

칼만와류식 공기유량센서의 와안정판이 후류유동장과 와유출주파수에 미치는 영향

임성원* · 류병남* · 이종춘** · 부정숙***

The Effect on Wake Flow and Vortex Shedding Frequency by Vortex Stabilizer in Karman Vortex Type Air Flow Sensor

S-W Lim* · B-N Ryu* · J-C Lee** · J-S Boo***

Key words : Air flow sensor(공기 유량 센서), Vortex flowmeter(와류 유량계) Strouhal number(스트로할 수), Vortex stabilzer(와안정판)

Abstract

An experimental study has been made to investigate the effect on wake flow and vortex shedding frequency by vortex stabilizer in Karman vortex type air flow sensor. The conditions investigated include 3 types of shapes and 3 types of separation distances of the vortex stabilizer. The phase averaged technique and smoke-wire flow visualization method are used to understand the detail information. The rolling up position of shear layer is fixed by the influence of the vortex stabilizer. Especially, the convex type vortex stabilizer has shown the more stable repeatability and linearity regarding the vortex shedding frequency compared to the other types.

1. 서 론

유량계를 이용한 유량의 측정은 그 측정 원리가 10여 가지 이상이며, 측정하고자 하는 유체의 종류, 유동관의 직경, 최대온도 및 압력, 최소 레이놀즈수, 예측 정확도, 비용, 관리의 용이성 등에 따라

적합한 모델을 선정하여 사용하고 있다.^{(1),(2)}

그 중에서도 와류유량계(vortex flowmeter)는 유동속에 놓여진 물체 뒤에서 발생하는 규칙적인 와유출(vortex shedding)의 주기성을 이용하여 유속과 유량을 산출한다.

본 연구에서 관심을 두고 있는 것은 자동차엔진

* 부산대학교 대학원 기계공학과(원고접수일 : 2000년 2월)

** 경남정보대학 기계시스템학부

*** 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소

의 흡입공기 측정용 공기유량센서(Air Flow Sensor, 이하 AFS)로서, 초음파를 이용해 후류유동의 주기적인 변화를 검출하는 와류유량계이다. 전자제어식 가솔린 연료분사 장치는 연료의 분사량을 제어하는 컴퓨터(ECU)를 사용하여 엔진부 하에 알맞은 혼합기를 정밀하게 공급할 수 있도록 되어 있다. 즉, 엔진의 회전속도, 흡입공기량, 냉각수의 온도, 흡입공기온도 등의 상태가 각종 센서로부터 전기신호로 변환되어 ECU에 입력되면 ECU는 자동차의 운전조건에 가장 적합한 분사량을 연산하여 출력신호를 인젝터(injector)에 보내 연료를 분사한다. 이렇게 함으로써 공연비의 향상, 엔진의 효율 및 주행성능의 향상, 유해 배출가스의 감소효과를 얻을 수 있는 장치이다. 이와 같이 최적의 점화시기에 최적의 연료량을 분사하기 위해서는 연소실에 유입되는 공기량을 정확히 계측하는 것이 가장 어렵고 중요한 일이다. 현재 국내 자동차업계에서 사용되고 있는 전자제어식 가솔린엔진에 적용된 흡입공기량의 계측방법으로는, 공기유량센서가 흡입공기와 직접 접촉하여 계측하고 공기의 유량을 전기적 신호로 바꾸어, ECU에 보내는 매스플로(mass flow)방식과 흡기다기관(intake manifold)압력이 1사이클에 대해 흡입하는 공기량에 비례하는 원리를 이용하여 반도체 진공센서로 흡기다기관 압력을 검출하는 흡입압력 검출방식이 있다. 이중에 국내 자동차 업계가 대부분 채용하고 있는 매스플로방식의 유량계측법은 측정 방식에 따라 메저링플레이트(measuring plate)방식, 열선(hot wire)방식, 칼만와류(Karman vortex)방식이 있다. 특히 칼만와류 방식은 유량에 비례하는 주파수 출력을 구할 수 있고, 칼만와류에 의한 유체의 진동을 이용하여 구조가 간단하고 기계적인 가동부가 전혀 필요 없기 때문에 AFS로 많이 사용되고 있다. 현재 여러 완성차에서 이러한 칼만와류식 AFS가 사용되고 있지만, 전량 수입에 의존하고 있으며, 아직 설계기술은 개발되지 않은 상태이다. 특히 AFS내부의 각종 조건(와류발생체의 형상, 와안정판의 위치 및 형상, 벽면 및 조도효과 등)에 따른 칼만와류의 검출 안정성이나, 와유출주파수와 흡입공기유량과의 선형성등에 대한 유체역학적 기초자료가

