

## 정적연소기를 이용한 합성가스의 가연한계 및 연소특성에 관한 실험적 연구

조 용 석<sup>\*1)</sup> · 이 성 욱<sup>1)</sup> · 원 상 연<sup>2)</sup> · 박 영 준<sup>2)</sup> · 김 득 상<sup>2)</sup>

국민대학교 기계자동차공학부<sup>1)</sup> · 국민대학교 자동차공학전문대학원<sup>2)</sup>

## An Experimental Study on Flammability Limits and Combustion Characteristics of Synthetic Gas in a Constant Combustion Chamber

Yong-Seok Cho<sup>\*1)</sup> · Seang-Wock Lee<sup>1)</sup> · Sang-Yeon Won<sup>2)</sup> · Young-Joon Park<sup>2)</sup> · Duk-Sang Kim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

<sup>2)</sup>Graduated school of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received 8 February 2007 / Accepted 21 September 2007)

**Abstract** : Synthetic gas is defined as reformed gas from hydrocarbon-based fuel and the major chemical species of the synthetic gas are H<sub>2</sub>, CO and N<sub>2</sub>. Among them, hydrogen from synthetic gas is very useful species in chemical process such as combustion. It is a main reason that many studies have been performed to develop an effective reforming device. Furthermore, other technologies have been studied for synthetic gas application, such as the ESGI(Exhaust Synthetic Gas Injection) technology. ESGI injects and burns synthetic gas in the exhaust pipe so that heat from hydrogen combustion helps fast warmup of the close-coupled catalyst and reduction of harmful emissions. However, it is very hard to understand combustion characteristic of hydrogen under low oxygen environment and complicated variation in chemical species in exhaust gas. This study focuses on the characteristics of hydrogen combustion under ESGI operating conditions using a CVC(Constant Volume Chamber). Measurements of pressure variation and flame speed have been performed for various oxygen and hydrogen concentrations. Results have been analyzed to understand ignition and combustion characteristics of hydrogen under lower oxygen conditions. The CVC experiments showed that under lower oxygen concentration, amount of active chemicals in the combustion chamber was a crucial factor to influence hydrogen combustion as well as hydrogen/oxygen ratio. It is also found that increase in volume fraction of oxygen is effective for the fast and stable burning of hydrogen by virtue of increase in flame speed.

**Key words** : Synthetic gas(합성가스), Constant volume chamber(정적연소기), Hydrogen combustion(수소연소), Flammability limit(가연한계)

### 1. 서 론

수소를 이용한 다양한 기술의 개발이 활발하게 이루어짐에 따라, 탄화수소계 연료를 이용하여 수소를 생성하는 기술<sup>1)</sup>은 빠르게 발전하고 있으며 개질하여 얻은 수소는 저장 및 인프라 구축과 관계없

이 보다 쉽게 이용할 수 있는 장점이 있다. 탄화수소계 연료를 개질하면 수소, 일산화탄소, 질소를 포함한 합성가스를 얻을 수 있다.<sup>2)</sup> 이 합성가스를 이용하여 엔진 전처리 및 후처리 기술에 대한 연구가 다양한 관점에서 시도되고 있다.<sup>3,4)</sup> 가솔린 기관은 냉시동 시 촉매가 예열되지 않아 대부분의 유해가스가 배출되어<sup>5)</sup> 이를 개선하기 위한 연구가 필요하다.

\*Corresponding author, E-mail: yscho@kookmin.ac.kr

본 연구에서는 합성가스를 이용하여 배기 다기관에서의 2차 연소를 통한 촉매 예열성을 향상시키는 후처리 기술을 적용시키기 전에 합성가스에 대한 연소 특성을 살펴보고자 한다. 합성가스 내의 수소는 높은 에너지를 갖고 있어 연소에 유리하나 배기다기관 내에는 산소가 적고 불활성 가스가 많아 합성가스를 연소시키기 위해서 적합한 연소 범위를 찾아야 한다.

따라서 본 연구에서는 일반적인 대기조건 및 산소농도가 적은 분위기 조건에서의 합성가스의 연소 특성을 파악하고자 한다. 정적연소기를 이용하여 순수 수소의 가연한계를 조사하여 합성가스의 가연한계를 파악하는데 사용하였으며, 산소농도, 합성가스의 농도 및 분위기 압력 등 다양한 조건에서 합성가스의 가연한계 및 연소특성을 분석하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 정적 연소기 및 측정 장치

실험 장치는 정적연소기, 점화장치, 혼합가스 분사장치, 압력 측정 장치 그리고 연소 가시화를 위한 고속 카메라 등으로 구성 되어 있으며, Fig. 1은 본 연구에 사용된 정적연소기와 주변 실험 장치를 나타낸 것이다. 실험 장치의 주요 제원은 Table 1과 같다. 연소기는 직경 123 mm, 깊이 140 mm의 원통형으로 용적은 1660 cc이다. 주변장치로는 흡·배기밸브, 점화장치 및 압력센서로 구성되어 있으며 연소의 가시화를 위해 양면을 강화유리로 설치하였다.

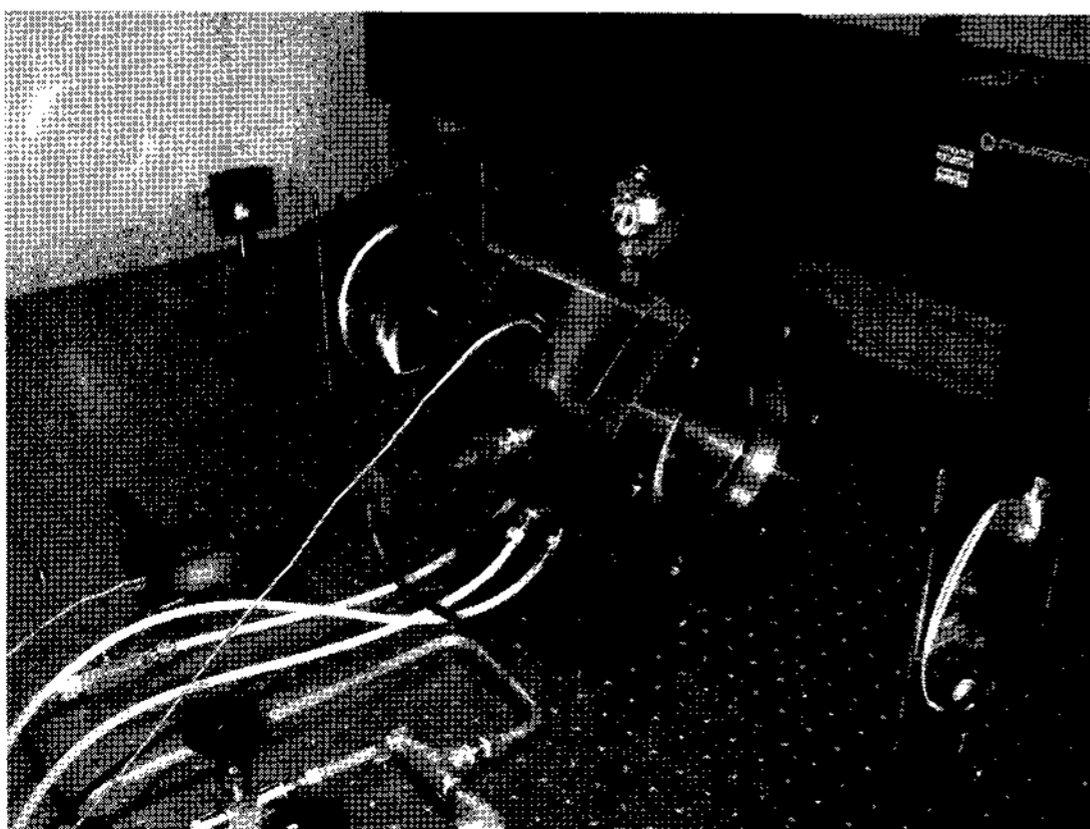


Fig. 1 Experimental setup of constant volume chamber

Table 1 Specifications of experimental setup

Diameter	123 mm
Depth	140 mm
Volume of chamber	1660 cc
Ignition system	CDI system
Pressure sensor	Kistler 6041A type
Charge amplifier	Kistler 5011 type

