

균일한 전단류에 놓인 각주 후류의 난류구조

부정숙* · 양종필** · 구명섭**

Turbulent Wake Structure behind Rectangular Cylinders in a Uniform Shear Flow

J. S. Boo · J. P. Yang · M. S. Koo

Key words : Uniform Shear Flow(균일 전단류), Rectangular Cylinder(장방형주), Critical Geometry(임계형상), Shear Rate(전단율)

Abstract

This research has presented an experimental investigation on the characteristics of turbulent wake past a rectangular cylinder, according to various width/height ratio such as $B/H=2.0, 2.79, 3.0,$ and 4.0 in a uniform shear flow. In order to perform this study, a special shear flow generator which produces the uniform shear flow has been designed and manufactured. It is found that the characteristics of the wake in a uniform shear flow are quite different from those of a uniform flow and vary with shear rate. And also, the formation of regular vortex structure is concerned with shear rate.

기호설명

B	주류방향의 장방형주 길이	U	주류방향의 평균속도
E(F)	파워스펙트럼 밀도함수(power spectral density function)	u', v'	주류방향과 수직방향의 속도변동 r. m. s. 값
F	주파수(Hz)	U_c	전단류 중심에서의 유동방향의 자유유동 속도
H	주류방향과 직교하는 수직방향의 장방형주 높이	X, Y, Z	직교좌표계(X; 유동방향, Y; 유동방향과 직각방향, Z; 수직방향)
R(t)	자기상관 계수 (autocorrelation coefficient)	ν	공기의 동점성계수
Re	U_c 를 대표속도로 한 레이놀즈 수		
S_t	U_c 를 대표속도로 한 스트로할 수		

1. 서 론

각주는 원주와 더불어 구조물의 대표적 형상일

* 정회원, 부산대학교 기계공학과

** 부산대학교 대학원

뿐만 아니라 유동속에 있는 물체 주위나 후류의 특성을 고찰할 수 있는 기본적인 형상이기 때문에 오래 전부터 많은 연구가 이루어져 왔다¹⁻³⁾. 각주 주위의 흐름은 유입하는 주류에 대하여 전면의 높이(H)에 대한 주류에 평행한 측면의 길이(B)의 비에 따라서 박리전단층이 후류로 직접 유입하거나 혹은 측면에 재부착하여 새로운 박리전단층이 생기는 등 복잡한 유동형태를 가지고 있다⁴⁻⁶⁾. 따라서 각주의 변장비(B/H) 변화에 따른 각주후류의 외특성을 명확하게 밝힌다는 것은 와방출의 형태를 파악하는 물리적 의미 뿐만아니라, 공학적으로는 물체후방에서의 물질수송과 확산상태를 파악하거나 물체에 작용하는 변동유체력의 특성을 알기 위한 기초자료가 되므로 중요하다고 할 수 있다.

기존의 각주 주위의 흐름에 대한 연구로는, 흐름 중의 구조물 등이 받는 유체력의 문제와 관련하여, 주로 균일류중에 있는 2차원 각주에 대하여 행하여졌으며, 표면압력분포, 항력, 양력, 시간평균유선 등의 평균량, 후류에서의 와유출량에 수반되는 변동력 및 이것과 관련되는 변동주파수 등이 체계적으로 조사되었다. 특히 Kiya 등⁶⁾은 2차원 물체의 후류해석에 위상평균법을 적용하여, 칼만와열에 의한 대규모 구조와 이 구조에 중첩하는 난류성분으로부터 이루어지는 소규모 구조에 관해서 유동의 형태, 와도 분포, 에너지분포와 상관량 등을 구한 바 있다.

그러나 유체를 취급하는 공학적 제장치에 있어서 유체 흐름의 대부분은 큰 평균속도구배를 가지는 전단류이며, 전단류중에서의 평균전단속도는 교란에 의한 레이놀즈 응력에 따라서 발생, 유지되므로 전단응력의 분포특성이 바로 평균속도장을 결정한다고 볼 수 있다. 따라서 레이놀즈 응력의 발생은 서로 수직한 속도변동에 의한 운동량의 확산 및 혼합을 의미하며, 난류전단층에 있어서 조직적구조가 운동량, 열, 물질 등의 수송에 중요한 역할을 담당하고 있으므로 에너지의 확산 및 수송을 이루고 있는 전단난류의 교란특성과 그의 역할은 실용공학적인 면에서도 중요한 문제로 대두되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 먼저 주류의 속도구배를 일정하게 발생시킬 수 있는 장치를 직접 설계, 제작하여

그 성능을 살펴보고, 이와같은 흐름이 각주 후류에 미치는 영향을 실험적으로 조사하고자 한다. 박리전단층이 후류로 유입하는 완전박리형 각주(B/H=2.0)로부터 측면에 주기적으로 재부착하는 각주(B/H=4.0)까지의 변장비에 따라서 평균속도분포, 난류강도분포, 자기 상관계수 및 후류 유출와에 의한 스트로할 수 등을 구하고, 아울러 전단속도구배(이하 '전단율' : $\Delta U/\Delta Y$, 'Shear Rate')가 서로 다른 경우도 비교 검토한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2-1. 실험장치 및 전단류 발생장치

본 실험에 사용된 풍동은 개회로 노즐형의 흡입식 아음속풍동으로 전체길이는 7200mm이고, 노즐형의 공기유입부 단면적은 533mm×533mm이며, 축소비는 약 3.0이다. 균일전단류를 얻기 위하여 축소부 다음에 전단류 발생장치가 설치되어 있다. 덕트 길이는 전단류 발생장치로부터 생성되는 흐름이 안정된 흐름이 되도록 충분히 길게 하였고, 균일 흐름을 위해 실험구간 전방에 다시 24 메쉬의 그물망을 삽입하였다. 시험구간의 단면적은 305mm×305mm이며, 장방형주는 시험구간 선단인 전단류 발생장치로부터 흐름방향으로 덕트 폭의 비가 약 8.5가 되는 위치에 흐름방향과 수평으로 설치하였다. 실험에 사용된 장방형주는 높이(H)가 5mm인 황동이고, 변장비(B/H)는, 균일류에서 임계형상 부근인 2.79를 포함하여, 완전박리형인 2.0, 재부착형인 4.0, 그리고 그 중간인 3.0 등 4가지로 하였다.

