

메탄올 혼합 연료의 기화율 변화에 따른 연소특성에 관한 실험적 연구

A Study on the Combustion Characteristics according to
Evaporation rate of Methanol - Blended Fuel

조행목*

H. M. Cho

ABSTRACT

This paper describes the investigation of combustion characteristics of gasoline-methanol blend in constant volume combustion chamber.

A constant volume combustion chamber was used to elucidate a basic combustion characteristics and the premixer was installed to control temperature and equivalence ratio. And the maximum pressure, combustion duration and flame propagation according to the evaporation rate were measured to determine the optimal temperature range for evaporating a blend fuel. These experimental results indicate that the combustion characteristics such as combustion chamber pressure and combustion were deteriorated by decreasing surrounding temperature of fuel. These experimental results indicate that the combustion characteristics such as combustion chamber pressure and combustion were deteriorated by decreasing surrounding temperature of fuel injected. It was also found that the overall gasification process for methanol blend fuel was influenced by a combustion chamber temperature rather than a premixer temperature.

주요기술용어 : constant volume combustion(정적 연소실), premixer(예혼합실),
evaporation rate(기화율), blended fuel(혼합연료), schlieren system(슬리렌 장치)

1. 서론

산업이 발전함에 따라 고갈되어 가는 석유자원과 나날이 심각해져 가는 대기오염 문제를 해결하기 위한 연구 개발이 대내외적으로 활발히 진행되고 있다. 메탄올 연료는 연료공급 측면이나 연료의 연소에 의한 배출가스 측정 면에서 다른 대체 연료에 비하여 우위에 있다. 이미 여러국가에서 실용화되고 있으며 석유에너지의 상당 부분을 대체할 수 있는 연료로 평가되

고 있다. 가솔린 기관을 포함한 열기관에 있어서 배기가스에 의한 대기오염을 능동적으로 대처하고 에너지를 유용하게 이용하기 위한 대책이 필요하다.

메탄올 혼합연료를 사용할때 냉간운전에 서 농후한 혼합연료가 공급되게 설계되어 벽류의 생성으로 인한 충분한 기화가 되지 못하고 액상의 연료가 증가한다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 분사된 연료의 기화를 촉진시켜 양호한 운전성을 얻기 위한 흡기 가열장치를 갖춘 엔진실험이

* 정회원, 가톨릭상지전문대학 자동차과

활발하게 진행되고 있다. 그러나 지나친 기화율 촉진은 엔진의 난기 운전시 베이퍼락(Vapor lock)현상을 유발시켜 운전의 불안정성을 일으키는 문제점이 있다. 이와같이 메탄을 혼합연료의 기화율은 운전의 안정성 및 냉간 시동성이 중요한 인자로 작용되어 지므로 기화율변화에 따른 메탄을 연료의 연소특성을 파악하는 것이 연소의 안정화를 위하여 매우 중요하다. 이러한 연소에 영향을 미치는 연료의 특성을 파악한 연구는 많이 수행되고 있으나⁽¹⁻⁷⁾ 지금까지는 주로 가스연료의 연소특성에 지나지 않고 있으며, 액체연료인 메탄을 혼합연료에 대한 연구결과는 그다지 많지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 메탄을 혼합연료의 연소특성을 규명하기 위하여 연소실을 단순화시키고, 실험변수의 영향을 명백하게 나타나도록 정적 연소실에 의한 기초연소 실험을 수행하였다. 또한 실험에서는 연소에 영향을 미치는 여러인자들 중 메탄을 혼합연료에 의한 기화특성과 이러한 기화특성에 의한 연소압력 및 화염전파 특성을 파악하여 연소의 안정화에 대한 기초자료로 활용하고자한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig.1은 본 실험에서 사용된 정적연소실 실험장치의 전체적인 개략도이다. 이 실험장치는 정적연소실, 점화장치, 당량비 조절장치, 연료분사장치, 온도측정장치, 데이터처리 및 해석장치, 가시화장치 등으로 구성되어 있다.

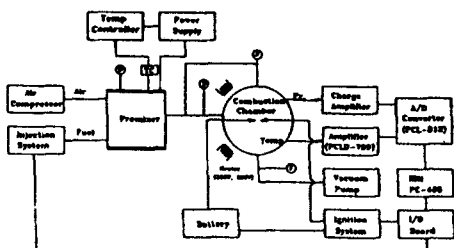


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

2.1.1 정적연소실

실험에 사용된 정적연소실의 그림은 내경 100mm, 폭 40mm, 체적 314cm³이며 알루미늄 재료로 제작되었고 연소실의 형상과 구조는 Fig.2와 같다.