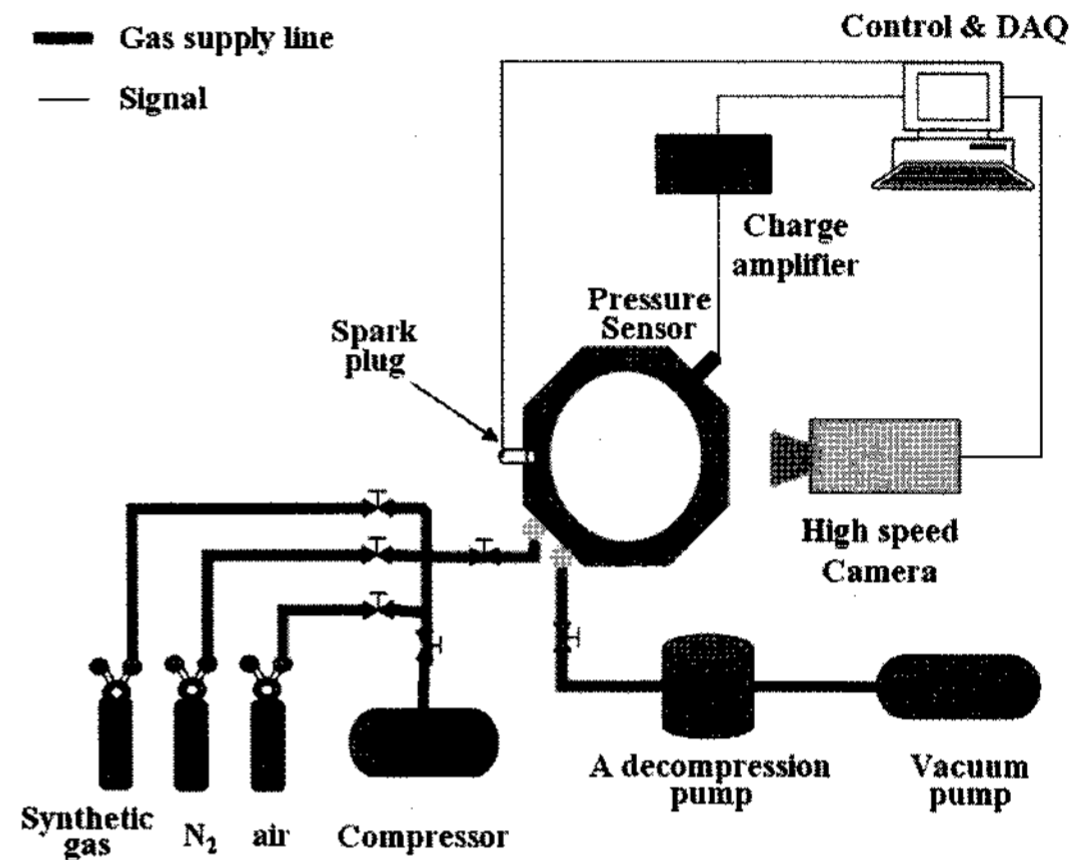


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup

이 면을 통해 고속카메라(Photoron FASTCAM 512)를 이용하여 연소 시 화염전파 과정과 연소상태를 촬영 및 분석하였다.

Fig. 2는 본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 가스 조성 및 압력을 조절하기 위한 미세 압력조절 밸브 및 연소 후 기연가스를 제거하기 위하여 진공펌프를 설치하였다. 모든 데이터는 LabVIEW를 기반으로 하는 DAQ(Data Acquisition; DAQ Card-6024E)를 사용하여 측정하였고, 점화시기와 고속 카메라의 촬영시기 및 압력데이터 저장은 CodeVision AVR C언어를 사용하여 제어하였다.

### 2.2 실험방법

본 실험에서는 합성가스의 공급의 편의를 위하여 개질장치를 통해 생산되는 합성가스를 직접 사용하지 않고, 합성가스와 유사한 성분조성의 모사가스(simulation gas)를 사용하였다. 모사된 합성가스는 수소 26.8%, 일산화탄소 22.8% 및 질소 50.4%로서 가솔린 연료를 개질할 경우 얻을 수 있는 합성가스

의 성분비와 유사하다.<sup>6)</sup>

연소실 내의 가스 조성은 진공펌프를 이용하여 정적연소기 내의 기연가스와 수분을 제거하고, 질소를 이용하여 정적연소기 내를 정화한다. 이후 미세 압력조절밸브를 이용하여 합성가스, 공기, 질소를 정적연소기 내로 주입하여, 여러 실험조건을 구현하였다. 연소실에 유입된 혼합기가 장시간 방치될 경우 수소의 부력에 의해 층상을 형성할 우려가 있다. 일반적인 정적연소의 경우 연소실내의 유동이 안정화되고 연소를 하는 것이 일반적이거나, 본 실험에서는 가스 조절을 완료한 직후 연소하였다. 따라서 연소실 내에는 약간의 유동이 존재할 수 있으나, 이에 대한 오차는 크지 않을 것으로 판단한다. 연소는 연소기 중앙 좌측벽면에 설치된 점화시스템에 의해 이루어진다. 연소압력 및 연소 가시화 데이터는 점화시기 제어의 트리거 신호와 동기화하여 동일 시간상의 변화를 분석할 수 있다. 실험조건은 합성가스의 연료성분인 수소와 일산화탄소 중 연소에 보다 영향이 큰 수소를 기준으로 농도를 조절하였으며, 산소 및 불활성가스의 농도를 조절하여 각 조건별로 반복실험으로 신뢰성을 확보하였다.<sup>7)</sup>

Table 2 Specifications of experimental setup

Item	Specifications
Fuel	Hydrogen(99.999%)
	Synthetic gas (H <sub>2</sub> :26.8%, CO:22.8%, N <sub>2</sub> :50.4%)
Discharge duration	10 ms
Initial temperature	25°C

Table 2는 실험조건을 나타낸다. 합성가스의 가연한계를 알아보기 위하여 수소의 가연한계를 먼저 조사하고, 다양한 분위기 조건에서의 합성가스의 가연한계를 조사하였다. Table 3은 합성가스 연소특성을 파악하기 위한 실험조건을 정리한 것이다. Case 1~6은 합성가스 농도를 고정하고 산소농도 변화에 따른 연소특성을 파악하기 위한 실험조건을 나타냈으며, Case 7~12는 산소농도를 고정하고 합성가스 농도 변화에 따른 연소특성을 파악하기 위한 실험조건을 나타낸다. 각 실험은 분위기 압력 6, 8, 9 bar에서 수행되었다.

Table 3 Experimental conditions

Case	H <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	CO(%)	H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub>	$\alpha$	X <sub>a</sub> (%)	P <sub>0</sub> (bar)
1	8.8	7.0	7.5	1.257	2.329	23.3	6
2	8.8	8.4	7.5	1.048	1.940	24.7	6
3	8.8	9.8	7.5	0.898	1.663	26.1	6
4	8.3	7.6	7.1	1.084	2.026	23.0	8
5	8.3	9.2	7.1	0.898	1.674	24.6	8
6	8.3	10.2	7.1	0.806	1.510	25.6	8
7	15.4	8.8	13.1	1.760	3.239	37.3	6
8	11.0	8.8	9.4	1.257	2.318	29.2	6
9	6.6	8.8	5.6	0.754	1.386	21.0	6
10	11.7	8.4	10	1.397	2.583	30.1	9
11	8.8	8.4	7.5	1.048	1.940	24.7	9
12	5.9	8.4	5	0.698	1.298	19.3	9

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 수소의 가연한계

Fig. 3은 합성가스내의 수소 연소 특성을 알아보기에 앞서 정적연소기 내에서 순수 수소와 공기와 연소반응 시 순수 수소에 대한 가연한계를 실험을 통하여 알아보려고 하였다. 정적연소기 내의 분위기 압력(P<sub>0</sub>)을 1 bar로 유지하고 공기 중의 산소와 수소의 체적분율로 수소의 가연한계를 나타내었다. 공기와 연료와의 체적분율로 나타내는 것이 일반적이거나, 본 실험과 같이 대기 조건뿐만 아니라 산소농도가 낮은 조건에서의 실험이 병행될 경우 산소와 연료의 체적분율로 나타내는 것이 효과적이다.

