

〈技術論文〉

흡기포트압력을 이용한 SI엔진의 체적효율 및 토크 성능 분석

이영주* · 홍성준*

(1991년 12월 9일 접수)

Analysis on Volumetric Efficiency and Torque Characteristics Using Inlet Port Pressure in SI Engines

Young Joo Lee and Sung Jun Hong

Key Words : Valve Timing(밸브타이밍), Intake Manifold Condition(흡기관 조건), Inlet Pipe Length(흡기관 길이) Inlet Port Pressure(흡기포트압력), Torque(토크), Volumetric Efficiency(체적효율), Intake Opening Duration(밸브열림구간)

Abstract

The valve timing and intake system in SI engine is chosen in order to get the maximum performance at the target rpm. This is a compromise and the performance reduction is expected in a certain rpm range. Therefore, to accomplish the possible engine capacity all over the operation ranges, it is required to investigate the effects of intake system and valve timing on engines more thoroughly. In this paper, it was attempted to examine closely the combined effects on the torque and the volumetric efficiency due to the change of valve timing and intake system dimensions. For this, the inlet port pressure was chosen as a primary parameter to represent engine performance characteristics together with surge tank pressure and induction pressure as secondaries. The inlet port pressure was analyzed in connection with both the secondaries and the performance data. Especially the relation between the inlet port pressure and the torque and volumetric efficiency was investigated on the operating conditions. In this experiment, it was acquired that the performances at specific rpm range could be improved by the combinations of valve timing and intake system. Then it was verified that pressure at a intake system contained useful data for the engine performance. By the analysis of inlet port pressure with the others, it was obtained that the properties of the torque and the volumetric efficiency due to the change of valve timing and intake conditions were able to be defined by the average and the maximum inlet port pressures, the pressure near before the intake valve closing(IVC) point as well as the pressure at IVC point during the intake valve opening duration. These results could be applied to almost all over the experimental conditions.

———— 기 호 설 명 ————

A : 흡기관 단면적

*정회원, 쌍용자동차(주)

a : 음속

K : 상수

L_1 : 흡기관 길이 (inlet pipe length)

L_2 : 흡입관 길이 (induction pipe length)

- r_c : 압축비
- V_d : 배기량
- V_{eff} : 등가 흡기관 체적
- IVO : 흡기밸브열림 (intake valve opening)
- IVC : 흡기밸브닫힘 (intake valve closing)
- EVO : 배기밸브열림 (exhaust valve opening)
- EVC : 배기밸브닫힘 (exhaust valve closing)

1. 서 론

SI 엔진에서 밸브타이밍은 목표 회전수 및 부하에서 최대 성능을 얻을 수 있도록 선택된다. 이것은 하나의 타협안으로서, 그 외의 영역에서 어느 정도의 성능하락을 감수하는 것이다. 그러므로 목표 조건에서 뿐만 아니라 전 영역에서의 가능한 성능을 획득하기 위하여, 주어진 엔진에 대해 흡기관 조건 및 밸브타이밍 변화에 따른 엔진 성능에의 영향을 충분히 고찰, 분석하는 것이 필요하다.

흡기관 조건 및 밸브타이밍은 엔진토크 및 체적효율의 가장 큰 영향인자이고, 그 영향에 대한 연구는 국내외에서 상당히 이루어져 있다. 흡기관 내의 비정상 압축성 유체유동을 모델링하여, 특성곡선법 (method of characteristics)^(1~6) 및 유한차분법 (finite difference method)^(7~16)에 의하여 분석하는 정량적 방법과 흡기관 내의 공기를 음향학적 해석으로 엔진 흡기관과 공진시키는 정성적 방법^(17~19)은 각각 흡기관 압력 및 성능 시험결과를 상당히 근접하여 예측할 수 있고, 각 변수들의 영향 또한 비교적 정확하게 예측할 수 있다. 그러나 대부분의 연구들이 수치해석과 실험결과와의 비교, 여러 변수에 의한 엔진 성능에의 영향 고찰 등에 집중되어 있어, 엔진성능에 관하여 최종적인 정보를 가지고 있는 흡기포트압력 (inlet port pressure)의 분석과 성능과의 연관관계 규명에는 미흡하였다.

이와 관련된 연구로서, I. Fukutani 등은 흡기포트압력을 측정하여 흡기밸브 유효면적 및 개폐시기에 의한 체적효율에의 영향 규명에 이용하였고,⁽²⁰⁾ A. Ohata 등은 흡기포트압력 변화값에 의한 체적효율에의 영향 및 관계규명⁽²¹⁾ 및 흡기영향인자 변경 때 흡기포트압력을 이용한 체적효율의 예측⁽²²⁾ 등을 깊이있게 규명하였다. 전술한 대부분의 해석에 의하면, 체적효율은 IVC(흡기밸브닫힘) 때 흡기포트압력 값에 의하여 규정될 수 있다고 알려져 있다. 그러나 흡기포트압력은 실린더 흡입전 흡기

가 갖고있는 흡기관 및 밸브타이밍의 다양한 변수들에 의한 복합적인 영향정보를 함축하는 인자로서, 단지 흡기밸브닫힘 시점에서의 압력값만으로 체적 효율을 규정할 수 있는지에 관해서는 더 많은 자료에 의한 실험적 실증이 필요하다.

