

〈論 文〉

희박연소 안정화를 위한 가스유동장 조건에 관한 연구

이기형* · 이창식*

(1994년 8월 1일 접수)

Optimal Gas-Flow Conditions for Stabilization of Lean-Burn Combustion

Ki Hyung Lee and Chang Sik Lee

Key Words : Lean-Burn Engine(희박연소기관), Swirl/Tumble(스월/팁블유동), Swirl Control Valve(스월제어밸브), Laser Doppler Velocimeter(레이저도플러 유속계), Turbulence Intensity(난류강도), Lean Limit(희박한계)

Abstract

Gas flow characteristics within the cylinder is important factors in improving lean combustion stability. This paper shows the effects of various flow fields generated by a swirl control valve(SCV) on combustion process in a 4-valve spark ignition engine. An impulse swirl/tumble meter was used to elucidate the steady-state flow characteristics, and a rotating grating type LDV was developed to measure the mean velocity and turbulence intensity in relation to the crank angle. These methodologies were applied to clarify the correlation between gas flow characteristics and combustion stability at a lean air fuel ratio. An analysis of the correlation revealed the gas flow conditions required to optimize a lean-burn system.

1. 서 론

최근 지구환경 문제, 특히 CO₂의 배출 억제에 대한 관심이 높아지고, 그에 따른 배기가스 규제 강화와 연비향상에 대한 사회적인 요구가 한층 강화되고 있다. 따라서 자동차용 엔진의 개발에 있어서도 연료소비율 향상을 위한 기술이 또다시 각광을 받기 시작하며, 그 중에서도 배기 정화와 연비향상을 동시에 만족시킬 수 있는 희박연소(lean burn) 기술이 가장 주목을 받고 있다. 이와 같은 희박연소에 대한 최대의 기술과제는 「희박영역에서의 연소 안정화」와 「NO_x 배출량의 저감」이며, 이러한 과제들을 해결하기 위하여는 압축상사점(TDC)

부근의 난류강도와 혼합기 형성에 결정적인 영향을 미치는 연소실내 가스유동장의 제어기술이 무엇보다도 중요하다. 이러한 연소실내에 형성되는 가스 유동에 관한 연구는 예전부터 많이 수행되어 왔으나,⁽¹⁻⁵⁾ 연소실내의 가스유동장을 정량화할 수 있는 해석기술이 확립되지 않았고, 스월유동(swirl)과 팁블유동(tumble)을 포함한 모든 형태의 가스 유동장과 희박연소와의 상호관계도 명백하게 파악되지 못한 상태이므로 희박연소의 안정화를 위하여 요구되어지는 최적 유동장의 조건이 아직도 정립되지 않고 있는 실정이다. 따라서 희박연소 기술을 확립하기 위하여는 우선 눈에 보이지 않는 연소실내의 유동장을 정량화할 수 있는 방법의 개발이 시급하며, 이러한 정량화 기술을 이용하여 연소실내에 형성되는 다양한 유동장에 대한 정량적인 비교 분석을 통한 희박연소 안정화에 적합한 가스유동장

*정회원, 한양대학교 기계공학과

의 조건과 평가지표 확립에 대한 연구가 요구되어 지고 있다. 본 연구에서는 실용성이 높고 또한 구조가 간단한 버터플라이식의 스윙제어밸브(이하 SCV라고 함)에 의하여 생성되는 스윙과 텀블을 포함한 각종 유동장의 특성을 해석하여, 이러한 유동장들이 희박연소 성능에 미치는 영향을 파악하였다. 이 경우 독자적으로 개발한 각 운동량 측정기(impulse swirl/tumble meter)에 의한 정상상태의 유동평가(steady-state flow test)와 제작한 고성능 LDV를 이용한 크랭크 각도당의 난류강도 측정을 실시하여, 정상상태에서의 스윙·텀블비와 상사점 부근의 난류강도와와의 상관관계를 분석하였다. 또한 연료계의 영향을 배제한 연소성능실험을 통하여 구한 연소특성치(연소기간, 희박연소한계 A/F)에 대한 난류강도의 영향을 명백히 함으로써, 희박 영역에서의 연소 안정화에 요구되어지는 가스유동장의 조건을 정량적으로 파악하였다.

2. 실험장치 및 평가방법

2.1 실험엔진

본 연구의 실험에 사용한 엔진은 펜트루프(pentroof)형의 연소실을 가진 4밸브식 가솔린엔진이며, 주요제원은 Table 1과 같다. Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 흡기포트 형상은 사이아미즈(siamese)형의 좌우대칭이며, 실린더 헤드면으로부터 상류측 6 mm 위치에 버터플라이식의 SCV를 부착하여, 이 SCV의 개구형상을 변화시킴에 따라 유동장의 제어를 실시하였다.