수소의 연소 유무는 정적연소기내의 압력센서와 고속카메라를 이용하여 압력변화 및 화염전파 형상

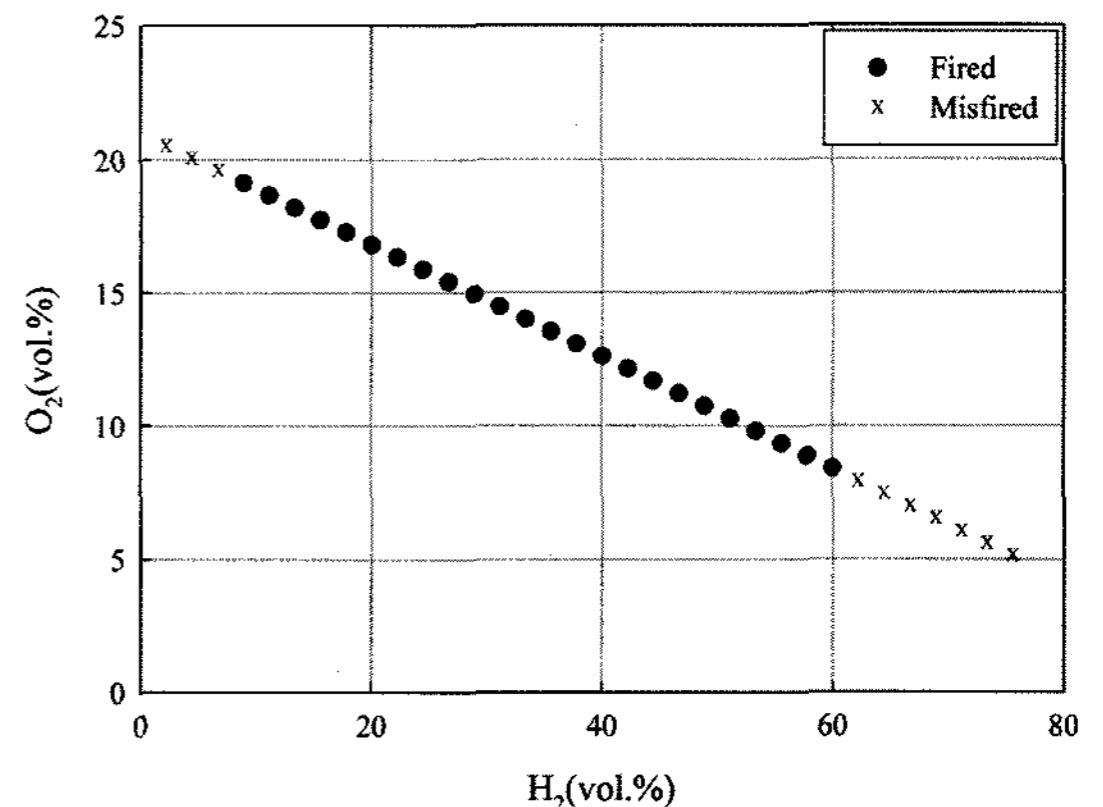


Fig. 3 Flammability limit of hydrogen with various H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> concentrations(ambient pressure : 1 bar)

관찰로 판단하였다. 실험결과 수소의 가연한계 범위는 체적분율 8.8~60%로 나타났다. 일반적으로 대기 조건에서 수소의 가연한계 범위는 수소의 체적분율 기준으로 4~75%이나,<sup>8)</sup> 실험결과 희박영역 및 농후영역에서 가연한계 범위가 좁게 나타났다. 이것은 점화에너지의 부족 및 점화원의 위치 차이에 의해 발생하는 것으로 추정된다.

### 3.2 합성가스의 가연한계

Fig. 4는 정적연소기내 압력을 1 bar로 유지하여 혼합기내 수소와 산소의 체적분율 변화에 따른 연소실험 결과를 보여준다. 합성가스는 연료성분으로 수소와 일산화탄소를 포함하고 있다. 그러나 합성가스의 연소에서 점화는 상대적으로 점화가 유리한 수소와 산소의 반응으로 생각할 수 있다. 따라서 합성가스 내의 수소와 산소의 체적분율로 합성가스의 가연한계를 나타내었다.

합성가스의 가연한계 범위는 전체 혼합기에서 수소의 체적분율이 7.5~13%로 순수 수소의 가연한계 범위보다 좁은 가연한계를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 이는 합성가스에 수소 이외에도 일산화탄소 및 질소가 포함된 것에 기인한다. 상대적으로 많은 점화에너지를 필요로 하는 일산화탄소는 점화시점에서 질소와 더불어 불활성가스로 작용하는 것으로 판단된다. 따라서 불활성 가스의 증가로 가연한계가 좁아지는 것으로 생각할 수 있다.

합성가스의 연소에 미치는 요인을 보다 자세히

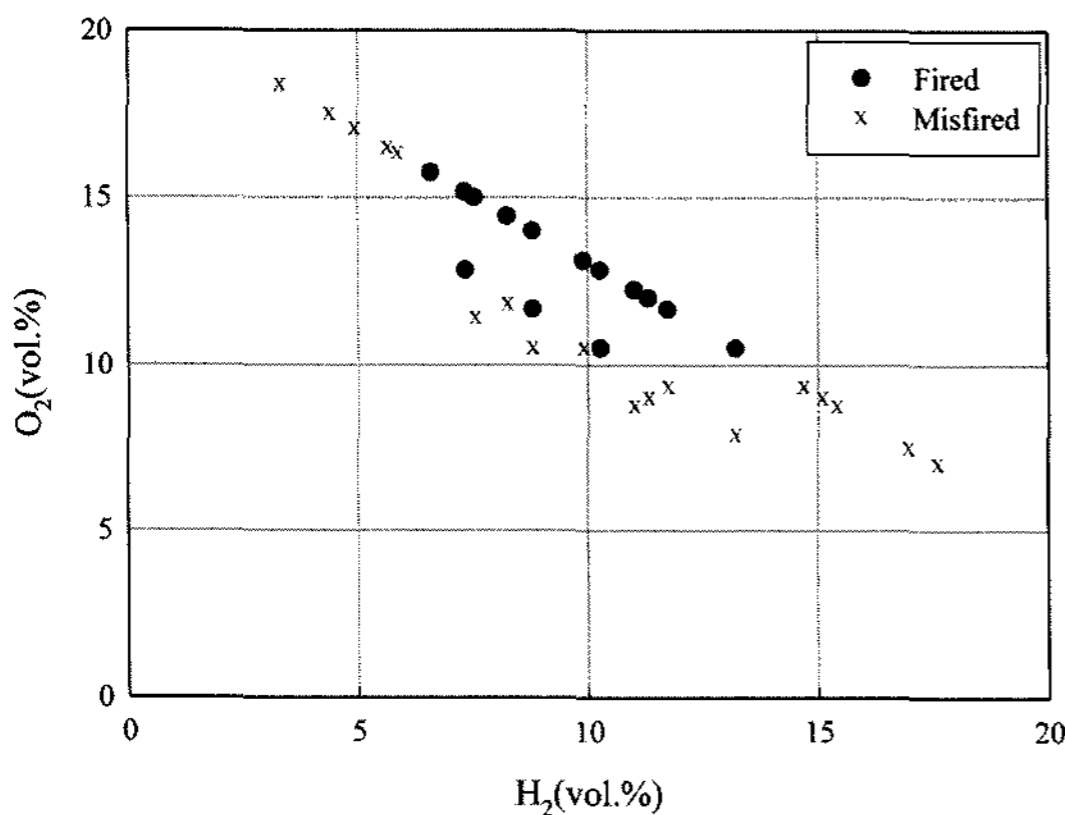


Fig. 4 Flammability limit of synthetic gas with various H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> concentration(ambient pressure : 1 bar)

