

표면압력이 상호 간섭되는 슬릿을 가진 원주의 후류 유동 특성

부정숙[†] · 김진석* · 류병남**

(원고접수일 : 2003년 2월 7일, 심사완료일 : 2003년 6월 19일)

The Flow Characteristics around Circular Cylinder of Pressure Interference with Slits

Jun-Sook Boo[†] · Jin-Seok Kim* · Byung-Nam Ryu**

Key words : Conditional Phase Average Technique(조건부 위상평균법), Pressure Interference(압력 간섭), Slit(슬릿), Vortex Formation Region(와형성영역)

Abstract

This study is conducted to investigate aerodynamic forces and wake structures about the pressure interference of a circular cylinder with slits. An experimental investigation of a circular cylinder with slits is carried out in uniform flow in the range of Reynolds number from 8,000 to 32,000 using X-type hot wire. Flow visualization is executed by smoke-wire method to understand the mechanism of these vortex formation process. Inspection in the wake at $X/D=5.5$ of the cylinder with the slits suggested that a strong vortex-shedding pattern for these cylinders is revealed compare with a circular cylinder without slits. It is found that the rolling up position of shear layer of the cylinder with slits is shorten compare with a circular cylinder without slits.

1. 서 론

뿔뿔한 물체(blunt body)에 수반되는 와류출에 대한 연구는 공학적인 측면뿐만 아니라 산업적인 측면에서도 응용범위가 넓어 현재 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 원주(circular cylinder)는 다리교각, 안테나, 케이블, 열교환기 등 그 예가 수없이 많으며 뿔뿔한 물체의 전형적

인 모델이라고 할 수 있다. 유동속에 놓인 원주는 각종 구조물의 일반적인 형태로 여기에 작용하는 공력(aerodynamic force)을 경감시키는 것은 공학적으로 매우 중요한 의미를 갖는다. 원주에 대한 연구는 오래 전부터 여러 변수들의 종합적 영향으로부터 각 변수들의 개별적인 영향을 구별해 내고자 하는 연구들이 많이 수행되어 왔다.

박리유동에서 전단층제어를 통한 와형성영역의

[†] 책임저자(부산대학교 기계공학부 기계기술연구소), E-mail:jsboo@pusan.ac.kr, T:051)510-2302

* 대림기업(주) 개발과

** 부산대학교 기계기술연구소

위치변화 및 유출되는 와의 세기를 억제하는 것은 물체에 작용하는 힘을 감소시키는데 필수적인 문제라 할 수 있다. 원주주위의 유동을 제어하는 방법은 크게 경계층제어와 후류제어의 두 가지를 들 수 있다. 경계층을 제어하는 방법으로는 원주의 회전과 원주표면의 일부 또는 전체에 홈을 가공하는 방법이 있다^(1~4). Hayashi⁽⁴⁾의 경우 원주표면의 홈을 통해 유동을 붙어냄으로써 양력발생의 효과를 연구하였는데, 이 같은 경우는 적극적인 방법이라고 할 수 있다.

반면 후류제어는 와유출과 밀접한 관계를 가진 와형성영역의 길이를 분리판(splitter plate)과 같은 물체를 이용하여 인위적으로 원주후류를 제어하여 와유출에 영향을 미칠수 있는 방법으로, 스포일러와 같은 부착물을 원주전단층내에 장착함으로써 박리된 전단층을 원주후면으로 강제로 재부착시켜 원주에 작용하는 공기저항을 감소시키고 와류유출을 제어하는 효과를 거둘 수 있다^(5~7).

본 연구에서 관심을 두고 있는 것은 물체표면을 가공하여 물체내부와 외부의 압력차에 의한 유동의 흡입효과가 물체후류에 미치는 영향에 대한 것이다. 선행연구들을 살펴보면, Olsen⁽¹⁾은 슬릿의 각도를 변화시키고, 또한 원주에 오목한 홈이 있는 경우에 대하여 레이놀즈 수(Reynolds number)를 변화시켜 가면서 주위유동에 대해 연구한 바 있다. 그 결과 슬릿이 있는 원주는 일반원주와 비교해 와유출이 더 안정적이며 강하고 항력계수가 증가하였고, 슬릿과 원주 뒷면에 오목한 홈이 있는 경우는 슬릿이 있는 경우와 비교해 와유출이 더욱 안정적이며, 강하고, 항력계수 역시 증가한다는 것을 밝혔다. Yajima와 Sano⁽²⁾는 속이 빈 원주에 관통하는 홀(hole)을 가공하여 양력계수 값의 변화를 알아보려고 했다. 홀의 각이 0°에서는 약 30%의 양력감소효과가 있었으며, 원주의 앞과 뒷면의 압력차가 홀로 인해 줄게 되고, 이는 vortex의 생성을 늦추는 효과를 가져왔으며, 후류영역을 좁게하였다. 0°와 60°사이에서는 약 40%의 양력감소효과를 보였으며 각이 작을 경우 유체의 분출에 의해 와류형성이 지연되고 압력의 차이를 줄이는 것이 슬릿과 유사하였다. 하지만 각이

커질 경우(60°의 경우), 양력계수값이 슬릿을 장착한 경우와 홈이 있는 경우의 분포가 반대로 나타나는 것을 보고하였다.

