

## 직접분사식 가솔린엔진의 연소실 형상이 성층화 연소에 미치는 영향

### Effects of Combustion Chamber Shape on the Stratified Combustion of a GDI Engine

송재원\*, 김미로\*, 조한승\*, 여진구\*, 조남효\*  
Jae-Won Song, Mi-Ro Kim, Han-Seung Cho, Jin-Ku Yeo, Nam-Hyo Cho

#### ABSTRACT

A study to investigate the influence of combustion chamber shape, especially piston top face configuration, on the combustion stability is presented with CFD analysis and single cylinder GDI engine test. Initial configuration of the piston bowl was designed with CFD analysis and further parametric studies of the design factors on the piston top face were carried out through the single cylinder GDI engine test. It was found that both the geometry of piston top face and the compression ratio have great influences on the combustion stability. Of interest is that the design factors of the GDI piston to prevent mixture diffusion out of the piston bowl have important roles for the stable combustion at the stratified mixture condition. Also the relationship between spray impingement and flow pattern in a GDI piston bowl should be considered to design an optimal bowl configuration for stable stratified combustion.

주요기술용어 : GDI engine(가솔린 직접분사식 엔진), Combustion chamber(연소실), Piston bowl(피스톤 보울), Combustion stability(연소안정성), Stratification(성층화)

#### 1. 서론

최근의 자동차 배출 CO<sub>2</sub> 가스에 의한 지구온난화 문제 및 유가 상승으로 인하여 자동차의 연비향상에 대한 요구가 계속 증대되고 있다. 이러한 요구에 대응하여 화석연료를 사용하는 자동차용 동력시스템 중 직접분사식 가솔린엔진(Direct Injection Gasoline Engine; GDI엔진)은 연료소모율을 크게 향상시킬 수 있는 차세대 연소시스템으로 많은 주목을 받고 있다. GDI엔진은 초회박공연비 조건에서 성층연소를 이용한 안정적인 연소를 구현하여 가솔린엔진의 펌프손실

및 열손실 등의 감소에 의한 획기적인 연료소모율 향상이 가능하다. GDI엔진의 연소시스템은 고압연료분사장치, 흡기포트를 포함한 흡기시스템, 그리고 연소실형상 등이 적절하게 설계되고 적합한 기능을 가질 때 효과적인 성능을 발휘할 수 있다. 최근 수년동안 이러한 GDI 엔진의 연소시스템에 대한 많은 연구가 진행되어 연료인젝터의 위치에 따라 측면분사방식<sup>1-5)</sup>과 중앙분사방식<sup>6)</sup> 등으로, 흡기 유동의 형태에 따라 역턱블유동,<sup>1,4)</sup> 스윙유동,<sup>2,3)</sup> 텀블유동<sup>5)</sup> 방식 등의 여러 형태의 연소시스템이 제안되었으며 각 연소시스템은 각각의 형상에 적절한 피스톤 및 흡기포트 등의 설계를 채용하고 있다.

\* 회원, 고등기술연구원 기계/외용기술센터

그러나, 지금까지 발표된 연구논문에서는 각 시스템 전반에 대한 연소특성의 분석이 주로 이루어져서 혼합기 형성에 큰 영향을 주는 흡기포트 형상이나 피스톤 상면부의 형상 등이 연소특성에 미치는 영향에 대한 상세한 분석은 부족한 실정이다.<sup>7)</sup> 특히 피스톤 상면의 형상은 실린더 헤드의 연소실 부분과 함께 GDI엔진의 연소실을 구성하는 부분으로써 흡기포트에서 유입되는 공기와 압축과정 중 연소실내로 분사된 연료로 형성되는 혼합기를 성층화연소에 필요한 특정한 유동으로 유도하는 역할을 한다. 따라서 GDI 엔진의 피스톤은 운전조건, 즉 연소실에 분사되는 연료의 양과 피스톤의 속도 증감이 발생하게 되는 엔진 부하 및 속도에 따라 어느 조건에서도 안정된 성층화 연소가 가능한 형상으로 개발되어야 한다. 또한 텀블 또는 스웰 유동 등 흡기포트를 통해 발생하는 유동의 형태에 따라 적절한 피스톤 형상을 개발하여야 하며 피스톤 상면부의 설계를 제한하는 실린더헤드의 연소실부 형상과 스퀴시(squish) 유동의 영향 등에 대한 고려도 필요하다.

