

가솔린엔진의 흡기유량계수와 포트설계인자의 상관성에 관한 연구

이 시 훈*

현대자동차

Analytical Approach on Intake Port Development of SI Engines Based on Correlations of Design Parameters and Flow Coefficients

Sihun Lee*

Gasoline Engine Test Team, Hyundai Motor Company, 772-1 Jangduk-dong, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-706, Korea
(Received 2 February 2006 / Accepted 15 March 2006)

Abstract : An Intake Port of SI engines plays a key role on improving engine performance by maximizing full load volumetric efficiency or by optimizing in-cylinder air motion. However, designing an intake port has been usually performed based on port experts' experience and know-how, which means that analytical analyses are relatively insufficient. In this paper, port design parameters which decide an overall port shape were defined in order to correlate them relevantly with flow test results accumulated so far. Test species were composed of all twenty eight SI engines which cover major engine displacements from 1,000cc to 4,000cc. First, they were tested on a steady state flow test rig to find out their flow coefficients. Secondly, those flow coefficients were analyzed based on the port design parameters measured from the engines. The most effective parameters were port height, valve head diameter, and the ratio of port size and cylinder bore diameter. The final correlation equation could predict flow coefficients within 2% deviation.

Key words : SI engine(가솔린엔진), Intake port(흡기포트), Port design parameter(포트설계인자), Flow coefficient(유량계수)

1. 서론

가솔린엔진의 흡입공기량은 그 엔진의 성능을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 흡기다기관(Intake Manifold) 출구의 신기를 연소실로 운반하는 흡기포트는 그 저항에 따라 전체 흡입공기량을 좌우하게 되는데 이는 특히 고속 전부하 성능에 영향을 미친다. 흡기포트는 또한 그 형상에 따라 스웰 혹은 텀블과 같은 실린더 내부유동의 모멘텀(Momentum)을 결정하여 연소속도로 대별되는 엔진의 연소성능에 큰 영향을 미친다. 결국 가솔린엔진의 성능에 있어서 흡기포트는 매우 결정적인 역할을 하게 되며 관

련업계에서는 그 연구와 개발에 많은 자원을 투입해 오고 있다. 그러나 현재의 흡기포트 개발 방식은 주로 포트개발자의 경험적인 지식에 의존함으로써 체계적인 연구방법은 상대적으로 부족한데, 그 이유는 흡기포트가 상호 연관된 여러 형상인자의 복잡한 조합의 산물로서 분석적인 접근이 용이하지 않았기 때문이다. 이와 같은 상황 하에서는 어떤 흡기포트가 주어진 경계조건 하에서 충분히 잘 설계되었는지에 대한 판단이 모호하여, 포트개발자가 불필요한 추가 개발 요구에 부응해야만 하는 문제가 있었다. 본 연구는 이러한 현실에 대한 대안으로 그 동안 축적된 실험 결과를 데이터베이스화하고 이를 분석적으로 선정된 포트형상 설계인자와 관련

*Corresponding author, E-mail: sihun4u@hyundai-motor.com

시킴으로써 양자 간의 적절한 상관성을 유도하고자 하였다. 만약 충분한 상관성이 확보된다면 이로써 주어진 실린더헤드의 경계조건 하에서 흡기포트의 최대성능을 유추할 수 있고 이것이 포트 설계목표 도달 혹은 개발완료 여부를 판단하는 기준이 될 수 있다.

흡기포트의 성능은 유동저항을 최소화할 수 있는 특성과 효과적인 실린더내부유동을 발생시키는 특성으로 대별된다. 포트의 유동저항은 유량계수(Flow Coefficient: Cf)에 의해서 평가되는데 이는 정상유동리시힘에서 측정되는 값이다. 실린더내부 유동은 보통 스윙이나 텀블 혹은 그 조합을 의미하는데 이러한 주유동의 최적화는 난류강도의 증가를 유도하여 연소속도 증가, 연소안정성 확보 등 전반적인 연소성능을 향상시키는 역할을 한다.^{1,2)} 그러나 일반적으로 이 두 가지 특성, 즉 유량계수의 최대화와 효과적인 실린더내부유동(주로 텀블)의 최적화를 동시에 확보하는 것은 용이하지 않다. 관련업계의 최근 추세는 텀블 수준을 크게 훼손하지 않는 범위 내에서 Cf를 최대화하여 주로 최대출력을 확보하는 것이다. 텀블 수준을 크게 훼손하지 않는 범위라는 것이 여전히 모호한 부분이 있지만, 본 연구는 이러한 추세에 부응하면서 또한 비교적 간단한 분석만 실시하기 위해 Cf만을 포트성능의 평가 인자로 고려하였다.

