⊙ 研究論文

엇갈림 배열에서 회전원주에 의한 정지원주의 공력 및 후류유동 제어

부정숙* · 류병남** · 심정훈**

Control Effects on the Aerodynamic Forces and Wake Structures by a Spinning Cylinder in Staggered Arrangement

J-S Boo* · B-N Ryu** · J-H Shim**

Key words : Tube banks(관군), Spinning cylinder(회전원주), Spin parameter(회전계수), Drag(항력), Lift(양력)

Abstract

The aerodynamic forces and wake structures of the non-rotating downstream cylinder which is located behind the spinning upstream cylinder in tandem and staggered arrangement have been investigated by experimental method at $Re=1.32\times10^4$. The measurements of wake flow and pressure distributions of downstream cylinder are carried out in various spin parameters by combinations of both longitudinal spacing ratios $L/d=1.5$, 3.0, 4.5 and transverse spacing ratios $T/d=0.0$, -0.5, 0.5. For the present experiment, it has been found that the spin parameter of spinning upstream cylinder affect more easily the downstream cylinder in tandem arrangement than that in staggered arrangement.

1. 서 론

여러 구조물이 함께 놓여 있을 때에는 배열 형태에 따라 상류측 구조물의 후류에 의한 간섭으로 인하여 하류측 구조물에는 물론 상류측 구조물에도 영향을 주게 되어 구조물들 주위의 유동 형태를 바꾸고 예기치 못한 힘과 압력분포를 야기시키며 또한 와유출에 변화를 주게 되는데, 이때 발생할 수 있는 부정적인 결과들을 사전에 방지하는 것은 아주 중요할 것이다. 그래서 구조물들의 배열형태의 변화에 따른 유동에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있는데, 그 중에서도 유동에 평행하게 배열된 두 정지원주에 관한 연구는 관군(Tube banks)의 가장 기본적인 것으로서 열전달과 관련하여서도

* 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소(원고접수일 : 2001년 2월)
** 부산대학교 대학원

많은 연구가 수행되어 왔다.[1] [3]

유동과 평행한 두 원주의 배열에는 여러 가지 경우가 있을 수 있는데, 하나의 원주(이하, '상류원주')의 후류 중심에 다른 원주(이하 '하류원주')가 유동방향으로 나란하게 배열된 경우(Tandem arrangement, 이하 '직렬배열')와 하류원주가 상류원주의 후류 중심에서 약간 어긋나게 배열된 경우(Staggered arrangement, 이하 '엇갈림배열')는 실제 상황에서 빈번히 발생하는 것이다. 또한, 부정숙 등[4]은 직렬배열에 대하여 상류원주에 회전을 주어 L/d와 회전의 증가가 양력과 항력의 증가를 가져옴을 관찰하여 상류원주의 회전에 의해 하류원주에 작용하는 공력을 제어할 수 있음을 규명한 바 있다.

본 연구에서는 동일 직경(d)의 상류원주와 하류원주의 수평 간격비(L/d)와 수직 간격비(T/d)를 일정하게 변화시키고 상류원주의 회전속도를 조절하여 하류원주에 작용하는 공력을 제어함으로써 이들 인자들의 상관관계와 주위 유동에 미치는 영향을 조건부 샘플링기법(Conditional sampling technique)에 의한 위상평균법(Phase average method)을 이용하여 대규모 와의 응집구조의 형태 및 변화를 체계적으로 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 전체길이가 6,375mm이고 시험구간의 크기는 305mm (폭)×305mm (높이)×3200mm(길이)인 개회로 노즐형의 흡입식 아음속 풍동을 사용하였다. 시험구간의 입구에 40mesh의 스크린을 설치하여 본 실험의 자유흐름 속도인 8.0m/s에서 측정 결과 흐름방향의 난류강도가 약 2.0%이었고, 평균 속도분포의 균일도는 경계층 부분을 제외하고는 약 1.0~1.5%정도로 양호하게 나타났다.

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 실험모델과 그 좌표계이다. 여기서 X와 Y는 각각 유동방향과 유동에 수직방향을 나타낸다. 상류원주는 표면이 매끈한 알루미늄 봉으로서 풍동 상하 양벽면에 베어링에 의해 고정되어 있고, 아래쪽 끝이 타이밍 벨트(Timing belt)로 가변속 DC 모터에 연결되어 있어

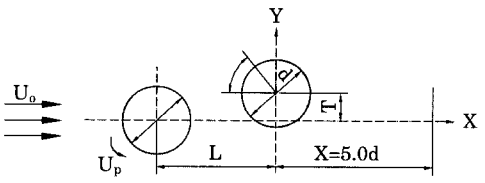


Fig. 1 Coordinate system diagram

원주의 회전수는 슬라이닥스의 전압을 변화시켜 DC 모터의 전압을 조정함으로써 적절히 제어된다. 또한 하류원주는 속이 비어 있는 아크릴 재질의 관으로 평균 정압 측정을 위해 원주의 중앙표면에 1개의 구멍을 가공한 후 내경 0.8mm이고 외경 1.8mm인 동관을 심은 후 여기에 비닐튜브로 미세압력계(Furness Controls Limited, model FCO12)와 연결하여 원주를 자유흐름 방향에 대하여 10° 회전시키면서 미세압력계의 신호를 받아들였다. 여기서, 두 원주의 직경(d)은 모두 25mm로 동일하다.

자유흐름속도 U_o는 8.0m/s이며 이때 레이놀즈수는 중간 아임계범위(Intermediate subcritical range)에 속하는 1.32×10^4로서, 단일 원주에 대하여 유동이 레이놀즈 수 변화에 민감하지 않으며 층류 경계층이 약 80° 근처에서 박리하며 와유출이 강하고 주기적인 현상을 보여주는 범위로서 하류원주에서의 유동특성의 변화를 연구하기에는 아주 적합하다.[5]

상류원주의 회전과 관련된 무차원 변수로서 회전계수(Spin parameter) S는 아래와 같이 정의하였다.

$$S = U_p/U_o = (R\times\omega)/U_o$$

여기서, U_p는 회전원주의 표면 회전속도, R은 회전원주의 반경이며, ω는 회전원주의 회전 각속도를 나타낸다. Fig. 1과 같이 상류원주의 반시계 방향 회전에 의해서 상류원주의 하부는 유체가 가속되고, 상부는 감속되어 하류원주에 작용하는 공력은 변화가 생길 것이다.

본 논문에서 회전속도와 주류속도의 방향이 일치하는 영역을 증속부, 반대가 되는 영역을 감속부라 칭한다.

