

<논 문> SAE NO. 96370076

## 희박연소기관의 혼합기형성 및 연소특성에 관한 연구

### A Study on the Mixture Formation and Combustion Characteristics in Lean Burn Engine

이 창 식\*, 서 영 호\*\*, 조 행 복\*\*, 김 현 정\*\*\*  
C. S. Lee, Y. H. Seo, H. M. Cho, H. J. Kim

#### ABSTRACT

In order to decrease fuel consumption rate and emissions, lean burn engine which has equipped swirl control valve, is investigated experimentally on the test bench. Single cylinder engine was used to test the combustion and emission performance with 4 kinds of swirl valve. Decrease in the carbon monoxide, hydrocarbon and specific fuel consumption was shown at the lean condition, which means that a good choice of swirl valve on the given intake port geometry can be used to increase the combustion efficiency and lean limit.

주요기술용어 : Lean Burn(희박 연소), Swirl Control Valve(스윙 조절 밸브), Air-Fuel Ratio(공기 연료비), Coefficient of Variation(변동 계수)

#### 1. 서 론

최근 급속한 산업, 경제의 발전에 따른 각종 차량의 증가는 유해 배출 가스량을 증가시켜 심각한 환경오염문제를 일으키고 있다. 이러한 배출가스 저감과 연비 향상을 동시에 만족시키기 위한 연구의 일환으로 희박 연소 엔진의 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.

희박 연소 성능을 향상시키기 위하여는 연료의

분무를 미립화시키는 방식<sup>2)</sup>, 점화 플러그에서 방전 에너지의 양을 증가시켜 실화 원인을 제거하기 위한 고에너지 점화 방식, 또는 기관의 흡기계의 형상을 변형시켜 스윙(swirl)이나 텀블(tumble) 등의 유동을 실린더 내에 생성시키는 흡기 유동장 강화<sup>3)</sup>와 평균적으로는 희박 혼합기이지만 혼합기 공급시에 점화 플러그 주위는 농후한 혼합기가, 먼 영역에는 희박 혼합기가 공급되도록 하는 성층화 방식<sup>4)</sup> 등이 적용되고 있다.

본 연구에서는 희박 영역의 기관 연소에서의 연비 및 배기 가스를 저감시키기 위한 방법의 일환으로서 흡기 유동장 강화에 주안을 두어 연구하였다. 먼저 단기통 기관을 제작하여 공연비 변

\* 정회원, 한양대학교 기계공학과

\*\* 정회원, 한양대학교 대학원

\*\*\* 대우자동차(주) 기술연구소

화에 대한 기본 성능 실험을 하였고, 정상류 실험을 통하여 비교적 스윙 및 텀블비가 높은 몇가지 형태의 적절한 스윙 조절 밸브를 선정하였다. 선정된 스윙 조절 밸브를 단기통 기관의 흡기 매니폴드와 흡기 포트 중간에 장착한 후 중저속 부하상태에서의 기관 성능 및 배기 성능, 연료소비율, 회박 한계 등에 미치는 영향을 실험적으로 규명하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

본 연구에서는 기존의 다기통 기관에서 발생하는 실린더 사이의 흡기 및 연소 변동, 매니폴드 형상에 따른 분배 차이 등의 영향을 제거하기 위하여 토크 변동을 극소화한 실험용 단기통 기관을 제작하였으며, 기관의 주요 제원은 Table 1 과 같다.

공연비 조절은 기화기에서 분무되는 연료의 양이 기화기를 통과하는 양에 비례하는 점에 착안하여 기화기 바로 아래 부분의 흡기 매니폴드에 바이패스 통로를 만들어 실린더로 유입되는 공기의 일부를 기화기를 거치지 않고 직접 흡기 매니폴드에 유입되게 하였다. 아울러 바이패스 통로에 밸브를 설치하여 바이패스되는 공기량을 조절

함으로써 공연비를 변화시켰다. 한편 회박 영역 운전에 대한 점화 진각을 MBT로 설정하기 위하여 흡기관 부압과 연결되는 진공진각장치에 밸브를 연결하여 부압을 조절할 수 있도록 하였다.

