

◎ 速報研究論文

# 전자제어 엔진의 공기유량센서 유동구조 연구

이종춘\* · 황성만\*\* · 부정숙\*\*\*

## Flow Mechanism around Air Flow Sensor of Electronic Control Engine

J. C. Lee\* · S. M. Hwang\*\* · J. S. Boo\*\*\*

**Key words** : Air Flow Sensor(공기유량센서), Coherent Structure(응집구조), Triangular Cylinder(삼각형주), Strouhal Number(스트로할수), Conditional Phase Average Technique(조건부 위상평균기법)

### Abstract

Flow mechanism around air flow sensor of electronic control engine, especially Karman vortex type, was investigated experimentally. The two-dimensional flow characteristics in the intermediate wake region behind a triangular vortex-generator respectively apex forward facing, apex backward facing and vertical flat plates following after apex forward facing(i.e vortex-flowmeter) were investigated at Reynolds number of  $ReH = 1.4 \times 10^4$ ; H is the width of a triangular vortex-generator. The vortex shedding frequency for wide Reynolds number from  $7 \times 10^3$  to  $2.1 \times 10^4$  was also surveyed. The velocity component was measured by X-type hot wire anemometer at 8H downstream from the bluff body. The coherent structure of the intermediate wake behind a bluff body was obtained by conditional phase average technique. As a result, it was verified that the vertical flat plates following after apex forward triangular vortex-generator make not only more linear relation between free stream velocity and vortex shedding frequency but also more periodic vortex in the vicinity of the center of wake.

### 1. 서 론

대부분의 공학적 내·외부 유동은 난류유동이며 이에 관한 실험적 연구는 더욱 복잡한 유동장과

유동의 제어에 관련하여 수행되고 있다. 균일 유동장에 놓인 물체 주위의 유동의 제어는 물체의 형상의 관점에서 보면 다음과 같은 제어기법으로 나누어진다. 즉 유선형 물체는 항력 발생의 주요 요인

\* 경남정보대학 기계제열(원고접수일 : 2000년 4월)

\*\* LG전자

\*\*\* 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소

인 마찰항력의 감소가 주목적 임으로 박리역제 제어 기법이 사용되며, 독특한 물체의 경우는 불규칙적인 와류를 발생시켜 와류에 의한 물체의 진동을 방지한다거나 형상항력을 줄이기 위한 박리 제어 기법이 사용되고 있다.<sup>11)~14)</sup> 한편 와류를 잘 발생할 수 있도록 하거나 이를 증폭시켜야 할 경우가 있다. 본 연구의 대상이 되는 공기유량센서와 같은 와류 유량계(vortex flowmeter)의 경우는 넓은 범위의 레이놀즈수에 대해 매우 일정한 스트로할 수를 가진 와류가 발생될 수 있도록 형태를 잘 설계해야 한다.<sup>15)~18)</sup>

전자제어식 가솔린 연료분사 장치는 연료의 분사량을 제어하는 컴퓨터를 사용하여 엔진부하에 알맞은 혼합기를 정밀하게 공급할 수 있도록 되어 있다. 즉, 엔진의 회전속도, 흡입공기량, 냉각수의 온도, 흡입공기온도 등의 상태를 각종 센서로부터 전기신호로 변환되어 ECU에 입력하면 ECU는 자동차의 운전조건에 가장 적합한 분사량을 연산하여 출력신호를 인젝터에 보내 연료를 분사한다. 이렇게 함으로써 공연비의 향상, 엔진의 효율 및 주행성능의 향상, 유해 배출가스의 감소효과를 얻을 수 있는 장치이다. 이와같이 최적의 점화시기에 최적의 연료량을 분사하기 위해서는 연소실에 유입되는 공기량을 정확히 계측하는 것이 가장 어렵고 중요한 일이다. 현재 국내 자동차업체에서 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 업체가 대부분 채용하고 있는 Mass Flow방식의 유량계측법은 측정 방식에 따라 메저링플레이트(Measuring Plate)방식, 핫와이어(Hot Wire)방식, 칼만와류(Karman Vortex)방식이 있다. 특히 칼만와류 방식은 유량에 비례하는 주파수 출력을 구할 수 있고, 칼만와열에 의한 유체의 진동현상을 이용하며 구조가 간단하고 기계적인 가동부가 전혀 필요없기 때문에 공기유량센서로 많

