

## 정면에 수직 평판을 가진 정방형주의 유동장 특성실험

노기덕<sup>†</sup> · 조동배<sup>1</sup> · 윤영준<sup>2</sup> · 박서진<sup>3</sup>

(원고접수일 : 2014년 7월 7일, 원고수정일 : 2014년 8월 21일, 심사완료일 : 2014년 8월 26일)

### Experiments of flowfield of a square prism having a front vertical plate

Ki-Deok Ro<sup>†</sup> · Dong-Bae Jo<sup>1</sup> · Young-Jun Yoon<sup>2</sup> · Seo-Jin Park<sup>3</sup>

**요약:** 본 연구는 상류측에 작은 수직평판을 가진 정방형주의 유동장 특성을 양·항력측정 실험과 PIV를 이용한 가시화 실험으로 파악한 것이다. 실험파라미터는 정방형주 한 변의 길이에 대한 수직평판의 폭비( $H/B=0.2\sim 0.6$ ) 및 정방형주 전면에서부터 수직평판까지의 거리 ( $G/B=0\sim 3$ )로 했다. 수직평판의 폭비를 고정시킨 경우 정방형주의 항력감소율은 간격비가 증가할수록 증가하다 감소하는 특성을 보였다. 또한 같은 간격비에서는 수직평판의 폭비가 클수록 정방형주의 항력감소율이 컸다. 정방형주의 양력감소율은 수직평판의 폭비 및 간격비에 거의 영향을 받지 않았으며, 양력감소율의 평균치는 48.1% 정도였다. 수직평판을 설치한 경우 정방형주 상류측과 하류측에 정체영역이 나타났다.

**주제어:** 유체력 저감, 입자영상속도계, 정방형주, 유동제어, 수직평판

**Abstract:** The Characteristics of the flowfields of a square prism having a small vertical plate at the upstream side was investigated by measuring of fluid force on the square prism and by visualization of the flow fields using PIV. The experimental parameters were the width ratios( $H/B=0.2\sim 0.6$ ) of vertical plates to the prism width and the gap ratios ( $G/B=0\sim 3$ ) between the prism and the vertical plate. The drag reduction rate of the square prism was increased with  $H/B$  in case of the same  $G/B$ , and was increased and then decreased with  $G/B$  in case of the same  $H/B$ . The lift reduction rate of the square prism was hardly not affected by the width and gaps ratios, the average value was about 48.1%. In case of a square prism having a small vertical plate, the stagnation regions were represented in the upstream and downstream sides of the square prism.

**Keywords:** Fluid force reduction, PIV, Square prism, Flow control, Vertical plate

## 1. 서론

일반적으로 물체주위의 유동을 제어해서 항력을 감소시키는 방법으로 에너지가 부족한 경계층 영역에 외부에너지의 공급유무에 따라 능동적 기법과 수동적 기법으로 나눌 수 있다[1]. 특히 후자는 외부에너지 공급 없이 단순히 물체의 기하학적 형상을 변경하거나 간단히 부가장치를 부착하면 되

기 때문에 산업현장에 응용하기 쉽다.

후자를 이용한 정방형주의 항력저감에 관한 연구를 살펴보면,

Tamura 등[2]은 사각주 네모서리의 형태를 세 가지로 가공하여 유동장 특성실험을 행한 결과 각진 모서리를 가진 경우는 모서리에서 박리가 발생하였으나, 둥근 모서리인 경우는 일단 박리한 후에

† Corresponding Author: Department of Mechanical System Engineering-Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, 38 Cheondaegukchi-gil, Tongyeong, Gyeongnam, 650-160, Korea, E-mail: rokid@gnu.ac.kr, Tel: 055-772-9103

1 Department of Mechanical System Engineering, Gyeongsang National University, E-mail: lity17oo@naver.com, Tel: 010-9032-9504

2 Department of Mechanical System Engineering, Gyeongsang National University, E-mail: yj8904@gmail.com, Tel: 010-8849-9632

3 Department of Mechanical System Engineering, Gyeongsang National University, E-mail: 0330sj@naver.com, Tel: 010-5755-4432

재부착하는 유동특성을 확인하였고, 후자인 경우가 항력, 양력특성이 가장 우수함을 보였다.

Ro 등[3]은 모서리에 여러 종류의 펜스를 부착하는 방법으로 정방형주의 유체력 저감 효과를 시도했는데, 연구결과를 살펴보면 정방형주의 뒤쪽 상·하부 모서리에 수직 펜스를 부착한 경우 항력 저감 효과가 가장 크게 나타났으며, 본래의 정방형주에 비해 각 레이놀즈 수 평균 약 6.8%의 항력 저감 효과를 얻었다.

