

트리핑 와이어가 설치된 원형실린더 주위의 유동현상 연구

조민기† · 류병남* · 부정숙**

(원고접수일 : 2003년 8월 12일, 심사완료일 : 2003년 11월 17일)

Experimental Study on the Flow around a Circular Cylinder with Tripping Wires

Min-Gi Cho† · Byong-Nam Ryu* · Jung-Sook Boo**

Abstract : The flow characteristic in the wake around a circular cylinder with tripping wires, which was set in constant distance, was experimentally investigated in the uniform flow. $Re=2.92 \times 10^4$. The measurement of velocity vector and pressure distribution are carried out various angles of tripping wires in the range of 50° to 80° with 10° interval. The results show that velocity profiles and pressure distributions are different with angles of tripping wires. The drag of the circular cylinder was decreased about 60 % maximum when tripping wires' angle was 50° . The lowest reduction of the velocity and wake width was occurred by coanda effect when the angle was 60° , and the vortex shedding periodicity become rare at the same time.

Key words : Tripping wire(트리핑와이어), Coanda effect(코안다효과), Phase average(위상 평균), Vortex shedding(와류출), Strouhal number(스트로할 수)

1. 서 론

유체를 취급하는 공학적인 장치에 있어서 유체의 흐름은 난류유동으로 와류를 수반하고 있다. 특히 뭉툭한 물체(bluff body)는 유동이 박리(separation)하는 각종 구조물의 일반적인 형태이며, 여기에 작용하는 유체력을 감소시키기 위한 연구는 매우 중요하다고 할 수 있다.^[1] 또한 건축물이나 각종 구조물 및 고속차량에 작용하는 유체

력의 평가는 구조강도상 필요할 뿐만 아니라 주기적으로 유출되는 와열이 구조물 등의 진동에 관련되기 때문에, 와의 생성 및 억제에 관한 메카니즘을 이해하는 것은 실용적인 문제에 있어서 중요한 의미를 가진다고 볼 수 있다.

유동을 제어하기 위한 많은 연구는 지금까지 활발하게 진행되고 있고 제어 방법들도 다양하게 개발되고 있다. 일반적으로 뭉툭한 물체에 작용하는 유동의 제어방법에는 제어영역에 따라 크게 표면

† 책임저자(부산대학교 대학원 기계공학과) T : 051) 510-3221

* 부산대학교 대학원 기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

경계층 제어, 박리전단층 제어 그리고 후류 제어로 나눌 수 있으며, 외부동력의 공급유무와 기하학적 모양에 따라 능동제어기법(active control method)과 수동제어기법(passive control technique)으로 나눌 수 있다. 능동제어기법은 음향효과, 유체의 흡입(suction)이나 분출(blowing), 물체의 진동, 표면온도제어 그리고 다른 물질의 혼합 등을 이용한 것으로 원리상 외부동력의 공급을 필요로 한다. 반면에 기하학적 모양을 바꿈으로써 유동을 제어하는 수동제어기법은 제어원주(control cylinder), 트리핑와이어(tripping wire), riblet, spiral strake 등을 사용한다.

제어원주를 이용한 수동적 제어에 관한 기존의 연구를 정리하면 다음과 같다. Igarashi & Tsutsui^(2,3)는 제어원주의 위치에 따라 20~30%의 항력감소를 확인하였으며, 이는 원주와 제어원주 사이를 지나가는 재부착 제트(reattachment jet)에 기인한다고 설명하였고, Sakamoto⁽⁴⁾등은 제어원주의 위치에 따른 원주의 표면압력을 측정하여 최대 50%의 항력감소가 발생한다는 것을 알아내었다. 또한 김⁽⁵⁾등은 원주에, 부⁽⁶⁾등은 정방형주에 각각 제어원주를 설치하여 그 위치에 따른 압력분포 및 후류의 유동 특성을 연구한 바 있다.

본 연구에서는 원주표면에서 일정간격으로 떨어진 곳에 트리핑와이어를 설치하여 이를 원주방향으로 변화시키면서 이미 알고 있는 원주의 박리점, 항력 및 와류출주파수 등의 사실을 바탕으로 트리핑와이어의 위치에 따른 속도측정 및 가시화 실험을 이용하여 와류출 특성 및 후류유동특성을 규명하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 실험에서 사용한 풍동은 전체길이가 4,950 mm이고, 시험구간의 크기는 305 mm(폭)×305 mm(높이)×2,430 mm(길이)인 개회로 노즐형의 아음속 풍동을 사용하였다. 풍동 입구에는 40 메쉬의 스크린을 설치하였고, 평균유속 12.0 m/s 에서 5 mm 간격으로 벽면을 제외한 58 지점에서

각 지점 당 4,096 개씩 측정된 데이터를 정리한 결과, 시험구간의 난류강도는 약 2%이었다.