Popiel⁽³⁾ 등은 슬릿과 원주후면의 홈이 있는 모델의 경우 일반원주와 비해 후류의 와형성이 강하게 나타남을 가시화실험을 통해 조사하였고 레이놀즈 수가 250~4,300에서 스트로할 수가 일정하게 나타나는 것을 조사하였다.

이상의 선행연구들을 바탕으로, 본 연구에서는 원주주위를 지나는 유동의 각 위치에서 속도와 압력분포가 다르다는 것에 기인하여 슬릿의 위치에 따른 유동변화와 슬릿에 의한 흡입효과를 슬릿의 각 위치별 특징을 살펴보고, 후류유동장변화를 조사하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 전체길이가 6,375 mm이고 시험부의 크기가 305 mm(폭)×305 mm(높이)×3,200 mm(길이)인 개회로 노즐형의 흡입식 아음속 풍동을 사용하였다. 공기는 3상 교류전동기(3.7 kw)로 구동되는 축류송풍기에 의해 흡입되고 노즐형의 수축부와 시험구간을 거쳐 송풍기를 통해 유출된다. 인버터(inverter)를 이용하여 최대유속인 약 30.0 m/s까지 가변하여 조절할 수 있다.

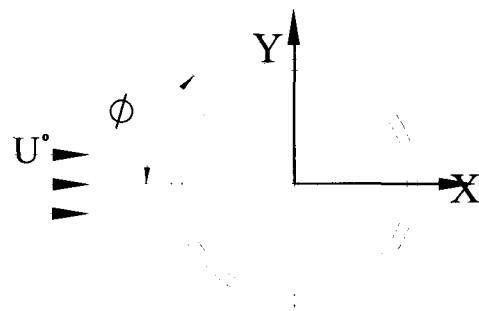


Fig. 1 Schematic diagram of model

Fig. 1은 본 실험에 사용된 모델의 형상으로써, X와 Y는 각각 유동방향과 이에 수직방향을 나타

낸다. 실험에서 사용한 원주의 직경은 40 mm이고, 자유흐름방향에 수직되게 Z-방향으로 설치하였다. 유동이 새어나가지 못하도록 원주의 위와 아래를 밀폐하여 슬릿간의 압력만이 서로 간섭하도록 하였으며 두께 3 mm의 아크릴판을 사용하였다. 슬릿의 폭이 3 mm이고, 65° 부터 5° 간격으로 110° 까지 10 가지 모델을 제작하여 실험을 수행하였다.

모든 모델에 대해 $X/D=5.5$, $-3.0 \leq Y/D \leq 3.0$ 의 영역에서 후류유동장을 측정하여 각 모델에 따른 영향을 살펴보고, 후류에 발생하는 대규모 와(vortex)를 보다 구체적이고 조직적으로 파악하기 위하여 조건부 위상평균기법(conditional phase average technique)을 적용하여 속도벡터장을 구함과 동시에, 와의 거동에 대한 보다 자세한 해석을 위하여 유동가시화실험을 병행하여 와의 생성 메커니즘을 조사하였다. 데이터획득에는 정온형열선풍속계(TSI, IFA 300)와 X형 열선(Kanomax, 0252-T5)을 이용하였으며, 개략도는 Fig. 2와 같다.

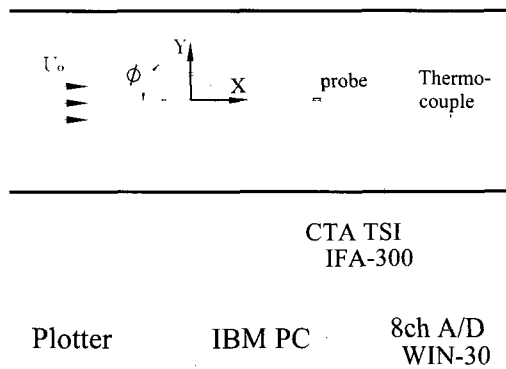


Fig. 2 Schematic diagram of measuring and data processing system

Fig. 3은 가시화장치의 개략도를 나타낸 것이다. 먼저 스모크(smoke)가 잘 보이도록 하기 위하여 피사체 뒤쪽에 검은색종이를 부착하였고, 측정 모델의 상류 측 280 mm 전방에 0.3 mm 두께의 니크롬선을 모델과 직각이 되도록 설치하였다. 풍동내의 유속은 1.0 m/s에 고정시킨 후 니크롬선

에 액체파라핀(liquid paraffin)을 균일하게 맺히도록 한 후 슬라이다스(slidax)를 사용하여 전압을 조절하면서 연기를 발생시켰으며 할로겐램프(halogen lamp)와 디지털 캠코더를 이용하여 화상을 획득하여 영상처리보드로 처리하였다.