Park [4]은 정방형주 뒷면 중앙에 분할판을 부착하여 분할판이 항력감소에 미치는 영향을 와류추적법으로 수치계산하였다. 분할판 부착에 의해 정방형주 후류측 소용돌이를 억제하여 항력이 감소했고, 분할판의 길이를 증가시킬수록 항력계수는 작아졌지만, 그 감소율은 분리판 길이가 짧았을 때 상대적으로 크게 나타났다고 보고했다.

Doolan [5]은 정방형주의 후류측에 부착이 아닌 분리된 분할판(Detached splitter plate)을 설치하는 방법으로는 처음으로 정방형주의 항력저감을 시도했다.

Ro 등[6] 정방형주의 후류측으로 분리된 분할판(Detached splitter plate)을 설치한 경우 정방형주의 항력저감특성을 분할판의 폭과 정방형주 후면에서부터 분할판까지의 간격을 변수로 하여 양·항력 변화를 측정하여, 최대 24.2%의 항력감소율을 보였고, PIV에 의한 가시화 실험을 통해 분할판에 의해 항력감소가 생기는 이유를 명확하게 파악하였다[7].

Sakamoto 등[8]은 정방형주의 상류측에 수직평판을 설치하여 정방형주에 작용하는 항력을 대폭 감소시켰다고 보고하고 있다. 그러나 실험변수는 정방형주 한편의 길이 B에 대한 수직평판의 폭 H의 비 즉  $H/B=0.05\sim 0.19$  정도이고, 수직평판에 의한 항력감소인원도 명확하게 파악하지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 정방형주의 상류측에 수직평판을 설치한 경우, 폭비  $H/B=0.2\sim 0.6$  범위에서 수직평판에서부터 정방형주 전면까지의 간격을 변수로 하여 정방형주에 작용하는 양·항력 저감특성을 파악함과 동시에, PIV를 이용한 가시화 실험을 통해 양·항력 저감 원인을 명확히 밝히고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험모델

Figure 1에 실험모델을 나타낸다.

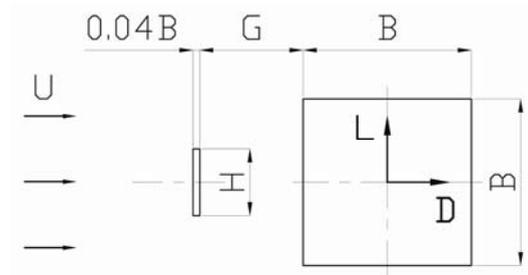
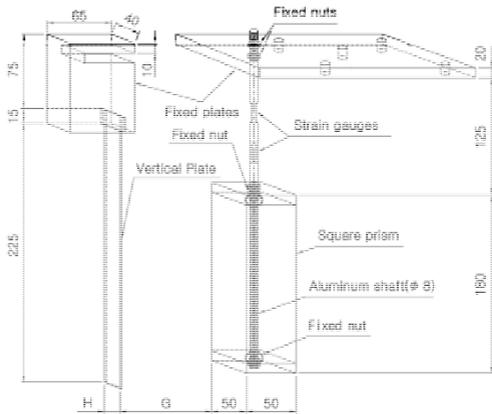


Figure 1: Experimental model

일정류 U중에 한 변의 길이가 B인 정방형주가 놓여 있고, 그 상류측 중심에 두께 0.04B, 높이 H인 수직평판이 정방형주 전면으로부터 G만큼 떨어진 곳에 놓여 있다. 이때 정방형주에 작용하는 항력 D는 일정류와 같은 방향으로 작용하는 유체력 성분을, 양력 L은 일정류와 수직 상방향으로 작용하는 유체력 성분을 의미한다. 연구는 레이놀즈 수를 일정하게 한 상태에서 폭비  $H/B=0.2, 0.4, 0.6$ 을 갖는 3가지의 수직평판에 대해 간극비  $G/B$ 를 0.0에서부터 3.0까지 0.5씩 증가시켜가며 정방형주에 작용하는 양·항력을 측정함과 동시에 PIV에 의한 유동장을 가시화하였다.

### 2.2 양·항력의 측정실험

Figure 2에 양·항력 측정실험을 위해 제작한 실험장치의 개략도를 나타낸다. 실험 장치는 크게 수직평판, 고정판, 정방형주 및 측정 축으로 나누어 제작했다. 먼저 3개의 수직평판은 두께 2mm, 길이 240mm, 한 변의 폭이 각각 10mm, 20mm 및 30mm인 투명 아크릴 판으로 제작했으며 상부를 Figure 2에서처럼 고정판에 끼워 고정시켰다. 그리고 이 고정판은 회류수조 지지대에 끼워져 있고, 이 지지대는 수조 채널을 따라 움직일 수 있게 제작했다. 정방형주는 크기가  $50\times 50\times 180\text{mm}$ 이며 각 면은 두께 3mm, 상, 하 덮개는 두께 10mm의 아크릴 판으로 만들었다. 또한 상, 하 덮개의 중앙에 직경