전단류 발생장치(Shear Generator)는 Champagne 등⁷⁾이 고안한 것과 비슷한 형태로써 총 15 채널로 이루어져 있으며, top 과 bottom 채널을 제외하고는 각 채널에서의 높이는 같다. 각 채널마다 입구측에는 내부유량을 조절하기 위한 밸브가 붙어 있으며, 이때 밸브는 채널 속의 흐름에 대한 영향을 최소화 하기 위하여 유선형으로 가공을 하였다. 또 채널의 출구측 중앙에는 균일흐름을 얻기 위해 직경 4mm의 황동막대를 흐름방향과 직각으로 설치하였고, 다시 120 메쉬를 설치하였

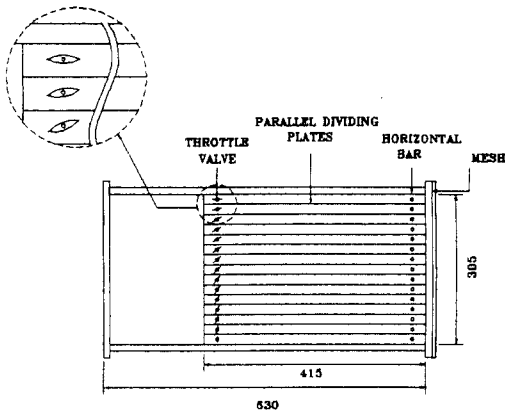


Fig. 1 Sketch of the shear flow generator

다. 분할평판은 두께가 1.5mm인 철판을 사용하였으며, 흐름에 인한 진동을 방지하기 위하여 양단 벽에 깊이 약 2mm의 홈을 파서 고정 하였다. Fig. 1은 전단류 발생장치의 개략도이다.

한편, 각 채널에 댐퍼를 사용하여 흐름에 저항을 주는 기존의 방법은 비교적 큰 속도구배를 만들 수 있는 장점은 있으나 2차원성의 유지가 힘들며, 이웃한 채널의 유동에 영향을 미치므로 시행착오법으로 균일한 단류를 만들어야 하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서 사용한 유량조절식 방

법은 상당히 시간과 노력이 절감되었으며 만족할 만한 결과를 얻을 수가 있었다.

2-2. 실험방법 및 실험조건

후류의 유동장을 측정하기 위하여 열선풍속계 (C.T.A., TSI Model 1054A)와 범용과형분석기 (D-6000, Model 611, Data Precision Inc.)를 용하였으며, 측정용 센서로는 공간 해상도가 좋고, 높은 난류강도에서도 비교적 정확하게 측정할 수 있는 Split Film Probe(TSI Model 1288)를 사용하였다. 또한 열선풍속계의 브릿지에서 나오는 두 출력은 5KHz Low-Pass Filter를 거쳐 Aliasing을 방지하고, 범용과형분석기에 장착된 14-bits A/D Converter와 Sample & Holder에 의해 디지털 값으로 표본되어 데이터 레코더(Model 681)를 통해 디스켓에 기록된다. 이때 표본율은 초당 10,000개, 일회 표본수는 4096개로 하였으며, 측정오차를 줄이기 위하여 한 측정점당 10회씩 표본하여 Ensemble 평균을 취하였다. 또한 모든 난류통계치는 IBM PC에서 오프라인 프로그램으로 처리하였다. 한편, 실험은 전단율(shear rate)을 다음과 같이 두가지 경우로 하여 각각 장방형주 후류의 유동장을 측정하였으며, 변장비에 따른 흐름특성 변화 및 전단율의 변화가 후류에 미치는 영향 등

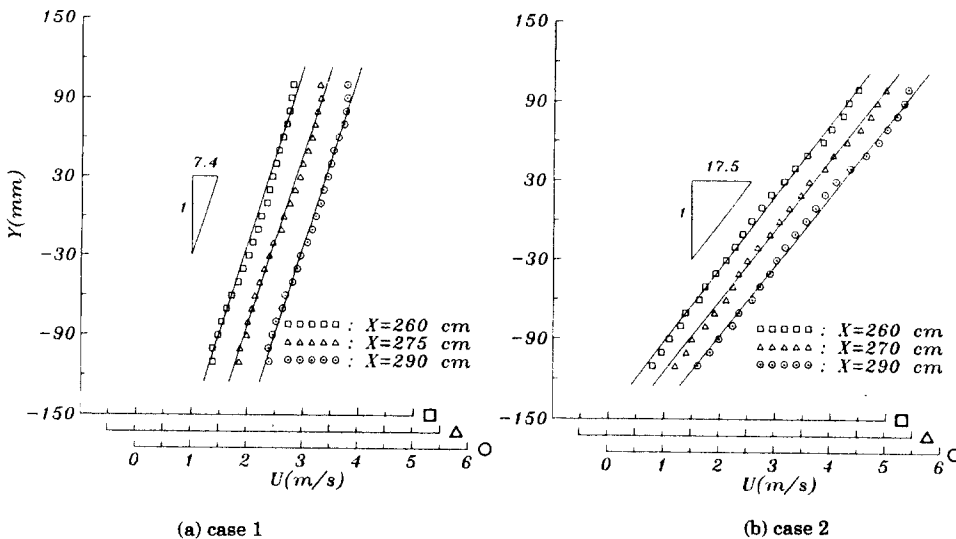


Fig. 2 Mean velocity distributions and shear rate in the range of measurement

Table.1. Experimental conditions

	전단율 (shear rate)	중심선상의 속도(Uc)	최대난류 강도
Case 1	7.4sec ⁻¹	3.2m/s (Re=1100)	4.5%
Case 2	17.5sec ⁻¹	3.6m/s (Re=1210)	5.6%

도 함께 조사하였다. Fig.2는 전단율이 다른 경우 시험구간내에서의 평균속도 분포를 나타내고 있으며, Table.1은 이때의 조건을 나타내고 있다.

그리고 원하는 속도구배로 만들기 위하여 표준 피토포관을 사용하여 속도를 측정하면서, 각 채널 입구측의 유량조절밸브를 조절하였다. 이때 표준 피토포관을 3축 자동이송장치로 5mm씩 이송해가면서 속도를 측정하고, 다시 A/D 변환기를 거쳐 PC에서 곧바로 그래픽으로 나타나도록 시스템을 구축하여, 원하는 속도구배를 만들 수 있도록 하였다. 덕트 상하벽에서의 벽면효과를 배제한 Y축 방향의 범위는 덕트 중심으로 부터 상하 약 110mm의 범위로, 단면중앙유속에 대하여 약 1% 이내의 오차로써 본 연구의 목적에 충분히 만족할 수 있는 것이며, 시험구간내에서의 2차원성도 충분히 보장되고 있었다. 또한 장방형주가 정확히 흐름방향에 대해서 평행하게 설치되어 있는가를 먼저 확인한 후 본 실험에 임하였다.