Table 1 Specifications of test engine

Engine		Four-stroke, Four-valve S. I. engine
Bore × Stroke		φ 73 × 86 mm
Displacement		360 cm ³
Compression ratio		9.9
Combustion chamber		Pentroof
Valve Timing	Intake valve	Open : TDC Close : 42° ABDC
	Exhaust valve	Open : 46° BBDC Close : 4° BTDC

2.2 가스유동장의 측정장치

SCV에 의하여 형성되는 유동장의 정상 및 비정상 상태에 있어서의 유동해석을 수행하기 위하여 본 연구에서 개발한 측정장치는 다음과 같다.

2.2.1 각운동량 측정기

텀블유동 해석용 각운동량 측정기의 개략을 Fig. 2에 나타낸다. 본 장치는 제작한 임펄스미터(③)를 텀블리그(②)의 상하위치에 설치하여, 흡기포트로부터 리그에 유입할 때 생성되는 텀블유동의 각운동에너지를 허니콤 디스크(honeycomb disk)에 의하여 전부 흡수하게 함으로써 이때 발생하는 토크량을 검출함에 따라 텀블비를 산출하도록 하였다. 이와 같이 본 실험장치는 텀블리그내에 생성되는 각운동량으로부터 텀블비가 산출되는 방식이므로 유동장에 대한 리그의 형상과 치수의 영향이 중요하다. 본 장치의 경우 실린더에 해당하는 텀블리그의 형상을 T자형으로 제작하였기 때문에 원래의 실린더 형상인 원통형과는 서로 다른 유동특성을 보일 수 있는 가능성이 있으므로 현재 연소실내의 유동장 계산에 널리 이용되는 상용 CFD코드⁽⁶⁾에 의하여 두가지 형상에 대한 유동장을 계산하여 유동장의 형태를 비교한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 유속의 절대값과 흡기밸브 하부에 형성되는 와류(vortex)의 형상이 잘 일치하고 있으므로 T자형의 텀블리그를 사용하여도 무방하다는 사실을 입증하였다. 또한 텀블리그의 형상치수(L, H)가 텀블비에 미치는 영향을 파악하기 위하여 Fig. 2에 나타낸 바와 같은 최적화된 텀블리그 형상에 의한 텀블비를 100%로 하였을 경우, 리그의 높이(H)를 2배와 3배로 확대하였을 때의 텀블비와, 리그의 길이(L)를 1.5배와 2배로 연장하였을 때의 텀블비 측정결과를 Fig. 4에 나타내었다. 텀블비에 대한 리

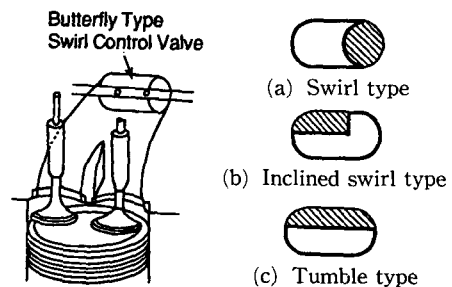
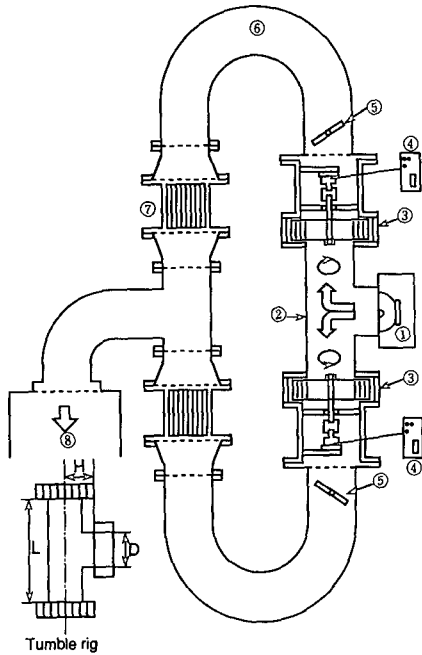


Fig. 1 Configurations of intake port and SCV



1. Test rig:
 - ① Cylinder head
 - ② Tumble rig
 2. Measuring section:
 - ③ Impulse swirl meter
 3. Reading section:
 - ④ Digital readout
 4. Flow controlling section:
 - ⑤ Flow control valve
 - ⑥ Connecting pipe
 - ⑦ Laminar flow meter
 - ⑧ Blower
- D=Bore
 H=22+D/2
 L=1.5D×2