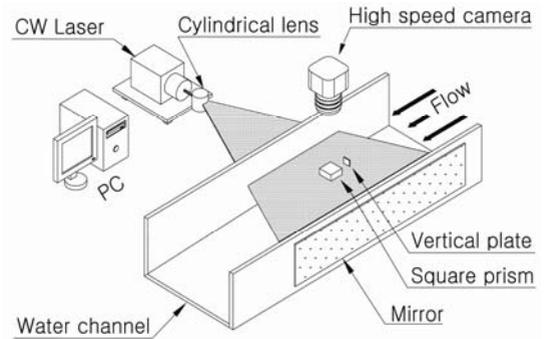
**Figure 2:** Schematic diagram of experimental device (unit : mm)

12mm의 구멍을뚫고, 측정 축을 장착하기 쉽게 고정용 너트를 부착하였다. 측정 축은 직경 8mm, 길이 345mm의 알루미늄의 봉을 가공하여 제작했다. 즉 봉의 하부 190mm는 나사를 가공하여 봉과 정방형주를 너트로 고정시켰다. 봉의 상부는 일정류중에서 양·항력을 용이하게 분리하여 측정할 수 있도록 그림에서와 같이 전후, 좌우 방향으로 두께 3.4mm, 길이 15mm로 평평하게 깎았다. 그리고 그곳에 각 방향으로 2매씩(계 4매) 스트레인지지를 부착하고 브릿지 회로를 결성하여 스트레인 양으로 양·항력을 측정했다. 각 채널(계 2채널)의 브릿지 회로에서 나온 출력파형은 스트레인앰프, AD 변환기를 거친 다음 퍼서널 컴퓨터(Personal Computer)에서 미리 보정한 계수에 의해 양·항력값으로 출력된다. 이때 회류수조 측정부의 일정류 유속은  $U=0.182\text{m/s}$ 이며, 정방형주 한변의 길이를 대표길이로 잡아 환산한 레이놀즈 수  $Re=1.0 \times 10^4$ 이다. 실험은 레이놀즈 수를 고정시키고, 폭비  $H/B=0.2, 0.4, 0.6$ 인 수직평판에 대해 간격비  $G/B$ 를  $G/B=0.25\sim 3.0$ 범위 내에서 일정간격으로 증가시켜가면서 유체력을 측정했다. 구체적으로 Figure 1에서와 같이 수직평판을 배치하고, 수직평판을 정방형주 전면 중심에서부터 25mm간격으로 상류방향으로 이동시켜가며 양·항력을 측정했다.

### 2.3 PIV를 이용한 가시화실험

가시화 실험을 위한 정방형주는 크기가  $50 \times 50 \times 170\text{mm}$ 이며 각 면은 두께 2mm인 투명 아크릴 판으로 제작했다. 3개의 수직평판은 두께 2mm, 길이 170mm, 한 변의 길이가 각각 10mm, 20mm 및 30mm인 투명 아크릴 판으로 만들었으며, 각 수직평판 아래쪽에 폭 30mm, 길이 80mm의 받침대를 부착했고, 이 받침대 뒤면에 직경2mm의 나사용 구멍을 2곳 뚫어, 간격비 조정 시 이 받침대를 이동시켜서 나사로 받침대를 고정판에 고정시켰다.

Figure 3에 PIV를 이용한 유동장 가시화 실험 장치의 개략도를 나타낸다.



**Figure 3:** Schematic structure of experimental device

실험은 앞서 설명한 정방형주와 수직평판을 제작하여 Figure 3에서와 같이 일정류가 흐르는 회류수조의 수로 내에 장착하여 유동장을 가시화 하였다. 구체적으로 각 실험모델을 수로 내에 설치한 후 회류수조 밖에서 Figure 3에서와 같이 일정류와 수직, 수평방향으로 연속광 레이저에 의한 시트(sheet)상의 조명광을 비추고 정방형주의 상부에서 수직하방으로 고속도 카메라로 유동장을 촬영하였다. 추적입자로는 평균직경이  $100\mu\text{m}$ 이고, 비중이 1.02인 구형의 PVC(Poly Vinyl Chloride)를 사용했다. 이때 회류수조 가시화부의 일정류 유속은  $U=0.182\text{m/s}$ 이며, 정방형주 한변의 길이를 대표길이로 잡아 환산한 레이놀즈 수  $Re=1.0 \times 10^4$ 로, 2.2절 양·항력 측정실험에서와 같게 했다. 이때 회류수조의 가시화부를 50mm 간격으로 유속분포를 측정하였는데 어느 단면에서도 유속분포는 평균치에 대한 오차가  $\pm 2\%$  이내로 나타났다. 또한 이 영역에