전무한 상태이다.⁽³⁾

한편, 와류유량계(vortex flowmeter)와 관련된 선행 연구들을 살펴보면 다음과 같다. Bentley 등⁽⁴⁾은 여러 가지 형상비를 가지는 2개의 사각형주로 구성된 와류발생체로 실험을 하여, 와유출이 매우 일정하게 발생하는 조합이 있다는 것을 보였고, 그 조합의 경우에는 0.02%의 재현성(repeatability)을 얻기 위해서 33분의 데이터 획득시간이 필요하며, 이는 일반적으로 단일 물체로 구성된 와류발생체에서의 387분보다 현저히 짧다고 하였다. 또한, 실험을 통해 두 사각형주 사이의 경계충진동이 물체 주위에서의 경계충진동과 밀접하게 연관되며, 두 사각형주의 중심선 사이를 얇은 판으로 막아둔 경우에는 그런 현상이 발생하지 않는다는 것을 알아냈다. 결과적으로 하류 물체에서의 와유출이 두 물체사이의 경계층의 진동으로 인해 증대됨을 밝혔는데, 이는 Igarashi⁽⁵⁾가 가시화 실험에서 보여 준 현상과 일치한다. 또한 Bentley 등⁽⁶⁾은 전장대 폭비가 2 : 1인 사각형주 뒤에 여러 가지의 쇄기(wedge)모양, 볼록한(convex) 모양, 오목한(concave) 모양의 판을 설치하여 실험한 결과, 쇄기 모양과 볼록한 모양의 판을 설치하면, 와유출이 더 안정적으로 일어난다고 하였다. 이종춘 등⁽³⁾은 공기유량센서의 유동구조에 대한 실험적 연구에서, 와류발생체로 쓰인 정삼각형주의 정점이 자유유동의 전면에 놓인 경우, 배면에 와안정판을 가지고 있는 경우 및 배면이 자유유동의 전면에 놓인 경우의 3가지에 대해 후류유동장을 조사한 바, 배면에 와안정판을 가지고 있는 경우가 와유출주파수의 선형성(linearity)이 가장 뛰어나고, 후류에서 전체적인 속도 결손을 감소시켜 압력손실을 줄여 주며, 주기성을 후류 중심으로 모이게 하여 와를 안정화 시킨다고 하였다.

이상의 선행 연구들을 바탕으로, 본 연구에서는 칼만와류(Karman vortex) 방식의 전자제어 엔진용 공기유량센서의 와안정판 형상 및 간격변화를 통해 와유출주파수의 안정성과 유동속도변화에 따른 와유출 주파수 특성의 선형성을 알아보고, 이에 따른 유동장의 변화를 측정하여 공기 유량센서의 기초설계기술 확립에 기여하고자 한다.

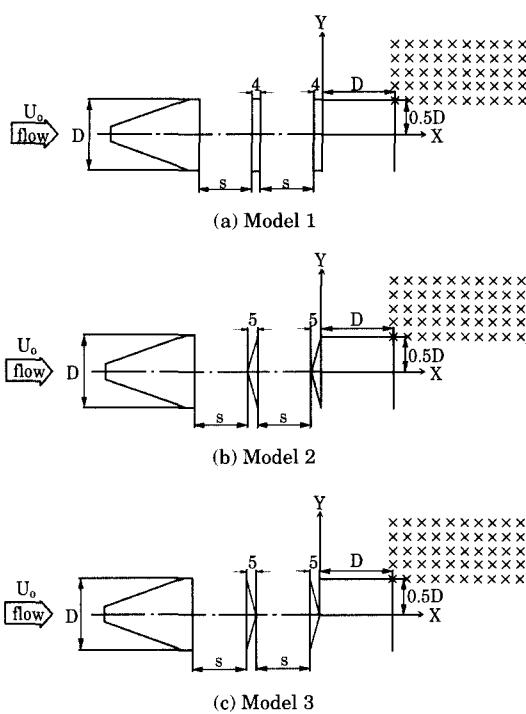


Fig. 1 Vortex generators introduced in this study

2. 实驗装置 및 방법

본 연구에서는 전체 길이가 6,375mm이고 시험부의 크기가 305mm(폭) × 305mm(높이) × 3,200mm(길이)인 개회로 노즐형의 흡입식 아음속 풍동을 사용하였고, 유동이 균일하도록 입구에 40mesh의 스크린을 설치하여 시험구간에서의 난류강도가 약 2%를 유지하도록 하였다.

Fig. 1은 본 연구에서 도입된 칼만와류식 AFS의 와안정판(vortex stabilizer)의 형상 및 간격을 변화시킨 모델의 차수와 와유출 주파수 측정지점을 도시한 것이다. 3가지 모두 폭 D는 36mm로 일정하나, 와안정판의 간격 S는 20mm(S1), 26.5mm(S2), 33mm(S3)의 3가지를 도입함으로써, 총 9가지의 모델을 채택하였다. 이들 9가지 모델을 와안정판의 모양과 간격에 따라 Table. 1에서 보이는 바와 같이 명명하였다. Fig. 1(a)는 자동차용 AFS와 같이 배면에 2개의 평판을 가지고 있다. 이 모델은 평판의 간격에 따른 영향을 알아보기 위해 도

Table 1. Model Specification

	S1(20mm)	S2(26.5mm)	S3(33mm)
Model 1	M1S1	M1S2	M1S3
Model 2	M2S1	M2S2	M2S3
Model 3	M3S1	M3S2	M3S3

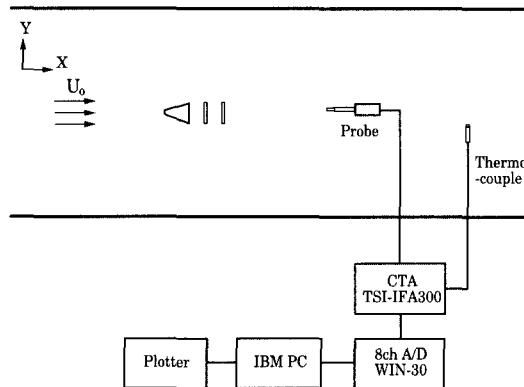


Fig. 2 Schematic diagram of measuring and data processing system

입되었다. Fig. 1(b)는 평판 대신 얇은 삼각형 판의 정점을 상류방향으로 놓은 모델이고, Fig. 1(c)는 삼각형 판의 정점을 하류방향으로 놓은 것이다. 참고로, Table. 1에서 M1S2모델이 현재 자동차용 공기유량센서로 사용되고 있는 것이다.

Fig. 1에서 × 표시된 것은 와유출 주파수의 측정점을 표시한다. 즉 (X, Y, Z)=(1D, 0.5D, 0)~(2.8D, 1.3D, 0)의 영역을 0.2D씩 등간격으로 이동하면서, 총 50점을 선택하였고, 각각은 추출 주파수 1kHz, 4096개의 데이터를 300Hz의 저역통과 필터를 거쳐 5번씩 총 250회 측정하였다.