분석하기 위하여  $a$ 와  $X_a$ 라는 값을 다음과 같이 정의하였다.  $X_a$ 는 전체 활성가스의 체적분율의 합을 나타낸 것이고,  $a$ 는 연료와 산소와의 체적비를 나타낸 것이다. 합성가스의 연료성분인 수소와 일산화탄소가 완전 연소하기 위한  $a$ 는 2이다. 또한 불활성 가스의 양도 고려해야만 하기 때문에  $a$ 와  $X_a$ 를 동시에 고려해야 한다.

$$X_a = H_2 + CO + O_2 \text{ (vol.\%)}$$

$$\alpha = \frac{H_2 \text{ (vol.\%)} + CO \text{ (vol.\%)}}{O_2 \text{ (vol.\%)}}$$

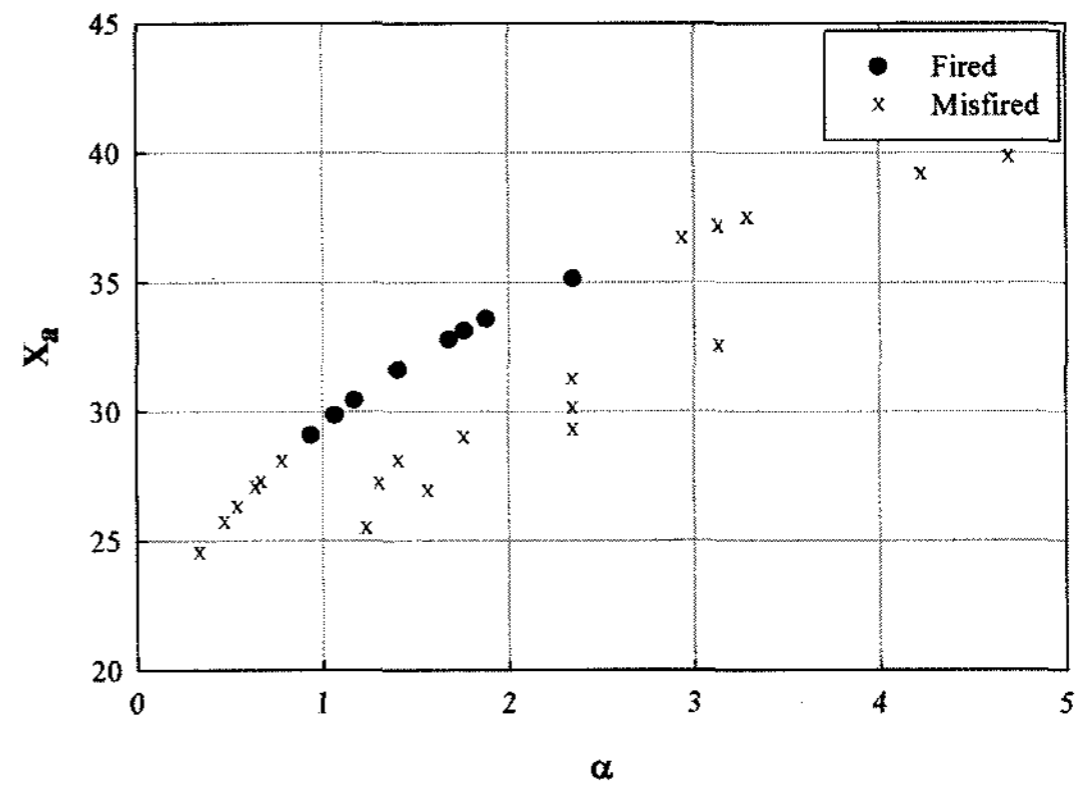


Fig. 5 Flammability limit of synthetic gas as a function of  $\alpha$  and  $X_a$

Fig. 5는 연소가 일어난 경우를  $a$ 값과  $X_a$ 값으로 나타낸 그래프이다.  $a$ 값이 1~2 부근에서  $X_a$ 값이 28~35% 사이에서 연소가 가능한 것으로 확인되었다. 이 그래프에서  $a$ 값이 1~2 사이에서  $X_a$ 값이 35% 이상인 조건은 실험을 실시하지 못했으나 충분히 연소가 가능할 것이라고 판단할 수 있다. 즉 연료와 산소의 비가 1~2 부근이더라도 전체 혼합기에서 활성가스의 비가 낮은 경우 불활성 가스의 영향으로 인해 연소가 불가능한 것을 확인하였다.

### 3.3 합성가스의 연소특성

Fig. 6은 분위기 압력 1 bar 조건에서 연소가 일어난 경우에 대해  $a$ 와  $X_a$  변화에 따른 최고 연소압력 변화를 나타내고 있다. 앞에서 말한 연소가능 조건  $a$ 는 1~2 사이에서  $a$ 가 커질수록 연소압력이 상승하는 것을 볼 수 있다.  $a$ 가 2에 가까이 접근하는 것