서의 난류강도는 0.012~0.06정도였다. 한 개의 실험변수에 대한 연속촬영시간은 16.37초이며, 1/125 초 간격으로 2048프레임의 화상을 얻어, 1/62.5초 간격으로 연속한 2프레임의 화상으로부터 각각 1024장의 와도장, 속도분포 및 속도벡터장을 추적했다. 또한 후술하는 평균 유동장은 각각 1024장의 유동장을 시간 평균한 것이다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 양·항력 특성

먼저 정방형주의 유체역학적 특성을 나타내는 계수, 즉 양력계수  $C_L$ , 항력계수  $C_D$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho U^2 S} \quad (1)$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho U^2 S} \quad (2)$$

여기서 양력  $L$  및 항력  $D$ 는 각각 수직평판을 가진 정방형주에 작용하는 일정류  $U$  와 수직방향 및 같은 방향의 힘의 성분이다. 또한  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $S$ 는 수면 아래에 잠겨있는 정방형주의 일정류 방향으로 투영면적을 나타낸다. 또한 본 연구에서 평균양력감소율  $\overline{R_L}$  및 평균항력감소율  $\overline{R_D}$ 은 다음과 같다.

$$\overline{R_L} = \frac{|\overline{C_{L0}}| - |\overline{C_L}|}{|\overline{C_{L0}}|} \times 100 \quad (3)$$

$$\overline{R_D} = \frac{\overline{C_{D0}} - \overline{C_D}}{\overline{C_{D0}}} \times 100 \quad (4)$$

여기서  $\overline{\quad}$ 는 평균치,  $||$ 는 절대치를 뜻하며,  $C_{L0}$  및

$C_{D0}$ 는 각각 수직평판을 가지지 않는 정방형주 단독의 양력계수 및 항력계수이다.

Figure 4에 수직평판 폭비  $H/B=0.40$ , 간격비  $G/B=1.5$ 에서의 정방형주의 양력계수  $C_L$  및 항력계수  $C_D$ 의 시간변화를 나타낸다.

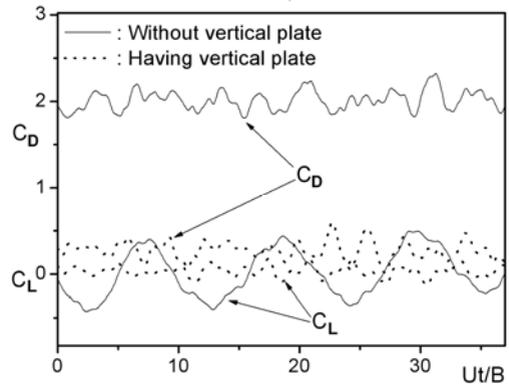


Figure 4: Time variations of lift and drag coefficients ( $H/B=0.4$ ,  $G/B=1.5$ )

그림에서 횡축은 일정류  $U$  및 측정시간  $t$ 를 정방형주의 한 변의 길이  $B$ 로 나누어 무차원화한 값이다. 그림은 각 계수 모두 10.24초 동안 각각 1,024개의 데이터를 취해서 선으로 연결한 것이다. 먼저 항력계수  $C_D$ 의 시간변화를 살펴보면 수직평판이 없는 실선에 비해 수직평판을 설치한 점선의 경우가 그 값은 매우 작게 나타나 있다. 그러나 진동 폭은 그다지 큰 차이를 보이지 않고 있다. 한편 양력계수  $C_L$ 의 변화를 살펴보면 실선, 점선 모두 0을 중심으로 진동하고 있으나, 그 진폭은 수직평판이 있는 점선 쪽이 수직평판이 없는 실선 쪽보다 훨씬 작게 나타나 있다. 즉 정방형주의 상류 측에 분리된 수직평판을 설치함으로써 항력을 저감시킬 수 있고, 또한 양력의 진폭을 대폭 줄일 수 있어 동적 안정성도 크게 향상시킬 수 있다.

Figure 5에 폭비  $H/B$ 가 다양한 수직평판에 있어 간격비  $G/B$ 에 따른 평균항력계수  $\overline{C_D}$  및 평균항력감소율  $\overline{R_D}$ 의 변화를 나타낸다. 여기서 평균항력

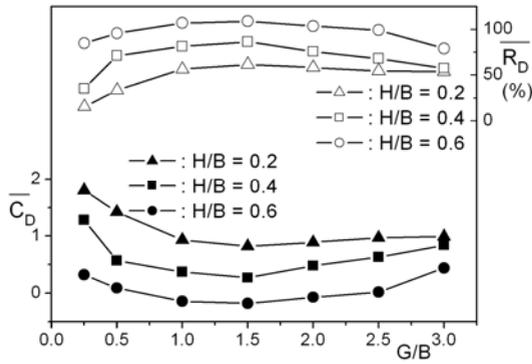


Figure 5: Average drag coefficients and drag reduction rates with  $G/B$  and  $H/B$