이상의 9가지 경우에 대하여 자유흐름속도 5.5m/s에서 후류유동장의 특성을 살펴보고, 모델의 폭(D)을 기준으로 한 레이놀즈수(ReD) 약 6,000에서 21,000의 범위에서 유속 대 와유출주파수의 선형성(linearity) 및 백분율 표준편차(% σ : percentage standard deviation)를 이용한 와유출주파수의 재현성(repeatability)을 살펴볼 것이다. 이를 통해 각 모델의 성능을 평가할 수 있을 것이다. 또한 가시화 실험을 병행하여 와의 생성 메커니즘에 대해서도 고찰해 볼 것이다. 데이터 취득에

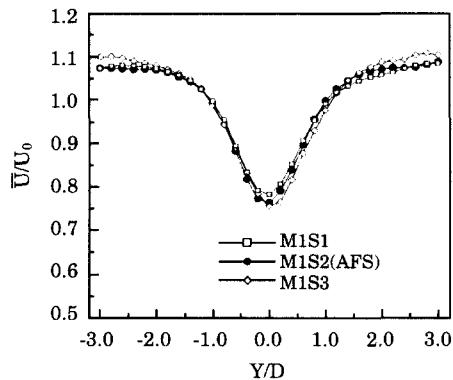
는 정온형 열선풍속계(TSI, model IFA 300)와 X형 열선(Kanomax, model 0252-T5)를 이용하였으며, 개략도는 Fig. 2와 같다.

3. 실험결과 및 고찰

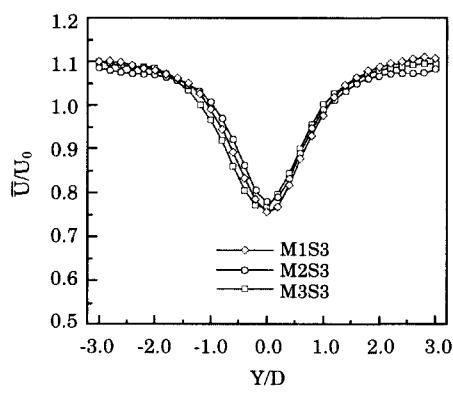
3.1 후류유동장

Fig. 3은 와류발생체(vortex generator) 배면의 중심을 기준으로 $X/D=5.0$, $-3.0 \leq Y/D \leq 3.0$ 의 영역에서 Y방향으로 $0.2D$ 씩 이동하면서 측정한 시간평균 속도를 무차원화하여 나타낸 것이다. Fig. 3(a)는 와안정판 사이의 간격에 따른 영향을 살펴보기 위해 M1 모델의 분포를 3가지 간격(20, 26.5, 33mm)에 대하여 도시한 그림이다. 와안정판 사이의 간격이 멀어질수록 후류 중심에서의 속도 결손과 후류폭이 증가함을 볼 수 있다. Fig. 3(b)는 와안정판의 형상에 따른 효과를 살펴보기 위해 같은 간격(S3 : 33mm)을 가지는 3가지의 다른 모델, 즉 M1S3, M2S3, M3S3에 대한 속도분포를 도시한 것인데, M2 모델이 속도결손이 가장 작고 후류폭도 가장 좁으며, M1 및 M3의 경우는 거의 유사한 분포를 가지고 있음을 알 수 있다. Fig. 3(c)에서는 각각의 모델과 간격을 대표한 3가지 조합의 분포를 나타내 보았다. 앞에서 와안정판 사이의 간격이 가깝고, 형상이 M2모델일 때 속도결손과 후류폭이 감소하는 것을 보았는데, 이를 취합한 M2S1의 경우가 가장 작은 후류폭과 속도결손을 가지며, M3S3의 경우 후류폭이 가장 넓다는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 미세하나마 와안정판의 형상 및 간격을 변화시켜 압력손실을 줄일 수 있다는 것을 알 수 있었다.

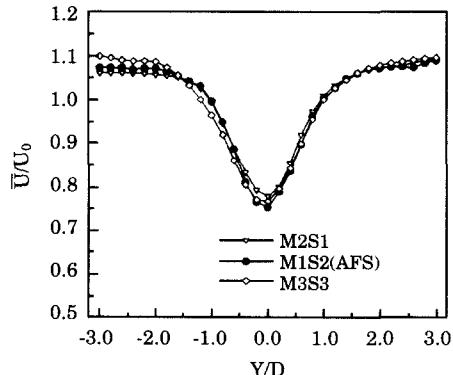
Fig. 4는 흐름방향의 난류강도(turbulence intensity)에 관한 분포를 나타낸다. Fig. 4(a)를 보면 와안정판의 간격이 멀어질수록 난류강도의 폭과 크기가 증가함을 알 수 있는데, 이는 앞의 시간 평균 속도에서 와안정판의 간격이 멀어질수록 후류폭이 증가하는 현상과 잘 연관된다. Fig. 4(b)는 와안정판 사이의 간격이 같을 때(S3 : 33mm), 모델에 따른 난류강도 분포를 나타낸 것인데, $M2 < M1 < M3$ 순으로 증가하는 것을 볼 수 있다. Fig.



