

〈論 文〉

다기통 전기점화기관의 균질혼합기 공급에 관한 연구 — 연소특성에 미치는 영향 —

김물시* · 진성호** · 이용길*** · 박경석****
(1994년 4월 4일 접수)

A Study on Homogeneous Mixture Supply in a Multi-Cylinder Spark Ignition Engine — Effect on Combustion Characteristics —

Mul-Shi Kim, Seong-Ho Jin, Yong-Gil Lee and Kyoung-Suk Park

Key Words : Engine Performance(기관성능), Mixture Distribution(혼합기분배), Mixture Variation(혼합기변동), Fuel Liquid Film(연료액막), Combustion Characteristics(연소특성)

Abstract

In an automotive spark ignition engine, it is important to form the proper mixture (air/fuel) on each driving condition for developing the stabilizing combustion and exhaust characteristics. Since most of supply fuel is attached on the inside wall of the intake manifold for unadequate atomization by fuel injection system, it brings a bad effect on combustion and exhaust caused by nonuniformity of fuel distribution to each cylinder and mixture variation. Also it affects engine performance variation and causes noises and vibration. In this study, we verified the effect of the mixture variation which is caused by fuel liquid film in the intake manifold on combustion characteristics and engine performance.

1. 서 론

자동차용 기화기불이 또는 단점 연료분사(SPI : single point injection) 전기점화기관의 안정된 연소와 배기특성을 개선하기 위해서는 각 운전상태에 따른 균일한 혼합기의 공급이 중요하다. 그러나 전기점화기관의 연료로 사용되는 가솔린은 여러가지 비점성분의 액상탄화수소로 되어 있기 때문에 질

적·양적으로 각 실린더에 균등하게 분배하기는 어려우며, 흡입공기도 각 실린더간의 흡기간섭, 잔류가스 등의 영향을 받아서 불균일하게 분배된다. 반면에 기화기 및 단점 연료분사장치는 공급연료의 미립화가 불충분하기 때문에 공급연료의 대부분이 흡기관의 내벽에 부착되어 혼합기의 균일한 형성을 저해하고 있는 것으로 보고되고 있다.^(1,2)

이러한 각 실린더에 대한 공기와 연료의 분배는 사이클마다 변하기 때문에 실린더사이의 연료분배의 불균일, 공연비의 변동 등 연소와 배기대체상 지극히 나쁜 현상을 초래함과 동시에 실린더내의 압력변화에 의한 출력의 불균일, 소음 및 진동의 원인이 되고 있다고 본다.^(3,4)

*정회원, 대우자동차(주)

**경희대학교 대학원 기계공학과

***정회원, 교통안전공단

****정회원, 경희대학교 기계공학과

이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 각 실린더로 공급되는 혼합기의 균일성을 높임과 동시에 연료분사장치에서 분출되는 연료유량, 연료의 분무상태, 흡기관내를 부유하는 연료의 액적과 흡기관의 내벽을 따라 흐르는 액막연료의 증발 및 거동을 명확히 파악하여 정상운전시는 물론 과도 운전시에도 적당한 혼합기를 실린더내로 공급할 필요가 있다고 보고되고 있다.^(5~8)

그러나 흡기관내의 연료거동은 연료분사장치에 의한 공급연료의 미립화에 좌우되고, 또 단점 연료분사장치와 흡기관의 조합에 따라 복잡하게 변하는 것으로서 흡기관내의 벽면부착유에 관한 미해결점이 많이 있으나 흡기관내의 연료액막유에 관한 연구는 그의 중요성에 비해서 매우 저조한 실정이다.

이상에서 알아본 바와 같이 전기점화기관의 내벽에 부착된 액막연료 및 흡기관내를 부유하는 연료액적에 관해서는 이미 그 현상이 연구되고 있지만, 그 현상의 복잡성과 측정의 곤란때문에 흡기관내의 부유액적 및 액막유동이 연소과정과 혼합비차에 의한 출력변동에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 없다. 특히 국내연구의 경우는 액막분리기에 의한 액막유량의 실측과 거동의 관찰⁽⁹⁾ 등이 행해지고 있는 정도이다.