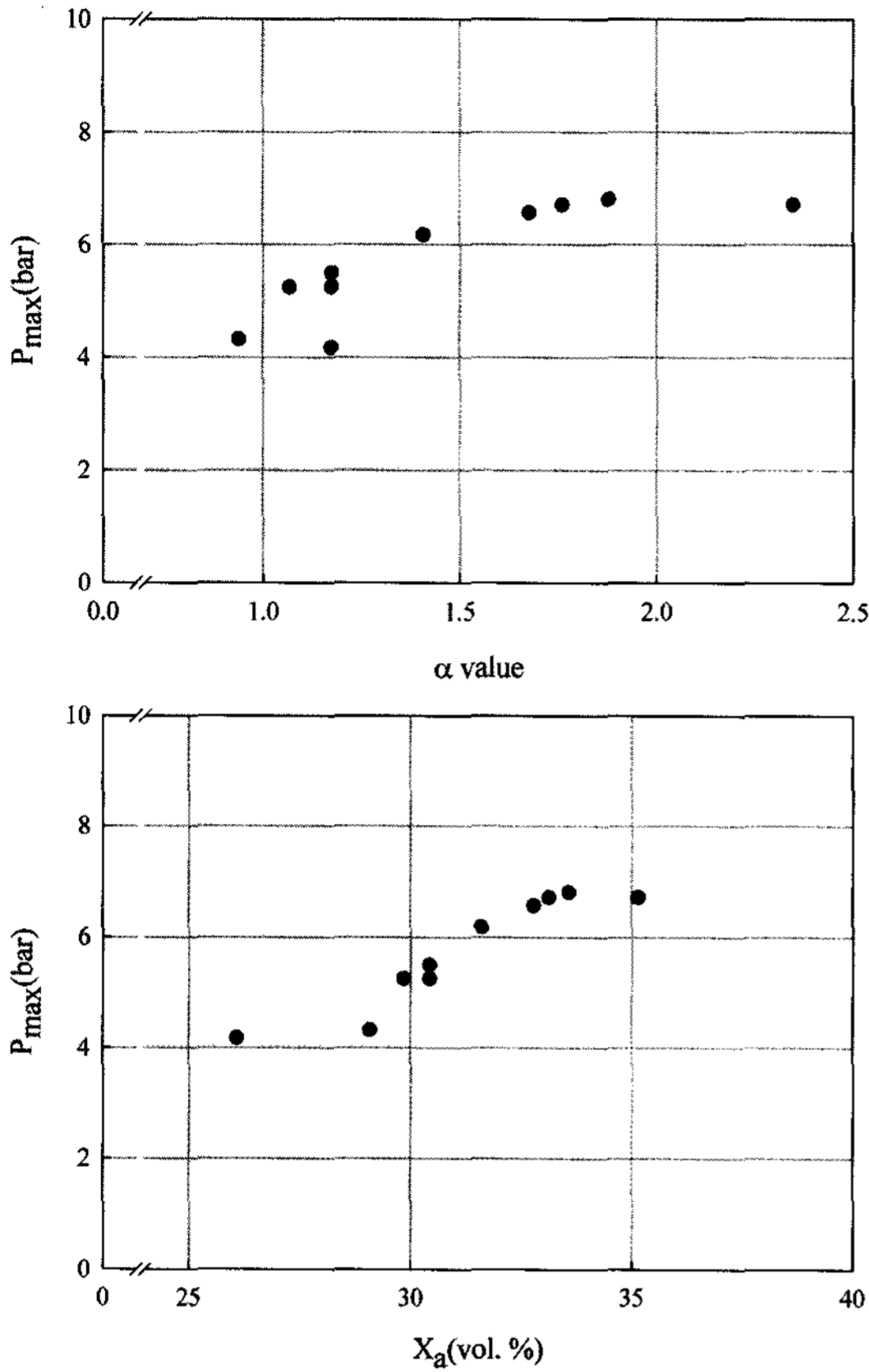


Fig. 6 Effect of  $\alpha$  and  $X_a$ (vol.%) on combustion pressure

은 산소가 충분한 조건이라면 연료의 양이 많아진다는 것을 의미한다. 따라서 산소가 충분한 조건에서 연소되는 연료의 양이 많아져 연소압력이 높아진다. 또한,  $X_a$ 도 25% 이상에서 연소가 가능하고 값이 커질수록 연소압력이 높아진다.  $X_a$ 가 높아지는 것은 연료와 산소의 양이 많아진다는 것을 의미하며  $\alpha$ 가 1~2 사이에서는 연료와 산소의 비가 연소가능 조건이므로 활성가스의 양이 많아질수록 연소압력이 높아진다. Fig. 7은  $\alpha$ 와  $X_a$  변화에 따른 연소시간을 나타낸다.  $\alpha$ 가 커질수록 연소시간이 짧아지고 활성가스의 양 즉,  $X_a$ 가 증가할수록 연소시간이 짧아지는 것을 볼 수 있다. 산소와 연료의 체적분율이 연소가능 범위에 있고,  $\alpha$ 가 커지는 것은 연료 또는 산소의 양이 증가한다는 것을 의미하므로 연소조건이 양호해져서 연소속도가 빨라진다. 활성 가스의 양이 증가하는 것은 혼합기내에 연소 가능한 양이 증가하는 것을 의미하므로 연소조건이 양호해져서 연

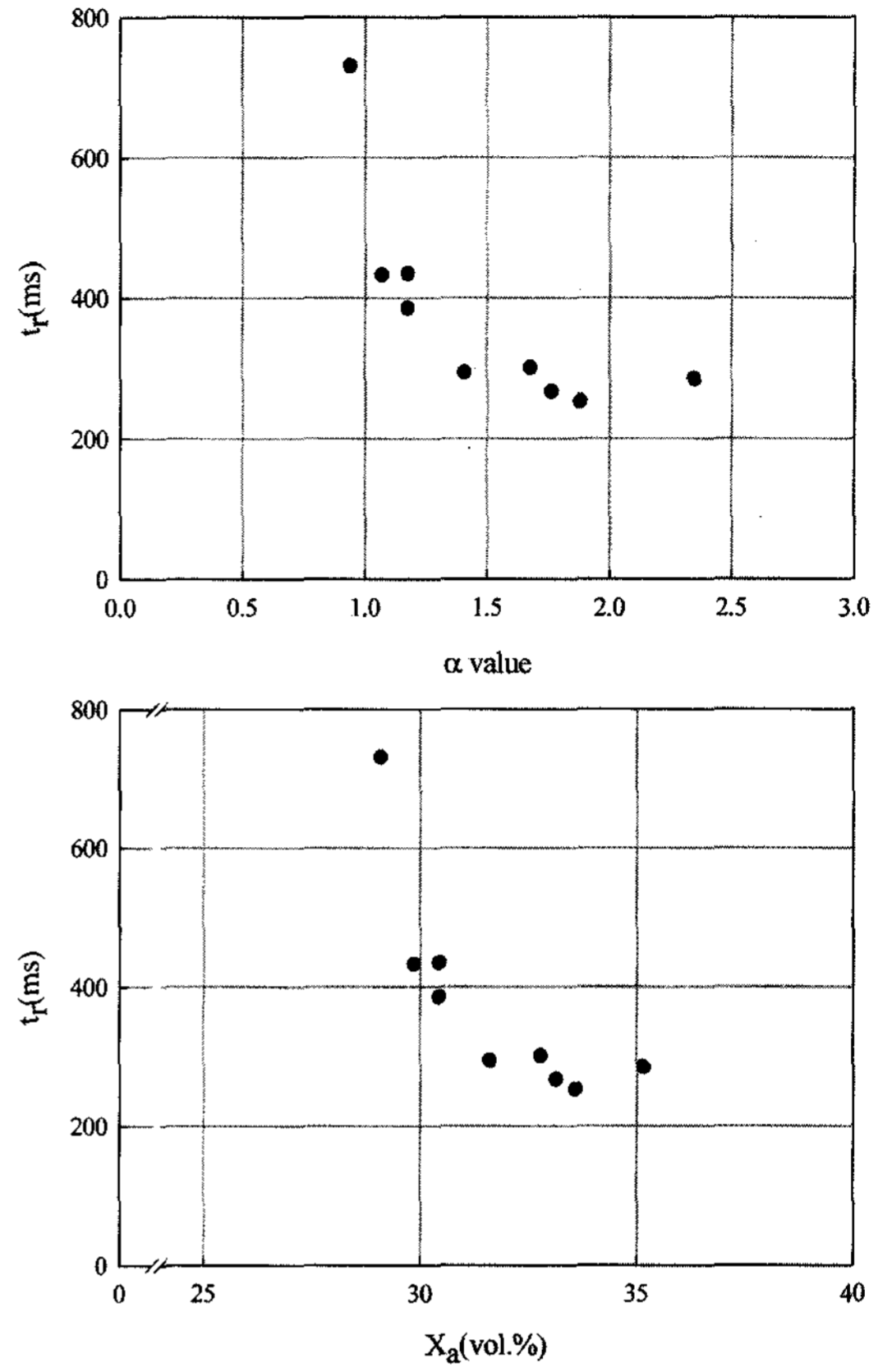


Fig. 7 Effect of  $\alpha$  and  $X_a$ (vol.%) on combustion duration

소속도가 빨라진다.

Fig. 8은 동일한 수소 체적분율에서 산소 체적분율의 변화에 따른 연소압력 변화를 최고압력( $P_{max}$ )과 점화 후  $P_{max}$ 까지 도달시간( $T_r$ )과 함께 나타내었다. Case 1 ~ 6을 보면  $\alpha$ 가 증가하면 연소속도가 느려짐을 알 수 있다. 이는 수소와 일산화탄소의 체적분율이 고정되어 있어 상대적으로 산소의 체적분율이 감소하는 것을 의미하므로, 산소가 부족하여 연소속도가 느려지는 것으로 판단된다. 이와 반대로  $\alpha$ 가 감소하면 상대적으로 산소의 체적분율이 증가하게 되어 연소속도가 빨라지고 열전달에 의한 열손실이 줄어들게 된다.

Case 7 ~ 12의 결과를 보면 앞의 결과와 달리  $\alpha$ 가 증가할수록 연소속도가 빨라지는 것을 볼 수 있다. 이는 산소의 체적분율이 고정되어 있으므로 연료성분인 수소와 일산화탄소의 증가에 의한 효과로 설명할 수 있다. 따라서 합성가스의 연소 특성을 결정