이 사용하고 있다. 현재 여러 완성차에서 이러한 칼만와류식 Air Flow Meter를 흡입공기 유량측정센서(AFS : Air Flow Sensor)로 사용하고 있지만, 전량 수입에 의존하고 있으며, 아직 설계기술은 개발되지 않은 상태이다. 특히 AFS내부의 각종 조건(와발생장치의 형상, 와안정판의 위치 및 형상, 벽면 및 조도효과 등)에 따른 칼만와의 검출 안정성이나, 와유출 주파수와 흡입공기유량과의 선형성 등에 대한 유체역학적 기초자료가 전무한 상태이다. 이에 본 연구에서는 칼만와류를 이용한 전자제어 엔진의 공기유량센서 유동구조에 대한 실험적 연구를 통해 유량센서의 기초설계기술 확립에 기여하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 실제 자동차에 장착되는 공기유량 센서를 실험 모델로 하여 넓은 범위의 레이놀즈 수에 대한 주파수 특성을 검증하고 와류발생장치로 많이 사용되고 있는 삼각형주 후류에서 발생하는 와의 대규모 응집구조(coherent structure)를 조건부 위상평균기법(conditional phase average technique)을 적용하여 연구하고자 한다.

본 연구와 관련하여 삼각형주 주위의 유동에 관한 기존의 연구<sup>17)~19)</sup>를 살펴보면, 服部 등<sup>17)</sup>은 다양한 형태의 2차원 물체 뒤의 와유출에 관한 연구에서 비교적 저 레이놀즈( $Re \leq 300$ )에서 와의 유출주기와 강도가 거의 변하지 않는 안정와(stable vortex)와 이에 반해 주기와 강도가 불규칙적인 불안정와(unstable vortex)가 존재하며 물체의 길이 방향이 증가하면 안정와가 후류에서 지배적으로 존재함을 밝혔다. 또한 안정와가 발생하는 범위내에서 주파수 대 유속의 관계를 이용하여 저속에서의 유속측정이 가능하다고 하였다. Igarashi et al.<sup>18)</sup>은 정삼각형주의 박리 후류 영역에서의 열전달을 통해 평균 Nusselt 수는 박리직후의 박리선상의 속도에 지배를 받고 폐쇄비가 증가할수록 평균 Nusselt 수가 증가한다고 하였다. 또한 삼각형주의 배면을 자유유동의 전면에 두고 넓은 범위의 레이놀즈수에 대한 스트로할 수를 조사한바 약 0.14임을 밝혔다.<sup>19)</sup> Mochizuki et al.<sup>10)</sup>도 마찬가지로 삼각형주의 배면을 자유유동의 전면에 두고 폐쇄비 및 자유유동의 유동조건(난류 강도 및 주기적 속도

변동)에 따른 와류유출주파수를 조사한 바 폐쇄비가 증가하더라도 와류유출주파수 대 유속의 선형 관계는 깨어지지 않고 또한 난류 강도가 자유유동 속도의 10%까지는 이러한 선형관계를 그대로 보인다고 하였다. 이러한 국내외에 발표된 연구들을 종합해 볼 때 다양한 단면을 가진 2차원 물체의 후류에서 와류유출주파수와 속도의 관계를 연구한 논문은 많으나 후류에서의 응집구조를 밝혀낸 연구는 드물다. 후류에서의 응집구조의 고찰은 공기 유량계의 기본 설계와 성능에 미치는 기본인자를 도출하는데 많은 도움을 줄 것으로 기대된다.

공기유량센서는 식(1)과 같이 와열의 방출이 유속에 비례하여 주기적인 것을 이용하여 유동속도를 계산하는 것으로, 구조가 간단하고 기계적인 가동부가 필요 없는 장점을 가진다. 또한 측정 범위가 넓고 광범위한 유체(증기를 포함한 기체, 액체)를 높은 정확도로 측정 할 수 있을 뿐만 아니라 압력 손실이 비교적 적다<sup>6)</sup>.

$$V = \frac{f_s \cdot H}{St} \tag{1}$$

공기유량센서는 와류 발생체의 형상 및 크기에 따라 스트로할 수가 거의 일정하게 되는 레이놀즈 수 10000이상의 영역에서 주로 사용된다<sup>5)</sup>. 또한, 다양한 유동조건의 변화에 따른 보정과 다양한 검출 방식 등이 전자기술의 발달과 함께 증가하고 있는 추세이다<sup>6)</sup>. 그러나 국내에서는 이러한 와류 및 질량 유량계에 대한 실험적 연구가 미비한 점을 감안하여 실제 사용되고 있는 와류 발생체를 실험 모델로 하여 속도변화에 따른 와류 유출 주파수의 변화를 검증하고자 한다.

