

〈논 문〉 SAE NO. 97370038

선회류 생성 DOHC 흡기포트 형상의 실험적 최적화에 관한 연구

Study on the Experimental Optimization of DOHC Intake Port Shape for Swirl Generation

김 재 웅*, 최 영 돈**
J. W. Kim, Y. D. Choi

ABSTRACT

Masked intake ports of a DOHC gasoline engine were devised and the shape was optimized to maximize the swirling and tumbling motions in the cylinder. Performances of the ports, swirling number, tumbling number and discharge coefficient were measured by Ricardo's rig test. By combination of the angle and height of the protrusions in the intake ports wall, swirling and tumbling strength can be controlled and the port shape can be optimized to increase the swirling number 13 times and tumbling number 2 times larger than those of an original port of DOHC engine with the epense of 3% decrease of discharge coefficient.

주요기술용어 : 선회류(Swirling Flow), 텀블류(Tumbling Flow), 차폐 흡기포트(Masked Intake Port), 유량계수(Discharge Coefficient)

1. 서 론

피스톤이 하행정을 할 때에 흡기포트를 통하여 연소실로 흡입되는 공기는 복잡한 3차원 속도 성분과 난류성분을 갖는다. 3차원 속도성분은 Fig. 1에서와 같은 선회류(Swirling)와 텀블류(Tumbling)가 되어 연료와 공기의 혼합을 촉진시키고, 선회류와 텀블류에 의해서 생성된 난류성분은 연소시 화염을 연소실 내부 전체로 급속하게

전파시키는 역할을 한다. 따라서, 흡기과정에서는 일반적으로 선회류 성분이나 텀블류 성분을 증대시키고 공기를 연소실 안으로 많이 충전시킬수록 기관의 종합성능이 향상된다.¹⁾

흡입과정 중 생성된 난류는 그 길이척도가 대단히 작기 때문에 공기가 연소실로 선회류 또는 텀블류의 발생 없이 유입되면 압축과정 초기에 거의 소멸되어 연소가 시작할 시기에는 난류성분이 조금 밖에 남아 있지 않게 된다. 그러나 선회류 및 텀블류는 회전방향이 일정하게 유지되어 있어서 압축과정 중 서서히 난류성분으로 변하기

* 삼성중공업 상용화 사업부
** 정호원, 고려대학교 기계공학과

때문에 이들은 압축, 폭발과정 중 지속적인 난류 생성원이 된다. 선회류는 흡기밸브가 한개인 가솔린기관, 디젤기관, 2-행정기관, 예연소기관 등에서 응용되고 있는 반면, 텀블류는 흡기밸브가 2개이어서 흡기포트의 구조상 선회류의 발생이 어려운 기관에 응용되고 있다. 흡기밸브가 한개인 기관에서는 흡기포트의 구조가 선회류를 발생시키기 쉽게 되어 있으나 흡기밸브가 2개인 기관은 포트가 대칭형을 이루고 있으므로 선회류를 생성시키기 어려워 선회류보다 텀블류를 발생시키는 기관이 많다. 그러나 선회류는 강체회전운동에 가깝고 회전축이 피스톤 중심축과 거의 일치하기 때문에 압축이나 팽창과정 중 유동구조가

부서지지 아니하여 안정성이 텀블류보다 크며 텀블류보다 더 서서히 소멸되기 때문에 폭발과정 후기까지 난류생성원이 된다. 그러나 선회류에 의한 원심력은 생성된 난류성분을 실린더 외벽 쪽으로 치중시키기 때문에 초기연소기간 동안에는 연소성능 향상에 큰 기여를 하지 못한다. 그러나 텀블류는 회전축과 피스톤 중심축이 직교하기 때문에 유동의 안정성이 적어서 빨리 소멸하게 되어 압축과정 말기에 강한 난류를 생성하게 되고 또 생성된 난류성분은 실린더의 중심부에 편중되어 있으므로 초기연소반응은 촉진시키지만 후기연소에는 큰 영향을 미치지 않는다. 따라서 전 연소과정을 통해서 연소의 안정성과 연소속도를 증가시키기 위해서는 선회류와 텀블류가 적당히 혼합되어 있는 상태가 좋다. 그러나 흡기밸브가 2개인 기관에서는 연소실로 연결되는 공기유입로가 2축운동의 제한성으로 인해 좌우가 대칭으로 설계되어 있어 텀블류를 발생시키는 용이하나 선회류를 발생시키기에는 구조적인 어려움이 있다.

본 연구에서는 차폐 흡기포트(masked intake port)를 사용하여 흡기밸브가 2개인 기관에서 공기 유입량을 거의 감소시키지 않고 선회류를 발생시키는 포트를 고안하였다. 이 포트를 Ricardo 선회류 측정장치²⁾에 설치하고 선회류의 크기와 공기유입량을 최적화하는 조건을 실험적으로 찾는 연구를 수행하였다.

2. 선회류 생성 흡기포트 형상의 실험적 최적화

2.1 실험목적

연소실 내의 유동특성은 기관성능과 밀접한 관계가 있고 이들의 관계를 매우 간단한 연결시키는 방법이 Ricardo의 장치실험이다. 연소실로 유입되는 공기량과 연소실 내에 생성된 선회토크 또는 텀블토크가 크면 클수록 기관성능은 더욱 향상된다는 것이다. 기존의 상용포트는 2개의 흡기포트가 대칭형으로 되어 있어서 선회류 발생은 전혀 없고 부분부하 및 저속영역의 전부하 운전 시 연소실 내부에 텀블토크마저 약하게 생성된