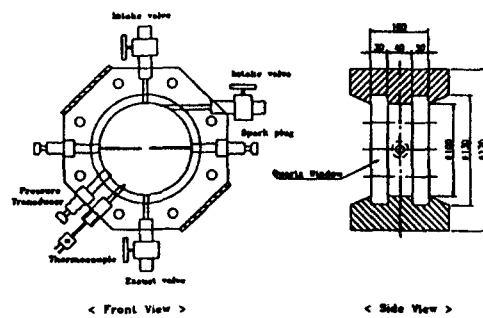


Fig.2 Constant volume combustion chamber

가시화를 위하여 양측에 두께 30mm의 석영 유리를 설치하였고 연소실의 기밀을 유지하기 위하여 직경 120mm, 두께 3mm의 O-링을 설치하였다. 연소실 상단과 하단에 각각 고압용(최대:100kgf/cm²) 밸브를 연소실 흡입구와 연소 가스 배출구에 설치하였다.

점화 플러그 전극의 위치는 초기 화염핵 형성에 중요한 영향을 미치기 때문에 연소실 벽면에 의한 냉각 손실을 최소화하였다. 통상 사용하는 스파크 플러그는 중심 선주 끝에 지름 2mm의 황동선을 길게 연장시켜 연소실의 중간에 점화 위치를 설치하였다. 스파크 플러그의 전극간극은 1.5mm 이고 전극 선단의 방전면은 평면으로 하였다.

연소의 특성을 파악하기 위하여 실험 조건으로 당량비, 연소실 내의 초기 온도 및 압력, 점화에너지, 혼합기의 분사 방향 및 분사후의 점화시기, 점화 플러그의 간격 등을 고려하여 제작하였으며 당량비, 초기 온도 및 압력 등을 변수로 실험하였고 이때 실험조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Initial condition of constant volume chamber

실험 변수	실험 조건
당량비	0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3
에 혼합기 온도(℃)	80
초기압력(bar)	1, 2, 3
연소실 온도	80℃(고정)
플러그 간격	1.5mm(고정)
연료분사방향	접선형(고정)
점화시기	에 혼합 연료 공기 흡입후 3초

한편 연소실의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 100W 용량의 판히터 2개를 정적연소실의 외측에 설치하였으며 이때 정적연소실의 온도는 정적연소실 내면으로부터 3mm 정도 위치한 곳에 열전대($\phi=75\mu\text{m}$, R-Type)를 삽입시켜 자동온도조절장치를 이용해서 온도를 일정하게 유지시켰다.

연소실 내의 압력 측정은 압전형 압력 변환기(Kistler, 601A)로 측정 한후 증폭기(charge amplifier)로 증폭시켜 A/D 변환기(sampling speed : 200KHz)를 통해서 컴퓨터에 입력시켜 해석하였다.

2.1.2 점화장치

Fig.3은 실험에 사용된 회로도를 나타낸 그림이다.

점화방법은 CDI(Capacitor Discharge Ignition) 방식이며, 실제기관에서 크랭크축의 회전각도에 의해 결정되는 드웰 타임(dwell time)을 본 실험에서는 파워 트랜지스터로 들어가는 신호를 5kΩ의 가변저항을 이용하여 조절이 가능토록 하였다.

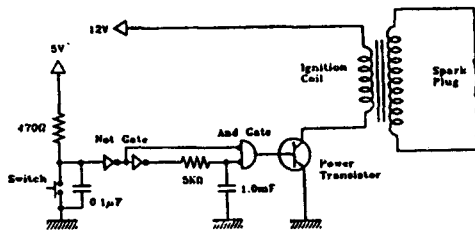


Fig.3 Circuit diagram of ignition system

2.1.3 연료분사장치

연료 분사용 인젝터의 상세도는 Fig.4와 같다.

인젝터는 가솔린 자동차 전자제어용 기관에 사용되는 연료분사밸브로써, 분사 신호에 의해 연료를 분사하는 솔레노이드 밸브가 내장된 밸브이다. 인젝터의 니들밸브는 플런저와 일체로 되어 있어 인젝터 작동시 플런저와 같이 전개의 위치까지 당겨져 분사구를 전개한다. 분사량은 분사구의 면적, 혼합기의 압력이 일정한 경우 니들밸브의 개방 시간, 즉 솔레노이드 코일의 통전시간에 의하여 결정된다.