후류측정은 속도구배의 영향이 직접적으로 나타날 것으로 생각되는 근접후류(Near Wake)영역인 장방형주 후방 X/H=5.0, 10.0 지점, 그리고 Y/H=-5.5~5.5 범위에서 Split Film Probe를 정밀도 0.1mm의 3축 자동 이송장치로 이송하면서 난류신호를 측정하였다. Fig.3은 균일전단류중

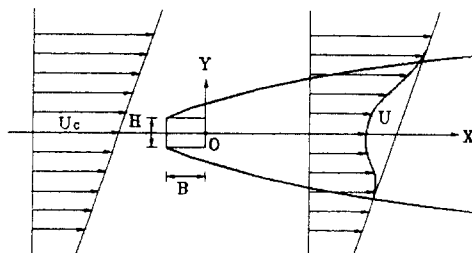


Fig. 3 Schematic diagram and coordinate system

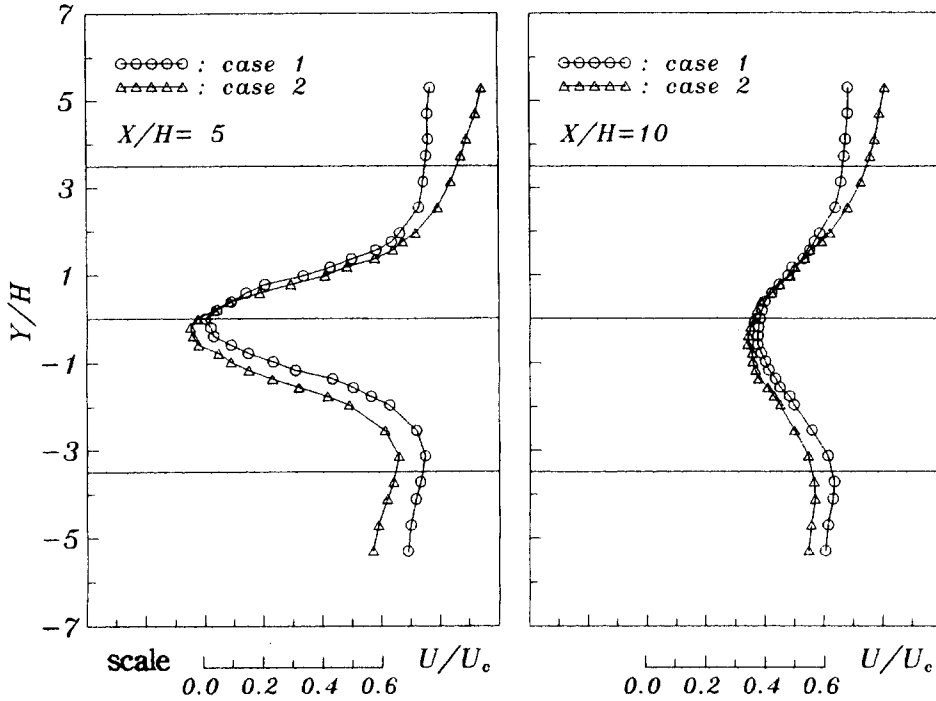
에 있는 장방형주 모델에 대한 유동의 개략도 및 좌표계를 나타낸다.

3. 실험결과 및 고찰

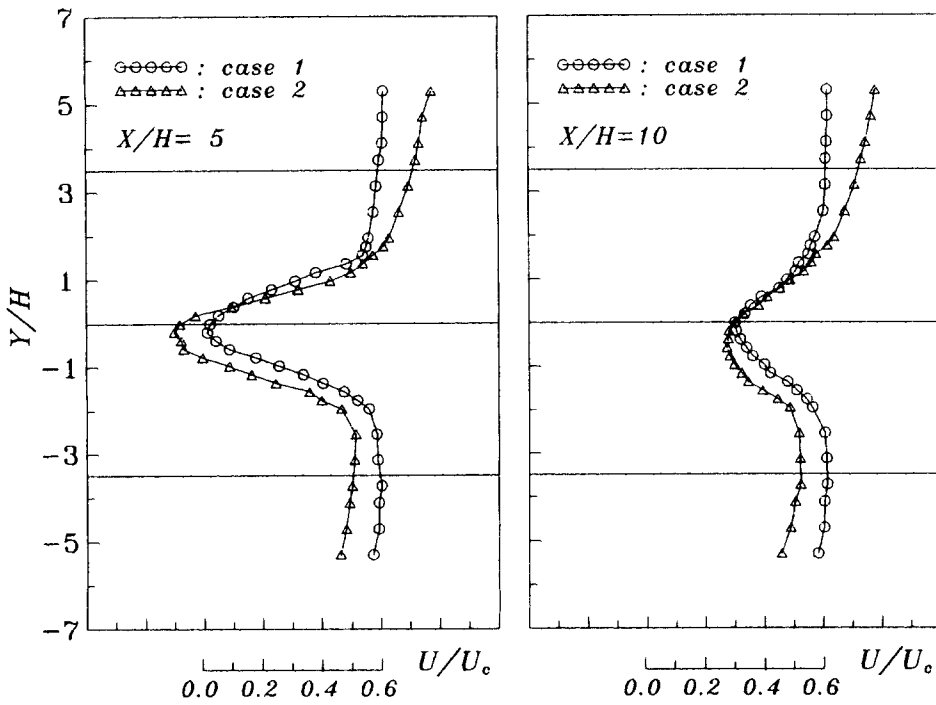
3-1. 평균속도 및 난류강도분포

Fig.4의(a), (b)는 장방형주의 변장비가 각각 2.0과 4.0인 경우 X/H=5.0과 10.0의 위치단면에서의 속도를 균일전단류의 덕트 중심속도(U_c)로 무차원화한 평균속도 분포를 나타내고 있다. 전단율의 증가에 따라 속도결손은 후류중심선(Y/H=0)의 아래쪽 면에서 더 크게 나타나며, 그 경향은 변장비가 클수록 뚜렷하게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 또한 속도결손이 일어나는 후류폭은 하류로 멀어짐에 따라 넓어지며, 최대속도결손이 일어나는 Y방향의 위치도 하류로 갈수록 균일전단류의 자유유동속도가 낮은 쪽으로 기울고 있음을 알 수 있다. 더욱이 그 경향은 전단율이 큰 경우일수록 확실하게 나타나는데, 이는 최대속도 결손이 일어나는 위치가 균일류(uniform flow)에서 후류중심선상에서 존재하는 경우와는 판이하게 다름을 입증하는 것이다.