그러므로 본 연구에서는 여러가지 흡기관 조건 및 밸브타이밍 변화에 대하여, 현재까지 연구에서 확인된 IVC에서 흡기포트압력 값의 체적효율에 대한 영향을 검토하고, 흡기밸브가 열리는 동안 흡기포트압력의 어느 부분 또는 지점이 엔진의 체적효율 변화를 설명해 줄 수가 있는지를 실험적으로 규명하고자 하였다. 이 목적을 위해 각 흡입조건에 대한 흡기포트압력 및 엔진 성능값을 측정·분석하여 서로의 연관성을 비교, 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

시험장치의 개략도는 Fig. 1에 나타내었다. 엔진에서 나오는 각종 정보 및 측정값은 ECU를 통하여 기록계에 저장되었고, 그 정보들은 I-DEAS Tdas 및 매킨토시 소프트웨어들을 이용하여 분석하였다. 시험 엔진의 제어계통은 BOSCH M 2.7을 사용하였는데, 흡입공기량은 BOSCH사의 HO 7600 HWM(hot wire meter : 열선유량계)를 사용하였다. 시험엔진은 수냉식 4기통 MPI엔진으로

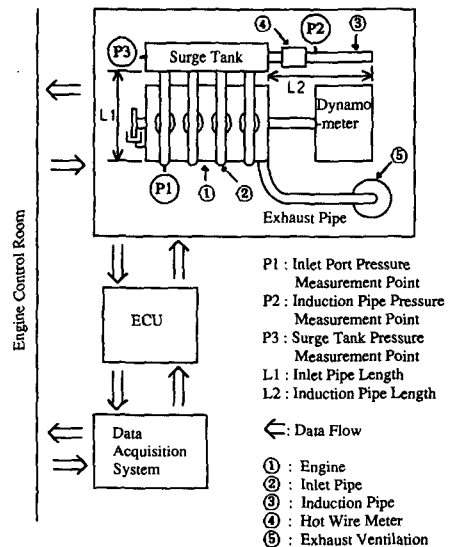


Fig. 1 Schematic drawing of experimental apparatus

Table 1 Test engine specifications

Type	Water Cooled 4-stroke
No of Cylinders	4 (In-Line)
Bore × Stroke	74.0 × 58.0 mm
Displacement	1000 cc
Compression Ratio	9.0
Firing Order	1-2-4-3

Table 1에 그 제원을 나타내었다. 흡기포트압력은 범위가 ± 1 기압 정도이므로, 타스코사의 스트레인 게이지 타입 압력센서 TP-51형을 사용하였는데, 그 센서의 검정(calibration) 시험결과는 Fig. 2에 나타내었다.

실험을 위하여 별도 제작한 흡기관 및 캠샤프트에 의한 실험조건은 Table 2에 나타내었다. 본 연구에서는 흡기관 조건 및 밸브타이밍을 변화시킬 때, 엔진 성능에 미치는 영향과 그 때의 흡기포트 압력 값과 체적효율 및 토크와의 연관성을 분석하

Table 2 Summary of experimental conditions

Condition No	Conditions							
	Valve Timing						Intake System Dimensions	
	Cam Type	IVO	IVC	Intake Valve Lift	Exhaust Valve	Overlap	Inlet Pipe Length (mm)	Diameter (mm)
1	Old Cam	26° BTDC	67° ABDC	8.56 mm	EVO = 40° BBDC	51°	560	33
2							520	27
3							400	33
4							400	27
5	New Cam	11° BTDC	36° ABDC	↑	Lift = 8.534 mm	36°	560	33
6							560 Induction Length=380	33
7							520	27
8							400	33
9							400	27

*Original Induction Length=580 mm

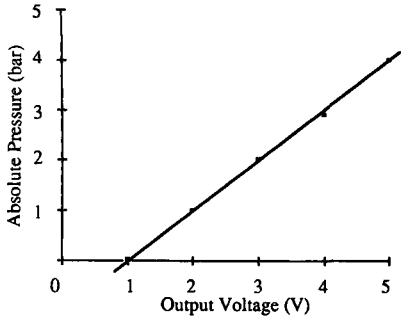


Fig. 2 TP-51 pressure transducer calibration result

였다.

3. 시험결과 및 분석

3.1 엔진 성능에의 영향

선택된 각 설계조건 Table 2에 대하여 흡기관조건 및 밸브타이밍의 영향을 체적효율, 토크의 측면에서 검토하였으며, Fig. 3에 그 실험결과를 나타내었다. 체적효율과 토크는 비례적인 관계가 성립한다고 알려져 있으며, (23,24) 본 실험에서도 그 관계를 확인할 수 있었다. 그 경향은 노킹(knocking)에 의한 점화지연이 요구되는 저회전, 고부하 영역에서 상대적으로 많은 차이가 나는 것을 알 수 있다.

동일 밸브타이밍에서 흡기관 길이 및 지름의 변화가 엔진에 끼치는 영향에 대하여, 단기통 엔진의 경우 그 결과가 충분히 알려져 있다. (7,17) 즉, 동일 흡기관 지름에서는 흡기관 길이 증가에 따라 체적효율은 증가하는 경향을 보이나, 특정 엔진 회전수에 대한 최적의 길이가 존재한다. 이때 최대 체적효율은 흡기관 길이가 짧을수록 고회전수에서 발생한다. 또 동일 흡기관 길이에서, 흡기관지름이 증가할수록 고회전수에서 성능향상을 보이나, 저회전수에서의 성능하락을 가져온다. 다기통 엔진의 경우, 서지탱크(surge tank)의 존재, 흡기관 사이의 연락관(joint pipe)의 존재 및 연결방법 등에 의하여 절대값의 차이는 있지만, 그 경향은 대체로 일치한다는 것이 여러 연구에서 확인되었다. (4~6,10~12,19) 본 실험에서도 그 경향이 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