Fig. 2 Schematic of impulse tumble meter

그 형상(L, H)의 영향은 크다는 사실을 알 수 있었고, 길이의 영향보다 높이의 영향이 더욱 현저하다는 사실이 판명 되었다. 특히 이러한 높이 변화의 경우 길이 변화에 비하여 텀블유동의 강약에 따른 텀블비의 감소폭이 매우 커지는 경향을 보이고 있으며 이것은 텀블비의 강도에 따라서 텀블유동의 중심이 변화되고 있다는 사실을 나타내고 있다. 따라서 텀블비가 강한 유동장일수록 텀블리그의 형상 설계가 중요하다는 결론을 얻었다. 한편 스웰유동의 측정시에는 한개의 임펄스미터만을 이용하는 측정시스템으로 변화시켜 스웰비를 측정하였다.

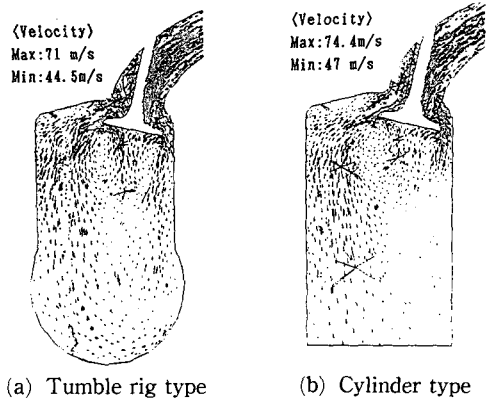


Fig. 3 Comparison of flow field between two different rigs

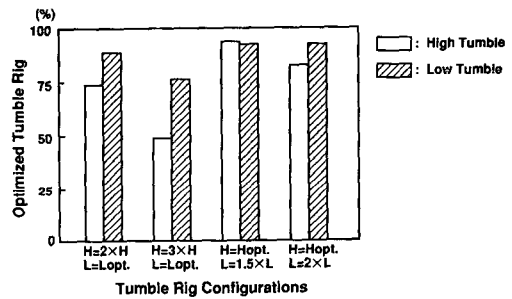


Fig. 4 Effect of tumble rig configurations

2.2.2 회절 격자식 레이저도플러 유속계

흡입행정 중에 생성된 유동장의 압축 상사점까지의 이력을 파악하기 위하여 고성능 LDV (laser doppler velocimeter)를 제작하여 크랭크각도에 따른 유속과 난류강도의 측정을 실시하였다. 본 실험에서는 종래로부터 널리 사용되고 있는 브라그셀 (bragg cell)에 의한 주파수 변이(shift) 방식 대신에 회절격자 방식의 LDV광학계를 채용함으로써 주파수변이에 기인하는 전기적인 노이즈를 제거할 수 있을 뿐만 아니라 빔 분리가 불필요하게 되므로 광학조정이 용이하게 되었다. 이와 같은 특징을 가진 LDV광학계 및 유속 측정시스템을 Fig. 5에 나타낸다. 신호처리장치로는 비교적 저SN비(signal to noise ratio)에 강한 BSA(burst spectrum analyzer, Dantec사 제품)를 사용하였고, 제작한 LDV광학계와의 조합에 의하여 측정 전 구간에서의 유효 데이터 발생률을 20 KHz이상 확보하게 됨에 따라서 크랭크각도 1°당 한개 이상의 유속데이터를 얻을 수가 있었다. 본 연구에서는 저주파수 성분과 고주파수 성분을 분리하기 위한 필터링수단으로서 이동평균법(moving averaged method)을 이

