

실험유체역학 연구실 (Experimental Fluid Mechanics Laboratory)

김형범
경상대학교 기계항공공학부

1. 서 론

경상대학교 기계항공공학부 실험유체역학 연구실 (<http://efml.gnu.ac.kr>)은 2004년 김형범 교수가 학부에 부임하며 만들어 졌다. 본 연구실에서는 유체 현상의 물리적 이해 및 관련 유체공학 문제의 해결을 목적으로, 실험적 접근에 중점을 두어 연구를 진행하고 있다.

본 연구실에서는 다음과 같은 분야와 관련된 연구를 진행 중이다.

1. 새로운 유체계측 시스템의 개발
2. 유동제어

현재 POST DOCTOR 1명, 박사 1명과 석사과정생 1명으로 구성된 작은 연구실로 제한된 연구능력의 효

율적 활용을 위해 위의 대주제 아래에서 특정 분야에 집중하여 연구를 수행하고 있다.

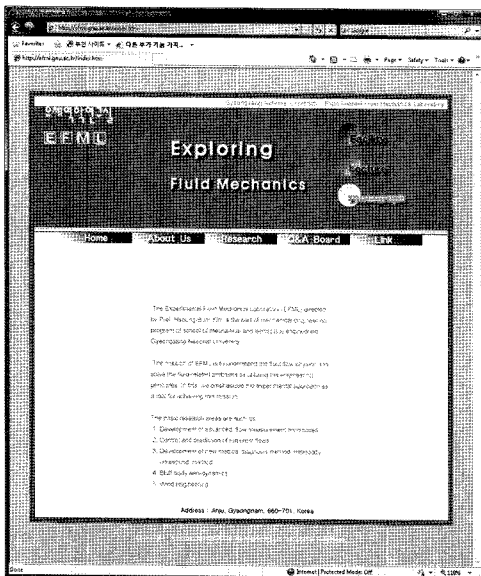
2. 주요 연구내용

2.1 새로운 유동계측시스템의 개발 - Stereoscopic micro-PTV 기법 개발

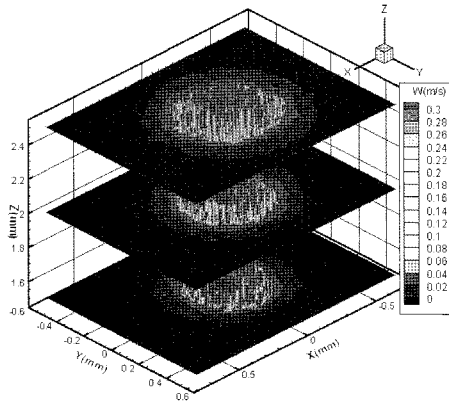
미세유체유동의 정확한 측정은 관련 연구분야에 많은 도움을 줄 수 있다. 미세유동의 측정에서 사용되는 micro PIV기법은 기본적으로 2D 측정기법으로 미세유동에서의 3차원 측정을 위해 다양한 측정기법이 발표되었고, 또 현재 연구되고 있다. 본 연구실에서는 일직화물방식의 2-프레임 PTV기법을 stereoscopic microscope 영상획득기법과 결합한 stereoscopic micro particle tracking velocimetry(SMPTV) 기법을 개발하였다. 기본적으로 2D3C측정기법으로 holographic 및 defocusing 기법과 비교하면 직접적인 3D3C측정기법은 아니지만 기존의 SMPIV기법과 비교하여 측정 정확도 및 공간해상도의 증가라는 장점을 가지고 있다. Fig. 1은 미세 채널 내부에 설치된 층돌 제트유동에서 개발된 SMPTV 측정기법과 SMPIV기법으로 측정된 순간속도장 결과 비교이다. 유동모사모델을 이용한 성능비교에서 SMPTV기법은 SMPIV기법과 비교하여 작은 bias error를 가지며, SMPIV기법보다 높은 공간해상도와 정확도로 미세유동을 측정할 수 있음을 확인하였다.