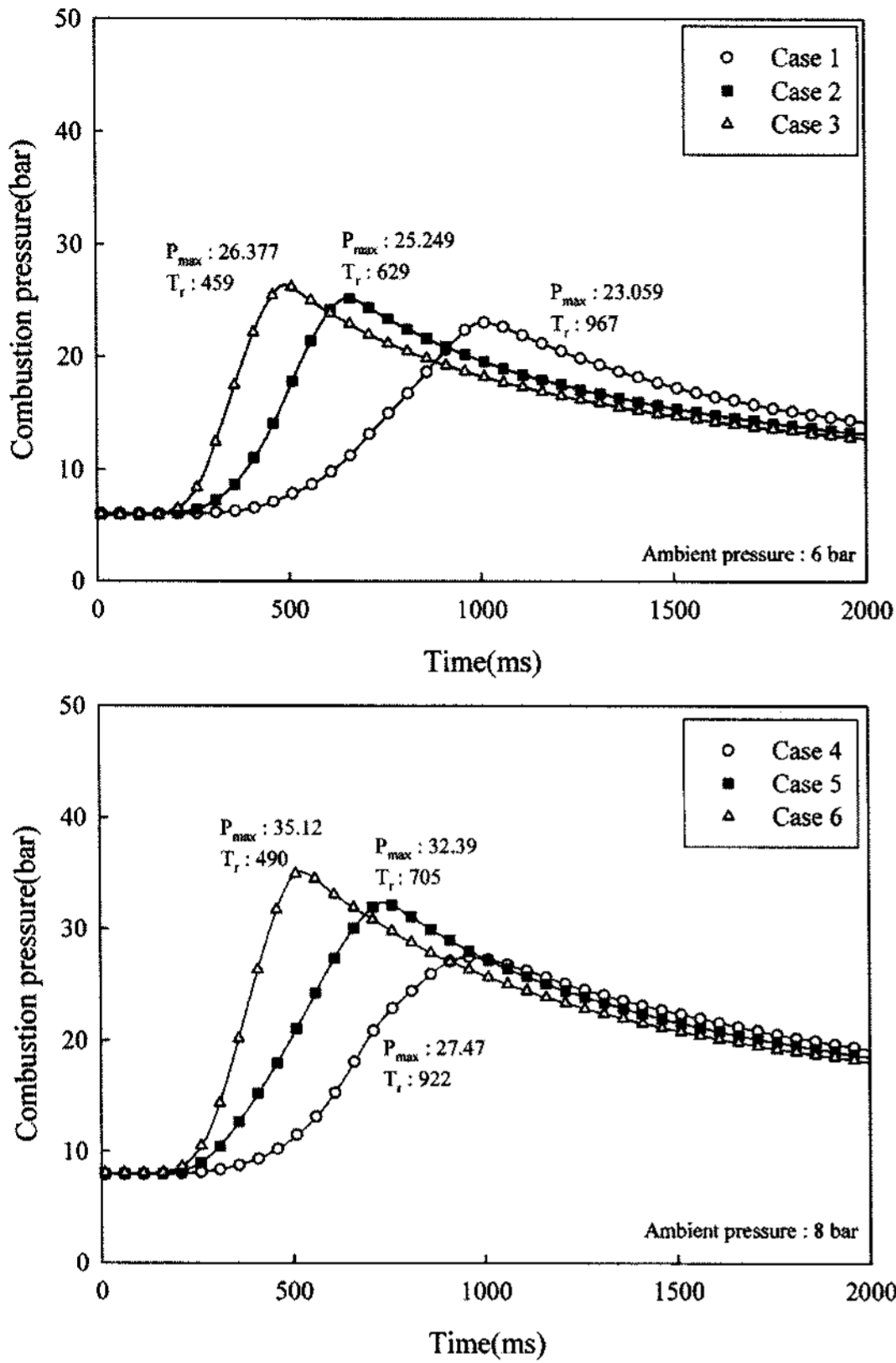


Fig. 8 Combustion pressure curves with various O<sub>2</sub> volume fractions in a constant combustion chamber

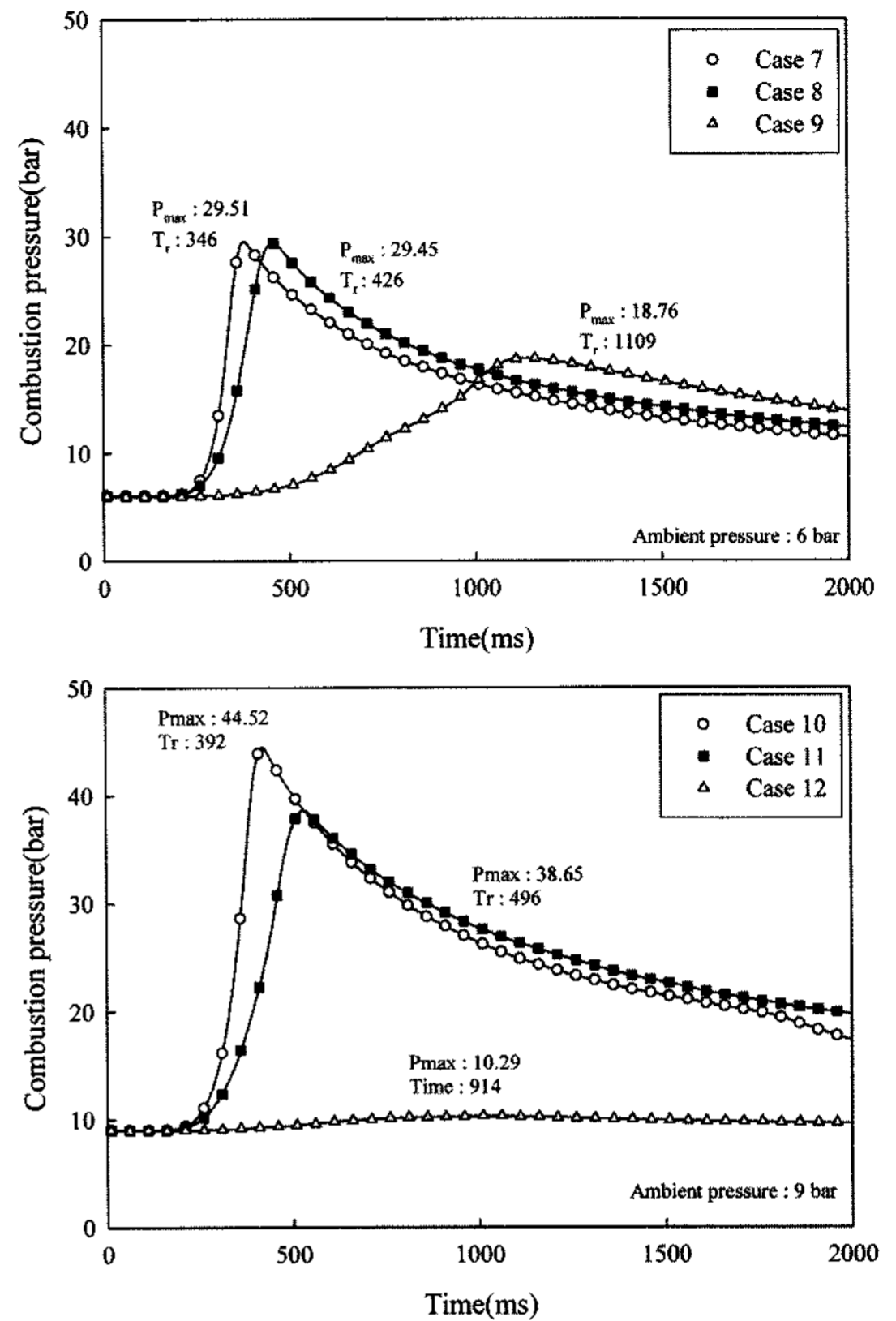


Fig. 9 Combustion pressure curves with various H<sub>2</sub> volume fractions in a constant combustion chamber

하는 요인은  $a$ 뿐만 아니라  $X_a$ 가 연소에 영향을 주는 것으로 판단된다. Case 7~12의 결과에서 수소와 일산화탄소가 산소에 비해 충분히 농후한 조건이므로 연소되는 연료의 양은 산소의 체적분율에 의해 결정된다. 그러나 동일 조건에서  $X_a$ 가 클수록  $T_r$ 이 짧아지는 것은 Case 10과 11을 보면 알 수 있다. Case 9와 12는 다른 조건에 비해 불안정한 연소를 보이는데, 이것은 일반적인 수소의 가연한계와 비교하였을 때 충분히 연소가 가능한 조건임에도 불구하고 연소가 잘 일어나지 않는 것은  $X_a$ 가 낮아 불활성 가스의 비율이 높아 화염형성과 화염전파를 방해하는 것으로 판단된다.