한편, X/H=10.0 위치에서 각 변장비에서의 전단율의 영향에 대한 평균 속도변화를 Fig.5(a), (b)에 나타내었다. 전단율이 낮은 case 1의 경우는 Y/H=-1.2 부근에서, 그리고 전단율이 높은 case 2의 경우는 Y/H=-1.6 부근에서 속도결손이 변장비에 따라 현저하게 차이가 나타나고 있음을 볼 수 있는데, 이 사실은 변장비의 변화에 따라 완전 박리형(B/H=2.0)에서 완전 재부착 흐름(B/H=4.0)으로 옮겨가는 유동특성이 속도구배의 영향으로 인하여 상대적으로 장방형주 후류중심선의 아래쪽 면에서 더욱 뚜렷하게 나타난 결과로 생각된다. 또한 변장비 4.0인 경우 박리전단층이 측면에 재부착함으로 인하여 최대속도결손 정점의 위치는 후류중심선 부근으로 가까워지는 것을 알 수 있다. 한편, 균일류중이라도 회전하는 원주의 경우에 있어서는 원주의 회전속도 변화로 인하여 후류에서는 속도구배가 생기므로 최대속도결손 정점의 위치는 속도가 감소되는 아래쪽 면으로 이동하게



(a) $B/H=2.0$



(b) $B/H=4.0$

Fig. 4 Distributions of mean velocity U/U_c

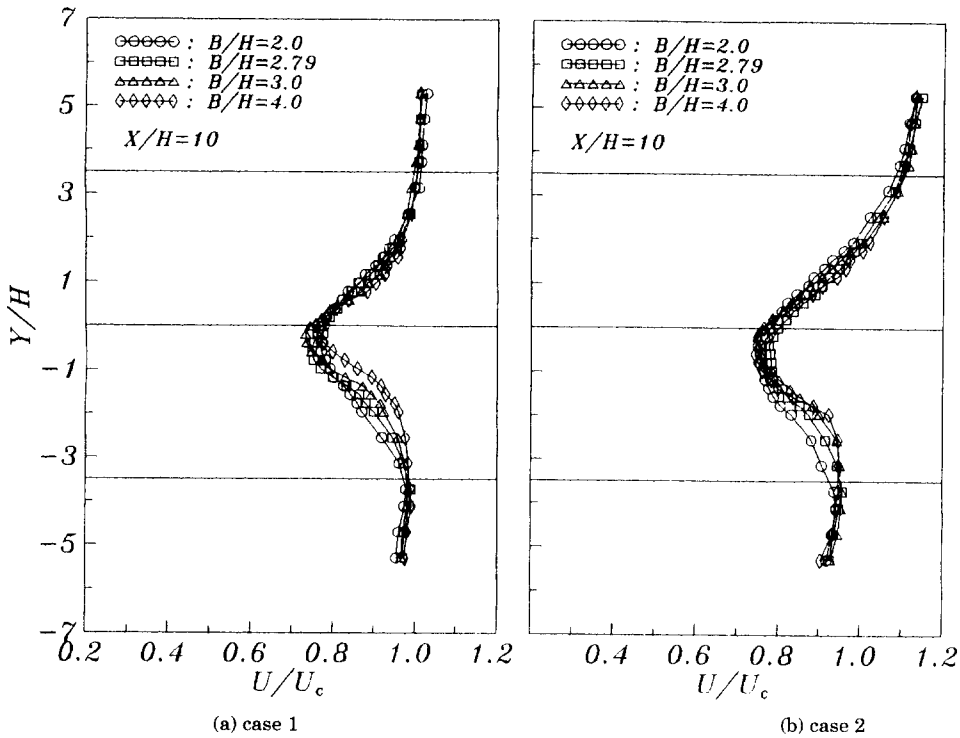


Fig. 5 Distributions of mean velocity according to B/H at X/H=10.0

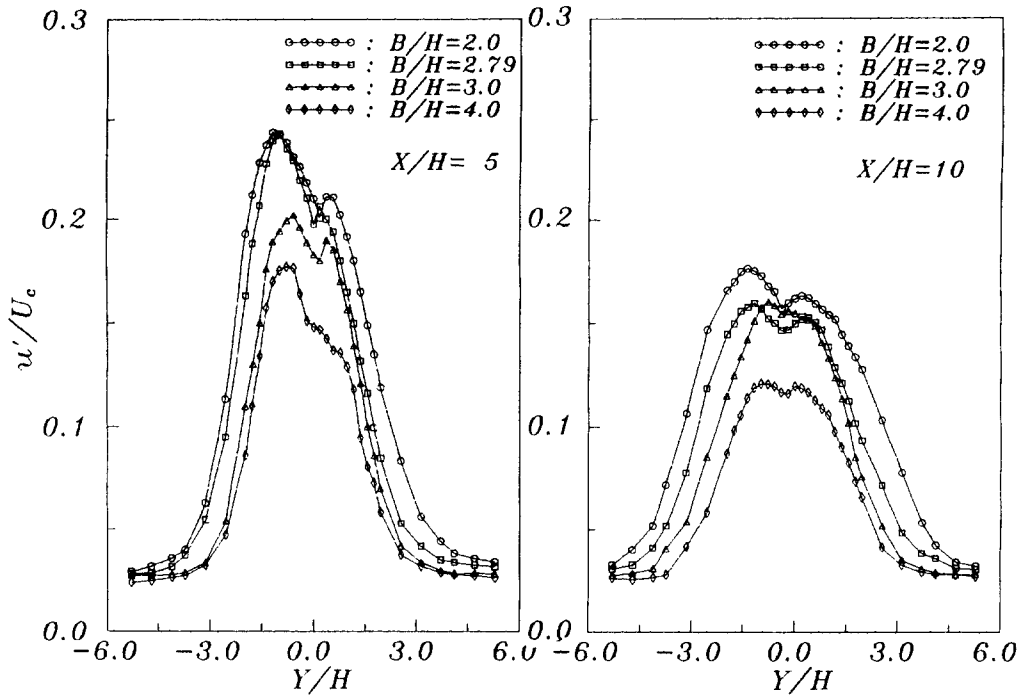
되는데⁸⁾, 이것으로 부터 서로는 비슷한 작용을 하는 것으로 보여 진다.

Fig.6(a), (b)는 case 1의 경우에서 u' , v' 성분을 U_c 로 무차원화 한 난류강도 분포를 나타내고 있다. 흐름방향으로의 난류강도는 코히런트와의 특징인 쌍봉형태로써, 그 정점은 $X/H=5.0$ 위치의 경우 상부측($Y/H>0$)에서는 약 $Y/H=0.6$ 지점, 하부측($Y/H<0$)에서는 약 -1.2 부근으로 균일류에서의 대칭과는 다른 비대칭의 형태를 나타내고 있다. 또한 유동방향으로 멀어짐에 따라 비대칭 쌍봉 형태는 상당히 없어지고, 그 폭도 미약하나마 넓어지고 있음을 알 수 있다. 한편, 수직방향으로의 난류강도분포의 경우 최대난류운동에너지는 하류로 감에 따라 감소하고, 후류폭은 증가하고 있음을 알 수 있는데, 이는 수직방향으로의 난류운동에너지가 확산되어 감을 나타낸다. 또 각주 후방에서 속도구배의 영향으로 상부측에서의 말려 들어가는 현상이 하부측보다 강하게 일어난다고 볼 때, 그