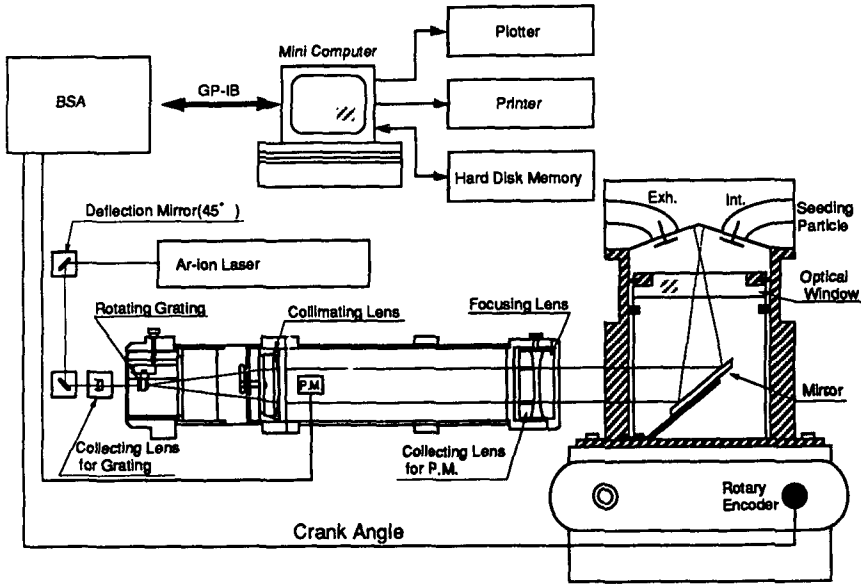


Fig. 5 Layout of LDV system

용하였으며, 이동 평균화 구간은 10°CA를 채용하여 데이터 처리를 하였다.⁽⁷⁾ 또한 산란 입자로는 SAE 규격의 공기청정기 시험용 분말 (SAE fine dust, 평균 입경 0.7 μm)을 사용하였다.⁽⁸⁾

2.3 연소 성능측정방법

본 실험에서는 혼합기 형성을 가능한 한 예혼합 상태로 공급함으로써 연료계의 영향을 배제한 순수 가스 유동과 연소의 관계를 고찰하기 위하여 연료 공급을 SPI(single point injector) 방식으로 하였다. 이 경우 연료의 기화를 촉진시키는 의미로 흡기관과 인젝터 사이에 혼합실을 설치하였고, 혼합실 주위를 온수로 가열하였다. 또한 기주진동 및 전기적인 영향을 최소화하여 보다 정확한 연소 변동률을 측정하기 위하여 피에조식의 압력변환기(7001, Kistler사 제품)를 연소실 벽면에 직접 부착하였고, 이 압력신호를 이용하여 연소해석을 실시하였다. 연소해석에는 400사이클의 데이터를 사용하였으며, 도시 평균 유효압력(imep)의 변동치 4%를 연소 안정화의 한계로 정의하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 SCV에 의하여 형성된 연소실내의 유동 특성 해석

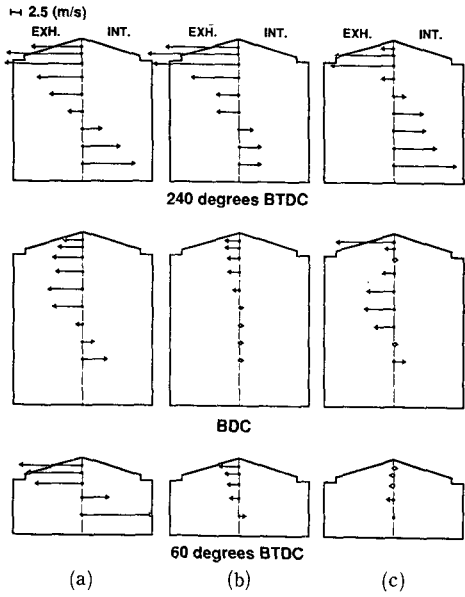
Fig. 1에 나타낸 SCV의 개구형상을 변화시키며

따라 여러 종류의 유동장을 형성하여, 그 중에서 5개의 유동장(스월(강·약), 경사스월, 텀블(강·약))에 대하여 정상상태의 유동 특성을 비교한 결과가 Table 2이다. 여기서, 기준 사양(VI)은 SCV를 부착하지 않은 DOHC 엔진자체의 유동장이다. 이 결과로부터 각운동량 측정기를 사용함으로써 다양한 유동장의 형태가 텀블비와 스월비라는 정상상태의 특성치로 비교될 수 있음을 알 수 있다.

이러한 정량화된 정상유동 특성을 가시적인 형태로 파악하기 위하여 대표적인 3개의 유동장에 대한 유속 패턴을 측정된 결과를 Fig. 6에 나타낸다. 이 결과는 Fig. 7과 같은 실린더 중심축상의 9점에 대

Table 2 Steady-state flow characteristics

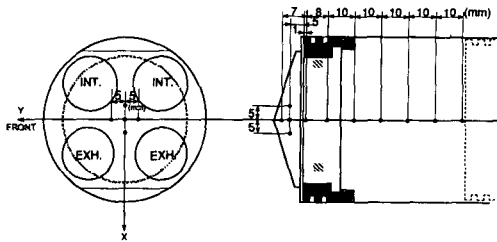
Type no.	Air motion regimes	Mass flow rate(g/s)	Swirl ratio(SR)	Tumble ratio(TR)
I	Low swirl	10.71	0.61	0.76
II	High swirl	10.60	2.28	0.68
III	Inclined swirl	20.56	1.31	1.18
IV	Low tumble	21.62	-	0.95
V	High tumble	22.83	-	1.58
VI	Baseline	59.22	-	0.72



(a) High tumble (type V)
 (b) Base (type VI)
 (c) High swirl (type II)