본 실험에서, 흡기관은 음향학적 해석에 의한 헬름홀츠 공명관(helmholtz resonator)이론을 이용하

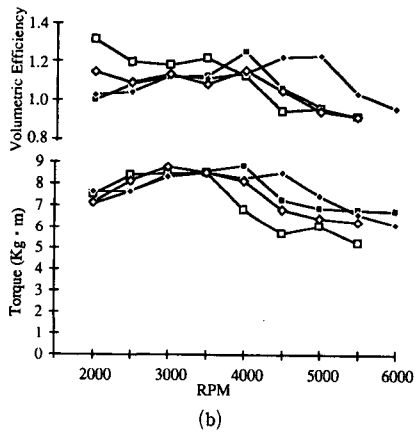
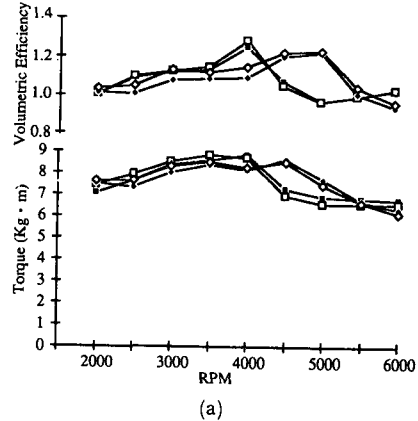


Fig. 3 (a) Comparison of volumetric efficiency and torque results in terms of valve timing and inlet pipe length. Experimental condition : ■ = 1(L=560, φ=33, Old Cam), □ = 5(L=560, φ=33, New Cam), ◆ = 3(L=400, φ=33, Old Cam), ◇ = 8(L=400, φ=3, New Cam)
 (b) Comparison of volumetric efficiency and torque results in terms of inlet pipe diameter. Experimental condition : ■ = (L=560, φ=33, Old Cam), □ = 2(L=560, φ=27, New Cam), ◆ = 8(L=400, φ=33, New Cam), ◇ = 9(L=400, φ=27, New Cam)

여 목표 회전수에서 최대의 체적효율이 나오도록 하였다. 이때 동조회전수(Nt)를 구하는 식은 다음과 같다. (27)

$$Nt(\text{rpm}) = \frac{955}{K} a \left(\frac{A}{L1 \cdot V_{\text{eff}}} \right)^{1/2}$$

여기서,

$$V_{\text{eff}} = \left(\frac{Vd}{2} \cdot \frac{r_c + 1}{r_c - 1} \right), K = 2$$

이 식은 단기통 엔진에 적용되는 식이나, 다기통

엔진의 동조회전수(resonant tuning speed)를 구하는 경우에도 상당한 정확도로 적용될 수 있다.^(19,21) 본 실험에서 얻어진 동조회전수와 뒷 식으로 구한 값을 Fig. 5에 나타내었는데, 음향학적 이론에 의한 최대 체적효율 발생 동조회전수 예측에 유효함을 보여주고 있다. 여기서 측정값이 계산값 보다 다소 낮은 경향을 나타내는데, 이것은 실험이 500 rpm 단위로 행하여 예측정도가 낮고, 흡기밸브가 2개인 DOHC 엔진이므로 등가 흡기관길이(equivalent length) 결정에 다소 오차가 있을 수 있음에 기인한다고 판단된다.

흡입관 길이(induction length : L2)를 58 cm에서 38 cm로 줄였을 때의 체적효율 및 토크 값을 Fig. 4에 나타내었다. 흡기관 길이가 58 cm인 경우와 비교하면, 흡입관 길이의 감소에 의하여 토크의 최대값 발생 회전수는 저회전수로 이동함을 알 수 있다. 그러나 본 조건의 경우 체적효율의 값은 토크의 경향과 다소 차이가 있어 거의 변화가 없는데, 이것은 앞에서 언급된 것과 같이 체적효율의 경향은 대부분 서지탱크 이후 흡기밸브까지의 흡기관 길이에 의하여 규정되기 때문이다.

동일 흡기관 길이 및 지름에 대한 밸브타이밍의 영향을 검토해 보면, 일반적으로 저회전수 영역에서의 최적 밸브타이밍은 고회전수 영역때보다 밸브 열림구간이 크게 되고 오버랩은 작게 된다. 이러한 추세는 본 실험에서도 확인될 수 있어, IVO 지연 및 IVC 전진과 동시에 밸브오버랩을 줄인 New Cam의 경우, 중·저 회전수에서 체적효율 및 토크 향상을 얻을 수 있었다. 실험에 의하면, 밸브타이밍은 흡기관 조건에 비하여 엔진성능 변화에 상대적으로 적은 영향요소로 판단된다. 일반적으로 특정 캠샤프트에 대한 밸브타이밍은 엔진 회전수 및 부하의 함수로 나타낼 수 있다.⁽²⁵⁾

IVC는 체적효율 결정에 중요한 요소로서, 실린더 압력이 흡기포트압력보다 큰 지점이 선택된다.⁽²⁶⁾ 이 점은 실린더압력이 흡기포트압력보다 크에 의하여 일어나는 역방향 흐름의 악영향을 흡입과정의 흐름용량(flow capacity)에 의하여 상쇄되는 점이 된다. 모든 흡기관 조건에서 IVC 전진으로 저회전수 영역에서의 엔진 성능은 향상되었다. IVC의 전진은 저회전수 영역에서 흡기관이 길때 짧은 흡기관보다 상대적으로 성능향상에 기여함은 본 실험에서도 확인되었다.

본 실험에서 흡입공기량은 대체적으로 약 50%정

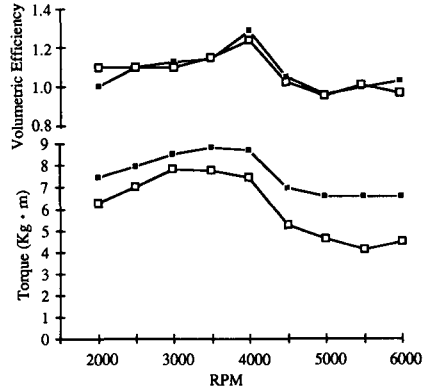


Fig. 4 Comparison of volumetric efficiency and torque results in terms of induction pipe length. Experimental condition : ■ =5(L2=580), □ =6(L2=380)