기관의 성능을 측정하기 위한 실험 장치는 실험 기관, 동력계, 연료 소비율 측정 장치, 배기가스 분석 장치, 고압 압력 변환기, A/D 변환기, 크랭크각 검출기, PC 등으로 구성하였다. Fig.1은 실험 장치의 개략도를 나타낸 것이다.

회박 영역에서의 흡입혼합기의 유동장 강화에 의한 연소 효율을 향상시키기 위하여 다양한 형태의 스윙 조절 밸브를 제작하고, 먼저 정상류 실험을 수행하여 스윙비 및 텀블비를 측정하였다. 정상류 실험 장치의 개략도는 Fig.2와 같으

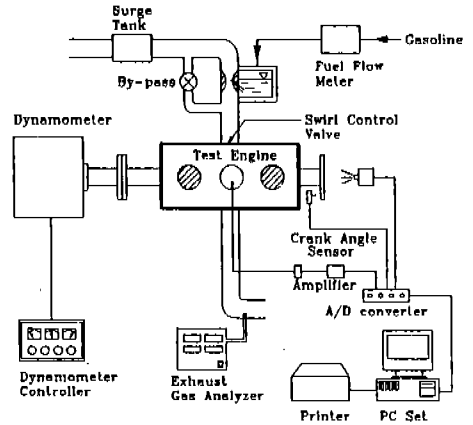


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specifications of test engine

Item	Specification	
Engine type	Water - cooled caburetor type gasoline engine (SOHC)	
Displacement Volume(cc)	265.3	
Bore×Stroke(mm)	68.5×72.0	
Number of Cylinder	1	
Compression Ratio	9.3 : 1	
Valve Timing	IVO	BTDC 12°
	IVC	ABDC 36°
	EVO	BBDC 46°
	EVC	ATDC 10°

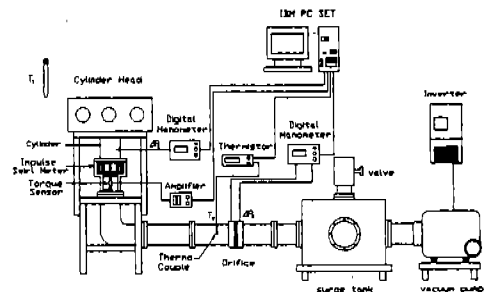


Fig.2 Schematic diagram of steady flow apparatus

며, 스윙 조절 밸브는 개구율을 30%, 50%, 70%로 변화시키면서 각각에 대하여 수평, 수직 및 45° 경사진 방향으로 총 24가지의 형태로 실험하였다.

## 2.2 실험 조건 및 방법

본 연구를 위하여 제작한 단기통 기관의 기본 성능을 알아보기 위해 부하를 스로틀 전개, 1/2, 1/4개도로 변화시켜 가면서 실험하였다. 또한 각 스로틀 개도마다 바이패스 밸브를 조절하여 공연비를 14에서 24까지 변화시켜 보았다.

정상류 실험에서는 정상류 실험 장치를 이용하여 여러가지 스윙 조절 밸브 형태에 대한 흡입 유량(차압)과 흡입시의 공기의 각운동량을 각각 오리피스 미터와 토크미터를 사용하여 측정하였다. 실험시 밸브 양정은 3가지로 조절하였으며, 제작한 단기통 기관의 실린더 헤드를 장착하고 실제 운전 상태와 흡사한 실린더 내의 흡입 차압을 설정, 일정하게 유지되도록 하였다. 흡입 유량은 오리피스 유량계를 이용하였으며, 각운동량 측정은 스윙 및 텀블 측정장치를 부착하여 유동 상태에서 횡방향 유동과 종방향 흐름의 각운동량을 측정하였다. 정상류 실험을 통하여 선정된 스윙 조절 밸브 형태는 Fig.3과 같으며 여기서 빗금친 부분은 흡기관에서 실린더쪽으로 향하여 설

치된 밸브를 나타낸 것이다.

