

〈논 문〉 SAE NO. 96370020

## 흡기관 내의 혼합기 유동 특성에 관한 연구

### A Study on the Flow Characteristics of the Mixture in an Intake Manifold

이 창 식\*, 조 병 옥\*\*  
C. S. Lee, B. O. Cho

#### ABSTRACT

The behaviors of the mixture at the downstream of throttle valve in a TBI type gasoline engine plays a greater role in design of intake system. A good mixture has been influencing directly not only on the engine power but also on the pollutant emission.

The mixture flow in an intake manifold is very complex, and the flow characteristics are varied with the valve type, valve angle, inlet air flow rate, and the other flow factors. Three kinds of valve are chosen in this study, and the informations of the mixture flow are observed experimentally using a PIV apparatus.

Perforated valve has a smaller recirculation zone than the case of solid valve with a lower valve loss coefficient, and it is verified that the perforated valve is also suitable to control the flow rate in a mixture flow system.

주요기술용어 : Mixture Flow(혼합기 유동), Perforated Valve(다공밸브), Valve Loss Coefficient (밸브 손실계수), Particle Image Velocimetry(입자 추적 화상 속도계, PIV), Image Processing(화상처리)

#### 1. 서 론

최근 자동차용 불꽃 점화 기관의 고성능, 고출력화 수요 추세와 더불어 기관 연소효율의 증진과 연비 향상, 그리고 공해물질 저감을 위한 다

양한 기관 모델이 개발되고 있으며, 이에 밀접한 영향을 미치는 연료 공급계통, 혼합기 형성 기구, 연소실의 구조와 연소방식의 개선 등에 관한 연구결과가 활발히 보고되고 있다.<sup>1,2,3)</sup>

불꽃 점화 기관의 연료 공급 계통은 공급방식에 따라 기화기식과 연료분사식(EFI)으로 대별되고, 전자제어장치(ECU)를 이용하는 연료분사식은 다시 인젝터의 개수에 따라 일점분사식

\* 정회원, 한양대학교 기계공학과

\*\* 정회원, 한양대학교 대학원

(TBI)과 다점분사식(MPFI)으로 구분된다. 또한 인젝터의 설치 위치와 분사 시기, 그리고 분사 제어 기구 등에 따라 다양한 종류의 장치가 개발 적용되고 있다. 연료 분사식 가솔린 기관은 종래의 기화기식 기관에 비하여 흡입공기의 관성과 과급효과를 충분히 도모하도록 흡기관을 설계할 수 있으며, 운전조건에 알맞는 계량된 연료량을 최적의 시기에 분사하므로써 출력과 연비면에서 우위를 차지한다. 또한, 연료 절감과 유해물질 저감의 효과가 기대되기 때문에 연료 분사식 기관이 많이 사용되고 있다.

기관 성능의 향상을 위해서는 기관 내로 유입되는 혼합기가 기관의 운전조건과 작동상태에 따라 적절한 비율로 공급되어야 하며, 또한 제한된 시간과 공간에서 연료 증기로의 증발과 혼합이 잘 이루어지도록 연료 액적의 미립화와 균일한 분포도 등이 수반되어야 한다. 액적의 미립화를 촉진시키기 위하여 분열이나 충돌과정을 이용하는 2차 무화 방법과 스웰이나 텀블로 공간적 균질 혼합을 도모하는 것을 그 예로 들 수 있다.

다점분사방식은 흡기밸브와 인젝터 사이의 거리가 짧게 설계되어 시간 지연이 거의 없이 연료가 공급되므로 과도 운전 시에서도 기관의 동특성이 비교적 안정되고, 단점분사방식은 인젝터의 수적 감소와 제어계의 단순화로 비교적 저렴한 값으로 장작이 가능한 잇점이 있다. 특히 일점분사방식 기관은 흡기관의 구조상 혼합기의 전달 경로가 길어지고 연료 분부의 접촉 면적의 증가로 인한 관 부착유량이 증가되어 가속시와 감속

시에 비균질한 혼합기의 생성 및 불안정한 동특성이 유발되기 쉬우며, 연소후 탄화수소 등의 배출물을 발생할 수 있기 때문에 이에 대한 적절한 보완책이 요구되고 있다.

본 연구에서는 TBI식 기관의 흡기다기관을 모사하는 사각관에 여러가지의 구멍비를 갖는 다공 스톨을 밸브를 설치하여 밸브개도와 공기유량의 변화에 따른 밸브 후류에서의 유동장을 입자 추적 속도계를 이용하여 실험적으로 관찰하고, 실험에 사용된 밸브의 구멍비 변화에 따른 벽면 부착유량의 거동을 이론적 해석결과와 비교 검토하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

흡기관 내의 유동특성과 밸브 종류 및 개도각 변화에 따라 밸브 주위에 형성되는 유동장을 관찰하기 위한 장치로서 정사각형 단면의 덕트, 덕트 중에 설치되어 임의의 각도로 조절이 가능한 버터플라이 밸브, 관에 유동을 주기 위한 진공펌프 등을 Fig.1과 같이 구성하였다.

