

메탄올 혼합연료를 이용한 정적연소실내에서의 연소 특성에 관한 연구

조 행 목†

(원고접수일 : 2004년 6월 29일, 심사완료일 : 2005년 2월 18일)

A Study on Combustion Characteristics of Methanol Blended Fuel in Constant Volume Combustion Chamber

Haeng-Muk Cho†

Abstract : The result of combustion experiment by using the methanol-gasoline blended fuel showed that the supplying pressure appeared the maximum pressure between equivalent rate 1.1 and 1.2, and the evaporation of the fuel has been known to have been greatly influenced by surrounding temperature and the combustion chamber temperature after being injected from the injector. And it is confirmed that the rate of evaporation had been suddenly dropped according to the temperature in the combustion chamber though the injected fuel had been fully evaporated. Such tendency has visibly appeared when the zone is leaner, and we recognize that the rich fuel supply is needed in the operation of cold operating.

Key words : Constant volume combustion chamber(정적연소기), Mixture(혼합기), Combustion characteristic(연소특성), Premixer(예연소실)

1. 서 론

자동차 대체연료로서 특히 메탄올 연료가 주목을 받게 된 것은 옥탄가가 높아 고압축비로서 운전이 가능하고 고효율 및 출력에 있어서 유리할 뿐만 아니라 배기가스에 있어서도 다른 연료에 비하여 매연공해를 줄일 수 있기 때문이다.

지금까지 메탄올 연료의 연소특성변화 및 온도 변화에 관한 연구는 메탄올 자동차의 연소특성과 배출가스 분석에 관한 연구^{[1], [2]}를 비롯하여 정적연소실 내에서의 연소 및 화염에 관한 연구^[3], 정적연

소실 내에서의 유동과 화염 특성에 관한 연구^{[4], [5]} 등이 보고되고 있다.

알코올 혼합연료 이용기술에 관한 연구로서 가솔린-에탄올 기관의 성능 및 촉매장치를 이용한 배출가스 특성^[6]에 관한 연구와 SI기관에 있어서 메탄올 혼합연료의 연소 및 배출가스에 관한 연구^[7], 메탄올-가솔린 혼합연료를 사용하는 기관의 성능과 배출가스 감소에 관한 연구^[8] 등이 있다. 이와 같이 연료-공기 혼합기의 연소 특성에 관한 연구 및 메탄올 연료의 연소 특성에 관한 연구가 다양화되고 있으나 연료의 기화 촉진으로 운전성능

† 책임저자(공주대학교 공과대학 기계자동차공학부), E-mail : hmcho@kongju.ac.kr, Tel : (041)550-0376

을 향상시키기 위하여 지나친 기화는 베이퍼록 (Vapor lock)을 발생시켜^[9] 운전의 불안정성을 야기시키는 문제를 안고 있다.

따라서 본 연구에서는 정적연소실에 의한 연료의 당량비 변화에 따른 연소 특성을 파악하고, 기존 가솔린 자동차에 가솔린과 메탄올을 혼합한 연료를 사용할 경우 기관의 성능 및 연소특성을 규명하는데 기초를 얻고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 연료의 특성

가솔린은 여러 가지 다른 탄화수소의 성분비로 되어 있으며 각각 특정한 비등점을 갖고 있는 반면, 메탄올은 단 하나의 비등점을 갖고 있는 순수한 성분이다. 이로 인하여 가솔린은 각기 다른 탄화수소의 성분비에 따른 비중, 이론 공연비 등의 물성치들이 조금씩 다른 반면, 메탄올은 하나의 고유한 물성치를 갖는다.