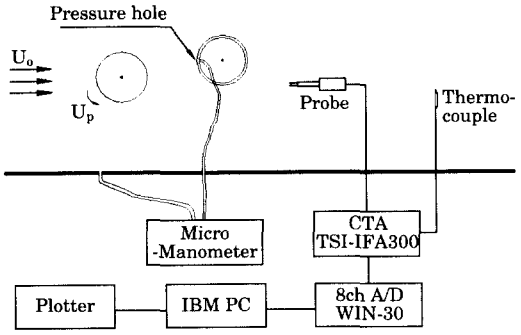


Fig. 2 Measuring and data processing system

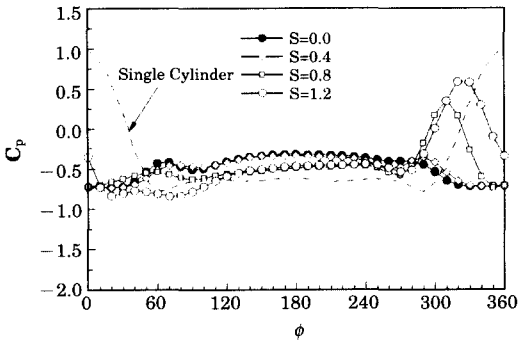
후류유속의 측정에는 정온형 열선풍속계(TSI, model IFA 300)와 X형 열선(Kanomax, model 0252R−T5)이 사용되었다. 각각의 회전계수에 대한 후류 유동장의 변화를 관찰하기 위해 하류원주에 대해 X/d=5.0위치에서 $-4.0 \leq Y/d \leq 4.0$범위에 대하여 0.2d(5mm) 간격으로 난류신호를 측정하였고 위상평균기법을 수행하여 대규모 조직적인 와의 구조를 파악하였다. 열선의 교정은 Look-up table 기법[6][7]을 이용하였으며 데이터의 추출간격은 100μs(10kHz), 측정점당 4,096개씩 20회의 앙상블(ensemble)을 취하였다. Fig. 2는 Data processing개략도이다.

본 연구에서는 원주 직경에 대한 상·하류원주의 수평 간격비(L/d)를 1.5, 3.0, 4.5로, 수직 간격비 (T/d)를 0.0, −0.5, 0.5로 변화시키고 상류원주의 회전계수(S)를 0.0, 0.4, 0.8, 1.2로 변화시켰을 때 하류원주에서의 공력 특성과 후류 유동장에 대해서 조사하고자 한다.

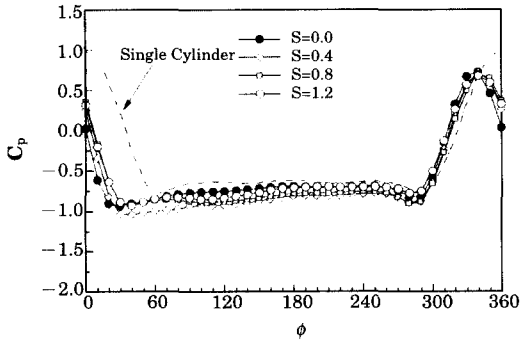
3. 실험결과 및 고찰

3.1 공력특성

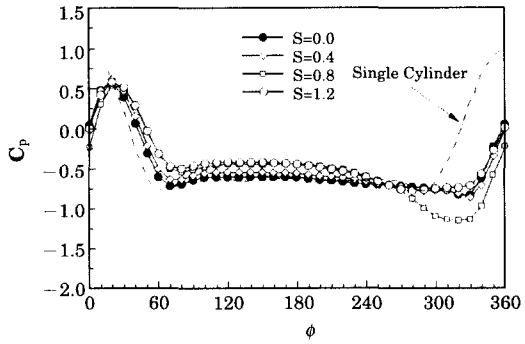
Fig. 3~Fig. 5는 각 L/d에 대하여 T/d와 S의 변화에 따른 하류원주 표면의 평균정압분포를 각각 나타낸 것이다. 상류원주가 반시계 방향으로 회전을 하게 되면, 원주 하부측 부근은 자유흐름 속도의 방향과 일치되는 증속부(−Y방향)가 되고 상부측 부근은 감속부(+Y 방향)가 되어 재순환영역이 S의 증가에 따라 증속부에서 감속부로 편향되게



(a) T/d=0.0



(b) T/d=−0.5



(c) T/d=0.5

Fig. 3 Pressure distributions around downstream cylinder at L/d=1.5 for spin parameters(S)

되므로 회전원주의 후류에 잠겨 있는 하류원주 주위의 유동형태는 상류원주에 의한 유동변화에 큰 영향을 받을 것이다. 전체적으로 보면, S의 증가에 따라 T/d=−0.5와 T/d=0.5인 경우에 비해 T/d=

0.0일 때 원주 전면에서의 압력의 변화가 심한 것으로 보아 회전의 영향은 T/d=0.0일 때 큼을 알 수 있으며, 이에 따라 공력 특성의 변화도 크게 나타날 것으로 예상된다. 또한, T/d=0.0인 경우 S의 증가에 따라 원주 후면의 압력은 감소하고 있으며 L/d가 커짐에 따라 그 정도는 작아지고 있는데, 이는 회전의 영향이 T/d=0.0 중에서도 L/d가 작을수록 크다는 것을 의미한다.