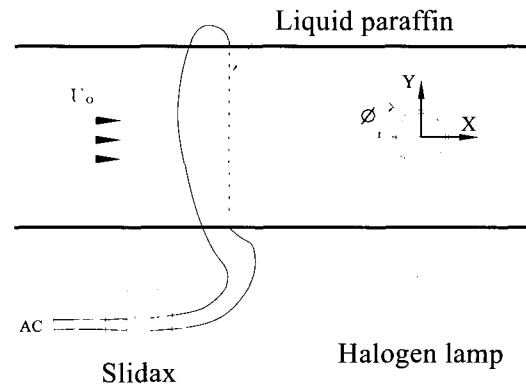


Fig. 3 Schematic diagram of visualization experiment system

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유동 가시화

Fig. 4는 가시화실험 결과로 (a)부터 (f)까지 슬릿이 위치한 지점의 각도가 커질수록 와형성영역(vortex formation region)의 길이가 점점 감소하여 85° 까지 계속 감소를 하는 것을 살펴 볼 수 있으며, 슬릿이 위치한 지점의 각도가 90° ~ 100°의 경우는 가시화사진으로는 와형성영역의 길이를 구분하기가 힘들만큼 작아져 있음을 알 수 있다. 90° ~ 100°의 경우 박리점 이후에 슬릿이 설치되어 박리된 유동을 직접 흡입하여 흡입의 효과가 가장 큰 것으로 예상된다. 그리고 105° 이후부터는 다시 증가하는 것을 확인할 수 있는데 이것은 박리된 유동과의 거리가 멀어 흡입의 효과가 적은 것으로 생각된다. 와형성영역의 길이가 변화하는 것은 원주의 앞과 뒤의 압력차로 인한 것으로 보이며, 또한 슬릿에 의한 흡입효과로 인해 박리이후의 유동이 크게 변하는 것으로 예상된다. (1)의 경우는 원주의 속을 막아 유동이 흡입되지

못하도록 장치하였으며, 이 경우 95° 에서 가장 짧게 나타나던 와형성영역의 길이가 일반원주와 거의 동일하게 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 이로써 슬릿에 의한 흡입의 영향을 다시 확인할 수 있다.

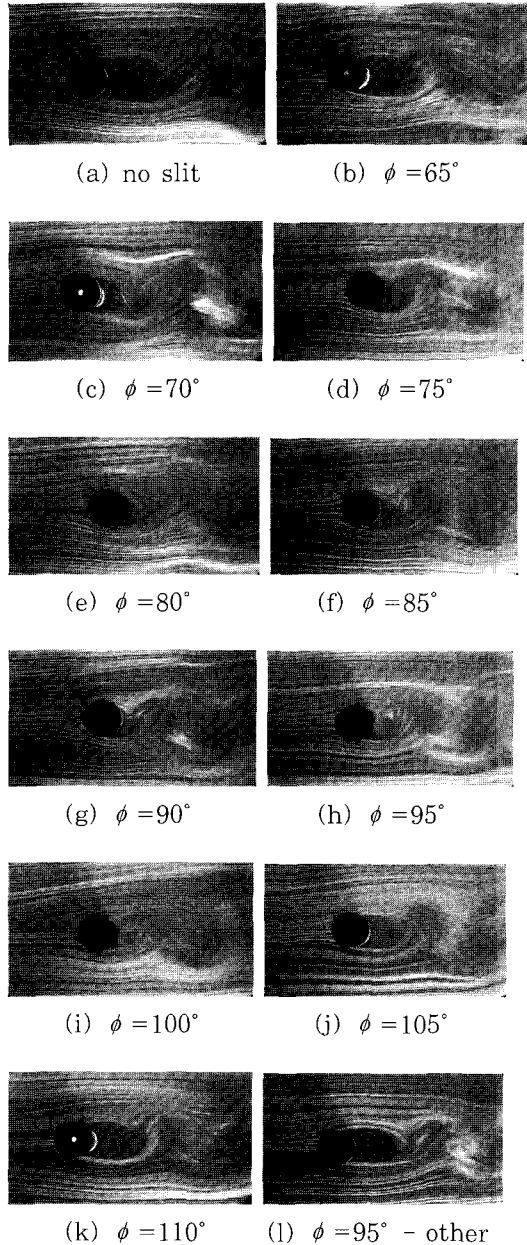
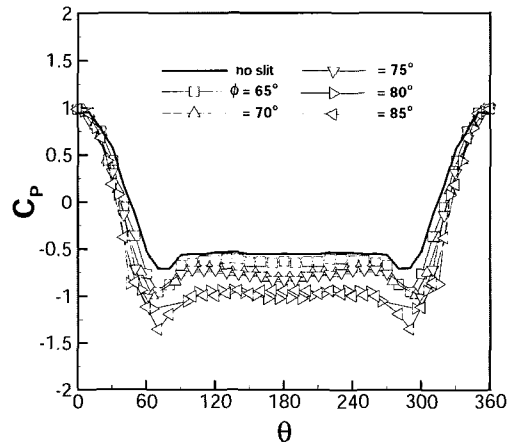