(a) Effect of the separation distance for the model M1

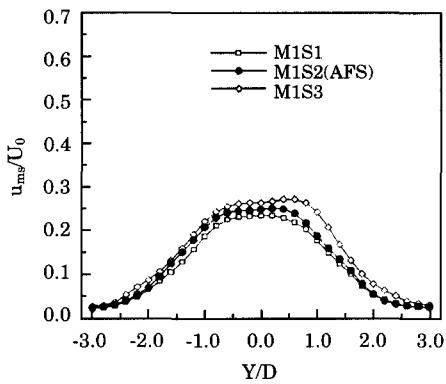


(b) Effect of the shape of vortex stabilizer at 33mm separation distance

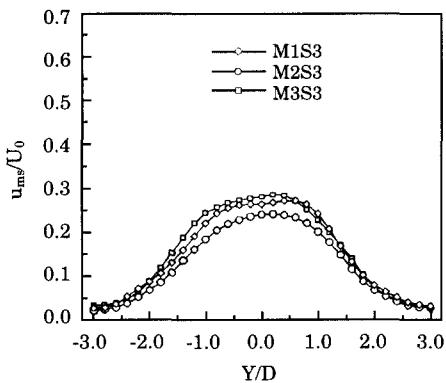


(c) Combination of the typical results

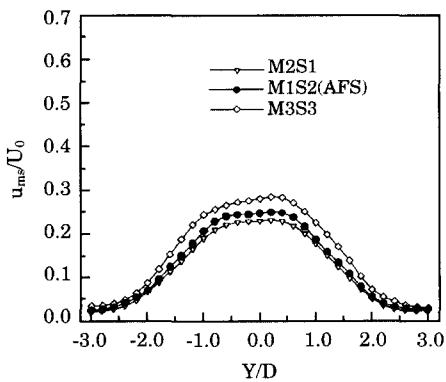
Fig. 3 Mean velocity distribution in Y-direction for $ReD=13,000$



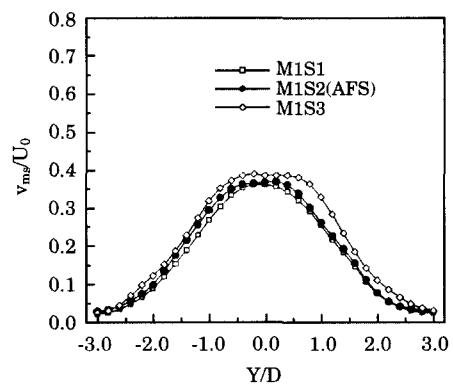
(a) Effect of the separation distance for the model M1



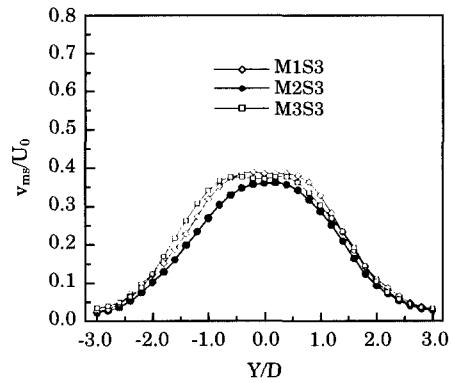
(b) Effect of the shape of vortex stabilizer at 33mm separation distance



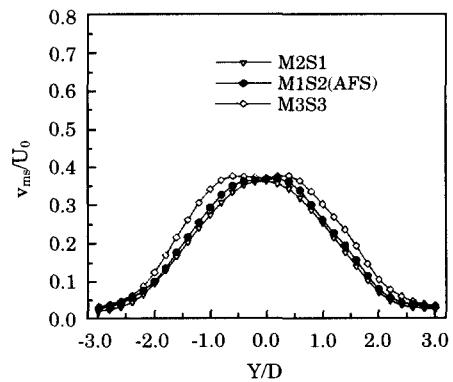
(c) Combination of the typical results

Fig. 4 Streamwise turbulence intensity distribution for $ReD=13,000$ 

(a) Effect of the separation distance for the model M1



(b) Effect of the shape of vortex stabilizer at 33mm separation distance



(c) Combination of the typical results

Fig. 5 Lateral turbulence intensity distribution for $ReD=13,000$

Fig. 4(c)에서는 앞의 (a), (b)에서 보았듯이 난류강도가 작은 조건(M2모델, S1간격)을 갖춘 M2S1이 예상대로 가장 작으며, 그 반대의 조건인 M3S3이 높은 값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 흐름에 수직한 방향으로의 난류강도 분포를 보여주고 있다. Fig. 5의 (a), (b), (c) 모두 흐름방향의 난류강도와 동일한 경향을 보여주고 있다. 즉, 흐름방향의 난류강도가 큰 경우는 그에 수직한 방향에서도 난류강도가 크게 나타나고, 흐름방향 난류강도가 작은 경우에는 그에 수직한 방향에서도 작은 난류강도를 가진다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 자유흐름의 전면에 놓인 물체에서 생긴 박리전단층에 의한 난류강도는 배면에 위치한 와안정판의 형상과 간격 모두에 영향을 받으며, 형상에 따라서는 $M2 < M1 < M3$ 의 순서로, 간격에 따라서는 $S1 < S2 < S3$ 의 순서로 난류강도가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

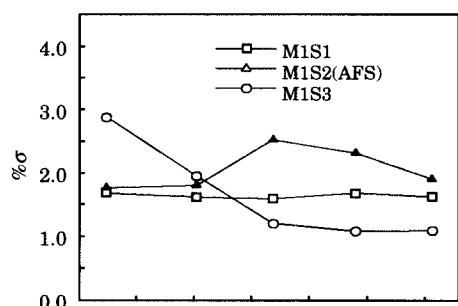
3.2 와유출 주파수 특성

Fig. 6은 Fig. 1에 표시된 와유출주파수 측정점 50곳에서 총 5번씩 250번 획득한 데이터를 FFT처리하여 얻은 주파수의 백분율 표준편차($\% \sigma$)를 도시한 것이다. Fig. 6(c)의 M3모델 즉, 삼각형판의 정점을 하류 방향으로 위치시킨 경우가 레이놀즈 수 약 10,000미만에서는 약간 높은 백분율 표준편차를 가지나, 그 이상에서는 점차 낮아지는 것을 알 수 있다.