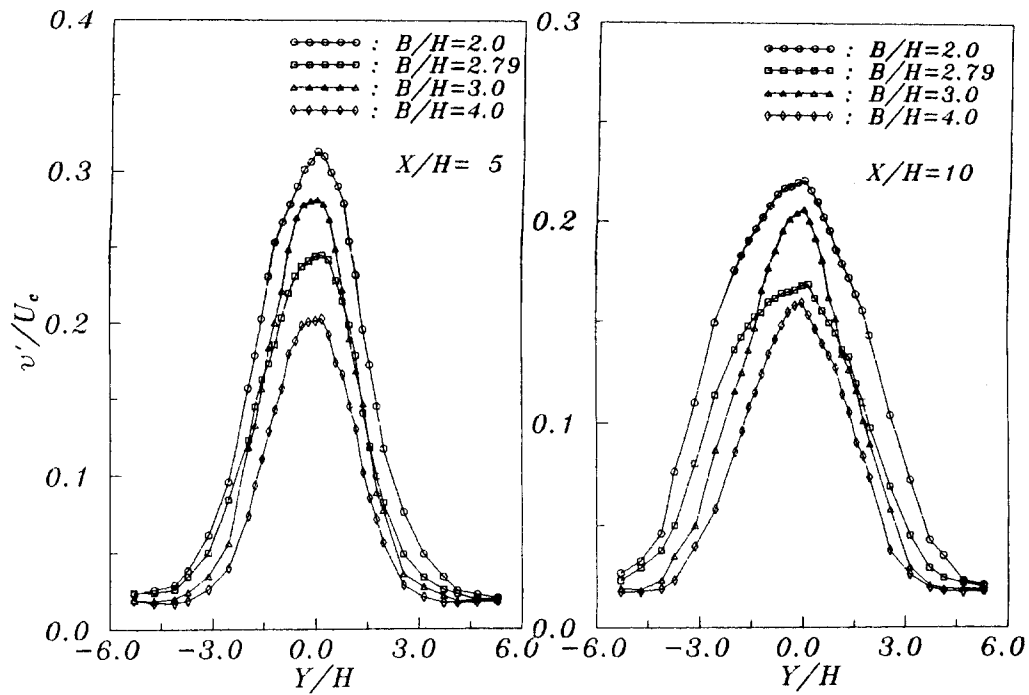
기울기는 각주에 가까운 근접후류일수록, 하부측보다는 상부측에서 더 급격하게 나타나는 것은 타당하다고 생각된다.

전단율이 높은 case 2의 경우를 Fig.7(a), (b)에 각각 나타내었다. 흐름 방향 난류강도의 분포형태는 자유흐름 난류강도의 증가로 하류로 갈수록 비교적 낮은 값을 보이고 있으며, 특히 수직방향으로의 경우 확산이 활발히 진행됨으로써 후류폭의 증가 현상이 뚜렷히 나타나고 있다.

전체적으로 볼 때 가장 큰 난류운동에너지가 존재하는 위치는 평균전단 속도가 빠른 상부측보다도 속도가 느린 하부측에 존재하며, 이로부터 하부측에서 유효전단력이 더 강하므로 더 많은 난류운동에너지가 생성된다고 볼 수 있다. 이와같은 현상은 상부측보다도 하부측에서 열과 같은 스칼라량의 확산이 크게 일어남을 의미하며, 그 정도는 전단율의 증가에 따라 어느정도 비례적으로 증가함을 나타낸다.