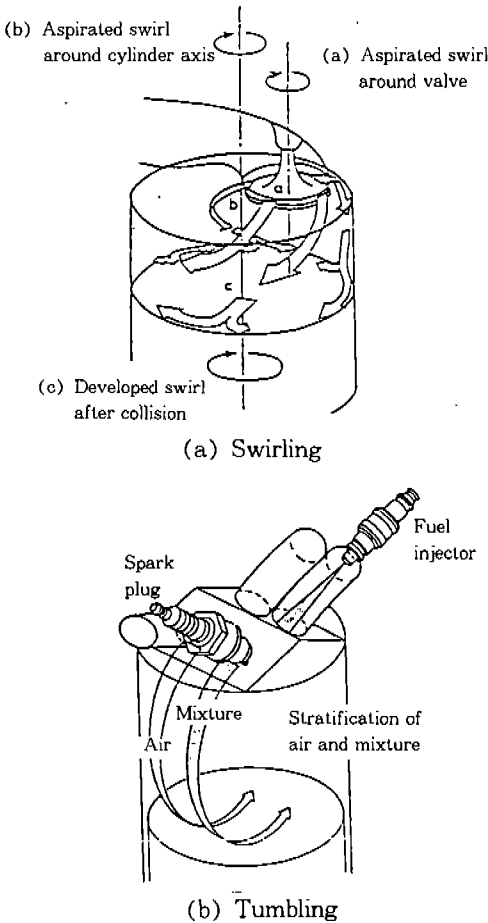


Fig.1 Swirling and tumbling

다. Fig.2(b)와 같이 흡기포트내에 돌출부를 설치하면 포트 텀블류가 발생한다.

본 연구에서는 Fig.2(d)와 같은 돌출부를 설치함으로써 선회류를 발생시켰고 Fig.2(e)에서와 같이 포트의 벽면을 곡면가공하여 유동저항을 감소시켰다. 본 연구에서는 공기 유입량은 상용기관과 큰 차이가 없으면서 최대의 선회류를 발생시킬 수 있는 흡기포트형상(돌출부의 형상, 설치각도 그리고 곡면의 깊이 및 형상)을 실험적으로 최적화하고 그에 의해 발생한 선회류와 텀블류의 크기를 상용기관 흡기포트에 의한 것과 비교하고자 한다.

2.2 Ricardo 장치실험

정상상태 하에서 공기유입량과 선회류 및 텀블류의 크기를 측정하는 방법은 Fig.3의 Ricardo의 장치실험(Rig test)²⁾이 보편화되어 있다. 실린더 헤드내의 공기유로인 포트형상과 연소실 상부의 곡면모양 그리고 밸브/밸브시이트의 기하

학적 상관특성을 관찰하기 위해 공기가 포트를 통과²⁾ 실린더(여기서는 라이너)에 도달했을 때 외기와 실린더 간의 압력강하 값을 정하고 그 조건이 맞추어 지도록 송풍기를 구동시켜 포트를 통과한 유량을 측정해서 포트를 통과하는 동안 발생한 압력손실은 유량계수로 측정하여, 헤드면으로부터 실린더 직경이 1.75배 거리 떨어진 위치에서 포트형상에 의해 발생한 선회토크 및 텀블토크를 충격식 선회텀블미터(Impulse Swirl-Tumble Meter)로 측정한다. Ricardo 실험에서 실린더 직경의 1.75배 거리에 발생한 선회류 및 텀블류의 크기는 실제기관에서 압축말기에서 연소기간에 잔존하는 선회류와 텀블류의 크기에 비례한다고 경험적으로 알려져 있다. 라이너 축방향으로의 선회토크는 Fig.3(a)에서와 같이 측정하고, 라이너 축방향과 수직방향인 텀블토크는 Fig.3(b)와 같이 충격식 스윙텀블미터가 있는 쪽이나 없는 쪽으로 동일한 유량이 통과하도록

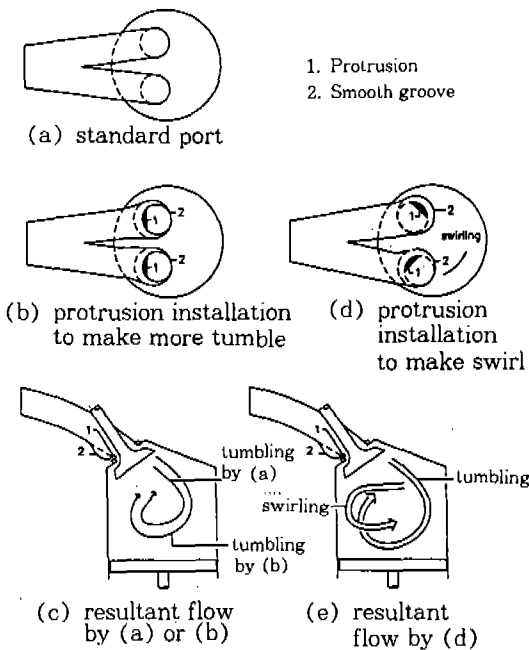


Fig.2 Swirl-tumble generating method by masking and port shape modification

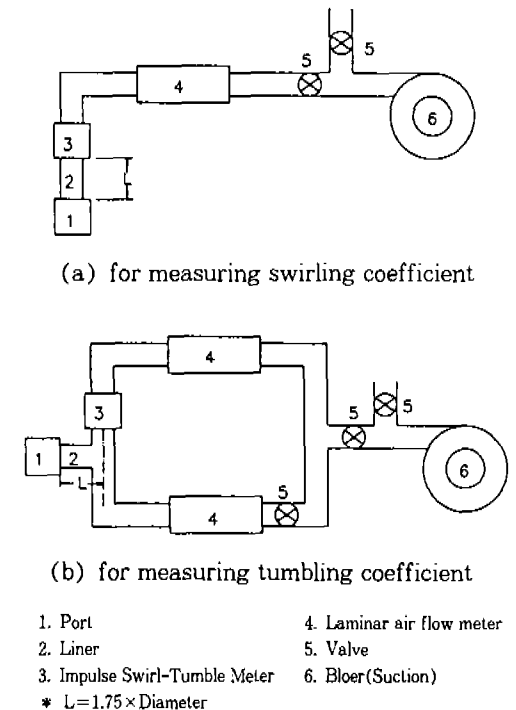


Fig.3 Schematic diagram of ricardo rig test equipment(Suction type).

밸브로 조정하여 측정한다.

Table 1은 본 연구에서 사용한 엔진실린더의 사양을 나타낸다. 밸브시이트의 내경은 23mm이고 흡기구가 2개인 실린더 내에 항상 난류유동이 발생되도록 하기 위한 압력강하 값을 Ricardo 추천 최소값인 15inch H₂O로 하였다. Table 1에서 \bar{C}_v 는 흡기포트의 평균유량계수를 R_s 는 Ri-

Table 1 Commercial engine specification.