스윙 조절 밸브 장착 기관의 실험에서 회박 연소는 기관이 전부하 상태이거나 공회전, 가속시에는 적용되지 않고 정속 중부하 운전 상태에 적용함을 주 목적으로 하기 때문에 기관의 회전 속도 및 축토크가 각각 2,000rpm, 10Nm인 상태를 기관의 부분 부하 상태로 취하여 실험하였다. 이 상태에서 바이패스 밸브를 사용하여 공연비를 14에서 24까지 변화시키고 각 공연비마다 스파크 타이밍을 진각시키면서 MBT를 결정하였다. 또한 공연비 변화에 따라 정상류 실험에서 선정된 스윙 조절 밸브를 장착하여 유동장 강화를 시킨 경우와 장착하지 않은 경우에 대해서 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO), 산소(O<sub>2</sub>), 탄화수소(HC)의 조성 및 연료 소비율을 측정하였다.

또한 실린더 내의 압력 신호를 분석하여 각 사이클에 대한 평균 유효 압력 및 최고 압력을 계산하고 이에 대한 변동 계수(COV)를 산출하여 연소 안정성을 비교하였다. 이를 위하여는 각 실험 조건에 대하여 160 사이클의 연속적인 압력을 기록하여 사이클 변동을 조사하였으며, 압력 등의 대표값은 크랭크 각도 0.5° 마다 저장하여 이를 1° 간격으로 160사이클의 평균값을 구하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

Fig.4는 본 실험에서 제작한 단기통 기관의 기본 성능을 나타낸 것이다. 실험 조건은 WOT 상태에서 냉각수온을 75°C로 일정하게 유지한 경우이며, 이 때의 최고 토크는 2000rpm에서 약 21Nm정도로 나타났다.

흡입 유동장 강화를 위하여 기관의 흡기 포트에 설치한 SCV는 스윙 및 텀블 각각에 대한 정상류 실험을 통하여 앞에서 설명한 바와 같이 비교적 스윙비가 높은 4가지 형태를 선정하였는데, 본 실험에서 사용된 기관의 흡기 포트의 형태에 대하여는 Table 2.에서 나타나는 바와 같이 텀블 보다는 스윙이 우세하게 나타났으며, 특히 흡입 단면에 대하여 좌측 하단을 막는 방향으로 밸브를 설치하는 것이 전반적으로 높게 보였다.