- Echo PIV 기법 개발

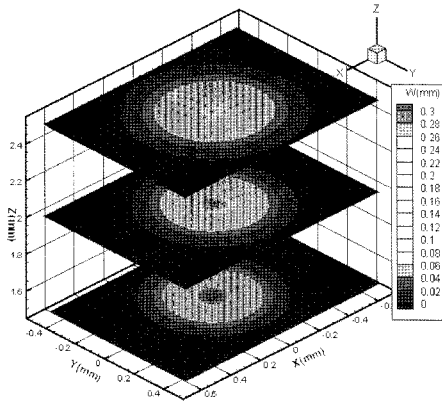
초음파 기법은 인체 내부의 장기(organ) 가시화나 혈류유동과 같은 불투명한 유동에서의 속도측정 등에 많이 사용되고 있다. 초음파를 이용한 대부분의 속도 측정방법은 반사된 초음파 신호의 도플러 천이(Doppler shift)를 이용해 초음파 진행방향 성분의 속도를 측정한다. 본 연구에서는 초음파 B(brightness)-스



(<http://efml.gnu.ac.kr>)



(a) Instantaneous velocity vectors of SMPTV



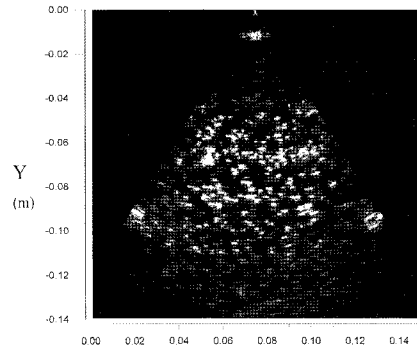
(b) Instantaneous velocity vectors of SMPIV

Fig. 1. Instantaneous velocity vector results from micro jet flow measurement using SMPTV/SMPIV method

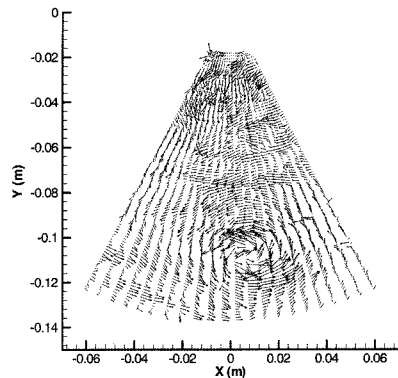
캔모드를 이용해 획득하고, 이렇게 획득한 초음파 영상에 PIV기법을 적용해 2차원 속도장을 계산하는 Echo PIV기법을 개발하였다. 이와 같은 속도장 측정기법은 혈류유동과 같은 불투명 유동의 속도장 측정에 매우 유용하다. Echo PIV의 응용분야는 현재 생체유체역학 뿐만 아니라, 토목, 금속 등의 다양한 분야로 그 사용범위를 확장시키고 있다. Fig. 2는 Echo PIV를 이용한 vortex 유동의 순간속도장 결과를 보여준다.

2.2 유동 제어

- Taylor-Couette 유동



(a) Scan-converted B-mode image



(b) Instantaneous velocity vector from image

Fig. 2. Ultrasound B-mode image of vortex flow and its instantaneous velocity vector result

모터, 클러치, 베어링 등 다양한 기계장치에서 만날 수 있는 Taylor-Couette 유동 문제에서 복잡한 경계면과 온도 구배가 유동 불안정성에 주는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 모터를 모사한 실험장치를 만들고 유동장 측정 연구를 수행하였다. 광학 PIV 기법은 굴절률이 다른 매질에서의 심한 영상왜곡으로 정확한 PIV측정을 위해 굴절률보상기법을 실험모델에 적용하였다. Fig. 3은 굴절률 보상기법의 적용여부에 따른 영상왜곡 정도를 보여준다.

