

가솔린·메탄의 연소특성 비교

Comparison of the Combustion Characteristics of Methane-Air and Gasoline-Air Mixtures

박명호*
M. H. Park

Abstract

Comparison of the combustion characteristics of methane-air and gasoline-air mixtures has been conducted experimentally by a spherical bomb technique. The results indicate 1) the burning velocity of gasoline is slightly higher than that of methane, but their basic behavior of combustion characteristics, positive dependence on temperature and negative one on pressure, are the same, and 2) 20 vol.% addition of hydrogen to methane enhances the burning velocity by about 30%, but does not come to reverse the tendency of pressure dependence to that of pure hydrogen.

주요기술용어(Key Words) : Burning Velocity(연소속도), Methane(메탄), Gasoline(가솔린), Hydrogen(수소)

1. 서론

석유공급의 불확실성과 자동차 배출가스에 의한 환경오염이 매우 심각한 사회문제로 대두되고 있는 가운데, 배출가스의 저감 및 저공해 에너지로 메탄을 주성분으로 하는 천연가스가 주목을 받고 있다. 그러나, 메탄은 탄화수소계 연료중에서 가장 연소속도가 느리고, 효율의 향상과 배출가스 정화를 동시에 달성하려는 희박연소에서는 그 경향이 더욱 현저하고 그것이 출력성능을 유지하는데 장애요인으로 작용하기도 한다(1-3).

천연가스엔진의 개발을 보다 진전시키기 위해서는 현재의 불꽃전화방식 내연기관 연료의 주류인 가솔린과의 연소특성을 비교할 필요가 있다고

사료되지만, 가솔린의 연소속도 등에 관한 문헌이 불충분하였다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 구형용기를 이용하여 가솔린-공기혼합기, 메탄-공기혼합기에 관해서 당량비, 초기압력을 변화시켜 연소속도를 측정하고, 연소특성의 비교를 수행하였다. 또한, 연소특성의 개선 효과를 알아보기 위하여 메탄에 체적비율로 20% 수소를 첨가하여 연소속도의 향상에 어느 정도 기여하는가를 살펴보기로 하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig.1은 실험장치의 개략도를 나타낸다. 이 장치는 연소실, 착화장치, 데이터 처리장치로 구성되어 있다. 연소실 내경은 160mm, 용적은 2144cc이고, 허용최대압력은 10MPa이다.

착화는 콘덴서에 축적된 전기에너지를 순간적으로 방출시켜, 그 에너지에 의해 전극간에 발생

*삼척대학교 기계공학과

한 방전에 의해 착화를 하였다. 점화용 전극은 자동차용 점화플러그의 음극단자를 제거하고, 양극단자를 연장하여 2개가 서로 마주보도록 설치하였다. 전극의 두께는 2.5mm로 앞부분을 뾰족한 원추형 모양으로 가공하였으며, 점화위치는 용적의 중심으로 하였다.

실험방법, 연소속도의 계산은 Takeno, Iijima에 의해 확립된 방법을 이번 실험에 맞게끔 변경하여 수행하였다(4).

가솔린-공기혼합기의 연소속도 측정의 경우, 연소용기내에 소정의 당량비가 되도록 가솔린을 집어넣은 후 소정의 압력까지 공기를 주입하였으며, 예혼합기가 용적내에서 정지할 때까지 약 5분정도 경과한 후, 점화를 행하여 연소실내의 압력 P 의 시간적변화를 측정하였다.

메탄-공기혼합기의 경우도 동일한 방법으로 측정하였으며, 당량비 또한 압력센서로 분압을 측정 조정하였으며, 소정의 비율로 예혼합분배에 흡입 균일하게 혼합될 때까지 교반을 행하였다. 그리고, 연소실 용기내를 진공한 후 예혼합기를 소정의 압력에 도달할 때까지 연소실내에 공급하였다.

본 실험에 사용된 연소속도 S_u 의 실험식은 다음과 같이 나타낸다.

$$S_u = \frac{1}{F_1(\pi)} \frac{r_c}{P} \frac{dP}{dt} \quad (1)$$

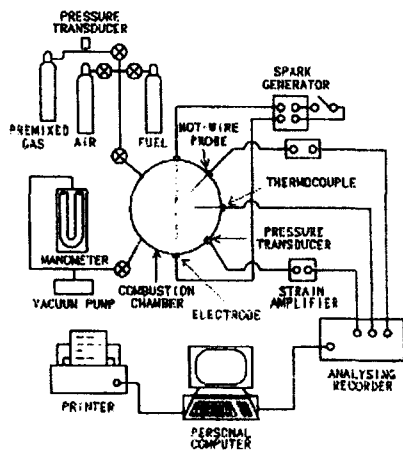


Fig.1 Schematic of the experimental apparatus. 여기서, r_c 는 용기내 반경, π 는 무차원압력으

로 $\pi = P/P_0$ (P_0 는 초기압력)이다. $F_1(\pi)$ 은 미리 계산할 수 있는 함수이므로, 압력 P 의 시간적 변화만을 측정함으로써 연소속도를 유도할 수 있다(4).