따라서 본 연구에서는 4행정 다기통 기화기불이 전기점화기관을 사용하여 각 실린더의 사이마다 발생하는 혼합비변동의 원인과 흡기관내에서 관벽을 따라 유동하는 연료분무중의 액막유동을 고찰하고, 연소상태를 파악하기 위해 지압정보량의 해석을 기

초로 하는 연소해석장치를 도입하여 혼합비의 변동에 따른 연소특성 및 출력변화에 대한 상세한 해석을 하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 혼합기 균질분배특성 실험장치 및 방법

Fig. 1은 본 실험에서 제작사용한 혼합기 균질분배특성을 고찰하기 위한 액막분리 실험장치의 개요도이다. 본 실험에서는 각 실린더로 유입되는 연료액막유량의 불균일을 관찰하기 위하여 상용 가솔린 엔진을 연소시키지 않은 상태에서 모터링(motoring)만을 행하여 엔진에 연료가 유입되도록 하고 흡기다기관 말단부와 엔진사이에서 연료액막 분리장치를 설치하여 액막연료를 채취하였다. Fig. 2에 엔진에 장착된 연료액막 분리장치를 도시하였다. 흡기관벽에 부착되어 흐르는 연료액막은 액막분리장치의 12mm 틈새를 통하여 밑부분에 모여지고 이것을 매스실린더로 채취하여 연료액막유량을 측정하였다. 실험엔진을 모터링하기 위하여 동력원으로 속도를 변환시킬수 있는 최대마력 30 PS의 가변속도모터를 사용하였고, 흡기관내 압력을 측정하기 위하여 -15.6 pC/bar인 고감도의 압전형 압력 센서를 사용하였으며, 흡기관 끝에서 각각 3.5 cm 떨어진 곳에서 압력을 측정하였다.

2.2 기관성능 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 기관성능 실험장치의 구성은

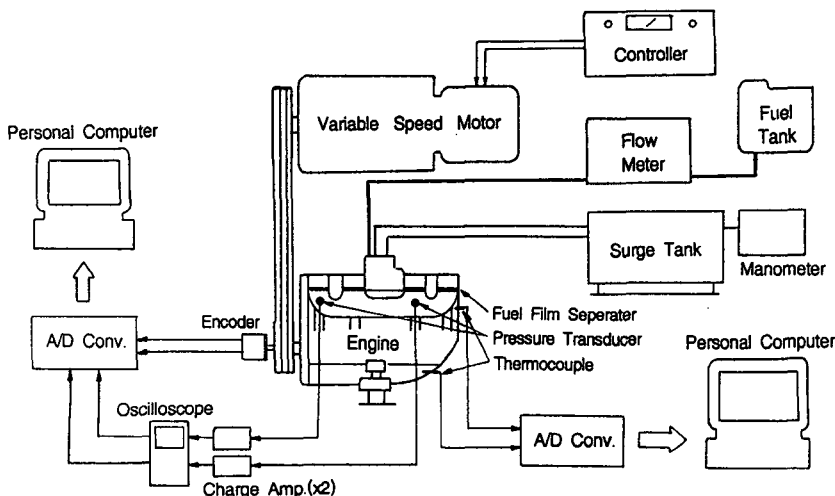


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 3과 같다. 실험은 본 실험실에 장치되어 있는 엔진성능 시험장치를 사용하였고, 사용된 기관은 4기통 4행정 가솔린기관. 기화는 2단 2연 기화기이고, 동력계는 와전류식 전기동력계를 사용하였다.