실험에 사용한 덕트는 두께 5mm의 투명 아크릴 판재로 제작하고 내부 한변의 치수는 30mm로 정사각형의 단면을 가지며, 전체 길이는 850mm로 하였다. 사각형의 스톨을 밸브가 설치되는 부분은 입구 단으로부터 350mm 떨어진 지점으로 하고, 이 위치로부터 후류측 100mm까지를 유동

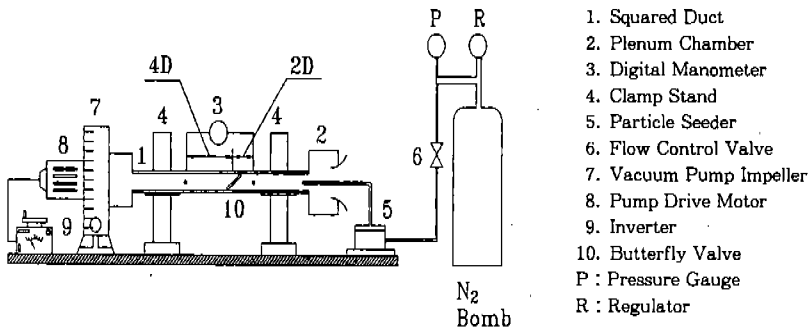


Fig.1 Schematic diagram of experimental setup

가시화를 위한 관찰창으로 하였다. 관찰창은 화상의 형상 왜곡을 줄이기 위하여 투명 유리판으로 제작하였다. 또한 덕트 입구와 출구측에는 공기실(plenum chamber)을 마련하여 외기가 유동에 미치는 불안정한 영향을 줄이도록 하였다.

덕트 내의 유동은 소요 유량이 그다지 크지 않으므로 0.52kW의 진공펌프를 이용하였으며, 공기유량은 구동 전동기의 회전속도로 조절하였다.

밸브형상에 따른 유동장의 변화를 관찰하기 위하여 밸브면(valve blade)에 구멍이 없는 기존의 스톱 밸브와 같은 무공밸브(soild valve)와 여기에 작은 크기의 구멍을 가공한 다공밸브(perforated valve)를 사용하였는데, 그 크기와 형상은 Fig.2와 같다. 밸브로 사용된 판재는 두께 2mm의 알루미늄재이고, 유동 가시화 실험시 레이저 입사광의 반사효과를 줄이기 위하여 흑색으로 무광 코팅처리하였다.

본 연구에서 사용한 밸브(I, II, III)는 크기가 같으므로 단면비(blockage ratio, BR)가 서로 같고, 다공밸브의 구멍 지름은 공히 1.1mm로 가공하여 구멍수에 따른 구멍비(perforate ratio, PR)만 변수가 되도록 하였다. Table 1은 이들 밸브의 단면비와 구멍비의 계산 값을 나타낸 것이다.

여기서, 밸브의 면적을  $A_v$ , 구멍을 면적을  $A_h$ , 덕트의 단면적을  $A_d$ 라 하고, 구멍수를  $n$ 이라 할 때, 단면비는  $BR = A_v/A_d$ , 구멍비는  $PR = (A_h \times n)/A_v$ 로 정의된다.

스톱 밸브의 개도도와 다공밸브의 구멍비에 따른 밸브 전후의 압력 손실을 측정하는데, 밸브 설치 위치를 기준으로 수력구배의 영향을 받지 않은 전방 2D와 후방 6D지점을 각각 고압측과

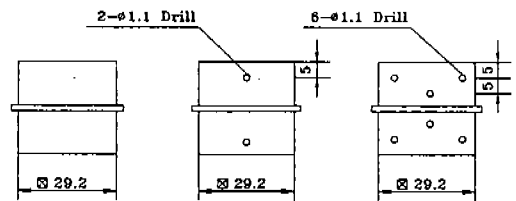
저압측으로 하여 차압계를 이용하여 측정하였다.<sup>4)</sup> 여기서 D는 사각 덕트의 한변의 길이이다.

관 입구의 유량은 피토티관으로 측정된 압력차를 환산하여 구하였다. 예비실험 단계에서 관 단면상의 피토티관 설치위치에 따른 측정값의 변화 여부를 조사한 결과, 거의 영향을 주지 않는 것으로 밝혀져 관중심부에서 측정된 값을 채택하였다.

2.2 실험방법

스톱 밸브 후류에서의 유동장을 관찰하기 위하여 2상 오동 가시화 및 속도 계측 분야에서 폭넓은 적용성을 가지고 있는 입자 추적 화상 속도계(Particle Image Velocimetry, PIV)를 이용하였다. Fig.3은 유동 가시화 실험장치의 구성도이다.

실험 장치는 크게 레이저부와 입자공급계, 그



a) Valve I      b) Valve II      c) Valve III

Fig.2 Geometry and dimension of the valves

Table 1 Blockage and perforate ratio of used valves(%)

Valve	Blockage Ratio (BR)	Perforate Ratio(PR)
I	94.74	0
II	94.74	0.223
III	94.74	0.669

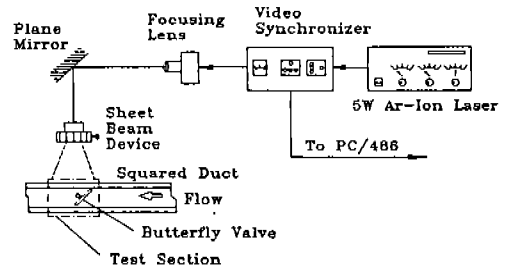


Fig.3 Diagram of PIV apparatus for flow visualization

리고 화상처리 입출력계로 구성되며, 레이저부의 주요장치는 레이저, 레이저 조절 장치, 광학 장치로 구분된다.