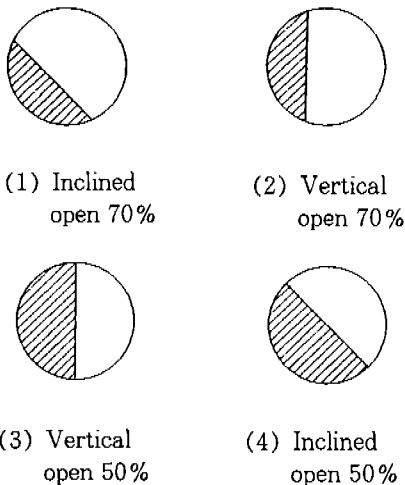


Fig.3 Types of swirl control valve

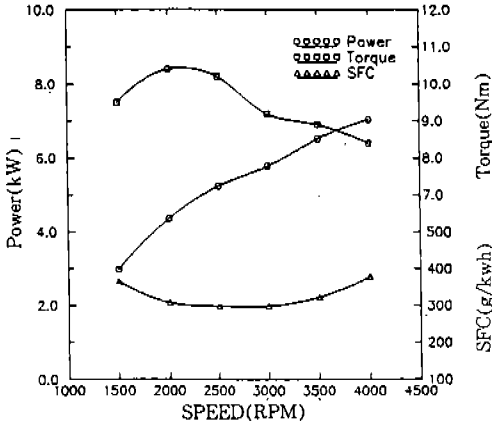


Fig.4 Performance characteristics of test engine

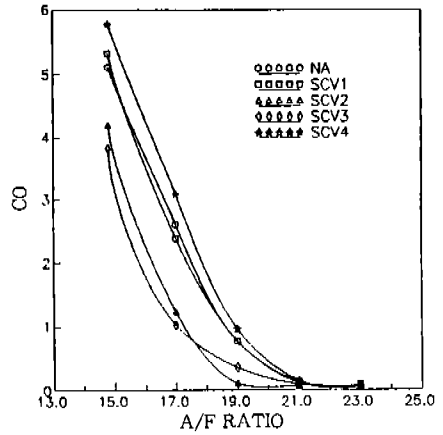


Fig.6 Effect of SCV on the variations of CO concentration

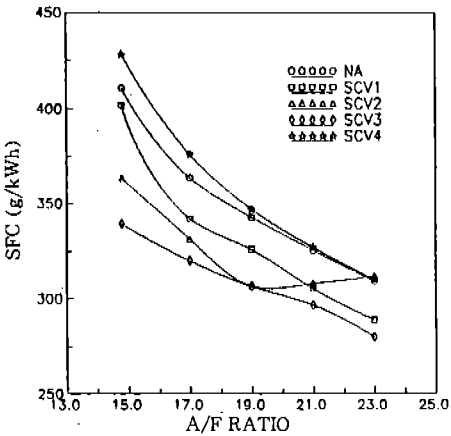


Fig.5 Effect of SCV on the fuel consumption rate

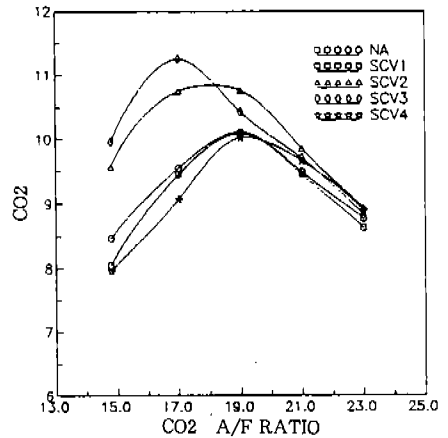


Fig.7 Effect of SCV on the variations of CO<sub>2</sub> concentration

Table 2 Swirl and tumble ratio of SCV

	Swirl No.	Swirl Ratio	Tumble No.	Tumble Ratio
Without SCV	0.6353	1.0000	1.2989	1.0000
SCV 1	0.6811	1.0720	1.6451	1.2665
SCV 2	1.0691	1.6828	1.5439	1.1887
SCV 3	1.5707	2.4724	1.7602	1.3552
SCV 4	1.2733	2.0042	1.2233	0.9418

앞에서 선정한 4가지 형태의 스윙 조절 밸브를 장착하여 기관을 회전수 및 토크를 일정한 조건에서 공기 연료비의 변화에 따라 연료 소비율을 측정하고 결과를 스윙 조절 밸브를 장착하지 않은 상태에서 얻은 결과와 비교하여 Fig.5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 4번 밸브를 제외한 모든 형태에 대하여 비교적 연비가 향상됨을 알 수 있다. 특히 2번 밸브의 경우 공기 연료비가 증가함에 따라 연료 소비율은 감소하다가 오히려 증가하는데 이것은 스윙 조절 밸브에 의