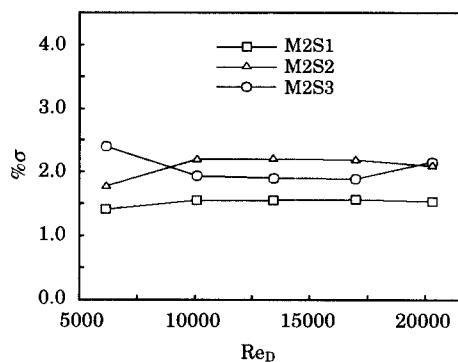
각 모델별로 백분율 표준편차의 평균을 구해보면 Table. 2와 같다. 측정 범위에서 M3모델들의

Table 2. Mean of tested models

Model	Spacing	Mean
M1	S1	1.48
	S2	1.87
	S3	1.43
M2	S1	1.42
	S2	1.95
	S3	1.92
M3	S1	1.17
	S2	1.04
	S3	1.03



(a) M1 models



(b) M2 models

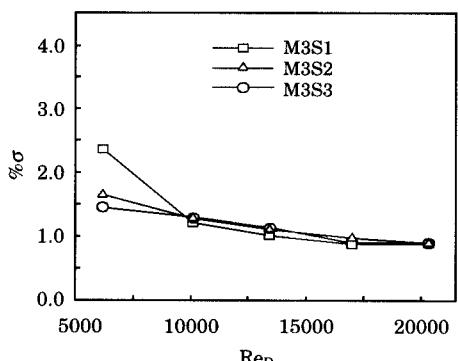


Fig. 6 Percentage standard deviation of vortex shedding frequency

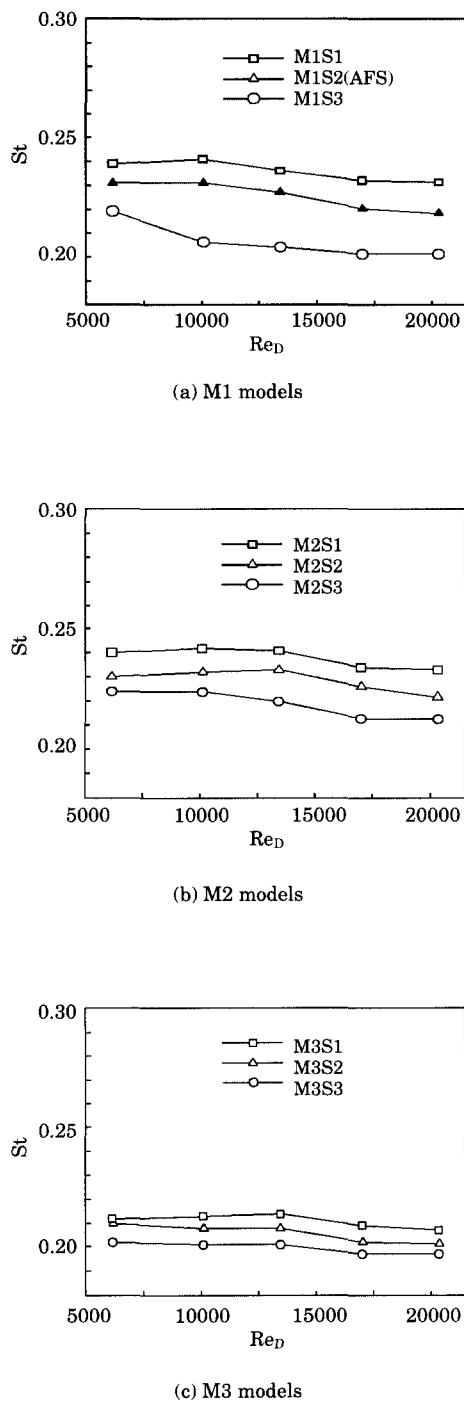


Fig. 7 Variation of Strouhal number along Reynolds number at same vortex stabilizer

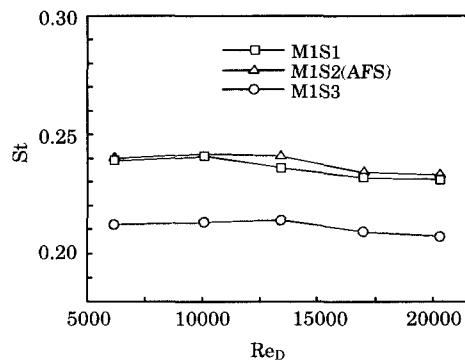
백분율 표준편차의 평균값들은 간격에 따라 각각 $S_1=1.17$, $S_2=1.04$, $S_3=1.03$ 이며 다른 모델에서의 $1.43\sim1.95$ 보다 훨씬 작은 값을 가진다. M1S1과 M2S1은 평균값이 1.48과 1.42로 M3모델들에 비해 높은 값을 가지나 AFS보다는 작으며, 그림을 보면 레이놀즈수의 변화에 관계없이 거의 일정한 값을 유지하고 있기 때문에, 기존 AFS의 와안정판의 간격을 줄이는 것으로도 와유출이 좀 더 안정될 수 있다고 생각된다.

Table. 2를 전체적으로 살펴보면, 와안정판의 간격보다는 형상이 와유출의 안정화에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 특히 하류 방향으로 볼록한 와안정판(M3모델)이 효과적이라고 판단되며, 이의 원인에 대해서는 뒤에서 와안정판의 형상에 따른 유동의 가시화를 통해 고찰할 것이다.