또한 가솔린과 메탄올의 이론 연소 방정식은 각각 식(1), (2)로 표현할 수 있으며, 메탄올의 증발은 냉각 효과를 크게 증가시키고 동등한 기관 출력을 위하여 메탄올을 증발시키는데는 가솔린보다 약 6.4배의 열을 필요로 한다. 보통 저온에서의 낮은 증기압은 시동성을 어렵게 하고 가솔린 기관에 쓰이는 연료탱크, 흡기관의 통로 등을 부식시킬 수는 있으나 기존 기관을 부분 변형하여 그대로 사용할 수가 있다. 메탄올은 가솔린보다 넓은 가연성을 가지고 있으므로 보통 대기온도에서도 저장탱크의 폭발 위험성이 있다. 가솔린은 물에 비용해성이나 메탄올은 완전 용해가 되며 가솔린은 비극성이나 메탄올은 극성이기 때문에 두 연료를 혼합했을 때 상분리가 일어난다. 이론 공연비는 메탄올의 혼합비율이 많아질수록 가솔린의 이론 공연비 보다 적어진다.

따라서 Table 1과 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 메탄올의 함유량이 증가 할수록 저공연비(Lower Stoichiometric)가 됨을 알 수 있다. 저위 발열량도 혼합비율의 증가에 따라 직선적으로 감소하는 것을 알 수 있는데 이것은 기관 출력을 감소시

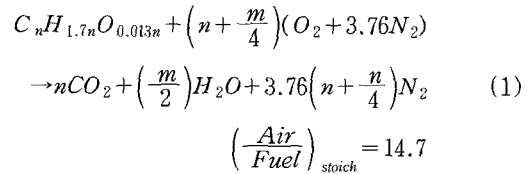
키는 요인이 되며 같은 출력을 얻기 위해서는 상대적으로 더 많은 연료 공급이 있어야 한다.

한편 메탄올의 기화 잠열이 가솔린의 6.4배가 되기 때문에 혼합비율에 따라 기화열은 증가하게 되어 흡기관의 혼합기의 온도가 낮으므로 흡입공기의 중량을 크게 함으로서 출력을 높게 할 수 있다.

Table 1 Properties of methanol blended fuel. (293°K)

	Unit	Gasoline	M10	M20
Spec. gravity	Kg/m ³	0.702	0.710	0.725
Stoich. ratio	-	14.7	13.65	13.05
Latent Heat	Kcal/kg	75	98.42	120.30
Low heating value	Kcal/kg	10,500	9,843	8,210

가솔린의 이론 화학 방정식:



메탄올의 이론 화학 방정식:

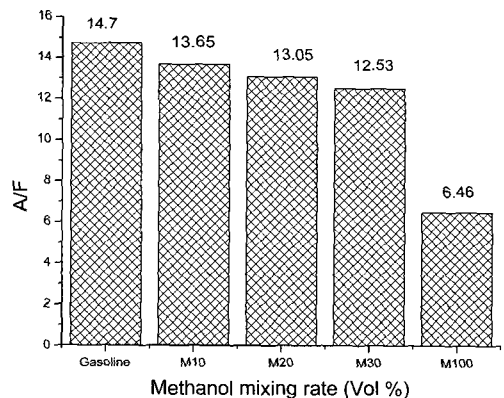
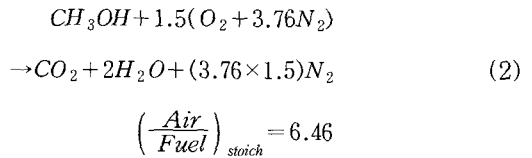


Fig. 1 Gasoline and Methanol Stoichiometric⁽¹⁰⁾

2.2 연료의 증발특성

연료를 증발시키기 위해서 가열하는데 요하는 시간은 증발을 무시한 상태에서 연료입자 직경을 δ 로 하고 온도를 dT_B 로 상승시키는데 필요한 열량과 공기로부터 연료 입자면에 공급되는 열량이 같다고 하면 다음 식과 같다.

$$\frac{\pi}{6} \delta^3 \gamma_b C_b dT_B = \alpha_a \pi \delta^2 (T_A - T_B) dt$$

따라서

$$\frac{dT_B}{T_A - T_B} = \frac{6\alpha_a}{C_b \gamma_b \delta} dt \quad (3)$$

윗 식에서 C_b 는 연료의 비열, γ_b 는 연료의 비중, T_A 는 공기온도, α_a 는 공기와 연료입자 표면 열전달계수이며, *Nusselt*수와의 관계식에서 구해진다.