Fig. 6 Velocity profiles along the cylinder center line (front elevation)

Fig. 7 Measurement locations and operating conditions



Engine speed	1400 rpm
Charging efficiency	40%
Operating condition	Motoring

하여 LDV측정을 실시한 후, 각각의 크랭크 각 (240° BTDC, BDC, 60° BTDC)에 있어서의 평균 유속 분포를 비교한 것이다. 강한 텀블유동(a)과 기준(b)의 경우, 흡기밸브의 최대 리프트시기인 240° BTDC부근에서 큰 텀블유동이 생성되고 있으며, 와의 중심부보다 하부에서의 유속성분이 (a)가 (b)보다 크다는 사실로부터 연소실 전역에 걸쳐서 큰 텀블유동이 생성되고 있음을 추측할 수 있다. 이 텀블유동은 (a)의 경우 하사점(BDC)까지

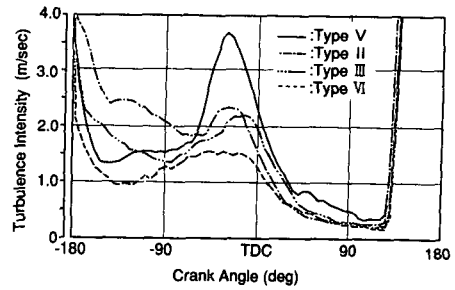


Fig. 8 Variation of spatially averaged turbulence intensity

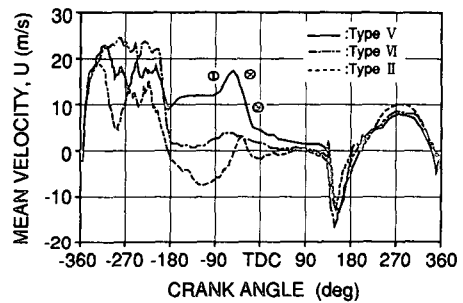


Fig. 9 Moving averaged mean velocities for different flow patterns (X components)

유지되고 있지만, (b)의 경우 거의 소멸되고 만다. 한편, 압축행정 말기(60° BTDC)에 가까워지면 (a)는 텀블유동의 중심이 실린더 헤드쪽으로 이동함과 동시에 (b)에 비하여 텀블유동이 더욱 명백하게 형성되고 있다. 이와 같은 경향과는 대조적으로 강한 스월유동(c)의 경우는 연소실내에 나선상의 선회류가 형성되므로, 이 단면상의 유속 분포만으로는 와의 상태를 예측하기가 어렵다. 이상과 같이 연소실에 형성되는 서로 다른 유동장의 형태가 상사점 부근의 난류강도에 어떠한 영향을 미치는가를 관측한 결과를 Fig. 8에 나타낸다. 여기서 나타낸 난류강도는 사이클 변동과는 분리된 값이며, TDC에서의 피스톤 정점보다 5 mm상면에 위치한 5점의 난류강도를 평균한 값이다. 고 텀블유동(V)의 난류강도는 압축행정 전기에 일단 저하한 후 더욱 증가하여, TDC전 시기에 크게 되는 특징을 나타내고 있다. 이와 같은 난류 재생성 메커니즘을 해명하기 위하여, 재증가 시기를 평균유속 측정결과인 Fig. 9(그림중의 Type V)와 비교하여 보자. 우선, 피스톤의 상승작용에 의하여 텀블유동이 압축되어짐에 따라 정방향의 유속이 재증가

되는 시기(그림중의 ②)에 난류강도는 최대값에 도달한 후, 평균유속과 난류강도는 동시에 감소한다(그림중의 ③). 이러한 현상은 흡입행정중에 생성된 텀블유동내에 보존되어진 운동에너지가 압축 행정 중 다시 증가된 후, TDC에 접근함에 따라 텀블유동의 붕괴와 함께 난류에너지로 변환된다는 논리⁹⁾에 부합되는 결과이다. 이와 같은 텀블유동의 특성과는 대조적으로 고스월유동(Ⅱ)은 압축 행정 중의 난류 감쇠가 작으며, TDC부근까지 그 값이 유지되는 특징을 보이고 있다. 한편 기준(VI)엔진은 압축행정 초기에 거의 감쇠하여 재생성의 비율도 미소하다. 또한 경사 스월유동(Ⅲ)은 압축 행정 전기에 감쇠한 후 다시 증가하지만 증가 비율이 고 텀블유동보다 작은 경향을 나타내고 있다.