Table.1 Experimental condition.

Initial Temperature	291 K
Spark Energy	250 mJ
Spark Gap	1 mm

Table.1은 실험조건을 나타내고 있다. 착화에너지는 다른 연구자들의 실험조건보다 보다 크게 하였는데, 착화이외의 효과를 억누르기 위하여 이 에너지는 작은 편이 좋지만, 착화가 불안정한 경우가 발생하였으므로, 이것을 피하기 위하여 보다 큰 값을 사용하였다. 이보다 작은 에너지의 경우도 연소속도에 차이가 없었다는 것은 별도의 실험을 통하여 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압력-시간선도

Fig.2는 $P_0 = 0.4MPa$, $\phi = 1.0$ 의 가솔린-공기혼합기에 점화하였을 경우의 압력의 시간적변화를 나타내고 있다. Fig.2에 나타냈듯이 연소종료 압력이 50%정도의 압력에 도달하였을 때, 연소종료 시간은 약90%정도 경과됨을 알 수 있었다.

따라서, 정적연소의 경우 착화직후의 저온저압시의 연소속도가 연소종료 시간을 지배한다고 볼 수 있다. Table.2는 $P_0 = 0.1MPa$, $\phi = 1.0$ 일때의 연소종료시의 압력 $P_{1,m}$ 의 비교를 나타내고 있다.

계산은 단일연소화염 프로그램(NASA SP-273)을 이용하였으며, 계산값보다 실험쪽의 압력값이 낮게 나타난것은 화염이 벽면에 접근하였을 때 연소속도가 저하하기 때문이라고 사료된다(5). 이것은 Fig.2의 압력-시간선도가 연소종료 직전에 약간 경사지게 기울어져 있는 것으로서 확인할 수가 있고, 그것은 화염의 대칭성이 완전하지 않고, 또한 벽에 의한 열손실이 발생하였기 때문

이라고 판단된다.

솔린 38.5cm/s, 메탄 35.8cm/s순으로 측정되었다.

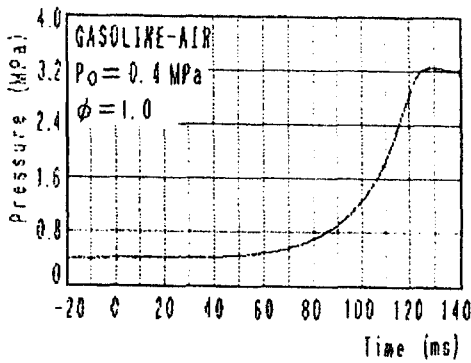


Fig.2 A sample pressure-time curve. Gasoline-air mixture at stoichiometry.

Table.2 Comparison of terminal burning pressure P_{tm}

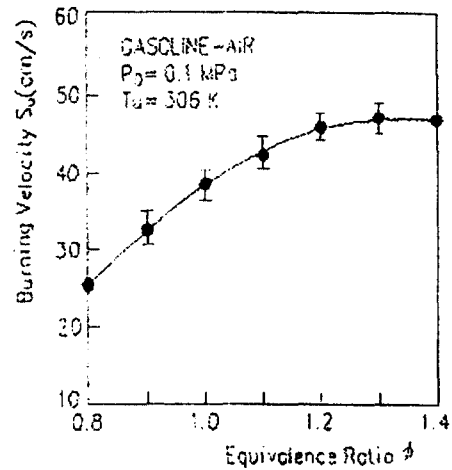
Mixture	P_{tm} (MPa)	
	Experiment	Calculation
Gasoline-air	0.91	1.09
Methane-air	0.84	0.99

가솔린-공기 혼합기의 경우도 계산값과 실험값의 P_{tm} 을 비교하면, 계산값의 경우가, 약 10% 정도 크게 나타났으며, 이 차이가 내연기관 정적 연소에서 실린더내 압력차이를 발생시키는 원인이 된다고 볼 수 있다.