실험에서는 V-Tek사의 MXI 기종인 5W 용량의 아르곤 이온 레이저(Ar-Ion laser)를 사용하였다. 입자의 식별과 추적을 용이하게 하기 위하여 chopper blade를 사용하여 레이저 광을 단속하는데, 본 실험과 같이 스로틀 밸브 주변에서의 입자 운동속도가 빠른 경우에는 chopper의 회전 속도도 빨라져야 한다. 여러가지 조건에 대하여 예비실험 과정을 통하여 streak line을 검토한 결과, chopper 회전수가 100rps(6000rpm)일 때 화상처리가 가능한 화상을 얻을 수 있었으며, 이 때의 레이저 광 노출 시간은 chopper 1회전에 대하여 0.5463ms였다. 이 외에 레이저 광의 강도를 증가시키기 위한 초점 렌즈, 레이저 광의 경로를 변경하는 평면경, 그리고 원통형 렌즈를 이용하여 점 광원을 평면 광으로 만드는 평면 투사 장치(sheet beam device) 등의 광학 장치를 이용하였다.

흡기관 내에는 레이저 광원으로 유동중의 입자 식별과 추적이 가능하도록 20~30 $\mu$ m 크기의 산

화티탄 입자(micro-balloon, TiO<sub>2</sub>)를 사용하여 가시화 하였다. 입자의 흡입으로 인한 관벽에의 부착을 최소화하기 위하여 입자 용기 내벽에 실리콘계류의 방습제를 충분히 부착하였다. 그리고, 입자 용기를 포함하는 입자 공급 장치(particle seeder)에는 질소 가스가 선회류를 가지고 입자를 부상하며 부상된 입자는 가압적 용기내에서 충분한 운동거리를 갖고 혼합되어 흡기관으로의 유입이 고른 분포로 되도록 하였다.

관찰영역에서의 산란 현상을 조리개 노출 2.8, 셔터 속도 1/60초로 하고 35mm 스틸 카메라로 촬영하였다. 얻어진 화상은 CCD카메라와 화상 취득 장치(DT2853, 512 $\times$ 480 pixels)를 통하여 디지털 데이터로 컴퓨터에 저장하고, 각각의 화상은 Fig.4의 알고리즘에 따라 처리하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 흡기관의 연료부착 모델

연료 분사식 기관의 경우, 흡기관 내에서 연료 분사가 이루어지므로 벽면 부착유량에 의한 비균질 혼합에 의하여 연료의 유동지연이 생겨, 기관 성능의 저하 및 공해물질 배출의 요인이 된다. 특히 이와 같은 현상은 냉기 중의 시동시나 흡기관의 도입길이가 긴 TBI식 기관에서 현저하며, 이에 대한 현상적인 이해는 혼합기 형성과 흡기 계통의 설계에 있어서 매우 중요한 의미를 갖는다.

TBI식 기관의 연료분사는 스로틀 밸브 상류측에 설치된 인젝터에 의해서 이루어지고, 분사된 연료의 공급형태는 흡입 공기와 혼재하며 유동하는 액적으로서의 전달과 벽면에 부착된 액막으로의 전달, 그리고 유동액적이나 부착연료가 증발된 연료증기로서 전달되는 경우로 구분할 수 있다. 물론 완전한 연소를 도모하기 위해서는 연료가 증기로서 연소실 내로 유입되는 것이 바람직하다. 무공 스로틀 밸브에 대하여 밸브와 밸브 전후의 벽면에 부착되는 연료량은 Fig.5와 같이 모델링 할 수 있다.<sup>5)</sup>

스로틀 밸브 상부에서 분사된 연료는 벽면과 스로틀 밸브면에 부착되고, 일부는 증발된 연료

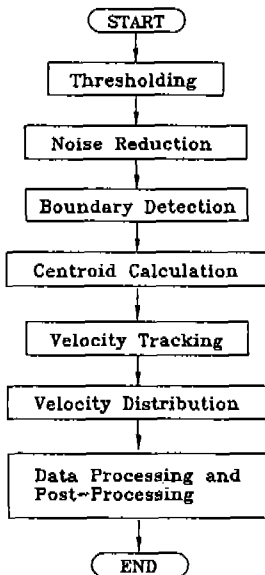
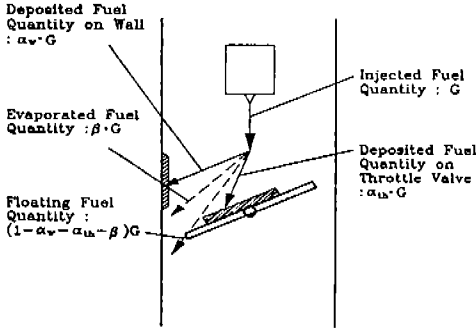
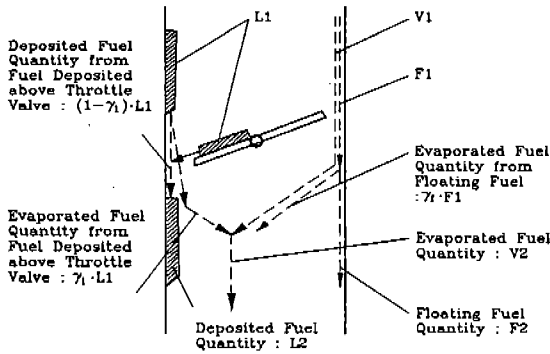