Fig. 1은 본 실험에서 사용된 실험모델과 그 좌표계이다. 여기서 X와 Y는 각각 유동방향과 유동에 수직방향을 나타낸다. 트리핑와이어의 설치각도는 좌표계의 중심에서 유동의 역 방향으로 연장한 선을 기준선으로 하여 트리핑와이어의 중심과 원주의 중심을 연결한 선 사이의 각을 측정하여 ϕ 로 표시하였다.

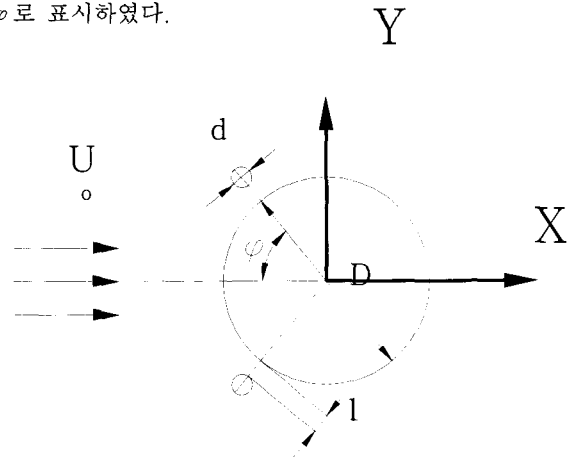


Fig. 1 Fixed circular cylinder with tripping wires.

실험에서 사용한 원주는 PVC관으로 직경(D)은 38 mm 이고, 트리핑와이어의 직경(d)은 3 mm 그리고 원주와 트리핑와이어의 간격(l)은 3 mm로 하였고, 원주는 시험구간 입구에서 900 mm 지점에 설치하였다. 본 실험에서의 실험변수는 트리핑와이어의 설치각도 ϕ 이고, 설치각도는 50°, 60°, 70°, 80°로 하였다. 자유유동속도 U_0 는 12.0 m/s 이었으며, 이때 레이놀즈 수(Reynolds number)는 약 2.92×10^4 이다. 후류의 유동측정에는 정온형 열선풍속계(TSI, model IFA 300)와 X형 열선프로브(Kanomax, model 0252R-T5)를 사용하였다.

원주의 표면압력을 측정하기 위해 표면에 직경 2 mm의 정압공을 뚫고, 외경 1.8 mm, 내경 0.8 mm의 동관을 심어 트리핑와이어의 설치각도에 따라 0°에서 180°까지 10°간격으로 평균압력을 측정하였다. 이상의 실험조건을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Conditions of experiment.

Freestream velocity	12.0 m/s ($Re=2.92 \times 10^4$)
Diameter	Circular cylinder : 38 mm Tripping wire : 3 mm
Blockage ratio	12.4 %
Measuring point	X/D=5.0 Y/D=-3.0-3.0 (0.2D, 31 point)
Angle of tripping wire	50°, 60°, 70°, 80°
Sampling condition	Sampling frequency : 10 kHz Data number : 4,096 Ensemble number : 10

트리핑와이어의 위치에 따라 후류유동장의 변화를 관찰하기 위해 $X/D=5.0$, $-3.0 \leq Y/D \leq 3.0$ 범위에서 난류신호를 측정하였다. 0.2D 간격으로 총 31 개 점에서 측정하였고, 열선의 교정은 Look-up table 기법을 이용하였으며, 데이터의 추출간격은 100 μs (10 kHz), 측정점당 4,096 개씩 10회의 앙상블(ensemble)을 취하였다. 이상의 측정시스템도는 Fig. 2와 같다.

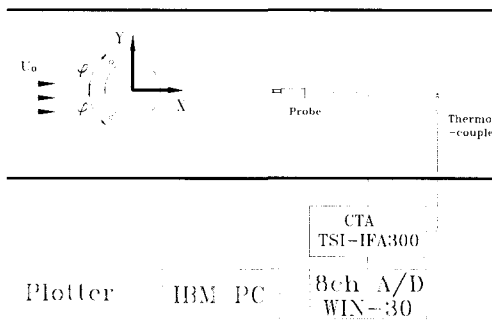


Fig. 2 Measuring and data processing system.

한편 원형실린더의 길이를 기준으로 한 종횡비 (aspect ratio)는 8.0이고, 폐쇄비(blockage ratio)는 12.4 %로 유동성질이 단지 X, Y의 2차 원에만 지배적으로 취급되므로 본 연구에서는 이의 영향을 무시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 후류 유동장

Fig. 3은 원주 중심을 기준으로 $X/D=5.0$,

$Y/D = \pm 3.0$ 의 영역에서 Y방향으로 0.2D씩 이송 하면서 측정한 U-속도성분의 시간평균 속도분포를 각각의 트리핑와이어의 위치에 따라 나타낸 것이다. 먼저 $\phi = 50^\circ, 60^\circ$ 의 경우 원주에 비해 후류폭이 감소한 것을 볼 수 있으며 특히 $\phi = 60^\circ$ 의 경우에는 속도회복이 크게 나타났다. 이는 박리점이 지연되어 나타난 결과로 생각되며, 자세한 것은 Fig. 12의 압력계수 분포에서 다시 설명 하겠다. 하류로 진행되는 유동이 원주와 트리핑와이어의 틈새에서 속도가 증가되었고, 이렇게 증가된 속도가 틈새를 지나면서 제트(jet)같은 역할을 함으로써 코안다효과(coanda effect)를 발생시킬 것으로 생각되며, 이 경우 유동이 원주에 부착되는 효과가 발생할 것으로 생각된다. Igarashi & Tsutsui^(2,3)가 원주와 제어원주 사이를 지나는 재부착 제트를 코안다효과의 개념을 도입하여 설명한 바 있는데 이와 관련이 깊은 것으로 생각된다.