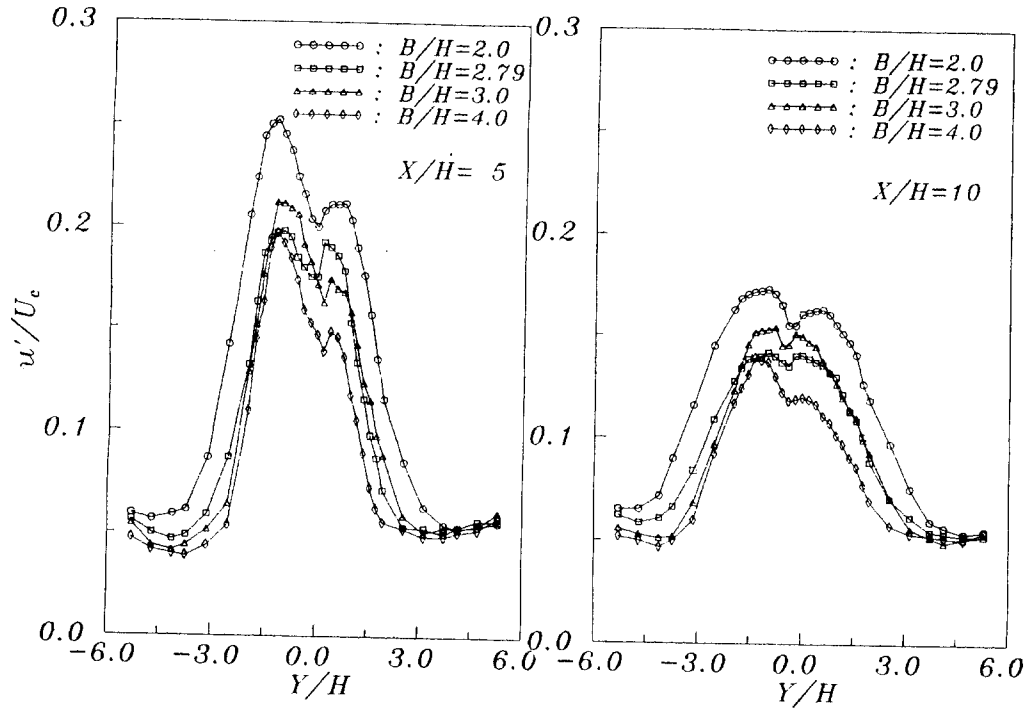


(a) longitudinal

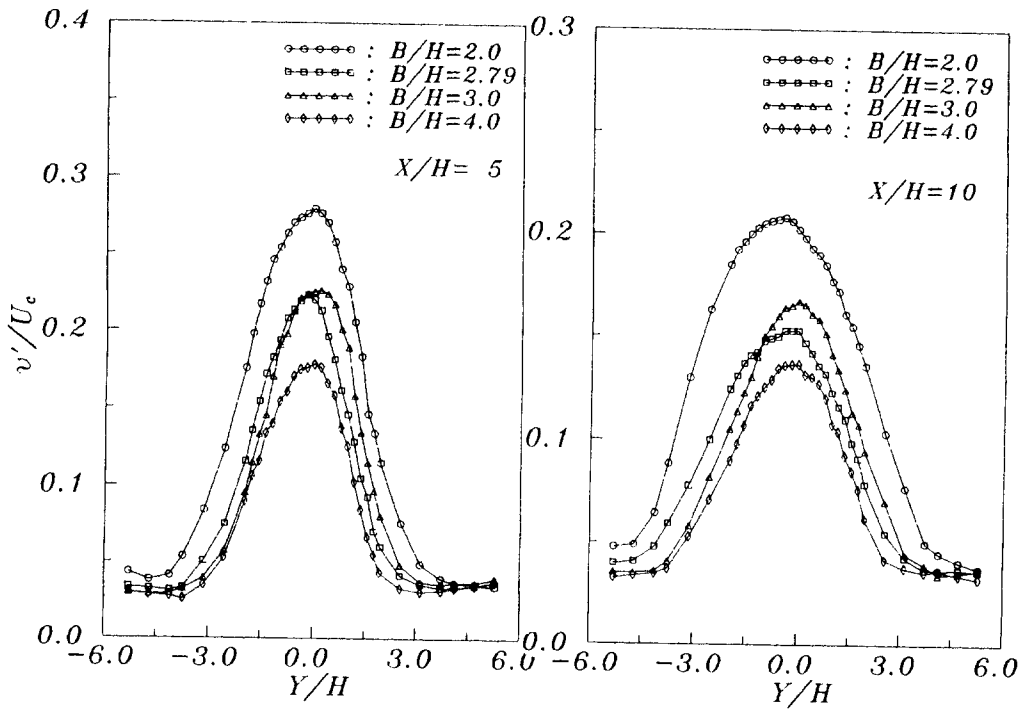


(b) transverse

Fig. 6 Distributions of turbulent intensity(Case 1)



(a) longitudinal



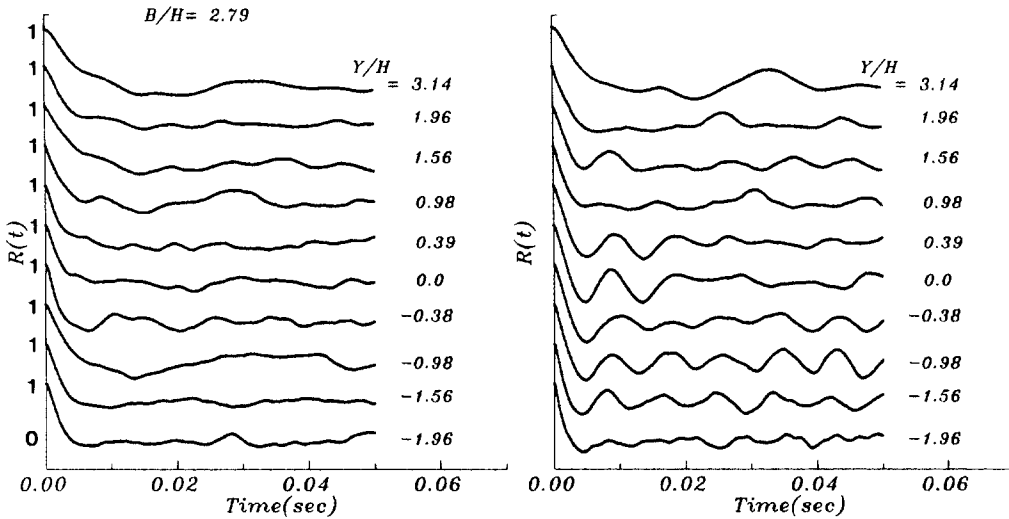
(b) transverse

Fig. 7 Distributions of turbulent intensity(case 2)

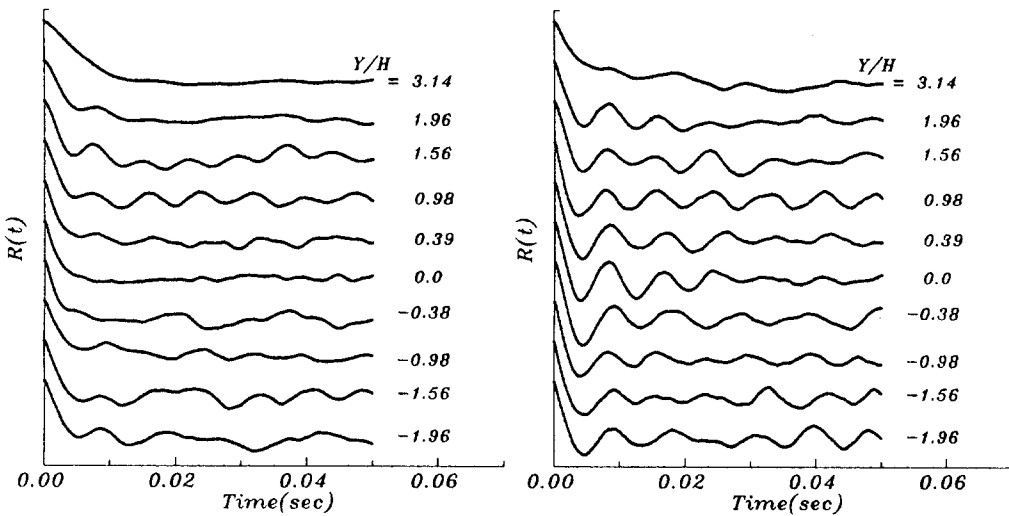
3-2. 자기상관계수

일반적으로 대규모와의 구조를 파악하기 위하여 조건부샘플링 기법에 의한 위상평균법을 사용하여 유동특성을 분석하는 방법이 널리 사용되고 있다. 이와같은 방법을 적용하기 위하여는 무엇보다도 규칙적인 주기를 가지는 와열이 형성되어야

하며, 생성 및 소멸과 같은 메카니즘이 어느정도 반복적으로 나타나야만 가능하다. 그러나 본 연구에서처럼 주류에 일정한 속도구배가 주어진 경우, 실제 물체에 접근하는 속도성분의 방향은 속도구배를 나타내는 기울기에 대략 수직하게 작용한다고 볼때, 물체의 후류에서는 유동의 흐름방향이 수직방향으로 규칙적인 와의 형성이 쉽게 이