한편 주기적이며 대규모 응집구조를 가지는 와류는 주 유동에 수직인 방향으로의 난류 유동의 성장, 확산에 기여하고 외부유체의 유입 및 혼합 운동량 전달 등에 크게 기여하는 것으로 난류현상의 규명에 중요한 연구 대상이 되고 있다. 무질서한 전체 유동 속에서 질서를 갖춘 응집구조만을 추출하거나 특정한 관심영역에 대해서는 일반적인 신호처리로는 알 수 없는 정량적인 정보를 얻기 위해서는 보편적으로 사용되는 방법으로 조건부 추출 및 평균화 기법(conditional sampling and average

technique)을 들 수 있다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 풍동 및 실험모형

본 실험에서 사용된 풍동은 전체 길이가 4950 mm이고 시험부의 크기가 305(W)×305(H)×2430(L)mm<sup>3</sup>이며 최대속도가 30m/s인 개회로 노즐형의 흡입식 아음속 풍동이다. 실험 모델은 풍동 입구에서 하류 쪽으로 약 1800mm 위치에 설치하였으며 시험구간의 입구 전방에는 200 mesh 의 가느다란 철망을 설치하였다. 시험부에서의 자유유동에 대한 난류강도는 약 2%미만 이었으며 속도분포의 균일도는 경계층 부분을 제외하고는 약 1.0~1.5% 정도로 비교적 양호하게 나타났다. 본 연구의 대상인 실험모델은 Fig.1에서와 같이 와류발생체인 정삼각형추의 정점이 자유유동의 전면에 놓인 경우(case1), 배면에 수직 평판을 가지고 있는 경우(case2) 및 배면이 자유유동의 전면에 놓인 경우(case3)을 채택하였다. 이와같은 모델형태는 와류 및 질량 유량계로 많이 사용되고 있으며, 특히 전자제어 엔진의 공기유량센서로 사용되고 있는 형태는 case2로서 배면의 수직평판이 와류유동의 안정화에 기여하는 것으로 알려져 있다. 여기서, 삼각추폭(H)을 기준으로 한 ReH수는 7.0×10<sup>4</sup>에서 2.1×10<sup>5</sup>이다. 실험영역은 중간 유동영역(intermediate zone)에 속하는 삼각추 정점에서 X/H=8.0 떨어진 하류 지점을 선택하여 각각의 실험 모델에 따라 실험을 진행하였다.

실험모델의 설치 예를 Fig.2에 나타내었으며, 재질은 아크릴로 표면은 매끈하며 풍동내에 흐름 방향에 수직하게 설치하였다. 삼각형추의 폭(H)은 35mm이며 수직평판의 두께는 3mm이다. 폭을 기

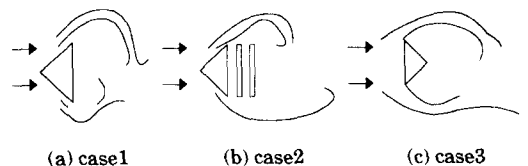


Fig. 1 Flow around a triangular sectional vortex generator

준으로 한 폐쇄비(blockage ratio)는 11.4%이다. 원주와는 달리 각주는 영각이 유동에 영향을 미침으로 정확히 0°의 설치 여부가 중요한 변수이므로 예비실험을 통해 후류에서의 시간평균 유속이 풍동 중앙 지점에 대해 선대칭이 되도록 하였다.

## 2.2 실험 방법 및 데이터 처리

난류성분을 측정해야하는 후류 속도에서는 8채널까지 동시 측정이 가능한 정온열선풍속계(Constant Temperature Anemometer, model TSI사의 IFA300)를 사용하였다. 열선풍속계에서 나오는 두 브릿지 출력 신호를 5KHz의 저역통과 필터를 거쳐 A/D변환기를 통해 PC로 연결된다. 또한 신호 분석을 위한 데이터는 10KHz의 추출 주파수(sampling frequency)로 매 측정점당 4096개의 데이터를 10번씩 측정하여 앙상블 평균(ensemble average) 하였다. 시험부 전방의 자유흐름속도 측정에는 표준 피토 정압관(standard pitot static tube)과 미세 압력계(micro manometer)를 사용하여 측정하였다. 또한 와류 유출 주파수는 정온 열선풍속계를 통과한 전압을 신호분석기(SM-2100B)를 이용하여 분석하면서 PC로 획득하여 V 신호의 변동성분을 FFT 처리하였다.

