

Flow separator가 부착된 수직벽 후류유동의 실험적 연구

최영호*, 김형범†

Experimental study of vertical fence wake with flow separator

Young-Ho Choi, Hyoung-Bum Kim

Abstract

Vertical fence has the coherent flow structure in front of the fence. In the present study, the wake change due to the flow separator in front of the vertical fence was experimentally investigated. Quantitative method was applied to study the separated shear flow field. The results show the flow separator changes the downstream shear flow and alters the curvature of separated shear layer. As the freestream velocity increased, the reattachment length also increased.

Key Words : DPIV (디지털 입자화상속도계), Fence flow (수직벽 유동), Separated shear layer (박리전단층)

1. 서 론

표면에 부착된 물체주위에서 발달하는 박리전단유동(separated shear layer)은 그 실용적 중요성으로 많이 연구되어져 왔다.

기존의 연구로부터 표면에 부착된 물체 주위의 유동은 부착물체의 기하학적 형상(높이(H), 길이(L), 두께(W)), 자유흐름속도(U_0), 경계층 두께(δ), 난류강도등과 같은 여러 가지 변수에 의해 결정된다고 알려졌다(1). 이러한 다양한 변수들에 대한 연구로부터 표면부착물 주위의 유동은 부착물의 높이, 경계층 두께, 자유흐름 난류강도 등에

가장 큰 영향을 받는 것이 알려졌다(2).

표면부착물의 전방에서 일어나는 박리유동은 부압(adverse pressure gradient)에 기인한 박리현상으로 후향계단(backward facing step)이나 수직벽(vertical fence)의 끝단에서 발생하는 기하학적 형상에 의한 박리현상과는 다른 특성을 갖는다. 기하학적 형상에 의한 후방 박리유동의 경우, 박리기포(separation bubble)의 선단(leading edge)이나 후단부(trailing edge)는 기하학적 형상이 급격히 변화하는 첨단부에 고정되어 있다. 반면에 부압력 구배에 의한 박리의 경우, 박리기포의 선단 및 후단부는 고정되지 않고 움직일 수 있다. 또한, 부압력 구배에 의한 박리유동은 기하학적 형상에 의한 박리유동보다 박리기포의 높이와 비교하여 폭이 더 큰 박리전단유동을 갖는다.

대부분의 물체주위 박리유동연구는 주로 물체 하류의 전단박리유동에 중점을 두고 이루어졌고 상대적으로 표면부착물의 앞에서 일어나는 박리유동에 관한 연구는 드물다.

수직벽 전방의 유동조건은 후방박리유동에 직

† 경상대학교 기계항공공학부

E-mail : kimhb@gsnu.ac.kr

* 경상대학교 대학원 기계항공공학부

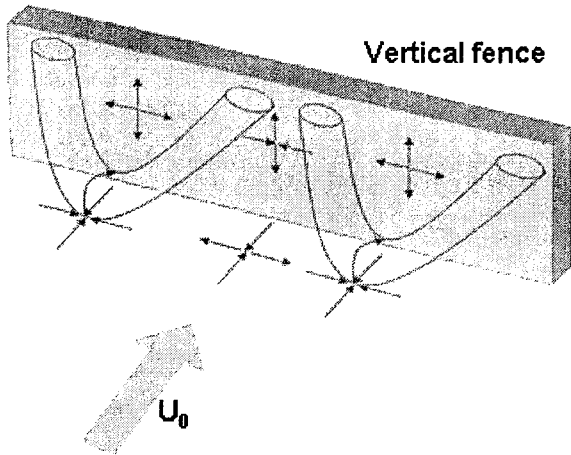


Fig. 1. Flow pattern on the upwind face of an obstacle.

접적인 영향을 주는 것은 익히 알려졌다. 그러나 수직벽 전방유동의 경우, 복잡한 형상과 기존의 열선유속계나 LDV와 같은 시간평균화된 점측정 방법이 같은 단점으로 인하여 정량적 연구가 매우 어려웠다.

유동가시화를 통한 정성적인 연구에서 표면에 부착된 4각 프리즘의 전면부에서 주기적으로 saddle 포인트와 nodal 포인트가 나타나고 수직벽에 부딪힌 유동은 cellular 구조를 가진다고 보고되었다(3). 이 연구결과는 hybrid PTV기법을 이용한 수직벽 전방의 정량적인 연구에서 확인되었다(4).