Fig. 3은 L/d=1.5에 대한 것으로 먼저 Fig. 3(a)의 T/d=0.0인 경우를 살펴보면, S=0.0일 때 원주 상하면에서 대칭적이던 압력분포가 S의 증가에 따라 비대칭 구조로 복잡하게 변화되어 가고 있다. S=0.0, 0.4에서 재부착하지 않던 전단층이 S=0.8, 1.2에서 재부착하게 되며 그 위치는 원주 하부측에서 전면으로 이동하고 있으며 강한 전단층의 세기에 의해 재부착점에 해당하는 피크값[2]은 S의 증가에 따라 점점 커지고 있다. Fig.3(b)는 T/d=−0.5인 경우로서 하류원주가 증속부에 위치하므로 S의 증가에 따라 외부 유동이 T/d=0.0에 비해 수월하게 두 원주 사이로 유입된다. S의 증가에도 압력분포 형태에 거의 변화가 없으며, 40°~260°의 압력분포가 편평한 것으로 보아 후류 영역의 폭이 크며, 속도 결손량 또한 많을 것임을 짐작케 하는데, 이는 L/d가 작고, 하류원주가 상류원주의 증속부에 위치함으로써 박리된 전단층이 하류원주에 강하게 부딪히면서 박리와가 많이 와해되어 나타난 결과로 보인다. S의 값에 관계없이 원주 하부의 340° 부근에서 재부착하며, 하부측 박리점도 280 갬∈ 변함이 없으며 상부측 박리지점은 뚜렷하지 않다. S=0.8, 1.2일 때를 보면 약 80° 부근에서 약한 피크값이 감지되는데, 이는 상류원주의 강한 회전으로 인해 두 원주사이의 유입이 활발해져서 하부측에서 박리된 전단층이 재부착한 것으로 보인다. Fig. 3(c)는 T/d=0.5에 대한 것으로 하류원주가 감속부에 위치한 경우로서 상류원주의 회전에 의해 외부유동이 두 원주 사이로 유입되는 것이 방해를 받게 된다. S의 값에 관계없이 원주상부의 20° 부근에서 재부착하며 원주 상부에서의 박리점은 70°~80° 근처로 거의 변화를 보이지 않고 있다. 이는 L/d가 작음으로 인해 원주상부 전면에서는 회전의 영향을 받지 않기 때문으로 보인다. S=0.8에서 원주 하부에서 압력이 떨어지는데 이는 상류원주의 박리전단층에 의해 원주하부에서의 와유출이 영향을 받아 억제됨으로써 나타나는 현상으로 판단된다.

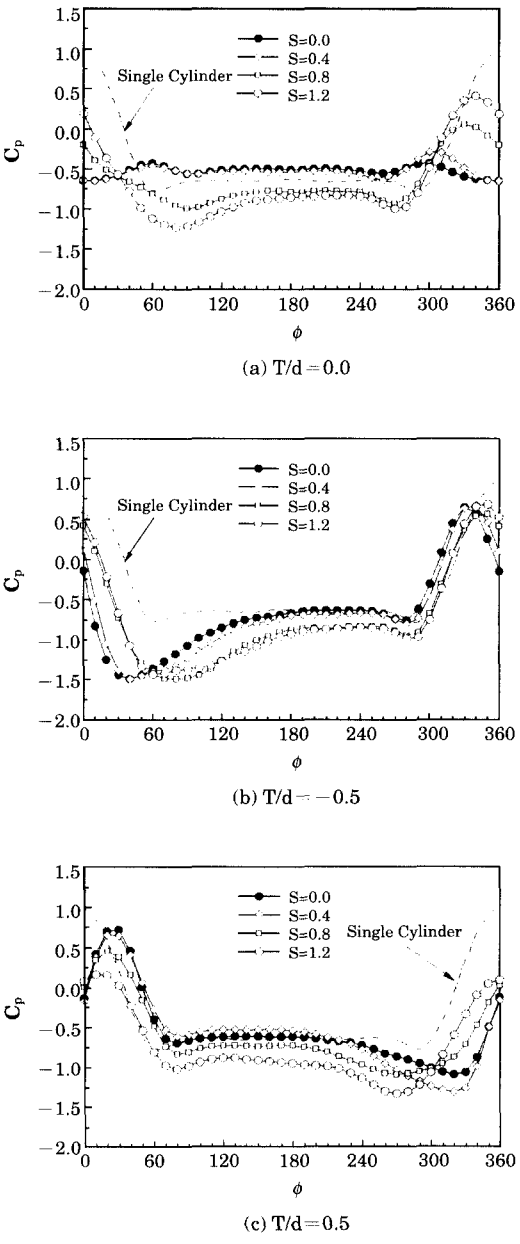
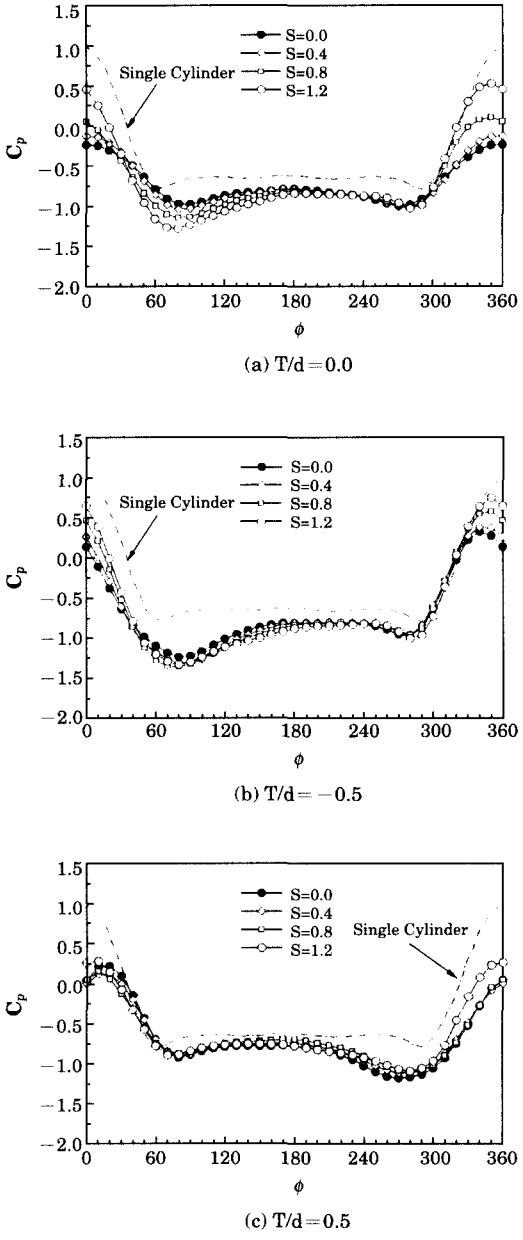


Fig. 4 Pressure distributions around downstream cylinder at L/d=3.0 for spin parameters(S)