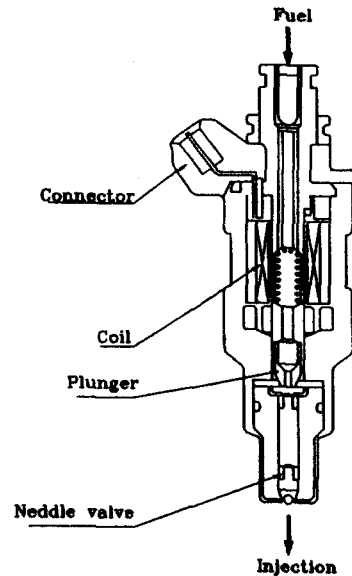


Fig.4 Configuration of test injector

본 연구에서는 컴퓨터 내의 전류는 인젝터를 구동시킬 수 없으므로 이를 증폭시켜 트랜지스터를 구동시키기 위한 회로를 개발하였으며 그 회로도는 Fig.5에 나타내었다. 그러나 기존의 PMAS(Particle Motion

Analysis System)를 외부 콘트롤을 하기 위한 마이크로 콘트롤러와 어셈블러 프로그램을 이용하여 솔레노이드 밸브의 통전 시간을 조절하였으나 이는 여러 가지 문제점이 나타나서 C언어를 이용하여 연료 분사 콘트롤러 프로그램을 개발하여 실험하였다.

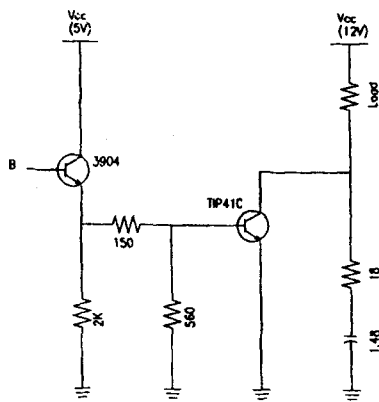


Fig.5 Diagram of injector driving circuit

2.1.4 당량비 조절장치

Fig.6은 당량비 조절장치의 상세도이며, 액체연료를 기화시키고 당량비를 조절하기 위하여 예열소실을 제작하였다. 히터는 용량이 1kW(600W 1개, 400W 1개)의 판히터를 사용하였으며, 정격전류 15A의 전력공급기와 온도 컨트롤러를 사용하여 일정한 온도를 유지하도록 세팅하였다.

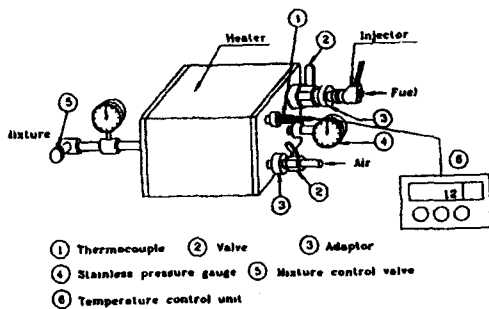


Fig.6 Structure of fuel-air premixing chamber

당량비는 먼저 공기를 이상기체로 가정하고, 이상기체 상태방정식으로부터 공기의

질량을 구하고 연료 공급압을 5bar로 일정하게 한 상태에서 분사시간에 따른 연료의 질량을 300회 평균하여 분사질량을 구하였으며, 본 실험에서는 이중 7ms의 통전 시간에 대한 분사질량을 구하여 실험하였다.

2.1.5 가시화 장치

화염전파의 가시화를 위하여 여러 가지 가시화 방법들이 있지만 Fig.7에서와 같이 슬리렌 사진촬영장치를 이용하였다.

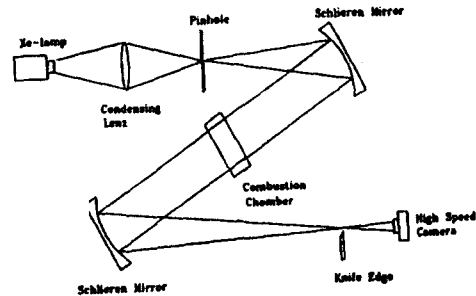


Fig.7 Schematic diagram of Schlieren system

여러 가지 가시화 방법들이 있지만 다른 가시화 방법과 비교하여 비접촉면이기 때문에 유체의 흐름에 영향을 미치지 않는 광학적 가시화 방법들 중 슬리렌 방법을 적용하였다. 슬리렌은 굴절률의 구배를 측정하는 방법이다. 이 방법은 평행광선을 유동장 혹은 연소장에 통과시켰을때 굴절이 되지 않은 광원렌즈 혹은 거울에 접속하여 Knife edge로 차단하므로써 굴절된 광선만을 스크린 혹은 필름에 투영하는 방법이다. 이때 광원은 최대 300mW의 크세논 램프(VIX사)를 사용하였고, 이 광원을 condensing lense와 pin hole을 거쳐서 양단의 Schlieren concave mirror(직경 300mm) 중앙에 위치한 연소실에 집광된 Knife edge에서 초점이 맺히며 맺힌 상은 회전 프리즘식 고속카메라(NAC, E-10, 최대속도: 10,000fps)와 16mm 필름(ASA250, Kodak 7297)을 사용하여 2,000fps 속도로 촬영하였다.

2.2.6 자유분무의 실험장치 및 방법

본 실험은 가솔린 및 메탄올 혼합 가솔린의 연료압력에 따라 자유분무의 분열상태 및 분무량 등의 거시적거동을 관찰하는데 있으며, 입자운동 해석 장치(PMAS)를 이용하여 정량적으로 계측하였다.