Fig.4 Flow chart of single frame PIV



(a) Deposition above throttle valve



(b) Deposition just after passing throttle valve

Fig.5 Phenomenon of fuel deposition in an intake manifold

나 유동입자로서 밸브 후류측으로 유입된다. 부착 연료량(L1)과 증발 연료량(V1), 그리고 유동 연료 입자량(F1)은 인젝터 분사 연료량을 G 라 할 때 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$L1 = (\alpha_w + \alpha_{th})G \quad (1)$$

$$V1 = \beta G \quad (2)$$

$$F1 = (1 - \alpha_w - \alpha_{th} - \beta)G \quad (3)$$

여기서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 각각 연료부착율과 증방율을,

그리고 첨가  $w$ 와  $th$ 는 벽면과 스로틀 밸브면을 나타낸다.

한편, 스로틀 밸브를 통과한 직후에서의 부착 연료량(L2), 증발 연료량(V2), 유동 연료입자량(F2)은 다음과 같이 된다.

$$L2 = (1 - r_i)L1 \quad (4)$$

$$V2 = V1 + r_i L1 + r_i F1 \quad (5)$$

$$F2 = (1 - r_i)F1 \quad (6)$$

이 식에서  $r_i$ 과  $r_i$ 는 각각 부착 연료의 재 미립화율과 유동 연료입자의 증발율이다.

스로틀 밸브 통과 직후의 연료 부착율(X)은 인젝터로부터 분사된 연료량에 대한 부착량의 비이므로,

$$X = \frac{L2}{G} = (1 - r_i)(\alpha_w + \alpha_{th}) \quad (7)$$

과 같이 된다. 밸브 개도각( $\theta$ )에 따른 변화율을 구하기 위하여 식 (7)을 미분하면,

$$\frac{\partial X}{\partial \theta} = (1 - r_i) \frac{\partial (\alpha_w + \alpha_{th})}{\partial \theta} - (\alpha_w + \alpha_{th}) \left( \frac{\partial r_i}{\partial \theta} \right) \quad (8)$$

이 된다.

여기서 벽면 부착율( $\alpha_w$ )은 인젝터의 분무각에 크게 의존하나, 밸브 개도각과는 거의 무관하므로,

$$\frac{\partial \alpha_w}{\partial \theta} \approx 0 \quad (9)$$

밸브 부착율( $\alpha_{th}$ )은 밸브 개도의 증가에 따라 면적이 작아지므로 감소한다. 밸브 개도면적과 밸브 표면적을 각각  $S_{th}$ 와  $S_{va}$ 라 하고 정리하면 다음과 같이 된다.

$$S_{th} = S_{va}(1 - \cos \theta) \quad (10)$$

$$\frac{\partial \alpha_{th}}{\partial \theta} \infty - \frac{dS_{th}}{d\theta} = -\sin\theta \leq 0, (0 \leq \theta \leq 90) \quad (11)$$

따라서,

$$\frac{\partial(\alpha_w + \alpha_{th})}{\partial \theta} \infty - \sin\theta \leq 0 \quad (12)$$

한편, 스로틀 밸브를 통과하는 연료의 증발량은 밸브 개도각이 작을수록 증가하고, 휘발성이 그다지 크지 않은 연료에 대해서는 이 항은 무시할 수 있으므로,

$$\frac{\partial r_i}{\partial \theta} \leq 0, \quad \frac{\partial X}{\partial \theta} \leq 0 \quad (13), (14)$$

로 된다. 즉, 스로틀 밸브 직후에서의 벽면 부착 유량은 밸브 개도각이 클수록 감소한다.

### 3.2 유동 특성과 밸브 손실계수

기관에서 스로틀 밸브는 흡기관 통로의 개도를 변화시키며 혼합기의 유속과 유량을 제어한다. 또한 밸브의 크기, 종류, 형상 등에 따라서 밸브 후류의 2차 미립화 특성이 달라지고 분무 입자의 거동의 변화한다. 다공밸브를 이용하는 경우, 무공밸브에 비하여 분무입자의 미립화가 촉진되고, 공간분포도가 개선되는 것으로 나타났다.<sup>6)</sup>

본 연구에서 사용한 밸브는 Fig.3에서 제시한 3가지 종류(I, II, III)에 대하여 관 입구 유속의 평균값(U)을 밸브 개도에 따라 나타내면 Fig.6과 같다.

흡기관 출구측에 설치된 진공펌프의 회전수를 1,240, 1,600, 2,065rpm으로 하고, 밸브 개도각을 0° 부터 90° (wide open)까지 변화시키며 측정된 결과, 밸브 개도가 클수록, 그리고 전동기 회전수가 증가할수록 유속도 증가한다.

여기서 구한 유속을 체적유량으로 환산하여 회전수 별로 비교하면 Fig.7과 같다. 같은 밸브 개도와 회전수에 대하여 밸브종류에 따른 유속을 비교하면 무공밸브에 비하여 다공밸브의 유속이 더 빠르고, 이러한 경향은 밸브 개도각이 30° 미만일 때 더 현저한 것으로 나타났다. 이로부터

다공밸브의 밸브면상의 구멍은 개도각이 클 때보다 작을 때에 유동이 더 밀접한 영향을 미칠 수 있다.