Fig. 4는 L/d=3.0에 대한 것으로 Fig. 4(a)의 T/d=0.0인 경우를 살펴보면, S=0.0일 때 원주 전면 하부 300° 부근에서의 재부착점이 S가 증가하면서 피크값의 증가와 함께 그 위치가 원주 전면으로 이동되고 있다. Fig. 3(a)의 L/d=1.5일 때와 비교하여 보면, S=0.8과 S=1.2의 경우에 원주사이의 간격비 증가로 인해 최대값의 크기는 감소하였지만, 0° 부근의 압력은 증가됨을 볼 수 있다. S의 증가에 따라 90°~270° 영역에서는 압력분포는 점차 감소되며, 강한 회전을 하는 경우에는 L/d=1.5의 경우보다 S의 영향이 훨씬 크게 나타나는데, 이것은 높은 S의 경우에는 하부측 재부착 지점이 L/d=1.5보다 원주 전면에 위치함으로써 상부측으로의 유동의 유입이 훨씬 증가된 때문으로 보인다. T/d=−0.5인 경우에는, S가 증가함에 따라 재부착점의 위치가 T/d=0.0인 경우에 비해 더욱 원주 전면 앞쪽으로 당겨지고 있으며 원주 전면의 상부측 압력은 재부착 유동의 활발한 유입에 의해 압력이 회복되고 있다. T/d=0.5인 경우에는 S가 증가함에 따라 회전에 의한 감속의 영향이 나타나서 재부착점의 압력값은 점점 작아지며 그 위치도 원주 전면의 0 부근으로 옮겨지고 있다. S=1.2일 때를 보면, 압력 분포 형태는 단일원주에 근접해 가고 있는데, 하류원주가 상류회전원주의 후류 속에 완전히 잠기게 된 경우인 직렬배열(T/d=0.0)과 유사한 거동을 보이고 있음을 나타내고 있다.



(a) T/d=0.0

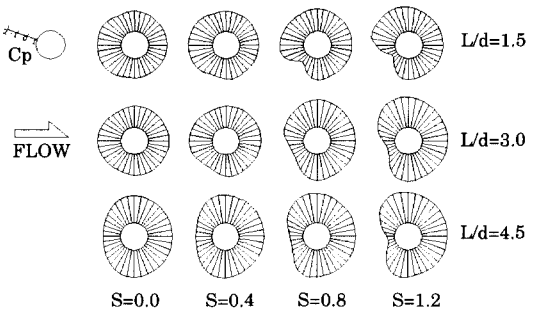
(b) T/d=−0.5

(c) T/d=0.5

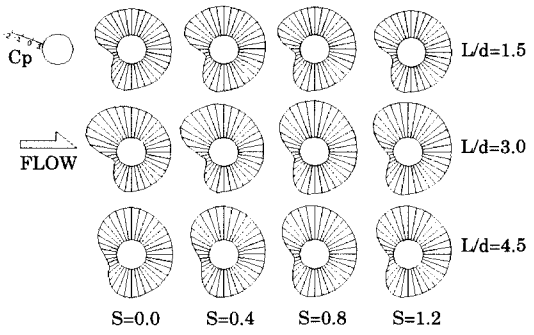
Fig. 5 Pressure distributions around downstream cylinder at L/d=4.5 for spin parameters(S)

Fig. 5는 L/d=4.5에 대한 것으로 먼저 Fig. 5(a)의 T/d=0.0인 경우는 모든 S에 대하여 단일 원주의 경우와 유사한 압력분포를 나타내고 있는데, 이는 간격비 증가로 인해 상류원주의 근접 후류가 하류원주로부터 간섭을 거의 받지 않기 때문으로 보인다. 상류원주의 회전에 의해 전단층의 세기가 증가되어 하류원주 전면의 압력은 단일원주의 정체점에서의 값으로 점차 증가되고 있다. Fig. 5(b)의 T/d=−0.5인 경우에는 S에 관계없이 압력값이 단일원주에 비해 낮으며 0°에서의 압력은 S의 증가에 따라 단일원주의 정체점에서의 값 정도로 점점 커지고 있다. Fig. 5(c)의 T/d=0.5인 경우에는 S=0.0에서 원주 상부의 20° 부근에서 정체점에 해당하는 하나의 피크값이 나타나고 S=1.2에서는 그 값이 증가되면서 위치는 원주 전면으로 이동하고 있음을 볼 수 있는데 T/d=−0.5인 경우에 비해 그 값은 작은 편이다.

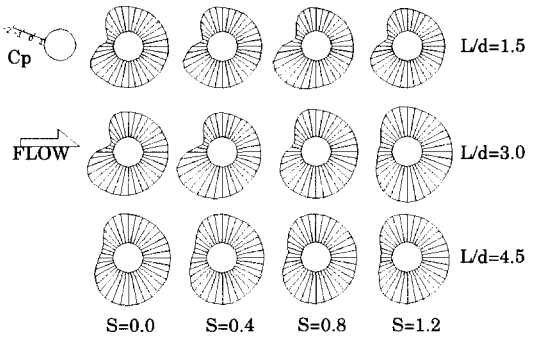
Fig. 6은 이상의 평균정압 측정값의 크기를 원주 표면에 정량적으로 직접 그려넣음으로써 각 경우에



(a) T/d=0.0



(b) T/d=−0.5

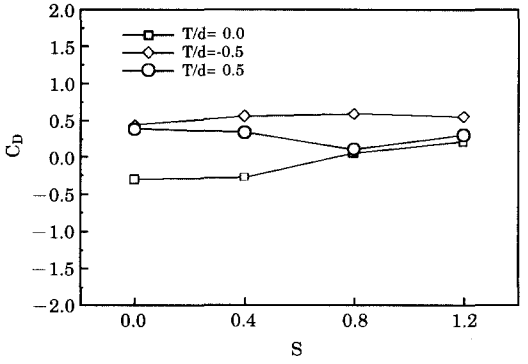


(c) T/d=0.5

Fig. 6 Comparison of pressure distributions around downstream cylinder

대해 서로 비교한 결과를 나타낸 것으로 각 L/d에 대하여 각 T/d에서의 S의 영향이 잘 나타나 있다.

Fig. 7~Fig. 9는 표면압력 분포로부터 일정한 L/d에 대한 T/d와 S의 변화에 따른 항력계수 및 양력계수를 구하여 나타낸 것으로, 간격비(L/d, T/d)에 따라 상류원주의 회전에 의한 박리전단층의 세