실험장치는 연료공급장치와 계측 장치로 구분되며 개략도는 Fig.8과 같다.

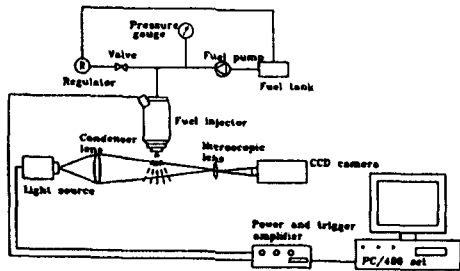


Fig.8 Schematic diagram of experimental apparatus

연료탱크의 연료는 내장형 연료 모터(DC 12V MPI용)를 사용하여 여과기를 거

쳐 공급파이프에 이송 되도록 하고, 솔레노이드 밸브로 작동되는 인젝터에는 압력조절기에 의하여 가솔린 및 메탄올 혼합 가솔린연료를 변화시키면서 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 자유분무 특성

Fig.9과 Fig.10은 본실험에서 나타난 각각의 연료압력에 따른 분무구조를 각 물성치별로 촬영한 것이다. 이 분무형태에서 보는바와 같이 분무구조는 순수 가솔린연료와 가솔린에 메탄올을 비율별로 혼합한 물성치와 큰 차이가 없었으며 이는 연료의 비중과 점도가 가솔린에 메탄올을 혼합하였을 경우 메탄올 혼합비율이 30%이내에서는 별 차이가 없었음을 알 수가 있었다.

이 실험에서 나타난 바와 같이 분사 초기의 제트속도는 유체에 따라 6.2-9.2m/s로, 초기분열길이는 13 - 15mm로 계측되었다.

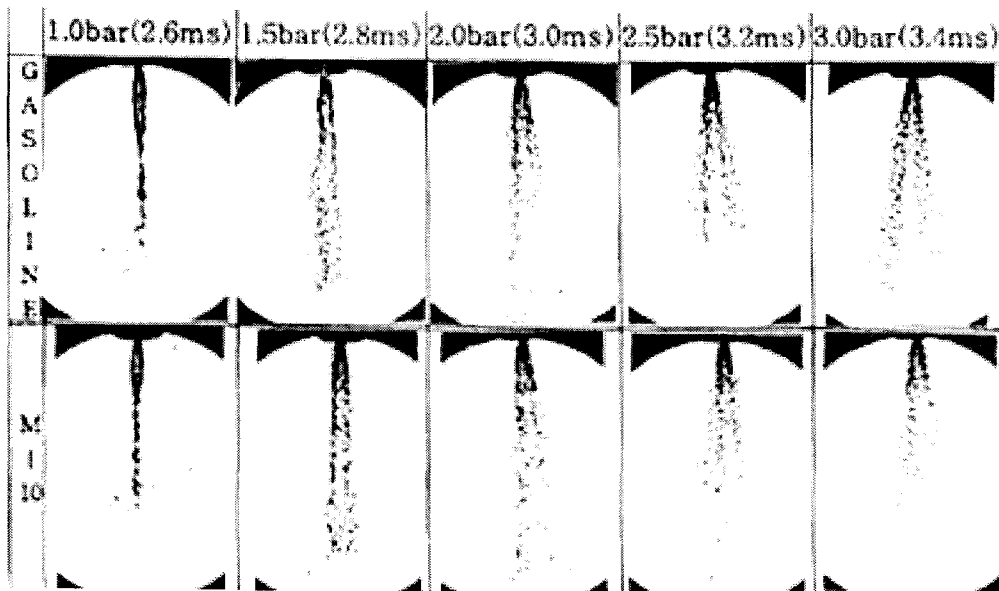


Fig.9 Photographs of spray according to the pressure increase of injection pressure (Gasoline and Methanol 10%)