강제대류에 대하여 *Nusselt number*는

$$N = \frac{\alpha_a \delta}{\lambda_a} = 2 + 0.6 Sc^{1/3} \cdot Re^{1/2} \approx 2(1 + 0.3 Re^{1/2}) \quad (4)$$

로 구해진다.

여기서 λ_a 는 공기의 열전도율, S_c 는 *Schmidt* 수 ν_a/D_a (ν_a :공기의 동점성계수, D_a : 확산계수)이며 탄화수소가 공기 중에 확산하는 경우에 1에 가깝다.

연료입자의 초기온도가 T_{BO} 에서 비점 T_{BS} 까지 가열하는데 요하는 시간 τ_h 를 구하면 식(5)와 같다.

$$\tau_h = \frac{C_b \gamma_b \delta^2}{12 \lambda_a} \ln \frac{T_A - T_{BO}}{T_A - T_{BS}} \quad (5)$$

또한 증발에 요하는 열량과 연료입자 표면에 공급되는 열량이 같다고 하면 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$-\frac{d}{dt} \left(\frac{\pi}{6} \delta^3 \gamma_b l \right) = \alpha_m \pi \delta^2 (T_A - T_B) \quad (6)$$

여기서 l 은 증발열과 증기를 주위온도까지 가열하는데 요하는 열량과의 합이며 식(4)를 적용하여 연료 입자면 가까이에 있는 증기와 공기 혼합기의 정수를 이용하면 다음 식(7)과 같다.

$$-2\delta \frac{d\delta}{dt} = K_0 (1 + 0.3 \sqrt{Re}) \quad (7)$$

$$K_0 = \frac{8\lambda_m}{\gamma_b l} (T_A - T_B) \frac{8D_{\rho} \delta}{\gamma_b}$$

윗 식에서 λ_m 은 혼합기의 열전도율이며, D_{ρ} 는 분압으로 나타난 확산계수이고, P_s 는 증기의 포화 압력이다. 또한 K_0 는 증발정수이며, 대류 열교환과 분자확산으로 이루어 질 경우 $Re=0$ 으로서 식(7)을 적분하면 δ 의 시간적 감소가 구하여진다.

$$\delta^2 = \delta_0^2 - K_0 t \quad (8)$$

여기서 $\delta=0$ 이며, 증발시간 τ_v 는 다음 식과 같다.

$$\tau_v = \frac{\delta_0^2}{K_0} \quad (9)$$

이와 같이 구해진 $\tau_h + \tau_v$ 는 연료입자가 전부 증발하여 주위온도에 도달할 때까지의 시간이며, 실제로는 연료입자가 전부 증발하지 않아 발화에 필요한 농도 및 온도가 얻어지는 τ_{PH} 는 $\tau_h + \tau_v$ 보다 작다.

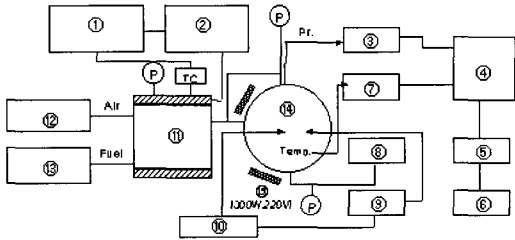
3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

실험장치는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 크게 정적연소실, 예혼합실, 단발점화장치, 온도조절장치, 온도측정장치, 압력측정장치, 데이터획득처리장치, 동기제어장치 등으로 구성되어 있다.

또한 Fig. 3에 보이는 정적연소기는 체적이 314cc이고 재질은 알루미늄으로 제작하였고 연소실의 전·후면에는 화염가시화를 위하여 석영유리를 설치하였다. 사진촬영을 통한 화염전파특성 연

구에 적합하도록 집화플러그 전극의 위치는 연소실 중앙에 위치시켰으며, 양 전극 중심간의 간격은 1.5 mm로 고정하였다.