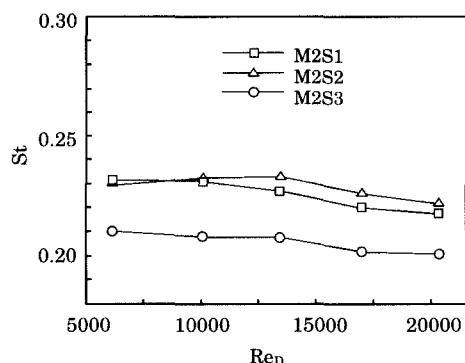
Fig. 7은 와안정판의 형상별로 묶어서 스트로할수(Strouhal number)를 도시한 것이다. 그림에서와 같이 M1, M2, M3모델 각각에서 와안정판 사이의 간격이 멀어질수록 스트로할수가 감소하는 현상이 발생하였다. 또한, M3모델이 다른 모델에 비해 와안정판 간격의 변화에 따른 와유출주파수의 변화가 작으며, 유속 대 와유출주파수의 관계도 가장 선형적임을 알 수 있다.

Fig. 8에서는 레이놀즈수와 스트로할수의 관계를 간격이 같은 모델별로 묶어서 나타내 보았다. 이는 같은 와안정판 사이의 간격에서 와안정판의 모양이 달라지면 어떤 효과가 있는지를 알아보기 위한 것이다. 그림을 살펴보면 3가지의 간격 모두에서 $M2 > M1 > M3$ 의 순서로 스트로할수가 작아지는 것을 볼 수 있다. 특기할 점은 이러한 경향이 앞서의 후류유동장 고찰에서 속도결손과 난류강도가 증가하는 순서와 일치한다는 것이다.

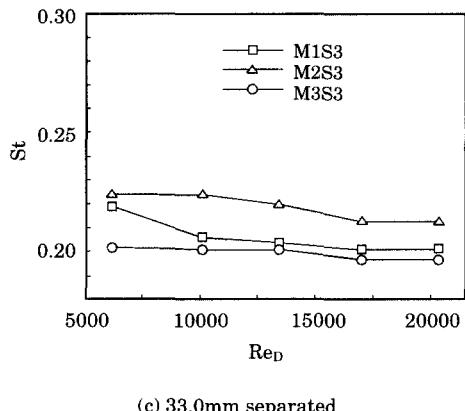
와안정판의 형상과 간격에 따른 와유출 주파수의 특성을 좀 더 자세히 살펴보기 위해 후류유동장에서 주파수 분석한 결과를 v -속도에 대해 Fig. 9에 나타내었다. 각각의 Y/D별 그래프는 각 지점에서 얻어진 모든 데이터(4096개·20회)를 주파수 변환하여 양상을 평균(ensemble average)을 취한 것이다. 그림을 살펴보면 M3S3의 경우가 M2S1 및 M1S2(AFS)에 비해 탁월 주파수의 영역이 넓고에너지 값이 큰 것을 볼 수 있는데, 이는 와가 더 안



(a) 20.0mm separated

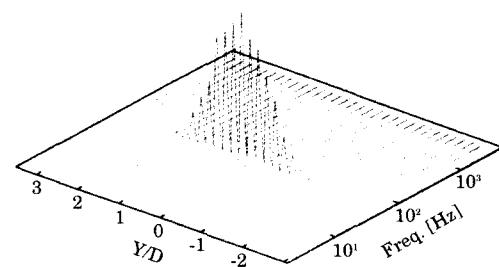


(b) 26.5mm separated

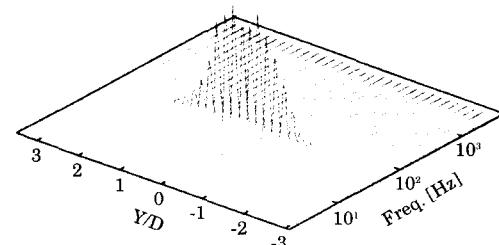


(c) 33.0mm separated

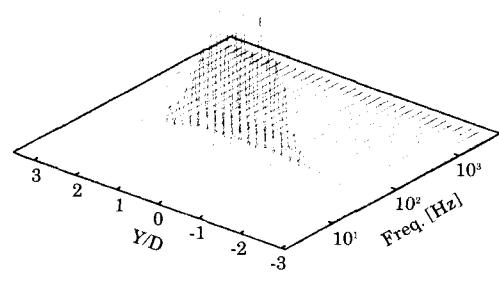
Fig. 8 Variation of Strouhal number along Reynolds number at same separation distance



(a) M2S1



(b) AFS(M1S2)



(c) M3S3

Fig. 9 Power spectrum of lateral velocity for $Re_D = 13,000$

정적으로 유출된다는 의미이다. 또한 모든 경우를 그림으로 나타내지는 않았지만, Table 2에서 와유 출주파수의 $\% \sigma$ 가 낮은 모델일수록 에너지 값이 크다는 것을 확인할 수 있었다

3.3 위상평균에 의한 후류구조 특성

일반적으로 대규모 와의 구조를 파악하기 위하여 조건부 샘플링 기법에 의한 위상평균법을 사용

하여 유동 특성을 분석하는 방법이 널리 사용되고 있다. 이와 같은 방법을 적용하기 위해서는 무엇보다도 규칙적인 주기를 가지는 와열이 형성되어야 하며, 생성 및 소멸과 같은 매커니즘이 어느 정도 반복적으로 나타나야만 가능하다. 따라서 $X/D = 5.0$, $-3.0 \leq Y/D \leq 3.0$ 의 위치에서 측정한 신호에 대해 이 기법을 적용해 보았다.