포트형상을 나타내기 위해서는 수많은 형상인자를 정의할 수 있다. 대표적인 것으로는 밸브각, 포트각, 최소단면적, 포트높이, 입구면적 등이 있으며 이러한 대표적인 인자들이 포트 성능에 미치는 영향에 대해서는 일부 연구된 바가 있다.³⁾ 그러나 이러한 인자들의 개별적인 최적화로는 최대 Cf를 얻기가 불가능한데 그것은 각 인자들의 기하학적 상호연관성과 경계조건들로 인한 제약 때문이다. 본 연구에서는 상기 인자들 중 효과가 클 것이라고 예상되는 단 몇 가지의 인자들만을 일단 선정하여 이를 ‘기본포트설계인자’라고 정의하였고 그것을 분석이 용이한 형태로 재구성하여 ‘포트설계인자’라고 정의하였다. 본 연구의 목적은 이들 포트설계인자와 측정된 Cf 데이터베이스간의 통계적 처리를 통하여 양자 간의 상관성을 파악하고 이를 검증하여,

포트 설계와 개발에 대한 적절한 기준을 제시하는 것이다.

2. 흡기포트의 설계인자

2.1 기본포트설계인자

언급한 바와 같이 가솔린엔진의 흡기포트 형상을 나타내는 설계인자는 무수히 많고 대부분은 상호 종속적인 관계에 있으므로, 분석적 연구에 이들을 모두 다룬다는 것은 불가능하다. 그러나 포트개발의 경험이 있다면 이들 설계인자 가운데 주로 Cf에 영향을 미치는 주요인자들을 비교적 용이하게 선정할 수 있다. 이 주요 인자들을 기본포트 설계인자라고 정의하여 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Basic port design parameters

약어	설명
PH_Straight	Port Height_Straight : Distance from valve seating to the intersection of valve centerline and port centerline
MA	Minimum Section Area
ISD	Inner Seat Diameter
TD	Throat Diameter
VD	Valve Head Diameter
TA	Tumble Angle
PA	Port Angle

Fig. 1에서 PH_Straight는 유동이 연소실로 유도되기 직전의 직선부 거리를 나타내는 인자로서, 밸브시트링으로부터 밸브중심선과 포트중심선을 연장한 가상의 교차점까지의 길이로 정의된다. 일반적으로 PH_strait가 길수록 Cf는 증가하고 텀블은 감소하게 된다.³⁾

MA는 흡기포트의 전 구간에서 포트중심선에 수직한 단면적의 최소값이다. 일반적으로 흡기 유속 및 텀블에 반비례하며, 텀블을 추구하는 포트에서 과도하게 축소할 경우 Cf가 크게 저하될 수 있다. 따라서 흡기포트의 Cf를 개선해야 하는 경우, 먼저 MA가 충분한지 확인해 보아야 한다. 최근 개발되는 엔진들에서는 MA가 비교적 크게 설정되는 경향을 보인다.

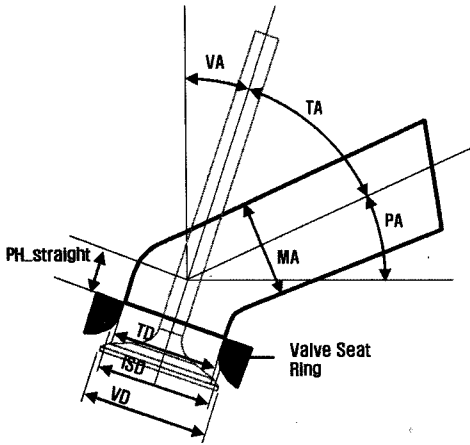


Fig. 1 Definition of basic port design parameters

포트 크기를 대변하는 인자로는 크게 ISD, VD, TD가 있다. 이중 ISD는 측정유량과 이론유량의 비로 정의되는 Cf 계산에 주로 이용된다.^{4,5)} 즉 이론유량의 특성면적(Characteristic Area)을 $0.25\pi(\text{ISD})^2$ 로 계산하고 이를 ISA(Inner Seat Area)로 표현한다. 이와 같이 ISD가 포트크기를 나타내는 가장 기본적인 인자로 주로 사용되므로 본 연구에서는 Table 2와 같이 여타 인자의 무차원화를 위해 ISD와 ISA를 사용하였다.

VD는 포트크기 효과와 유동 간섭이라는 두 가지 측면에서 Cf에 영향을 미치게 된다. 일반적으로 포트는 기하학적 상사를 이루면 크기에 관계없이 유동패턴이 동일하지만, 포트 크기가 극단적으로 다를 경우 벽면 마찰이나 밸브시스템의 유동저항 차이 등으로 인하여 작은 포트의 Cf가 불리할 것으로 예상된다. 또한 주어진 연소실과 실린더보어 내에서 VD가 크면 클수록 밸브와 연소실벽면의 간격이 줄어들어 유동이 밸브를 통과할 때 연소실 혹은 실린더 벽과의 간섭이 커지고 따라서 Cf는 감소하게 된다.