Fig. 4는 Reynolds수 변화에 따라 모터모델 내부에서 발생하는 순간 속도장 측정 결과이다. 처음 Taylor 와동이 발생하고, 이후 wavy 와동으로 천이한 후, random wavy 혹은 weakly turbulent 와동으로 천이하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 5은 기하학적 형상이 다른 동심 환형관 모델에서 낮은 온도구배가 동심환형관 사이에 존재할 때,

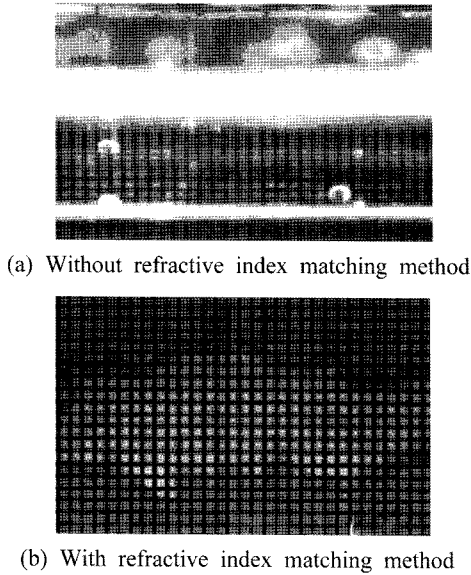


Fig. 3. Refractive index matching method

Reynolds 수에 따른 층류에서 난류까지의 천이 영역 결과를 보여 준다. 결과로부터 난류천이의 경우, 온도구배보다 기하학적 형상에 의한 영향이 더욱 큼을 알 수

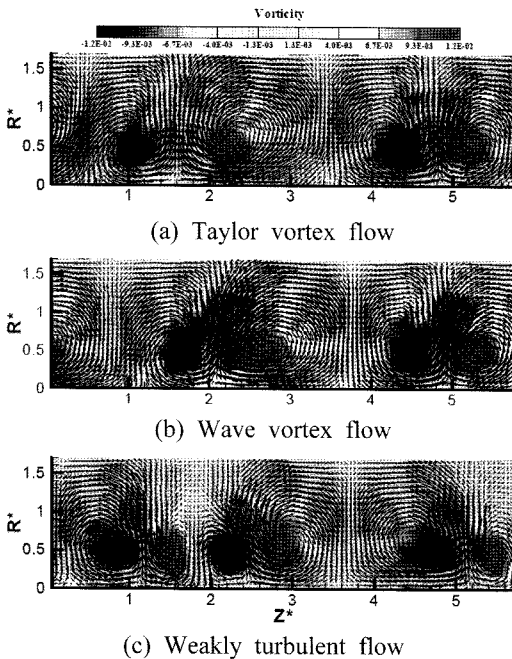
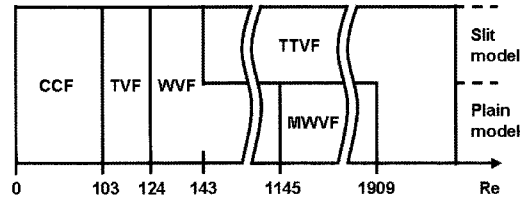
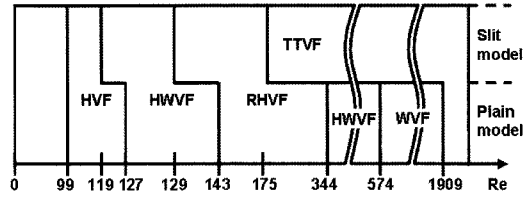


Fig. 4. Instantaneous velocity fields of various vortex flow type with vorticity contour at $Re=143$



(a) With the isothermal condition



(b) With the radial temperature gradient

Fig. 5. Flow regimes for various Reynolds number; CCF: circular Couette flow; TVF: Taylor vortex flow; WVF: wavy vortex flow; MWVF: modulated wavy vortex flow; TTVF: turbulent Taylor vortex flow; HVF: helical vortex flow; HWVF: helical wavy vortex flow; RHVF: random helical vortex flow

