

평행판식 유수분리기에서 분리판실의 유동특성에 관한 연구

A Study on the Flow Characteristics for the Plate Chamber in Type of Oily Parallel Plate Water Separator

김 준 효 · 한 원 희

J. H. Kim and W. H. Han

Key Words : Oily Water Separator(유수분리기), Plate Chamber(분리판실), Separating Plate(분리판), Space of the Plates(분리판 간격), Particle Image Velocimetry(PIV:입자영상유속계), Flow Visualization(유동가시화)

Abstract : According to the regulation of IMO, oil discharge from ships is allowed under 15ppm only and an oil filtering equipment is essential. However, for large ships using heavy fuel oil of over S.G 0.98 and viscosity 380cSt and system oil, it has been in difficulty to process with existing filtering type of oily water separator. A parallel plate type oily water separator which is one of gravity type separators can be used as an assistant equipment for the oil filtering system to meet the present IMO standard of 15 ppm, because it is an efficient method in dealing with a large amount of rich oil with high specific gravity. This work is focused on the fundamental investigation of the performance of the plate type oily water separator by visualization method and PIV(Particle Image Velocimetry) measurement to acquire multi-point velocity data simultaneously. The experimental results showed that the space of the plates acts a significant role in separating process and it was found that an important point to minimize a vortex flow is to flow a large amount of fluid in space of the plates in order to promote the efficiency of separation.

기호설명

- | | |
|--|--|
| D : diameter of droplet(mm) | U : unit velocity(m/s) |
| g : acceleration of gravity(m/s^2) | u : x-axis direction velocity(m/s) |
| H : hight between the plate(mm) | v : y-axis direction velocity(m/s) |
| L : length(mm) | V_z : velocity distribution between parallel plate |
| n : number of the plates | V_{zm} : mean velocity between parallel plate(m/s) |
| ppm : parts per million(mg/ℓ) | x : distance in horizontal direction(m) |
| pps : number of pictures per second | y : distance in vertical direction(m) |
| q : unit flow rate(m^3/h) | Δt : time interval between image frame(sec) |
| Q : inlet flow rate(m^3/h) | μ : absolute viscosity of water |
| Re : modified Reynolds number, $v \cdot D / \nu$ | ρ_o : density of oil |
| Ri : inner diameter of the plate(mm) | ρ_w : density of water |
| R_o : outer diameter of the plate(mm) | v : flow velocity(m/s) |
| R_m : mean diameter of the plate(mm) | \bar{v} : mean flow velocity(m/s) |
| u : terminal velocity(m/s) | |

1. 서론

최근 산업의 고도화와 급속한 경제발전과 함께 환경문제에 대한 의식이 점점 높아지고 있는 추세이며, 특히 해양오염은 여러 가지 피해사례가 직접

접수일 : 2000년 12월 10일
김준효 : 목포해양대학교 기관공학부
한원희 : 한국해양대학교 대학원

적으로 나타나고 있어 심각한 문제로 대두되고 있다. 해양오염의 발생원인 중 유류로 인한 오염은 독성을 포함할 뿐만 아니라 단시간 내에 회복되지 못하므로 해양생물 및 자원에 미치는 영향이 매우 크다^{1,2)}. 해양으로 유입되는 기름의 양을 정확히 조사한다는 것은 그 오염원이 해양에 이르는 경로가 복잡하고 다양하여 곤란하지만, 미 국립과학원(NAS)의 조사발표²⁾에 의하면 해상운송으로 인하여 배출되는 유류의 총량은 연간 약 150만 톤으로 추정되고 있으며, 그 중 선박의 빌지(bilge) 및 연료유로 인한 배출을 30만 톤으로 추정하고 있어서 결코 간과할 수 없는 양이 되고 있다. 小川 勝³⁾은 기관실 빌지는 평균 연간 총톤수의 10%에 해당하는 양이 발생되며, 항해중에는 3~10ton/day, 정박중에는 0.5~3ton/day가 생성된다고 밝힌 바 있다.

국제해사기구(IMO)는 MARPOL73/78 협약을 통하여 선박 기관실로부터의 유류배출 제한치를 15ppm로 규정하고 있으며 여기에 적합한 유수분리장치의 설치를 의무화하고 있다⁴⁾. 그러나 이 협약에서 요구하고 있는 유류배출 제한치에 적합한 기존의 필터여과방식이 거의 대부분의 선박에 설치, 운용되고 있지만 여러 가지 문제점이 노출되고 있다. 선박의 대형엔진에 사용하는 연료유는 주로 상온에서 비중이 0.98 이상이고, 동점도가 380 cSt/50℃ 이상인 고점도로서 왁스(wax) 또는 락커(laquer)가 많이 발생하고 있는 저질중유를 사용하고 있으며, 선박운활유 또한 산화 안정성 및 점도 특성 등의 여러 안정성이 빨리 저하하기 때문에 고형물이 많이 형성되는 경향을 보이고 있다^{5,6)}. 이러한 사용환경의 영향으로 필터여과식장치를 연속 사용할 경우 필터의 세공이 막혀 자주 교체 또는 소제해 주어야 하고, 필터 수명도 그리 길지 못하여 비용 또한 많이 소요된다. 따라서 법적 규제치인 유분농도 15ppm 이하 유류배출의 실제 적용을 위하여 기존 필터여과방식 유수분리장치에 연계되어 처리할 수 있는 적절한 보완장치가 요구되고 있다. 기존의 필터여과식 장치의 문제점을 보완할 수 있는 여러 가지 방법중 평행 분리판식 유수분리장치는 구조가 비교적 간단하면서도 유지·보수가 용이할 뿐만 아니라, 고비중의 유분이 다량 함유된 유성혼합물의 분리에 적합한 장점이 있어서 전처리장치(Pre-separator)로 많이 채택되고 있다. 국내의 일부 선박회사에서는 분리판식 전처리장치를 자사 선박들에 장착하여 운용한 결과, 유수분리효율이 향상되고 비용절감의 효과를 가져오고 있다고 보고된 바 있다⁷⁾. 그러나 현재 시판되고 있는 몇 가지 종류의 분리판식 유수분리장치에 대한

