

경사각을 갖는 다층채널 흐름의 PIV 계측에 관한 연구

한원희* · 조대환** · 최민선** · 이영호*** · 이진열****

A Study on PIV Measurement of Multi-Channel Flow with Inclination angle

W.H. Han*, D.H. Cho**, M.S. Choi**, Y.H. Lee***, J.Y. Lee****

ABSTRACT : Flow visualization and PIV measurements were conducted to investigate the flow characteristics of multi-channel with inclination angle. The water flow, seeded with tiny vegetable powder as tracers, revealed details of flow field. The PIV measurement to acquire multi-point velocity data simultaneously was carried out at three space of plates for 5, 10, and 15 mm with variation of inlet flow rates of 0.25m³/h and 0.5m³/h. Experiment results show that space of plates acts a significant role in separating process.

Key Words : Particle Image Velocimetry(PIV:입자영상유속계), Flow Visualization(유동가시화), Inclination Angle(경사각), Oily water Separator(유수분리기), Separating Plate(분리판)

기호설명

H : space of separating plate(mm)
L : length of separating plate(mm)
l : distance between particles
Re : modified Reynolds number, $v \cdot D / \nu$
U : unit velocity (m/sec)
u : x-axis direction velocity
v : y-axis direction velocity
W : width of separating plate(mm)
(x, y): pixel coordinate of image
 Δt : time interval between image frame
 θ : rotation angle of image
 λ : wave length of laser

1. 서 론

평행평판사이의 속도분포는 파이프내의 유동 속도분포와 유사한 것으로 알려져 있다. 따라서 제한된 입출구를 갖는 다층채널흐름에 대한 유동형태는 원통형 열교환기의 유동에서와 같이 유입 및 유출되는 흐름의 영향이 클 것으로 예측할 수 있다. 이 연구에서는 선박에서 사용되

는 유수분리기용 전처리 장치를 대상으로 설계 데이터를 얻는 것을 일차적인 목표로 하였다. 이와 같은 전처리장치는 평행 평판형이 많이 사용되고 있으며, 경사각을 갖고 있는 경우가 대부분이다. 전처리장치의 이용은 유수분리기의 운전을 실질적으로 가능하게 함으로서 해양생물 및 자원에 미치는 피해¹⁾가 가장 큰 유류로 인한 오염을 방지하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

실제 국제해사기구(IMO)는 국제해양오염방지협약(MARPOL 73/78)을 통하여 선박 기관실로부터의 유류배출 제한치를 15ppm으로 규정하고 있으며 여기에 적합한 유수분리장치의 설치를 의무화하고 있다.²⁾ 또한 국내에서도 해양오염방지법을 통하여 유류의 해양 배출을 규제하고 있으며 특히 1998년 7월 6일 부터 총톤수 400톤 이상의 선박은 건조 시기와 관계없이 제1종 유수분리장치(유분농도 15ppm 미만 배출 장치)를 설치해야하고 총톤수 400톤 미만의 선박도 선저폐수저장장치 또는 유수분리장치를 설치해야 한다고 규정하고 있다.³⁾

유수분리장치의 국내 개발은 몇몇 업체에서 시도되고 있으나 핵심기술의 개발 실적은 그리 많지 않은 실정이다. Han등⁴⁾은 부상유가 다량

함유된 농후 유성혼합물의 처리 방식으로 적합한 평행 분리판 방식을 오일 필터링 시스템의 전처리장치로서 제안하고, 실험모델을 제작하여 가시화 및 PIV계측으로 분리판 사이에서의 내부 유동특성을 고찰하였다. Jeong등⁵⁾은 경사진 채널흐름의 난류성분과 에너지의 구조를 경사각과 회전각에 따라 설명하고 있다. 다층채널 흐름은 유동장 내에서 균일한 유동을 얻기 위해서 채택되는 이상적인 유동장이다. 특히 다층판이 배열되어 있는 평행분리판 방식 유수분리기에서, 田⁶⁾ 유적을 모아 보다 큰 유적으로 만든 후 분리판의 끝에서 쉽게 부상하게 하기 위해서는 적당한 경사각이 필요하다고 하였다.