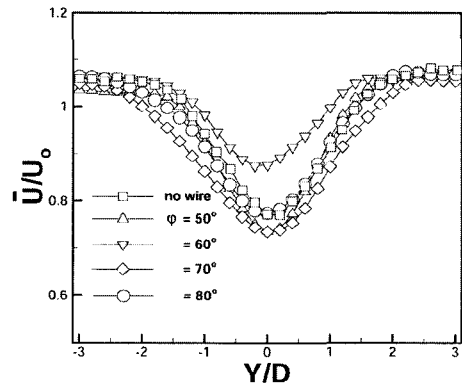


Fig. 3 Comparison of the time mean velocity, U/U_o for angles of tripping wires.

$\phi = 50^\circ$ 인 경우에는 후류 중심에서 원주에 비해 3~4 % 정도 낮은 평균속도 결손을 보이고 있으며, $\phi = 60^\circ$ 인 경우는 15 % 정도의 평균속도 회복을 보이고 있다. 이는 트리핑와이어 위치에 따라 틈새를 지나는 유동의 기울기 차이로 생각되며, 이러한 기울기의 차이가 후류 중심에서의 유입시점에 영향을 준 것으로 생각된다. $\phi = 50^\circ$ 인 경우 박리가 지연되어 후류폭은 작아졌으나 후류 중심에서의 유입은 느려지게 되어 넓은 속도결손 분포를 보인 것으로 생각된다. $\phi = 60^\circ$ 인 경우는

Fig. 6 (c)에서 알 수 있듯이 코안다효과로 후류 중심에서의 유입이 빠르게 되고 유체간의 운동량 교환이 적절하게 이루어져서 후류폭의 감소와 가장 큰 속도회복을 보인 것으로 생각된다. $\varphi = 70^\circ, 80^\circ$ 의 경우는 $\varphi = 50^\circ, 60^\circ$ 의 경우에 비해서 틈새를 지나는 유동보다 트리핑와이어 외부로 흐르는 유동이 증가하여 후류폭의 증가와 속도결손을 보인 것으로 생각되며, 특히 $\varphi = 70^\circ$ 의 경우 $\varphi = 80^\circ$ 에 비해서도 후류폭과 속도결손이 크게 나타났다.

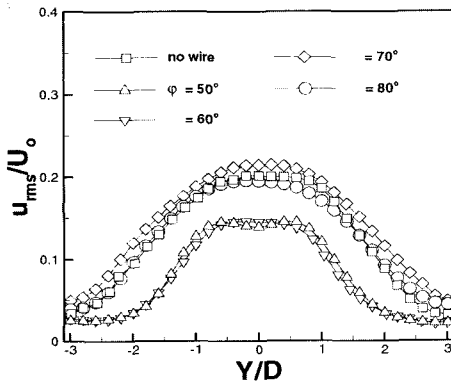


Fig. 4 The streamwise turbulent intensity for angles of tripping wires

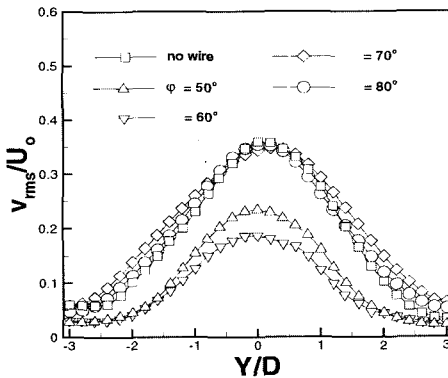


Fig. 5 The lateral turbulent intensity for angles of tripping wires

Fig. 4는 트리핑와이어의 위치에 따른 U-속도 성분의 난류강도를 나타낸 것이다. $\varphi = 50^\circ, 60^\circ$ 의 경우는 원주에 비해 후류 중심에서 약 5~6% 정도의 낮은 값을 보이고 있고, 난류폭도 상당히 줄어들었음을 볼 수 있다. 이는 후류폭의 감소와

도 관련이 깊은 것으로 생각된다. $\varphi = 70^\circ, 80^\circ$ 의 경우는 원주와 비슷한 난류강도를 보이고 있으나 $\varphi = 70^\circ$ 의 경우 원주보다 약간 높은 난류강도를 보이고 있다.