Item	Specification	Remarks
Bore Diameter	75.5mm	$\bar{C}_v=0.4$ $R_s=0.0$
Stroke	83.5mm	
Valve Seat Inner Diameter	23.0mm	
Valve Lift, Max.	9mm	
Number of Intake Valves	2	
Roof Configuration	Pent Type	

cardo 리그 선회계수를 나타낸다. 흡기포트가 대칭으로 배열되어 있으므로 R_s 가 0임을 알 수 있다.

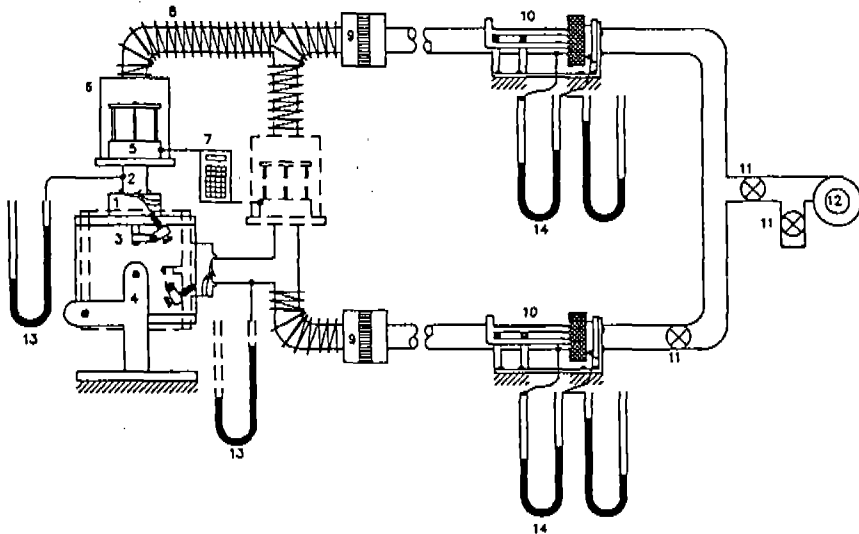
2.3 실험장치

2.3.1 실험장치의 구성

Fig.4는 Ricardo 실험장치 상세도이다. 이 실험장치는 선회계수와 텀블계수를 동시에 측정할 수 있도록 제작된 것이다. 이 실험장치에서 가장 중요한 요소는 유량 가변 오리피스와 충격식 선회텀블미터, 선회류/텀블류 만능측정보조장치이며 이에 대한 작동원리는 다음과 같다.

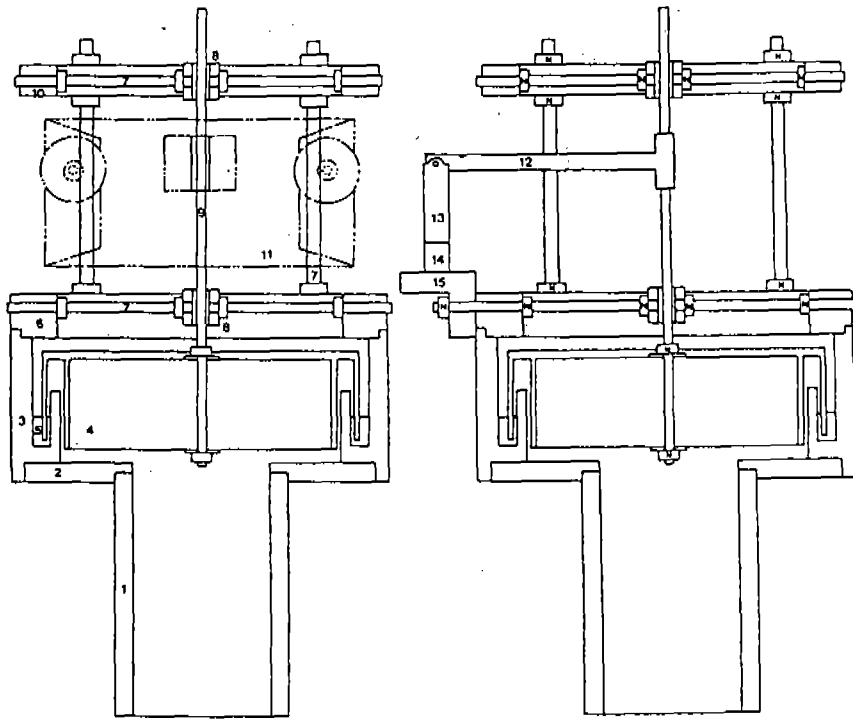
(1) 유량 가변 오리피스

밸브리프트가 작은 경우에는 유량이 매우 작고 밸브리프트가 클 경우에는 유량이 매우 크므로 모든 경우에는 유량을 측정할 수 있도록 유량에 알맞는 오리피스판 슬라이더를 열고 닫으면서 교환할 수 있도록 제작하였다. 오리피스는 ASME의



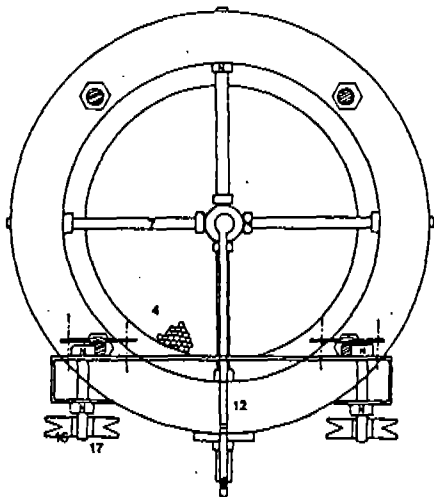
- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Port | 8. 3 inch bore lastic convoluted hose |
| 2. Liner | 9. Flow straightening pressure box |
| 3. Valve lift adjusting device | 10. Orifice-slider assembly |
| 4. Multi-purpose auxiliary apparatus | 11. Valve |
| 5. Impulse Swirl-Tumble Meter | 12. Blower |
| 6. Acryl housing | 13. Manometer, #1 |
| 7. Digital indicator | 14. Manometer, #2 |