이러한 배경으로부터 이 연구에서는 경사각을 갖는 다층 분리판의 내부유동특성을 정량적으로 검토하여 분리판식 유수분리기의 핵심장치인 분리판 배열 및 내부유로의 설계에 응용하고자 하였다. 실험에서 채택한 PIV계측^{7),8),9)} 결과 계측영역의 전 범위에 걸친 속도성분을 동시에 구하였으며 장치 내부에 흐르는 유동형태를 고찰하였다.

2. 실험방법 및 계측조건

그림 1은 실험에 사용된 장치의 전체구성을 보여주고 있다. 실험장치인 대상유동장은 다층채널을 갖는 분리판식 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 행하였다. 수조의 물은 원심펌프에 의해 순환하며 유수분리기에 유입되는 유량은 디지털유량계에서 연속적으로 계측된다. 디지털유량계(ISOIL사, Model : MC108)의 공칭내경은 32mm이며 설치위치는 펌프의 출구밸브와 유동장의 사이이다. 즉, 작동유체는 수조의 바닥에 있는 파이프를 통하여 순환수펌프로 유입된다. 그리고 유량조절밸브 및 디지털유량계를 거쳐 유동장으로 유입되며 다층채널을 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 채널간격은 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, 0.4579 μm(Blue) & 0.514 μm(Green), PLASMA TUBE Type]를 사용하였다.

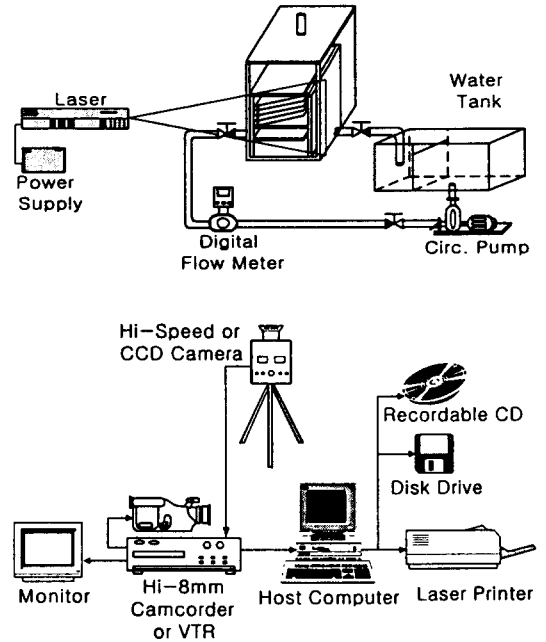


Fig. 1 Experimental Setup

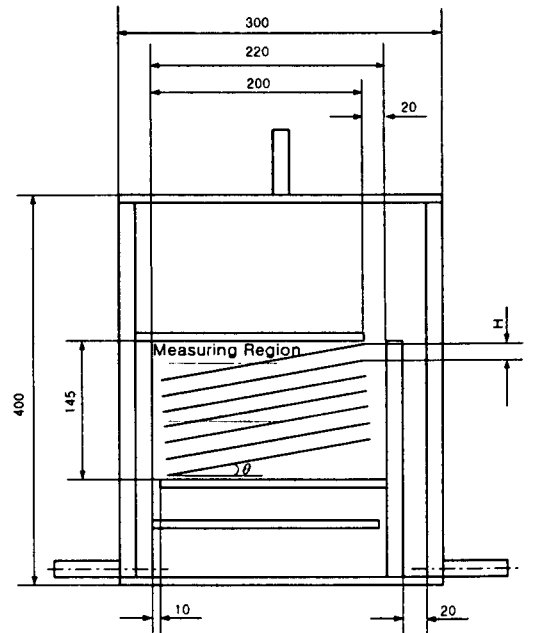


Fig. 2 Dimension and Measuring Region

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×L×H : 300×300×400mm
Measuring condition	Flow meter	Water, Digital, Maker:ISOIL Co., Model:MC108-G7
	Particle	Tiny vegetable powder(10~30 μm)
	Time Resolution	$\Delta t = 1/120 \text{ sec}$
Image processing	Calculation Time	30 second/Frame(200MHz, Pentium II)
	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%

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 식물성 파우더(송화가루)를 사용하였다. 또한 카메라 촬영 방향 및 레이저광선이 통과하는 부분을 제외한 모든 수조 벽면은 검은 색으로 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 원시파일로 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 계조치상호상관법을 적용하기 위한 격자 수는 각각 $l=4\sim 8$ 픽셀 및 50×40 이다. 실험영상에 대하여 카메라의 수평도는 $\theta = -10.5^\circ$ 이며, 전처리과정에서 보정하였다. 탐색영역의 반경과 상관영역은 7~9픽셀과 40~55픽셀이며, 계측영역의 순간속도분포를 얻는데 필요한 처리시간은 펜티엄II 기종(CPU 200MHz)에서 약 20초 전후였다.