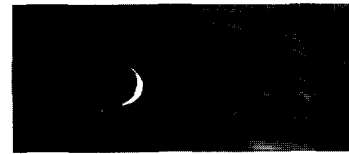
Fig. 5는 V-속도성분의 난류강도분포를 나타낸 것으로 전체적으로 U-속도성분의 난류강도분포보다 높은 값을 보이고 있다. $\varphi = 50^\circ, 60^\circ$ 의 경우 U-속도성분과 마찬가지로 다른 경우에 비해 낮은 난류강도분포를 보이고 있으며, $\varphi = 60^\circ$ 의 경우에는 $-1.5 \leq Y/D \leq 1.5$ 의 영역에서 $\varphi = 50^\circ$ 에 비해 서도 낮은 분포를 보이고 있다.



(a) Circular cylinder



(b) $\varphi = 50^\circ$



(c) $\varphi = 60^\circ$



(d) $\varphi = 70^\circ$



(e) $\varphi = 80^\circ$

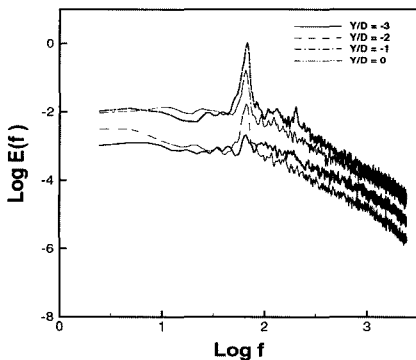
Fig. 6 Flow visualization with tripping wires

Fig. 6에 나타낸 그림은 트리핑와이어 위치에 따라 스모크 와이어를 이용한 유동가시화 결과를 나타낸 것이며, 이때 자유유동속도는 1.0 m/s로 하였다. 사진에서 알 수 있듯이 트리핑와이어 위치에 따라 상부와 하부의 자유유선 사이의 길이인 후류폭과 후류중심선을 가로지르는 유입류의 위치에 차이가 있음을 볼 수 있다.

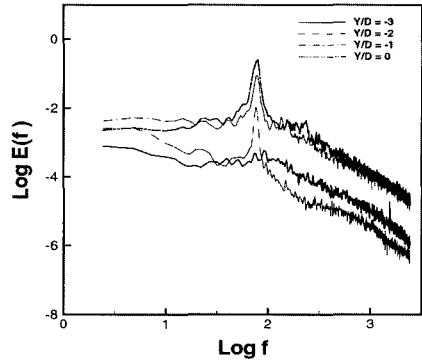
$\varphi = 50^\circ, 60^\circ$ 의 경우 틈새를 지나는 유동에 의한 후류폭의 감소를 볼 수 있으며, 특히 $\varphi = 60^\circ$ 의 경우 후류중심선을 가로지르는 유동이 트리핑와이어가 없는 원주에 비해 상류측에 위치해 있음을 볼 수 있다. $\varphi = 70^\circ, 80^\circ$ 의 경우 틈새를 지나는 뚜렷한 유선을 볼 수 없으며, 트리핑와이어가 위치한 지점에서 트리핑와이어의 외부로 전단층이 형성되는 것을 볼 수 있다. 이는 박리점에 영향을 줄 것으로 생각되며, Fig. 12에서 자세히 설명하겠다.

3.2 와유출 특성

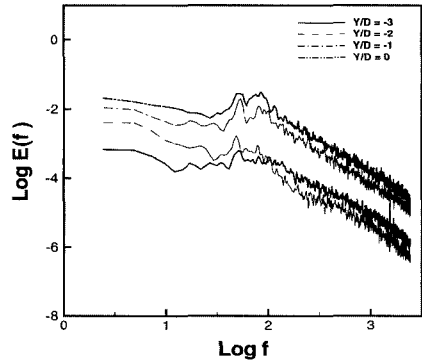
트리핑와이어의 각 위치에 따른 와유출 특성을 살펴보기 위해서 $X/D=5.0, -3.0 \leq Y/D \leq 3.0$ 의 범위에서 측정된 V-속도성분에 대하여 주파수 분석을 하였다. 먼저 Fig. 7은 V-속도성분의 파워스펙트럼 분석을 나타낸 것이다. 전체적으로 뚜렷한 와유출 주파수를 확인할 수 있으나 $\varphi = 60^\circ$ 인 경우는 다른 경우들에 비해 뚜렷한 정점(peak)을 확인할 수 없다.