계수  $\overline{C_D}$ 의 각 점은 Figure 4에 나타난 1,024개의 항력계수  $C_D$ 값을 평균한 값이다. 평균항력감소율  $\overline{R_D}$ 는 식(4)에 나타난바와 같이 수직평판 설치에 의한 평균항력계수 감소량을 수직평판을 설치하지 않은 정방형주의 평균항력계수로 나눈 백분율을 의미한다. 먼저 Figure 5에서 간격비  $G/B$ 에 따른 평균항력계수  $\overline{C_D}$ 의 변화를 거시적으로 살펴보면 세가지 폭비에서 모두 간격비가 증가할수록 평균항력계수가 감소했다가  $G/B=1.5$ 에서 최소값을 갖으며, 그 후 간격비가 증가함에 따라 다소 증가하는 특성을 보이고 있다. 이때 평균항력감소율  $\overline{R_D}$ 는 간격비가 증가함에 따라 증가하다가  $G/B=1.5$ 에서 세 경우 모두 최대값을 나타내며, 그 후 간격비가 증가함에 따라 감소하고 있다. 한편 같은 간격비에 있어서는 수직평판의 폭비가 클수록 평균항력감소율이 크게 나타나 있다.

Figure 6에 폭비  $H/B$ 가 다양한 수직평판에 있어 간격비  $G/B$ 에 따른 양력계수 절대치의 평균값  $\overline{C_L}$  및 이 값에 의한 평균양력감소율  $\overline{R_L}$ 의 변화를 나타낸다. Figure 6에서 양력계수의 절대치를 평균한  $\overline{C_L}$ 의 각 점은 Figure 4에 나타난 1,024개의 양력계수  $C_L$ 값의 절대치를 평균한 값이다. 여기서 양력계수는 0점을 중심으로 진동하기 때문 시간평균하면 거의 0에 가까운 값을 갖게 된다. 그래서 양력에 의한 정방형주의 진폭, 즉 동적안정성을 파

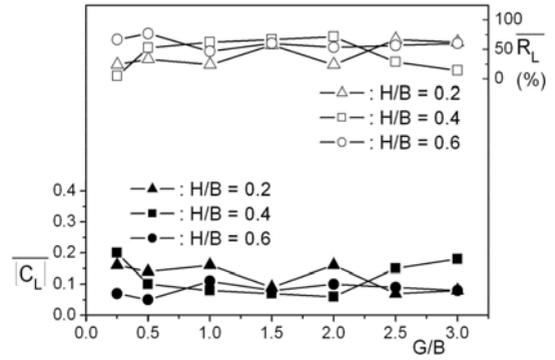


Figure 6: Average lift coefficients and lift reduction rates with  $G/B$  and  $H/B$

악하기 위해 양력계수의 절대치를 평균하였다. 또한 양력감소율  $\overline{R_L}$ 는 식 (3)에 나타난바와 같이 수직평판 설치에 의한 양력계수절대치의 감소량을 수직평판을 설치하지 않은 정방형주의 양력계수의 절대치를 평균한 양력계수로 나눈 백분율을 의미한다. Figure 6에서 간격비  $G/B$ 에 따른 평균양력계수  $\overline{C_L}$  및 평균양력감소율  $\overline{R_L}$ 의 변화를 살펴보면 세가지 폭비에서 모두 간격비가 증가하더라도 두 값 모두 거의 일정한 값을 유지하고 있다. 정방형주의 양력은 상류측에 설치한 수직평판 후류의 진동에 영향을 받는 데, 이는 수직평판의 크기 및 정방형주와의 거리에 그다지 영향을 받지 않고 있음을 의미하고 있다. 세가지 폭비에서 평균양력계수 및 평균양력감소율의 값을 각각 전체 평균해 보면  $\overline{C_L}=0.11$  및  $\overline{R_L}=48.1\%$ 를 나타내고 있어 정방형주 상류측에 수직평판을 설치하면 정방형주의 항력감소는 물론 양력의 진폭도 감소하여 동적안정성도 크게 개선됨을 알 수 있다.

### 3.2 유동장 특성

Figure 7에 나타난 바와 같이 정방형주 중심에서 후류방향으로 3.0B 떨어진 곳에서 측정된 일정류와 수직방향의 속도  $V$ 의 시간변화를 Figure 8에 나타낸다. Figure 8(a)는 수직평판을 갖지 않는 경우이고, (b)는 폭비  $H/B=0.4$  및 간격비  $G/B=1.5$ 인 수직평판을 갖는 경우이다. Figure 8(a) 및 (b)에 나타