본 연구에서는 이상과 같은 고려사항을 염두에 두고 스웰유동 방식을 이용한 GDI엔진에서 피스톤 형상이 연소특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 우선 GDI엔진용 피스톤의 설계에 관련된 압축비, 보울의 크기 및 형상, 보울 바닥면의 형상, 보울 바닥면의 깊이, 피스톤 상면 돌출부의 높이 등의 변수를 선행연구를 통하여 선정하였는데 이러한 설계 인자들이 GDI 엔진의 성층연소(late injection) 운전조건에서 연소안정성에 미치는 영향을 분석함으로써 GDI 엔진용 피스톤 형상 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 실린더내부 유동해석 및 피스톤 기본모델의 선정

### 2.1 GDI엔진용 피스톤의 설계 인자

GDI엔진용 피스톤은 포트분사식 엔진의 피스톤과 달리 성층연소를 위한 적절한 혼합기 형성

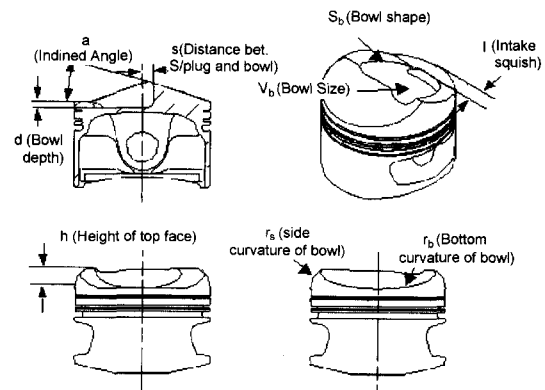


Fig. 1 Main design factors of a GDI piston

을 위하여 피스톤 상면부에 보울형상을 가지며 보울 각 부의 형상이 실린더 내부유동 및 혼합기 거동에 미치는 영향에 대한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 스웰유동을 이용한 측면분사방식의 GDI 엔진이 적용되었으며 Fig. 1과 같이 피스톤 형상을 세분화하였고 각각의 명칭을 부여하였다. 이와 같은 GDI 엔진용 피스톤 형상의 각 부분에 대한 상세한 분류는 본 연구를 위하여 설정한 것으로 모든 형식의 GDI 연소시스템에 절대적으로 적용될 수 없으며 여기에 설정된 변수 이외의 항목도 연소특성에 영향이 있을 수 있겠다. 각 인자들은 서론에서 언급한 바와 같이 피스톤 보울의 크기 및 형상, 상면 돌출부의 높이, 바닥면 형상 및 곡률 등과 관련되며 각각의 인수의 적용에 따라 Fig. 1에 표시한 설계 인자와 엔진의 압축비 등이 변하게 된다.

### 2.2 유동해석 모델 및 해석 방법

피스톤 상면의 초기설계를 위해서 실린더내부 유동해석을 수행하였다. Fig. 2에 나타난 것과 같이 피스톤 상면부의 보울 형상과 크기가 각각 다른 3종의 피스톤에 대한 유동해석, 즉 실린더내의 유동분포 및 혼합기 거동을 해석하여 피스톤의 초기 설계에 활용하였다. 피스톤 A 및 C는 타원형 보울로 설계하였고 피스톤 B는 원형 보울로 그 크기가 상대적으로 작게 설계 하였다. 피스톤 A와 C는 보울의 모양은 유사하나 보울의

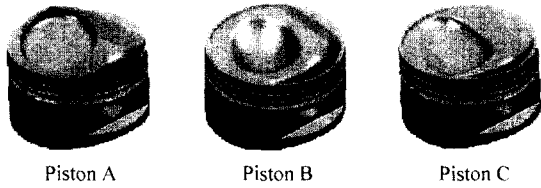


Fig. 2 Three piston models for CFD analysis

깊이 및 보울 바닥면의 곡률 등에 차이를 두었다. 유동해석에 적용된 연소시스템은 스윙유동을 주 유동으로 사용하기 위해 한 쪽 포트에 스윙 제어 밸브(Swirl Control Valve; SCV)가 장착된 흡기 포트를 채용하였으며 본 논문에서는 모두 SCV를 막아 스윙을 생성하였다.

유동해석 조건은 흡기포트에서 발생하는 흡입유동을 비정상상태에서 수행하여 엔진의 흡기 및 압축행정과 압축행정 말기에 분사되는 연료분무 등을 실제 엔진 조건과 동일하게 모사하였다. 엔진 연소실내의 흡입, 압축과정의 비정상상태 유동은 이동격자를 이용하여 해석하였다.<sup>8)</sup>

유동해석에 사용된 고압 연료분사모델은 중공형 스윙분무를 갖는 인젝터 모델을 대기중 분무실험과 비교하여 적용하였다.<sup>9,10)</sup> 연소실, 흡/배기 밸브 및 포트의 3차원 CAD 데이터를 CATIA에서 생성한 후 STL 또는 IGES 화일 형식으로 변환하였다. 변환된 화일은 Pro-ICE를 이용하여 비정상상태 유동해석을 위한 계산 격자를 생성하였으며 최종적으로 Star-CD를 사용하여 유동해를 구하였다. 수치해석에 사용된 기법은 벽함수를 사용하는 표준 고레이놀즈수  $k-\epsilon$  난류모델, MARS (Monotone Advection and Reconstruction Scheme), 비정상유동해석을 위한 PISO 알고리즘 등이다.