객관적인 성능 평가가 부족한 실정이다. 따라서 이에 관한 정량적인 실험결과와 내부 유동 특성의 규명은 유용한 설계자료로서 이용될 수 있다.

이 연구에서는 분리판식 유수분리장치의 성능개선을 위해 내부에 설치된 분리판 및 분리판 사이에서의 유동특성을 조사하였다. 연구방법으로는 가시화 실험을 통하여 내부 유동 패턴을 알아보고, PIV(Particle Image Velocimetry, 입자영상유속계)계측^{8,10)}을 행하여 계측영역의 전범위에 걸친 속도성분을 동시에 구하였다. 그 결과 분리판 사이로 유입하는 유체의 거동 및 각 유로에서의 유동특성을 고찰할 수 있었으며 유로의 형상 및 분리판 간격은 유수분리효율에 막대한 영향을 미치고 있음을 추정할 수 있었다.

2. 관련 이론 해석

유수혼합물의 분리방법에는 비중차를 이용하여 부상분리를 응용한 방법, 필터 또는 흡착제 등을 이용하여 유분을 걸러내는 방법, 화학적 분리법, 전기적 분리법, 및 생물산화 분리법등이 있으나, 선박에서 발생하는 빌지의 처리는 주로 비중차를 이용한 중력분리 방법과 필터를 이용한 여과법이 사용된다^{11,12)}.

평행 분리판 방식 유수분리기는 중력분리의 원리를 응용한 것으로서 미립유적의 부상속도를 증가시키고 미립유적을 보다 큰 유적으로 합쳐지게 하여 유수분리기의 상단에 쉽게 모이게 함으로서 기름을 제거하는 장치이다. 미세유적에 다소나마 부상속도가 있으면 부상하는 도중에 다른 유적과 합쳐지기도 하고 상단에 도달해서 점차로 큰 유적으로 성장하기도 한다. 이와 같은 작용을 촉진하기 위해서 좁은 간격의 평행판을 많이 중첩해서 유수혼합물의 체류시간이 길어지도록 한다. 유수중의 유적에는 부력이 작용하고 있고, 유수의 유동방향 전환은 기름과 물에 관성차를 형성하므로 비중이 낮은 유적이 분리판사이의 상층에 모이게 된다.

중력 작용에 의해서 분리된 유적은 미립이므로 레이놀드 수(Reynolz number)가 0 에서 2 전후라고 한다면, 그 부상속도는 스토크스(Stokes)법칙의 범위 내에서 다음과 같이 구할 수 있다^{13,14)}.

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

그림 1은 평행판 방식 유수분리기의 한 단면을 보여주고 있다. 그림에서 분리판의 내경을 R_i , 외

경을 R_o , 평균경을 R_m 이라 하고 분리판사이의 간격(높이)을 H , 분리판의 개수를 n 이라고 했을 때,

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

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

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

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 부상하는데 요하는 시간 t_u 는

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

t_v 시간에 높이 H 를 부상하는 유적이 전부 분리된다고 가정하면 완전분리 조건은

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

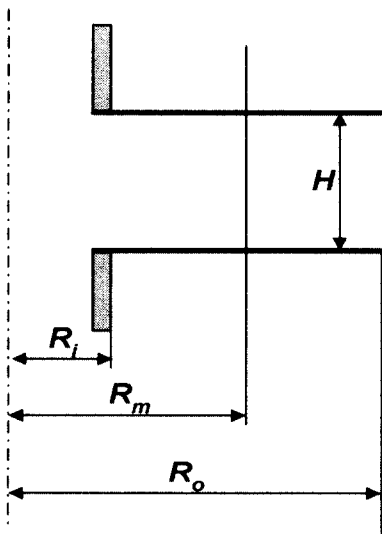


Fig. 1 Structure of plate

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

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

유적이 미립이므로 그 부상속도가 스토크스법칙 ($R_e=0\sim 2$)에 따르기 때문에 분리 가능한 최소유립의 직경 D_{min} 은 (8)식에 (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 (분리판수)가 크면 H 가 자연히 감소되므로 간접적 효과가 있음을 알 수 있으며, 실제 분리효과에 있어서는 n (분리판 구획수)과 함께 중요한 변수로 작용하고 있음을 본 연구의 가시화 실험을 통해 알 수 있었다. 또한 유수분리기의 전유량이 작을수록, 기름과 물의 밀도차가 클수록, 분리판의 면적이 넓을수록 분리할 수 있는 유적의 직경은 작아져서 유수분리 효율이 좋음을 알 수 있다.