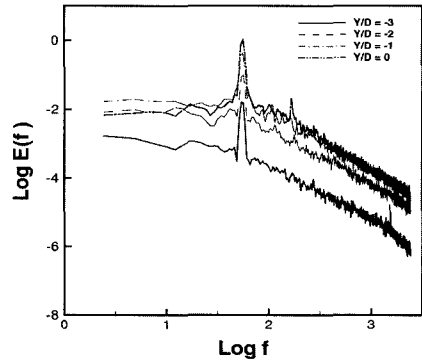
(a) Circular cylinder



(b) $\varphi = 50^\circ$



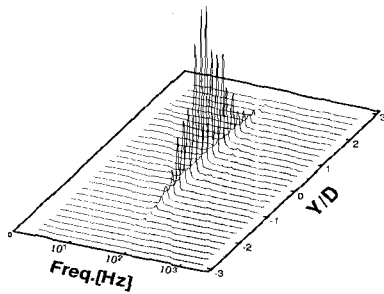
(c) $\varphi = 60^\circ$



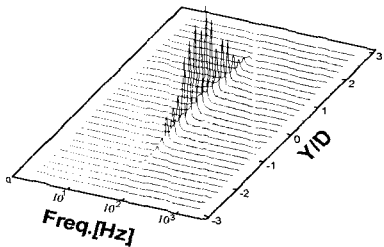
(d) $\varphi = 70^\circ$

Fig. 7 Power spectrums for angle of tripping wire

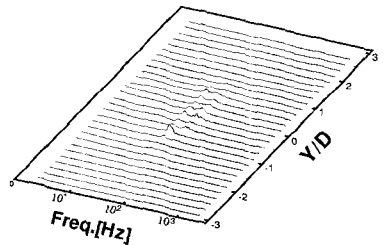
이는 $\varphi = 60^\circ$ 인 경우가 다른 경우들에 비해 와유출의 주기성이 떨어지는 것을 의미하는데, 이는 틈새를 지나는 유동이 다른 경우들에 비해 후류중심으로의 유입이 규칙적이지 못하고, 그로 인한 유체간의 운동량 교환이 어느정도 활발해진 결과로 생각된다.



(a) Circular cylinder



(b) $\varphi = 50^\circ$



(c) $\varphi = 60^\circ$

Fig. 8 Power spectra of lateral velocity for angle of tripping wire

$\varphi = 70^\circ$ 의 경우는 와유출 주파수가 원주보다 낮게 나타나는데, 이는 앞서 설명한 트리핑와이어의 위치에 따른 트리핑와이어 외부로 형성되는 전단층이 원주에 비해 유입되는 시점이 느려지게 되어 그로 인한 와유출의 감소가 나타난 것으로 생각된다. 김^[5]은 X형 열선프로브를 사용하여 $X/D = 4.0$ 위치에서 제어원주의 지름변화에 대한 스펙트럼 해석을 하였다. 그 결과 제어원주를 원주 주위에 장착한 경우 원주의 와유출주파수보다 낮은 주파수 특성을 보인다고 하였다. 그러나 본 실험에서 $\varphi = 50^\circ$ 의 경우는 와유출주파수가 원주에 비해

높게 나타났으며, 이는 트리핑와이어 위치에 따라 와유출주파수가 원주에 비해 높은 주파수 특성을 보인다고 생각된다.

Fig. 8은 각 지점에서 측정된 데이터를 주파수 변환하여 앙상블 평균을 취한 것이다. $\varphi = 50^\circ$, 60° 의 경우는 원주에 비해서 ± 3.0 에서 원주 중심으로 평활화되는 영역이 넓어지는 것을 확인할 수 있었고, 참고로 $\varphi = 70^\circ$, 80° 의 경우에는 이 영역이 좁게 나타났다. 이는 앞서 언급한 후류폭의 감소와 관련이 깊은 것으로 생각된다. 또한 $\varphi = 60^\circ$ 의 경우 파워스펙트럼의 극대치가 원주에 비해 가장 큰 감소를 보였으며, 이는 와유출의 주기성이 떨어지는 것을 의미하며, Fig. 7(c)에서 이에 고찰한 바 있다.

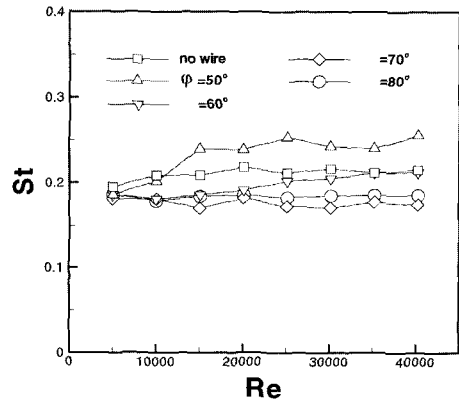


Fig. 9 Strouhal number with tripping wires

Fig. 9는 트리핑와이어의 각 위치에 따른 레이놀즈 수 증가에 대한 스트로할 수(Strouhal number)를 나타낸 것이다. 원주의 경우 레이놀즈 수 증가에 따라 스트로할 수는 0.2 부근에서 일정한 분포를 보이고 있으며, $\varphi = 50^\circ$ 의 경우는 레이놀즈 수의 증가에 따라 스트로할 수 역시 증가하는 것을 볼 수 있다. $\varphi = 60^\circ$ 의 경우 $Re = 10000$ 일 때는 원주보다 낮은 스트로할 수를 보였으나 레이놀즈 수 증가에 따라 조금씩 증가하는 것을 확인할 수 있다. $\varphi = 70^\circ$, 80° 의 경우는 원주보다 낮은 스트로할 수를 가지며 일정한 값을 유지하고 있다.