## 2.3 조건부 위상 평균 및 속도 분해

본 연구에서는 정량적인 방법이면서 가시화가 가능한 형태로 와의 대규모 조직적인 구조(large scale coherent structure) 파악을 위해 조건부 위상평균기법(conditional phase average technique)을 사용하였다. 조건부 추출 및 평균화 기법은 Townsend<sup>(17)</sup>가 원주 후류에서 간헐도(intermittency fraction)를 최초로 측정하여 난류 영역에서의 속도 평균을 구하는 방법을 시도한 이래로 컴퓨터 및 신호처리 기술의 진전이 있기 전에는 폭넓게 사용되지 못했으나, 근래 들어 유동제어나 유동기구의 상세한 구조해석 및 응용 등을 위해 광범위하게 사용되고 있다.

난류 유동장에서 대규모 응집구조를 밝히기 위해 조건부 위상평균기법을 사용하기 위해서는 응집구조를 구별할 수 있는 특성량 즉, 기준신호(reference signal)를 찾아내어야 한다. 본 연구에

서는 별도의 보조신호없이 위상평균을 취할 신호의 변동성분으로부터 직접 취하였다. 본 연구에서 처럼 후류에서 속도성분이 강한 주기성을 가진 경우에 이러한 방법을 사용하기에 적합하다. 이렇게 주기성이 강한 신호에 있어서는 와류유출주파수를 중심으로 한 디지털대역필터(digital band pass filter)에 의해 저주파 및 고주파 성분을 제거하고 정현파에 가까운 형태의 검출신호(detection signal)를 생성할 수 있다. 다음으로 적합한 조건을 정하여 흐름 중에서 응집 와를 선택적으로 추출해내야 한다. 선택된 응집와의 신호를 같은 위상에 대해 상대적으로 정렬(phase align)시킨 후 이를 앙상블평균(ensemble average)하면 응집구조의 특성 기준점에서의 위상평균된 정보를 얻을 수 있다. 이와 같은 방법으로 구한 위상평균 정보는 응집구조의 시간(위상) 및 공간상의 정보를 담고 있기 때문에 단순한 시간평균 해석보다 유동기구(flow mechanism)를 좀더 정량적이고 구조적으로 파악할 수 있다.

센서로부터 측정된 x, y방향의 순간속도 U, V는 일단 다음과 같이 일반적인 레이놀즈 속도분해(Reynolds decomposition)형태로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} U &= \bar{U} + u \\ V &= \bar{V} + v \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $\bar{U}, \bar{V}$ 는 시간평균속도이고  $u, v$ 는 전체 변동속도를 나타낸다. 그리고 이 변동속도를 두 개의 요소로 나누었다. 즉 대규모 구조(large scale)와 관련된 속도 성분과 미세구조(small-scale)에 관련된 속도 성분으로 나누었다. 이를 위상평균과 관련하여 표현하여 보면 전체 변동속도  $u, v$ 는 기본 변동속도라하여 이는 또한 대규모 구조와 관련된  $\langle u \rangle, \langle v \rangle$ 와 불규칙 변동속도이며 미세구조와 관련된  $u_r, v_r$ 를 합한 형태로 나타낸다.

$$\begin{aligned} U &= \bar{U} + \langle u \rangle + u_r \\ V &= \bar{V} + \langle v \rangle + v_r \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,  $u_r, v_r$ 는 기본 변동속도에 중첩된 불규칙적인 변동속도로 위상평균화 과정에서  $\langle u \rangle = \langle \langle u \rangle \rangle + \langle u_r \rangle$ 이 되어  $u_r, v_r$ 는 소거되고 다음과 같이 된다.