유동해석을 위한 전체 계산영역과 흡기밸브 부위의 상세한 격자를 Fig. 3에 도시하였다. 계산 격자수는 피스톤이 하사점에 위치했을 때 최대 약 210,000개의 비구조적 격자로 이루어진다.

### 2.3 유동해석 결과 및 기본모델의 선정

Fig. 4는 엔진회전수 1500rpm, 연료분사 시작 시기 70°BTDC 조건에서 피스톤 A, B 및 C 형상

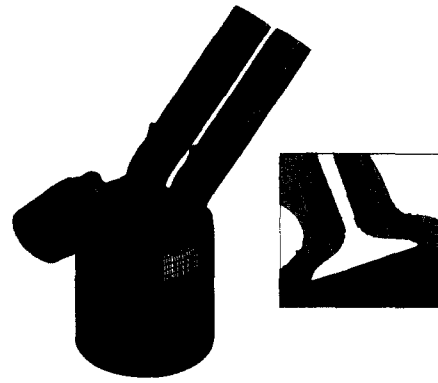


Fig. 3 Calculation domain and details of the intake valve area

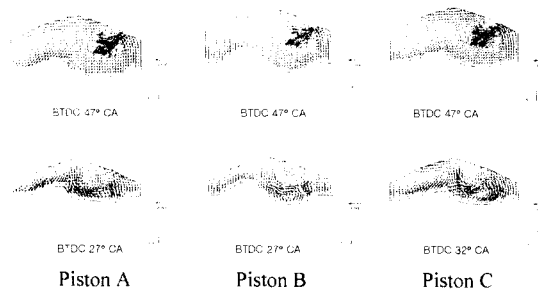


Fig. 4 Velocity vectors for the piston A, B and C at 1500 rpm

에 따른 속도분포의 해석결과를 보여 준다. 점화 시기에 근접한 크랭크각(27° 및 32°BTDC)에서의 유동분포를 살펴보면 피스톤 상면과 실린더헤드의 연소실이 구성하는 스퀴시 부위에서 연소실 중앙 방향으로의 스퀴시 유동 생성과 피스톤으로부터 실린더헤드 방향으로의 상방향 유동이 생성됨을 볼 수 있는데 이러한 유동은 점화플러그 주위로의 혼합기 이동에 도움을 주게 된다. 각 피스톤 모델의 유동을 비교하면 스퀴시 유동의 생성은 피스톤 C의 경우 가장 뚜렷하며 피스톤 B의 경우가 가장 약하여 피스톤 B의 경우 혼합기가 점화플러그 부근으로 이동하는 것이 불리함을 예상할 수 있다. 또한 압축말기에 생성되는 연소실내의 상방향 유동은 피스톤 A에서 가장 강하고 피스톤 B에서 가장 약하게 형성되어 원형의 보울을 갖는 피스톤 B의 형상이 상대적

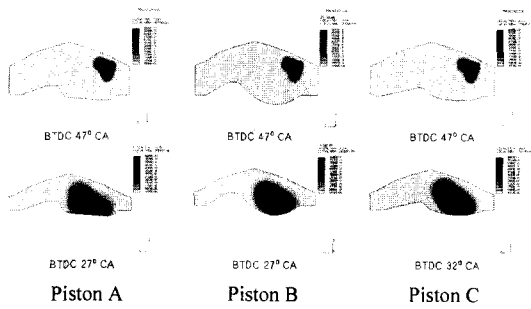


Fig. 5 Air-fuel ratio for the piston A, B, and C at 1500 rpm

으로 GDI 연소시스템에 적합한 혼합기 형성에 불리한 것으로 예상된다. 이러한 경향은 Fig. 5의 공연비 분포 해석 결과를 보면 좀 더 분명하게 알 수 있다. 피스톤 A와 C의 경우에는 점화시기 부근의 크랭크각에서 점화플러그 주변에서 상대적으로 잘 발달된 공연비 분포를 보여줌으로써 안정적인 연소 가능성을 예상할 수 있으나 피스톤 B는 전술한 바와 같이 약한 실린더내 유동으로 점화플러그 주위로의 혼합기 생성이 어려운 것을 보여준다. 이러한 경향은 피스톤의 형상이 GDI 연소시스템에 큰 영향이 있음을 의미하며 본 연구의 경우, 타원형의 피스톤 보울 형상을 갖는 피스톤 모델 A 및 C가 상대적으로 유리한 것으로 예상할 수 있다.