Igarashi^[7]는 트리핑와이어가 설치된 원주에

대한 연구에서 스트로할 수의 변화를 항력계수와 관련하여 설명하였는데, 레이놀즈 수 증가에 따른 스트로할 수의 증가는 항력계수의 감소를 그리고 원주보다 낮은 스트로할 수 분포는 항력계수의 증가를 보인다고 하였다. 이는 뒤에 언급할 배압분포 결과와 관련이 깊은 것으로 생각된다.

3.3 위상평균에 의한 후류구조 특성

Fig. 10은 위상평균에 의해 얻어진 $\langle U \rangle$ 성분을 위상별 Y-방향분포로 나타낸 것이다. 전체적으로 후류중심선(Y/D=0.0)에 대해 위상차 180° 주기로 선대칭 된 분포를 보이고 있으나 $\varphi = 60^\circ$ 의 경우는 위상에 따른 큰 변화를 볼 수 없다. 위상 $\theta = 0^\circ, 180^\circ, 360^\circ$ 의 분포에서 최대치에서 감소하면서 U_0 선과 만나는 지점 부근이 와 중심이 위치하는 곳으로 추정되며, $\varphi = 60^\circ$ 의 경우 와 중심을 잘 관찰 할 수 없으며, 이는 후에 언급될 벡터선도와 비교를 통해서도 관찰할 수 있다.

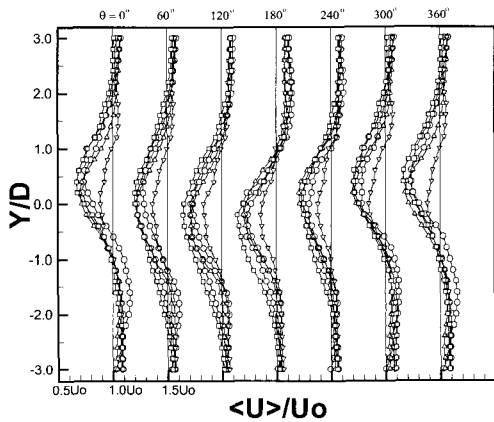
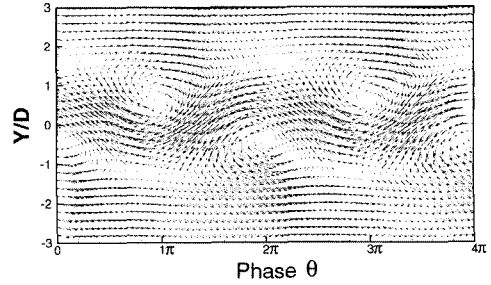
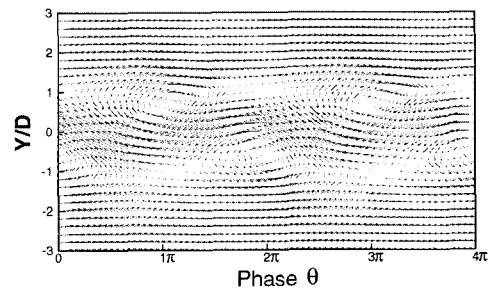


Fig. 10 Distribution of phase averaged velocity, $\langle U \rangle/U_0$ across the flow cross section (\square : No wire, \triangle : $\varphi = 50^\circ$, ∇ : $\varphi = 60^\circ$, \diamond : $\varphi = 70^\circ$, \circ : $\varphi = 80^\circ$)

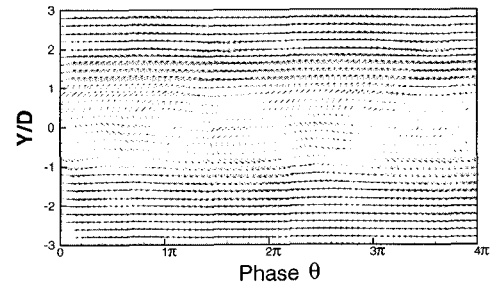
Fig. 11은 위상평균된 속도를 와 이동속도, U_c 로 관찰자가 이동하면서 관찰한 위상평균 속도의 벡터장 (velocity vector fields: $\langle U \rangle - U_c, \langle V \rangle$)을 도시한 것이다. 와 이동 속도는 후류 중심선 상하의 가속부와 감속부에 있는 응집와의 중심속도



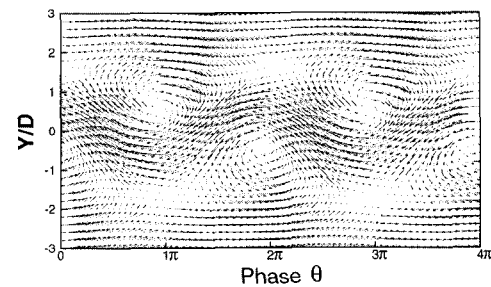
(a) Circular cylinder



(b) $\varphi = 50^\circ$



(c) $\varphi = 60^\circ$



(d) $\varphi = 70^\circ$

Fig. 11 Velocity vector fields ($\langle U \rangle - U_c, \langle V \rangle$) of the large scale structure of angles of tripping wires