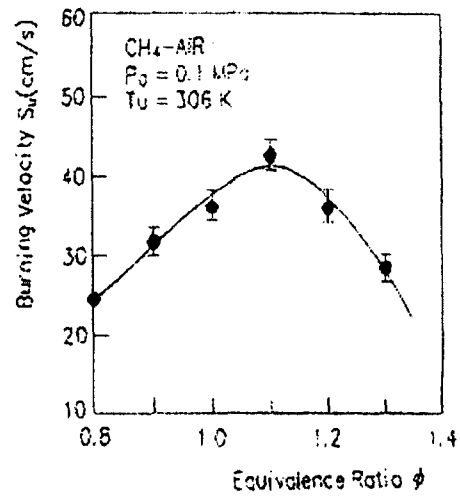
3.2 당량비의 영향

Fig.3은 초기압력 $P_0=0.4MPa$, 미연가스온도 $T_u=306K$ 일때의 당량비 ϕ 와 연소속도 S_u 의 관계를 나타낸 것이다.

(a)는 가솔린-공기혼합기의 경우 (b)는 메탄-공기혼합기의 경우를 나타낸 것으로 ●는 6회 실험에서의 평균값을 표시하며, 짧은 종선은 6회 측정값의 편차범위를 나타내고 있다. 결과를 살펴보면, 모든 당량비에서 가솔린의 연소속도값이 메탄의 그것보다 상회하고 있음을 알 수 있었으며, 이론당량비($\phi=1.0$)에서의 연소속도값은 가



(a) Gasoline-air mixture.



(b) Methane-air mixture

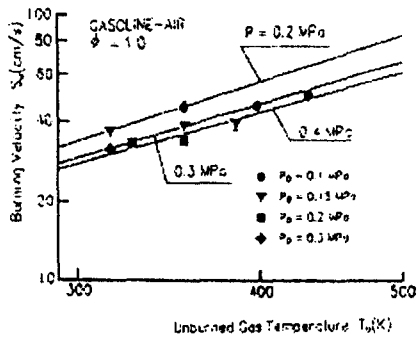
Fig.3 Effects of equivalence ratio on burning velocity at $T_u=306K$.

연소속도의 최대값은 가솔린이 $\phi=1.3$ 부근에서 46.9cm/s, 메탄은 $\phi=1.1$ 에서 42.2cm/s 정도로 측정되었다. 특히, Fig.3 (b)의 경우 당량비가

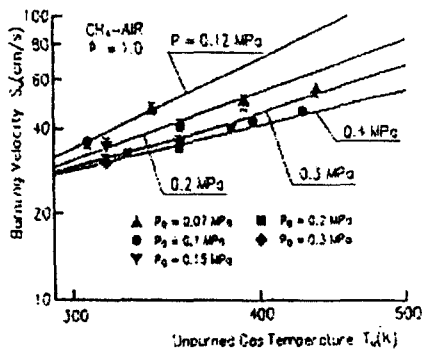
1.1을 초과해서 연소속도가 감소하는 이유로 이른 혼합비로 표시되는 곳에서 연소속도는 최대값을 나타낼 것 같지만, 고온영역이기 때문에 각종 분자원자가 복잡한 반응을 하고 있기 때문에 최대값의 위치에서 벗어났다고 볼 수 있다. 즉, 열해리라 불리는 반응으로 적은 양이지만 흡열반응에 의해 화염온도가 내려갔기 때문이라 사료된다. 이 반응은 고온일수록 활발하기 때문에 결과적으로 약간 과농축에 기울어졌을 때 최대의 연소속도가 존재하였다고 볼 수 있다.

3.3 온도의 영향

Fig.4는 $\phi = 1.0$ 에 관하여 동일 압력에서의 온도가 연소속도에 미치는 영향을 나타낸 것이다.



(a) Gasoline-Air mixture



(b) Methane-Air mixture.

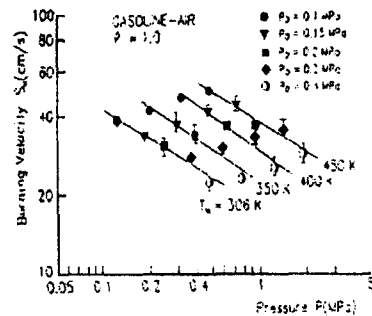
Fig.4 Effects of temperature on burning velocity at stoichiometry

가솔린, 메탄의 경우 모두 주어진 압력에 관하여 직선이 오른쪽 위로 향하고 있었으며, 미연가스 온도가 상승함에 따라 연소속도 또한 상승하고 있음을 실험결과로부터 알 수 있었다.