내연기관의 실린더내 연소는 그 진행속도가 고속이므로 해석장치는 짧은 시간내에 충분한 실험데이터를 얻기 위하여 초고속의 응답속도와 정확한 데이터처리 능력을 갖추어야 한다. 본 연구에서는 고속의 처리능력을 갖는 12비트 A/D변환기와 32비트 마이크로컴퓨터 그리고 로터리엔코더(rotary encoder)를 사용하여 연소해석 시스템의 하드웨어를 구성하였다. 압력측정의 센서로는 점화플러그형 어댑터(adater)에 연결된 압력 변환기(KISTLER 제 Model 6001)를 사용하여 실린더내 압력을 전기적인 신호로 검출하고, 증폭기에서 증폭시킨 후 오실로스코프를 통하여 정상적인 연소가 이루어짐을 확인하였다. 이 정상연소 상태에서 로터리엔코더에서 발생하는 원점신호를 상사점과 일치시켜 A/D변환기의 시작신호로 하고 엔코더의 1°마다의 신호를

동기신호로 하여 압력값을 샘플링하였다.

본 연구에서는 4기통 기관에서 1번과 3번 실린더의 압력값을 연속적인 100사이클 분량의 데이터를 평균하여 측정데이터로 사용하였다. 평균된 1사이클의 평균압력값은 연소해석 프로그램에 의해 계산된 $P-\theta$ 선도, 압력상승률 선도, 열발생률 선도, 적산열발생량 선도, 질량연소율 선도 등의 연소특성치를 데이터와 그래프로 일괄 처리하였다.

2.3 실험조건

본 연구에서는 아이들링(약 850 rpm)시 뿐만 아니라 스로틀개도(throttle opening degree) 20%, 40%, 60%, 80%, W.O.T.(wide open throttle)에 대하여 기관회전수를 각각 1500 rpm, 2000 rpm, 3000 rpm으로 변화시키면서 이에 따른 실린더내 연소특성을 해석하였고, 또한 점화시기는 MBT(maximum break torque) 조건으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 다기관 균질분배도

Fig. 4는 스로틀밸브개도를 40%, 60%, 80%, W.O.T.로 변화시키고 엔진회전수를 2000 rpm으로 하여 각 실린더로 들어가는 연료액막유량의 값을 흡기다기관의 말단부분에 부착한 액막분리장치로 채취하여 값을 무차원화하여 도시한 것이다. 여기서 Q_{imean} 은 각 흡기관내의 액막량을 평균한 값이고 Q_i 는 각 흡기관내의 연료액막량을 표시한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 1번, 4번 흡기관내에서 보다 2번, 3번 흡기다기관내에서 연료액막이 상대적으로 많이 생성되었다. 이와 같이 각