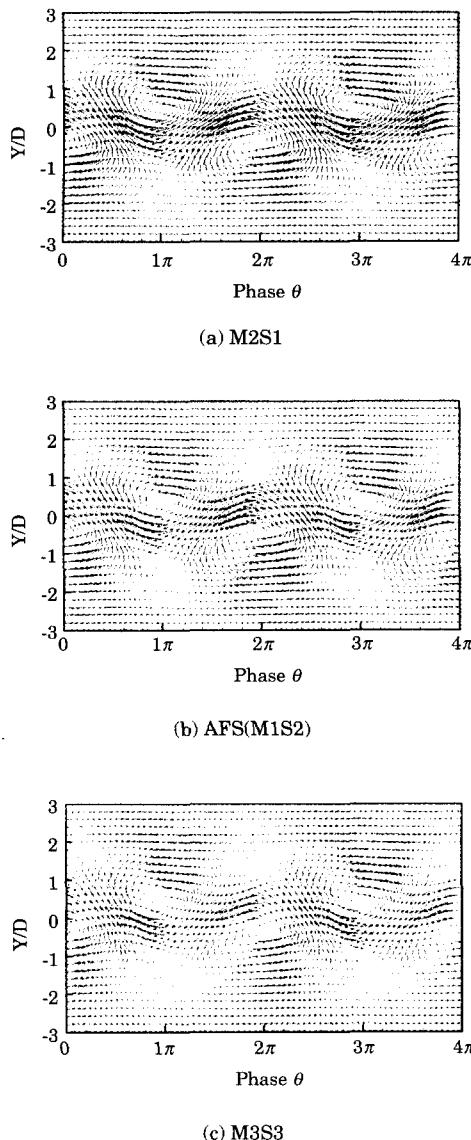


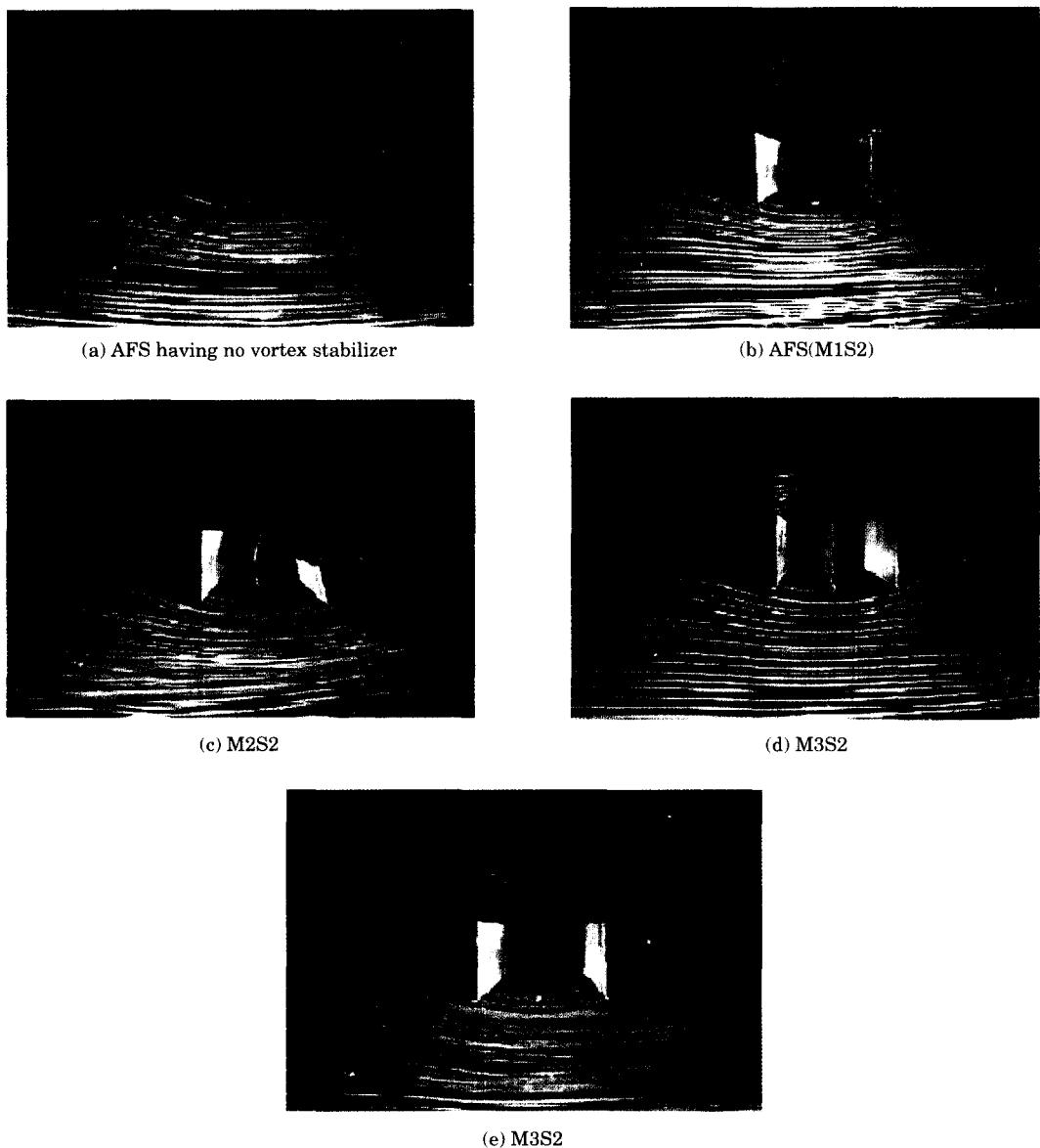
Fig. 10 Velocity vector fields ($\langle U \rangle - U_c$, $\langle V \rangle$) of the large scale structure for $ReD = 13,000$

Fig. 10은 위상평균된 속도를 와이동속도 (U_c)로 관찰자가 이동하면서 관찰한 위상평균 속도의 벡터장(vector field : $\langle U \rangle - U_c$, $\langle V \rangle$)을 도시한 것이다. 여기서 와이동속도는 위상평균에 의해 얻어진 $\langle U \rangle$ 성분을 위상별로 나누었을 때, 후류 중심선 상하의 가속부와 감속부에 있는 응집와의 중심속도를 구해 이의 평균값을 취한다.^{(7),(8)} 이렇게 계산된 와이동 속도는 $0.949 \sim 0.963 U_0$ (U_0 : 자유흐름속도)의 범위였다. 벡터장을 살펴보면 응집와의 중심 주위를 후류 중심선 상하에서 각각 서로 반대방향으로 회전하는 응집와가 존재하며, 또한 대규모 응집와의 중심을 확인해 볼 수 있다. 하지만 와안정판의 형상과 간격에 따른 경향을 구분하기는 곤란하였다.