를 구해 이의 평균값을 취하였다. 벡터장에서 보면 응집와 중심주위를 후류중심선 상하에서 각각 서로 반대 방향으로 회전하는 응집와를 볼 수 있으며, $\varphi = 50^\circ, 60^\circ$ 의 경우 다른 경우에 비해 와의 형태가 변형된 것을 볼 수 있다. $\varphi = 50^\circ$ 의 경우는 원주에 비해 상하 와중심간의 거리가 크고, $\varphi = 60^\circ$ 의 경우는 후류 중심부근에서 와의 응집구조를 잘 볼 수 없다. 특히 $\varphi = 60^\circ$ 의 경우 다른 경우에 비해 후류 중심부근에서의 작아진 벡터길이를 볼 수 있는데, 이는 와유출주파수의 주기성이 희박하여 위상평균된 $\langle U \rangle$ -속도성분의 변동폭이 작아진 결과로 생각된다.

3.4 압력분포

Fig. 12는 트리핑와이어의 각 위치 φ 의 변화에 따른 평균압력분포를 나타낸 것이다. 전체적으로 트리핑와이어가 설치된 경우 정체점으로부터 트리핑와이어가 설치된 각도 사이의 압력계수 값은 원주에 비해 큰 값을 나타내었고, 트리핑와이어가 설치된 각도부터 압력계수값이 떨어지는 것을 볼 수 있다. $\varphi = 50^\circ$ 의 경우 120° 까지 원주보다 높은 압력회복을 보였으며, $\varphi = 60^\circ$ 의 경우 110° 까지 원주와 비슷한 압력회복을 보였다. 또한, $\varphi = 70^\circ$ 의 경우는 $70^\circ \sim 290^\circ$ 사이의 압력분포가 일정한 것을 볼 수 있으며, $\varphi = 80^\circ$ 의 경우는 $\varphi = 70^\circ$ 에 비해서도 낮은 압력회복을 보이고 있으며, $140^\circ \sim 220^\circ$ 에서는 또 한번의 압력강하를 볼 수 있다.

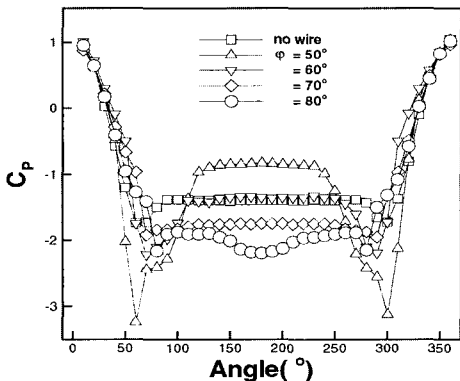


Fig. 12 Distribution of pressure coefficient for tripping wires.

따라서 $\varphi = 50^\circ, 60^\circ$ 의 경우 원주에 비해 박리가 지연되었다고 볼 수 있으며, $\varphi = 70^\circ, 80^\circ$ 의 경우 트리핑와이어 외부로 흐르는 유동의 증가로 인하여 원주배면에서의 압력회복이 잘 되지 않은 것으로 생각된다.

Table 2는 측정된 압력계수를 이용하여 계산한 항력계수 값을 트리핑와이어의 위치에 따라 나타낸 것이다. $\varphi = 50^\circ$ 의 경우 원주의 항력계수인 1.2에 비해 약 60 %정도 낮은 항력계수를 나타내었고, $\varphi = 60^\circ$ 의 경우는 원주에 비해 약 10 %정도 높은 항력계수를 보이고 있다. 그리고 $\varphi = 70^\circ, 80^\circ$ 는 항력계수가 계속 증가하는 것을 볼 수 있다. 이상의 결과에서 보면 원주 배면에서의 압력회복 정도에 따라 항력계수의 차이를 볼 수 있다. 그러나 $\varphi = 60^\circ$ 의 경우는 원주에 비해 박리점이 지연되고, 원주 배면에서 원주와 비슷한 압력회복을 보였으나 항력계수가 증가한 것은 정체점에서부터 트리핑와이어가 설치된 각도 사이의 압력상승이 가장 큰 원인으로 생각된다. 또한, $\varphi = 70^\circ, 80^\circ$ 의 항력계수 상승요인은 원주 배면에서의 낮은 압력회복이 원인이며, 이는 원주와 트리핑와이어 사이로 빠져나가는 유동에 비해 트리핑와이어 외부로 흐르는 유동의 증가에 의한 결과로 생각된다.

Table 2 Drag coefficient.