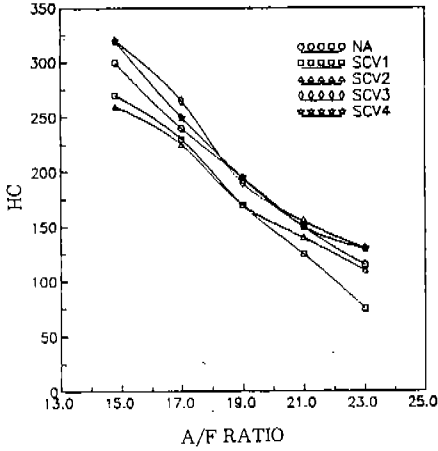


Fig.8 Effect of SCV on the variations of HC concentration

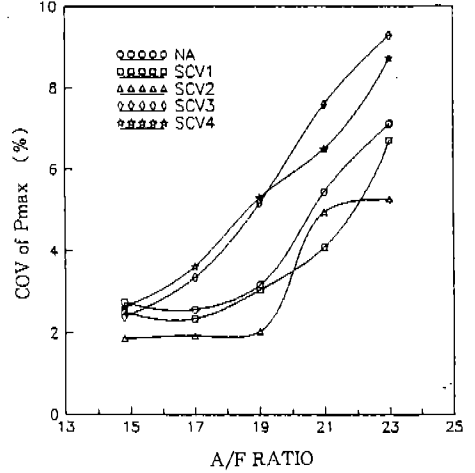


Fig.10 Effect of SCV on the COV of P<sub>max</sub>

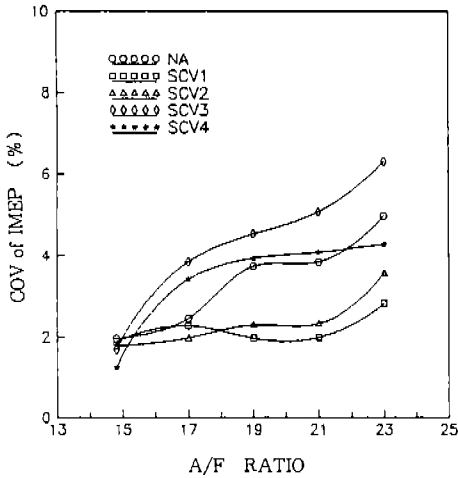


Fig.9 Effect of SCV on the COV of imep

한 유동장의 지나친 변동에 의한 연소 상태의 부족화가 그 원인인 것으로 판단된다.

또한 같은 조건에 대하여 기관의 운전중에 배출되는 배기 가스를 분석한 결과로부터 얻은 CO, CO<sub>2</sub>, HC의 변화를 각각 Fig.6, 7, 8에 도시하였다. 유해 배출 가스 저감을 위하여 주요 관심사가 되고 있는 CO, HC에 대하여 살펴보면, CO의 경우 초회박 영역에서는 그다지 차이가 적으나 전반적으로 2번 및 3번 밸브를 장착한 경우가 스윙 조절 밸브가 없는 경우에 비하여 비교

적 낮게 나타나고 있다. 또한 HC의 경우에는 1번과 2번 밸브의 경우가 유해 탄화수소의 배출이 두드러지게 줄어들고 있음을 알 수 있다.

위의 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 연료 소비율 및 유해 배기 가스의 전반적인 감소를 얻는 스윙 조절 밸브를 선정하기는 쉽지 않으며, 그러한 밸브의 형상(개구율 및 개구방향)도 적용하고자 하는 기관의 흡기 포트의 형상에 따라 상당히 변화할 것으로 예상된다. 그러나 연비 및 배출가스에 대하여 비교적 유리한 스윙 조절 밸브의 선정은 가능하며, 특히 본 연구의 경우 1번 밸브의 형태가 대표적인 예로서 스윙 조절 밸브를 장착하지 않은 경우에 비하여 전반적으로 양호한 결과를 얻고 있다.

회박 영역에 대하여 각 사이클 간의 연소 변동을 판단하고 이로부터 연소 안정성을 확인하기 위하여 각각의 스윙 조절 밸브를 장착한 경우에 대하여 평균 유효 압력 및 연소 최고 압력에 대한 변동 계수(COV)를 측정하여 결과를 각각 Fig. 9, 10에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 평균 유효 압력 및 연소 최고 압력에 대한 변동 계수는 두가지 모두 유사한 경향을 나타내고 있으며, 특히 개구율이 상대적으로 큰 1번 및 2번의 스윙 조절 밸브에 대하여 상당히 안정된 연소와 아울러 회박 한계도 상승되고 있음을 알 수 있다.