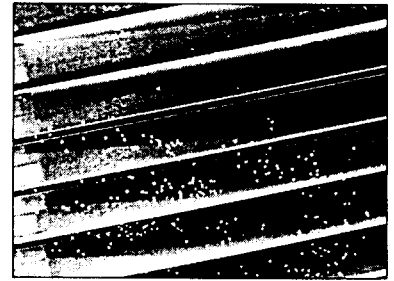


Photo. 1 Original Image



Photo. 2 Rotating Image

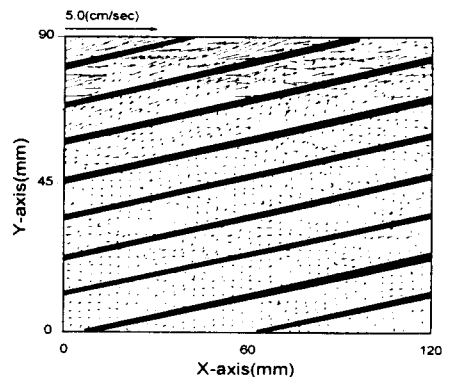


Fig.3 Instantaneous Velocity Distribution (Flow rate = 0.5 m^3 /hour, H = 10 mm)

3. 실험 결과 및 고찰

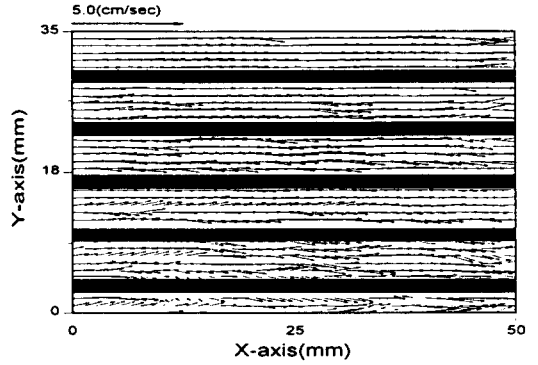
사진 1은 가시화 실험에서 촬영된 영상을 100회 중첩한 영상이다. 사진 2는 PIV 계측에 있어서 장애물의 처리를 원활하게 하고 계산의 편의를 위해서 기록한 영상을 분리판의 기울어진 경사각만큼 반대로 회전하여 나타낸 영상을 보여주고 있다. PIV 계측의 결과는 회전된 영상을 처리하였으므로 수평으로 나타나게 된다.

그림 3은 유입유량이 $0.5\text{m}^3/\text{hour}$ 이고, 채널 간격이 $H=10\text{mm}$ 의 경우에 전유동장의 순간속도 분포를 회전하지 상태로 처리 한 결과이다. 위로부터 다섯 번째까지의 분리판 내부유동은 우측 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 현상은 다층채널을 통과하는 내부 유동의 속도가 일정하지 못하고, 상부 채널로 흐르는 빠른 유속의 흐름이 미처 유로를 통하여 빠져나가지 못하고 하부 채널 측으로 재순환하기 때문인 것으로 판단된다.