TD는 유동이 밸브와 밸브시트 사이를 통과하기 직전에 만나는 포트의 마지막 부분으로 압입된 밸브시트와 흡기포트 구조면과의 단차를 제거하는 가공에 의해 형성되는 치수이다. 유동저항을 최소화하기 위해서는 TD를 최대화하여 단면적을 확대할 필요가 있으나 과도한 확대는 밸브시트면의 급격한

변화를 수반하여 오히려 Cf 감소를 초래할 수 있다.

TA는 밸브중심선과 포트 중심선과의 사잇각으로 정의되는데, 일반적으로 TA가 클수록 텀블이 증가하므로 텀블각이라 한다. TA는 텀블 강도에는 비례하지만 Cf에는 반비례하는 인자이며, 고출력을 추구하는 엔진들에서는 이를 축소하여 Cf를 극대화하는 경향이 있다.

이외에도 포트상면과 하면 굴절부위의 곡률, 포트입구부(Flange) 형상, 포트격벽(Dividing Wall) 형상 등 포트의 전체적인 형상을 결정하는 다른 인자들이 있다.

2.2 포트설계인자

2.1에서 언급한 기본포트설계인자들은 실헤드 상에서 측정이 가능해야 한다는 점과 분석을 위한 무차원화가 필요하다는 점에서 재구성되어야 한다. 그간의 경험과 간단한 선행연구를 통해 상기 기본 포트설계인자 중 효과가 미미한 일부 인자들을 제외하고, 측정용이성과 무차원화를 고려하여 재구성한 포트설계인자들을 Table 2와 Fig. 2에 나타내었다.

Table 2 Port design parameters

약어	설명
FA/ISA	Flange Area / Inner Seat Area : $ISA = 0.25\pi \text{ISD}^2$
PH_Guide/ISD	Port Height_Guide / ISD : Normalized distance from valve seat ring to the port upper side near valve guide
TD/ISD	Normalized Throat Diameter
VD/Bore	Normalized Valve Head Diameter

Fig. 2에서 FA는 단지 3D CAD상에서만 정의되는 Fig. 1의 MA를 대신하여 도입된 인자로서 실헤드에서 MA에 비해 상대적으로 계측이 용이하다. 가솔린엔진은 디젤엔진과 달리 흡기관성효과를 이용한 흡기다기관 튜닝이 성능개발의 중요한 수단이므로 포트입구면적(Flange Area)은 연결된 흡기다기관의 면적에 의해 제약을 받는다. 결과적으로 FA는 MA가 되거나 혹은 MA에 큰 영향을 미치게 되어 MA 대신 FA를 포트의 크기를 나타내는 인자로 사용할 수 있다.

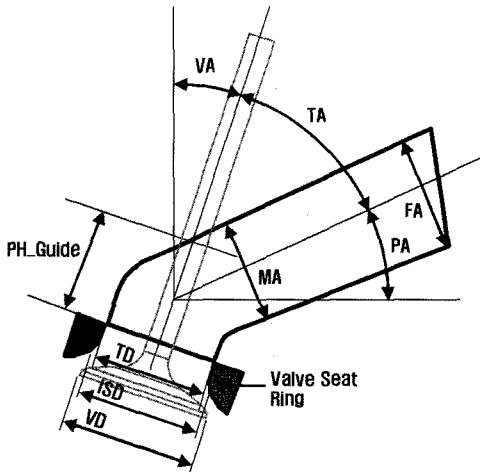


Fig. 2 Definition of port design parameters

PH_Guide는 Fig. 1에서의 PH_Straight를 대신하여 정의된 인자이다. PH_Straight는 포트중심선을 연장한 가상의 선상에 존재하여 실측이 불가능하다. 따라서 PH_Straight와 기하학적으로는 유사하지만 실체에서 계측이 용이한 PH_Guide를 PH_Straight대신 사용하게 되었다. PH_Guide는 밸브시트링으로부터 밸브중심선이 포트상면 소재면과 만나는 점까지의 길이로 정의된다.

TD/ISD는 Cf에 대한 TD의 영향을 서로 다른 크기의 포트에서 비교할 수 있도록 무차원화 한 인자이다. VD/Bore는 밸브와 실린더 벽간의 유동간섭의 정도를 나타내기 위하여 도입된 인자이다. 언급한 바와 같이 흡입유량 증대를 위해서 밸브크기를 키우면 밸브와 실린더 벽의 근접으로 유동간섭이 발생한다. 즉 VD/Bore가 상대적으로 큰 경우 Cf가 감소하는 현상이 나타난다.

2.3 포트설계인자의 측정결과

2.2에서 정의된 포트설계인자를 1,000cc부터 4,000cc에 걸친 총 28종의 국내외 우수 엔진에 대하여 측정하였고, 이를 Table 3에 나타내었다.