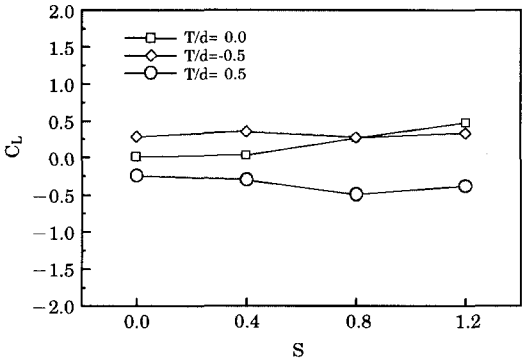


Fig. 7 Drag and lift coefficients of downstream cylinder at L/d=1.5

기 및 재부착 유무와 그 위치, 그리고 박리점의 위치 등에 의해 복잡하게 변화하고 있다. 모든경우 상류원주의 후류 속에 놓인 결과로 항력값은 단일원주의 값에 비해 작게 나타나고 있다. 모든 L/d에 대하여 T/d=0.0인 경우에 S의 증가에 따라서 양력과 항력 모두 증가함을 볼 수 있고 L/d가 작을수록 그 증가량은 큼을 알 수 있다. 재부착점의 위치가 하류원주의 하부측에서 전면으로 빠르게 이동하는데, 이는 압력 분포에서 보듯이 L/d가 작을 때 상류원주에서 박리된 전단층의 세기가 S의 증가에 따라 커지기 때문이라 판단된다. 또한 하류원주가 증속부에 위치한 경우인 T/d=−0.5에 대해서는 L/d에 관계없이 모든 S에 대하여 양력과 항력 모두 양의 값을 가지는데 그 변화량은 작은 편이다. 이러한 경향은 재부착이 발생하는 L/d=1.5와 L/d=3.0인 경우의 압력분포에서 보면 재부착점의 위치와 그 값이 거의 변화가 없고, 또한 재부착이 발생하지 않는 L/d=4.5인 경우도 L/d가 커진 결과로 압력

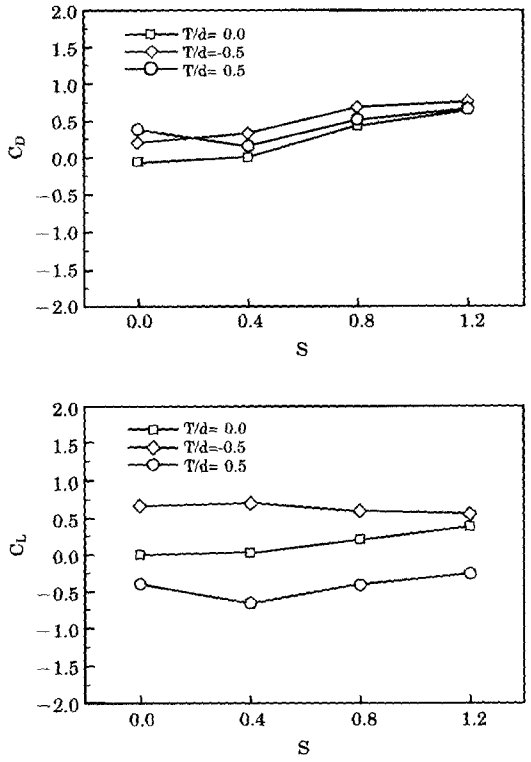


Fig. 8 Drag and lift coefficients of downstream cylinder at L/d=3.0

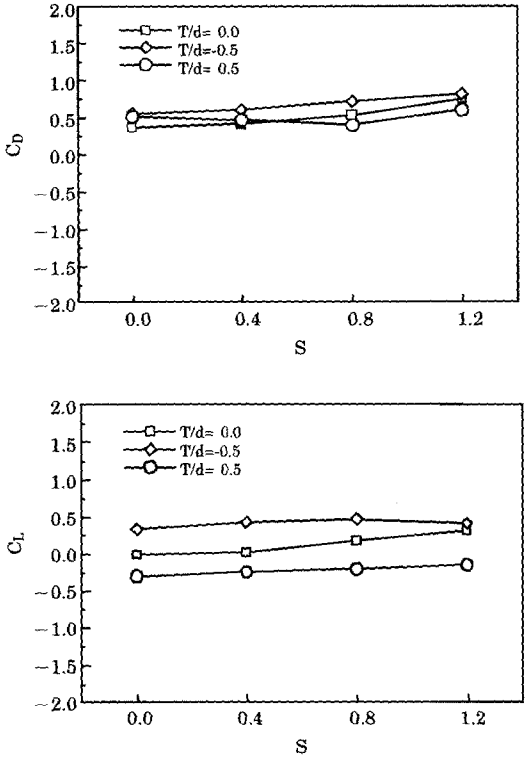


Fig. 9 Drag and lift coefficients of downstream cylinder at L/d=4.5

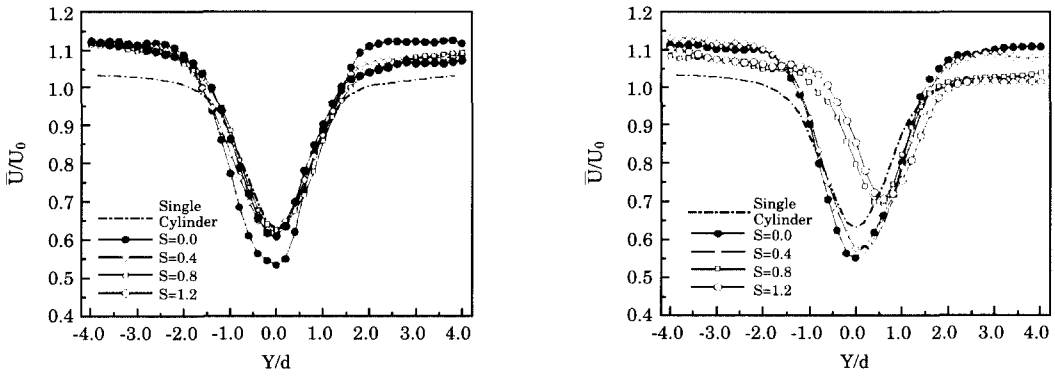
분포가 거의 변화가 없는 것에서 그 이유를 찾을 수 있는데, 이것에서 T/d=−0.5일 때 S는 항력과 양력에 크게 영향을 주지 못하는 것을 알 수 있다. 하류원주가 감속부에 위치한 경우인 T/d=0.5에 대해서는, L/d에 관계없이 모든 S에 대하여 항력은 양의 값을 가지나 양력은 음의 값을 가지고 있다. 또한, 재부착이 발생하는 L/d= 1.5와 3.0일 때는 각 S에 대해 항력과 양력이 증가하고 감소하는 패턴이 일치하고 있다.

3.2 후류 유동장

Fig. 10과 Fig. 11은 하류원주에 대해 X/d=5.0 위치에서 −4.0≤Y/d≤4.0범위에 대하여 측정한 S의 증가에 따른 평균속도 분포를 나타낸 것으로 각 L/d에 대하여 T/d와 S의 변화에 따른 평균속도 분포를 나타낸다. S의 증가에 따라 속도 결손은 점점 회복되어 감을 볼 수 있으며, 일정한 L/d에서 하류원주가 상류원주의 증속부에 위치한 경우(T/d=−0.5)보다 감속부에 위치한 경우(T/d=0.5)에 S의 영향이 더 크게 나타나고 있다. 이는 상류원주의 회전으로 인해 감속부로의 운동량 전달이 더 활발해졌기 때문이라 생각되며, S의 영향은 L/d가 작은 경우에 더 크게 나타나고 있다.