수직벽 전방유동 연구에서 제안된 전방유동은 Fig. 1에서 보는바와 같이 말발굽 모양의 유동구조가 벽의 전면부에 주기적으로 존재한다.

이러한 연구를 통해 수직벽 전면에 특징적인 유동구조가 있음이 알려졌지만 아직까지 이러한 와구조가 하류에 박리되어 생성되는 전단유동에 어떠한 영향을 주는지는 연구되지 않았다.

본 연구에서는 전방에서 발생하는 와구조를 조절하는 부착물을 수직벽 앞에 설치하고, 이 부착물에 의한 하류의 박리전단유동의 변화를 실험적인 기법을 이용하여 살펴보았다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구는 시험부의 크기가 300(h)×300(w)×1000(l)(mm)인 회류수조에서 수행

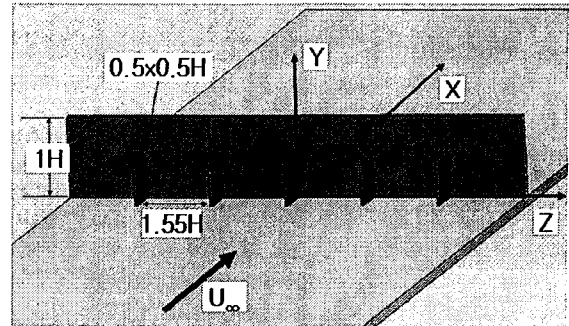


Fig. 2. Coordinate system and fence with separators.

되었다. 실험에 사용된 수직벽 모델의 형상 및 좌표계를 Fig.2에 나타냈다. 펜스모델은 종횡비(폭방향 길이와 높이와의 비)가 20이고 형상비(수직벽의 두께와 높이의 비)는 0.07이다. 수직벽에 부착된 부착물의 크기는 기존 연구결과(4)를 참고하여 결정하였다.

수직벽 하류의 박리전단유동을 측정하기 위해 사용된 DPIV기법의 개략도를 Fig.3에 나타냈다. 실험장치는 두 대의 CCD카메라와 2-head Nd:Yag 레이저, frame grabber가 설치된 컴퓨터, 그리고 이 장치들을 동기하기 위한 신호발생기로 이루어졌다. 수직벽 박리유동의 경우, 수직벽의 설치위치로부터 재부착지점까지의 거리가 길기 때문에 하나의 CCD카메라로 동시에 전 영역의 입자영상을 획득하기 어렵다. 본 연구에서는 두 대의 카메라를 나란히 배치시켜 박리유동 전 구간을 동시에 측정하였다.

실험조건으로 자유흐름속도를 0.12m/s, 0.2m/s, 0.28m/s로 바꾸어 가며 속도변화에 따른 박리

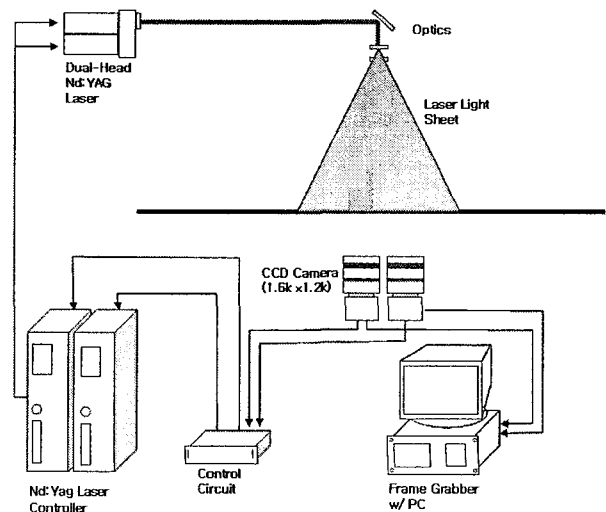


Fig. 3. Schematics of experimental set-up

유동구조의 변화를 확인하였다. 각각의 경우에서 총 200장의 순간속도장을 구하였고, 이 순간속도장을 앙상블평균하여 평균특성치들을 계산하였다.