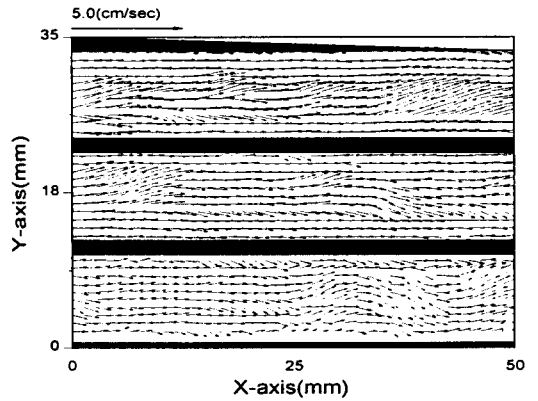
그림 4는 유입유량이 $0.5\text{m}^3/\text{hour}$ 의 경우 채널 간격에 따른 순간 속도 벡터의 분포를 보여주고 있다. 계측영역이 비교적 채널의 상부 쪽에 치우쳐져 있기 때문에 전체적으로 빠른 흐름이 고르게 형성되고 있다. 이러한 빠른 유속의 영향이 그림 3에 나타난 바와 같이 하부 채널에서 역류흐름의 형성을 촉진하는 것으로 판단된다.

그림 5는 유입유량을 $0.25\text{m}^3/\text{hour}$ 로 설정했을 때 순간 속도 벡터의 분포를 나타낸 것이다. 채널 간격이 5mm 의 경우에 전체적으로 각 채널사이에 유입하는 흐름이 균일한 유동분포를 나타내고 있다. 채널 간격이 10mm 인 경우에는 5mm 인 경우보다 채널 내부의 흐름이 고르지 못하고, 전체적인 흐름은 상부 채널 쪽에 좀 더 많은 유동을 보이고 있다. 채널 간격이 15mm 인 경우 상부 측으로 통과 유량이 편중되는 현상이 더욱 두드러지게 나타났다. PIV 실험의 경우 계측특성상 작동유체를 유성혼합물이 아닌 수도수를 대상으로 한 것이기 때문에, 이와 같은 유동특성을 고려하여 실제 유수분리기의 분리판 배열을 설계 할 경우에는 분리판사이의 간격이 기름입자의 응집으로 좁아질 것을 감안하여야 할 것이다.

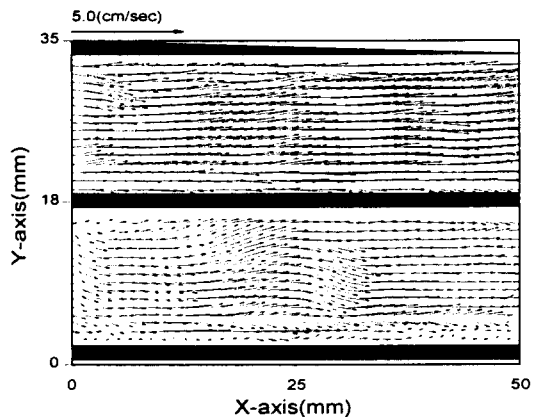
그림 6에서는 좁은 채널에서 간섭구조의 개념도를 보이고 있다. 채널흐름의 벽면근처에서



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

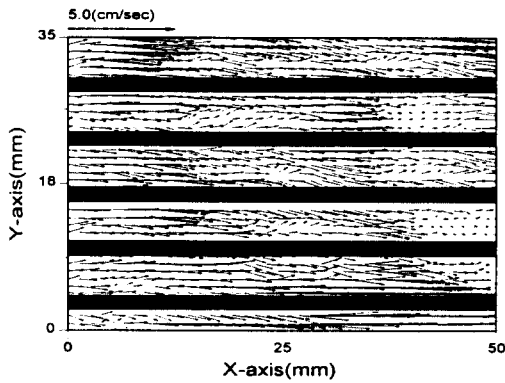


(b) $H = 10\text{ mm}$

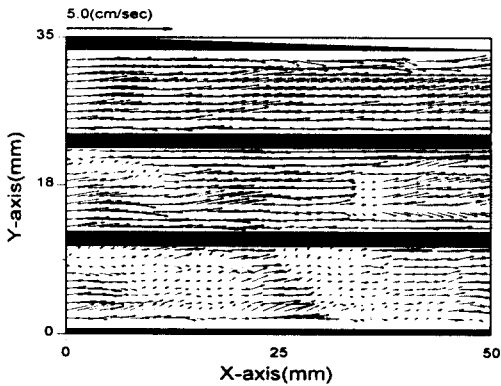


(c) $H = 15\text{ mm}$

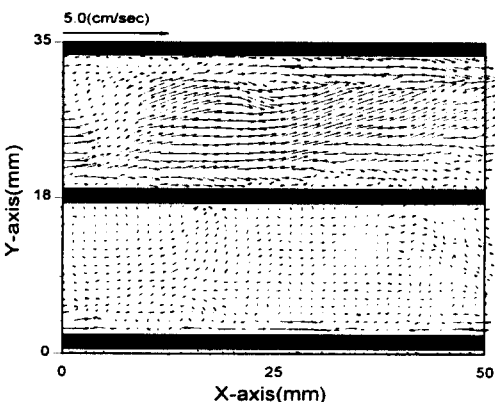
Fig. 4 Instantaneous Velocity Distribution (Flow rate = $0.5\text{m}^3/\text{hour}$)