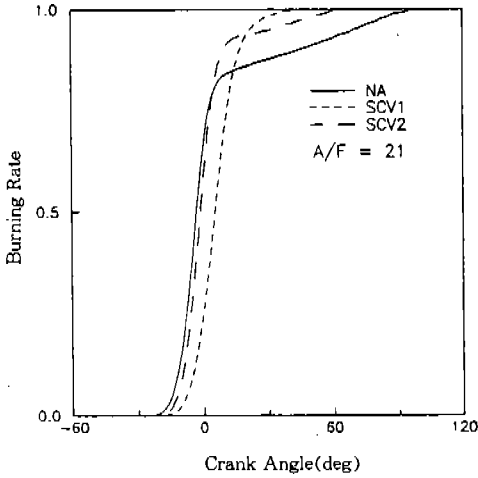


Fig.11 Effect of SCV on the burning rate

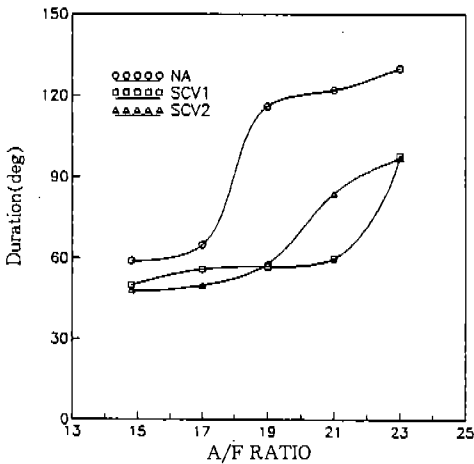


Fig.12 Effect of SCV on the combustion duration

끝으로 위의 결과에서 비교적 높은 연소 안정성을 보이고 있는 1, 2번 밸브를 장착한 경우와 스윙 조절 밸브를 장착하지 않은 경우에 대한 연소 변동 및 연소 기간을 공연비가 21인 경우를 비교하여 Fig.11, 12에 각각 나타내었다. 연소변동율의 경우 주연소 기간에 있어서는 별다른 차이가 나타나지 않으며 초기의 연소 지연 기간이 오히려 길어짐을 알 수 있다. 이는 스윙 조절 밸브를 장착한 경우에 초기 화염 형성을 위한 점화 플러그 주위의 혼합기 상태가 부분적으로 희

박하게 된 것이 원인으로 판단된다. 그러나 연소 후반부에서는 스윙 조절 밸브를 장착한 경우 상당히 연소 기간이 줄어들고 아울러 완전 연소에 가까워 짐을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

가솔린 기관의 회박 영역 연소에 대하여 연료 소비율 및 유해 배출 가스 저감을 위하여 스윙 조절 밸브를 장착하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구에서 사용된 기관의 흡기 포트 형상에 대한 정상류 실험을 통하여 흡기 포트의 좌측 하단으로 공기 유동 방향을 전향하는 형태의 스윙 조절 밸브가 스윙 및 텀블 향상에 유효하게 작용함이 확인되었다.
- 2) 선정된 4가지 형태의 스윙 조절 밸브에 대한 기관의 연소 실험을 통하여, 특정 스윙 조절 밸브에 대하여 연료 소비율 및 유해 배기 가스를 저감시키는 효과를 얻을 수 있었다.
- 3) 스윙 조절 밸브를 적용하여 실린더 내로 유입하는 혼합기류의 스윙 효과를 증진시킴에 따라 기관의 연료 소비율, 일산화탄소, 탄화수소 농도의 저감 효과는 있으나 적절한 형태를 구하기 위하여는 적용하고자 하는 기관의 체원 및 흡기 포트의 형상에 따라 크게 영향을 받게 될 것으로 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단의 특정기초 연구지원에 의하여 이루어진 것의 일부로서 연구를 지원하여 주신 관계 제위에게 감사드리는 바입니다.

#### 참 고 문 헌

1. Aparicio J. Gomez and Paul E. Reinke, "Lean burn : A Review of Incentives,

- Methods, and Tradeoffs”, SAE Paper No. 880291, 1988.
2. Kazumitsu Kobayashi and Seiji Shiga, “Effect of Fuel Atomization at a Fuel Supply System on the Lean Burn Characteristics in a Spark-Ignition Engine”, SAE Paper No. 910568, 1991.
  3. R. L. Evans, “Combustion Chamber Design for a Lean-Burn S. I. Engine”, SAE Paper No. 921545, 1992.
  4. S. Matsushita, T. Inoue, K. Nakanishi, N. Kobayashi, “Development of Toyota Lean Combustion System”, SAE Paper No. 850044, 1985.