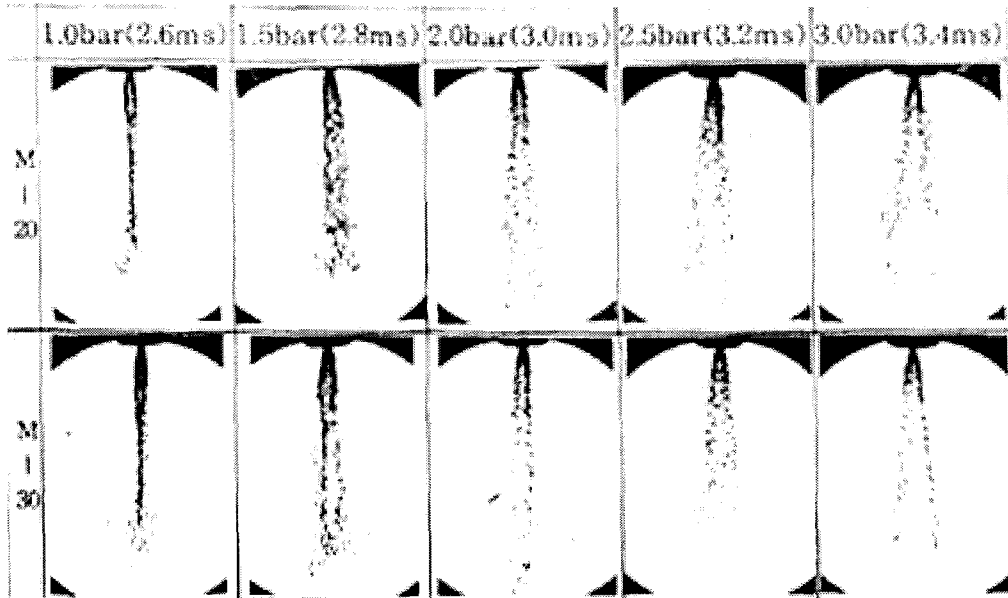


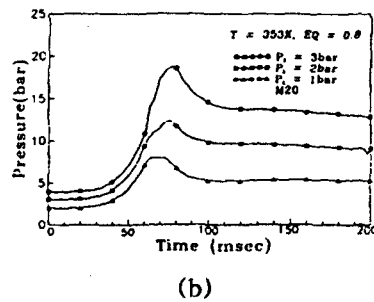
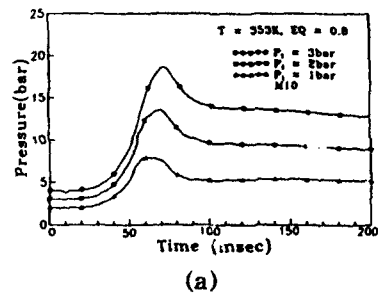
Fig.10 Photographys of spray according to the pressure increase of injection pressure (Methanol 20% and Methanol 30%)

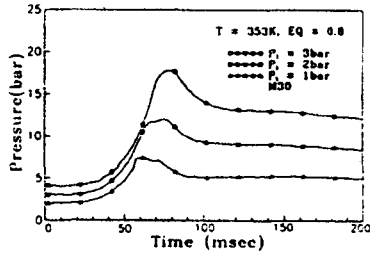
3.2 정적연소실 내의 메탄올 혼합 연료의 연소특성

3.2.1 연소실 내의 가스압력

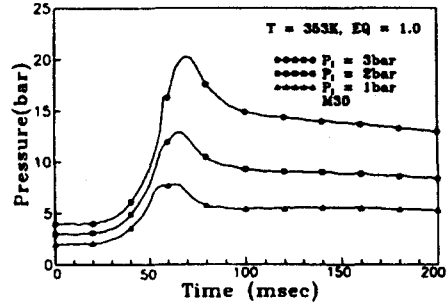
Fig.11의 (a), (b), (c)는 연소실내 온도가 355K이고 당량비가 0.8일 경우 초기압력을 1, 2, 3,bar의 3가지 조건으로 변화시킨 경우의 가스압력을 비교한 것이다.

이 선도에서 보는 바와같이 실린더 내의 가스압력은 연소실 내의 초기압력이 높아 질수록 증가하여, 메탄올 혼합 비율이 증가함에 따라 가스압력은 다소 낮아지는 경향을 나타내었다. 그 이유는 메탄올 혼합비율이 많아지면 기화에 소요되는 열량이 많아 지게 되고 이에 따라서 연소압력은 저하하는 것으로 볼 수있다.





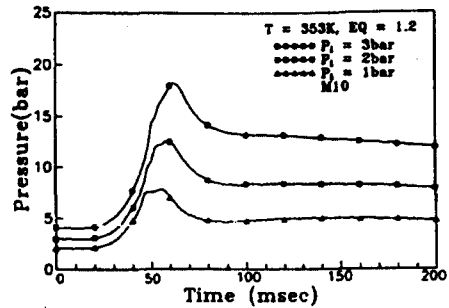
(c)



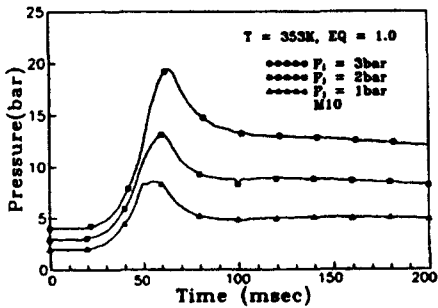
(c) M30 ($\Phi=1.0$)

Fig.11 Effect of initial pressure on the chamber gas pressure $\Phi=0.8$ (M10%, M20%, M30%)