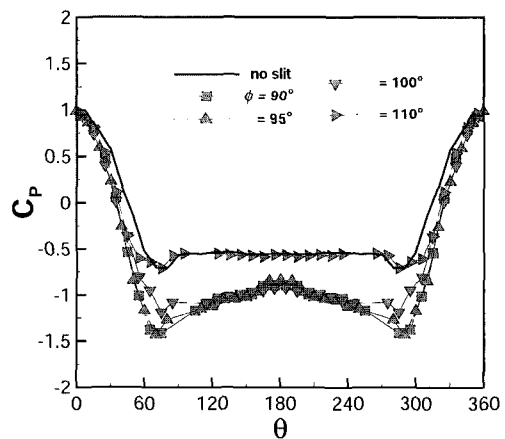
Fig. 4 Flow visualization results

3.2 평균압력분포

Fig. 5는 슬릿을 가진 원주표면의 압력계수분포 (C_p)를 나타낸 것이다. 정압측정을 위해 원주표면에 10° 간격으로 구멍을 뚫고, 여기에 내경 1.0 mm, 외경 1.8 mm의 동파이프를 심고, 비닐튜브를 연결하여 미세압력계를 이용하여 평균압력값을 측정하였다. 그러나 슬릿이 있는 경우 슬릿의 크기가 3 mm이고 슬릿의 위치가 5° 간격이기 때문에 부득이하게 각 모델에 따라 5° 씩 어긋나게 측정하였다. 슬릿의 양옆에 위치한 압력구멍은 슬릿중심에서 15° 떨어져 있으며 이후는 10° 간격으로 가공하였다.



(a) $65^\circ \leq \phi \leq 85^\circ$



(b) $90^\circ \leq \phi \leq 110^\circ$

Fig. 5 Pressure coefficient distributions

(a)의 경우 슬릿이 없는 일반원주와 비교하여 슬릿이 있는 경우가 원주표면의 압력계수가 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있고, 슬릿의 각도가 증가함에 따라 압력계수가 점차적으로 낮아지는 것을 살펴볼 수 있다. 이로 인해 가시화결과에서 검토했던 바와 같이 슬릿의 위치에 따라 원주의 전면과 후면의 압력차가 와형성영역의 길이를 변화시키는 것을 알 수 있었다. (b)에서는 $90^\circ \sim 100^\circ$ 의 경우 가장 낮은 압력분포를 보이고 있으며, 110° 의 경우는 일반원주와 거의 동일한 분포를 보이고 있다. 이 역시 가시화결과에서 살펴본 바와 같이 $90^\circ \sim 100^\circ$ 의 범위에서 와형성영역의 길이가 가장 작게 나타난 것과 압력차가 가장 크게 나타나는 것으로 미루어 보아 원주의 전면과 후면의 압력차로 인해 와형성영역의 길이변화가 발생한다고 생각된다. 그리고 110° 의 경우 와형성영역의 길이가 다시 증가하였고, 압력차도 줄어들었다.

각 모델의 최저압력계수를 나타내는 지점은 70° 부근으로 비슷하게 분포하며, 박리점 역시 85° 부근으로 비슷하게 나타났다. 이로 인해 슬릿에 의한 박리점의 변화는 거의 없는 것으로 보이며, 유동을 흡입하는 효과로 인해 박리된 유동의 이동경로가 슬릿의 위치에 따라 달라진다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 각 모델의 내부에서 측정된 압력을 나타낸 것이다. 슬릿의 각도가 65° 부터 95° 까지 증가할수록 원주내부의 압력은 낮아지고 있으며, 100° 이후에 압력은 급격한 회복을 보이고 있다. 원주내부의 압력이 낮음으로 인해 원주주위를 지나는 유동을 원주내로 흡입하는 것으로 보인다. 슬릿의 각도가 95° 부근에서 가장 압력이 낮은 값을 보이는 것으로 보아 이 경우의 흡입효과가 가장 큰 것으로 생각된다. 이는 위에서 살펴본 가시화결과와 압력분포결과와 비교하여 잘 일치한다는 것을 알 수 있다. 그리고 100° 이후의 모델의 경우 다른 모델에 비해 원주내의 압력이 높게 나타났으며, 이로 인해 슬릿에 의한 흡입효과가 떨어질 것으로 생각된다.