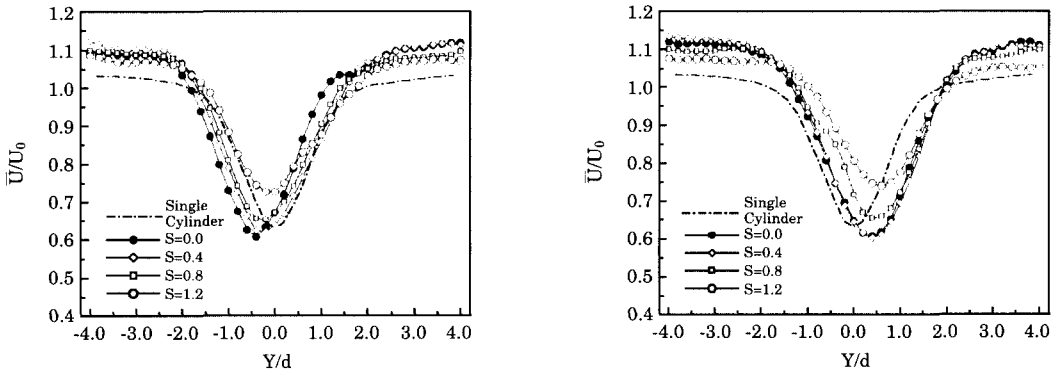
Fig. 10은 L/d=1.5에 대한 것으로 T/d=−0.5인 경우를 보면 S=0.0일 때의 속도 결손량은 단일원주의 경우에 비해 크게 나타나며, 일단 상류원주가 회전하게 되면 S값의 변화와는 관계없이 거의 같은 값을 취하고 있다. T/d=−0.5인 경우는 후류중심이 Y/d=0.0으로 일정한데 반해 T/d=0.5인 경우는 S의 증가에 따라 후류 중심이 감속부로 많이 편향되어 나타나고 있으며 속도결손량의 회복정도도 커지게 된다.

Fig. 11은 L/d=4.5에 대한 것인데 L/d의 증가로 인해 재부착이 되지 않음으로써 S의 증가에 따라 T/d=−0.5인 경우에도 감속부로 운동량 전달이 잘 이루어지고 그 결과로 인해 T/d=−0.5와 T/d=



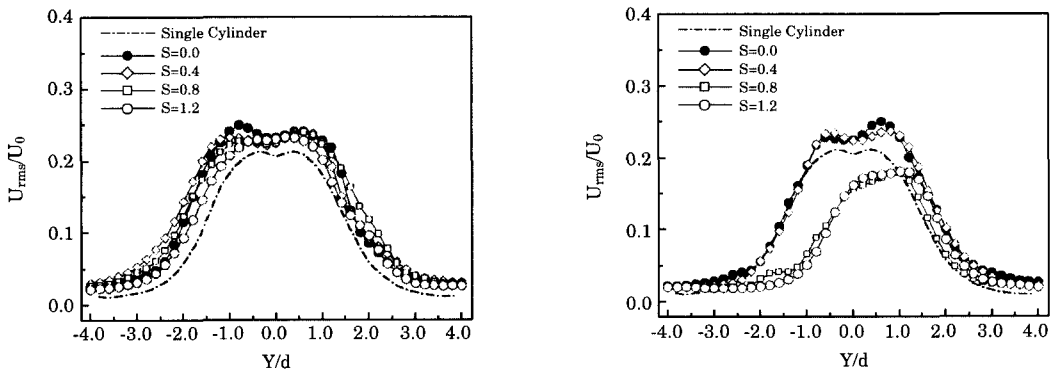
(a) T/d=−0.5 (b) T/d=0.5

Fig. 10 Distributions of time mean velocity at L/d=1.5 behind downstream cylinder



(a) T/d=−0.5 (b) T/d=0.5

Fig. 11 Distributions of time mean velocity at L/d=4.5 behind downstream cylinder



(a) T/d=−0.5 (b) T/d=0.5

Fig. 12 Distributions of streamwise turbulent intensity at L/d=1.5 behind downstream cylinder

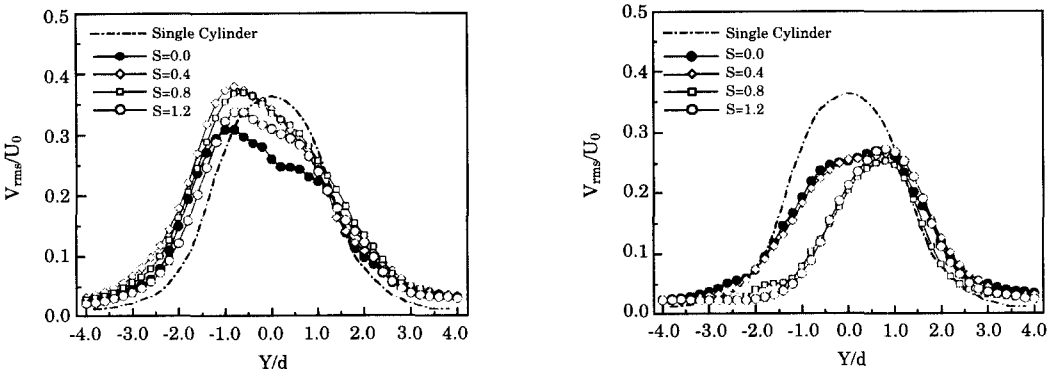


Fig. 13 Distributions of transverse turbulent intensity at L/d=1.5 behind downstream cylinder

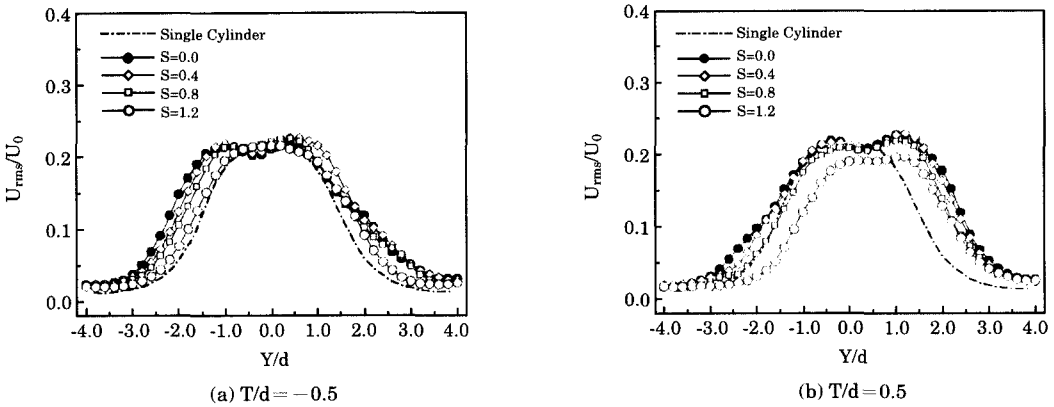


Fig. 14 Distributions of streamwise turbulent intensity at L/d=4.5 behind downstream cylinder