DPIV기법은 재귀기법과 원도이동기법을 사용하여 측정결과의 s/n비를 높였고(5), 최종 조사구간의 크기는 16×16(pixel)로 속도벡터의 공간해상도는 약 1.2×1.2(mm²)이다

3. 결과 및 토의

Fig. 4는 수직벽이 설치된 위치(입구로부터 0.5m)에서 수직벽이 없을 경우의 유동조건이다. 그림으로부터 수직벽은 자유흐름속도에 상관없이 경계층 내부에 위치하고 있음을 알 수 있다. 이 위치에서의 자유흐름속도를 기준으로한 Re수는 약 6 ~ 14×10⁴이다.

Fig. 5의 등고선(contour)그래프는 흐름방향(streamwise) 속도성분을 나타내고, 화살표가 붙은 선은 유선(streamline)을 나타낸다.

자유흐름 속도에 따른 가장 큰 박리전단유동의 변화는 재부착지점의 길이의 증가이다. 속도가 가장 작은 경우에 약 9.3H지점에서 박리전단유동이 재부착되나 속도가 커질수록 10.5H, 13H로 재부착지점이 뒤로 이동함을 알 수 있었다.

또한 박리기포의 높이도 자유흐름속도가 증가할수록 같이 커지는 경향을 보여준다. 전단유동이 박리되는 수직벽 끝단에서의 유선 결과는 자유흐름 속도가 커지면서 높이 방향의 유속(v)도

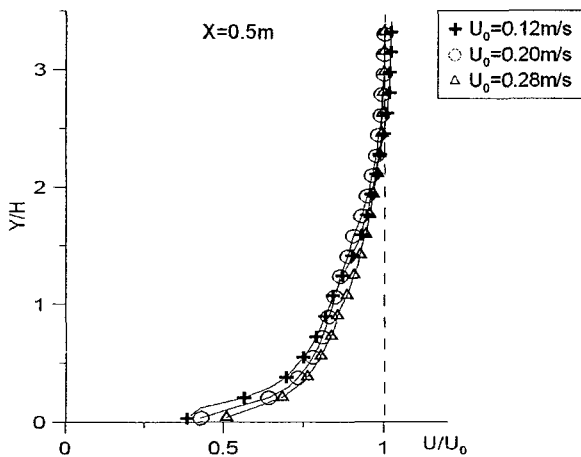
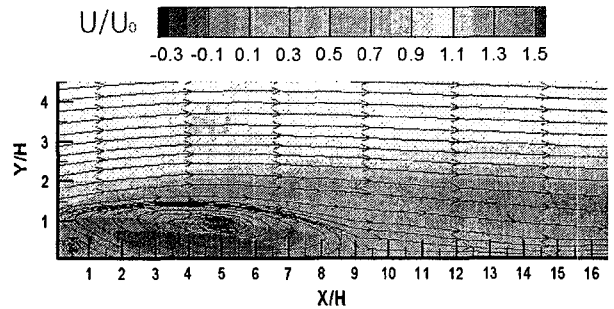
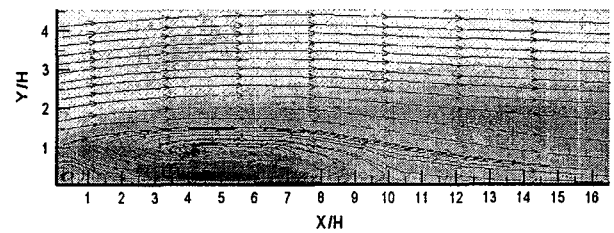


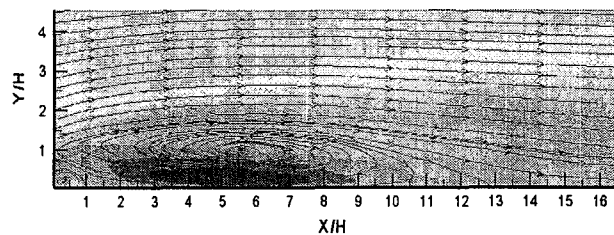
Fig. 4. Mean streamwise velocity profile without the fence.



(a) Streamwise velocity contour and streamline at $U_0=0.12\text{m/s}$



(b) Streamwise velocity contour and streamline at $U_0=0.20\text{m/s}$



(c) Streamwise velocity contour and streamline at $U_0=0.28\text{m/s}$

Fig. 5. Mean streamwise velocity contour and streamline curve comparison

증가하는 것을 보여준다.