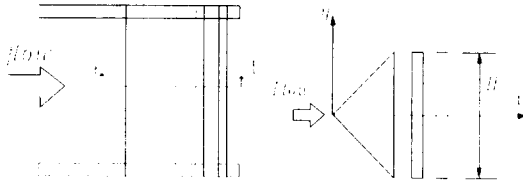


Fig. 2 Schematic diagram of experimental model

$$\begin{aligned} \langle U \rangle &= \bar{U} + \langle u \rangle \\ \langle V \rangle &= \bar{V} + \langle v \rangle \end{aligned} \quad (4)$$

$\langle U \rangle$ ,  $\langle V \rangle$ 는 유동의 기본구조를 나타내는 조직적인 구조(coherent structure)에 관련된 속도성분이고  $\langle u \rangle$ ,  $\langle v \rangle$ 는  $\langle U \rangle$ ,  $\langle V \rangle$ 로부터 직류성분을 제거한 값으로 칼만와열에 기초한 변동속도로 기본 변동속도라 한다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 평균 속도와 난류 강도

본 실험에서는  $(x,y,z)/H = (8,-3,0)$ 에서  $(8,3,0)$  사이의 후류에서  $y$ 방향의  $0.1H$  간격으로 시간평균 유동장을 측정하였다. Fig.3은 흐름 방향의 평균속도분포를 자유흐름속도로 무차원화 하여 나타낸 것이다. 각 case 모두 후류 중심에서 속도 결손이 0.28로 일정하다. 전체적으로 case2의 속도결손이 가장 적고 case3의 속도결손이 가장 큼을 알 수 있다. 삼각형주 뒤의 수직 평판이 속도결손(velocity defect)을 감소 시켜 줌을 알 수 있으며 속도결손이 크다는 것은 운동량 결손량(momentum defect)이 큼을 의미하며 또한 물체가 받는 항력은 후류에서의 운동량 결손에 비례하므로 유동의 전·후반부의 압력손실이 case3이 가장 크게 나타나고 있다. 그러므로 case2의 경우가 공기유량센서로 사용할 때 압력 손실이 가장 적음을 유추할 수 있다. Fig.4는 흐름 방향에 수직인 방향( $y$ -방향)의 난류강도 값으로 peak값은 각각 0.24, 0.27, 0.31로 후류 중심에서 가장 높다. 전체적으로 case3의 난류강도 값이 높으며 분포 형태가 정방형주에서의  $y$ 방향 난류강도의 분포 즉 넓게 퍼지는 형태를 보여준다. case1과 case2의 분포형태를 비교하면  $-0.7H$ 에서  $0.7H$ 에서는 case2가 높지만 그 이외의 영역에

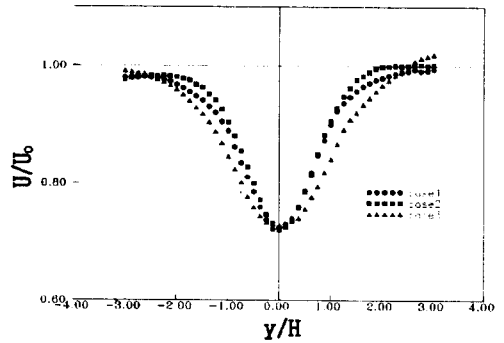


Fig. 3 Distribution of time mean velocity

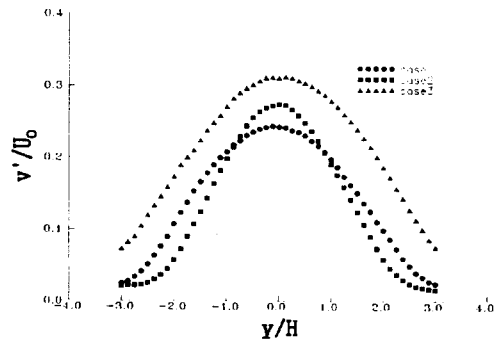


Fig. 4 Distribution of V turbulence intensity

서는 case1이 높게 나타난다.

#### 3.2 삼각형주의 와류유출 주파수

Fig.5는 레이놀즈수에 따른 스트로할수의 변화를 나타내었다. 평균 스트로할수가 case1은 0.21, case2는 0.25, case3은 0.145로 나타났다. 여기서, 공기유량센서에서 요구하는 유속 대 와류 유출 주파수의 선형성(linear)이 case2의 경우에 가장 잘 나타남을 알 수 있는데 이는 삼각형주 후면에 설치된 수직평판의 영향임을 알 수 있다. case1과 case2의 와류유출주파수의 차이 또한 수직평판에 의한 것으로, 이를 통해 전방유체의 후류로의 유입을 촉진하는 것을 알 수 있다.

case3이 case1이나 case2에 비해 와류 유출주파수의 차이가 크고 낮은 값을 보이고 있는데 이는 와류의 생성 과정을 고찰하면 알 수 있다. 즉 와류의 생성 과정은 물체 벽면 경계층의 층류 박리에서 난류로의 천이가 일어나고 천이된 경계층이 난류 박리과정을 거쳐 와도가 집중된 후 와류유출로 이