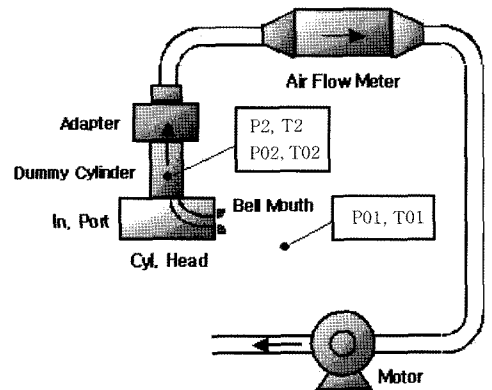
3. Cf 측정

3.1 Cf 시험방법

흡기포트의 Cf를 평가하기 위한 정상유동리그장치가 Fig. 3에 나타나 있으며, 일반적으로 Ricardo社

Table 3 Port design parameters of test intake ports

Parameters Engines	PH/ISD	FA/(ISD Area)	VD(mm)	VD/Bore	TD/ISD
T-1	0.99	0.51	26.1	0.38	0.97
S-1	1.00	0.78	24.6	0.36	0.94
T-2	1.18	0.78	30.5	0.41	0.93
C-1	1.39	0.62	30.2	0.39	0.93
T-3	1.16	0.86	34.0	0.40	0.94
N-1	1.04	0.88	35.5	0.40	0.94
H-1	1.32	0.96	35.0	0.41	0.95
F-1	0.92	0.85	35.0	0.40	0.96
B-1	1.27	1.12	30.0	0.36	0.88
H-2	1.33	0.84	35.0	0.41	0.95
N-2	0.94	0.74	37.2	0.39	0.91
C-2	0.92	0.71	36.5	0.38	0.91
T-4	1.20	0.84	34.5	0.38	0.94
B-2	1.03	0.77	36.0	0.40	0.90
I-1	1.29	0.73	25.5	0.35	0.88
I-2	1.19	0.80	25.5	0.35	0.88
I-3	1.18	0.77	29.4	0.36	0.94
I-4	1.08	0.79	31.1	0.39	0.95
J-1	1.09	0.67	33.5	0.40	0.92
J-2	1.14	0.92	32.0	0.39	0.92
J-3	1.15	1.16	34.0	0.39	0.92
I-5	1.03	0.87	32.0	0.40	0.92
J-4	1.16	0.86	33.0	0.41	0.95
K-1	0.96	1.01	30.0	0.37	0.96
K-2	0.92	0.94	31.1	0.38	0.96
K-3	0.98	0.79	33.0	0.38	0.92
J-5	1.10	0.88	34.0	0.38	0.95
K-4	1.03	1.02	33.5	0.41	0.92
Average	1.11	0.84	32.1	0.39	0.93



P01: Upstream Stagnation Pressure
 T01: Upstream Stagnation Temperature
 P02: Downstream Stagnation Pressure
 T02: Downstream Stagnation Temperature
 P2 : Downstream Static Pressure
 T2 : Downstream Static Temperature

Fig. 3 Steady state flow test rig layout

의 시험장치와 방법을 기본으로 하고 있다.^{4,5)}

정상유동리그장치의 주요한 기능은 흡기포트 양단 압력을 일정하게 유지하면서 유량을 계측하는 것이다. 유량의 계측은 보통 밸브 높이 1mm 간격으로 실시되는데 측정된 유량은 식 (1)에 의하여 Cf로

계산된다. 그리고 이 1mm간격으로 계산된 Cf들을 식 (2)에 따라 밸브프로파일을 고려하여 평균한 것이 일반적으로 통용되는 Cf이다. 본 연구에서는 밸브프로파일 효과를 배제하기 위해 표준 밸브프로파일(standard valve profile)로 평균된 Cf_svp를 사용하였다.

$$Cf = \frac{Q}{A \cdot V_0} \quad (1)$$

Q : Measured Flow Rate

A : Inner Seat Area

V₀ : Theoretical Velocity of Compressible flow

$$Cf = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{Cf \, d\alpha}{(\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (2)$$

α₁ : IVO (Intake Valve Open)

α₂ : IVC (Intake Valve Close)

3.2 Cf 시험결과

상기 리그장치를 이용하여 2.3에 언급한 엔진의 흡기포트 Cf를 측정된 결과가 Fig. 4에 그래프로 나타나 있다.

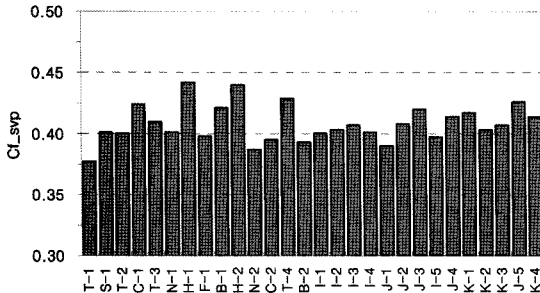
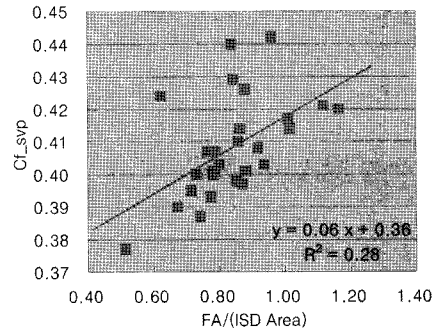