그림 2는 유로하부 부근에서 유립자의 부상궤적을 나타낸 것이다. 2개의 평행판(+H~-H)사이층류의 유속분포 V_z 는

$$V_z = K(H^2 - x^2) \quad (10)$$

단위유로폭의 유량 q 는

$$q = \frac{4}{3} KH^3 \quad (11)$$

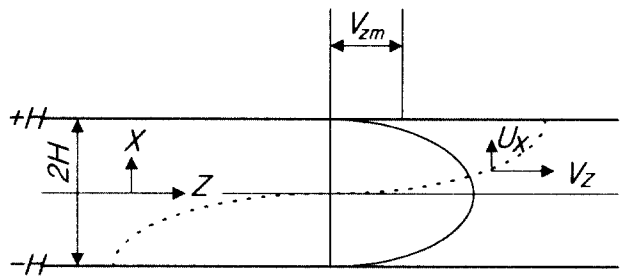


Fig. 2 Flotation curve between parallel plate

평균유속을 V_{zm} 이라 하면,

$$V_z = \frac{3}{2} \frac{V_{zm}}{H^2} (H^2 - x^2) \quad (12)$$

유입자의 부상속도를 u_x , 흐름의 중심으로부터 상방향 x 점 까지의 도달시간을 t 라고하면

$$x = V_x t, \quad t_{max} = \frac{H}{u_x},$$

$$L = 2 \int_0^{t_{max}} V_x \cdot dt = 2 \frac{V_{zm}}{u_x} H \quad (13)$$

위의 (13)식에 (1)식을 대입하면

$$L = \frac{18\mu}{g(\rho_w - \rho_o)} \cdot \frac{2HV_{zm}}{D^2} \quad (14)$$

$$\therefore D^2 = \frac{18\mu}{g(\rho_w - \rho_o)} \cdot \frac{2H}{L} V_{zm} \quad (15)$$

위 (15)식에서 살펴보면, 앞의 식(9)에 표시된 바와 같은 의미로서 분리판과 분리판 사이의 간격 H 가 작을수록, 또 기름과 물의 밀도차가 클수록 유적의 직경이 작아지는 것을 알 수 있다.

3. 실험

이 연구에서는 분리판실 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. 또한 PIV는 가시화의 결과를 디지털 영상처리기술과 접목한 새로운 계측기법으로서 가시화하여 얻어진 영상을 처리하여 미소시간 간격동안 이동한 다수 입자의 이동변위를 획득함으로써 속도벡터를 구하는 것이다.

그림 3은 실험장치의 구성도이다. 실험은 대상유동장이 원형통의 형태를 갖기 때문에 유동장의 촬

영시 생기는 수차를 최소화하기 위해 수조안에서 이루어졌다. 수조는 한변이 400mm인 정방형이고 투명 아크릴로 만들어졌다. 또한 광원인 레이저광으로 계측영역에 Sheet light를 형성하면 산란광이 발생하므로 카메라 촬영 방향 및 레이저광선이 통과하는 부분을 제외한 모든 수조 벽면은 검은 색으로 코팅 처리를 행하여 산란광을 없애고 입자 계조치의 구분을 용이하게 하였다. 가시화 실험을 위한 광원으로는 출력이 300mW인 아르곤 이온 레이저를 사용하였다. 레이저광은 원형의 직진광이므로 원통형 렌즈를 통과시켜 퍼짐각 60도, 두께 2mm인 Sheet light를 계측단면에 조사하였다. 유체입자의 거동을 가시화 하기 위한 추적입자로는 물과 비교하여 비중이 1.02전후이고 직경이 대략 150 μ m인 Poly Vinyl Chloride를 사용하였고, 추적입자의 정전기를 방지하기 위하여 계면활성제를 소량 혼합하였다. 대상유동장에 연속적으로 유입되는 작동유체는 상온의 수도수를 사용하여 원심펌프에 의해 순환시켰으며, 하부에 배치한 격판이 있는 물탱크에 임시 저장하였다가 순환 펌프로 흡입하여 대상유동장에 공급하였다. 유입되는 유량은 디지털유량계(ISOIL사, Model : MC108)에서 연속적으로 계측된다. 디지털유량계의 공칭내경은 32mm이며 설치위치는 펌프의 출구밸브와 유동장