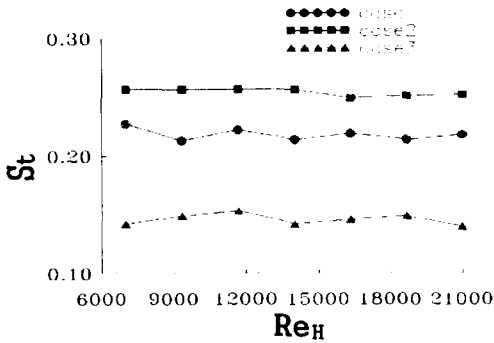


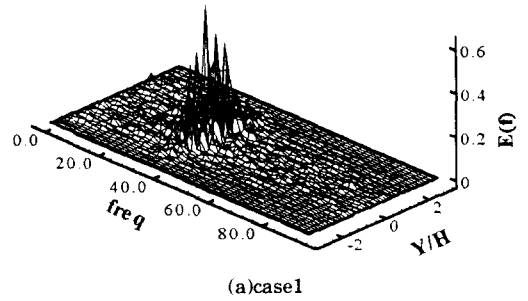
Fig. 5 Comparison of Strouhal number for Reynolds number

어진다. 여기서, case1이나 case2의 경우는 삼각주 전면에 경계층 생성과 박리에 의한 와류 유출이지만 case3의 경우는 와류유출이 경계층의 생성이 없이 후단의 날카로운 끝(sharp edge)에 의한 와류 유출로서 이는 사각주에 의한 와류출 형태가 같음을 알 수 있다. 장방비가 같은 사각주의 와류유출주파수에 의한 스트로할 수는 0.132이다<sup>16)</sup>.

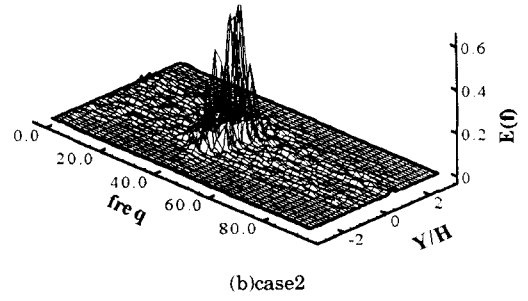
3.3 후류의 위상평균 유동장

일반적으로 대규모와의 구조를 파악하기 위하여 조건부 샘플링기법에 의한 위상 평균법을 사용하여 유동 특성을 분석하게 되는데 이 방법을 적용하기 위해서는 규칙적인 주기를 가진 와열(vortex street)이 형성되어야 한다. 조건부 위상 평균 기법을 적용하기 위해서 Fig.6에  $x/H=8.0$ ,  $-3.0 < Y/H < 3.0$ 에서의 y방향 속도성분인 V신호의 주파수 대 파워스펙트럼을 각 case에 대하여 나타내었다. Fig. 3-5에서 알 수 있듯이 후류 영역에서 응집구조의 와류출주파수에 해당하는 와류유출주파수 (vortex shedding frequency)에 해당하는 주파수에서 선명한 극대치를 나타내고 있다. 이는 V 신호가 매우 주기적인 변동속도 성분을 포함하고 있으며 후류 영역에서 위상평군을 위한 기준신호로 적합함을 알 수 있다.

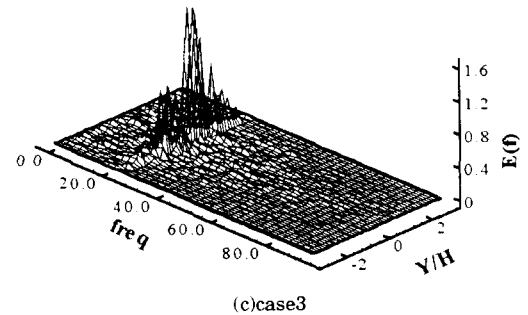
Fig.7은 위상평균속도를 와이동속도 U<sub>c</sub>로 관찰자가 이동하면서 관찰한 위상평균속도의 벡터장 (velocity vector field,  $\langle U \rangle - U_c, \langle V \rangle$ )이다. 여기서 와이동 속도 U<sub>c</sub>는 후류중심선 상하에 유출된 응집와의 중심속도를 구해서 이를 평균화하였다