밸브 개도각과 전동기 회전수에 따른 레이놀즈수를 비교하면 Fig.8과 같은 분포를 보인다. 개도각 45°까지는 5,000~20,000, 45° 이후에서는 20,000~57,000의 값으로서 유속이나 유량과 같이 밸브 개도각의 증가에 따라 증가한다.

밸브가 흡기계에 미치는 영향과 성능을 판단하기 위하여 무차원수로서 밸브 손실계수 ( $K_v$ )를 사용하는데, 밸브 종류와 회전수에 따른 손실계수의 변화를 도시하면 Fig.9와 같다.

여기서, 밸브 손실계수는  $K_v = 2\Delta P - (\rho U^2)$ 로부터 계산하였다.

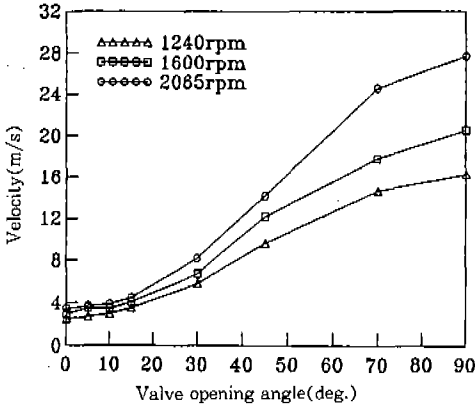
$\Delta P$ 는 밸브 전후(2D전, 6D후)에서 측정된 압력차이고,  $\rho$ 는 공기의 밀도이다. 밸브 개도가 상대적으로 작을 때에는 혼합기 중의 액적이 갖는 운동량도 작아지므로 손실계수는 큰 값을 갖는다. 또한, 같은 개도에 대하여는 무공밸브보다 다공비가 큰 밸브일수록 압력손실이 감소하므로 손실계수도 작아진다. 이것은 다공밸브가 동일한 조건하에서 보다 작은 손실계수로서 밸브에 작용하는 압축성 효과를 줄이며 유량조절에 이용될 수 있음을 의미한다.

### 3.3 밸브 후류의 혼합기 거동

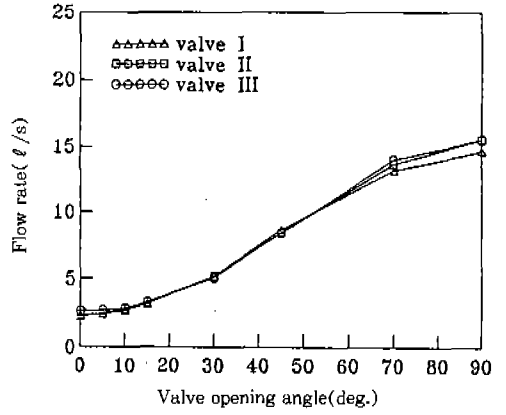
기관 흡기계에서 연료의 전달형태 간에 차지하

Table 2 Ratio of boundary layer length and duct diameter ( $\ell/D$ ) with respect to the valve and valve opening angle

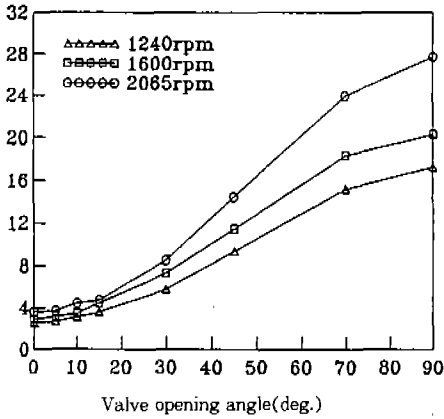
Valve	Angle $\Delta P(\text{mmHg}_2\text{O})$	20°	30°	40°
		I	50	1.27
	100	1.17	0.76	0.53
II	50	0.69	0.65	0.48
	100	0.72	0.65	0.50
III	50	1.33	0.63	0.41
	100	1.24	0.61	0.38