3.2 정상상태의 유동 특성과 난류강도와의 상관 해석

제작한 LDV를 이용하여 고텀블유동(V)과 고스월유동(Ⅱ)에 대한 난류 강도의 해석이 가능하게 되었으므로, SCV에 의하여 형성된 다른 유동장에 대하여도 난류강도의 측정을 실시하여 정상유동 실험결과와 얻어진 스월비 및 텀블비와의 상관관계를 구하였다. 그 결과를 Fig. 10에 나타내었고, 여기서 사용한 난류강도는 희박영역(A/F=21)에서의 점화시기에 상응하는 30° BTDC의 측정값이다. 본 실험에서 측정된 범위 내에서는 정상상태의 유동 특성치인 스월비와 텀블비가 클수록 TDC부근의 난류강도가 X, Y 양 성분 모두 증가하고 있으며, 그 증가비율은 텀블유동의 경우가 스월유동보다 크다.

다음은 흡입 공기유량과 난류강도의 양립성을 검토하기 위하여 동일 흡입 유량계수(Cv)에 대한 텀블성분과 난류강도의 관계를 구하여 Fig. 11에 나타내었다. 이 결과로부터 Cv값이 동일한 경우 전 스월비 중 텀블비가 차지하는 비율이 클수록 난류강도가 증가한다는 사실을 알 수 있다. 따라서 난류의 생성과 최대 출력확보의 양립성을 고려해 볼 때 가스유동의 정상유동 특성치인 텀블성분의 증가를 도모하는 것이 유리하다고 여겨진다.

3.3 난류강도와 연소성능의 상관분석

우선 LDV를 이용하여 측정된 난류강도와 연소기간의 상관관계를 구하기 위하여 각유동장에 대한 난류강도(30° BTDC)와 희박영역(A/F=21)에서의

연소기관과의 상관계수(r)을 최소 2승법에 의하여 구한 결과를 Fig. 12에 나타낸다. 초기연소(Ign.~연소질량분율 10%)와 주연소(연소질량분율 10~90%)기간 모두 난류강도와는 높은 상관관계를 보여주고 있다. 즉, 난류강도가 증가될수록 연소기간이 단축된다는 관계가 성립되고 있다. 또한 모든 유동장에 대한 상관계수는 초기 연소기간(r=0.88)보다 주연소기간(r=0.97)과 더욱 강한 상관계수를 나타내고 있으므로, 주연소기간에 대한 난류강도의

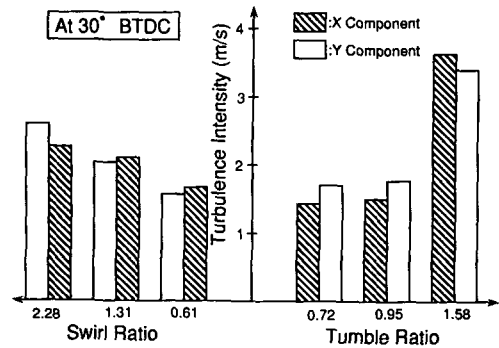


Fig. 10 Correlation between swirl/tumble ratio and turbulence intensity

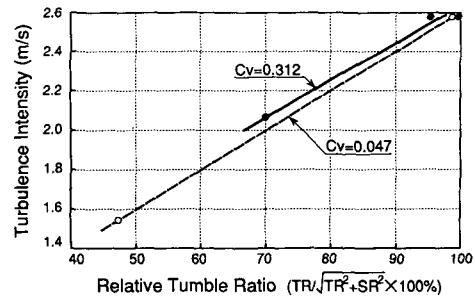


Fig. 11 Correlation between relative tumble ratio and turbulence intensity in the case of same Cv

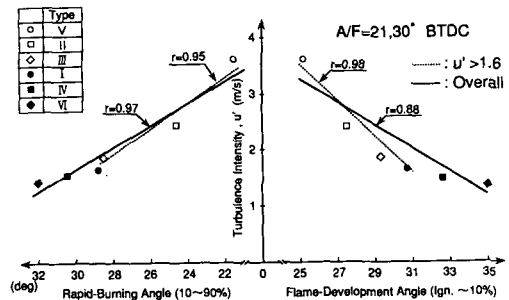


Fig. 12 Correlation between turbulence intensity and combustion duration

영향이 지배적이란 사실을 알 수가 있다. 이러한 경향은 연소속도가 난류강도와 층류화염속도의 합에 비례한다는 난류 연소모델에 기인하는 현상으로서, 난류화염영역으로 천이된 주연소기간에서는 화염전파 속도에 대한 난류강도의 영향이 지배적임을 잘 나타내는 결과이다. 또한 초기연소의 경우 전구간에 대한 상관계수($r=0.88$)보다 고난류장($u' > 1.6$)에 있어서의 상관계수($r=0.98$)가 높은 본 연구결과로부터 연소변동에 큰 영향을 미치는 초기연소기간을 단축시키기 위하여는 고난류 유동장($u' > 1.6$)을 생성시키는 것이 효과적임이 판명되었다.