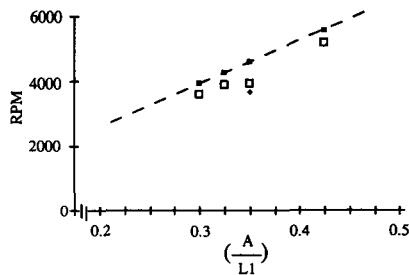


Fig. 5 Comparison of the resonant tuning speed (Nt) between calculation and experiment. ■ : calculated data, □ · ◆ : experimental data

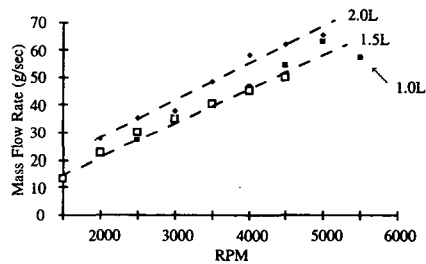


Fig. A Data comparison of the relationship between engine displacement and mass flow rate (g/sec) for some engines at full load (■ =1.0L, □ =1.5L, ◆ =2.0L)

도 높게 측정되었다. 실험방법의 검토 및 정상 유량에 의한 열선유량계의 검정시험(calibration) 등에 의한 오차생성 원인이 적은 것으로 보아, 다음 두가지로 그 이유를 생각해 볼 수 있다. 첫째, 열선 유량계의 백금열선 오염으로 오차가 생성될 수

Table 3 Analyzing conditions in the intake valve opening durations (Crank Angle Range/Position)

Unit : deg

No	Conditions	Old Cam	New Cam
1	Mean Inlet Port Pressure All Over the IVO Duration	694~967	709~936
2	Maximum Inlet Port Pressure All over the IVO Duration	↑	↑
3	Inlet Port Pressure at IVC Point	967	936
4	Mean Inlet Port Pressure at 180°~210° from Intake TDC (21)	900~930	900~930
5	Maximum Inlet Port Pressure at 180°~210° from Intake TDC	↑	↑

있다. 그러나 본 계기의 경우 엔진작동 뒤 열선에 잔류할 수 있는 오염물질을 태우는 Burn-off 과정이 있으므로 이 현상이 일어날 경우는 적으리라 판단된다. 다음으로 흡기관에서의 압력파동이 흐름의 방향성을 감지할 수 없는 열선유량계의 고유특성에 영향을 끼친 것으로 판단된다. 즉, 열선유량계 전후의 압력파동으로, 공기흐름이 거시적으로는 엔진의 정상운전 상태에서 일정방향으로 흐르나, 전후 압력차가 역으로 형성되는 구간에서는 역흐름이 발생하고, 이때의 흐름이 열선유량계에서는 정방향 흐름으로 인식되는 것이다. 본 실험은 배기가스 분석에 의한 보상없이 열선유량계만의 흡입 공기량 측정시도이므로 흡입공기량의 절대값은 정확하지 않으나, 결과가 전체적으로 상향되어 있으므로 각 실험조건에서의 상대적 비교에는 유효하다고 판단된다(Fig. A).

흡기관조건 및 변경에 따른 아이들 성능에 관한 실험결과 획득은 하지 않았다. 그러나 흡기밸브열림 시간과 오버랩 감소에 의해서 아이들 회전수를 다소 낮출 수 있었고, 동력계(dynamometer) 토크 게이지 상의 진동현상이 상당히 감소하였음을 볼 때, 아이들 안정성 향상을 판단할 수 있었다.

3.2 흡기관 압력파형의 영향

실험조건 5, Table 3에 대하여, 흡기관 경로를 통한 P1-P3 지점에서의 압력값을 Fig. 6에 나타내었다. 흡기포트압력(P1)은 밸브 개폐에 의한 관성효과(ramming effect) 및 맥동효과(standing wave effect)의 복합적 영향을 모두 받고 있다. 그러나 흡기의 상하류 유동을 복합적으로 받고 있는 흡입관(induction pipe) 압력(P2)은 서지탱크(P3)에 도착하여, 그 크기는 다소 진압되나 전 주기 흡기밸브

브 개폐의 영향이 모두 합유되어, 1주기(720°) 동안 약 4주기의 압력과 성분을 함유하게 된다. 서지탱크 압력(P3)은 주기성과 더불어 각 실린더별 흡입상태에 대한 차별성도 포함하고 있다는 것을 그림에서 알 수 있다.

각 실험조건에서의 흡기포트압력 형상을 Fig. 7

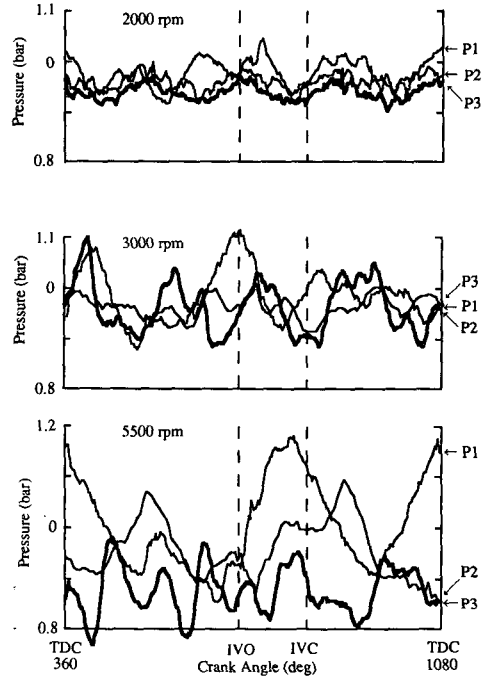


Fig. 6 Comparative drawing of intake system pressures for 1 cycle at point P1(inlet port Pressure), P2(induction pipe pressure) and P3 (surge tank pressure) shown in (Fig. 1). Experimental condition=5. —=P3, - -=P1·P2

에 나타내었다. 흡기포트압력은 흡기관이 공명상태 (tuned condition)일 때 Old Cam이나 New Cam 모두 최대 맥동을 보인다. 즉 압력파의 진폭이 클 수록 흡입과정에서의 공기유입에 좋은 영향을 끼치며, 일정 압력파보다 압력파가 진동하는 것이 흡입 공기량 및 체적효율 증가에 더 나은 영향을 끼친다는 것이 본 실험에서도 확인되었다.⁽²⁸⁾ 흡기포트압력의 진동수는 흡기관 길이만의 함수이므로, 다른 변수 및 회전수, 부하에 상관없이 일정하여야 한다. 이는 본 실험 결과, Fig. 8에서도 확인될 수 있었다.