(a) H = 5 mm



(b) H = 10 mm



(c) H = 15 mm

Fig. 5 Instantaneous Velocity Distribution
(Flow rate = $0.25 \text{ m}^3/\text{hour}$)

나타나는 간섭구조는 경사각이 증가할수록 크게 나타나는 것으로 보고되고 있다. Jeong⁴⁾은 이러한 결과를 전단층의 효과로 설명하고 있다. 이 과제에서 채택한 PIV실험의 경우 공간해상도(640×480 픽셀)가 낮아 벽면근처의 속도분포를 엄밀하게 검토할 수 없었으며 이러한 고찰은 차후의 연구과제로 남긴다. 이 연구에서는 경사각을 갖는 평행판형 유수분리기에서 최적의 분리효율을 갖기 위한 분리판 배열의 설계를 목적으로 하였다. 실제 유수분리 효율을 실험적으로 검토한 결과 분리판의 배열간격이 5mm에서 처리수의 유분농도는 41.5ppm, 10mm에서 31.3ppm, 15mm에서는 47.6ppm의 결과를 얻었다. 유수분리 실험에서는 경유(Light Fuel Oil)와 물을 혼합하여 25% 유성혼합물을 제조하였고, 제조한 유성혼합물을 실제로 유수분리하여 분리 효율을 알아보았다. 유수분리 효율은 각 실험의 경우마다 유수분리실험장치의 처리수 출구측에서 샘플을 채취한 후 샘플의 유분농도를 분석하는 방법을 사용하여 검증하였다. 유분농도는 비분산형 적외선 분석계(Model : HORIBA OCMA-350)를 사용하여 검출하였다.

그림 7에서는 이와 같은 결과를 보여주고 있다. 우측의 Y축은 유수분리 결과의 유분농도이고 좌측의 Y축은 PIV계측영역의 평균속도에 대한 최대속도의 비를 나타내고 있다. 채널간격이 10mm의 경우 5mm 및 15mm에 비해 두 가지 결과에서 모두 작은 값을 보이고 있다.

단일평판의 평면유동의 경우 평균은 최대속도의 2/3정도로 알려져 있다. 그러나 그림에서는 평균속도에 대하여 대략 3~6배의 속도차를 보이고 있다. 이것은 계측영역 전체의 최대속도와 평균속도의 비에서 각 채널의 영역에서 속도차가 있기 때문이다. 즉, 상부측에 근접한 채널영역일수록 빠른 속도구배를 유지하고 있다. 따라서 다층채널의 경우 이론적인 계산에서 나타나지 않는 재순환 흐름과 채널의 위치에 따른 속도구배를 종합적으로 검토하여 설계하여야 한다.

분리판의 간격이 5mm인 경우에 효율저하의 결과는 벽면효과 및 유입되는 흐름의 상호간섭에 의한 것으로 추정된다. 작동유체를 유성혼합물로 할 경우에는 이 실험에서 채택한 수도수에 의한 경우보다 이러한 현상은 더 큰 차이를 보일 것으로 예상된다. 따라서 유성혼합물에 혼합된 유분의 점성을 고려한 설계가 필요하며 여기에 관해서는 차후에 좀더 엄밀한 검토가 필요하다.