Fig.4 Schematic diagram of experimental apparatus for measuring the swirling and tumbling coefficients



(a) Front view

(b) Side view



(c) Sectional view

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| 1 : Cylinder extension | 2 : Adaptor plate |
| 3 : Body | 4 : Aluminium honeycomb |
| 5 : Silicon oil(1000 c.s) | 6 : 1st plate |
| 7 : Bot | 8 : Bearing |
| 9 : Central principal axes | 10 : 2nd plate |
| 11 : calibration system | 12 : Torque arm |
| 13 : Phosphor bronze plate | 14 : Strain age |
| 15 : Fixture | 16 : Pulley |
| 17 : Bearing | N : Nut |

Fig.5 Schematic diagram of impulse swirl-Tumble Meter

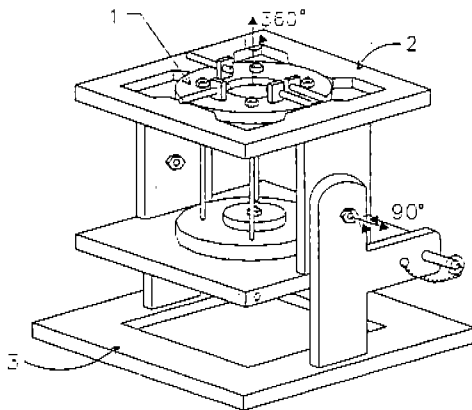
-1/2D(D=3인치) 텀형³⁾을 따라 제작하였다.

(2) 충격식 선회튤미터(Impulse Swirl-Tumble Meter)

Fig.4에서 충격식 스윙튤미터는 Ricardo 실험장치에서 Tipplmann⁴⁾의 원리를 구체화한 자료⁵⁾를 참조하여 제작한 것이다. 공기가 허니콤(Honeycomb)을 지날 때 선회속도 성분의 힘이 허니콤축을 중심으로 한 토크로 변환되어 Fig.4에 나타난 바와 같은 토크암을 거쳐 외팔보형의 로드셀에 전달된다. 로드셀은 4개의 스트레인 게이지로 구성된 Wheatstone Bridge 회로가 부착되어 있어 인장력이나 압축력을 모두 감지할 수 있으며 힘의 크기는 지시계에 표시된다.

(3) 선회류/튤류 만능측정보조장치

충격식 선회토크측정기 안에는 실리콘 오일이 들어 있어 수직으로 설치된 상태에서만 측정이 가능하고 선회류를 발생시키는 포트에 대한 튤류 성분 최대토크는 포트를 360° 회전시키면서 측정해야 한다. 또한 밸브리프트를 1mm 단위로 조절해야 하고 포트를 교환하는 일이 잦으므로 Fig.6과 같은 만능측정보조장치를 제작하였다.



1. Pot holder and 360° Rotaioner
2. 90° Rotationer
3. Supporter

Fig.6 Multi - purpose measurement auxiliary apparatus.

2.4 실험내용

본 연구에서는 고정된 점화플러그 위치에 대하여 전(front), 후(rear)방향의 흡기포트를 각각 Fig.7에서와 같이 “F”포트와 “R”포트로 기호화하였다. “F”포트와 “R”포트는 각각 대칭이어서 이들 포트를 통하여 실린더로 유입되는 공기에서 선회류가 발생하지 않는다. 따라서 Fig.8에서 보는 것과 같이 세가지 형상(오목형, 직선형, 볼록형)과 다섯가지 높이를 갖는 돌출부를 Fig.9에서

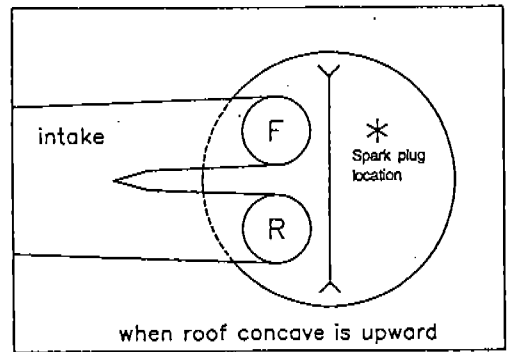
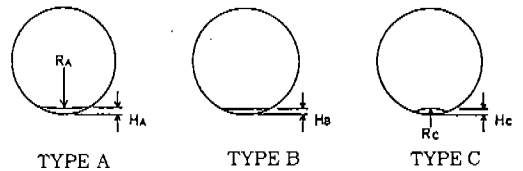


Fig.7 Schematic diagram of intake port valve



TYPE A		TYPE B		TYPE C	
CODE	Protusion depth(H _A)	CODE	Protusion depth(H _B)	CODE	Protusion depth(H _C)
A ₃	3	B ₃	3	C ₃	3
A ₄	4	B ₄	4	C ₄	4
A ₅	5	B ₅	5	C ₅	5
				C ₆	6
				C ₇	7
R _A =46			R _C =23		

Fig.8 Specifications of code for type (alphabet) and depth(number) of protrusion blocking pieces.

도시된 것과 같이 “F”포트에 대해서는 -45° 로부터 115° 까지 “R”포트에 대해서는 -115° 로부터 45° 까지 22.5° 간격으로 변화시키면서 Fig.2의 (d), (e)도면에서 1로 표시된 바와 같이 설치하였다. 한편 돌출부의 설치가 유량을 감소시키므로 유량증대를 위해서 Fig.2의 (c), (e)도면에서 2로 표시된 바와 같은 부드러운 곡면을 돌출부 후면의 포트벽면에 “F”포트 쪽은 2~6 mm, “R” 포트쪽은 “F”포트와 통하지 않도록 2~4mm깊이로 설치하여 돌출부형상과 높이, 돌출부 설치각도 및 부드러운 곡면의 깊이 등을 최적화하였다. 텀블류에 대해서는 상용기관 포트/최대선회류 생성포트에 대하여 실린더내에 생성되는 텀블류 크기의 변화를 관찰하였다.