- ① Temp. Controller ② Power Supply
- ③ Charge Amplifier ④ A/D Converter
- ⑤ IBM PC-586 ⑥ I/O Board
- ⑦ Amplifier (PCLD-789) ⑧ Vacuum Pump
- ⑨ Ignition System ⑩ Battery
- ⑪ Premixer ⑫ Air Comp.
- ⑬ Inj. System ⑭ Combustion Chamber
- ⑮ Heater

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

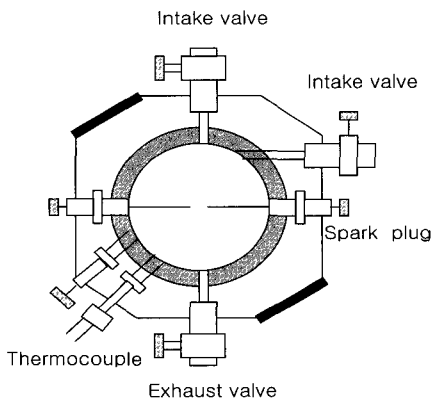


Fig. 3 Schematic diagram of constant volume combustion chamber

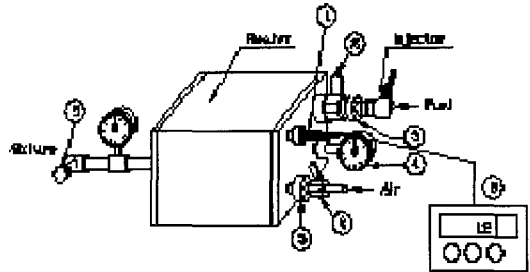
압력 측정은 압전형 압력변환기를 사용하였으며, 온도측정은 R형 열전대를 연소실 벽면으로부터 3mm 돌출시켜 장착하였다.

연소실 벽면에는 100W 판히터 2개를 부착하여 온도조절이 가능토록 하였으며, 연소실 내의 초기 공기온도는 K형 열전대를 사용하여 측정하였다.

또한 벽면 온도의 영향을 최소화하기 위하여 벽면으로부터 15mm 돌출시켜 설치하였다.

Fig. 4에 보이는 예연소실의 재질은 열전도성이 우수한 동을 사용하였으며, 양측면에 1kw용량의 판히터를 부착하여 벽면의 온도차가 없도록 하였다.

예혼합실의 용량은 2650cc로 하고 인젝터 어댑터 부분과 열전도율이 낮은 테프론 봉을 연결하여 고온의 열을 차단하였다.



- ① Thermocouple ② Valve ③ Adaptor
- ④ Stainless pressure gauge
- ⑤ Mixture control valve
- ⑥ Temperature control unit

Fig. 4 Schematic diagram of pre-mixer

3.2 실험방법

공기는 이상기체라 가정하고 공기의 질량을 산출하였고 연료의 분사량은 인젝터의 통전시간에 따른 분사량으로 조절하였으며, 연료 및 공기의 당량비와 예혼합기의 온도에 따른 실험조건은 Table 2와 같다.

Table 2 Experimental conditions of mixture fuel

Equivalent ratio	0.8~1.3
Initial pressure(bar)	1, 2, 3
Combustion chamber temperature(°K)	353, 313
Premixture chamber temperature(°K)	433, 353, 333, 313
Plug gap(mm)	1.5

4. 실험결과 및 고찰

4.1 당량비 변화에 따른 연소압력 특성

Fig. 5는 당량비에 따른 정적연소실내의 최대압력의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 동일 당량비에 대해 최고 연소압력은 혼합비의 압력이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며, 기울기가 초기 압력이 높아질수록 증가하고 있음을 알 수 있는데 이는 압력에 의한 난류유동의 영향으로 분석된다.

그림에서 최대 연소압력은 당량비 1.1~1.2 부근에서 나타나고 있으며, 이론 최대출력 당량비 1.13~1.18의 범위와 잘 부합됨을 알 수 있다.

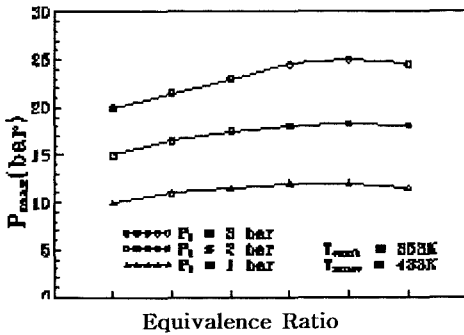


Fig. 5 Effect of initial pressure on max. combustion pressure

Fig. 6은 동일한 온도 조건인 연소실의 온도가 313°K이고 예혼합실의 온도가 433°K인 경우의 당량비에 대한 압력선도의 시간변화를 나타낸 것이다.