이 결과는 Fig. 6에서 정량적으로 확인할 수 있다. Fig. 6(a)로부터 수직벽 직후영역에서는 자유흐름속도 차이가 박리전단유동의 흐름방향 평균 속도에는 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 반면에 Fig. 6(b)에 나타난 수직방향 평균속도의 비교는 자유흐름의 속도가 빠를수록 수직벽 직후영역에서는 수직방향 속도도 커지는 것을 알 수 있다. 이는 수직벽 전방에 장착된 부착물이 수직벽을 타고 위로 향하는 유동을 강하게 함을 의미한다.

Fig. 7은 수직벽 끝단에서 생성발달되는 박리전단유동의 대략적인 모습을 보여주기 위해서 전단

유동의 중심과 전단유동의 상부 경계를 나타낸 그래프이다. 자유흐름속도가 빠를수록 전단유동의 중심이 바닥으로부터 높게 위치하고 있음을 알 수 있다. 이는 Fig.5의 흐름방향 평균속도 결과와 같이 수직벽 후방에 생성되는 박리기포의 높이가 자유흐름속도에 따라 같이 커지는 것을 나타낸다. 자유흐름속도가 빠를수록 수직벽 전방에 부착된 부착물에 의해 수직방향 운동량이 증가되고 이는 수직벽 끝단에서 박리되는 전단유동의 방향을 위로 향하게 한다. 이 결과로부터 재부착 지점이 자유흐름속도가 증가할수록 길어짐을 알 수 있다.

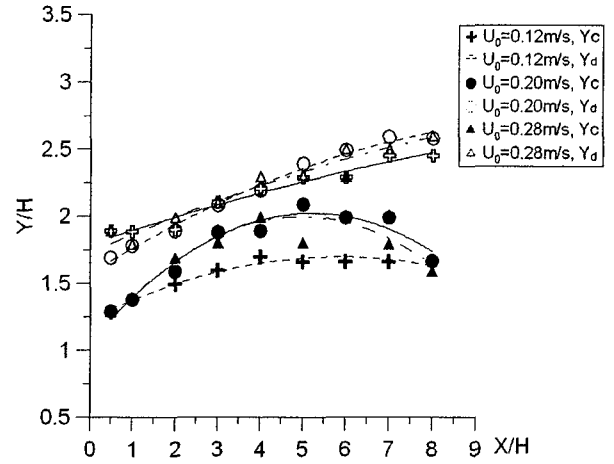
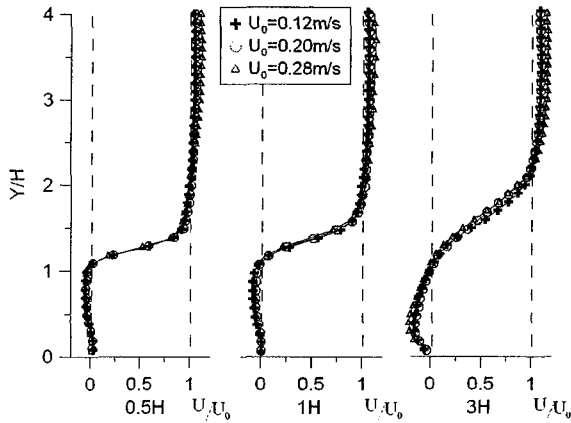
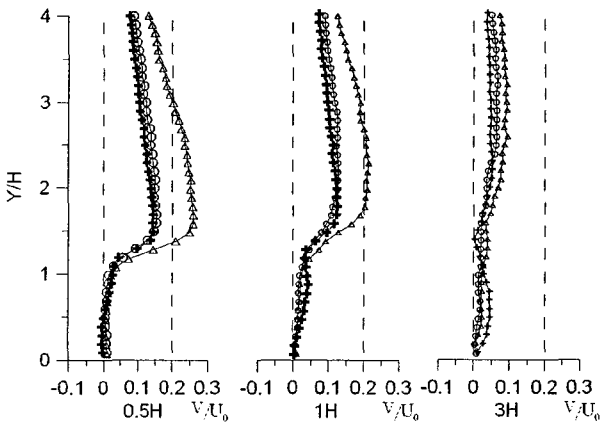


Fig. 7. The shape comparison of separated shear layer.



(a) Mean streamwise velocity profiles at various section



(b) Mean vertical velocity profiles at various section

Fig. 6. Mean velocity profiles comparison at several section.