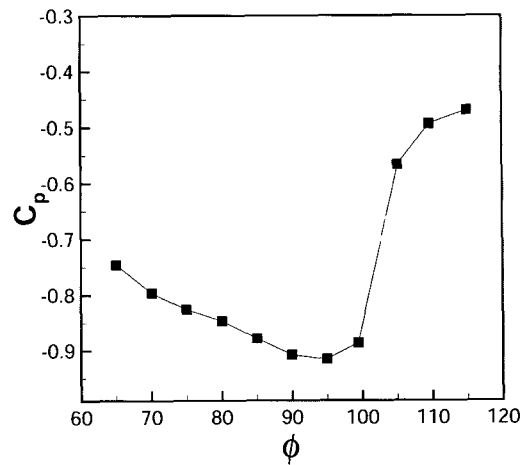
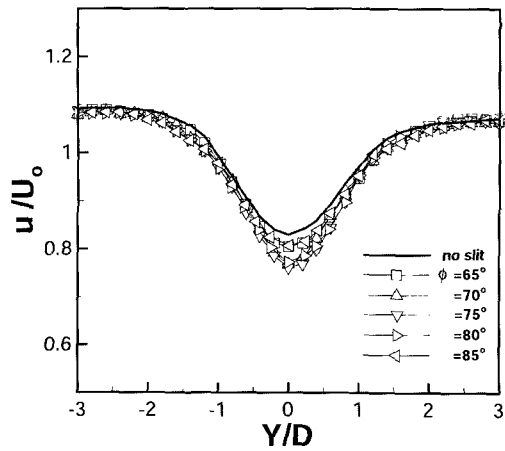


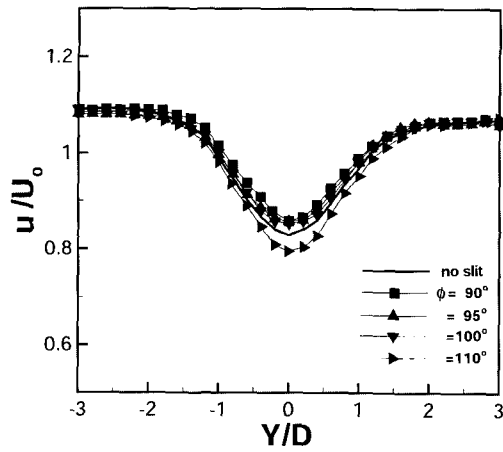
Fig. 6 Pressure coefficients of inner cylinder

3.3 평균속도 및 난류강도분포

Fig. 7은 자유흐름속도 U_0 가 6.0 m/s, 원주 중심으로부터 $X/D=5.5$, $Y/D=\pm 3.0$ 에서 $0.2D$ 씩 이송하면서 측정된 평균속도분포이다. 속도측정은 X-형 열선을 이용하여 수행되었으며, 데이터의 추출간격은 $100 \mu\text{m}$ (10 kHz)이었고 각 지점당 4,096 개씩 20 회의 앙상블을 취하였다. 65° 부터 80° 까지 슬릿의 각도가 증가할수록 속도결손과 후류폭이 증가함을 볼 수 있다. 원주후면에서의 속도회복이 늦어지는 것은 물체주위를 지나는 유동의 에너지손실이 많다는 것을 알 수 있다. 그러나 슬릿의 위치가 85° 에서 다시 속도회복이 좋아지는 것을 알 수 있는데, 85° 의 경우 슬릿의 위치가 박리점 부근에 위치할 것으로 예상되며 에너지를 소실한 유체를 슬릿을 통해 흡입하는 과정에서 에너지손실이 다른 모델에 비해 적은 것으로 생각된다. (b)에 $90^\circ \sim 100^\circ$ 의 경우를 살펴보면, 박리점 이후에 위치한 슬릿의 경우 에너지손실은 더욱 작아지는 것으로 보인다. 이 경우 일반원주와 비교하여 오히려 속도회복이 더 빠르게 나타났다.