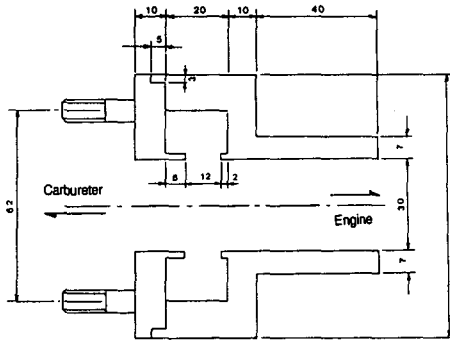


Fig. 2 Schematic view of a fuel film separator

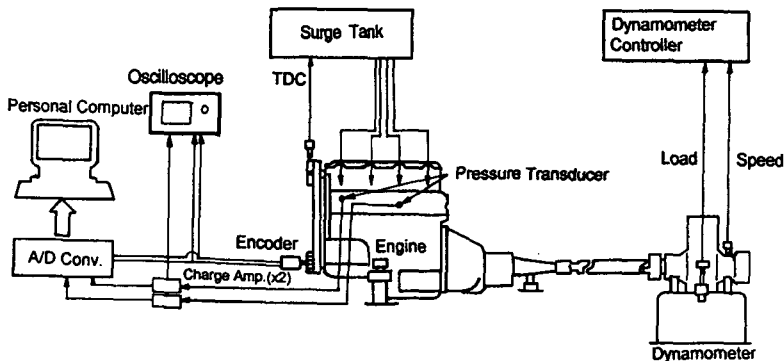


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

다기관별로 연료액막량의 차이가 생기는 이유는 Fig. 5의 흡기관내 압력선도와 같이 1번 흡기관의 압력과 3번 흡기관의 압력값이 흡입간섭 및 흡기관 형상의 차이로 인하여 동일한 스토틀개도에서 서로 차이가 발생하고 있는 것이 그 원인인 것으로 사료 된다.

3.2 연소압력에 미치는 영향

Fig. 6과 Fig. 7은 기관의 각 크랭크각에 대한 1번실린더와 3번 실린더내의 평균압력을 엔진회전수 2000 rpm, 스토틀밸브개도 40%, 60%, 80%, WOT인 경우에 대하여 도시한 것이다.

그림에서 알수 있는 바와 같이 동일한 실험조건

하에서 스토틀밸브개도가 40%인 경우는 1번 실린더보다 3번 실린더의 최고 연소압력이 약 10 bar정도 더 높게 나타나고 있으며, 스토틀밸브개도가 60%인 경우에는 1번 실린더보다 3번 실린더의 최고 연소압력이 약 5~10 bar정도 더 높게 나타나고 있다. 그러나 스토틀밸브개도가 80% 이상인 경우에는 다시 1번 실린더와 3번 실린더의 최고 연소압력의 차이가 줄어들고 있음을 알 수 있었다.

이와 같이 스토틀밸브개도에 따라 실린더내의 최고 연소압력차가 발생하는 이유는 흡입간섭과 흡기관 길이의 차이로 인하여 실린더간에 흡입압력 차

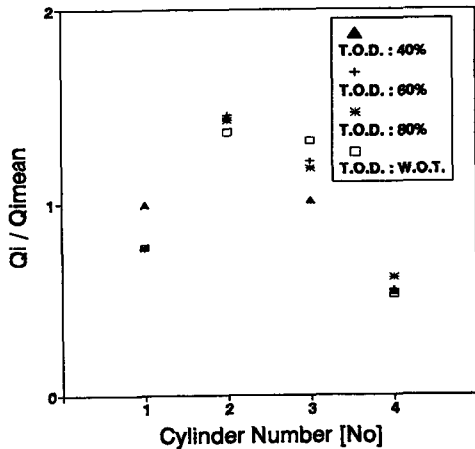


Fig. 4 Fuel film variation versus cylinder number at engine speed 2000 rpm

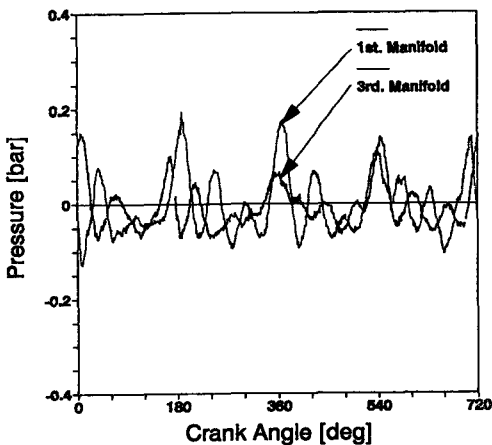


Fig. 5 Pressures in the 1st and 3rd intake manifold at wide open throttle, engine speed 2000 rpm