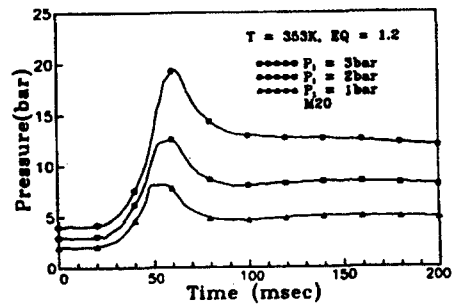
한편 Fig. 12의 (a), (b), (c)는 당량비가 1.0일때의 가스압력을 나타낸 것이고 (d), (e), (f)는 당량비가 1.2일 경우의 가스압력을 나타낸 것이다. 이들 선도에서 보는 바와같이 가스압력은 가솔린의 경우와 비교하여 거의 동일한 경향을 나타내었다.



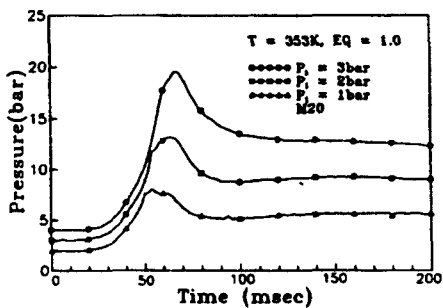
(d) M10 ($\Phi=1.2$)



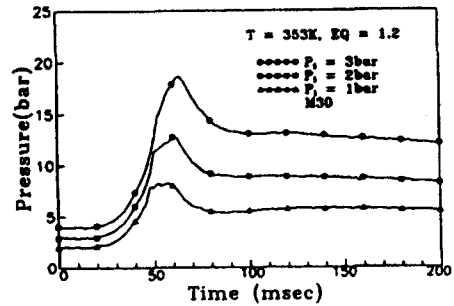
(a) M10 ($\Phi=1.0$)



(e) M10 ($\Phi=1.2$)



(b) M20 ($\Phi=1.0$)

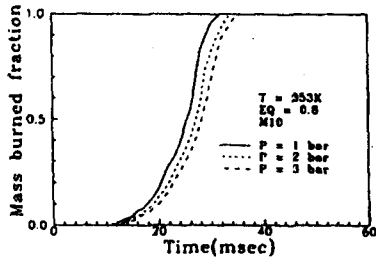


(f) M10 ($\Phi=1.2$)

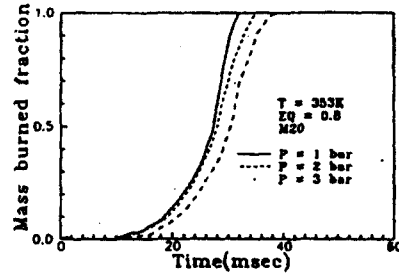
Fig.12 Effect of initial pressure on the pressure in combustion chamber

3.2.2 질량 연소율

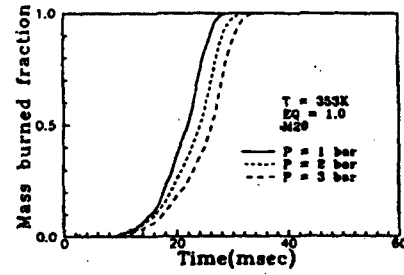
Fig.13의 (a), (b), (c)는 질량연소율을 비교한 것으로서 이 때 초기 조건이 연소실 내의 온도가 353K, M10일 경우이다. 이들 선도에서 보는 바와 같이 당량비가 이론 공연비의 경우 연소 기간이 짧아지기 때문에 연소율은 회박혼합기의 경우보다 현저하게 향상되고 있음을 알수 있다.



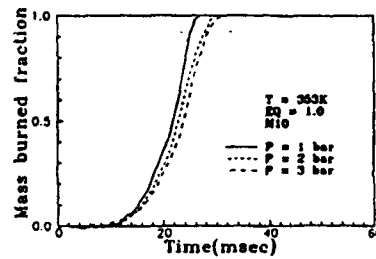
(a)



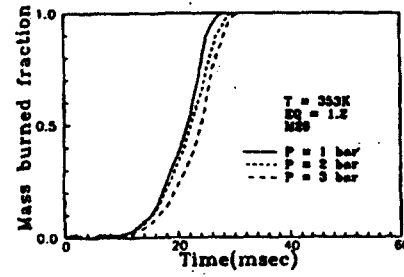
(a) M20, $\phi = 0.8$



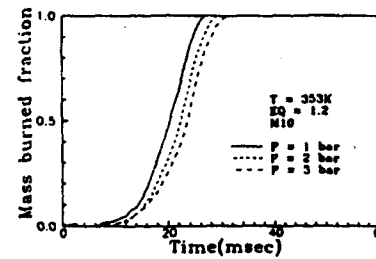
(b) M20, $\phi = 1.0$



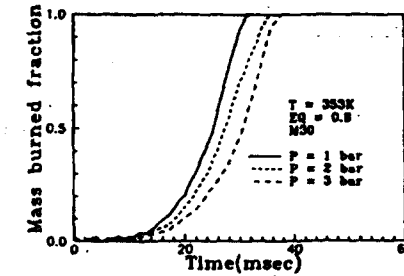
(b)