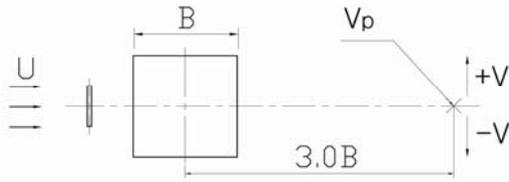
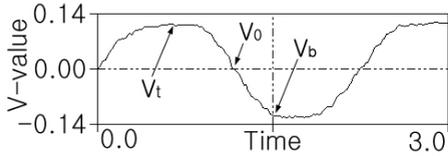
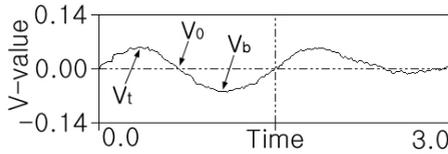


Figure 7: Pick up point of V-velocity



(a) Without vertical plate

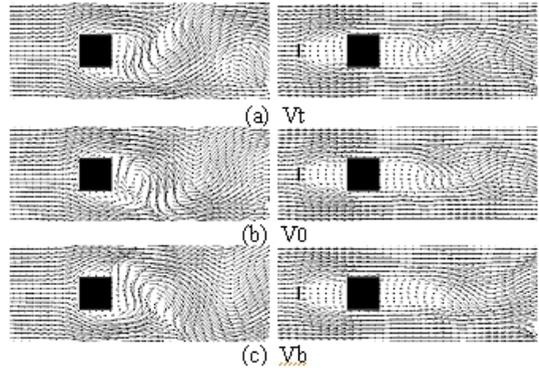


(b) H/B=0.4, G/B=1.5

Figure 8: Time variations of V-velocity at the wake region of square prism

넵바와 같이 두 경우 모두 속도변화의 주기성이 명확하게 나타나 있다. 또한 그 주기를 살펴보면 대략 Figure 8(a)의 경우 2.3초, (b)의 경우 1.5초 정도이다. 또한 Figure 8(a)에 비해 (b)의 경우가 진폭이 절반이하로 크게 감소하고 있다. 즉 수직평판을 설치함으로써 설치하지 않은 본래의 정방형주에 비해 후류측 속도 V의 진폭은 크게 감소하였으며, 주파수는 1.5배 이상 증가하였음을 알 수 있다.

Figure 9에 Figure 8의 Vt, Vo 및 Vb점에서의 속도벡터를 나타낸다. Figure 9에서 (a) Vt, (b)Vo 및 Vb는 각각 Figure 8의 Vp점에서 V방향의 속도 값이 최대, 0, 최소인 점의 속도벡터를 나타낸다. 먼저 수직평판이 없는 정방형주의 경우 Figure 9(i)에서는 후류가 크게 진동하고 있으며, 후류측 사수영역은 보이지 않고 있다. 그리고 이 경우 (a)와 (c)에서의 후류의 패턴이 서로 반대방향으로 나타나 있어 흐름의 주기성을 확인할 수 있다.

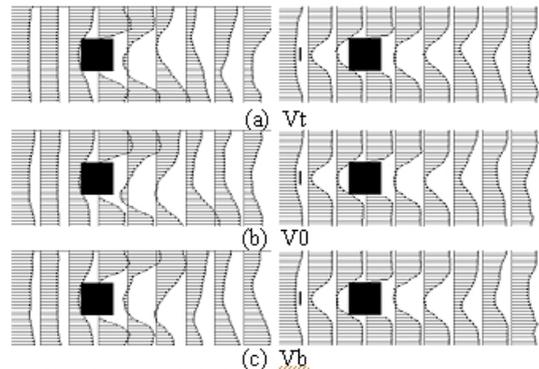


(i) Without vertical plate (ii) H/B=0.4, G/B=1.5

Figure 9: Instantaneous velocity vectors around square prism at Vt, Vo and Vb points of Figure 8

다음으로 수직평판이 있는 정방형주의 경우 Figure 9(ii)에서는 수직평판과 정방형주 사이에 흐름의 정체영역이 나타나 있고, 이것의 영향을 받아 정방형주 뒤편에도 시간에 관계없이 정방형주 앞쪽과 같은 크기의 사수영역이 나타나 있다. 사수영역 뒤쪽에는 후류가 진동하고 있으나, Figure 9(i)에 비해 그 진폭은 다소 감소하고 있다. 수직평판의 유무에 따른 이러한 흐름패턴의 변화가 Figure 8에 나타난 바와 같이 정방형주의 주파수와 진폭 변화를 초래한 것으로 판단된다.

Figure 10에 Figure 8의 Vt, Vo 및 Vb점에서의 속도분포를 나타낸다.