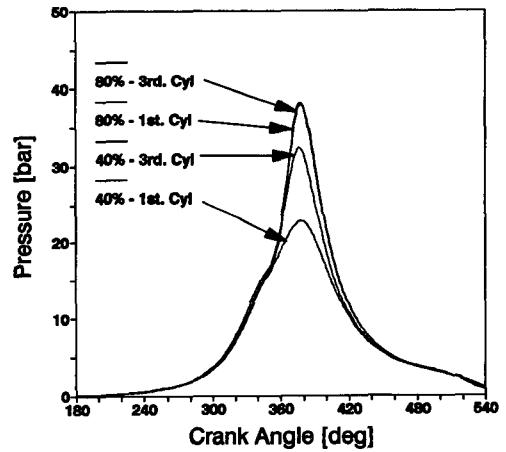


Fig. 6 Pressures in the 1st and 3rd cylinder at throttle open percentage 40% and 80%, engine speed 2000 rpm

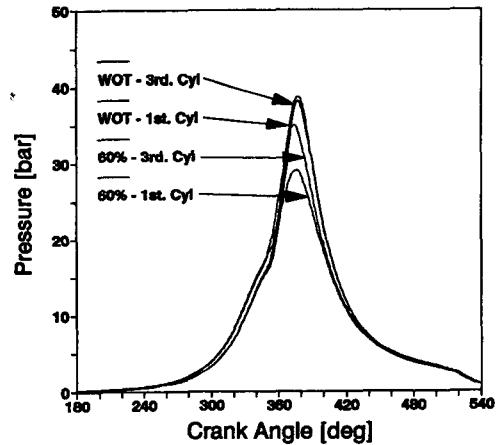


Fig. 7 Pressures in the 1st and 3rd cylinder at throttle open percentage 60% and WOT, engine speed 2000 rpm

이가 발생하고, 흡기관의 내벽에 형성되어 실린더 쪽으로 흘러가면서 유입되는 액막상의 연료차이 등으로 인하여 각 실린더로 공급되는 혼합기의 불균일이 그 원인인 것으로 생각된다. 그러나 스로틀밸브개도가 80% 이상이 되면 흡인공기의 유속이 빨라져 연료의 무화가 촉진되므로 실린더별 연소압력의 차이가 크게 발생하지 않는다고 사료된다.

3.3 열발생률에 미치는 영향

Fig. 8은 기관의 크랭크각에 대한 1번 실린더와 3번 실린더의 열발생률을 엔진회전수 2000 rpm 스로틀밸브개도 40%, 80%인 경우에 대하여 도시한 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 실험조건 하에서 스로틀밸브개도가 40%인 경우에는 1번 실린더보다 3번 실린더의 최고 열발생률이 더 크며, 최고 열발생률이 발생하는 크랭크각도도 3번 실린더가 1번 실린더에 비하여 더 빨라짐을 알 수 있다. 그러나 스로틀밸브개도가 80% 이상인 경우에는 1번 실린더와 3번 실린더의 최고 열발생률, 적산 열발생량 및 최고 열발생률이 발생하는 크랭크각도가 거의 변화가 없이 동일하게 일치하고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 1번 실린더와 3번 실린더의 최고 열발생률 및 적산 열발생량에 차이가 발생하는 이유는 다기관 액막분배량 실험결과와 비교해 볼 때 액막연료량의 불균일 및 흡기관 압력의 차이로 인하여 발생하는 각 실린더별로 공급되는 혼합기의 불

균일이 그 원인인 것으로 사료된다.

3.4 질량연소율에 미치는 영향

Fig. 9는 스로틀밸브개도가 40%, 80%, 엔진회전수 2000 rpm인 경우에 동일한 실험조건하에서 1번 실린더와 3번 실린더의 질량연소율을 나타낸 것이다.