Fig. 4 Intake ports Cf test results

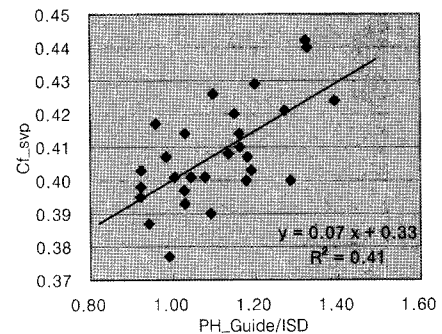
4. Cf와 포트설계인자의 상관성 분석

4.1 단변수해석(Simple Regression Analyses)

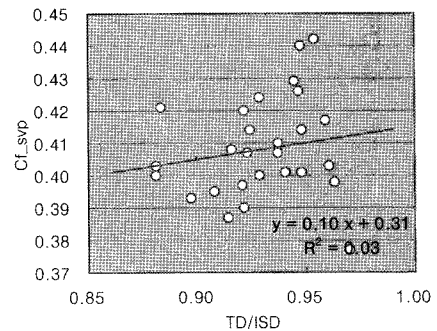
Table 3과 Fig. 4에 나타난 포트설계인자들과 Cf의 상관성을 확인하기 위하여 먼저 간단한 단변수해석부터 실시하였다. 단변수해석은 Cf가 단순한 설계인자 만에 종속되는 값이라고 가정하는 것이다. 각각의 포트설계인자와 Cf의 단변수해석에 의한 상관관계를 Fig. 5에 나타내었다.



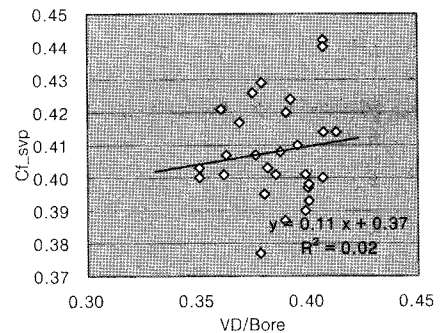
(a) FA/ISA vs. Cf_svp



(b) PH_Guide/ISD vs. Cf_svp



(c) TD/ISD vs. Cf_svp



(d) VD/Bore vs. Cf_svp

Fig. 5 Single variable analysis results

이러한 상관관계는 선형회귀분석에 의해 파악할 수 있는데 본 연구에서는 마이크로소프트 엑셀 프로그램에 내장된 선형회귀분석 도구를 이용하여 이를 실시하였다. 각 그림에 표시된 방정식은 선형회귀방정식이며 R^2 는 상관계수로서 추정된 회귀선이 관측치들을 얼마나 잘 설명하는지를 나타내는 수치이다. 예를 들어 R^2 가 0.90이라는 것은 통계에 사용된 표본의 90%가 회귀선에 적합하다는 것을 의미한다.⁶⁾

그림에서 보여 지는 바와 같이 Cf와 각 설계인자들 간에 의미 있는 상관관계식은 얻을 수가 없었다. 이것은 Cf가 여러 설계인자들과 복잡한 종속관계에 있음을 무시한 결과라고 할 수 있다. 즉 이와 같은 단변수해석에서는 다른 설계인자들의 영향이 노이즈(Noise) 형태로 추가되어 해석하고자 하는 그 인자와 Cf 간의 상관성을 훼손하게 되는 것이다. 따라서 Fig. 5의 각 추세선의 R^2 는 매우 낮은 수준을 나타낸다. 다만 PH_Guide와 Cf의 상관성을 나타내는 추세선의 R^2 만이 0.41로써 다른 설계인자들에 비해 Cf에 대한 영향이 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 단변수해석의 한계를 극복하기 위해 모든 인자들의 영향에 대해 종합적인 해석을 수행하는 다변수해석을 실시하는 것이 바람직하였다.

4.2 다변수해석(Multiple Regression Analyses)

다변수해석은 Cf가 여러 설계인자들과 복잡한 함수관계에 있음을 가정하는 것이다. 본 연구에서는 상기 다변수해석을 위해 통계 전용 프로그램인 Minitab을 사용하였으며, Cf를 각 설계인자에 대해 선형적인 관계로 가정하는 식(3)을 기본으로 하였다.

$$Cf = \beta_1 \cdot \left(\frac{FA}{ISA} \right) + \beta_2 \cdot \left(\frac{PH_Guide}{ISD} \right) + \beta_3 \cdot \left(\frac{TD}{ISD} \right) + \beta_4 \cdot (VD) + \beta_5 \cdot \left(\frac{VD}{Bore} \right) + \epsilon \quad (3)$$

식(3)에 나타난 독립변수들 중 VD는 2.1에 언급된 바와 같이 포트 크기 효과와 유동 간섭의 특성을 나타내는 인자이다. 이 중 유동간섭은 VD/Bore에 의하여 이미 고려되어 있다. 포트 크기 효과는 초기에 그 영향이 크지 않을 것이라 생각하여 제외시켰