(a) $65^\circ \leq \phi \leq 85^\circ$

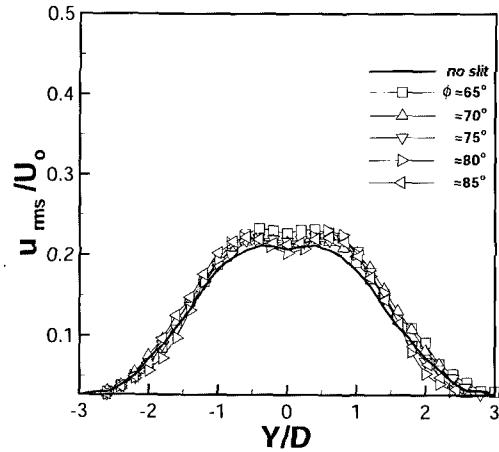


(b) $90^\circ \leq \phi \leq 110^\circ$

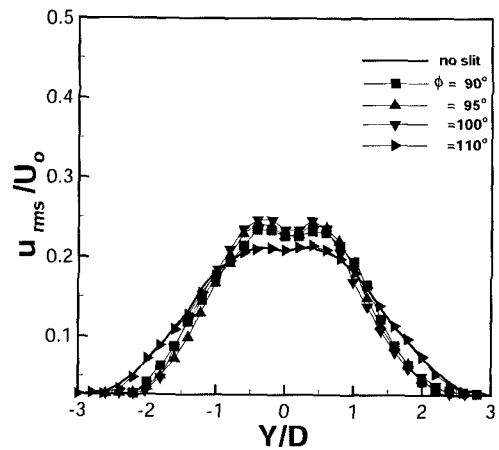
Fig. 7 Mean velocity distributions in Y-direction

Fig. 8은 유동방향의 난류강도 분포를 나타낸 것이다. 슬릿이 있는 경우 전체적으로 일반원주와 비교하여 난류강도가 조금 강하게 나타났으며, 슬릿의 위치가 $65^\circ \sim 85^\circ$ 범위에서는 슬릿위치에 따른 별다른 차이점이 나타나지 않았지만, 슬릿을 가진 원주가 일반원주에 비해 난류강도분포의 폭과 크기가 조금 증가함을 알 수 있다. 이는 평균속도분포에서 살펴본 바와 같이 슬릿을 가진 원주가 일반원주에 비해 후류폭이 증가하는 현상과 잘 연관된다. 슬릿의 위치가 $90^\circ \sim 100^\circ$ 의 경우 난류강도가 좁고 강하게 나타났다. 평균속도분포에서 살펴본 바와 같이 이 모델들의 경우 에너지손실이

일반원주보다 적었고, 박리점 이후에 위치함에 따라 박리된 유동을 흡입하여 하류의 경계층을 바꾸는 역할을 하는 것으로 보인다.



(a) $65^\circ \leq \phi \leq 85^\circ$

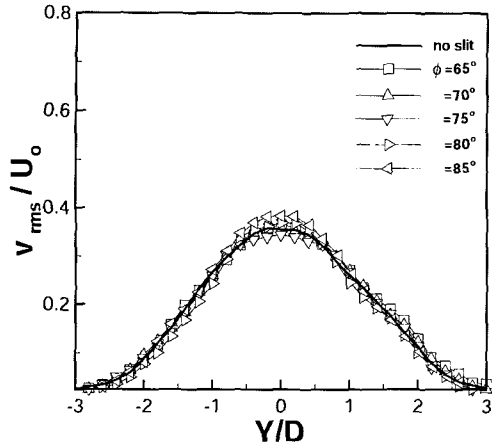


(b) $90^\circ \leq \phi \leq 110^\circ$

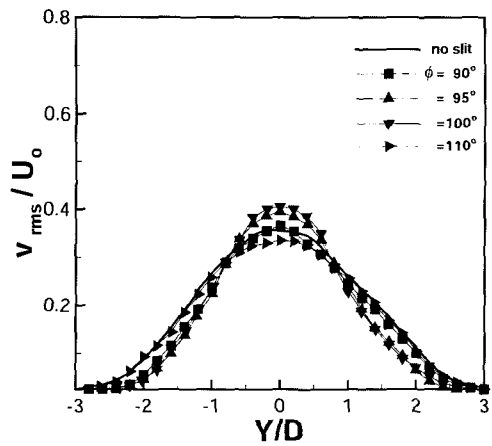
Fig. 8 Distributions of streamwise turbulent intensity

Fig. 9는 유동방향과 수직방향의 난류강도분포를 나타낸 것이다. Fig. 8의 유동방향의 난류강도분포와는 달리 (a)의 경우 $65^\circ \sim 85^\circ$ 의 경우 일반원주와 비교하여 거의 비슷한 분포를 나타내고 있으며 80° 에서 조금 강하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 각 모델에 따른 특징을 구별할 만큼의 변화는 발생하지 않았다. (b)의 경우는 슬릿

의 위치가 $90^\circ \sim 100^\circ$ 에서는 유동방향의 난류강도분포와 같이 좁고 강한 난류강도분포를 보이고 있으며 110° 의 경우는 일반원주와 비교하여 난류강도분포가 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다.