점화시기에서부터 열발생률이 10%인 점을 열발생 지연기간으로, 90%인 점을 주연소기간으로 설정하면, 그림에서 알 수 있는 바와 같이 스로틀밸브개도가 40%인 경우에는 3번 실린더가 1번 실린더에 비하여 열발생 지연기간 및 주연소기간이 짧

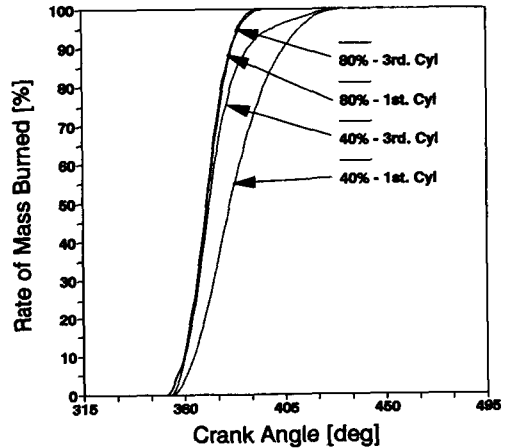


Fig. 9 Rate of mass burned in the 1st and 3rd cylinder at throttle open percentage 40% and 80%, engine speed 2000 rpm

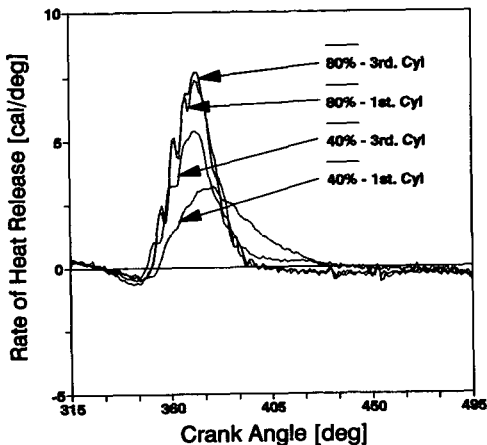


Fig. 8 Rate of heat release in the 1st and 3rd cylinder at throttle open percentage 40% and 80%, engine speed 2000 rpm

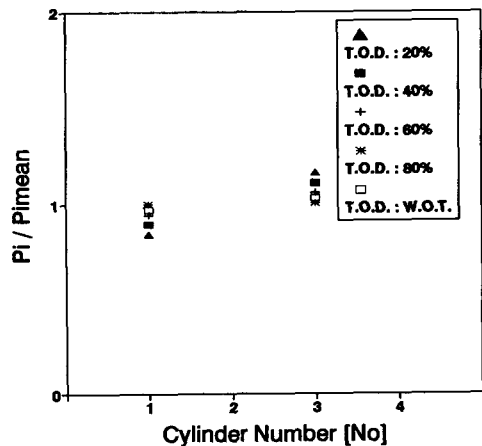


Fig. 10 Indicated mean effective pressure in the 1st and 3rd cylinder at engine speed 2000 rpm

아지고 있으며, 연소 지연차가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 스로틀밸브개도가 80%인 경우에는 1번 실린더와 3번 실린더의 열발생 지연 시간 및 주연소기간이 다시 거의 동일하게 일치하고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 1번 실린더와 3번 실린더의 열발생 지연 시간 및 주연소기간의 차이가 발생하는 이유는, 3번 실린더보다 1번 실린더에 상대적으로 희박한 혼합기가 공급되어 혼합기 불균일에 의한 실린더별 연소지연의 차이가 생기기 때문이라고 생각된다. 따라서 연료의 기화 및 혼합을 촉진시켜 각 실린더로 공급되는 액막연료유량을 줄임으로써 혼합기를 균일하게 하면 이러한 문제점이 개선될 것으로 사료된다.

3.5 도시평균 유효압력에 미치는 영향

Fig. 10은 엔진회전수 2000 rpm에서 기관출력에 직접적인 영향을 미치는 스로틀밸브개도에 따른 1번과 3번 실린더의 도시평균 유효압력의 편차를 도시한 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 전 운전조건에서 1번 실린더보다 3번 실린더의 도시평균 유효압력이 크고, 스로틀밸브개도가 작을 수록 1번 실린더와 3번 실린더의 도시평균 유효압력의 편차가 크게 나타나면서 스로틀밸브개도가 클수록 이 차이는 줄어들고 있음을 알 수 있다. 여기서, $P_{i,mean}$ 은 1번과 3번 실린더의 도시평균 유효압력의 평균값이고, P_i 는 실린더 각각의 도시평균 유효압력값이며, T.O.D.와 W.O.T.는 각각 스로틀밸브개도(throttle opening degree)와 스로틀밸브전개(wide open throttle)를 나타낸다.