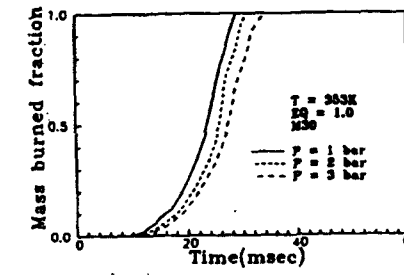
(c) M20, $\phi = 1.2$



(c)



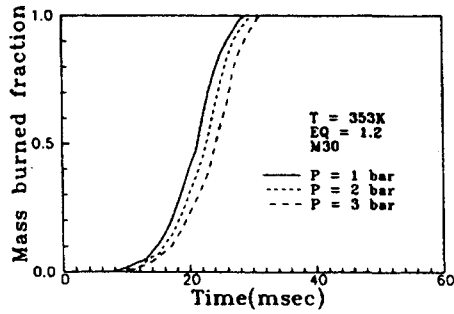
(d) M30, $\phi = 0.8$



(e) M30, $\phi = 1.0$

Fig.13 Effect of initial pressure on the mass burned fraction ($\phi = 0.8, \phi = 1.0, \phi = 1.2$)

한편 Fig.14는 당량비 0.8, 1.0, 1.2일 경우의 연소율을 도시한 것으로서 대체적인 경향은 Fig.13의 (a), (b), (c)의 경우와 같으나 연소 기간이 다소 길게 나타나고 있으나 큰 차이는 없었다.



(f) M30, $\phi = 1.2$

Fig.14 Effet of initial pressure on the mass burned fraction

3.2.3 메탄을 혼합연료의 연소상태 가시화

Fig. 15, 16, 17은 당량비 1.0일 경우의 정적연소실 내의 연소 경과에 대한 슬리렌 사진이며 화염전파속도를 시간 경과에 따라 연소상태를 도시한 것이다.

이들 선도에서 보는 바와같이 화염전파속도는 온도가 정상온도에서 메탄올의 혼합비율이 증가 할수록 빨라짐을 알수있었다. 이러한 경향은 초기혼합물의 온도가 높아지면 연소전 예열에 의한 반응이 활발해져서 연소반응이 발달하므로 화염속도는 증가하는 것으로 지적할 수 있다. 화염전파과정의 당량비, 초기온도의 영향은 가솔린과 비교하여 메탄을 혼합 가솔린연료가 다소 화염진행속도가 빠름을 알 수 있다.

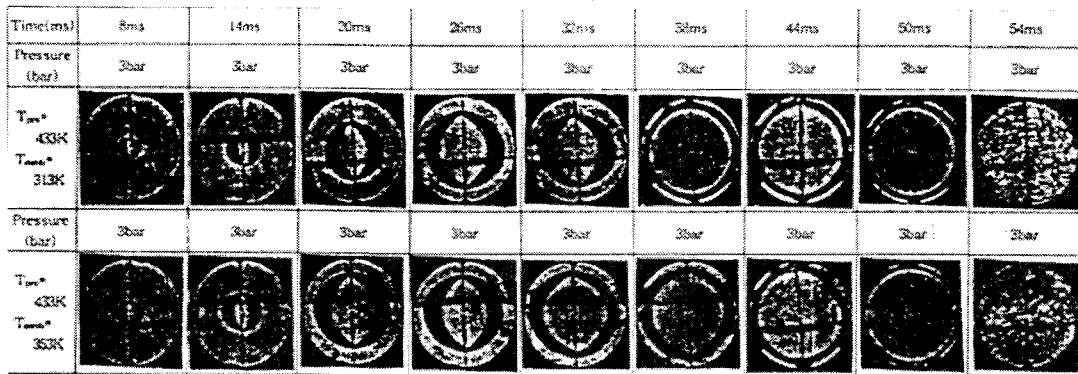


Fig. 15 Flame propagation in constant volume combustion chamber at equi valence ratio $\phi = 1.0$ (M10%)