이상과 같은 유동해석을 통하여 타원형의 보

Table 1 GDI pistons with various design parameters

No.	Bowl	s	Vb	d	rb	h	CR
P1	O	B	B	B	B	B	10.5:1
P2	C	>	B	B	>>	B	10.8:1
P3	O	<	<	B	>	B	12.0:1
P4	O	>	>>	B	B	B	9.8:1
P5	O	>	>>	>	B	B	9.8:1
P6	O	<	>	>	B	B	11.1:1
P7	O	>	<	B	B	<	10.6:1
P8	O	B	B	<	B	>	11.8:1

CR: Comp. ratio, O: Oval-shaped, C: Circular, B: Basic dimension, >: increased, <: decreased

울 형상을 갖는 피스톤 A를 기본모델로 선정하였으며 기본모델의 설계를 기준으로 Fig 1에 나타난 각 설계변수의 증감을 적용하여 Table 1과 같이 8종의 피스톤을 제작하고 단기통엔진 실험을 수행하였다.

### 3. 단기통엔진 실험

#### 3.1 단기통엔진 및 실험방법

실험에 사용된 엔진은 Fig. 6의 개략도와 같은 단기통엔진으로 일반적인 체원은 Table 2에 나타내었다. 본 연구에 적용된 GDI 연소시스템은 스윙유동을 주유동으로 하는 측면분사식 시스템으로 스윙제어밸브의 조절을 통하여 약 2.7의 스윙비를 갖는 흡기시스템을 채용하였다. 또한 고압의 연료를 연소실에 분무하기 위하여 별도의 고압연료펌프와 연료시스템을 설치하였으며 연료압력은 70bar로 유지하였다. 고압 연료인젝

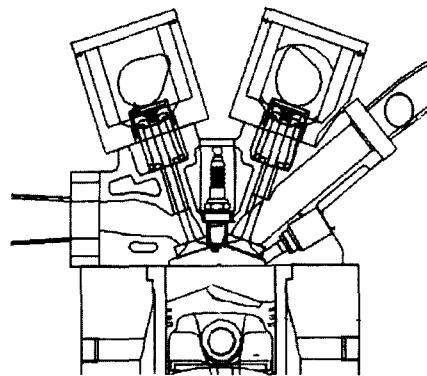


Fig. 6 Schematic diagram of the single cylinder engine

Table 2 Specification of the single cylinder GDI engine

Engine Type	4-stroke, 4-valve/cylinder
Bore × Stroke	79.0 × 81.5 mm
Displacement	399.5 cc
Compression ratio	9.5:1 ~ 12.0:1
Int. valve open / close	13°BTDC / 41°ATDC
Exh. valve open / close	43°BTDC / 11°ATDC

터는 분무각 52°의 중공형 스월분무 특성을 갖는 양산부품을 사용하였다. 실험은 GDI엔진의 성층연소 운전조건인 부분부하의 저속구간(1000rpm/2.8bar IMEP 및 2000rpm/2.8bar IMEP)에서 실시하였으며 EGR은 적용하지 않았다. 공연비는 전 실험조건에서 40:1 이상을 유지하였다. 점화플러그 전극의 길이는 연소최적화를 통해 최종적으로 7mm 전극을 사용하였다.

### 3.2 실험결과 및 고찰

#### 3.2.1 피스톤 보울 형상의 영향

보울 형상이 연소안정성에 미치는 영향을 분석하기 위해서 타원형 보울과 원형 보울의 경우에 대하여 실험을 실시하였다. Fig. 7은 타원형과 원형 보울의 형상을 단순화하여 도시한 그림으로써 Table 1에서 원형은 P2, 타원형은 P1으로 명명하였다. Table 1에 표기한 설계인자 중 보울 형상을 제외한 인자는 가능하면 기본모델(P1)과 동일하게 유지하려고 하였으나 보울체적(Vb), 보울 바닥면 곡률(rb) 및 압축비 등은 보울 형상과 밀접한 관계가 있으므로 기본모델의 변경이 불가피하였다.

Fig. 8은 2000rpm/2.8bar IMEP, 연료분사 완료시점(End of Injection: EOI) 55×BTDC 운전조건에서 점화시기에 따른 연소안정성(COV of IMEP)을 도시한 것으로 타원형 피스톤(P1)이 원형 피스톤(P2)에 비하여 월등한 연소안정성을 보여준다. 이같은 결과는 앞서 기술한 유동해석 결과와