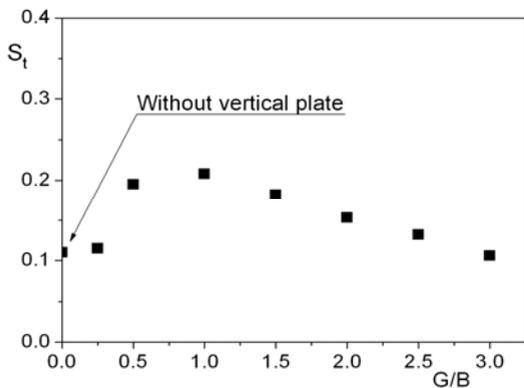


(i) Without vertical plate (ii) H/B=0.4, G/B=1.5

Figure 10: Instantaneous velocity profiles around square prism at Vt, Vo and Vb points of Figure 8

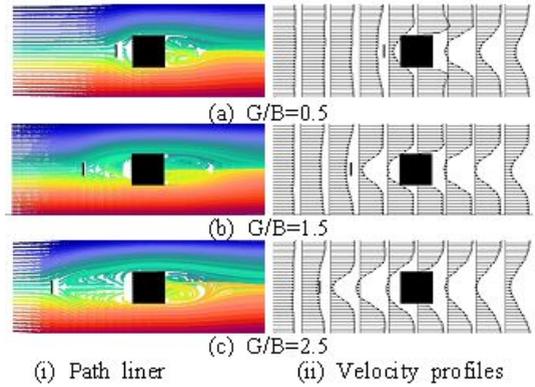
수직평판 유무에 따른 정방형주 주위의 속도분포를 비교해보면 수직평판이 없는 경우는 정방형주 후류측 속도분포가 크게 진동하는 데 비해, 수직평판이 있는 경우 **Figure 9**에서 언급한 바와 같이 정방형주 상류측과 하류측에 세 경우 모두 유사한 크기와 형태의 정체영역이 존재하고 있다. 또한 정방형주 중심을 수직으로 지나는 속도분포선을 비교해보면 수직평판이 없는 경우가 있는 경우에 비해 세 경우 모두 경계층 두께가 두껍게 나타나 있다. 이는 수직평판의 후류가 정방형주의 상, 하면의 경계층에 에너지를 공급해서, 이로 인해 정방형주 후류측 박리역을 감소시킨 것으로 판단된다. 특히 정방형주 상, 하류측 흐름의 정체영역이 정방형주 전, 후면의 압력차를 감소시켜 대폭적인 항력감소가 일어난 것으로 판단된다.

**Figure 11**에 수직평판의 폭비  $H/B=0.4$ 에 있어 간격비  $G/B$ 에 따른 Strouhal 수를 나타낸다. 이때 대표주파수는 **Figure 7**의  $V_p$ 점에서 측정했다. 여기서 Strouhal 수  $St$ 는 대표주파수에 정방형주 한 면의 길이를 곱한 값을 그 때의 일정류 값으로 나눈 무차원 값이다. **Figure 11**에 나타낸바와 같이  $G/B=1.0$ 에서 최대가 되며, 그 후 간격비가 증가할수록 감소하고 있다.



**Figure 11:** Strouhal number with  $G/B(H/B=0.4)$

**Figure 12**에 수직평판의 폭비  $H/B=0.4$ 에 있어 간격비  $G/B$ 에 따른 정방형주 주위의 시간평균 흐름 패턴을 나타낸다. **Figure 12(i)** 유적선을 살펴보면 간격비  $G/B$ 의 크기와 관계없이 정방형주 후류측



**Figure 12:** Average flow patterns around square prism with  $G/B$  at  $H/B=0.4$

상, 하면에는 서로 반대방향의 볼텍스가 존재하고 있고, **Figure 12(ii)**의 속도분포에서 알 수 있듯이 이 볼텍스로 인해 정체영역이 발생함을 알 수 있다. 또한 **Figure 12(ii)**의 속도분포에서 알 수 있듯이 수직평판과 정방형주 사이에도 정체영역이 존재하며 이 정체영역의 크기는 간격비  $G/B$ 가 클수록 크다.

**Figure 13**에 간격비  $G/B=1.5$ 에서 수직평판 폭비  $H/B$ 에 따른 정방형주 주위의 시간평균 흐름 패턴을 나타낸다. **Figure 13**에서 먼저 (i) 유적선을 보면 네 경우 모두 정방형주의 후류측의 상, 하에는 볼텍스가 존재하고 있다. (ii) 속도벡터장을 살펴보면 정방형주 상류측에 수직평판이 있는 경우 정방형주 전, 후면에 정체영역이 존재하고 있다. (iii) 속도분포에서 더 명확하게 알 수 있는데, 이 정체영역의 크기는 상류측은 수직평판의 폭비가 클수록 증가하는데 비해, 하류측은 오히려 감소하고 있다. 결과적으로 수직평판의 폭비가 증가할수록 정방형주 상, 하류측 정체영역 크기의 차이가 줄어들어 압력차도 감소하게 된다. 따라서 **Figure 5**에 나타낸 바와 같이 수직평판의 폭비가 증가할수록 평균항력계수가 감소하는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 정방형주의 상류측에 작은 수직평판 (Vertical plate)를 설치한 경우 정방형주의 주위의 유동장 특성을 양 · 항력측정 실험과 PIV를 이용한