IVO동안 흡기포트압력 형상은 밸브타이밍의 변화에 따라 큰 차이를 보이지 않는다(Fig. 7(a)). 이것은 밸브관련 변수, 이 경우 밸브타이밍에 의한 흡기포트압력에의 영향은 미소하다는 연구결과⁽²²⁾와 일치한다. 본 실험조건에서의 체적효율 또한 별 차이를 보이지 않는다(Fig. 3). Fig. 7(b), (c)에서는 흡기관 길이 및 지름 변화에 따른 흡기포트압력 변화를 보여주고 있다. 흡기관 조건 변화에 따른 흡기포트압력 형상은 상당한 차이가 있다는 것을

알 수 있다. 선택된 흡기관에 대한 엔진의 동조회전수는 길이에만 관계되므로, 압력형상은 흡기관 길이를 변수로 할때 각 회전수에서 각각 다른 위상차를 나타내고 있으나 흡기관 지름에 대하여서는 거의 동일 위상차를 가지고 있다. 이 변수들의 변화에 따른 압력 진폭과 IVC때의 압력값이 흡기관 길이 변화의 경우 저회전수, 흡기관지름 변화의 경우 고회전수 영역을 제외하고 체적효율 변화에 상당한 추종성을 보이는 것으로 보아(Fig. 3), 흡기포트압력은 체적효율과 상당한 연관성이 있으며, 그 예측에도 유용하리라 예상할 수 있다.

3.3 흡기포트압력과 체적효율과의 관계

A. Ohata등은 흡기포트압력 분석으로, IVO 동안의 압력형상은 체적효율과 밀접한 관련이 있음을 제시하였다.⁽²¹⁾ 그러나 IVO 동안 어느 지점 또는

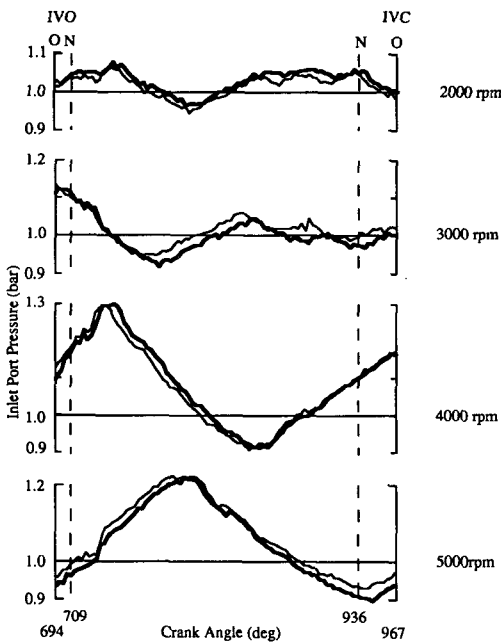


Fig. 7 (a) Comparison of inlet port pressure profiles in terms of valve timing during intake valve opening duration. Experimental condition : —=1, - - =5. (O=Old Cam, N=New Cam)

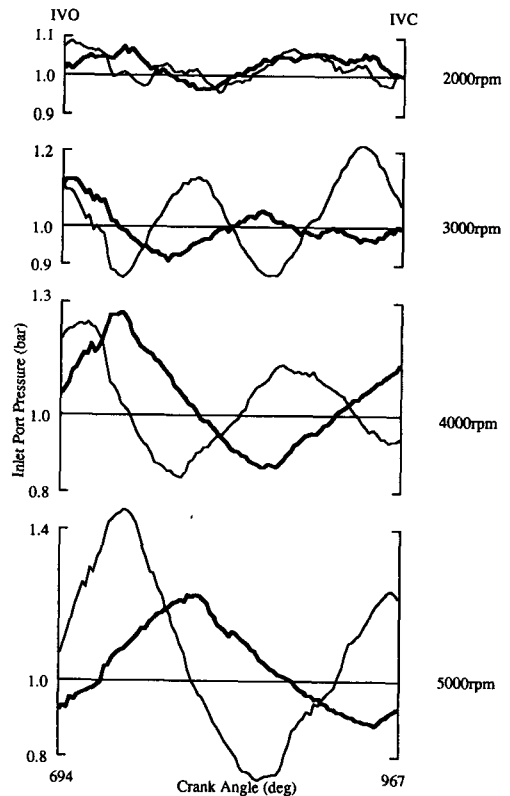


Fig. 7 (b) Comparison of inlet port pressure profiles in terms of inlet pipe length during intake valve opening duration. experimental condition : —=1 (L =560mm, ϕ =33mm), - - =3 (L =400mm, ϕ =33mm)

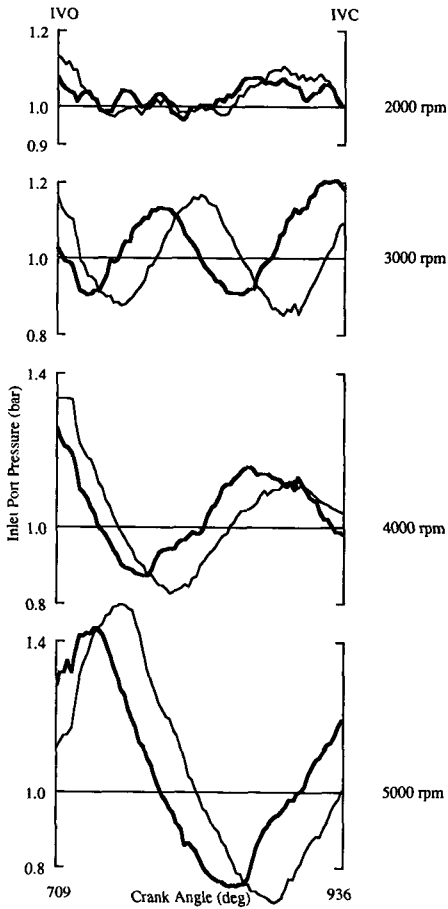


Fig. 7 (c) Comparison of inlet port pressure profiles in terms of inlet pipe diameter during intake valve opening duration. Experimental condition : —=8 (L=400, $\phi=33\text{mm}$), - - =9 (L=400, $\phi=27\text{mm}$)