그림에서 연소실 내의 혼합기의 초기압력이 높아질수록 각각의 당량비에서 압력선도는 증가하고 있으며 당량비가 높아질수록 점화지연기간은 짧아지고 있으며, 최고압력 상승율이 급격하게 높아지고 있다. 이것은 혼합비 및 난류의 영향으로 분석되고 있다.

그러나 그 압력의 하강 폭이 이상적인 정적 연소과정의 압력선도에 비하여 급격히 감소하는 현상을 보이고 있는데 이것은 연소실이 알루미늄으로 제작되어 열전달에 의한 에너지 감소현상에 기인되는 것으로 보인다.

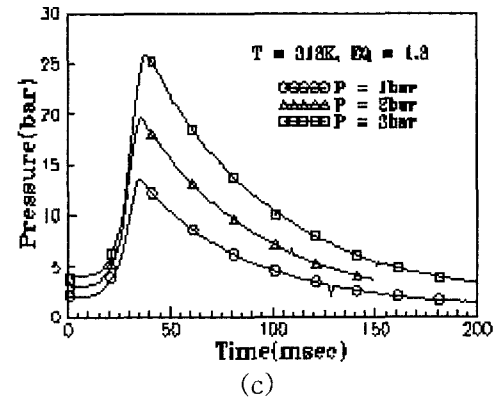
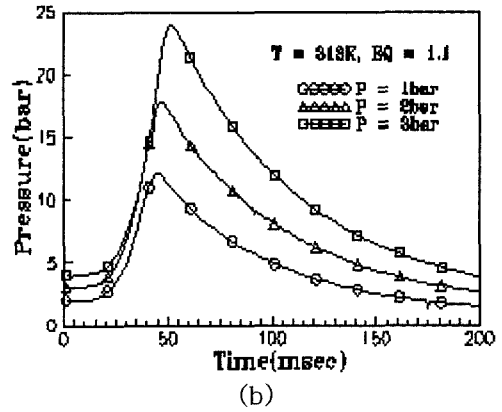
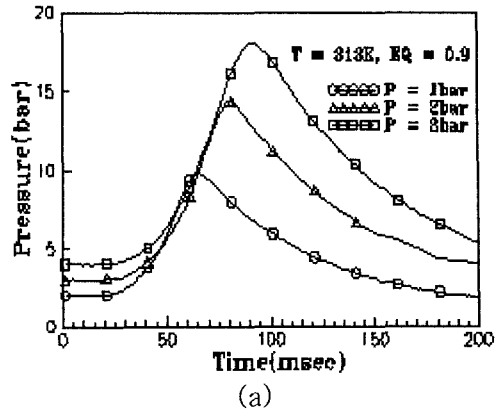


Fig. 6 Combustion pressure with initial mixture pressure

Fig.7은 각 당량비에서의 최고압력까지의 소요 시간을 나타낸 그림이다. 최대압력까지의 도달시간은 출력 당량비에서 가장 짧게 나타났으며, 희박영역에서의 당량비로 이동할수록 3가지의 경우

모두 공급압력 지연율이 증가하고 있음을 볼 수 있다.

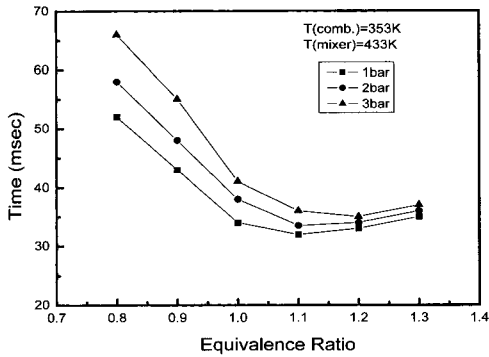


Fig. 7 Effect of equivalence ratio on time consumed maximum combustion pressure

4.2 연소실 온도변화에 따른 연소특성

Fig. 8은 각 당량비에서 최고 압력에 도달할 때까지의 시간을 나타낸 것으로서 최대 압력까지의 도달 시간은 이론 당량비의 출력당량비에서 가장 짧게 나타나고 있으며, 희박한 당량비 영역으로 이동할수록 공급 압력 모두 연소 기간이 현저하게 증가됨을 알 수 있다.