(a) case 1



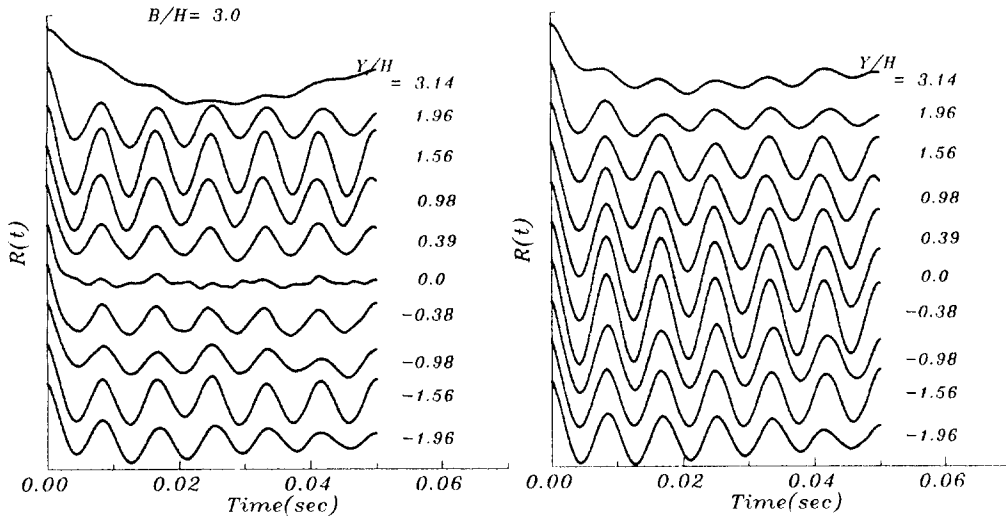
(b) case 2

Fig. 8 Autocorrelation of u & v fluctuation for $B/H=2.79$ at $X/H=5.0$ (Left : u -fluctuation, Right : v -fluctuation)

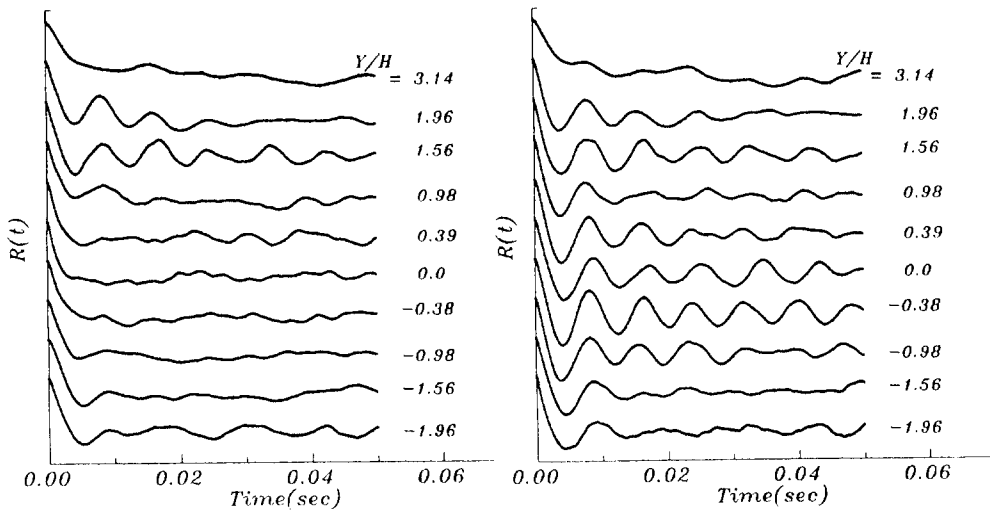
루어지지 않는 것이라고 생각된다.

따라서 주기성을 파악하기 위하여 균일류인 경우에서 일반적으로 각주의 입계형상이라고 알려진 변장비 2.79의 경우와 측면에서 새로운 박리전단층이 공존하는 변장비 3.0의 경우에 대하여 각각 흐름방향과 수직방향으로의 자기상관계수를 구하여 Fig. 8(a), (b)과 Fig.9(a), (b)에 나타내었

다. 이때 모두 $X/H=5.0$ 인 단면에서 측정된 결과이다. 우선 Fig.8에서 보듯이 변장비가 2.79일 경우 $Y/H=-2.0\sim 3.0$ 범위에서 탁월주파수는 찾아보기 힘들며 각각의 위치단면에서 다양한 주기와 진폭이 형성되어 있음을 볼 수 있다. 그러나 이 현상은 균일류에서는 $Y/H=-0.4\sim 0.4$ 범위에서만 나타나는 것으로 알려져 있으며, 그 밖갈쪽 단면에



(a) case 1



(b) case 2

Fig. 9 Autocorrelation of u & v fluctuation for $B/H=3.0$ at $X/H=5.0$ (Left : u - fluctuation, Right : v - fluctuation)

서는 두개의 탁월 주파수가 서로 공존하는 것으로 알려져 있다⁹⁾.

한편 변장비가 3.0 인 경우, 전단율이 작은 case 1 [Fig.9(a)]에서는 후류중심단면 부근을 제외하고는 상당히 규칙적인 주기가 형성되며, 진폭 또한 상당히 크게 나타남을 볼 수가 있다. 이때의 스트로할 수는 약 0.16 정도이다. 그러나 case 2 [Fig.9(b)]와 같이 전단율이 클 경우는 주기와 진폭이 각 위치단면에서 또다시 크게 홀트러지는 형태를 보이고 있다. 이와같은 경향은 측면에 완전 재부착하는 변장비 4.0의 경우도 마찬가지로의 결과를 예측한다. 이 사실로부터 재부착형의 변장비 일 경우 전단율의 어느 임계값을 넘어설 경우 칼만와열은 소멸된다고 결론지을 수가 있다. 따라서 그 임계값은 본 연구에서 수행한 두개의 전단율의 사이에 존재한다고 볼 수있다.

3-3. 파워스펙트럼 밀도함수

불규칙한 속도변동 신호로부터 에너지의 분포, 즉 각각의 주파수대에서 에너지의 생성 및 소멸 정도를 파악해보기 위하여 파워스펙트럼 밀도함수를 구하였다. Fig.10은 case 1의 경우 $X/H=5.0$

지점, $Y/H=0.5$ 의 위치단면에서 u, v 변동성분으로 부터 구한 파워스펙트럼 밀도함수를 나타내고 있다. 일반적으로 균일류중의 경우 박리한 전단류와 물체와의 사이에 간섭은 변장비의 변화에 따라 변하지만, 레이놀즈 수에 의해서도 박리한 흐름이 난류로 천이하는 위치가 변하므로 와류유출주파수는 크게 변화하게 된다⁹⁾. 그 결과 레이놀즈 수에 따라서 다수 개의 탁월주파수의 생성과 소멸현상이 나타나지만, 후류중심선을 약간 벗어난 지점에서는 대체적으로 고유한 와류 유출주파수를 나타낸다. 즉 몇개의 우월 주파수가 아닌 탁월주파수가 존재한다. 그러나 균일전단류의 경우는 Fig. 9에서 보듯이 변장비에 따라서 높은 주파수영역을 나타내는 위치 및 범위가 균일류와는 상당한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

변장비가 2.0, 2.79의 경우 비교적 넓은 주파수 band에서 복수개의 우월 주파수가 존재하고 있고, 재부착형인 3.0을 넘어 서면 비교적 탁월 주파수가 존재하는 것으로 나타난다. 어느 주파수 영역에서 에너지 값이 높다고 하는 것은 와류 유출 주파수에 해당하는 것으로, 지배적인 칼만 와열이 규칙적으로 생성되고 있음을 의미한다. 따라서 이