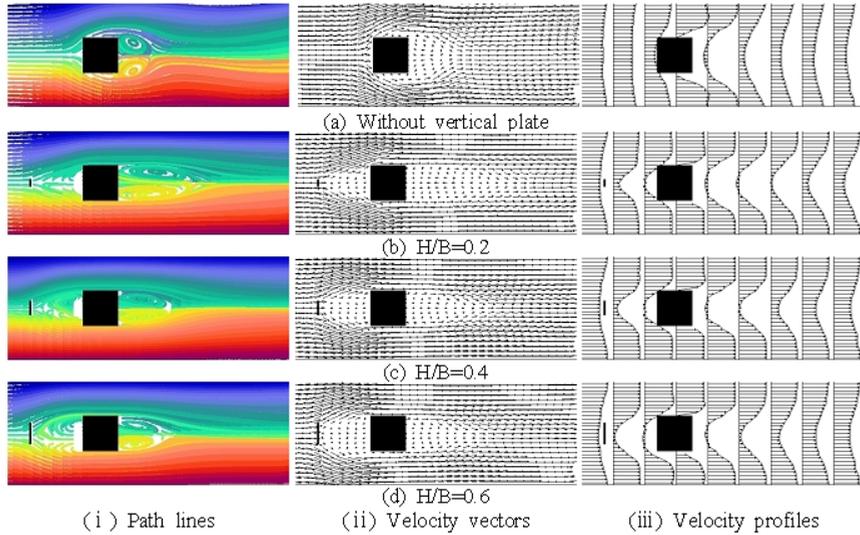


Figure 13: Average flow patterns around square prism with H/B at G/B=1.5

가시화 실험으로 파악한 것이다. 레이놀즈 수  $Re=1.0 \times 10^4$ 로 고정시키고, 폭비  $H/B=0.2, 0.4, 0.6$ 인 수직평판에 대해 간격비  $G/B$ 를  $G/B=0.0 \sim 3.0$ 범위 내에서 0.5씩 증가시켜가면서 정방형주에 작용하는 양, 항력의 감소특성 및 유동장 변화 특성을 조사했다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 양·항력의 시간변화를 측정해 본 결과 정방형주의 상류측에 수직평판을 설치한 경우가 본래의 정방형주에 비해 항력의 크기와 양력의 진폭이 대폭 감소했다.

(2) 수직평판의 폭비를 고정시킨 경우 정방형주의 항력감소율은 간격비가 증가할수록 증가하다 감소하는 특성을 보였다.

(3) 같은 간격비에서는 수직평판의 폭비가 클수록 정방형주의 항력감소율이 증가했다.

(4) 정방형주의 양력감소율은 수직평판의 폭비 및 간격비에 거의 영향을 받지 않았으며, 양력감소율의 평균치는 48.1% 정도였다.

(5) 정방형주의 Strouhal 수는 간격비가 증가할수록 증가하다 감소하는 특성을 보였다.

(6) 수직평판을 설치한 경우 정방형주 상류측과 하류측에 정체영역이 나타났으며, 그 크기는 상류측은 수직평판의 폭비가 클수록 증가하는데 비해, 하류측은 오히려 감소했다.

### 참고문헌

- [1] M. Gad-el-Hak, "Modern developments in flow control," Applied Mechanics, Reviews, vol. 49, no. 7, pp. 365, 1996.
- [2] T. Tamura and T. Miyagi, "The effect of turbulence on aerodynamic forces on a square cylinder with various corner shapes," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 83, pp. 135-145, 1999.
- [3] K. D. Ro and K. S. Kim, "Fluid force reduction characteristics of a square prism having fences on the corner", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 30, no. 3, pp. 389-395, 2006 (in Korean).
- [4] W. C. Park, "Effect of the length of a splitter plate on drag reduction," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B, vol. 17, no. 11, pp. 2809-2815, 1993 (in Korean).
- [5] C. J. Doolan, "Flat-plate interaction with the near wake of a square cylinder," The American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal, vol. 47, no. 2 pp. 475-478, 2009.

- [6] K. D. Ro, S. M. Yoon, D. H. Choi, J. H. Kim, and E. C. Sim, "Drag reduction on a square prism using a detached splitter plate", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 36, no. 6, pp. 808-813, 2012 (in Korean).
- [7] K. D. Ro, "Characteristic analysis of flowfield around a square prism having a detached splitter plate using the PIV", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 37, no. 4, pp.338-343, 2013 (in Korean).
- [8] H. Sakamoto, K. Tan, N. Takeuchi, and H. Haniu, "Suppression of fluid forces actiong on a square prism by passive control," Journal of Fluids Engineering, vol. 119, pp. 506-511, 1997.