이와 같이 난류에 의하여 단축된 주연소기간이 희박연소 한계 확대에 어떠한 영향을 미치는가를 파악하기 위하여 SCV에 의하여 더욱 다양한 유동장을 형성시킨 후 주연소기간과 희박연소 한계의 상관관계를 비교한 결과가 Fig. 13이다. 여기서 희박연소 안정한계는 전술한 바와 같이 도시평균 유효압력 (imep) 변동률의 허용한계가 4% 이내로 되는 점으로 정의하였다. 주연소기간이 짧은 유동장일수록 희박연소 한계 A/F가 확장되고 있는 실험결과를 나타내고 있으며, 이러한 결과로부터 예혼합연소의 경우 희박연소 한계 A/F에는 난류강도의 영향이 결정적이란 사실을 명백히 하였다.

3.4 평균유속의 사이클 변동과 희박연소 한계의 관계

Fig. 13의 A/F=22 부근에서 연소기간과의 상관선으로부터 벗어난 세점(a, b, c)이 존재하고 있다. 이러한 이유를 평균유속의 사이클 변동이란 측면에서 고찰하기 위하여 이 세점을 착화성의 관점에서 재정리하여 Fig. 14에 그 결과를 나타내었다. 이것은 A/F=21.5에서의 점화시기 변화에 대한 연소변동률의 특성을 보여주는 결과로서, 점화시기의 지연(retard)측에서는 세점의 연소변동률 차이가 거의 나타나지 않고 있으나, 진각(advanced)측에서는 연소변동률의 악화시기에 현저한 차이가 발생되고 있다. 점화시기를, 진각시키게 되면 피스톤에 의한 압축온도가 저하되기 때문에 일반적으로 착화성이 악화되므로 본 실험결과에 나타난 이 세 점들간의 희박연소 한계 A/F의 차이는 주로 착화성에 기인된다고 판단된다. 이러한 현상을 보다 구체적으로 파악하기 위하여 초기 연소변동과 평균유속의 사이클 변동의 관계를 파악하여 그 결과를 Fig. 15에 나타내었다. 이 결과로부터 알 수 있는 바와 같

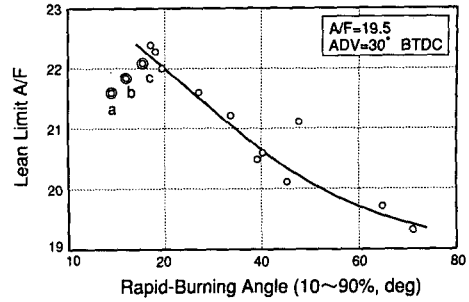


Fig. 13 Correlation between main combustion duration and Lean limit A/F

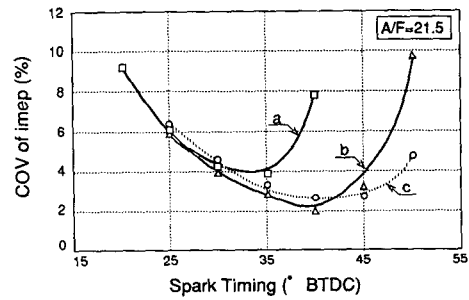


Fig. 14 Characteristics of combustion variation in relation to the spark timing

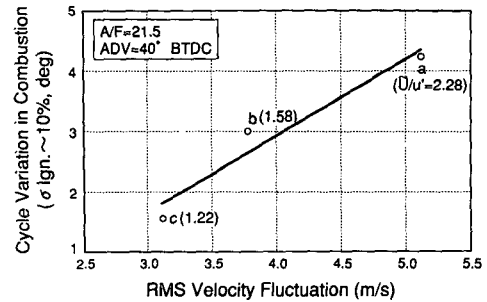


Fig. 15 Correlation between cycle variation of velocity and cycle variation of early combustion duration

이, 희박연소 한계가 확대되지 않는 유동장일수록 초기연소의 변동의 크고, 평균유속의 사이클 변동도 크게 되는 경향을 보이고 있다. 이러한 관계를 정량적으로 파악하기 위하여 평균유속의 사이클 변동치 (\bar{U})를 난류강도(u')로 무차원화(\bar{U}/u')하였다. Fig. 14에서 알 수 있는 바와 같이 희박연소 영역인 A/F=21.5(MBT=45° BTDC)의 운전 영역에서 희박연소 안정화의 한계로 정의한 연소 변동률이 4% 이내로 정의되는 점이 b와 c이므로 b를 희

박연소의 한계점으로 가정하면, 희박연소 한계와의 상관선으로부터 벗어나는 사이클 변동치로서 평균 유속의 사이클 변동치가 3.5 m/s 이하 ($U < 3.5 \text{ m/s}$) 와 무차원 결과가 1.5 이하 ($U/u' < 1.5$) 라는 평가 기준을 얻을 수가 있으며, 이러한 결과로부터 연소기간과 희박연소 안정화에는 평균유속의 사이클 변동이라는 인자가 매우 중요하다는 사실이 판명되었다.