2.5 유량계수의 정의

포트 및 밸브를 통해 실린더로 유입되는 이론적인 질량유량은 압축성 유동인 경우

$$m_{ideal} = \rho V_0 A \tag{1}$$

이다. 여기서, A는 흡기포트 유동 개구면적으로 다음과 같이 계산된다.

$$A = n_v \frac{\pi d_{vs}^2}{4} \tag{2}$$

여기서 n_v 는 밸브의 수이고 d_{vs} 는 밸브시트 내경이며 V_0 는

$$V_0 = a \times \sqrt{2 \left[1 - \frac{P_{atm} - \delta P}{P_{atm}} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} / (\gamma-1)} \tag{3}$$

이다.⁵⁾

실제포트를 흐르는 유량을 \dot{m} 라 할 때 유량계수는

$$C_f = \frac{\dot{m}}{m_{ideal}} \tag{4}$$

로 정의된다. 흡기과정 중 유입되는 공기의 평균 질량유량에 대한 유량계수는 캠과 밸브의 열립정도를 적용해서 적분하면

$$C_f = \frac{\int_{\alpha_{IVO}}^{\alpha_{IVC}} C_d d\alpha}{\alpha_{IVC} - \alpha_{IVO}} \tag{6}$$

이다.

2.6 선회계수의 정의

선회류는 실린더축을 중심으로 하는 회전유동 성분으로 선회계수는 식 (6(a))과 같이 실린더 축방향의 유동속도에 대한 선회방향의 유동속도 비로 나타낸다. 베인미터 측정시에는 이 식을 바로 사용하고, 충격식 선회텀블미터 측정시에는 측정된 토크값 G를 이용해서 식 (6(b))와 같이 정의한다.^{2), 6)}

$$N_R = \frac{\omega_R B}{V_0} \text{ (in Vane Meter)} \tag{6-(a)}$$

$$= \frac{8G}{\dot{m} B V_0} \text{ (in Impulse Swirl-Tumble Meter)} \tag{6-(b)}$$

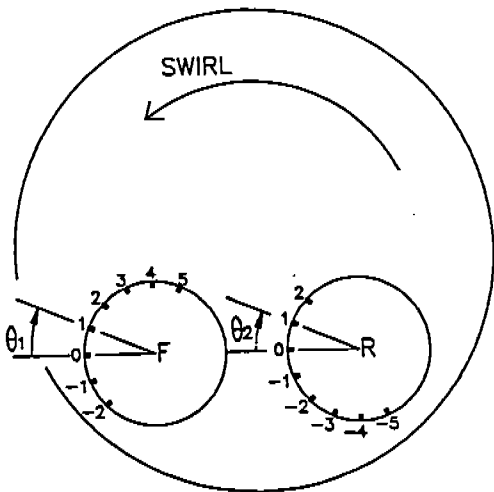


Fig.9 Variation of the blockages installation angle for optimizing the swirling characteristics.

흡기밸브가 한 번 열리고 닫히는 동안 유입되어 상사점까지 압축된 공기상태(이하 ‘충전공기(Charge)’라고 함, 충전공기의 관성모멘트는 I_c 임.)가 장체와 같이 회전(ω_c)한다고 가정하면,

$$I = \frac{m}{2} \left(\frac{B}{2}\right)^2 \quad (7)$$

이고, 순간회전속도는 $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$ 이다. 그러면 운동량 보존법칙에 따라

$$I_c \omega_c = \int_{t_1}^{t_2} I \omega dt = \int_{t_1}^{t_2} G dt \quad (8)$$

이다. 이식에서 G 는 토크 $I\omega$ 를 나타낸다. 식 (6-(b))를 식 (8)에 대입하고, 충전공기 회전속도(ω_c)를 크랭크 축속도(ω_E)로 나눈값이 Ricardo 선회계수는

$$R_s = \frac{\omega_c}{\omega_E} = L_D \frac{\int_{\alpha_{IVO}}^{\alpha_{IVC}} C_f N_R d\alpha}{\left(\int_{\alpha_{IVO}}^{\alpha_{IVC}} C_f d\alpha\right)^2} \quad (9)$$

이다. 여기서 L_D 는 형상계수(Shape Factor)로서

$$L_D = \frac{BS}{n_v d_{vs}^2} \quad (10)$$

이다. 여기서 B 는 실린더 내경이며 S 는 피스톤의 평균속도이다.

2.7 텀블계수의 정의

텀블류는 Fig.1(b)와 같이 실린더 종축에 수직인 방향으로의 회전 유동성분으로 텀블계수는 실린더 축방향 유동속도에 대한 텀블방향의 유동속도비로 정의되며 식 (6)과 유사하게 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$N_T = \frac{\omega_R B}{V_0} \quad (11)$$

충격식 선회터블미터에서는 측정된 토크값을 사용해서

$$N_T = \frac{8G}{mBV_0} \quad (12)$$

와 같이 나타낸다.

측정방법은 헤드면으로부터 실린더내경 x 1.75배 거리에서 포트를 일정각도 간격으로 360° 회전시키며 텀블토크의 크기를 측정한다. 단 Fig.3(b)에서 두 유량계를 통과하는 유량이 같아지도록 밸브를 조정하여 충격식 선회터블미터로는 전체유량의 1/2이 통과한 것이므로 Ricardo 텀블계수는 충전공기 회전속도(ω_c)를 크랭크 회전속도(ω_E)로 나눈값에 2배를 곱하여 아래와 같이 정의하였다.

$$R_T = 2 \times \frac{\omega_c}{\omega_E} = 2 \times L_D \frac{\int_{\alpha_{IVO}}^{\alpha_{IVC}} C_f N_R d\alpha}{\left(\int_{\alpha_{IVO}}^{\alpha_{IVC}} C_f d\alpha\right)^2} \quad (13)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 선회계수와 텀블계수 측정

3.1.1 차폐포트(masked port) 형상의 최적화

유량계수가 기존 흡기포트와 같은 수준이면서 최대의 선회류가 발생하도록 돌출부 모양, 각 모양마다의 돌출높이, 각각 돌출부의 설치각도, 부드러운 곡면형상 등의 변수들에 대해서 Ricardo 장치실험을 통한 최적화를 수행하여야 한다. 변수들을 모두 변화시키면서 각 변수들의 영향을 관찰한다면 실험량이 매우 방대해지므로 흡기밸브가 2개인 기관에서 포트를 차폐하는 방법으로

선회류를 생성시키고자 하는 원리적인 측면에서 실험량을 최소화하기 위한 1차적인 최적화 과정이 필요하였다. 그래서 우선 2개의 포트가 열려진 상태에서 선회류를 최대 발생시킬 수 있는 돌출부의 형상과 설치각도에 대한 검토를 하였다. 그리고 연소실 내의 선회류 방향을 정하였을 때 교대로 한쪽 밸브는 막고 다른쪽 밸브는 열어 밸브가 열려진 포트에서 돌출부가 선회류 생성에 미치는 영향을 검토하였다.