(a)case1



(b)case2



(c)case3

Fig. 6 Power spectrum of the reference signal at  $x/H=8.0$

<sup>14)</sup> 조건부 위상평균법에 의한 후류유동장의 결과 응집와 중심주위를 후류 중심선 상하에서 각각 서로 반대방향으로 회전하는 응집와를 볼 수 있다. 또한 대규모 응집와의 중심(center)과 안장점(saddle point)을 확연히 볼 수 있다. 중심(center)과 안장점(saddle)은 특이점(critical point)으로 후류 유동장에서 압력이 최대, 최소인 점을 의미하며 또한 안장점은 혼합층에서 난류의 생성에 중요한 역할을 한다<sup>15)</sup>. 벡터장 분포에서 각 경우에 대해 살펴보면, case1과 case2는 거의 유사한 형태로서 상부의 와 중심( $y/H=0.9$ )과 하부의 와 중심( $y/H=-0.9$ )간의 거리(핵간거리)가 약  $1.8H$ 이다.

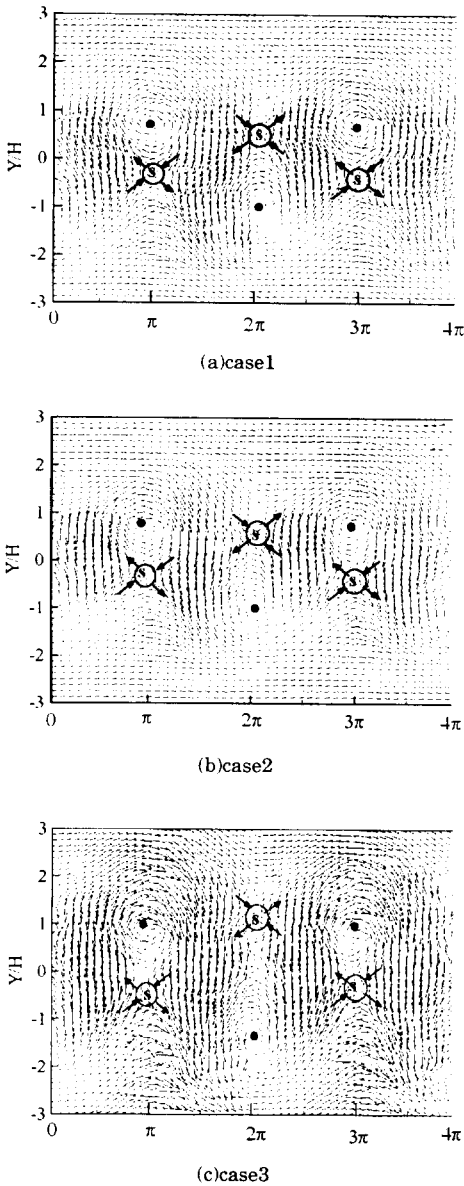


Fig. 7 Velocity vector fields ( $\langle U \rangle - U_c, \langle V \rangle$ ) of the large scale structures

이에 비해 case3은 상부의 와 중심( $y/H=1.2$ )과 하부의 와 중심( $y/H=-1.2$ )으로 와 중심이 후류 중심에서 약간 떨어져 핵간거리도 길어짐을 보여준다. 또한 와가 미치는 영역이 상당히 커져 있음을 알 수 있다. 이것은 후류의 폭이 넓어지고 수직 방향의 변동성분이 case1이나 case2에 비해 활발함

을 알 수 있다.