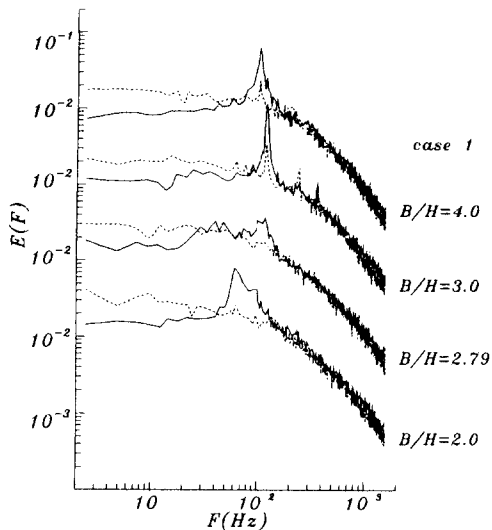


Fig. 10 Power spectral density function at $Y/H=0.5$ and $X/H=5.0$ (case 1)
(---: u -fluctuation, —: v -fluctuation)

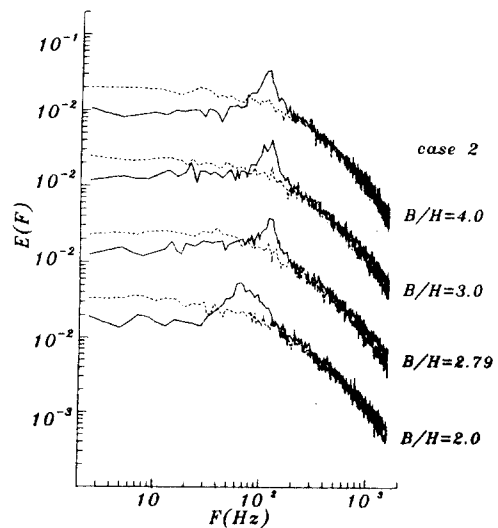


Fig. 11 Power spectral density function at $Y/H=0.5$ and $X/H=5.0$ (case 2)
(---: u -fluctuation, —: v -fluctuation)

와같이 비교적 낮은 전단율에서는 변장비가 3.0인 경우 측면에 재부착하는 위치가 속도구배로 인하여 상면에서 어느정도 앞쪽으로 당겨짐으로써 나타나는 현상으로 판단된다. 이 사실은 같은 레이놀즈 수의 균일류중의 경우 분리와 재부착이 공존하여 두개의 탁월 주파수가 생기는 것과 비교해 볼 때, 어느정도 낮은 전단율은 바로 균일류중에서 변장비의 증가와 같은 효과로 볼 수 있다고 생각된다.

그러나 Fig. 11에서 처럼 전단율이 어느정도 커질 경우는 변장비 3.0 이상에서도 탁월주파수는 형성되지 않고, 비교적 넓은 주파수 band에 걸쳐 다수개의 우월주파수만 생기는 것으로 밝혀졌다. 이 현상은 속도구배가 어느 임계값을 넘어설 경우 장방형주 위의 유동량을 증가시키고, 반대로 아래에서는 감소시킴으로써 유동을 불안정하게 만드는 정도가 훨씬 더 커지기 때문에 이런 현상이 생기는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 수행한 두개의 전단율 구간에서 나타나는 현상으로 미루어 보아 전단율의 임계값은 이 구간내에 존재한다고 생각된다. 한편, 물리적인 보다 자세한 해석을 위하여, 그리고 전단율의 임계값을 보다 엄밀히 파악하기 위해서는 다양한 전단율 구간을 설정하여 각 변장비에 따른 유동장을 측정 및 검토가 필요하다고 보여진다.

4. 결 론

속도구배가 일정한 균일전단류 속에 변장비가 다른 장방형주를 설치하여 변장비와 전단율에 따른 근접후류영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 후류에서의 확대폭은 속도가 빠른 상부측 보다도 느린 하부측에서 크게 나타나며, 속도구배가 클수록 그 경향은 크게 나타난다.
2. 난류운동에너지의 최대위치는 후류중심선을 경계로 하여 하부측에 존재하며, 변장비에 따라 속도결손율도 하부측에서 크게 차이가 난다.
3. 최대속도결손위치는 하류로 갈수록 속도가 느린 하부측으로 이동하며, 변장비가 3.0을 넘어서면 측면재부착위치 변화로 다시 후류중심선 상

으로 가까워 진다.

4. 균일전단류에서 규칙적인 와류구조의 생성유무는 전단율에 대한 함수로써 그 임계값이 존재한다. 균일류에서 불연속적인 St 수의 변화를 보이는 임계형상은 임계값 이하의 균일전단류에서는 변장비의 증가와 같은 효과를 나타낸다. 그러나 전단율이 임계값 보다 큰 경우는 비교적 큰 우월주파수가 넓은 주파수 band에서 공존한다.

이 논문은 1992년도 교육부 지원 학국학술진흥재단의 지방대 육성 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- 1) H. B. Awbi., 1978, "Wind - tunnel - wall constraint on two - dimensional rectangular - section prisms", *Journal of Industrial Aerodynamics*, vol. 3, pp. 285 - 306.
- 2) Y. Otsuki, K. Washizu, H. Tomizawa and A. Ohya., 1974, "A note on the aeroelastic instability of a prismatic bar with square section", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 34 - 2, pp. 233 - 248.
- 3) Y. Nakamura and T. Mizota., 1975, "Unsteady lifts and wakes of oscillating rectangular prisms", *Proc. Am. Soc. Civ. Eng., J. Eng. Mech. Div.* 101 - EM6, pp. 855 - 871.
- 4) 五十嵐, 1984, "長方形斷面柱 周圍まわりの流動特性", *日本機械學會 論文集*, 50 - 460, pp. 3185 - 3192.
- 5) 岡島 厚, 講山武人., 1983, "長方形斷面柱のストロハル數と背壓係數", *日本機械 學會 論文集*, 49 - 447, pp. 2551 - 2558.
- 6) Masaru Kiya and Masanori Matsumura., 1986, "The dispersion of velocity fluctuation in a two dimensional vortex wake", *JSME*, 52 - 473, pp. 266 - 277.
- 7) Champagne, F. H., Harris, V. G. and Corrsin, S., 1970, "Experiments on nearly homogeneous turbulent shear flow", *J. Fluid Mech.*, vol.41, pp. 81 - 139.
- 8) Diaz, F., Cavaida, J., Kawall, J. G., and Giralt,

F., 1983, "Vortex shedding from a spinning cylinder", *Phys. Fluids*, vol. 26, No. 12, pp. 3454-3460.

9) 岡島 厚., 1984, "長方形斷面柱のストロハル數と背壓係數(レイノルス 數の影響)", *日本機械學會 論文集*, 50-457, pp. 2004-2012.