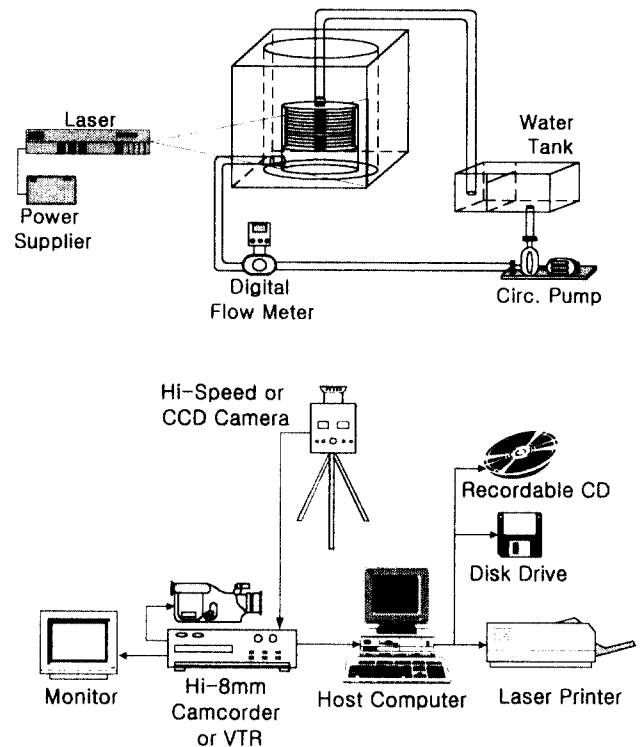


Fig. 3 Experimental setup

Table 1 Experimental condition

	Item	Specification
Visualization Equipment	Image Board	DT3155(640×480 pixel, B/W)
	Light Source	300mW Ar-Ion Laser
	Sheet Light	Cylindrical Lens & Fiber Line (width : 2mm)
Measuring Condition	Working Fluid	Water
	Flow meter	Digital, Maker:ISOIL Co., Model:MC108-G7
	Particle	Poly Vinyl Chloride [-CH ₂ CH(Cl)-] _n (n=1020)
	Time Resolution	$\Delta t = 1/120$ sec
Image Processing	Host Computer	Pentium PC (CPU Speed : 200MHz)
	Calculation Time	1 minute / frame
	Image Recording	Hi-8mm, Sony, Model:Pro5000
	Number of Time-mean Data	60 Frames(Random acquire)
	Identification	CACTUS'97(grey-level cross correlation algorithm)
	Ratio of Error Vector(%)	Under 0.5 %/Frame, Average : about 0.15%

의 사이이다. 즉, 작동유체는 수조의 바닥에 있는 파이프를 통하여 순환수 펌프로 유입된다. 그리고 유량조절밸브 및 디지털유량계를 거쳐 유동장으로 유입되며 분리판실을 거쳐 상부로 빠져나가 수조로 재순환 되게 된다. 실험에서는 유량을 시간당 2m³으로 하여 가시화 실험을 수행하였다.

그림 4는 대상유동장의 형태와 규격을 보여주고 있다. 실험장치 외통의 지름과 높이는 $\Phi 280\text{mm} \times 275\text{mm}$ 이며, 작동수의 유출입을 위한 유입구 및 유출구는 지름 $\Phi 40\text{mm}$ 로 가공하였다. 유입되는 유체의 맥동을 방지하기 위해 하부로부터 100mm의 지점에 원형판을 설치하여 1차 와류실을 두었다. 분리판은 지름과 두께가 $\Phi 270\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ 인 원형판이며, 중앙에 유로의 크기는 $\Phi 40\text{mm}$ 이다. 유입된 유체가 분리판을 통과하지 않고 곧바로 중앙 유로를 통해 상승하는 것을 방지하기 위해서 유로가 없는 격판을 하부 와류실로부터 4번째 분리판 위치에 배치하였다. 분리판 사이

의 간격을 일정하게 하기 위하여 직경이 10mm인 투명 아크릴 파이프를 길이 10mm로 가공하여 Spacer로 사용하였다. 실험장치는 가시화 실험에 적합하도록 투명 아크릴로 제작하여 투명성이 최대한 보장되도록 하였다.

표 1은 PIV계측을 위한 제반 실험조건을 나타내고 있다. 유동장의 속도계측을 위한 화상입력장치는 유동장의 촬영은 고속도카메라(Photron사, 640×240픽셀, 흑백, 240pps) 및 고화질 비디오 카메라를 이용하였다. 고속도 카메라의 프레임 속도는 120pps으로 선정하였다. 고속도 카메라의 자체 메모리(160MB)에 임시 저장되어 있는 유동장의 연속 영상은 매초 30장의 비율로 다시 재생하여 NTSC 방식의 Hi-8mm 카메라에 기록하였다. 이 영상은 다시 이미지보드(DT3155, Data Translation사, 640×480 Pixel, B&W)에서 이진 원시화일로 변환되어 주처리 컴퓨터(Host Computer)에 저장되어 속도벡터 추출에 사용되게 된다. 화상출력장치로는