(a) $65^\circ \leq \phi \leq 85^\circ$



(b) $90^\circ \leq \phi \leq 110^\circ$

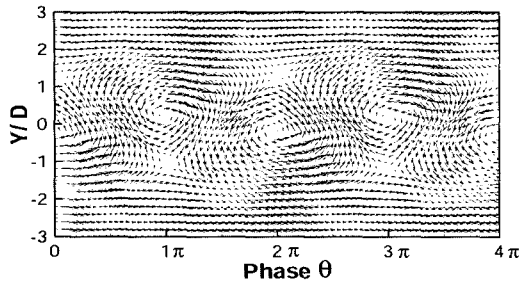
Fig. 9 Distributions of lateral turbulent intensity

3.4 위상평균에 의한 후류구조 특성

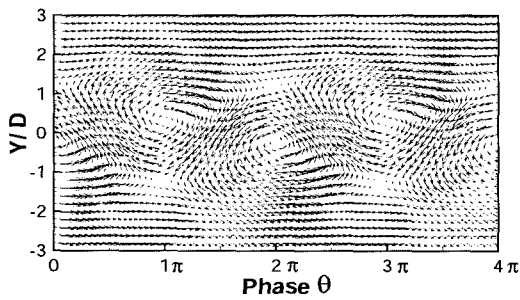
조건부 위상평균법은 선택된 응집와의 신호를 같은 위상에 대해 상대적으로 정렬(phase align)시킨 후 이를 앙상블평균(ensemble average)하여 응집구조의 특정 기준점에서의 위상평균된 정보를 얻을 수 있는 방법이다. 조건부추출을 위한

기준신호로서 후류내 각 측정점에서의 Y-방향 속도 성분인 V신호를 와류출주파수 f를 중심으로 디지털 대역필터(digital band pass filter)에 의해 저주파 및 고주파성분을 제거하여 생성한 정현파에 가까운 형태의 검출신호(detection signal)를 취하였다. 이 방법은 기준신호와 측정신호를 따로 취함으로써 생기는 신호왜곡(signal jittering)을 피할 수 있는 장점이 있다. 일반적으로 대규모 와의 구조를 파악하기 위하여 조건부 샘플링기법에 의한 위상평균법을 사용하여 유동 특성을 분석하게 되는데 이 방법을 적용하기 위해서는 규칙적인 주기를 가진 와열(vortex street)이 형성되어야 하며, 생성 및 소멸과 같은 메커니즘이 어느 정도 반복적으로 나타나야만 가능하다. 따라서 $X/D=5.5$, $-3.0 \leq Y/D \leq 3.0$ 의 위치에서 측정한 신호에 대해 이 기법을 적용해 보았다.

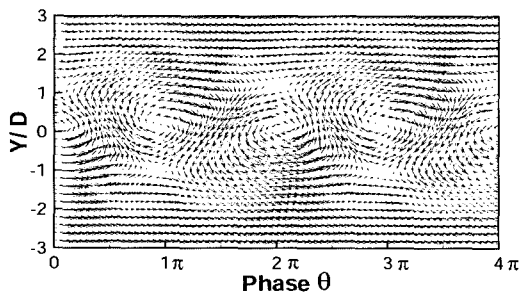
Fig. 10은 위상평균된 속도를 와이동속도(convection velocity, U_c)로 관찰자가 이동하면서 관찰한 위상평균속도의 벡터장(vector field)을 도시한 것이다. 여기서 와이동속도는 위상평균에 의해 얻어진 $\langle U \rangle$ 성분을 위상별로 나누었을 때, 후류중심선 상하의 가속부와 감속부에 있는 응집와의 중심속도를 구해 이의 평균값을 취한다. 벡터장을 살펴보면 응집와의 중심주위를 후류중심선 상하에서 각각 서로 반대방향으로 회전하는 응집와가 존재하며, 또한 대규모 응집와의 중심을 확연히 볼 수 있다. Table 1은 위상평균속도의 벡터장의 Y-방향에서 응집와의 중심간 거리를 나타낸 것이다. 일반원주의 경우 속도벡터장에서 응집와의 중심간의 Y-방향거리는 0.36이고, 슬릿이 위치한 각도가 65° 에서 75° 까지는 각각 0.362, 0.717, 0.880으로 증가하고 있다. 이는 후류폭이 커지는 것을 의미하며 평균속도분포에서 살펴본 바와 같다. 80° 와 85° 의 경우 Y-방향의 응집와의 중심간 거리는 0.52로 와가 미치는 영역의 크기는 일반원주에 비해 큼을 알 수 있다. 그러나 90° 와 95° 의 경우는 0.018과 0.164로 거의 일직선상에 있음을 볼 수 있다. 응집와의 중심간의 X-방향의 거리는 전 모델에서 거의 동일하게 나타났다.