Fig. 10과 11은  $a$ 가 2인 조건에서 분위기 압력( $P_0$ )을 2.2, 4.4, 6.6 bar로 변화시켜 실험한 결과를 연소 압력과 열방출률로 나타내었다.  $a$ 와  $X_a$ 가 고정된 상태에서 분위기 압력( $P_0$ ) 증가에 따른 연소 특성 변화는  $P_{max}$ 가 증가하고 연소속도는 다소 빨라졌으나 전

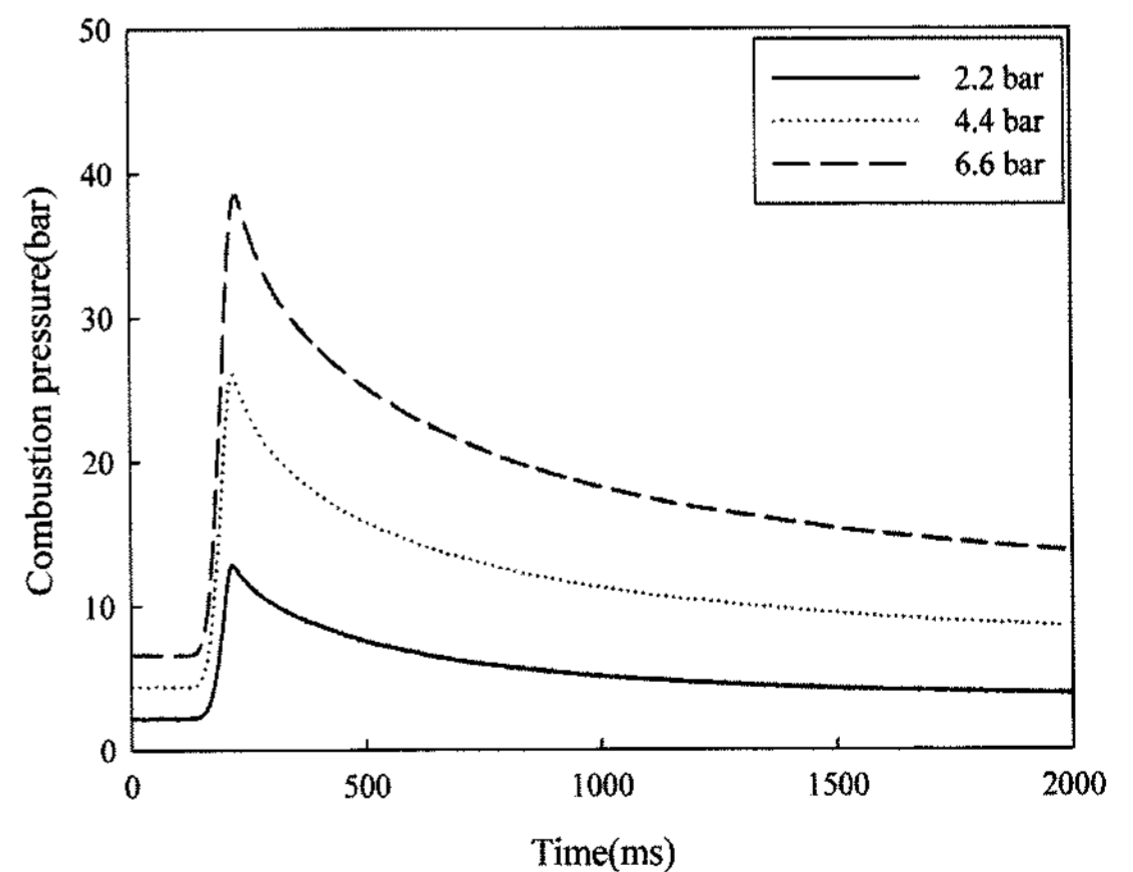


Fig. 10 Combustion pressure curves with various ambient pressures (stoichiometric)

체적인 연소특성은 유사한 것으로 볼 수 있다. 결국  $a$ 와  $X_a$ 가 고정되어 연소특성에는 큰 변화가 없는 것으로 판단된다.

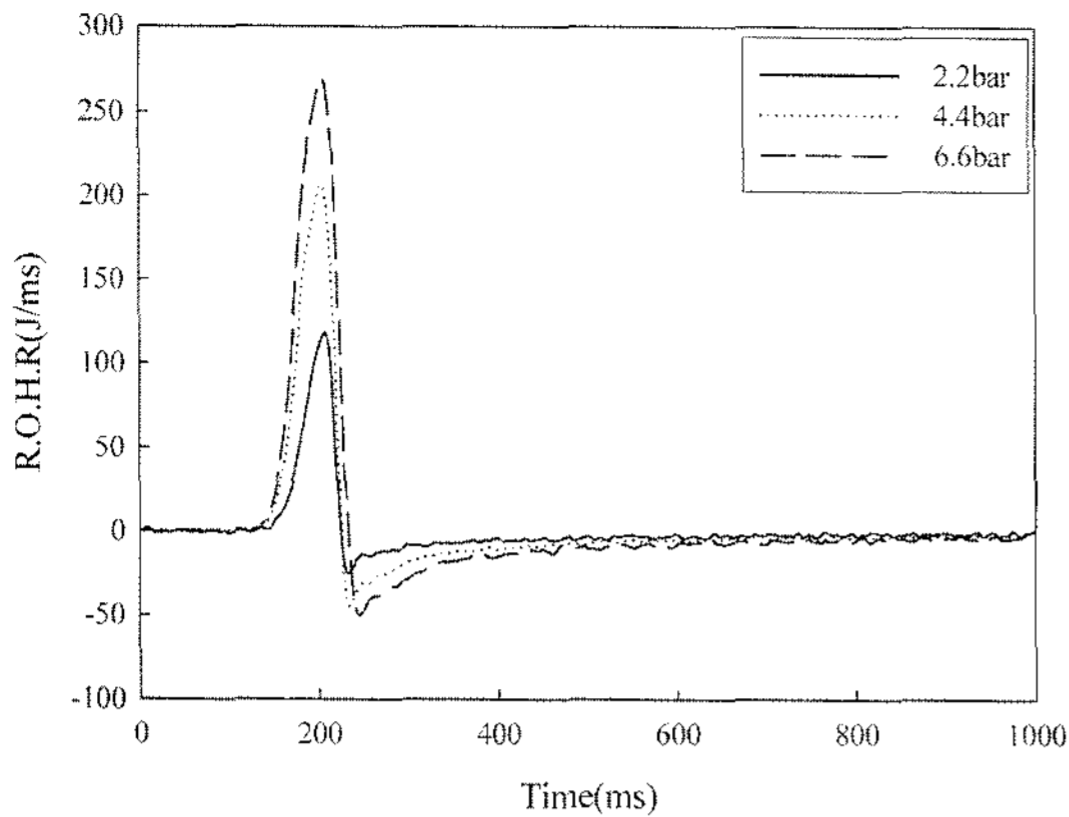


Fig. 11 Rate of heat release curves with various ambient pressures (stoichiometric)

### 3.4 화염면 분석

Fig. 12와 13은 각 조건에서 화염면의 형상과 화염전파를 보여주고 있다. 동일한 수소 체적분율에서 산소의 체적분율을 높이면 수소가 산소와 만나 연소할 확률이 높아져 화염속도가 급속히 빨라진다고 볼 수 있다. 또한, 모든 경우에서 화염전파 특성

을 살펴보면 화염전파가 연소기의 상층부로 빨리 일어나는 것을 볼 수 있다. 이것은 수소의 밀도가 낮아 빠른 시간에 증상화가 발생한다고 볼 수 있다. 이는 Fig. 14와 같이 전체 혼합기에서 수소의 체적비율이 매우 작은 경우는 증상화가 심하게 일어나는 것을 볼 수 있다. Fig. 12와 13에서 화염속도를 계산해보면 각각의 평균속도는 0.25 m/s, 0.62 m/s이다. 앞에서 설명한 이유로 화염 전파속도가 약 2.5배 증가한 것을 확인하였다.