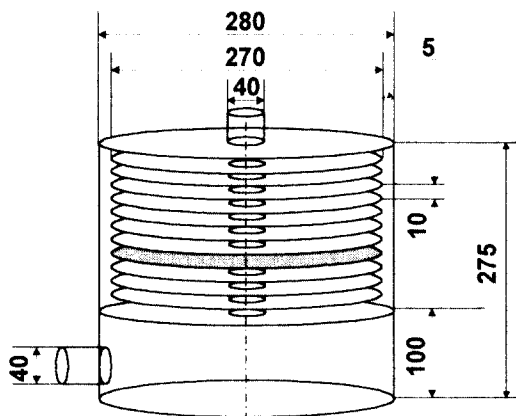


Fig. 4 Schematic diagram of model

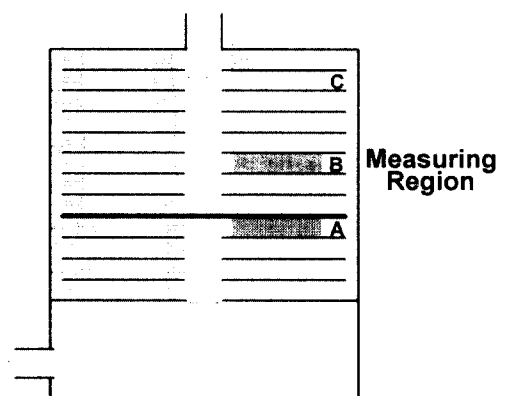


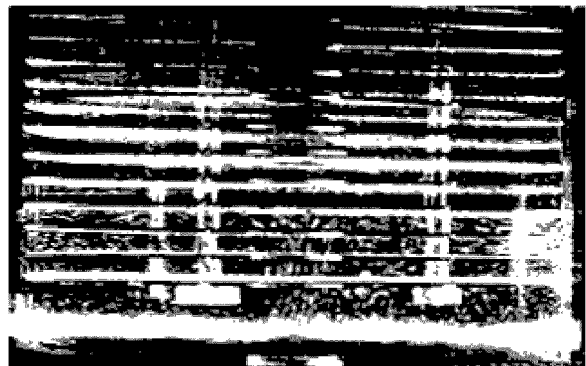
Fig. 5 Measuring region & schematic definition

비디오 신호의 기록을 위한 Hi-8mm 캠코더, 하드 카피의 작성용으로 레이저 프린터 그리고 모니터 등을 이용하였다. 화상처리장치는 이미지보오드가 내장되어 있고 CPU Speed가 200Mhz인 주처리 컴퓨터를 이용하였으며 처리 소프트웨어로는 CACTUS'97을 사용하여 하드 디스크에 저장된 프레임 단위의 원시영상들을 동일입자 검출 알고리즘^{15,16)}에 순차적으로 적용하고 다양한 후처리를 실시하였다. 그림 5는 대상유동장을 평면화 시켜 간략하게 나타내고 있으며, 정면에서 관측한 계측영역 및 유동장 흐름의 개략을 보여주고 있다.

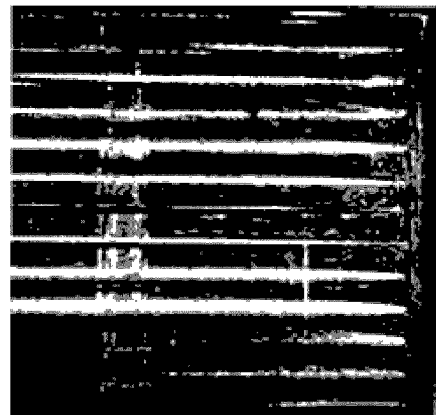
4. 실험결과 및 고찰

그림 6은 가시화 실험의 영상을 보여주고 있다. (a)는 전체적인 유동장내에서 유체의 흐름이 잘 나타나있고, (b)는 계측영역만을 확대하여 촬영한 사진이다. 분리판실 하부쪽에서 유입한 유체가 중앙 유로를 통해 흐르다 격판에 부딪치며 양쪽 측면유로를 거쳐 분리판실 상부로 진행되는 형상이 잘 나타나 있다. 내부 유동 패턴을 고찰하기 위하여 캠코더로 녹화된 영상을 연속적으로 재생하여 관찰한 결과, 분리판실을 상부와 하부로 격리시키는 격판을 중심으로 상부의 분리판실과 하부의 분리판실에서 각기 다른 형태의 유동패턴을 보였다. 하부 분리판실의 경우 와류실로부터 유입된 유체가 격판에 충돌하면서 분리판의 양측면으로 유출되어 상부 분리판실로 올라갔다. 이때 하부 분리판실에서 분리판과 분리판 사이로 유입하는 유체는 와류 현상을 동반한 강한 흐름을 형성하고 있었고 하부로부터 격판쪽으로 갈수록 많은 유량이 유입하고 있음을 관찰할 수 있었다. 이러한 유동특성은 충돌에 의한 유적의 조대유입의 형성에 기여할 수도 있지만, 와류로 인한 유수의 혼합작용을 유발시킬 우려가 있으므로 실제 분리판식 유수분리기를 설계할 때는 와류로 인한 영향을 고려하여 유로의 형상을 구상하고 격판의 위치를 선정해야 할 것으로 판단되었다. 격판을 중심으로 상부의 분리판실에서 보이는 유동을 살펴보면 양쪽 측면 유로에서 분리판으로 유체가 유입될 때 분리판의 끝쪽에서 역으로 와류하는 현상이 나타나고 있었고, 중앙 유로를 통해 유출구로 빠져나가는 흐름이 분리판 사이로 유체를 유도하는 경향을 보이고 있었다. 분리판 외측단과 내통과의 사이(5mm)에서 나타나는 역와류 현상은 유로의 형상 및 분리판 사이의 간격, 내통과의 간격 등과 밀접한 관련이 있는데 실제 유수분리에 적용시킨다면 효율저하의 원인으로