3.4 유동의 가시화

Fig. 11은 가시화 실험결과를 나타내는 것으로 자유흐름속도 1m/s에서 smoke-wire 기법을 이용하였다.

가시화 실험은 정성적인 정보를 얻기 위한 것으로서, 본 실험에서는 와안정판 사이의 간격을 S2(26.5mm)로 고정하여 수행하였다. Fig. 11의 (b), (c), (d)를 살펴보면 두 번째 와안정판 뒤로 smoke가 밀려 올라가는 것을 볼 수 있는데, 이로부터 와안정판을 설치하지 않은 (a)의 경우보다 smoke가 중심으로 밀려 들어가는 위치의 변동이 줄어듦을 관찰 할 수 있었다. 따라서 와안정판은 자유흐름의 전면에 놓인 와발생체에서 생겨난 전단층의 후류중심으로의 권입(rolling-up) 위치를 고정 시킴으로써, 와유출을 보다 안정하게 발생시키는 역할을 한다는 것을 알 수 있었다. Fig. 11(d)와 (e)는 앞의 고찰에서 와유출주파수가 가장 일정하다고 밝혀진 M3모델에 대한 유동가시화 그림이다. 주목할 점은 와안정판의 형상이 권입되는 유선과 유사하기 때문에, 평면인 (b)AFS와 (c)M2S2의 경우보다 깊이 권입됨으로써 유동이 와안정판에 부착하는 시간을 지연시킴과 동시에 (e)에서 보는 바와 같이 위 쪽에서 생겨나는 와의 형성을 용이하게 하는 효과가 뛰어남을 유추할 수 있다. 하지만, 상대적으로 먼 궤적을 취하게 됨으로써 와유출이 지연될 가능성성이 있다. 따라서, M3의 경우 이러한 원

**Fig. 11 Photos of flow visualization result**

인으로 인해 M1 및 M2보다는 와유출이 안정되어 지나 와유출주파수가 낮아지게 된다고 생각된다.

4. 결 론

칼만와류식 공기유량센서의 와안정판의 형상 (M_1, M_2, M_3)과 간격(S_1, S_2, S_3)을 변화시킨 9가

지의 와류발생체에 대해 와유출 주파수의 특성, 위상평균 기법을 도입한 후류유동장 해석, 유동의 가시화를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 공기유량센서의 배면에 위치한 와안정판의 형상에 대해서 $M_2 < M_1 < M_3$ 의 순으로, 간격에 대해서는 $S_1 < S_2 < S_3$ 의 순으로 속도결손과 난류강도가 증가하였다.

2. M3형상의 와안정판을 설치하면 와유출이 더 옥 안정되며, 유속변화에 대한 와유출주파수의 선형 특성도 향상되었다. 또한 와안정판의 형상에 대해서는 $M2 > M1 > M3$ 순으로, 간격에 대해서는 $S1 > S2 > S3$ 순으로, 와유출 주파수가 감소하였다.
3. 유동의 가시화를 통해, 와안정판은 전단층이 후류중심으로 권입되는 위치를 고정시키는 효과를 가지고 있음을 알 수 있었으며, M3형상의 와안정판의 경우, 전단층을 후류중심으로의 용이하게 권입시킴으로써 와유출을 안정되게 하나, 상대적으로 긴 궤적을 취하게 함으로써 와유출 주파수가 낮아지는 것을 유추할 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 日本計量機器工業連合會, 1995, “計裝 엔지니어를 위한流量計測 A to Z”, 테크하우스.
2. 박경암, 백종승, 1991, “유량측정 정확도 향상을 위한 연구동향”, 大韓機械學會誌, 第31卷 第6號, pp.519~526.
3. 이종춘, 황성만, 부정숙, 2000, “전자제어 엔진의 공기유량센서 유동구조 연구”, 韓國船用機關學會誌, 第24卷 第4號, pp.94~101.
4. J. P. Bentley and A. R. Nichols, 1990, “Advantages of and developments in dual bluff-body vortex flowmeters”, Trans. Inst. M.C., Vol. 12, No. 4, pp.209~218.
5. Tamotsu Igarashi, 1981, “Characteristics of the Flow around Two Circular Cylinders Arranged in Tandem(1st Report)”, Bulletin of JSME, Vol. 24, No. 188, pp.323~331.
6. J. P. Bentley, R. A. Benson and A. J. Shanks, 1996, “The development of dual bluff body vortex flowmeters”, Flow Meas. Instrum., Vol. 7, No. 2, pp.85~90.

7. Masaru Kiya and Masanori Matsumura, 1985, “Turbulence Structure in Intermediate Wake of a Circular Cylinder”, Bulletin of JSME, Vol. 28, No. 245, pp.2617~2624.
8. 부정숙, 이종춘, 1994, “정지 및 회전하는 원주에 의한 난류후류의 응집구조”, 대한기계학회 논문집, 제18호, 제5권, pp.1310~1321.

저자 소개



임성원(林成圓)

1974년 3월생. 1998년 부산대학교 기계공학과 졸업. 2001년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 2001년~현재 ITI-Korea 근무.



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.



이종춘(李鍾春)

1960년 10월 20일생. 1983년 부산대학교 기계공학과 졸업. 1985년 동대학원 졸업(석사). 1995년 동대학원 졸업(박사). 1985년~1997년 대우정밀 기술연구소. 1997년~현재 경남정보대학 조교수



부정숙(夫靜淑)

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