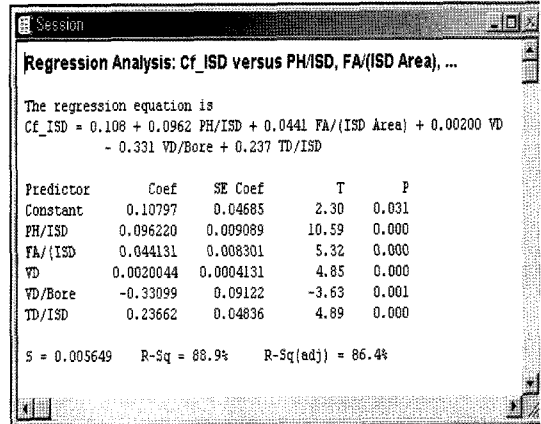


Fig. 6 Minitap analysis result

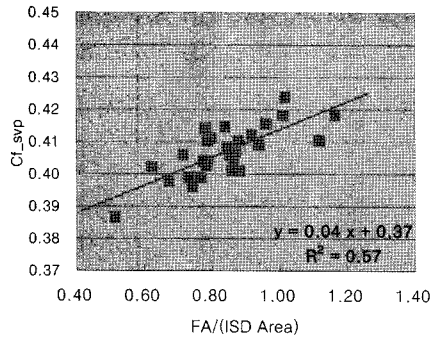
으나 연구를 진행하는 동안 그 영향이 매우 큰 것으로 파악되어 식(3)에 VD로 포함하게 되었다. Fig. 6은 Minitab상에서 수행한 다변수해석 결과를 나타내고 있다.

상기 Minitap 해석에 의해 얻어진 상관 관계식, 즉 식(3)의 각 계수가 결정된 식(4)는 다음과 같다.

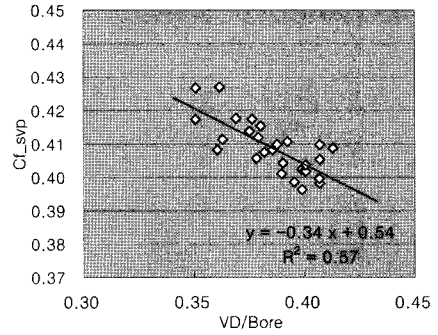
$$Cf = 0.044 \cdot \left(\frac{FA}{ISA} \right) + 0.096 \cdot \left(\frac{PH_Guide}{ISD} \right) + 0.237 \cdot \left(\frac{TD}{ISD} \right) + 0.002 \cdot (VD) - 0.331 \cdot \left(\frac{VD}{Bore} \right) + 0.108 \quad (4)$$

각 설계인자와 Cf에 대한 상관관계는 식(4)에서 타 설계인자들을 좌변으로 넘겨 기존의 Cf_svp에 타 설계인자의 효과를 보정한 다음 Fig. 7의 (a)~(e)와 같은 그래프를 통해서 파악할 수 있다. Fig. 7에서 Corrected Cf_svp는 이와 같이 보정된 Cf를 나타낸다.

다변수해석의 결과인 Fig. 7의 각 설계인자에 대한 Cf 추세선을 살펴보면 R^2 가 0.6에서 0.9 사이이므로 설정된 포트설계인자들의 Cf 상관성은 매우 높다고 할 수 있다. 즉 단변수해석을 통해서 보았던 상호 영향에 의한 오차가 크게 감소하였음을 알 수 있다. 예상했던 바와 같이 PH_Guide 즉 포트 높이가 Cf에 가장 큰 영향을 주는 설계인자이며, 그 다음으로 FA와 VD도 비교적 큰 영향을 주는 설계인자임을 알 수 있었다. TD/ISD 및 VD/Bore도 어느 정도 영향을 주긴 하지만 이들에 대한 Cf 의존도는 의외로 약하게 나타났다.