Fig. 8은 박리전단유동의 와도(vorticity) 결과이다. 자유흐름속도의 크기에 상관없이 전단유동내부에 높은 와도가 나타남을 알 수 있다. 자유흐름의 속도가 높아질수록 와도의 분포가 불규칙적으로 나타남을 알 수 있다. 전단유동에서의 와도 크기도 자유흐름속도가 커질수록 작아지는 경향을 보이고 있다. 와도의 분포는 전단유동의 대략적인 모습을 보여주는 Fig. 7 결과와 같이 자유흐름속도가 클수록 바닥면으로부터 높은 위치에 와도가 크게 나타나고 있다.

4. 결론

본 연구로부터 전방에 부착물이 부착된 수직벽의 하류 전단박리유동은 자유흐름속도가 클수록 수직벽 전방에서 유체에 수직방향으로 주는 운동량의 크기도 증가함을 알 수 있었다. 수직방향 운동량의 증가는 수직벽 첨단에서 박리유동의 박리각도를 증가시키고 이는 수직벽 후방에서의 재부착지점의 길이를 증가시키는 결과를 가져왔다. 또한 자유흐름의 속도가 증가할수록 수직벽 후방에 나타나는 박리기포의 크기가 증가하였다.

이는 전방에 부착된 부착물에 의해 수직벽의 끝단에서 박리되어 생성되는 박리전단유동을 조절할 수 있음을 의미한다.

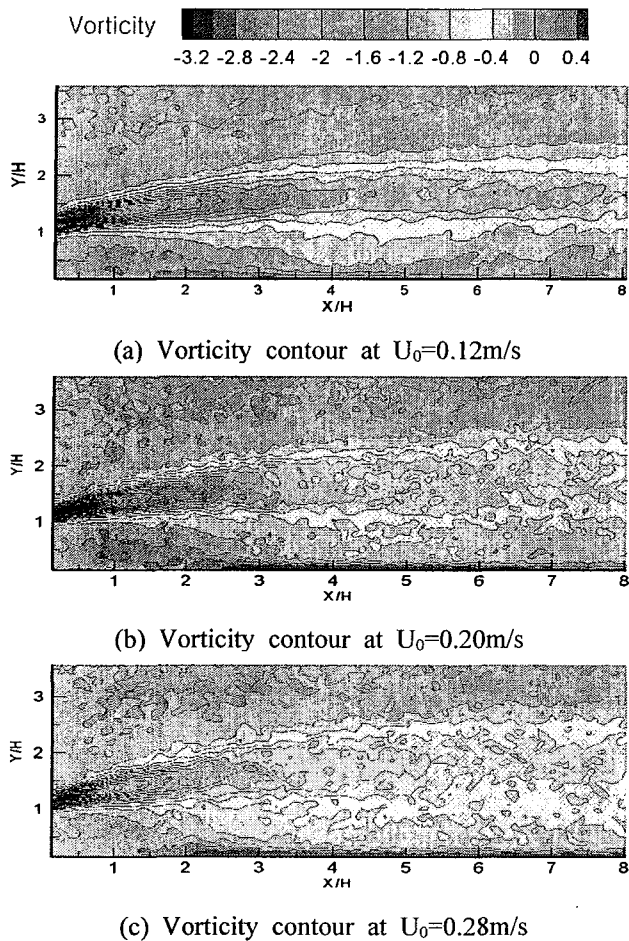


Fig. 8. Comparison of vorticity contour plot.

후 기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업 (RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 1) Good, M. C. and Joubert, P.N., 1968, "The form drag of two-dimensional bluff-plates immersed in turbulent boundary layers," *J. Fluid Mech.*, Vol.31, pp. 547-582.
- 2) Vincent, J. H., 1978, "Scalar transport in the near aerodynamic wakes of surface-mounted cubes," *Atmospheric environments*, Vol.12, pp. 1319-1322.
- 3) Martinuzzi, R. and Tropea, C., 1993, "The flow around surface-mounted prismatic obstacles placed in a fully developed channel flow," *ASME J. Fluid Eng.*, Vol.115, pp. 85-92.
- 4) Kim, H. B. and Lee, S. J., 2001, "Time-resolved Velocity Field Measurements of Separated Flow in front of a Vertical Fence," *Exp. in Fluids*, Vol.31, pp. 249-257.
- 5) Kim, H. B., Hertzberg, J. R. and Shandas, R., 2003, "Development and validation of Echo-PIV," *Exp. in Fluids*, Vol.36, pp. 455-462.