시점에서의 압력형상이 체적효율의 경향을 가장 잘 표현하는지는 실험적 검토의 필요성이 절실하다고 하겠다. 앞에서의 분석에서도 보였듯이, 흡기포트 압력 형상 및 IVO 동안 임의구간 또는 지점에서의 압력값은 엔진 성능과 밀접한 관계가 있는 것으로 예상할 수 있다. 그러므로 흡기포트압력 전체를 다 각도로 분석함으로써, 성능 결과에 대한 객관적인 설명이 가능하고 아울러 성능예측이 가능하리라고 예상된다. 본 연구에서도 흡기포트압력 자체와 밸브타이밍 및 흡기관 조건의 관계에 관한 유용한 결과를 얻고자 한다.

Fig. 9에서는 임의 1주기에 대한 흡기포트압력 측정값을 나타내었다. 엔진 흡입 과정 동안 대부분

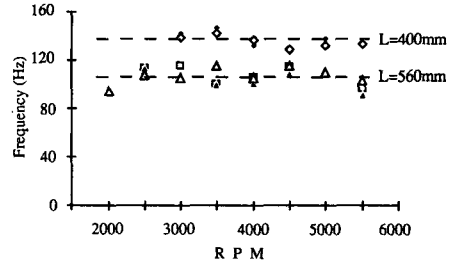


Fig. 8 Comparison of the measured frequencies on various inlet pipe conditions. Experimental condition : ■=1 (75% Load), □=5 (75% load), ◆=3 (100% Load), ◇=8 (100% Lad), △=1 (100%), ▲=2 (100% Load)

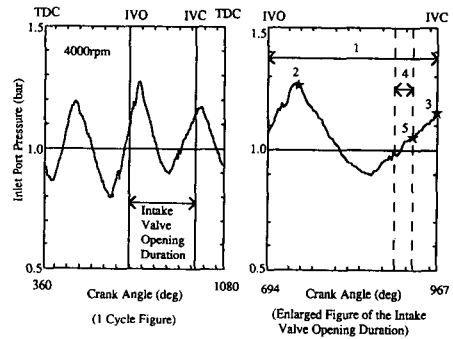


Fig. 9 Inlet port pressure profile for 1 cycle : Experimental condition=1. (1-5 in the enlarged figure = experimental condition No in Table 3)

의 효과는 관성효과에 의한 것이므로 IVO동안의 흡기포트압력 파형을 분석하는 것으로 충분하다. Fig. 9에 IVO동안의 확대그림을, Table 3에 흡기포트압력의 분석 구간 및 지점을 나타내었다. 선택된 구간 및 지점에서의 흡기포트압력을 회전수에 대하여 Fig. 10~12에 나타내었다.

Fig. 10은 IVO 동안 선택구간에서 밸브타이밍 변화에 따른 흡기포트압력 값 변화를 회전수에 대하여 나타내었다. 흡기포트압력 값의 체적효율 및 토크에 대한 직접적인 관계는 여기서 어느 정도 확인할 수 있었다. 즉, 체적효율의 증감 경향은 최대 흡기포트압력, TDC로부터 180°~210° 지점 압력값 및 IVC 때의 압력값 등에 의해서도 예측될 수 있다. 그러나 밸브타이밍 변화에 따른 상대적인 경향 해석에는 적절한 해답을 얻기 힘들었다. 이것은 흡기포트압력 측정값으로 체적효율과의 연관성은 확

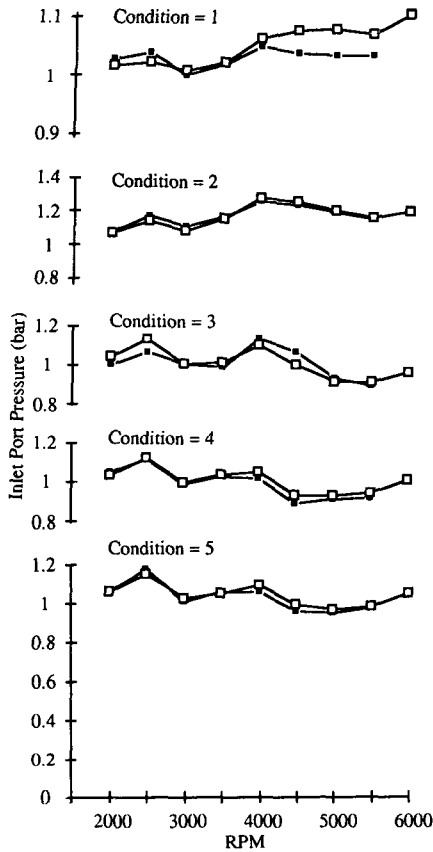


Fig. 10 Inlet port pressure variation due to the change of intake valve timing during intake valve opening duration at the conditions of (Table 3). Experimental condition : ■ = 1, □ = 5