작용 할 것으로 판단된다. 앞서 살펴본 식(9) 및 식(15)에 의하면 분리판과 분리판 사이의 간격(H)이 작을수록 분리할 수 있는 유적의 직경이 작아져 유수분리 효과가 상승한다고 하였으나, 간격 H가 분리판 외측단과 내통사이의 간격보다 작거나 같을 경우 유체는 분리판과 분리판 사이로 유입하는 유량보다 분리판 외측단과 내통사이에 위치하는 양쪽 측면유로를 통해 유출구로 빠져나가는 유량이 크기 때문에 분리판 효과가 감소하여 분리 효율이 저하될 것으로 보인다. 즉, 이론식과는 다르게 간격 H가 적정치 보다 조밀하면 효율저하의 원인이 될 것으로 추정된다. 가시화 실험의 결과를 분리판식 유수분리기의 설계에 실제 적용한다면 분리판은 어느정도 각도를 가져야하며, 분리판의 각 모서리 부분도 유선형으로 가공하여 와류 현상을 최소화시키는 것이 타당하다고 생각된다. 또한 분리판과 분리판 사이에서 와류 유동을 줄이고 보다 균등한 흐름을 형성하게 하기 위해서는 식(9)에서 살펴본 것과 같이 전체적인 유입유량을 가능한 작게 하는 것이 효율을 상승시킬 수 있을 것으로 판단된다. 실험에 사용된 분리판은 각도가 없는 평행판이기 때문에 대부분의 유로가 수평에서 수직으로 연결되거나 또는 수직에서 수평으로 이어



(a)



(b)

Fig. 6 Flow image

지는 직각구조로 되어있어서 유체가 쉽게 상부로 부상하기에는 곤란한 점이 있었다. 또한 실험장치에서 선정된 격판의 위치는 하부쪽으로 치우쳐 있는데 위에서 고찰한 바와 같이 격판 하부측 분리판 사이에서 와류 현상 등이 뚜렷이 나타나므로 차후 설계에 반영할 경우 격판을 현재 위치보다 상부쪽으로 이동시켜 분리판실의 중간부분에 장치해야 한다고 판단된다.

그림 7~그림 8은 PIV계측을 이용한 평균 속도 벡터를 나타내고 있다. 속도벡터의 추출 알고리즘으로서는 원시영상을 기수필드와 우수필드의 영상으로 분해하고 이 두 프레임의 연속된 영상에서 계조치의 분포를 이용하여 최대 상호상관계수를 탐색하는 기법을 이용하였다. 상관영역의 크기는 35~45픽셀이며 하나의 순시 유동장에 대한 처리 시간은 펜티엄II기종(CPU 200MHz)에서 약 1분 전후가 소요되었다. 시간평균의 속도벡터를 얻기 위해서 일정 시간간격으로 저장된 연속된 60개의 영상을 순차 일괄 처리하여 산술 평균하였다.

그림 7은 대상유동장의 전체적인 영역에서 계측한 평균 속도벡터분포를 보이고 있다. 실험장치가 실제 사용되고 있는 크기의 실험모델이므로 속도벡터의 크기는 실 단위로 나타내었으며 상부의 0.2m/s는 기준벡터이다. 앞서 고찰한 가시화 실험의 결과와 마찬가지로 하부 분리판실에서 분리판 사이 및 상부 분리판실에서 분리판 외측단과 내통 사이에서 역으로 와류하는 흐름이 나타나 있다.

그림 8(a)는 계측영역 A에서의 속도벡터분포를 나타내고 있다. 계측영역 A는 격판의 직하부에 위치하고 있으며 유입되는 유체흐름의 방향이 급격히 바뀌어 그림에서 보이는 바와 같이 우측으로부터 좌측으로 강한 세력을 가지고 빠져나가고 있다. 우측하부 유입부에는 하부측에 2차 와류가 발생하고 이로 인한 역류의 흐름이 나타나고 있다.

상부 분리판실의 중간 부위인 계측영역 B의 평균속도벡터를 계측한 그림 8(b)에서 보면 영역 A의 경우보다는 작지만 역시 역와류 현상을 볼 수 있다.

계측영역 C를 계측한 그림 8(c)에서 살펴보면 유출구 가까이에 위치한 만큼 속도도 격판 하부측보다 감소되어 있고 부력의 현상도 함께 나타나고 있음을 알 수 있다. 분리판형 유수분리기의 성능개선을 위해서는 속도벡터분포에서 보이는 역와류 현상등을 감소시켜야 하며 분리판 사이에서 부상효과가 극대화 될 수 있도록 설계되어야 할 것이다.