## 4. 결론

합성가스의 연소특성을 알아보기 위하여 정적 연소기를 이용한 실험을 실시하였으며, 이 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 합성가스는 분위기 압력 1 bar에서  $a$ 가 1~2 인 영역,  $X_a$ 가 28 이상인 조건에서 연소가 가능하다. 또한 연소가능 영역에서는  $a$ 와  $X_a$ 가 커질수록 연소압력은 높아지고, 연소시간은 짧아진다.
- 2)  $a$ 와  $X_a$ 가 일정한 조건에서 분위기 압력( $P_0$ )을 변

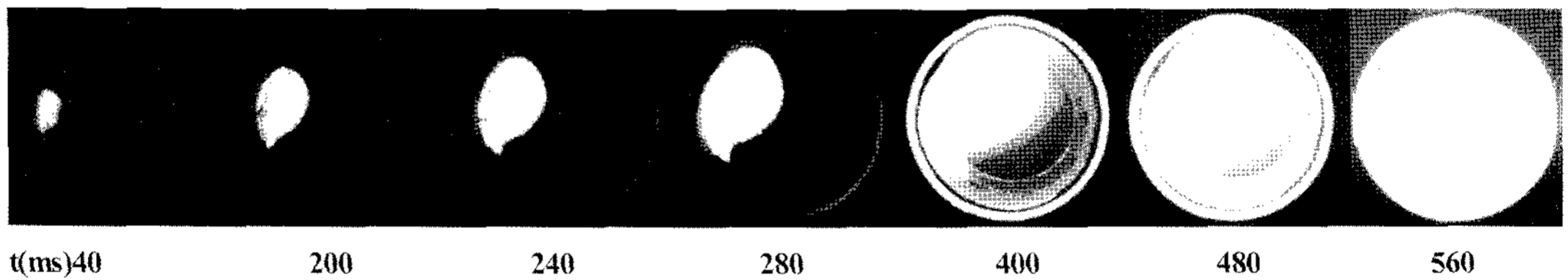


Fig. 12 Image of flame propagation ( $H_2$ : 9.9%,  $CO$ : 8.6%,  $O_2$ : 9.5%,  $a$ : 1.95,  $X_a$ : 28, ambient pressure: 9 bar)

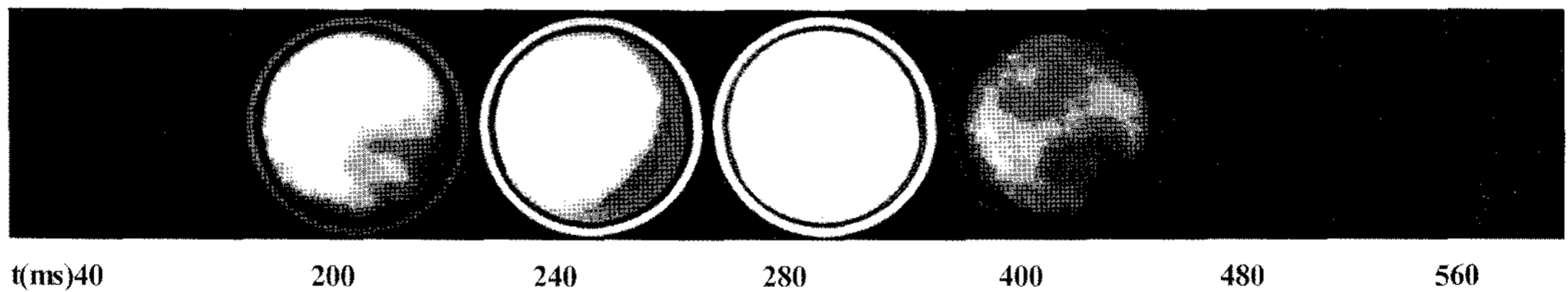


Fig. 13 Image of flame propagation ( $H_2$ : 9.9%,  $CO$ : 8.6%,  $O_2$ : 13.125%,  $a$ : 1.41,  $X_a$ : 31.625, ambient pressure: 9 bar)

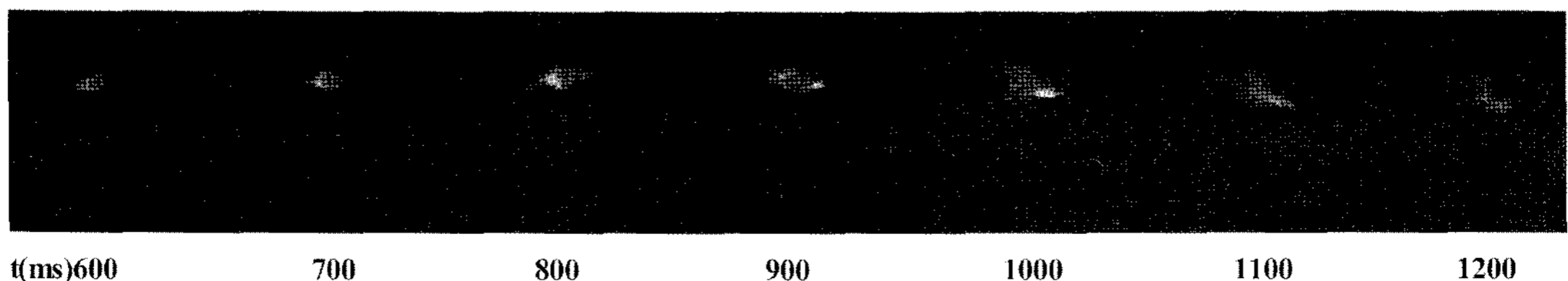


Fig. 14 Image of flame propagation ( $H_2$ : 8.25%,  $CO$ : 7.2%,  $O_2$ : 7.61%,  $a$ : 2.157,  $X_a$ : 23.06, ambient pressure: 9 bar)

화시켰을 경우 동일한 연소압력 특성을 보였으나, 분위기 압력( $P_0$ )이 높을수록 연소압력이 높아지며, 전체적인 연소특성은 유사한 경향을 보였다.

- 3) 다종의 연료성분과 불활성 가스의 혼합가스인 합성가스의 연소특성을 분석하기 위해서 연료와 산소의 비( $\alpha$ )뿐만 아니라 활성가스의 함( $X_a$ )과 분위기 압력( $P_0$ )을 모두 동시에 고려하여야 정확한 연소특성을 파악할 수 있다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 미래형 자동차 배기가스 제로화 기술개발 사업 및 2007년도 국민대학교 교내연구비를 지원받아 수행된 연구로, 연구지원에 감사드립니다.

## References

- 1) N. Metz(BMW Group), "Hydrogen- The Alternative Fuel for Future Powertrain," FISITA, World Automotive Congress, 2002.
- 2) S. M. Oh, C. U. Kim, K. K. Kang and Y. Choi, "Lean Operation Characteristics of a Spark Ignition Engine with Reformed Gas Addition," Transactions of KSAE, Vol.14, No.3, pp.170-177, 2006.
- 3) M. W. Jensen, and M. H. Ross, "The Ultimate Challenge: Developing an Infrastructure for Fuel Cell Vehicles," Environment, Vol.42, No.7, pp.10-22, 2000.
- 4) L. Bromberg, D. R. Cohn, A. Rabinovich and N. Alexeev, "Experimental Evaluation of SI Engine Operation Supplemented by Hydrogen Rich Gas from a Compact Plasma Boosted Reformer," SAE 2000-01-2206, 2000.
- 5) J. E. Kirwan, A. A. Quader and M. J. Grieve, "Fast Start-Up On-Board Gasoline Reformer for Near Zero Emissions in Spark-Ignition Engines," SAE 2001-01-1011, 2001.
- 6) C. S. Song, C. G. Kim, K. Y. Kang and Y. S. Cho, "Reduction of Exhaust Gas Emission with the Syngas Assist in Idle State of an SI Engine," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.34-41, 2005.
- 7) H. S. Chae, Y. G. Aum, S. H. Chung, S. W. Hong and H. D. Kim, "A Burning Velocity Correlation for Premixed Hydrogen/Air/Steam Flames," KSME International Journal, Vol.13, No.3, pp.294-303, 1999.
- 8) B. S. Kim and Y. J. Lee, "Combustion Characteristics of Methane-Hydrogen-Air Premixture (II)," Transactions of KSAE, Vol.4, No.3, pp.156-167, 1996.