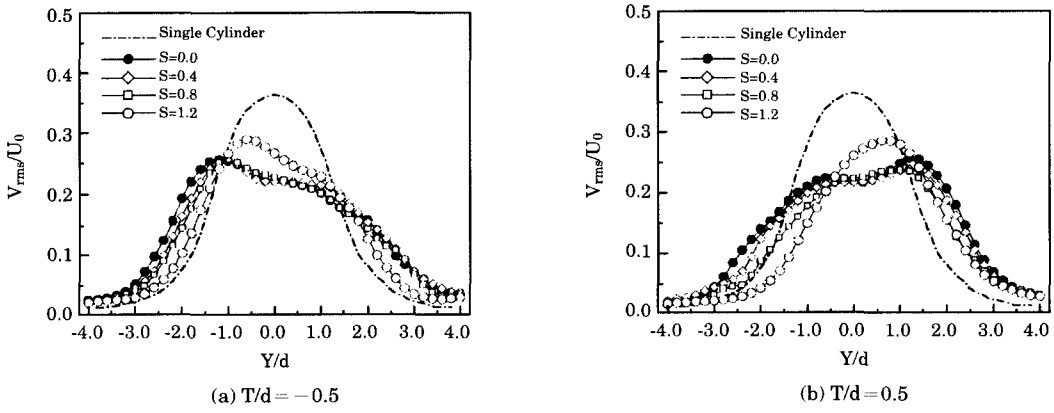


Fig. 15 Distributions of transverse turbulent intensity at L/d=4.5 behind downstream cylinder

0.5에 대해 속도 결손량은 각 S에 대해 거의 동일하게 나타나고 있다. 후류 중심이 S의 증가에 따라 T/d =−0.5인 경우는 S=0.0에서 후류 중심이 하류원주가 위치한 Y/d=−0.4였으나, S=1.2에서는 Y/d=0.0근처로 이동하고 있으며, T/d=0.5인 경우는 하류원주가 위치한 Y/d=0.4부근에서 Y/d=0.6부근으로 약간 이동이 되어 나타나고 있다.

Fig. 12~Fig. 15는 L/d=1.5, 4.5에 대하여 T/d=−0.5와 T/d=0.5에서 S의 변화에 따른 유동방향 및 수직방향의 난류강도 분포를 나타내는 것으로 S=0.0일 때 비대칭이던 두 난류강도의 분포는 S가 증가함에 따라 폭이 좁아지면서 단일봉의 대칭적인 형태로 변해가고 있다.

Fig. 12와 Fig. 13은 L/d=1.5에 대한 것으로 S의 증가에 따라 T/d=−0.5인 경우에는 유동방향 난류강도의 최대값은 거의 변화가 없으나, 수직방향 난류강도의 최대값은 크게 나타나고 있다. 이것은 L/d=4.5인 경우에도 마찬가지인데, 이는 T/d=−0.5인 경우에 S의 증가는 유동방향 난류강도의 값에는 거의 영향을 미치지 않지만, 수직방향 난류강도의 값은 강화시킴을 의미한다. T/d=0.5인 경우에는 S의 증가에 따라 회전의 영향으로 유동방향 난류강도값은 작게 나타나지만, 하류원주가 감속부에 위치함으로써 수직방향 난류강도의 폭만 감소되며 그 최대값은 거의 변화를 보이지 않고 있다.

Fig. 14와 Fig. 15는 L/d=4.5에 대한 것으로 T/d=−0.5인 경우는 유동방향 난류강도 값은 S값에 대해 거의 변화를 보이고 있지 않으나 수직방향 난류강도의 값은 S=1.2에서 크게 나타나고 있다. T/d=0.5인 경우에는 유동방향 난류강도 값은 작아지지만, L/d=1.5일 때와 달리 수직방향 난류강도 값은 커지고 있는데, L/d가 커지고 재부착이 되지 않음으로 인해 회전의 영향은 T/d=−0.5인 경우와 T/d=0.5인 경우에 수직방향 난류강도 변화에 같은 결과를 초래한 것으로 보인다.

3.3 위상평균에 의한 후류구조 특성

Fig. 16과 Fig. 17은 L/d=1.5에 대한 것으로 위상평균된 속도를 와 이동속도(Convection velocity) U_c로 관찰자가 이동하면서 관찰한 위상평균 속도의 벡터장(Vector field ; $<U>-U_c$, $<V>$)을 도시한 것이다. 여기서, 와이동속도 U_c는 후류중심선 상하의 증속부와 감속부에 있는 응집와 중심속도를 구해 이의 평균값으로 취하였다. 그 결과 후류중심선을 기준으로 상하에서 응집와 중심 주위를 서로 반대 방향으로 회전을 하면서 와의 중심(Center)과 안장점(Saddle point)을 형성하고 있는 대규모와의 응집구조(Coherent structure)를 확연히 볼 수가 있다. S의 증가에 따라 T/d=0.5인 경우는 와의 중심이 가까워지고 있으나, T/d=−0.5인 경우에는 거의 변화를 보이지 않고 있다. 대체적으로 보면, 와의 형태가 많이 변형되어 있는데 이는 상류원주의 회전 및 회