(1) 돌출부 설치각도

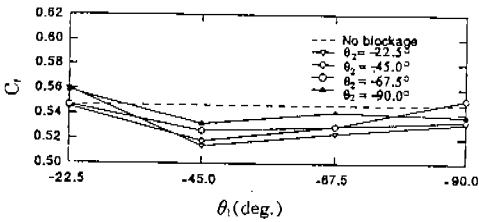
밸브리프트 9mm로 하고 Fig.8중의 C₁를 Fig.7의 “F”포트와 “R”포트에 각각 설치하였다. 돌출부 설치에 의한 공기유입량의 감소를 보상하기 위해 곡면은 선회류의 접선방향인 Fig.9의 $\theta_1 = 45^\circ$, $\theta_2 = -45^\circ$ 위치에 3mm깊이로 설치한 후 돌출부 설치각도를 변화시켜 가며 공기유입량과 선회류의 크기를 측정하였다. “F”포트의 돌출부를 한 위치에 고정시키고 “R”포트의 돌출부를 회전시켰을 때 돌출부 설치각도에 따른 유량계수는 Fig.10(a)이고 무차원 선회계수는 Fig.10(b)이

다. Fig.10(b)에서 돌출부의 설치각도가 $\theta_1 = -45^\circ$ 일 때 최대의 선회류가 발생하였고 최대의 선회류가 발생하는 돌출부 설치각도에서 유량계수는 Fig.10(a)에서와 같이 가장 낮아졌음을 알 수 있다. 또한 “R”포트의 돌출부는 한 위치에 고정시키고 “F”포트의 돌출부를 회전시켰을 때에는 돌출부 설치각도에 따른 유량계수는 Fig.11(a)이고 무차원 선회계수는 Fig.11(b)이다.

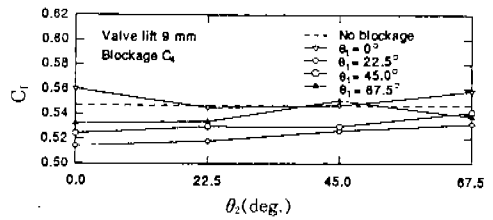
Fig.11(b)에서 돌출부 설치각도가 $\theta_1 = 22.5^\circ$ 일 때 최대의 선회류가 발생하였고 그 위치에서 유량계수는 Fig.11(a)에서와 같이 가장 낮아졌음을 알 수 있다. 이상에서와 같이 선회계수와 유량계수는 반비례의 관계를 갖는다. 본 고안의 목적이 가능한 한 큰 선회류를 발생시키는 것이므로 돌출부 설치각도를 $\theta_1 = 22.5^\circ$, $\theta_2 = -45^\circ$ 로 정하였고 유량계수는 차후 돌출부와 곡면에 대한 최적화를 실행하여 개선하였다.

(2) 돌출부 형상

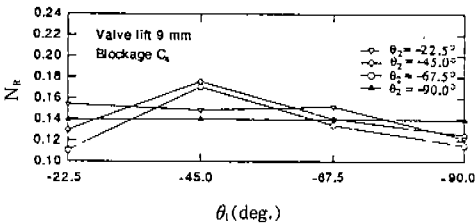
위에서 결정된 각도에 대하여 Fig.8에서의 여러 가지 돌출부 모양과 모양별 여러 가지 돌출높



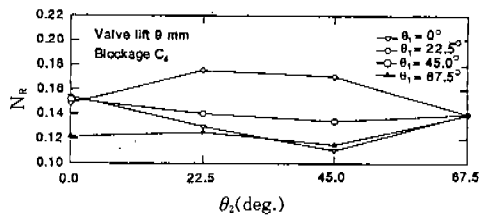
(a) Flow coefficient



(a) Flow coefficient



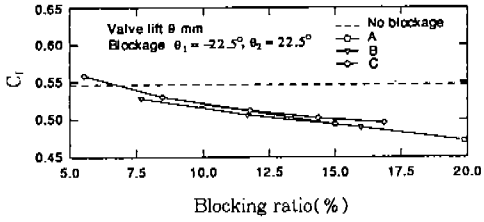
(b) Ricardo rig swirl



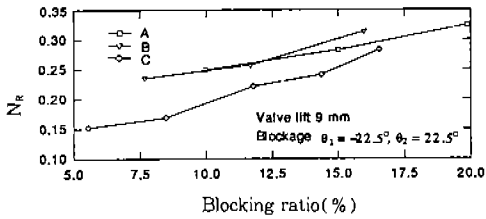
(b) Ricardo rig swirl

Fig.10 The outline of optimization for the blockage installation angle when “R” port is varied and “F” port is fixed.

Fig.11 The outline of optimization for the blockage installation angle when “F” port is varied and “R” port is fixed.



(a) Flow coefficient

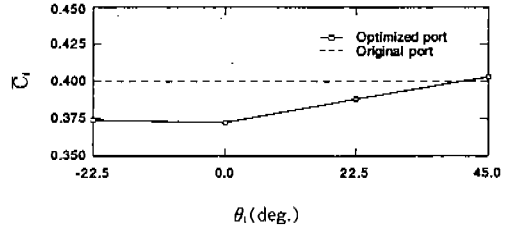


(b) Ricardo rig swirl

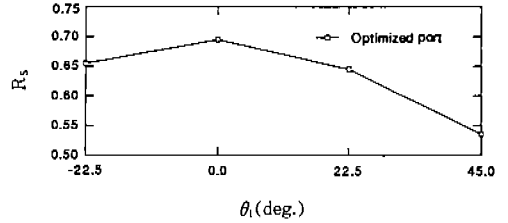
Fig.12 The optimization for the blockage type and depth.