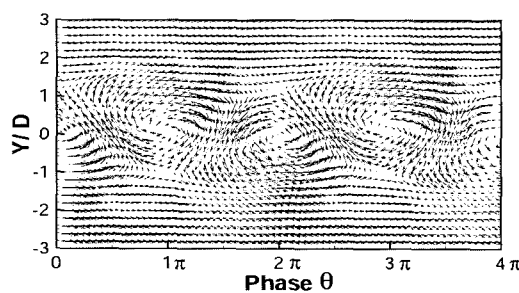
(a) no slit



(b) $\phi = 85^\circ$



(c) $\phi = 90^\circ$



(d) $\phi = 95^\circ$

Fig. 10 Velocity vector fields ($\langle U-U_c \rangle$, $\langle V \rangle$) of the large scale structure

Table 1 Y-distance between vortex centers

| Model | Y-distance |
|-------------------------|------------|
| No slit | 0.357 |
| slit angle = 65° | 0.362 |
| 70° | 0.717 |
| 75° | 0.880 |
| 80° | 0.505 |
| 85° | 0.522 |
| 90° | 0.018 |
| 95° | 0.164 |
| 100° | 0.006 |
| 110° | 0.620 |

4. 결 론

10 가지의 원주에 대한 모델을 이용하여 평균압력측정을 통한 슬릿의 효과를 알아보았고, 정온형 열선풍속계를 사용하여 측정된 데이터분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 원주에 설치된 슬릿을 통해 슬릿주위를 지나가는 유동이 슬릿의 흡입효과로 인하여 변하는 것을 가시화실험과 압력측정실험을 통하여 확인하였으며, 85° 이전에 위치한 슬릿의 경우 일반원주와 비교하여 난류강도 분포는 조금 크게 나타났으며, 후류폭도 조금 커지는 것을 알 수 있었다.
- (2) 박리점 이후에 위치한 슬릿을 가진 원주의 경우 ($\phi = 90 \sim 100^\circ$) 후류의 난류강도폭이 좁고, 강하게 나타남을 알 수 있었다.
- (3) 슬릿의 각도가 105° 이후에서는 원주내의 압력이 다른 모델에 비해 높게 형성되며, 박리된 경계층과 슬릿의 거리가 멀어 슬릿에 의한 흡입효과가 다른 모델에 비해 영향이 적었다.
- (4) 슬릿의 내부를 막아 흡으로 만들 경우, 가시화 실험을 통해 일반원주와 거의 흡사한 와형성을 볼 수 있었고, 이는 압력의 상호간섭을 통해 원주내로의 흡입에 의한 영향이 없기 때문에 나타난 결과이다.

후 기

이 논문은 부산대학교 연구비에 의해서 수행되었으며, 이에 관계관에게 감사드립니다.

5. 참고문헌

- [1] J. F. Olsen, S. Rajagopalan, 2000, "Vortex shedding behind modified circular cylinders," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 86, pp. 55-63.
- [2] Y. Yajima, O. Sano, 1996, "A note on the drag reduction on a circular cylinder due to double rows of holes," *Fluid Dynamics Research*, 18, pp. 237-243.
- [3] C. O. Popiel., D. I. Robinson., J. T. Turner., 1993, "Vortex shedding from a circular cylinder with a slit and concave rear surface," *Applied Scientific Research*, No. 51, pp. 209-215.
- [4] T. Hayashi, F. Yoshino, R. Waka, 1993, "The Aerodynamic Characteristics of a Circular Cylinder with Tangential Blowing in Uniform Shear Flows," *JSME International Journal Series II*, Vol. 36, No. 1, pp. 101-112.
- [5] 부정숙, 양종필, 정양범, 1993, "Flow Characteristics of the wake behind a square prism by controlling the separated shear layer," *대한기계학회논문집*, 제 17권, 제 11호, pp. 2840-2849.
- [6] E. A. Anderson., A. A. Szewczyk., 1997, "Effects of a splitter plate on the near wake of a circular cylinder in 2 and 3-dimensional flow configurations," *Experiments in Fluids*, No. 23, pp. 161-174.
- [7] P. W. Berman, 1965, "Investigation of the flow behind a two-dimensional model with a blunt trailing edge and fitted with splitter plates," *J. Fluid Mech.*, Vol. 21, Part 2, pp. 241-255.

저 자 소 개



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.



김진석 (金振石)

1975년 4월생. 2001년 인제대학교 기계공학과 졸업. 2003년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 2003년~현재 대림기업(주) 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). 2001년~현재 부산대학교 기계기술연구소 전임연구원.