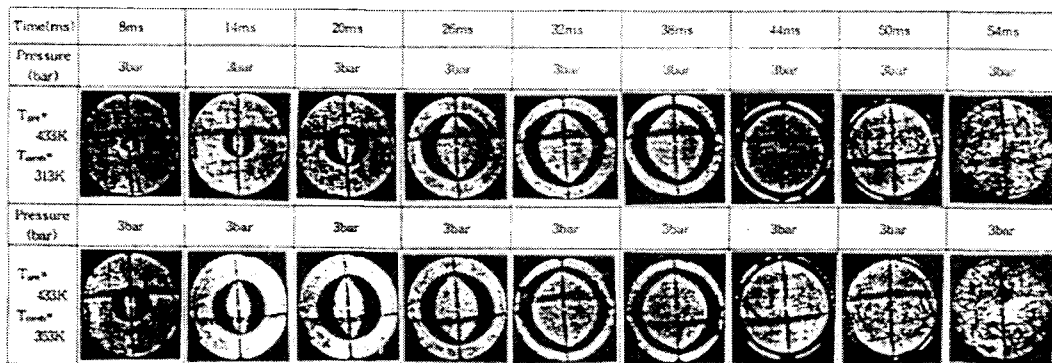


Fig. 16 Flame propagation in constant volume combustion chamber at equi valence ratio $\phi = 1.0$ (M20%)

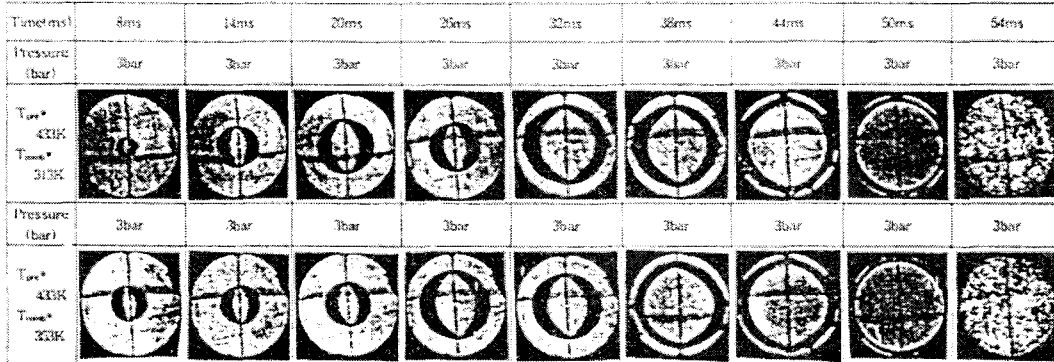


Fig. 17 Flame propagation in constant volume combustion chamber at equivalence ratio $\phi = 1.0$ (M30%)

4. 결론

가솔린-메탄을 혼합연료의 연소 특성을 규명하기 위하여 예혼합 증발실을 갖는 정적연소실 내에서 연소가스 압력, 가스온도, 연소율 및 화염전파 과정을 분석하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 메탄을 혼합 가솔린 연료의 연소압력은 정적연소실의 온도가 높을수록 상승하며, 최고연소압력이 나타나는 시기도 빨라지는 경향을 나타내었다, 또한 정적연소실 내의 혼합기의 초기압력이 높아질수록 연소가스의 최고압력은 높아지는 경향을 나타내었다.

(2) 혼합기의 연소기간은 정적연소실의 초기온도가 높을수록 짧아지는 경향을 나타내었다.

(3) 가솔린과 메탄을 혼합연료의 분무형상을 거시적으로 관찰한 결과 메탄을 혼합비율이 30% 이내에서는 메탄을 혼합에 따른 분무형상의 명확한 차이가 없으므로 나타났다.

(4) 정적연소실 내의 화염전파 속도는 당량비가 낮고 공연비가 희박해질수록 늦어지며 연소실 초기의 분위기 압력 및 온

도가 높을수록 화염의 전파 속도는 점차로 빨라지는 경향을 나타내었다.

후 기

본 연구는 1997년도 가톨릭 상지전문대학에서 연구비를 지원받아 수행된 결과입니다.

참 고 문 헌

1. T.K.Garrett, "Automotive fuels systems", pp. 10-20.
2. 趙珍鎭, "內燃機關工學", pp. 926-932.
3. G.J.Waldron, and R.G.Allen, "Natural Gas for Vehicles (NGV)", The 6th International Pacific Conference on Automotive Engineering. pp. 913-918.
4. D.S.Jeong, J.D.Chung and K.N.Choi, "A Study on Performance Improvement of Natural Gas Engine", The 6th International Pacific Conference on Automotive Engineering, pp. 919-923.
5. 片岡, 深谷, 角田, "カスエンジンの 燃焼特性に関する 基礎的 研究" 第11回 內燃機關合同シンポジウム 講演論文集, pp.117-148.

6. 공학철, "Natural Gas Vehicle (CNG/LNG Program)", 미래의 자동차 엔진 배출가스 감소 세미나, pp. 117-148.
7. G.A.Karim and LWiczbba, "Methane-Carbon Dioxide Mixtures as a fuel", SAE Paper 921557.
8. 조행묵, 이창식 "메탄을 혼합연료가 기관연소 특성에 미치는 영향", 대한기계학회 논문집, 제20권, 제10호, pp. 3381-3386, 1996.