Angle (φ)	Circular cylinder	50°	60°	70°	80°
C_D	1.2	0.47	1.33	1.68	1.93

Sakamoto 등⁽⁴⁾($Re = 6.9 \times 10^4, D = 49$ mm)의 연구에서는 트리핑와이어와 원주사이의 거리 (1)의 변화에 따른 항력계수는 $\varphi = 60^\circ$ 에서 가장 큰 감소를 보였고, $\varphi = 70^\circ$ 까지 증가양상을 보이나 원주보다 낮은 경향을 보였다. 김⁽⁵⁾($Re = 4.2 \times 10^4, D = 35$ mm)은 $\varphi = 65^\circ$ 에서 트리핑와이어와 원주사이의 거리의 변화에 따른 항력계수는 원주보다 큰 항력 값을 보인다. 이상의 선행연구를 본 실험결과와 비교한 것을 Table 3에 나타내었다. l/D 와 d/D 가 항력계수에 영향을 주는 제어 변수임을 확인할 수 있었으며, l/D 의 변화에 비해

d/D가 최대항력계수 감소위치를 관련이 있다고 생각되며, 이는 좀더 많은 연구가 필요하리라 생각된다.

Table 3 Drag coefficient at $\phi=65^\circ$.

	d/D	l/D	C_D
Present study	0.079	0.079	1.53
Sakamoto ^[4]	0.061	0.061~0.122	0.78~1.12
Kim ^[2,3]	0.086	0.1~0.242	1.26~1.36
	0.142	0.1~0.242	1.35~1.56

4. 결 론

원주표면에 경계층 제어를 위하여 트리핑와이어를 설치하고 $Re=2.92 \times 10^4$, 제어원주 설치각도 $\phi=50^\circ \sim 80^\circ$ 범위에서 속도장과 배압을 측정할 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 원주와 트리핑와이어 사이를 지나는 유동은 트리핑와이어의 설치각도에 따라 다른 경향을 보였고, 박리를 지연시킨 트리핑와이어의 설치각도는 $50^\circ, 60^\circ$ 이었다.

2. 트리핑와이어의 설치각도가 60° 일 때, 코안다 효과에 의한 영향으로 속도회복 및 후류폭 감소 그리고 U, V-속도성분의 난류강도는 감소하였으나 항력은 원주에 비해 증가하였다.

3. 트리핑와이어의 설치각도가 60° 일 때, 와류출의 주기성이 가장 희박하였으며, 스트로할 수 증가는 항력감소와 관련이 깊었다.

4. 트리핑와이어의 설치각도에 따라 압력계수분포로부터 트리핑와이어의 설치각도가 50° 일 때, 최대 60 % 정도의 항력감소를 확인하였다.

참고문헌

[1] Bearman, P.W and Trueman, D.M., "An Investigation of the Flow around Rectangular Cylinder", *aeronaut.q.*, Vol.23 pp.229~237, 1972.
 [2] 五十嵐保, 筒井敬之, "小円柱による円柱まわりの流れの制御に関する研究," 日本機械學會論

文集 55卷 511號, pp.701-714, 1989.
 [3] 五十嵐保, 筒井敬之, "小円柱による円柱まわりの流れの制御に関する研究(第3報, 背面に浴う付着暁流の特性)," 日本機械學會論文集 57卷 533號, pp.8-13, 1991.
 [4] 板本弘志, 羽二生博之, 松原忍, "円柱の流體力制御とその効果の解明(小円柱による制御)," 日本機械學會論文集 57卷 535號, pp.882-890, 1991.
 [5] 김대훈, 이상준, "제어봉에 의한 원주 주위 유동제어에 관한 연구", 한국항공우주학회 논문집, 제20권, 제3호, pp.68~74, 1992.
 [6] 부정숙, 양종필, 정양범, "박리전단층 제어에 의한 정방형주 후류의 유동특성에 관한 실험적 연구", 대한기계학회 논문집, 제17권, 제11호, pp.2840~2849, 1993.
 [7] Igarashi T., "Effect of Tripping Wires on the Flow around a Circular Cylinder Normal to Airstream", *Bulletin fo JSME*, Vol.29, No.255, pp.1917~1924, 1986.
 [8] 부정숙, 류병남, 심정훈, "회전하는 제어원주가 설치된 원주후류의 유동장에 관한 연구", 한국박용기관학회지, 제24권, 제3호, pp.318~329, 2000.

저 자 소 개



조민기 (趙敏紀)

1976년 8월생, 2002년 부산대학교 기계공학부 졸업, 2004년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 2004년~현재 삼성전자 DA사업부 근무.



류병남 (柳秉男)

1965년 9월생, 1990년 부산대학교 기계공학과 졸업, 1992년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 1992년~1999년 현대중공업 산업기술연구소 근무, 2003년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사), 2003년~현재 부산테크노파크 기술거래팀장.

**부정숙 (夫禎淑)**

1944년 7월생. 1968년 부산대학교 기계공학과 졸업. 1975년 경북대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1986년 경북대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사). 1972년~현재 부산대학교 기계공학부 교수.