이상과 같은 상관 해석결과로부터 희박연소 안정화에 적합한 가스유동장의 조건으로서 사이클 변동이 적은 고난류 유동장을 형성하는 것이 효과적이라는 사실을 알 수 있다.

4. 결 론

개발한 가스 유동장에 관한 각종 측정방법을 이용하여 SCV에 의하여 형성되는 다양한 유동장의 특성을 해석하고, 정상인 상태의 스웰·텀블비와 비정상상태의 난류강도와와의 상관 및 각각의 희박연소에 대한 영향을 파악한 결과, 다음과 같은 희박연소 안정화에 적합한 가스유동장에 관한 몇 가지 지표를 확립하였다.

(1) 개발한 각운동량 측정기는 정상상태에 있어서의 각종 유동장의 정량화 도구로서 충분히 활용 가능하다.

(2) 회절격자식 LDV를 이용함으로써 사이클 변동과 분리된 난류강도의 측정이 가능하게 되었다.

(3) 텀블성분을 많이 포함하는 유동장이 스웰성분의 유동장보다 난류생성과 흡입공기량 확보의 양립성이 우수하다.

(4) 난류강도의 생성과 소멸과정은 유동장의 형태에 따라서 서로 다른 특성을 보이며, 난류의 재생성시기는 텀블유동이 급격히 감쇠하는 시기와 일치한다.

(5) 희박연소 안정화를 촉진시키는 가스유동장의 조건으로는 다음과 같은 2가지 인자가 요구되어진다.

① 난류강도가 클 것(텀블성분의 비율이 클 것).

② 평균유속의 사이클 변동이 적을 것(본 실험에서는 U 가 3.5 m/s 이하, U/u' 가 1.5 이하 정도).

후 기

본 논문은 한국과학재단의 특정연구과제(과제번호 : 93-06-00-03) 연구비에 의해 이루어진 연구

결과와 일부로써, 관계기관에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- (1) Lee, K. H., Ohira, T., Nakajima, T. and Matsumoto, R. 1990, "Measurement of Gas Flow Velocity in the Combustion Chamber of a Two-stroke S. I. Engine by a Laser Doppler Velocimeter," *JSME International Journal, Series II*, Vol. 33, No. 1, pp. 163~170.
- (2) Furuno, S., Iguchi, S., Oishi, K. and Inoue, T., 1990, "The Effects of Inclination Angle of Swirl Axis on Turbulence Characteristics in a 4-Valve Lean-Burn Engine with SCV," *COMODIA 90*, pp. 437~442.
- (3) Obokata, T., Hasimoto, S., and Kurabayashi, T., 1992, "LDA Characterization of Gas Flow in a Combustion Chamber of a Four-stroke S. I. Engine," *SAE Paper 920519*.
- (4) Max, E., 1983, "Measurement of Turbulent Flow in Engines Using a Laser Doppler Anemometer," *Int. J. of Vehicle Design*, Vol. 4, No. 2, pp. 221~225.
- (5) Cole, J. B. and Swords, M. D., 1981, "On the Correlation Between Gas Velocity and Combustion Pressure Fluctuations in a S. I. Engine," *Eighteenth Symposium on Combustion*, pp. 1837~1846.
- (6) 木村, 丸山, 李, 高木, 1992, "汎用CFDコードのポート系定常流特性豫測への應用", 日本自動車技術會講演集, Vol. I, No. 921, pp. 171~174.
- (7) 小大田, 漆原, 伊東, 高木, 1991, "四弁機關燃燒室內のサイクルごとの亂れ強さ計測", 日本自動車技術會論文集, Vol. 22, No. 1, 27~32.
- (8) 이기형, 이창식, 1994, "엔진내의 유동장해석을 위한 최근의 광응용 계측기술," 대한기계학회지, Vol. 22, No. 1, pp. 27~32.
- (9) Boer, C. D., Johnes, R. J. R., Grigg, D. W. and Train, B. M., 1990, "Refinement with Performance and Economy for Four-Valve Automotive Engines," *IMEch E, C394/053*, pp. 147~155.