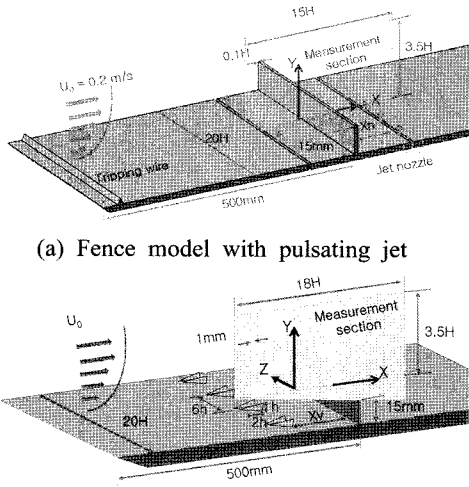
있다.

- 수직벽 후류 제어 연구

수직벽 후류는 대표적인 표면 부착물 주위의 전단바리유동으로 항력의 감소나 혼합(mixing) 등에 영향을 주고 이를 제어하기 위한 연구가 계속 진행되고 있다. 본 연구실에서는 수동 및 능동 제어기법을 이용한 수직벽 후류 제어 연구를 수행하고 있다.

Fig. 6은 맥동 제트와 와류 생성기를 이용한 수직벽 모델의 좌표계와 개략도를 보여준다. 맥동제트의 주파수, 수직방향 속도, 수직벽과의 거리 그리고 맥동제트의 속도 프로파일(profile) 변화에 따른 박리기포의 최대감소 조건을 찾았다. 속도측정을 위해 위상평균 DPIV(phase-averaged digital particle image velocimetry)기법을 이용하여 관심영역 내의 2차원 순간 속도장을 각 위상마다 획득하고, 수직벽 전방의 맥동제트에 의한 수직벽 주위의 유동변화를 위상에 따라 확인하고, 제어하지 않은 수직벽유동과의 비교를 통해서 재부착지점 길이 감소를 일으키는 요인을 찾았다.

Fig. 7은 맥동제트에 의한 박리기포 내부에서의 와 유출 현상을 보여준다. 먼저 수직벽 전방에 설치되어



(a) Fence model with pulsating jet

(b) Fence model with vortex generator

Fig. 6. Schematics diagram of experimental model and apparatus

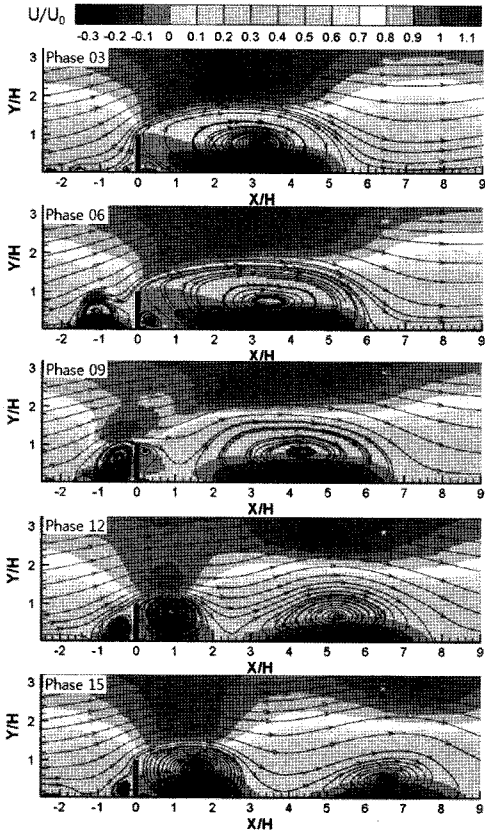


Fig. 7. Phase-averaged streamwise velocity contours and streamline at $Str_H=0.05$, $V_{jet}/U_0=2.0$, $X_n/H 1.75$