이를 적용하였을 때 돌출부 형상에 따른 공기유입량은 Fig.12(a)에서와 같이 돌출 형상과 관계 없이 돌출면적에 반비례하고 선회류의 크기는 Fig.12(b)에서와 같이 돌출된 면적이 같다면 가운데로 돌출된 C형 보다는 A형과 같이 벽면쪽으로 붙어 넓게 돌출된 것이 더 큰 것으로 밝혀졌다.

공기유입량에 대한 요구조건을 만족시키면서 선회류를 가장 많이 발생시키는 포트가 최적인 포트가 될 것이다. Fig.12(a)를 보면 A, B, C형 돌출부 공히 돌출비(돌출높이/포트반경)가 커질수록 C_f 는 감소함을 알 수 있는데 돌출부 형상에 따른 C_f 변화는 크지 않다. Fig.12(b)에는 돌출비에 따른 Ricardo 선회계수(N_R)의 변화를 나타내는데 세 돌출형상 모두 돌출비가 증가하면 N_R 이 증가하나 A형과 B형이 C형보다 N_R 이 큼을 알 수 있다. C_f 의 감소는 체적효율의 감소를 의미하므로 가능한 C_f 감소가 작은 범위를 택해야 하므로 감소를 약 3% 허용하고 선회계수와



(a) Flow coefficient



(b) Ricardo rig swirl

Fig.13 \bar{C}_f and R_s according to the rotated position of blockage B_3 in "F" port with groove(4mm depth) when both "F" port and "R" port are open.

텀블계수가 큰 포트를 선택한다면 A_3, B_3 포트 형상이 최적임을 알 수 있다.

3.1.2 선회류를 최대 발생시키는 최적 포트 형상

3.1.1 항의 실험결과들에 의해서 대개의 최적화 과정을 완료하였고 2개의 밸브를 모두 열어 놓아도 한쪽 포트를 열거나 닫은 실험 결과에서 특징지어진 효과가 거의 대수적으로 중첩되어 나타날 것으로 기대하였으므로 3.1.1항의 결과를 토대로 정밀한 최적화 실험을 수행하였다. 즉 Fig.9의 "R"포트에는 돌출부를 설치하지 않고, "F"포트에만 4mm깊이의 곡면이다 B_3 형상의 돌출부를 $\theta_1 = -22.5^\circ, \theta_2 = -45^\circ$ 로 설치해서 유량계수와 Ricardo 선회계수에 대하여 실험을 하였다. 최적화된 포트에 대해서는 기존포트와 비교하기 위해 다시 유량계수, 선회계수 및 텀블계수를 측정하였다.

(1) 유량계수와 선회계수

최적형상의 돌출부를 갖는 포트에서 θ 을 변화

시키면서 C_f 와 R_s 를 측정하여 비교하였다. 돌출부 설치각도에 따른 유량계수가 Ricardo 선회계수를 Fig.13(a)와 (b)에서 관찰하면 $\theta_1=45^\circ$ 일때는 R_s 가 0.54정도 낮아지므로 $\theta_1=22.5^\circ$ 를 택하면 C_f 가 3% 감소하는 반면 R_s 가 0.65로 상승하여 선회계수가 상승한다. 엔진성능이 어느것이 우수한지는 실험적으로 결정되겠지만 본 연구에서는 최적설치각도를 $\theta_1=22.5^\circ$ 로 택하여 C_f 를 약간 손해보고 R_s 를 키우는 쪽으로 택하였다. 돌출부 설치각도가 $\theta_1=22.5^\circ$ 일 때 상용기관의 경우와 가까운 공기유입량을 유지하는 조건에서 최대의 선회류를 얻을 수 있었다. 이렇게 최적화된 포트에 대해서 밸브리프트를 변화시키며 유량계수와 선회계수를 측정한 결과는 Fig.14와 같다. 이 그림에서 수정된 포트의 밸브리프트에 따른 유량계수는 포트를 차폐한 것으로 인해 기존 포트에서의 유량계수보다 낮으며 밸브리프트가 증가함에 따라 그 차이가 약간 증가하는 것을 알 수 있다. 전 리프트에 대해서 유량계수를 평균해보면 기존포트에서 $\bar{C}_f=0.4$ 였으나 수정된 포트에서는 $\bar{C}_f=0.388$ 로 3% 낮아졌다. Ricardo 선회계수는 밸브리프트를 증가시키며 따라 밸브리프트가 5mm까지는 기존포트보다 약간 상승했지만 밸브리프트가 5mm 이상에서는 밸브리프트의 증가에 따라 선회계수가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 기존포트에서의 Ricardo 선회

계수는 -0.05로 선회토크가 거의 없지만 수정된 포트에서는 0.65나 되어 크기가 13배 증가하였다.

(2) 텀블계수

텀블계수를 측정하기 위해 측정위치를 Fig.15와 같이 정하였을 때, 텀블계수의 크기는 Fig.16에서와 같이 기준기관에서는 위치 $\psi=90^\circ$ 지점과 $\psi=270^\circ$ 지점을 잇는 방향으로 최대 1.8정도가 되었다. 배기밸브가 있는 헤드의 경사면과 거의 같은 각도로 공기가 유입될 때 최대의 텀블류가 발생한다고 알려져 있으므로 이 조건과 유사해지도록 “F”와 “R”포트에 대해서 Fig.8의 돌출부 B_3 와 깊이 4mm의 부드러운 곡면을 Fig.2(a)에서와 같이 설치해도 텀블계수는 기준기관보다 약간 높은 2.0수준이었다. 그러나 최대의 선회류를 발생하게 하는 포트에서의 텀블계수는 $\psi=135^\circ$ 지점과 $\psi=135^\circ$ 지점을 잇는 방향을 3.76이었다. 이때의 밸브리프트에 따른 유량계수와 텀블계수의 변화를 Fig.17에서 관찰하면 텀블계수는 밸브리프트가 3mm 이상에서 급격히 상승하다가 밸브리프트가 5mm 이상에서 일정한 수준을 유지함을 알 수 있다. 기존포트에서는 밸브리프트가 7mm에서부터 텀블계수가 증가하고 최대의 텀블계수도 수정포트의 1/2정도로 작은 것을 알 수 있다. 수정포트의 Ricardo 텀블계수는 기존포트의 2.15배로 증가하였다. 본 연구에서

