기의 설계시 유로의 형상에 대한 면밀한 검토가 필요한 것으로 판단되었다.

분리판의 간격이 너무 좁을 경우에 분리판 사이에서의 유동은 벽면효과 및 상호간섭등의 영향에

의해 분리판 내부에서의 흐름이 고르지 못한 분포를 보이고 있었고, 또한 적층판설로 유입되는 흐름보다 측면 유로를 통해 빠져나가는 흐름이 많기 때문에 분리판 효과가 감소하여 효율 저하의 원인이 되고 있었다.

이론식에 의하면 분리판의 개수는 많을수록(분리판의 간격은 좁을수록) 유수분리 효율이 향상된다고 하였으나, 실제 적용에 있어서는 원활한 유로가 확보되지 못할 정도로 분리판의 간격이 작으면 유수분리효율이 낮았다. 그것은 가시화실험에서 추정된 결과와 더불어 유성혼합물에 함유된 점성의 영향인 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] IMO, "1973/78년 海洋汚染 防止協約-1994統合本", 海印出版社, pp.141~203, 1996
 [2] 박성일, 박중순 "新海事法規", 螢雪出版社, pp. 467~493
 [3] 田大熙, "燃料와 燃燒의 管理", 일중사, pp.304~305, 1985
 [4] 瀨尾 正雄, "海洋油濁處理" 産報, pp.34~72, 1973
 [5] D.CORMACK "Response to Oil and Chemical Marine Pollution", Applied Science Publishers, pp.4~5, 379~405, 1983
 [6] 韓國海技研修院 "海洋汚染防止", 한국해기연수원 편찬, pp.151~194, 1989
 [7] 小川 勝, "海洋의 汚染" 海文堂, pp.9~22, 1975
 [8] 김인수, "不溶性電極에 의한 船舶 廢水 電解處理", 동아대학교 대학원 환경공학과 공학박사학위논문, 1994
 [9] 金煥起, 裴主星, "浮上法에 의한 水中 油分の 除去에 關한 研究", 大韓環境工學會誌 제3권 1호, 1981
 [10] John-Nan Chieu and Robert Schechter "Coalescence of emulsified oily waste water by fibrous beds" The proceeding of Industrial Waste Conference, purdue University., 1975
 [11] (株)韓進海運 自體 報告書, "前處理裝置 設置 效果", 1997

[12] Instruction Manual for OWPS-5 Oily Water Pre-Separator, M&C ENGINEERING CO., LTD.
 [13] Instruction Manual for TFU-1 Oily Water Separator, SASAKURA ENGINEERING CO., LTD.
 [14] R.J.Adrian, "Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics," Annu. Rev. Fluid Mech., Vol.23, pp.261~304, 1991
 [15] P.Buchhave, "Particle Image Velocimetry-Status and Trends," Exp. Ther. and Fluid Sci. Vol. 5, pp.586~604, 1992
 [16] 이영호, "PIV의 원리와 분류", 대한기계학회지, 제36권 제12호, pp.49~56, 1996
 [17] 해운항만청, "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, pp.449~485, 1994,

저 자 소 개



한원희(韓元熙)

1968년 12월생. 1991년 2월 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1991년 3월~1995년 3월 승선근무. 1999년 2월 목포해양대학교 대학원 졸업(석사). 현재 한국해양대학교 대학원 기관공학과 (박사과정) 당학회 정회원.



김준호(金俊孝)

1960년 3월 22일생. 1986년 2월 부경대학교 기관공학과 졸업. 1994년 3월 큐슈대학교 대학원 공학연구과 졸업(박사). 목포해양대학교 기관공학부 조교수, 당학회 종신회원.



최민선(崔民善)

1959년 1월 28일생. 1982년 한국해양대학교 기관학과 졸업. 1990년 한국해양대학교 대학원 기관공학과 졸업(박사). 목포해양대학교 기관공학부 부교수, 당학회 종신회원.