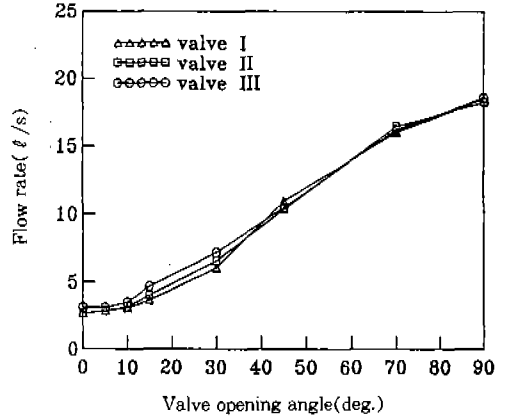
(a) Valve I



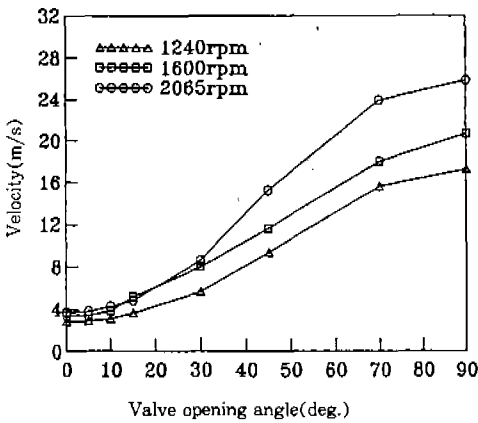
(a) 1,240rpm



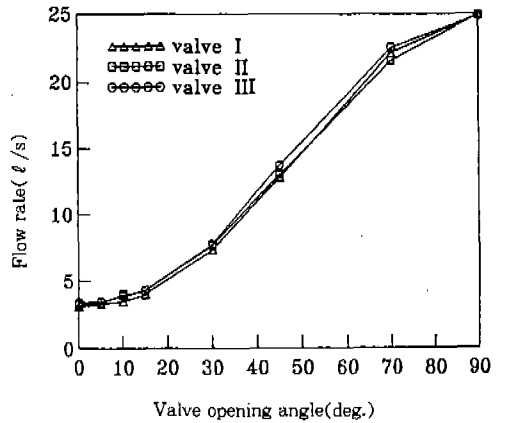
(b) Valve II



(b) 1,600rpm



(c) Valve III



(c) 2,065rpm

Fig.6 Comparison of inlet air velocity with the change of valve type

Fig.7 Comparison of inlet air flow rate with the change of valve type

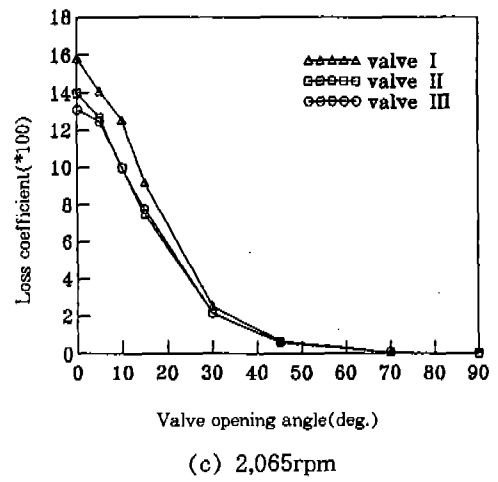
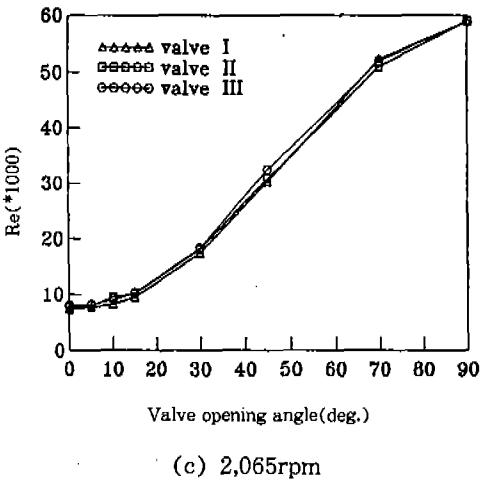
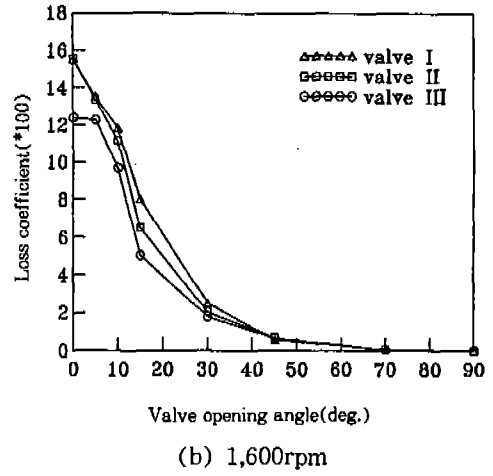
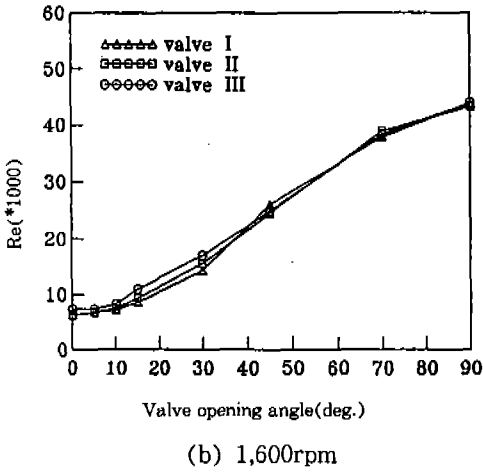
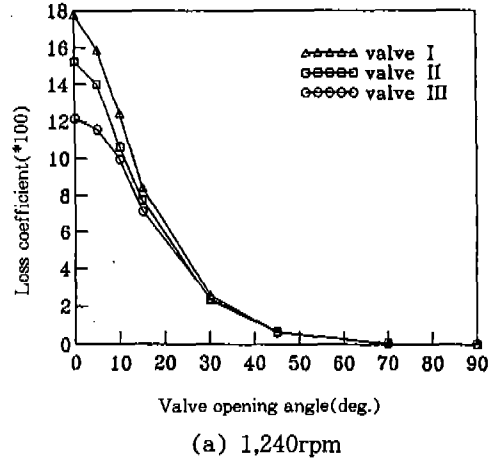
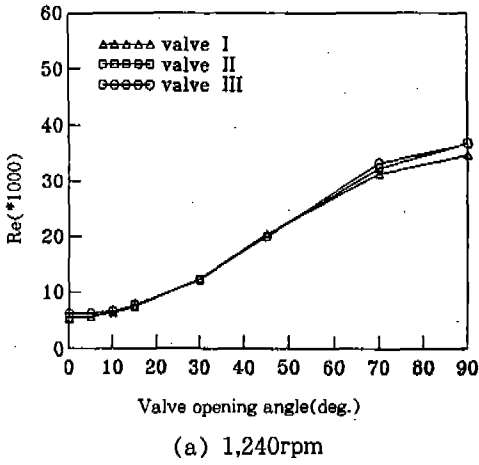