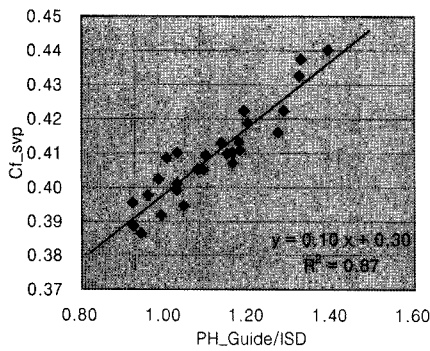


(a) FA/ISA vs. Corrected Cf_{svp} for other parameters

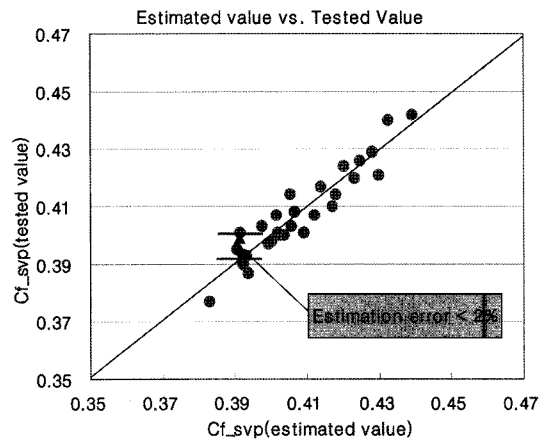


(e) VD/Bore vs. Corrected Cf_{svp} for other parameters

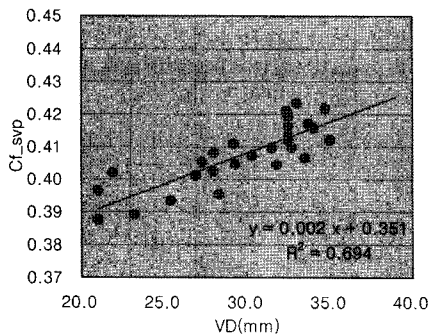
Fig. 7 Multiple variable analysis results



(b) PH_Guide/ISD vs. Corrected Cf_{svp} for other parameters



(c) TD/ISD vs. Corrected Cf_{svp} for other parameters



(d) VD vs. Corrected Cf_{svp} for other parameters

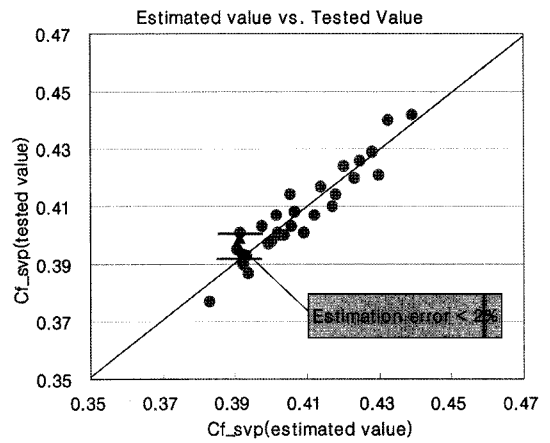


Fig. 8 Comparison of measured Cf and predicted Cf

상기 결과 가운데 특히 고려할 만한 것은 VD에 대한 Cf 의존도이다. 일반적으로 기하학적 상사가 이루어지면 포트 크기에 관계없이 동등한 Cf 를 나타낼 것으로 알려져 있으나 상기 결과로부터 Cf 는 VD에 비례하는 것을 알 수 있다. 이는 비록 기하학적 상사가 이루어지더라도 포트가 작으면 작을수록 크기 효과에 의해 표면마찰력이 커져서 Cf 가 감소하는 것을 나타낸다.

마지막으로 식 (4)의 Cf 예측 정확도를 확인해 보기 위하여 각각의 실린더 헤드에서 측정된 Cf 와 식 (4)에서 예측된 Cf 를 Fig. 8에 함께 나타내었다. 그림에서 보여 지듯이 식 (4)는 측정된 Cf 를 2%의 오차 범위 내에서 예측하고 있다.

4.3 상관관계식의 검증

식 (4)의 유용성을 시험으로 검증하기 위하여 일

명 Flow box라고 불리는 포트 모형을 만들었다. Flow box는 모두 두 가지로 기본포트형상과 PH_Guide가 2.7mm 증대된 변형포트형상으로 제작되었으며 Fig. 9는 그 형상을 비교하여 나타내고 있다. 또한 식 (4)에 의해 예측된 Cf와 정상유동리그시험을 통해 측정된 Cf는 Table 4에 정리되어 있다. 시험결과와 해석을 위해서는 일반적인 정상유동리그시험의 시험오차가 약 1% 이내라는 것을 고려해야 한다. 먼저 각각의 포트에 대해서 식 (4)는 0.7%, 1.4%의 오차를 보이면서 측정 Cf 값을 예측하고 있다. 또한 PH_Guide 증가에 대해서 식 (4)는 2.5%의 Cf 증분 효과를 예측하였고 시험결과는 3.2%의 효과를 나타내고 있다. 따라서 식 (4)는 Cf의 예측과 포트설계인자의 변형에 따른 효과 예측을 위하여 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있다.