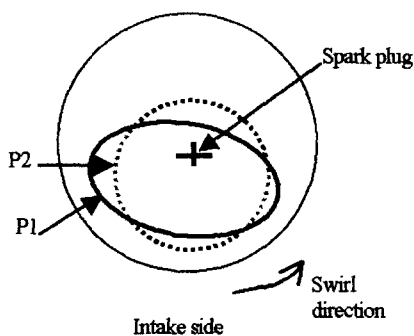


Fig. 7 Configuration of GDI piston bowl

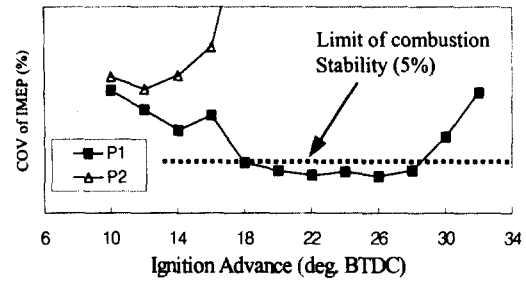


Fig. 8 Effect of bowl configuration on the combustion stability

도 잘 일치한다. 원형 피스톤이 타원형 피스톤보다 연소안정성이 나빠지는 원인은 전술한 바와 같이 보울내 유동 및 분무 분포의 차이에도 기인할 수 있다. 기하학적 형상을 고려하는 경우 동일한 보울체적을 유지할 때 원형으로 설계하는 경우에는 점화플러그와 보울 수직 벽면의 최단거리(Fig. 1의 s)가 길어져서 벽면을 따라 이동하는 혼합기의 농후한 영역이 점화플러그로부터 멀어지는 영향도 있을 것으로 생각된다. 따라서 보울의 벽면과 점화플러그 사이의 거리를 일정하게 유지하면서 보울 크기를 자유롭게 조절할 수 있는 타원형의 보울형상이 설계자유도가 더 높을 것으로 판단된다. 이상과 같은 결과에 따라 타원형의 보울형상이 유리한 것으로 판단하여 이후의 실험에 사용된 보울형상(P3~P8)은 Table 1에 표기한 바와 같이 모두 타원형을 적용하였다.

#### 3.2.2 압축비 및 보울 깊이의 영향

압축비(CR) 및 보울 깊이(d)를 변경한 경우의 효과를 비교하기 위하여 Table 1의 피스톤 P1과 피스톤 P5를 비교하였다. Fig. 9에 도시한 바와 같이 실험결과는 보울 깊이가 상대적으로 얇고 압축비가 큰 피스톤 P1의 경우가 엔진회전수 1000rpm 및 2000rpm 모두 연소안정성이 우수하고 점화시기도 진각 되어 있음을 보여주고 있다. 이러한 결과는 P1의 압축비가 크므로 연료분사시 실린더 내부압력이 P5에 비하여 높아지며 연료의 분무형상(분무각)이 축소되어 보울 밖으로 분사되는 연료의 양을 줄일 수 있고, 또한 연료분

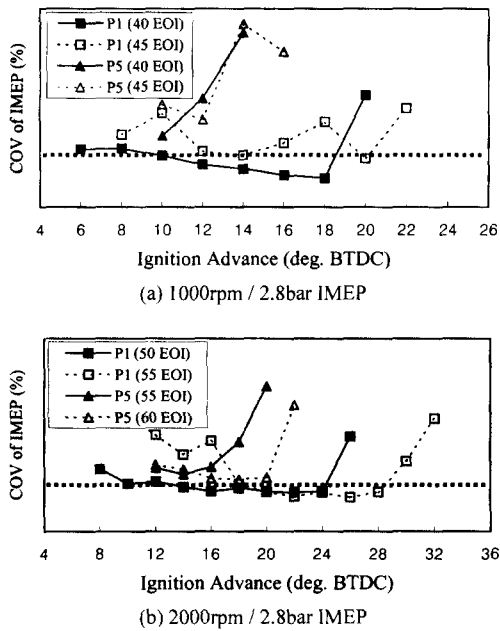


Fig. 9 Effect of compression ratio and bowl depth on combustion stability

사시의 실린더내부의 온도도 압축비가 높은 P1의 경우가 높으므로 분사된 연료의 기화를 촉진하여 유리한 연소조건을 형성하기 때문으로 판단된다.

그러나, P1 및 P5의 경우 압축비와 보울깊이의 영향이 동시에 포함되어 있으므로 압축비만의 영향을 보다 정확하게 파악하기 위하여 추가 실험을 실시하였다. Fig. 10은 피스톤 P1이 장착된 엔진에 스페이서를 삽입하여 동일한 피스톤 형상을 유지하면서 압축비만 9.8:1까지 낮춘 경우 (P1')를 기본모델 P1과 비교한 결과이다. 그림에서는 압축비가 높은 P1의 경우가 연소안정성이 다소 양호한 결과를 나타내어 압축비를 크게하는 것이 연소안정성에 유리함을 보여준다. 그러나 보울의 깊이가 얇은 경우는 보울 바닥면에 흡착되는 연료의 양이 증가하여 HC배출가스에 불리한 영향을 미칠 수 있으므로 보울의 깊이를 알게하여 압축비를 높이는 방법은 배기성능을 고려한 결정이 필요하다.