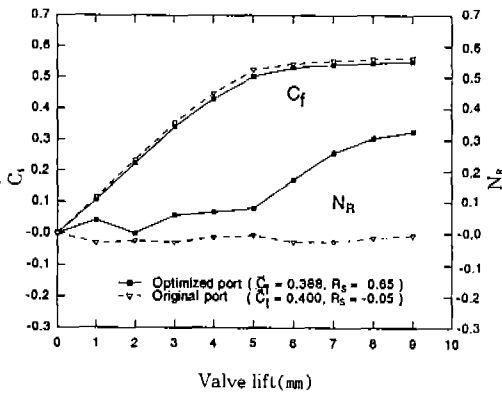


Fig.14 Comparison of swirl ratio of the original port and the optimized port

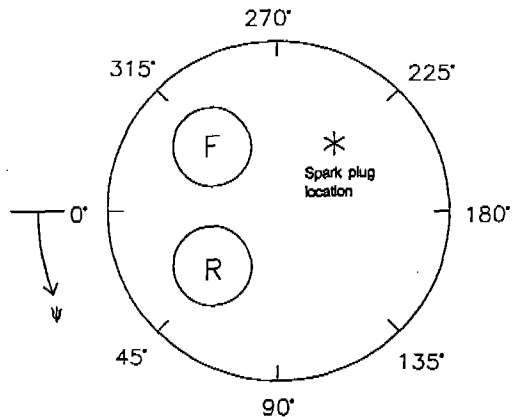


Fig.15 Port rotation index

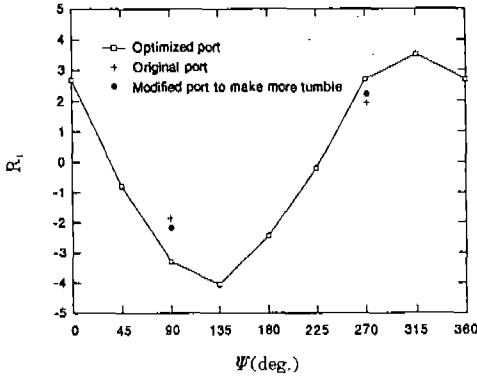


Fig.16 Variation of non-dimensional tumble ratio according to port rotation

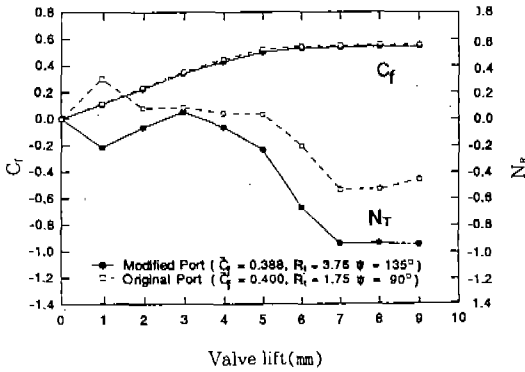


Fig.17 Comparison of tumble ratio of the original port and the optimized port

포트를 변조시켜 흡입운동량을 비대칭적으로 편심시킨 효과가 일부는 선회류의 발생으로 나타나지만 일부는 텀블류를 증가시킨 것으로 생각할 수 있다.

이상의 결과들은 2개 포트에 돌출부를 설치하는 각도를 변경시킴으로써 선회류 크기와 텀블류 크기의 비율을 조절할 수 있음을 나타내 준다. 김⁹⁾은 흡기유동이 선회류나 또는 텀블류만을 발생시키는 경우보다 선회류와 텀블류를 적정비율로 혼합하여 발생시키는 것이 기관 연소기능과 출력성능에 유리하다는 해석결과를 제시하고 있다. 이와 같은 관점에서 선회류량과 텀블류량을 원하는 분포로 수정하는 것은 대단히 중요한 기술로

대두될 것이며 이와 같은 문제는 본 연구에서 고안한 돌출부의 설치각도에 의해서 해결될 수 있다고 생각된다.

4. 결 론

흡기밸브가 2개인 기관의 흡기포트를 변형시켜 실린더내에서 선회류와 텀블류를 동시에 발생시키는 장치를 고안하여 Ricardo의 장치실험에서 선회계수와 텀블계수를 측정하였으며 실험결과로부터 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 2개의 흡기포트에 돌출부와 곡면을 설치하는 각도의 조합에 의해서 선회류와 텀블류의 크기를 조절할 수 있다.
- 2) 유량계수의 크기는 돌출부의 면적에 관련되고 형상에는 무관하지만 선회계수는 그 형상에 큰 영향을 받으며 A형 돌출부가 선회계수를 가장 크게 한다.
- 3) 최적인 돌출부 형상과 포트벽 곡면형상은 선회계수, 텀블계수, 유량계수를 함께 고려하여 결정하여야 하며 본 연구에서는 기존의 흡기포트보다 2개 흡기포트의 평균 유량계수를 3% 떨어뜨리고 Ricardo 선회계수가 13배, Ricardo 텀블계수를 2.15배 증가시키는 흡기포트를 만들 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Heywood, J. B., 1988, "International Combustion Engine Fundamental", McGraw-Hill.
2. Ricardo DP 79/1232, 1979, "The Impulse Swirl Meter"
3. Patington, G.D., 1971, "Fluid Meters", ASME.
4. Tippelmann, 1977, "A New Method of Investigation of Swirl Port", SAE 770404.
5. Patington, G. D., 1980, "Analysis of Steady Flow Tests on Inlet and Exhaust Ports", Ricardo DP 80/1123
6. Ricardo DP 88/0610, 1988, "The Cusson

- Impugse Swirl Meter”
7. Luo, K. H., and Bray, K. N. C., 1992, “3D Simulation of Induction Port Flow of a Four-Valve Engine Configuration”, SAE 920586.
 8. 김철수, 1993, “DOHC 가솔린 기관의 연소실 난류특성이 기관성능에 미치는 영향에 관한 연구”, 고려대학교 박사학위 논문.