### 4장 결론

전자제어식 가솔린엔진에 적용되는 칼만와류방식 공기유량센서의 유동구조에 대한 실험적인 연구를 수행하였다. 와류발생체인 정삼각형주의 정점이 자유유동의 전면에 놓인 경우(case1), 배면에 수직 평판을 가지고 있는 경우(case2) 및 배면이 자유유동의 전면에 놓인 경우(case3)에 대하여 레이놀즈수  $7 \times 10^3$ 에서  $21 \times 10^3$ 까지의 변화에 따른 와류유출주파수 특성을 검증하고,  $x/H=8.0$ 의 중간후류 영역위치에서 시간평균 및 조건부 위상평균기법을 사용하여 후류의 응집구조를 고찰한 결과, 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 흐름방향의 속도결손은 후류 중심에서 거의 일정하게 나타나지만, 후류전체적인 속도결손은 case2의 경우가 가장 적게 나타났다. 난류강도가 분포하는 후류영역은 case2의 경우가 가장 좁게 나타났다.
- 2) 와류유출 특성에 따라 case1, case2와 case3는 대별되는 와류유출주파수를 나타내었다. 특히, case2의 경우 속도변화에 따른 와류유출주파수의 선형성이 가장 강하게 나타났다.
- 3) case1과 case2는 위상평균유동장의 형태가 거의 동일하나 case3의 경우는 핵간거리와 안장점 사이의 거리가 길게 나타났다.
- 4) 정삼각형주 배면에 설치한 수직평판에 의해 후류속도결손을 감소시켜 압력손실을 줄여주고 속도변화에 따른 와류유출주파수의 선형성을 높여 주었다. 또한, 후류의 주기성을 후류 중심으로 모이게 하여 와를 안정화 시키는 역할을 함으로써 case2의 경우가 공기유량센서의 와류발생체로 가장 적합함을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. 김경천, 1994, 환경 및 산업에서의 난류유동 이해와 응용, 大韓機械學會誌 第34卷 第9號, pp. 666~677.
2. Robert D. Blevins, 1990, Flow-Induced Vibration,

*Van Nostrand-Reinhold, New York.*

3. D. J. Tritton, 1977, *Physical Fluid Dynamics*, *Van Nostrand-Reinhold, New York.*
4. R. H. Barnard & D. R. Philpott, 1995, *Aircraft Flight, Longman Scientific & Technical.*
5. Richard S. Figliola and Donald E. Beasley, 1991, *Theory and Design for Mechanical Measurement*, John Wiley & Sons.
6. 日本計量機器工業連合會, 1995, 計裝엔지니어를 위한 流量計測 A to Z, 테크하우스.
7. 服部直三, 八田桂三, 小竹進, 1973, 物體の後流うずに関する實驗的研究(第2報, 圓柱以外の物體), 日本機械學會論文集, 39~318, pp.674~681.
8. 五十嵐保, 平田賢, 1975, はく離流の熱傳達に関する研究(第3報, 正三角柱の場合), 日本機械學會論文集, 41~348, pp. 2437~2447.
9. Igarashi, T, 1985, Fluid Flow a Around Bluff Body Used for a K r m n Vortex Flowmeter, *Proceedings, Fluid Control and Measurement Conference, Tokyo*, pp. 1003~1008.
10. S. Mochizuki and F. T. M. Nieuwstadt, 1996, Reynolds-number-dependence of the maximum in the streamwise velocity fluctuations in wall turbulence, *Journal of Fluids Engineering*, m March Vol. 118.
11. 이종춘, 1995, 원주의 회전 및 부착물에 의한 후류특성에 관한 연구, 부산대학교 박사학위논문
12. 강동구, 류병남, 김봉환, 1997, 와류가 가스혼합에 미치는 영향에 관한 연구, 大韓機械學會 春季學術大會論文集 B, pp. 465~470.
13. 부정숙, 양종필, 정양범, 1993, 박리전단층 제어에 의한 정방형주 후 류의 유동특성에 관한 실험적 연구, 大韓機械學會論文集 第17卷 第 11號, pp. 2840~2849.
14. Masaru Kiya & Masanori Matsumura, 1985, Large-scale and small-scale turbulence structures in the intermediate wake of a two dimensional normal plate, *Bulletin of JSME*, Vol. 28, pp.1054~1061.

15. A.E.Perry, M.S.Chong and T.T.Lim, 1982, The vortex-shedding process behind two-dimensional bluff bodies, *J. Fluid Mech*, Vol. 116, pp. 77~90.9.
16. T. Igarashi, 1985, Characteristics of the Flow around Rectangular Cylinders (The Case of the Angle of Attack 0 Deg) *Bulletin of JSME*, Vol.28, No.242.
17. A.A. Townsend, 1947, "Measurements in the Turbulent Wake of a Cylinder", Royal Society of London Proceeding Series A, Vol.190, pp551~561.
18. T. Canwell. 1983, "An Experimental Study of Entrainment and Transport in the Turbulent Near Wake of a Circular Cylinder," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.136, pp. 321~374.

저 자 소 개



**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



**황성만(黃性萬)**

1974년 1월 1일생. 1997년 부산대학교 기계공학과 졸업. 1999년 동대학원 졸업(석사). 1999년~현재 LG전자 세탁기 연구실 근무



**부정숙(夫楨淑)**

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