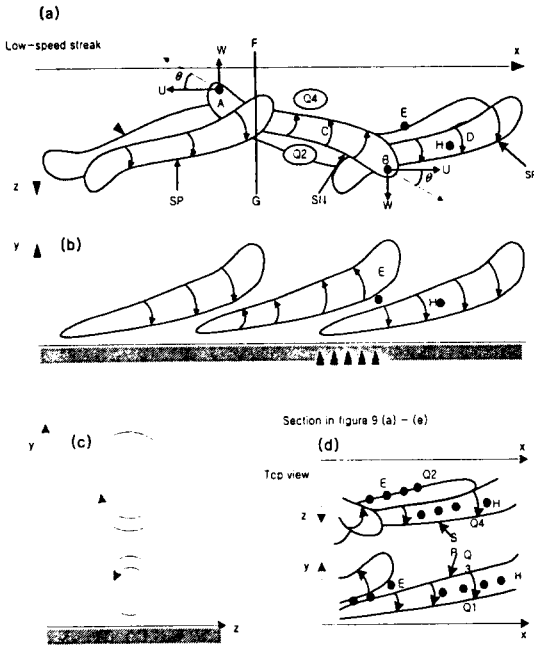


Fig. 6 Conceptual model of an array of coherent structures near the wall in channel flow

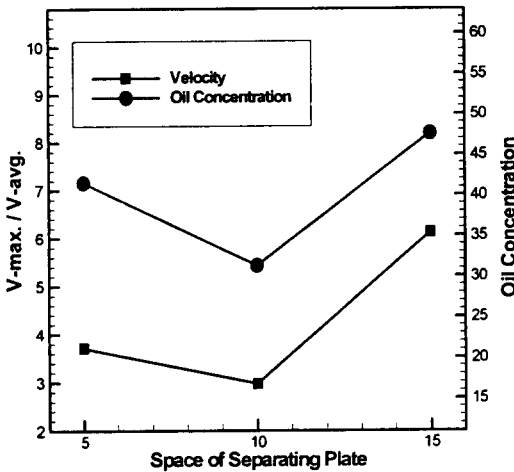


Fig. 7 Effect of Channel space (Flow rate = 0.25 m³/hour)

4. 결 론

이 연구에서는 전처리방식으로 이용될 수 있는 분리판식 유수분리기의 핵심장치인 경사각을 갖는 평판형 다층채널의 배열에 따른 내부

유동특성을 정량적으로 검토하고자 가시화 실험 및 PIV에 의해 채널사이의 속도를 동시다점으로 측정하였다. 그 결과 제한된 입·출구를 갖는 평판형 다층채널의 유동은 하부 유입구에서 상부 측으로 흐르는 유동과 유출구 측으로 미쳐 빠져나가지 못하는 재순환류가 존재하는 유동형태를 보였다. 유동이 재순환되는 영역은 하부측에서부터 약 40%되는 지점까지였다. 유성혼합물을 실제 분리한 유수분리실험에서는 유입유량이 0.25m³/hour이고 분리판의 간격이 10mm에서 가장 좋은 결과를 보였다. 또한 유입유량이 0.25m³/hour의 경우에 분리판의 간격이 5mm의 배열에서 간섭성 난류 구조로 추정되는 속도분포가 나타났으며 이러한 현상은 3차원 수치해석 및 개선된 실험기법으로 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- 1) Paul L. Bishop, "Marine pollution and its control.", McGraw-hill, pp.94-97, 1979
- 2) 1973/78년 海洋汚染 防止協約, 海事法令編纂會, p.51, 1985
- 3) 박성일, 박준순 "新海事法規", 螢雪出版社, pp.467-493
- 4) 한원희, 김광수, 최민선, 조대환 "격판을 갖는 분리판식 유수분리기의 PIV 측정", 한국박용기관학회 춘계학술대회논문집, pp.21-25, 1998.
- 5) Jeong J, Hussain F, Schoppa W, Kim J, "Coherent Structures Near the Wall in A Turbulent Channel Flow", Journal of Fluid Mechanics, V.332, pp.185-214, 1997
- 6) 田大熙, "燃料와 燃燒의 管理", 일중사, pp.304-305, 1985
- 7) R.J.Adrian, "Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics," Annu. Rev. Fluid Mech., Vol.23, pp.261-304, 1991
- 8) P.Buchhave, "Particle Image Velocimetry - Status and Trends," Exp. Ther. and Fluid Sci. Vol. 5, pp.586-604, 1992,
- 9) 이영호, "PIV의 원리와 분류", 대한기계학회지, 제36권 제12호, pp.49-56, 1996