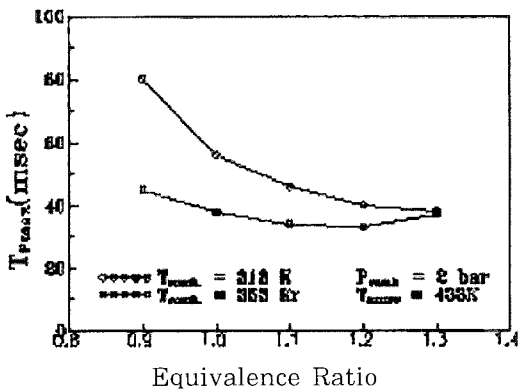


Fig. 8 Effect of initial temperature on max. combustion pressure

4. 결 론

혼합연료의 당량비 변화에 따른 연소특성의 기초실험결과를 분석하고, 가솔린 기관의 구조를 변

경하지 않은 상태로 메탄올 혼합연료를 적용하기 위한 기초실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 공급되는 연료의 압력이 높을수록 최대 연소 압력은 증가하며, 최대 압력은 당량비 1.1-1.2의 범위 존재함을 알 수 있었다.

2) 분사된 연료의 주위온도가 낮을수록 기화가 저하되어 연소압력과 연소속도가 감소되고 있으며, 특히 313K 일 경우 그 감소폭이 떨어짐을 알 수 있었다.

3) 분사된 연료가 충분히 기화하여도 연소실 내의 온도에 따라서 연소특성은 급격하게 저하되는 현상을 확인할 수 있었다.

4) 연소특성은 연료의 기화에 대하여 분사된 직후의 주위온도의 영향도 중요하지만 최종적으로 공급된 후의 연소실 내 온도의 영향에 더욱 지배적이었음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Iwakiri, "Development of Mitsubishi Flexible Fuel Vehicle", SAE910861, pp.135-138, 1997.
- [2] H. Kachi, K. Akiyama, N. Nakano, and N. Igarash, "Development of Practical Simultaneous analysis of Methanol and Formaldehyde from Methanol Fueled Vehicle", JSAE, Vol.22, No.1, pp.77-81, 1991.
- [3] M. T. Lim, R. W. Anderson and V. S. Arpaci, "Prediction of Spark Kernel Development in Constant Volume Combustion", Combustion and Flame, Vol.69, pp. 150-155, 1987.
- [4] C. Arcoumanis and C. S. Bae, "Visualization of Flow and Flame Interaction in a Constant-Volume Combustion Chamber", SAE930868, 8-140.
- [7] H. M. Cho, and C. S. Lee, "A Study on Combustion and Emission Characteris-

tics of the Methanol Blended Fuel in SI engine" Vol.11, No.6, pp.1-6, 2003.

- [8] H. M. Cho, and C. S. Lee, "Effect of Meission", Vol.12, No.1, pp.61-65, 2004.
- [9] V. I. Mooney, E. M. Am, "Internal Combustion engine Theor and design", McGraw-hill Company, pp.70-84, 1991.
- [10] H. M. Cho, "A Study on the Fuel Evaporation and Combustion Characteristics of Gasoline-Methanol Blend in Gasoline Engine" Hanyang Uni. Ph.D. Paper, pp.13, 1997.

저 자 소 개



조행목 (趙珩默)

1982 영남대학교 기계공학과 공학사, 1990 연세대학교 대학원 자동차공학전공 공학석사, 1997 한양대학교 대학원 열공학 전공 공학박사, 소속 : 공주대학교 공과대학 기계자동차공학부(자동차공학 전공)