한편 P1 모델보다 압축비를 높인 피스톤 P3

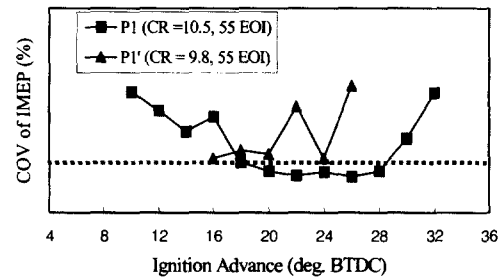


Fig. 10 Effect of compression ratio on combustion stability at 2000rpm/2.8bar IMEP

(CR=11.8) 및 P8(CR=11.8)에 대한 엔진실험을 실시하였으나 압축비 이외의 다른 설계변수들의 변경을 수반하여 압축비 영향에 대한 정확한 평가를 예측하기는 곤란하였다

### 3.2.3 보울 체적의 영향

보울 체적( $V_b$ )에 따른 효과를 분석하기 위하여 피스톤 P5와 피스톤 P6을 비교하였으며 보울의 크기는 Table 1과 같이 P5가 P6보다 크다. Fig. 11에 도시한 결과와 같이 엔진회전수 1000rpm에서는 보울 체적이 작은 P6에서 유리한 연소안정성

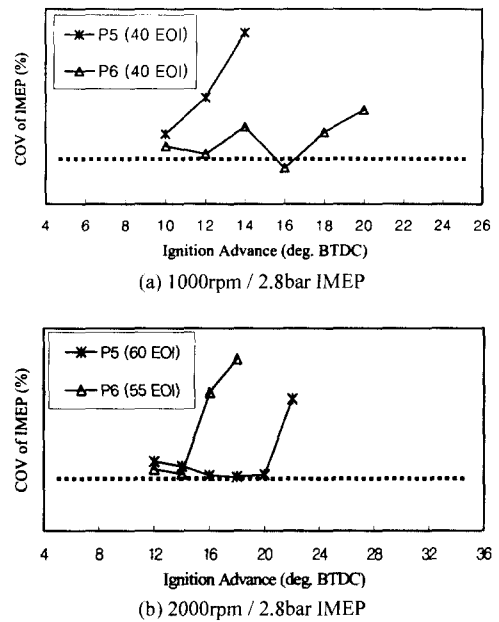


Fig. 11 Effect of bowl size on combustion stability

을 보인다. 그러나 2000rpm의 경우는 1000rpm의 결과와 달리 연소안정성에서 P5가 다소 유리하다. 이러한 결과가 발생하는 원인은 엔진회전수에 따른 실린더내의 분무의 형성과 연소조건이 중요한 인자로 작용하는 것으로 추측할 수 있다. 엔진회전수 2000rpm, 연료분사 완료 시기 50°BTDC 조건에서 분사된 연료분무의 형상과 피스톤의 상승 거리를 단순 계산하여 도시하면 Fig. 12와 같은데 보울의 크기가 큰 피스톤 P5의 경우가 보울 밖으로 분사되는 연료의 양이 적음을 예상할 수 있다. 반면에 상대적으로 저속(1000rpm)의 경우는 최적의 연료분사시기가 지각되므로 보울의 크기에 관계없이 연료가 보울 밖으로 벗어나는 정도가 작게 되어 상대적으로 압축비가 큰 피스톤 P6가 연소안정성 면에서 유리할 것으로 예상할 수 있다.

그러나 이상과 같은 결과로 엔진회전수 2000rpm에서 보울의 크기가 큰 경우가 연소안정성에 유리하다고 결론 내리기는 곤란하다. Fig. 8의 P1의 경우는 보울의 크기가 P5보다 작은 형상이나 2000rpm 조건에서 P5에 비하여 우수한 연소안정성을 나타낸다. 전술한 바와 같이 보울의 크기는 점화플러그 위치와 보울 수직벽면까지의 거리  $s$ 에 영향을 주고 이러한 인자 또한 연소안정성에 영향을 있을 것으로 판단되므로 보울의 크기만으로 연소안정성을 평가하기에는 한계가 있다. 벽면거리  $s$ 가 긴 경우에는 보울벽면을 따라 이동하는 혼합기와 점화플러그사이의 거리가 너무 멀어 실제 점화플러그 부근은 혼합기가 희박하게 형성될 수 있고,  $s$ 가 짧은 경우에는 보울 밖으로 분사되는 연료가 많아 실제 보울 안에서 연소 가능한 혼합기가 적을 수 있기 때문이다. 따라서

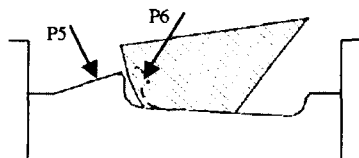


Fig. 12 Simplified diagram of spray behavior at 2000rpm and EOI of 50°BTDC

따라서 점화플러그로 부터 보울 벽면까지의 거리  $s$ 는 최적값이 존재한다고 판단되며 보울의 크기는 압축비 및 점화플러그로부터 보울 벽면까지의 거리 등을 포함한 종합적인 판단이 필요하다.