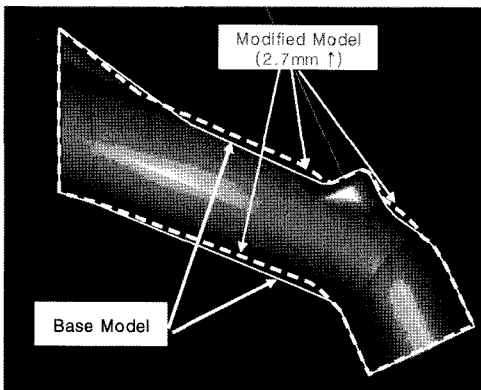


Fig. 9 Port modification

Table 4 1500cc engine flow box test results

	식(4) 예측결과		측정결과	
	Cf_svp	변동량	Cf_svp	변동량
기본 포트형상	0.406	-	0.409	0.7%
변형 포트형상	0.416	2.5%	0.422	3.2%

5. Cf 개발 목표 설정

흡기포트의 설계 개념을 조기에 확정하여 포트 개발기간을 단축하거나, 개발된 흡기포트가 경계조건 내에서 충분히 개발 되었는가를 판단하여 불필요한 추가 개발 노력을 방지하는 것은 매우 중요한

일이다. 본 연구의 상관성 분석을 통해 중요한 포트 설계인자들의 결정과 Cf의 적절한 예측이 동시에 이루어지면 이러한 조기 개발과 개발 노력 절감의 효과를 얻을 수 있다. 여기서는 합리적인 포트설계인자의 선정 범위와 Cf 개발 목표를 제시하여 상기 목적을 달성해 보고자 하였다.

Cf 목표를 설정하고 이를 달성하려면 먼저 흡기 포트의 Cf를 결정하는 설계인자에 대한 목표치수 설정이 필요하다. 본 연구에서 나타난 바와 같이 Cf를 증대하기 위해서는 Cf에 가장 큰 영향을 주는 포트높이와 Flange 면적의 최대화가 필요하나, 이는 실린더헤드 높이증가와 흡기다기관 단면적 증가를 유발하여 저중속 토크저하를 초래한다. 따라서 본 연구에서 분석된 28종의 엔진들 가운데 가장 큰 PH_Guide와 FA 값을 목표로 삼는 것은 현실적이지 않다. 하지만 Cf 증대에 따른 고속출력을 지향하는 엔진이라면 적절한 수준의 PH_Guide와 FA를 확보하는 것이 필요하다고 생각되어 이 두 인자에 대한 목표 값을 전체 표본의 60% 이상 수준으로 하였다. 이를 수치로 표현하면 아래와 같다.

- PH_Guide 목표 값 : ISD 크기의 1.15배
- FA 목표 값 : ISD 면적의 90%

상기 PH_Guide와 FA 목표값을 식 (4)에 적용하여 Cf 개발 목표치를 구해 보면 다음과 같다. 먼저 Cf 개발 목표는 엔진 크기에 따라 다를 수 있으므로 VD를 엔진 크기를 대변하는 인자로 보고 경차엔진의 경우 25mm, 소형엔진의 경우 31mm, 중형엔진의 경우 35mm로 식 (4)에 입력한다. 다음 TD/ISD와 VD/Bore의 경우 이미 엔진 크기에 무차원화 되어 있고 표본의 산포도 크지 않으므로 표3의 평균값을 식 (4)에 입력한다. 그 결과 경차엔진 목표 Cf는 0.400, 소형엔진 목표 Cf는 0.412, 중형엔진 목표 Cf는 0.420이 되며 이를 향후 포트 개발의 기준으로 사용할 수 있다.

6. 결론

포트설계인자와 Cf와의 관계를 파악하기 위하여 계측 가능한 설계인자 선정 작업과 다양한 흡기포

트에 대한 유동시험을 수행하여 이들의 상관성을 분석하였다. 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 흡기포트 C_f 를 결정하는 중요한 인자는 Port Height와 Inner Seat Diameter의 비, Flange Area와 Inner Seat Area의 비, Valve Head Diameter, Valve Head Diameter와 Cylinder Bore의 비, Throat Diameter와 Inner Seat Diameter의 비이다.
- 2) 상기 설계인자 중에서 특히 포트높이와 포트입구면적이 C_f 에 가장 큰 영향을 미치는 중요한 변수이다. 따라서 이 두 인자에 대한 적절한 설계목표 값을 설정하였고 이 때 흡기포트의 개발 기준이 되는 C_f 를 결정하였다.
- 3) 상기 설계인자로 구성된 C_f 추정식을 확립하였고, 이를 활용하면 흡기포트의 개념설계 단계에서 C_f 예측이 가능하다.

References

- 1) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, New York, 1988.
- 2) I. Y. Ohm and Y. S. Cho, "In-Cylinder Fuel Behavior According to Fuel Injection Timing and Port Characteristics in an SI Engine : Part II-With Low/Medium Swirl," Transactions of KSAE, Vol.9, No.3, pp.9-17, 2001.
- 3) H. Blaxill, J. Downing, J. Seabrook and M.ike Fry, "A Parametric Approach to Spark-Ignition Engine Inlet-Port Design," SAE 1999-01-0555, 1999.
- 4) Ricardo, Steady State Flow Bench Port Performance Measurement and Analysis, Report DP93/0704, Shoreham, 1993.
- 5) H. Xu, "Some Critical Technical Issues on the Steady Flow Testing of Cylinder Heads," SAE 2001-01-1308. 2001.
- 6) J. L. Devore, Probability and Statistics for Engineering and the Sciences, Brooks/Cole, Pacific Grove, 1991.