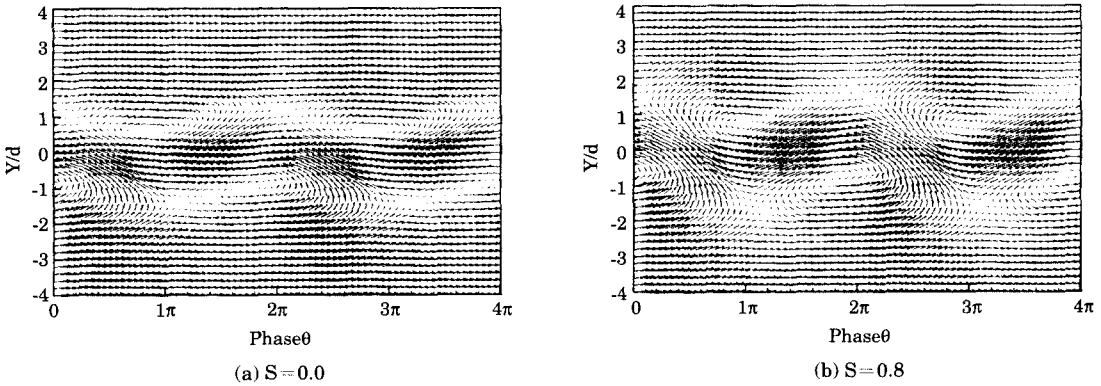


Fig. 16 Velocity vector fields ($<U-U_c>$,$<V>$) of the large scale structure at L/d=1.5, T/d=−0.5 for spin parameters(S)

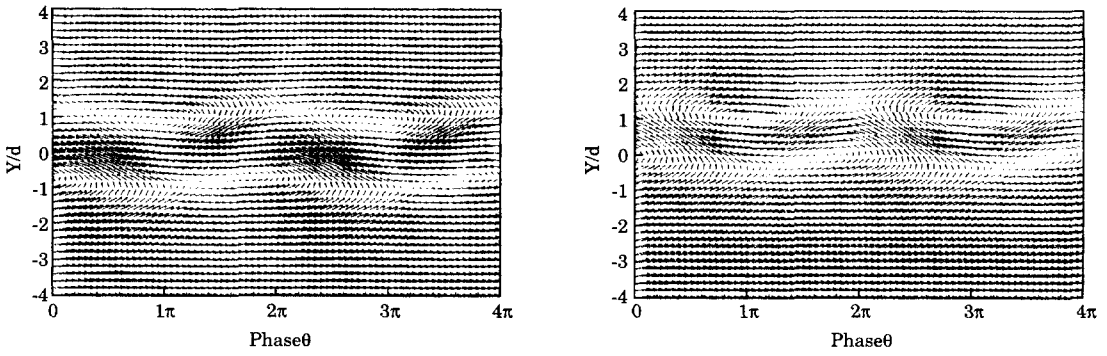


Fig. 17 Velocity vector fields (<U−U_c>,<V>) of the large scale structure at L/d=1.5, T/d=0.5 for spin parameters(S)

전에 대한 하류원주의 상대적인 위치가 응집 와의 형성 및 붕괴에 영향을 주어서 나타난 결과라고 판단된다.

4. 결 론

동일 직경을 가지는 두 원주를 유동에 수직으로 설치하고 수평 간격비(L/d)를 1.5, 3.0, 4.5, 및 수직 간격비(T/d)를 −0.5, 0.0, 0.5로 변화시키고 상류원주의 회전계수(S)를 0.0, 0.4, 0.8, 1.2로 주었을 때, 하류 원주의 표면압력분포 및 후류 유동장에서 나타나는 영향을 원주 지름(d)과 균일 유속(U_0)을 기초로 한 일정한 레이놀즈 수 $Re=1.32\times10^4$ 에서 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 상류원주가 회전하지 않는 경우에 대해서는, 직렬배열(T/d=0.0)인 경우는 L/d가 커질수록 속도 결손량이 증가하며, 같은 L/d에 대해서도 엇갈림 배열(T/d=−0.5, 0.5)인 경우가 더 속도 결손량이 크다. 그리고 L/d가 커질수록 속도 결손량은 T/d와는 무관해지고 있다.

(2) 엇갈림 배열일 때 상류원주가 회전하는 경우에는 T/d에 관계없이 S의 증가가 속도 결손을 회복시키고 있다. 같은 L/d일 때 T/d=0.5인 경우가 T/d=−0.5에 비해 그 회복량은 더 크다.

(3) 엇갈림 배열일 때 S=0.0일 때 난류강도의 분포가 비대칭적으로 나타났으며, 유동방향 난류강도의 값은 S가 증가됨에 따라 T/d=−0.5인 경우에는 일정한 값을 유지하였으나, T/d=0.5인 경우는 점점 작아지고 있다.

(4) 항력과 양력의 변화 형태로 보아 회전에 의한 공력 제어는 엇갈림 배열일 때보다 직렬배열일 때 더 용이할 것으로 보인다.

(5) 회전계수의 증가에 따른 영향으로, T/d=−0.5인 경우 와핵간의 거리 및 중심위치는 거의 변화가 없었으나 T/d=0.5인 경우는 와핵간의 거리가 가까워지며 와의 중심이 감속부로 이동되었고, 그 형태도 많이 변형되었다.

참고문헌

[1] Zdravkovich, M. M., "Review of Flow Interference Between Two Circular Cylinders in Various Arrangements", Journal of Fluids Engineering, Vol. 99, No. 4, pp. 618~633, 1977.

[2] Igarashi, T., "Characteristics of the Flow around Two Circular Cylinders Arranged in Tandem(Part 1)", Bulletin of JSME, Vol. 24, No. 188, pp. 323~331, 1981.

[3] Igarashi, T., "Characteristics of the Flow around Two Circular Cylinders Arranged in Tandem (Part 2)", Bulletin of JSME, Vol. 27, No. 233, pp. 2380~2387, 1984.

[4] 부정숙, 양종필, 신영곤, 김창수, "균일류의 회전원주 제어에 의한 유동 및 공력 제어 효과에 관한 연

구", 대한기계학회논문집, 제 22권, 제 3호, pp. 346~359, 1998.

[5] R. D. Blevins, "Flow-Induced Vibration", Van Nostrand Reinhold, pp. 45~46, 1990.

[6] R. M. Lueptow, K. S. Breuer, and J. H. Haritonidis, "Computer Aided Calibration of X-Probes Using a Look-Up Table", Experiments in Fluids, Vol. 6, pp. 115~118, 1988.

[7] 김경천, 윤순현, 김대성, 신영호, "컴퓨터 원용 열선 및 열필름 프로브의 교정방법 개선에 대한 연구", 대한기계학회논문집, 제 18권, 제 4호, pp. 977~985, 1994.

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 기계공학과 교수

류병남(柳秉男)
1965년 9월생. 1990년 부산대학교 기계공학과 졸업. 1992년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1992년~1999년 현대중공업 산업기술연구소 근무. 1999년~현재 부산대학교 대학원 기계공학과 박사과정.

심정훈(沈情勳)
1972년 4월생. 1996년 부산대학교 기계공학과 졸업. 1996년~1998년 LG전자 근무. 2001년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 현재 (株)DENSO 풍성 근무