4. 결 론

본 연구는 자동차용 다기통 전기점화기관과 같이 연료를 예혼합시켜 각 실린더로 공급하는 다기관을 갖는 다기통 전기점화기관의 연료액막유동과 혼합기 불균일분배에 관한 연구이다.

본 연구에서는 4행정 다기통 전기점화기관을 이용하여 각 실린더의 사이클마다 발생하는 흡기관내의 연료액막유동의 변동과 혼합기의 불균일분배가 연소특성에 미치는 영향을 규명하는데 목적을 두고 있다. 따라서 연소상태를 파악하기 위해 지압정보의 해석을 기초로 하는 연소해석장치를 도입하여

스로틀밸브개도와 엔진회전수 변화에 따른 연소특성 및 출력변화에 대한 해석을 실험적으로 고찰하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 1번과 3번 흡기다기관내의 압력변화를 측정된 결과, 흡기관형상 및 흡입간섭의 영향으로 인하여 동일한 크랭크각도에서 각각의 압력값의 차이가 발생하고 있음을 알 수 있었다. 또한 위와 같은 원인으로 인하여 흡기다기관내의 연료액막유량은 전 운전범위에서 각 실린더별로 불균일하게 변동하고 있으며, 특히 2번과 3번 실린더쪽이 1번과 4번 실린더에 비하여 연료액막 유량이 많음을 알 수 있었다.

(2) 스로틀밸브의 개도가 작은 경우 실린더별 연소 불균일이 현저하게 나타났고 개도가 80% 이상인 경우에는 연소가 비교적 균일하게 일어나고 있음을 알 수 있었다. 따라서 스로틀밸브의 개도 정도에 따라 실린더별 혼합기 분배특성 및 연소특성의 차이가 생김을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단의 '92년도 일반 기초연구사업의 지원에 의해 수행된 것이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Henry J. C. Yu, 1969, "Fuel Distribution Studies-A New Look at an Old Problem," *SAE Trans.*, 690117
- (2) William R. Matthes and Ralph N. McGill, 1976, "Effect of the Degree of Fuel Atomization on Single-Cylinder Engine Performance," *SAE Trans.*, 760117
- (3) Limata, D. R., Hurt, R. F., Deller, R. W. and Hull, W. L., 1971, "Effect of Mixture Distribution on Exhaust Emissions as Indicated by Engine Data and the Hydraulic Analogy," *SAE Trans.*, 710618
- (4) Norihiro Sawa and Masayosi Sawa, 1966, "On the Effect of the Pressure Wave on the Fuel Flow Amount in A Small Two-Stroke Cylinder Gasoline Engine," *The Transcript from the*

- Memoirs of the Muroran Institute of Technology*, Vol. 5, No. 2.
- (5) Daniel L. Bajema and George W. Gatecliff, 1978, "Prediction and Measurement of Fluid Flow in Single Cylinder Engine Carburetor," *SAE Trans.*, 780285
- (6) Steve Meisner and S. C. Sorenson, 1986, "Computer Simulation of intake and Exhaust Manifold Flow and Heat Transfer," *SAE Trans.*, 860242
- (7) Robert S. Lo and Demetrius P. Lalas, 1977, "Parametric Study of Fuel-Droplet Flow in an Idealized Automotive Engine Induction System," *SAE Trans.*, 770645
- (8) 倉林俊雄, 1969, "管内氣流中に噴射された液體の浮遊量について," 日本機械學會 論文集 第35卷, 第275號
- (9) 박경석, 1981, "흡기관내 액막류의 거동에 관한 연구," 품질관리학회지, 제9권, 제2호.