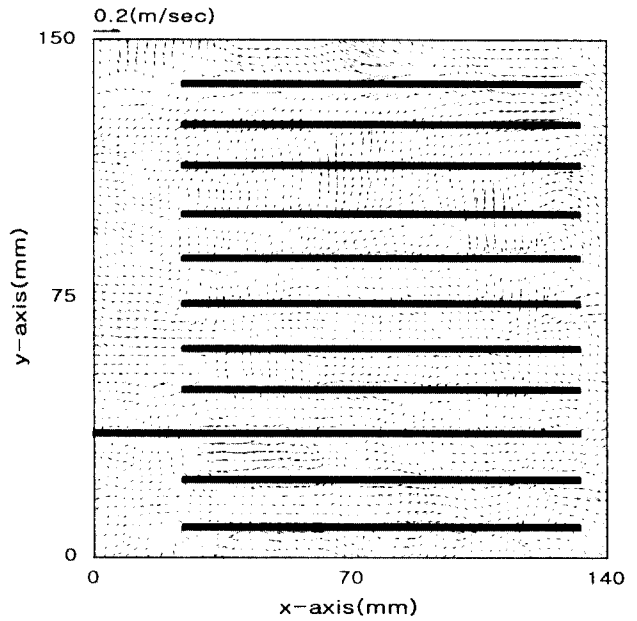
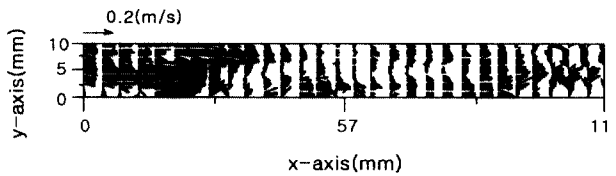
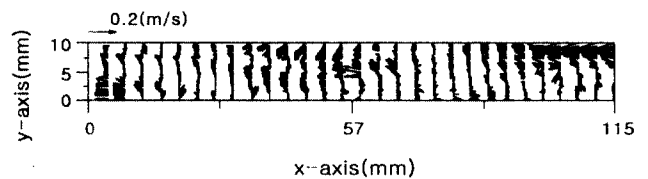


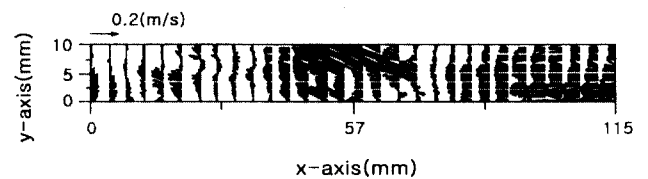
Fig. 7 Time mean velocity vectors (whole area)



(a) Measuring region A



(b) Measuring region B



(c) Measuring region C

Fig. 8 Time mean velocity vectors

그림 9~그림 10은 대상유동장의 전체적인 속도 성분 및 계측영역 A, B, C의 속도성분의 분포를 나타낸 그림으로 각 계측영역에 대해 유출입되는 속도성분을 관찰하기 위하여 기하학적인 수직단면을 10개로 구분하여 수평방향의 속도성분만을 도시한 것이다.

그림 9에서는 전체적인 속도성분의 분포가 잘 나타나 있다. 격판을 중심으로 하부측에는 상부에 비해 속도성분이 크게 나타나 있고 역방향의 성분도 보이고 있어서 역와류 현상등이 있음을 알 수 있다.

그림 10(a)는 계측영역 A에서 계측한 속도성분을 나타낸 것으로 출구측에서 유입되는 속도성분을 볼 수 있다. 이것은 격판 직하부의 분리판으로부터 유출된 유체가 상부로 모두 빠져나가지 못하고 역회전하기 때문으로 보여진다. 이러한 부분은 유체역학적인 요소를 고려하여 유로를 원활히 할 수 있도록 면밀한 검토가 요구되는 부분이다.

그림 10(b)는 계측영역 B의 속도성분을 보이고 있다. 계측영역 A에 비해서 비교적 평탄한 양상을 보이고 있어서 분리판 사이로 유입한 유체의 흐름을 잘 볼 수 있다.

그림 10(c)는 계측영역 C의 속도성분을 보여주고 있다. 출구에 인접한 부분에서는 유출되는 흐름이 감소하고 있는데 이것은 유로가 수평방향에서 수직방향으로 변환되는 직각구조로 되어있어서 유체의 흐름이 원활하지 못하기 때문이라고 판단된다.

5. 결 론

필터여과방식 우수분리 시스템의 전처리장치로 사용이 가능한 분리판식 우수분리기의 성능개선을 위해 내부에 설치된 분리판실 및 분리판 사이에서의 유동특성을 고찰하고자 가시화 실험 및 PIV계측을 수행할 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 가시화 실험 및 PIV계측 결과 전체 공급유량이 일정하다고 하면 분리판과 분리판 사이로 유입하는 유량이 많을수록 분리판 상부로 부상하는 흐름도 증가해 우수분리 효율이 좋아짐을 추정할 수 있었다. 또한 분리판 사이로 유체가 유입할 때 분리판 외측단과 내통 사이에서 역와류 현상등이 나타났는데 이러한 현상은 유성혼합물의 유화를 발생하게 하는 요인이 되므로 차후 우수분리기의 설계시 유로의 형상에 대한 면밀한 검토가 요망된다.