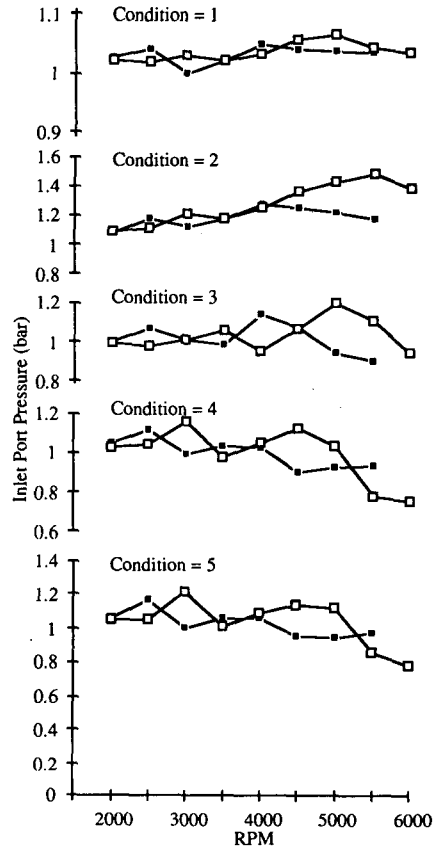


Fig. 11 Inlet port pressure variation due to the change of inlet pipe length during intake valve opening duration at the conditions of (Table 3). Experimental condition : ■ = 1, □ = 3.

인될 수 있으나, 그 관련정도는 서로 복잡적이므로 어느 한 지점의 값으로 설명되기 힘들기 때문이다.

Fig. 11은 흡기관 길이 변화에 따른 흡기포트압력 변화를 나타내고 있다. 이 경우에는 IVC시점에서의 압력값이 흡기관 길이 변화에 따른 체적효율 경향을 가장 잘 나타내어 주고 있고, 나머지 경우의 값들도 어느 정도 그 경향을 잘 나타내어주고 있으나, 모든 경우 저회전수 구간에서는 상당한 오차를 나타내었다. 흡기관 지름 변화에 따른 체적효율경향(Fig. 12)은 IVC시점 및 TDC로부터 180°~210° 지점 압력 최대값에 의하여 설명이 가능하였으나, 이 역시 일부 회전수 구간에서의 경향 파악은 곤란하였다. 조건 4,5(Table 3)는 A. Ohata 등이 제시한, TDC로부터 180°~210° 지점에 발생하는 압력값이 체적효율 변화에 가장 큰 영향을 끼

친다⁽²¹⁾는 실험결과를 검토한 것이다.

이상에서, 최대 체적효율은 요구되는 회전수에서, IVC때의 최대 흡기포트압력 발생점에 의해서 설명될 수 있다는 일반적 인식에 대한 타당성은 어느 정도 확인되었다. 그러나 아울러 엔진 체적효율 및 토크성능은 흡기포트압력의 최대값(압력파의 진폭), 흡기과정 TDC로부터의 180°~210° 지점에서의 압력추이 및 IVO 전 영역에서의 평균 흡기포트압력 등에 의해서도 그 관련됨을 확인할 수 있었다. 즉 체적효율의 경향은 IVO동안 흡기포트압력의 여러 부분에 의하여 복잡적으로 연관되어 있어, 어느 한 부분으로써 그 경향을 설명하는 것은 곤란하다. 그러나 일반적으로 IVC시점의 흡기포트압력이 가장 큰 연관성이 있다는 것은 어느 정도 인정할 수 있다.

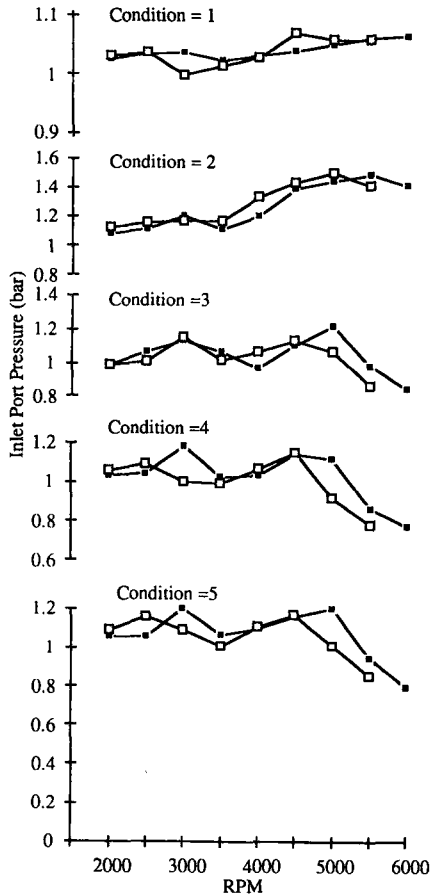


Fig. 12 Inlet port pressure variation due to the change of inlet pipe diameter during intake valve opening duration at the conditions of (Table 3). Experimental condition : ■ = 8, □ = 9

그러므로, 흡기포트압력에 의한 체적효율 예측에는 다양한 밸브타이밍 및 흡기관 설계조건 등과의 연관분석이 좀 더 깊이있게 논의되어야 하리라 판단된다.

4. 결론

흡기관 조건 및 밸브타이밍 변경에 의한 엔진 성능에의 영향 실험과 분석에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 주어진 흡기관 조건에서, IVO지연, IVC전진 및 밸브오버랩 감소에 의해서 중·저회전수에서의 성능과 아이들 성능 향상을 얻었다.

(2) 흡기포트압력은 엔진 성능과 밀접한 관계를

가지고 있으며, 특히 IVO구간에서의 분석으로 그 연관성이 확인될 수 있다.

(3) 각 조건에서 체적효율 및 토크 변화경향은 흡기포트압력 변화에 비례한다. 그때의 체적효율 및 토크성능 예측은 IVC때의 흡기포트압력 값에 의하여 가장 잘 근접될 수 있으나, IVO구간에서의 평균값, 최대압력값(압력과의 진폭) 및 흡입과정 TDC로부터의 180°~210° 지점 압력값 등에 의하여 서로 연관되어 있음을 확인하였다. 그러나 그 복합적인 관련정도에 대하여서는 더 깊은 연구가 필요하다.