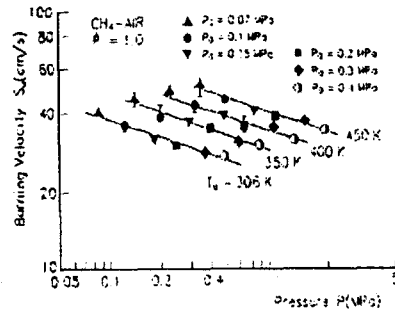
그러나, 가솔린의 경우 온도의존성은 압력에 따라 거의 변함이 없었지만(기울기가 일정), 메탄의 경우 압력이 낮아지면 온도의존성은 약간 크게 되는 경향을 확인할 수 있었다.

3.4 압력의 영향

Fig.5의 그림(a)는 가솔린-공기혼합기에 관하여 초기압력 $P_0 = 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4 MPa$ 및 초기온도 $T_0 = 291K$, 당량비 $\phi = 1.0$ 의 조건하에서 미연가스온도 $T_u = 306, 350, 400, 450K$ 일 때의 연소속도에 미치는 압력의 영향을 나타낸 것이다.



(a) Gasoline-Air mixture



(b) Methane-Air mixture

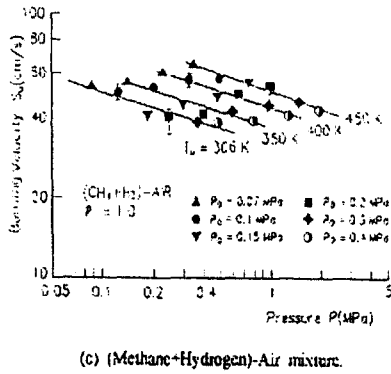


Fig.5 Effects of temperature on burning velocity at stoichiometry.

실험결과를 살펴보면, 어떤 미연가스온도에서도 압력의 증가와 함께 연소속도는 저하하는 경향을 볼 수 있었다.

그림(b)의 경우는 메탄-공기혼합기에 관하여 초기압력 $P_0 = 0.07, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4 MPa$ 일때 그림(a)와 동일조건하에서의 미연가스온도가 연소속도에 미치는 영향을 타나낸 것으로 가솔린-공기혼합기의 경우와 유사한 결과가 나타남을 확인할 수 있었다.

그림(c)는 메탄에 수소를 체적비율로 20% 첨가하였을 때 그림(b)와 동일조건하에서의 실험결과(이하, 메탄 + 수소)를 나타내고 있다. 그림(b)와 비교하여 20% 수소첨가의 경우가 약 25~35% 정도 연소속도가 상승함을 확인할 수 있었으나, 반대로 압력이 상승함에 따라 연소속도는 그림(a),(b),(c) 모두 저하하는 경향을 나타내었다.

이번 실험결과 압력의존성이 가장 큰 것이 가솔린임이 확인되었고, 메탄 및 20% 수소첨가의 경우 압력의존성에 그다지 큰 차이를 볼 수 없었다. 또한, 어느 혼합기에서도 압력의존성은 온도에 따라 거의 변화하지는 않았다.

4. 결 론

구형용기법을 사용 가솔린-공기혼합기, 메탄-공기혼합기 및 메탄/수소-공기혼합기에 관해서 연소속도를 측정하고, 연소특성 비교를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻어낼 수 있었다.

1. 구형용기를 이용한 연소가스중의 압력의 시간적변화를 측정함으로써 가솔린, 메탄 및 메탄/수소-공기혼합기의 연소속도를 온도, 압력의 함수로서 구할 수 있었다.

2. 가솔린-공기혼합기의 연소속도는 미연가스온도가 증가함에 따라 함께 상승하였으며, 반대로 압력이 증가함에 따라 연소속도는 감소되는 경향을 보였다.

3. 메탄-공기혼합기의 경우 가솔린-공기혼합기와 비교하여 약간 낮은 연소속도를 보였으나, 수소첨가의 경우는 첨가한 연료자신의 연소속도 즉, 첨가연료의 체적비에 거의 비례하여 높은 연소속도가 측정되었다.

후 기

본 연구를 수행하는데 협력하여 주신 西部가스(주) 및 九州工大 연소실험실 여러분에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 石井, 天然ガスエンジンの出力 排氣ガスに関する考察, 自動車技術, 47-10 (1993), 60-65
2. 橋, 天然ガスエンジンの希薄燃焼化, 内燃機関, 32-399 (1993), 25-30
3. 박명호, 이선봉, 천연가스 연료의 연소특성에 관한 연구, 대한기계학회 논문집, 1248-1253 (1999)
4. Takeno, T. and Iijima, T.T., A Theoretical Analysis of Flame Propagation in Closed Vessels, Trans. Japan Soc. Aero. Space. Sci., 28-79 (1985), 1-15
5. Gordon, S. and McBride, B. J., NASA SP-273, (1971)