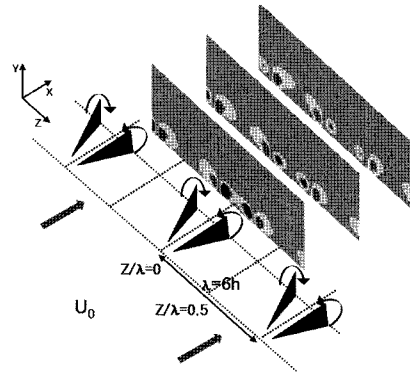
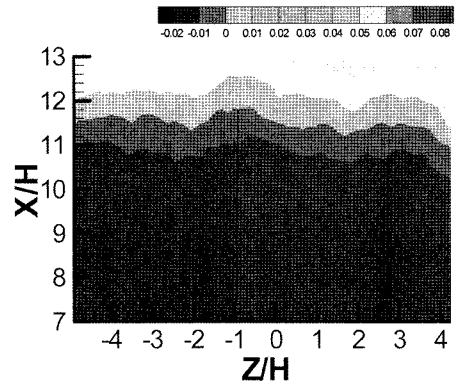
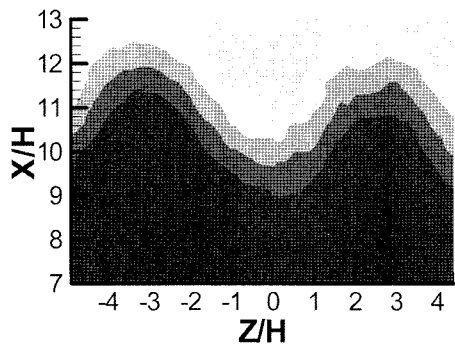


Fig. 8. Configuration of vortex generator

진 노즐에서 맥동제트가 분사되어지고 맥동제트는 와동(vortex flow)으로 발달된다. 강한 회전을 가진 와동은 수직벽 위쪽으로 흐르는 높은 에너지를 가지는 유체를 후방바리기포 내부로 유입시킨다.



(a) Without vortex generator, $Re_H=6000$



(b) $h/H=1$, $X_v/H=5$, $Re_H=6000$

Fig. 9. Mean streamwise velocity contour at X-Z plane ($y/H=0.33$)

유입된 유체에 의해 후방박리기포는 두 개로 나누어 지게 되고, 시간이 지나면서 뒤쪽의 재순환영역이 전방의 재순환영역에서 떨어져 나가는 것을 알 수 있다. 이후, 박리기포의 크기는 외부의 유동이 유입되기 전까지 다시 커지는 것을 알 수 있다. 이것으로 와류출 현상이 후방박리기포 크기 감소에 중요한 역할을 함을 알 수 있다.

와류 생성기(vortex generator)를 이용한 수동 제어의 경우, 수직벽 전방에 와류 생성기를 설치하고, 생성된 와동에 의해 변화된 수직벽 주위 박리유동을 실험적으로 관찰하였다. 여기서, 자유흐름 속도, 와류 생성기의 크기, 그리고 수직벽간의 거리를 변화시켜 가며 박리기포의 크기 변화를 관찰하였고, 그 결과를 제어하지 않은 수직벽 유동과 비교하여 수직벽 후방 박리기포를 최소화하기 위한 최적값을 찾았다.

Fig. 8은 와류 생성기에 의해 발생하는 흐름방향 와

동의 발달 모습을 보여준다.

Fig. 9는 와류 생성기에 의한 후류의 변화로부터 수직벽 후방박리기포 크기의 감소가 나타나는 조건을 찾을 수 있었다

3. 맺음말

지금까지 경상대학교 실험유체역학 연구실은 불투명 유동, 미세유동 등 다양한 유동 조건에서의 유체 문제해결을 위한 정확한 정량적 또는 정성적 측정기법을 개발하였고, 현재에도 새로운 측정기법 개발 및 기존 기법의 성능향상 연구를 진행하고 있다. 또한 유체기계 에너지 효율 및 성능 향상을 위한 유동제어기법 연구에도 많은 관심을 갖고 있으며, 관련 연구가 진행 중이다.