### 3.2.4 보울 바닥면의 형상

보울 바닥면( $r_b$ )의 형상에 대한 실험은 보울 바닥면을 수평하게 할 것인지 경사지게 할 것인지 또는 원형으로 할 것인지를 여부와 보울 바닥면과 보울 수직벽면 사이의 곡률을 어느 정도 적용할 것인지를 결정하는 것으로 나누어 수행하였다. 먼저 바닥면의 형상이 원형인 경우는 앞에서 언급한 피스톤 P2와 같이 보울의 모양이 원형인 경우에 주로 적용되며 Fig. 8과 같이 연소안정성이 좋지 않은 결과가 나왔다. 보울 바닥면이 평평한 형상 중 수평한 경우와 경사진 경우를 검토하기 위해 피스톤 P1, P1' 및 P4를 비교하였다. P1 및 P1'은 경사진 바닥면을, P4는 수평한 바닥면을 가지며 P1'은 P4와 동일한 압축비 조건에서 비교하기 위하여 피스톤 P1에 스페이서를 삽입한 경우이다. Fig. 13에 도시한 바와 같이 동일 압축비 조건에서 경사진 바닥면을 가진 P1'이 평평한 바닥을 가진 피스톤 P4에 비하여 다소 유리한 연소안정성을 보여준다. 이같은 결과는 보울 바닥면이 경사진 경우가 연료 분사후 연료를 점화플러그 부근으로 이동시키기에 유리한 형상을 갖는다고 예상할 수 있다. 또한 바닥면을 경사지게 설계하는 경우는 동일한 모양과 크기를 갖는

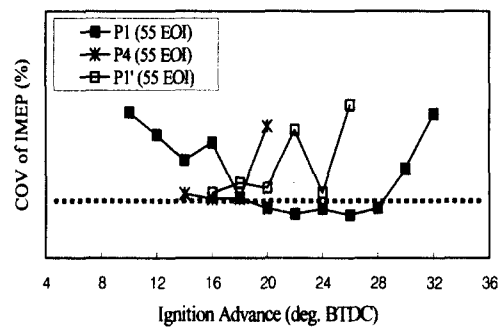


Fig. 13 Effect of bowl bottom configuration on combustion stability at 2000rpm/2.8bar IMEP

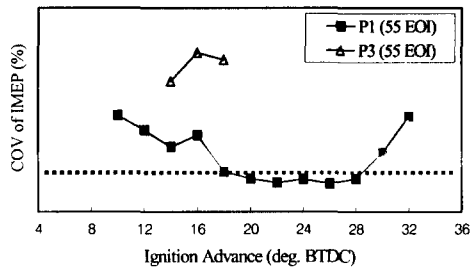


Fig. 14 Effect of bowl curvature on combustion stability at 2000rpm/2.8bar IMEP

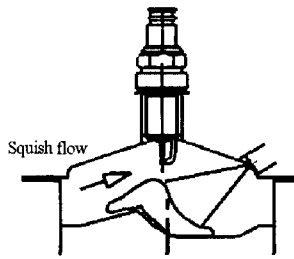


Fig. 15 Squish flow and mixture behavior on the piston bowl

피스톤에서 P1과 같이 높은 압축비 모델의 설계가 용이하여 설계 관점에서도 유리하다.

보울 벽면과 보울 바닥면이 이루는 곡률효과에 대한 실험으로써 기본모델 P1과 곡률을 크게 한 P3를 비교하여 Fig. 14에 나타내었다. 그림에서와 같이 P3의 경우 압축비가 P1에 비해 높음에도 불구하고 연소안정성이 P1에 비해 현저히 악화됨을 볼 수 있다. 이것은 곡률이 큰 경우에는 Fig. 15와 같이 연료가 분사될 때 보울 밖으로 밀려나기 쉬운 형상이 되어 분사된 연료의 상당부분이 배기밸브측으로 넘어가는 것으로 생각되며, 이같은 효과가 연소 가능한 혼합기 형성에 불리한 영향을 미치는 것으로 예상할 수 있다. 실제로 실험 후 엔진을 분해하여 피스톤을 검사한 결과 P4 피스톤에서 배기밸브측의 피스톤 상면부에 다량의 카본디포짓(carbon deposit)이 형성되어 있음을 확인할 수 있었다.