(4) 열선유량계만에 의한 엔진 흡입공기량 측정 은 흡기 계통의 배치 및 제원에 따라 오차 범위 및 크기에 상당한 차이가 있으므로, 흡기압 변동에 따른 측정값 보정등에 관련된 연구가 필요하다.

참고문헌

- (1) Benson, R.S., 1982, "The Thermodynamics and Gas Dynamics of Internal-Combustion Engines," Vol. 1.
- (2) Low, S.C. and Baruah, P.C., 1981, "A Generalized Computer Aided Design Package for I.C. Engine Manifold System," SAE Paper 910498.
- (3) Blair, A.J. and Blair, G.P., 1987, "Gas Flow Modeling of Valves and Manifolds in Car Engines," Proc. Instn Mech. Engrs, C11/87.
- (4) Bingham, J.F., 1987, "Intake System Design Using a Validated I.C. Engine Computer Model," Proc. Instn Mech. Engrs. C25/87.
- (5) 서정일, 조진호, 김형섭, 김병수, 1990, "다실린더기관 흡기관내의 압력변동과 체적효율에 관한 연구," 대한기계학회 논문집, 14권, 1호.
- (6) 이승해, 이재철, 송준호, 1991, "다기통 4사이클 스파크 점화기관의 가스 교환과정에 관한 예측," 자동차공학회지, Vol. 13, No.2.
- (7) Taylor, C.F., Livengood, J.C. and Tsai, D.H., 1955, "Dynamics in the Inlet System of a Four-Stroke Single-Cylinder Engine," Trans. ASME, Paper No. 54-A-188.
- (8) Takizawa, M., Uno, T., Oue, T. and Yura, T., 1982, "A Study of Gas Exchange Process Simulation of an Automotive Multi-Cylinder Internal Combustion Engine," SAE Paper 820410.

- (9) Matsumoto, I. and Ohata, A., 1986, "Variable Induction Systems to Improve Volumetric Efficiency at Low and/or Medium Engine Speeds," SAE Paper 860100.
- (10) Takeyama, S., Ishizawa, S., Yoshikawa, Y. and Takagi, Y., 1987, "Gas Exchange Simulation Model for Improving Changing Efficiency of Four-Valve Internal Combustion Engine," Proc. Instn Mech. Engrs, C28/87.
- (11) 성낙원, 이용석, 강건용, 엄중호, 1988, "엔진 흡기관내의 유체유동에 관한 연구," 대한기계학회 논문집, 제12권, 2호.
- (12) 오세종, 진영욱, 정재화, 1989, "4사이클 왕복동식 엔진에 있어서 흡배기 변동압 측정치를 이용한 흡기효율 최적화 컴퓨터 시뮬레이션," 대한기계학회 논문집, 제13권, 3호.
- (13) Shimamoto, Y., Isshiki, Y., Wakisaka, T. and Fujimoto, T., 1991, "Numerical Prediction of Swirl Ratio and Volumetric Efficiency of Each Cylinder in a Multicylinder Engine." 일본기계학회 논문집, B편, 57권, 536호(1991-4).
- (14) Ogawa, T., Uenaka, T., Yoshida, K. and Kuriyama, T., 1990, "The Prediction System of Engine Performance Based on Gas Flow Simulation." 일본 자동차기술회 학술강연회 전세집, 902, 1990-10. No. 902223.
- (15) Sugiura, S., Saito, Y., Yamada, T., Morimishi, K. and Satofuka, N., 1990, "Numerical Analysis of Flow in Induction System of Internal Combustion Engine." 일본 자동차기술회 학술강연회 전세집, 911, 1991-5, No. 911083.
- (16) Kamiya, R., 1990, "Development of Computer Program for Predicting Power Output of Four-Stroke Engines." 일본 자동차기술, Vol.45, No. 4.
- (17) Thompson, M.P. and Engelman, H.W., 1969, "The Two Types for Resonance in Intake Tuning," Trans. ASME, Paper No. 69-DGP-11.
- (18) 嶋本讓, 1971, "吸・排氣效果の利用(上)," 일본 내연기관, Vol. 10, No. 108.
- (19) Tabaczynski, R.J., 1982, "Effects of Inlet and Exhaust System Design on Engine Performance," SAE Paper 821577.
- (20) Fukutani, I. and Watanabe, E., 1979, "An Analysis of the Volumetric Efficiency Characteristics of 4-Stroke Cycled Four Cylinder Engine," SAE Paper 790484.
- (21) Ohata, A. and Ishida, Y., 1982, "Dynamic Inlet Pressure and Volumetric Efficiency of Four Cycle Four Cylinder Engine," SAE Paper 820407.
- (22) Matsumoto, I., Ohata, A. and Ishida, Y., 1984, "Convenient Estimation of Volumetric Efficiency Using Measured Intake and Exhaust Pressure Variations." 일본 자동차기술회 논문집, No. 29.
- (23) Hara, S., Nakajima, Y. and Nagumo, S., 1985, "Effects of Intake-Valve Closing Timing on Spark-Ignition Engine Combustion," SAE Paper 850074.
- (24) John Fenton, 1986, "Gasoline Engine Analysis," Mechanical Engineering Publications, London, Chap. 2.
- (25) Griffiths, P.J. and Mistry, K. N., 1988, "Variable Valve Timing for Fuel Economy Improvement-The Mitchell System," SAE Paper 880392.
- (26) Ahmad, T. and Theobald, M.A., 1989, "A Survey of Variable-Valve-Actuation Technology," SAE Paper 891674.
- (27) Heywood, J.B., 1988, "Internal Combustion Engine Fundamentals," McGraw-Hill, Chap.6~8.
- (28) Taylor, C.F., 1977, "The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice," The MIT Press, Vol. 1, Chap. 6.
- (29) Brown, W.L., 1967, "Methods for Evaluating Requirements and Errors in Cylinder Pressure Measurement," SAE Trans., Vol. 76, Paper 670008.