Fig.8 Distribution of Re with the change of valve opening angle

Fig.9 Comparison of valve loss coefficient with the change of valve type



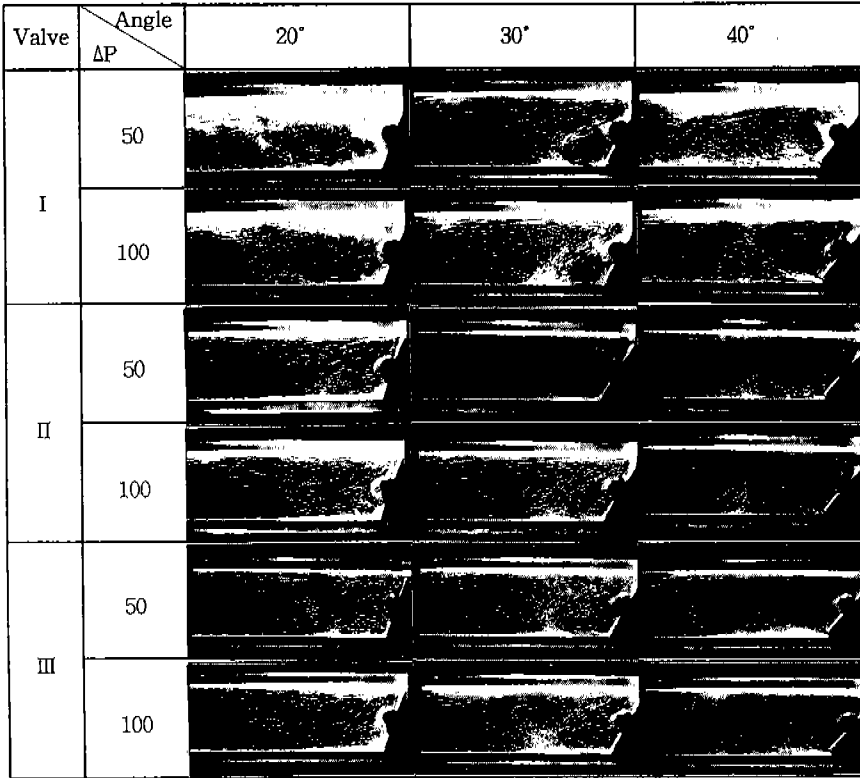


Fig.10 Raw image of particle motion behaviors at the downstream of the valve

는 공급비중은 밸브와 밸브주위의 유동에 크게 의존하는 것으로 알려져 있다. 따라서 밸브 주위의 유동은 혼합기의 형성과정을 이해하고, 생성된 혼합기의 전달형태를 판단하는데 매우 중요하다.

Fig.10은 밸브 전후의 차압을 50mmH<sub>2</sub>O와 100mmH<sub>2</sub>O로 하고 관 입구에서 공급된 입자들이 스스로 밸브를 통과한 직후의 거동을 PIV로 직접 촬영한 화상이다. 밸브 직후에 형성되는 재순환 영역의 경계층은 밸브 개도의 증가에 따라 그 크기가 작아짐을 알 수 있다.

밸브 선단으로부터 재순환 영역까지의 거리를 경계층 길이( $l$ )라 하고, 이것을 덕트의 변의 길이( $D$ )에 대한 비로 나타내면 Table 2와 같이 정리할 수 있다. 경계층 길이는 동일한 위치에서 같은 조건으로 촬영하여 얻은 10개의 이미지(image)를 컴퓨터에 기록하고, 평균을 취한 화

소수(pixel number)를 환산하여 구하였다.

재순환 영역의 길이는 밸브 개도의 증가에 따라 감소하고, 밸브 I보다 밸브 II와 밸브 III의 경우에 더 작은 비의 값을 보였는데, 이로부터 다공밸브의 경우가 더 많은 혼합구역(mixing zone)을 가짐으로써 혼합기 생성을 향상시키는 것으로 예측할 수 있다. 개도각 20°에서는 밸브 III에 대한 값이 밸브 I에 대한 값보다 오히려 더 크게 나타났다. 이것은 다공밸브에 의한 난류의 성질이 밸브 후류의 유동에 불규칙적인 영향을 미치거나, 어떤 최적의 경계층을 갖는 다공밸브의 구멍비(PR)가 존재할 수도 있기 때문인 것으로 생각된다.