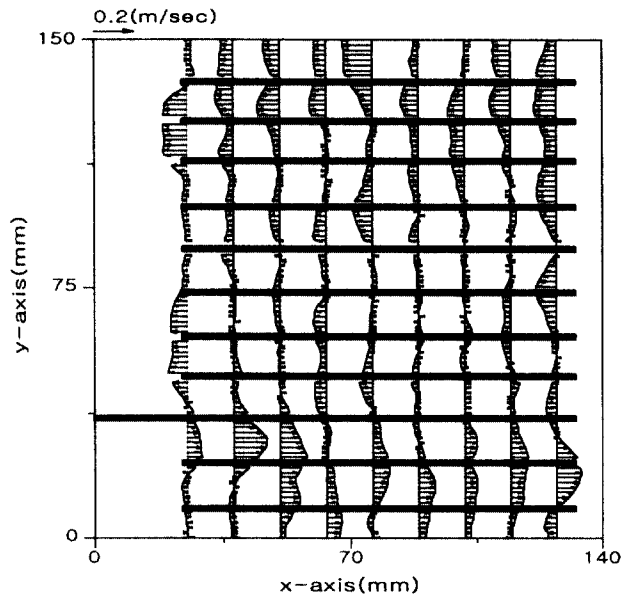
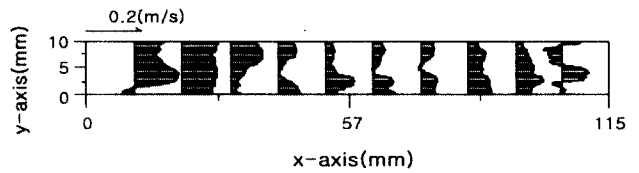
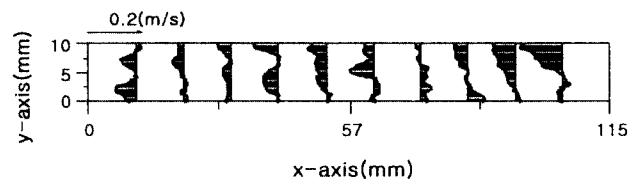


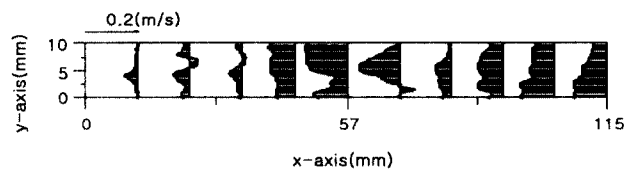
Fig. 9 Velocity distribution of U-components (whole area)



(a) Measuring region A



(b) Measuring region B



(c) Measuring region C

Fig. 10 Velocity distribution of U-components

- 2) 분리판 사이의 간격(H)은 유수분리기의 용량에 따라 결정되어야 하며, 이 간격은 분리효율에 영향이 있음을 알 수 있었다.
 - 3) 분리판 사이의 간격(H)이 적정치보다 클 경우 역압력 구배등의 현상이 나타났으며, 이런 현상은 유로의 형상과 복합되어 효율저하의 원인이 되고 있음을 알 수 있었다.
 - 4) 이론식에 의하면 분리판 사이의 간격(H)이 작을수록 분리할 수 있는 유적의 직경이 작아져 유수분리 효과가 상승한다고 하였으나, 간격 H가 분리판 외측단과 내통사이의 간격보다 작거나 같을 경우 분리판 사이로 유입하는 유량이 작아져 분리판 효과가 감소할 것으로 판단된다.
 - 5) 유입유량을 감소시키면 유수혼합물이 분리판 사이에서 체류하는 시간을 증가시키고, 분리판 사이에서 좀더 균등한 유동특성을 유도할 수 있기 때문에 유수분리 효과를 상승시킬 수 있을 것으로 사료된다.
 - 6) 격판 상부측에서의 유동을 관찰한 결과, 분리판 사이로 유입되는 유체가 하부측보다 많았다. 그러므로 실제 분리효과는 격판 하부보다 상부의 분리관에서 높게 나타남을 추정할 수 있었다.
- 제36권 제12호, pp. 49~56, 1996
 11. 韓國船舶機關學會 機關管理研究委員會, “船舶機關의 安全 및 補修管理”, 太和出版社, pp. 38~41, 1986
 12. 西川榮一, “國際船舶機關システム會議(ICMES)”, 船舶汚染抑制技術會議(TC-8)の内容, 日本船舶機關學會, 31卷, 5號 pp. 315~317, 1996
 13. 田大熙, “燃料와 燃燒의 管理”, 일중사, pp. 304~305, 1985
 14. 瀬尾 正雄, “海洋 油濁處理” 産報, pp. 34~72, 1973
 15. 최장운, 이영호, 조대환, “PIV에 있어서의 입자 추적기법의 개선”, 대한기계학회 추계학술대회 논문집 제2권, pp. 360~365, 1993
 16. 이영호, “PIV에서의 계조치상호상관법의 개발”, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 2, pp. 396~400, 1995

참고문헌

1. Paul L. Bishop, "Marine pollution and it's control", McGraw-hill, pp. 94~97, 1979
2. IMO "Manual on oil pollution" Section IV "Combating Oil Spills", London, pp. 1~2, 1988
3. 小川 勝 "海洋の油汚染", 海文堂, pp. 9~10, 1975
4. IMO, "1973/78년 海洋汚染 防止協約-1994統合本", 海印出版社, pp. 141~203, 1996
5. 李鎭烈, "油類工學", 曉星出版社, pp. 69~89, pp. 174~188, 1998
6. 小西 誠一, 上田 亨, "潤滑油の基礎と應用", コロナ社, pp. 110~130, 1992
7. (株)韓進海運 自體 報告書, "前處理裝置 設置效果", 1997
8. R. J. Adrian, "Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics," Annu. Rev. Fluid Mech., Vol. 23, pp. 261~304, 1991
9. P. Buchhave, "Particle Image Velocimetry Status and Trends," Exp. Ther. and Fluid Sci. Vol. 5, pp. 586~604, 1992
10. 이영호, "PIV의 원리와 분류", 대한기계학회지,