### 3.2.5 피스톤 돌출부의 효과

피스톤 돌출부(h)의 효과를 검토하기 위하여 기본모델 P1에 비하여 돌출부 높이가 낮은 P7 모

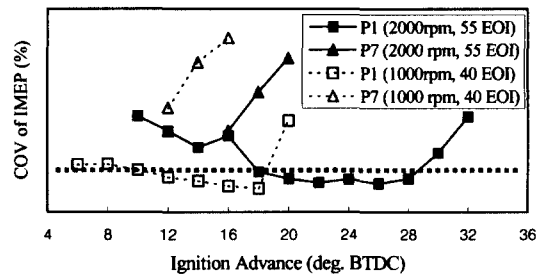


Fig. 16 Effect of height of piston top face on combustion stability

델에 대한 연소안정성 실험을 수행하였다. 실험 결과는 Fig. 16에서 보는 바와 같이 돌출부의 높이가 낮은 P7의 경우 연소안정성이 매우 악화됨을 보여준다. 이것은 Fig. 15에서와 같이 보울 벽면의 높이가 낮은 경우 분사된 연료가 보울 밖으로 넘어가서 성층화연소에 필요한 적절한 혼합기를 형성하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 돌출부의 높이가 낮은 경우는 연소실과 피스톤 사이에 형성되는 스퀴시 유동이 감소되어 적절한 혼합기 형성에 불리하게 작용할 것으로 예측된다.

## 4. 결론

GDI엔진에서 연소실 형상, 특히 피스톤 상면의 설계인자가 연소안정성에 미치는 영향을 스윙유동을 적용한 측면분사식 GDI 연소시스템을 채용한 단기통엔진 실험을 통하여 고찰하였다.

실린더내부 유동해석을 통하여 초기 피스톤의 기본모델을 선정하고 기본모델을 기준으로 연소안정성에 영향을 미칠 수 있는 피스톤의 설계인자를 설정한 후 8종의 피스톤을 제작하여 단기통엔진 실험을 통해 각 변수가 미치는 영향을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) GDI 엔진의 성층연소조건에서 연소안정성은 분사된 연료가 보울 밖으로 벗어나는 정도에 의해 큰 영향을 받으며 이러한 효과는 연료의 기화 및 분무형상과 관련되는 압축비보다도 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 GDI엔진의 적절한 피스톤 보울의 설계를 위해서는 이



러한 영향을 고려한 설계인자의 선정이 우선적으로 필요하다.

2) 보울의 깊이를 얇게하거나 경사지게 설계하는 경우는 높은 압축비가 가능한 동시에 연료가 점화플러그 부근으로 이동시키기 용이한 형상이 되어 연소안정성에 유리한 결과를 가져올 수 있다.

3) 보울 바닥면의 곡률을 작게 하여 혼합기가 보울 밖으로 넘어가지 않도록 설계하는 것이 유리하다.

4) 피스톤 돌출부의 높이는 가능한 높게 하는 것이 압축비 상승이나 보울 내부의 유동 형성에 유리하며 분무가 보울 밖으로 벗어나지 않도록 하는데도 유리하다

### 참 고 문 헌

- 1) Y. Iwamoto et al., "Combustion Control Technologies for Direct Injection SI Engine," SAE 960600, 1996.
- 2) H. Nohira et al., "Development of Toyota's Direct Injection Gasoline Engine," AVL Engine and Environment Conference '97, 1997.
- 3) T. Itoh et al., "Combustion Characteristics of a Direct Injection Stratified Charge SI Engine,"

- 4) N. S. Jackson et al., "Stratified and Homogeneous Charge Operation for Direct Injection Gasoline Engine - High Power with Low Fuel Consumption," SAE 970543, 1997.
- 5) J. Geiger, et al., "Direct Injection Gasoline Engine," SAE 990170, 1997.
- 6) R. Houston, G. Cascart, "Combustion and Emission Characteristics of Orbital Combustion Process Applied to Multi-Cylinder Automotive Direct Injected 4-Stroke Engine," SAE 980153, 1998.
- 7) 조한승, 박태용, 박성진, 조남효, "가솔린 직접분사식엔진의 운전특성에 관한 연구," 한국자동차공학회논문집, 제8권 제5호, pp.54-66, 2000.
- 8) 김미로, 조남효, "엔진실린더 내부 유동해석을 통한 정상유동 실험결과의 분석," 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, Vol.I, pp. 111-117, 1999.
- 9) Yong-Jin Kim, Sang H. Lee, Nam-Hyo Cho, "Effect of Air Motion on Fuel Spray Characteristics in a Gasoline Direct Injection Engine," SAE 1999-01-0177, 1999.
- 10) 권의용, 조남효, "정적챔버내의 고압가솔린 인젝터의 연료분무 구조," 한국자동차공학회논문집, 제8권 제4호, pp.10-17, 2000.