Fig.11은 밸브 후류에서의 유동장을 정성적으로 비교하기 위하여 Fig.10의 원시화상으로부터 구한 데이터를 기초로 보간하여 벡터로 나타낸 것이다. 여기서도 밸브 개도각의 속도 증가와 다

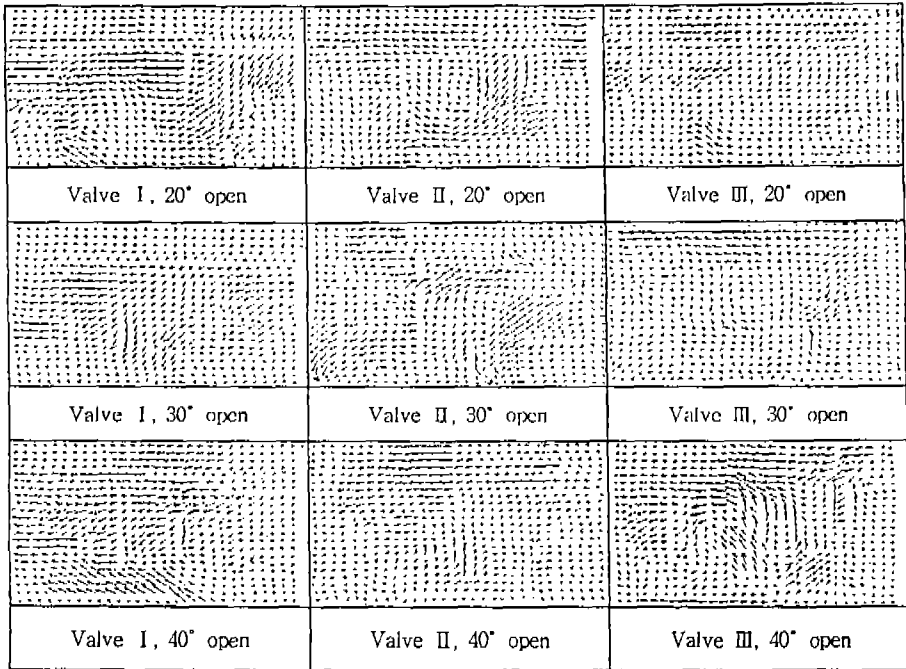


Fig.11 Velocity vectors at the downstream of the throttle valve( $\Delta P=50\text{mmH}_2\text{O}$ )

공밸브를 사용하는 경우에 재순환 영역이 작아지고 혼합구역이 증가하는 일반적인 경향을 관찰할 수 있다.

밸브 직후의 벽면 부착유량과 관련하여 살펴보면, 다공밸브가 무공밸브에 비하여 더 작은 재순환 영역을 가지며 벽면 부착유량도 감소시키는 것을 알 수 있다. 이것은 재순환 영역내에 존재하는 액적들이 그들이 갖는 운동에너지를 크게 잃어 벽면에 부착하기 쉽기 때문이며, 결국 부착연료량은 재순환 영역의 크기에 비례적인 관계가 있는 것으로 판단된다.

또한, 무공밸브의 벽면 부착유량에 대하여 유도된 식 (13)과 (14)에서 부착유량의 재 미립화율( $\gamma_1$ )과 부착율( $X$ )은 밸브 개도의 증가에 따라 감소한다. 따라서 다공밸브를 적용시킬 때에는 무공밸브에 비하여 보다 작은 개도각으로써 벽면 부착유량을 줄이는 효과를 얻을 수 있는 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

흡기관 내에 설치된 밸브의 형상과 밸브 개도, 그리고 흡입측 전동기의 회전수 변화에 따른 유동 특성을 실험적으로 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 다공밸브는 무공밸브에 비해 적은 압력손실로 같은 양의 유량 조절이 가능하고, 다공밸브의 구멍비(PR)가 클수록 밸브 전후의 차압이 감소하여 밸브손실을 줄이는 효과가 있다.
- 2) 밸브 후류에 발달하는 재순환 영역의 길이는 밸브 개도각이 클수록 감소하고, 이러한 경향은 무공의 경우보다 다공의 경우에 더 현저하게 나타났다. 이로부터 다공밸브가 보다 큰 혼합 구역을 가짐으로써 개선된 혼합기를 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

3) 밸브 개도각이 증가할수록 재순환 영역의 감소로 인한 연료입자의 벽면 부착량도 감소하는 경향을 보였으며, 같은 조건하에서 무공밸브에 비하여 다공밸브의 경우에 더 작은 재순환 영역을 갖는다. 따라서 다공밸브를 사용하는 경우, 기관 흡기계로의 연료공급 방법이 액막유에 의한 전달보다는 유동입자 및 연료증기의 형태로서의 전달이 상대적으로 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

1. M. J. Sampson and J. B. Heywood, "Analysis of Fuel Behavior in the Spark-Ignition Engine Start-Up Process", SAE Tech. Paper Series 950678, International Congress and Exposition, Detroit, Michigan, 1995.
2. D. N. Assanis and M. Polishak, "Valve Event Optimization in a Spark-Ignition Engine", T. of ASME, J. of Engineering for Gas Turbine and Power, Vol.112, pp. 341~347, 1990.
3. M. Fusieda, Y. Ohyama, M. Ooshuga, and T. Nogi, "Analysis of Gas Flow in the Intake Manifold of Gasoline Engines", JSAE Review, Vol.12, No.1, pp. 6~10, 1991.
4. K. Eom, "Performance of Butterfly Valves as a Flow Controller", T. of ASME, J. of Fluids Engineering, Vol.110, pp. 16~19, March, 1988.
5. H. Monden and R. Kataoka, "Practical Measuring Method of Deposited Fuel and Evaporated Fuel in the Induction System", Proceedings of the 23rd FISITA Congress, Torino, Italy, Vol. I, pp. 295~302, 1990.
6. 이창식, 이기형, 조병욱, 서영호, "연료 분사 장치의 혼합기 형성에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 제19권, 제11호, pp. 2690~2698, 1995.