

## 합성가스를 이용한 SI 엔진의 공회전 유해 배기가스 저감에 관한 실험적 연구

김 창 기<sup>1)</sup> · 강 건 용<sup>1)</sup> · 송 춘 섭<sup>2)</sup> · 조 용 석<sup>2)</sup>

한국기계연구원<sup>1)</sup> · 국민대학교 자동차공학 전문대학원<sup>2)</sup>

### An Experimental Study on Reductions of Idle Emissions with the Syngas Assist in an SI Engine

Changgi Kim<sup>1)</sup> · Kernyoung Kang<sup>1)</sup> · Chunsub Song<sup>2)</sup> · Youngseok Cho<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Korea Institute of Machinery & Materials, 171 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

<sup>2)</sup>Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 133-791, Korea

(Received 8 November 2006 / Accepted 30 November 2006)

**Abstract** : Fuel reforming technology for the fuel cell vehicles could be applied to internal combustion engine for the reduction of engine out emissions. Since syngas which is reformed from fossil fuel has hydrogen as a major component, it has abilities to enhance the combustion characteristics with wide flammability and high speed flame propagation.

In this study, syngas was added to a gasoline engine to improve combustion stability and exhaust emissions of idle state. Syngas fraction is varied to 0%, 50%, 100% with various ignition timing and excess air ratio. Combustion stability, exhaust emissions, fuel consumption and exhaust gas temperature were measured to investigate the effects of syngas addition on idle performance. Results showed that syngas has ability to widely extend lean operation limit and ignition retard range with dramatical reduction of engine out emissions.

**Key words** : Syngas(합성가스), Emissions(배출가스), Idle(공회전), Exhaust gas temperature(배기가스 온도), Fuel consumption(연료소모량), Cyclic variation(사이클 변동)

### 1. 서론

수소 연료전지 자동차는 대기오염과 고유가 문제를 능동적으로 해결할 수 있는 핵심 미래기술로 인식되고 있다. 그러나 자동차의 주 연료로서 수소를 사용하기 위해서는 저장 및 인프라 구축에 드는 막대한 비용과 시간을 해결하여야 하며<sup>1-3)</sup> 기존의 탄화수소계 연료를 직접 자동차에서 개질하여 수소가 함유된 합성가스를 연료전지에 공급하는 방법 또한 활발한 연구가 진행되고 있으나 상용화에 이르기까지 많은 문제점을 가지고 있다.<sup>3,4)</sup>

한편, 최근에는 on-board 연료개질 기술을 기존의

연소기기 또는 엔진의 동력원에 이용하는 새로운 기술들이 다수 발표되고 있다.<sup>5-9)</sup> 기존의 자동차 연료에 수소를 첨가해서 연소 및 배기성능을 상당히 개선할 수 있다는 것은 이미 많은 연구를 통해 밝혀진 바 있다.<sup>10,11)</sup> 탄화수소계 연료를 개질하여 생성되는 합성가스도 수소를 다량 포함하고 있어 유사한 효과를 얻을 수 있다. 합성가스를 다른 자동차연료와 함께 첨가하여 엔진에 공급하는 방식은 연료전지에 적용되는 경우보다 시스템이 간단하고 보다 적은 양의 합성가스 생산량을 요구하기 때문에 연료전지 자동차 보다 실용화를 앞당길 수 있을 것으로 예상된다.

합성가스의 엔진 적용방법에는 여러 가지가 있

\*Corresponding author, E-mail: cgkim@kimm.re.kr

나 최근 주목을 받고 있는 분야 중 하나는 냉간 운전 상태, 즉, 냉간 시동 및 냉간 아이들 상태에서 배출되는 유해 배기가스를 합성가스를 이용하여 획기적으로 저감시키는 분야이다. 냉간 상태에서 배출되는 유해 배기가스는 촉매의 미 활성화로 인해 정화되지 않고 그대로 배출됨에 따라 배기규제 만족에 최대의 걸림돌로 작용하고 있다.

본 연구에서는 합성가스를 냉간 운전 상태에 직접 적용하기에 앞서 최적의 합성가스의 활용방안을 폭넓게 도출하고자 우선 아이들 운전영역을 대상으로 합성가스의 적용효과를 파악하였다. 실험에서는 합성가스의 첨가량을 포함한 여러 가지 엔진 변수에 대하여 연소특성, 배기특성, 그리고 배기가스 온도 등을 측정함으로써 냉간 운전 상태에서 필요로 하는 주요인자들의 특성을 파악하여 향후 냉간 시동 및 냉간 아이들 상태의 배출특성을 개선하는데 활용하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

실험에는 1975cc, 4실린더 DOHC의 승용차용 가솔린 엔진을 사용하였다. 엔진의 주요 제원은 Table 1에 정리한 바와 같으며 Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸다.

Table 1 Test engine specifications

Item	Specifications
Bore	82 mm
Stroke	93.5 mm
Compression ratio	10.1
Idle speed	700 ± 100 rpm
Spark timing(Idle)	BTDC 7±5° CA
Intake timing(Idle)	ATDC 11° CA / ABDC 59° CA
Exhaust timing(idle)	BBDC 42° CA / ATDC 6° CA

합성가스의 공급편의를 위해 개질장치에서 생산되는 합성가스를 직접 사용하지 않고 합성가스와의 유사한 성분조성의 모사가스를 사용하였다. 실험에 사용된 모사용 합성가스(이하 합성가스)는 H<sub>2</sub>/CO/N<sub>2</sub>의 성분(체적)비가 26.8/22.8/50.4로서 실제 가솔린 연료를 개질하였을 때의 성분비와 유사하다. 여기서, 가솔린 연료를 개질할 때 실제 발생할 수 있는 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, HCs 등은 그 양이 작아 무시하였다. 합성가스의 유량조절 및 측정은 MFC(Mass Flow Controller)를 통해 이루어졌으며 실험에 앞서 전자저울로 실제 질량유량을 검증하였다. 엔진제어를 위해 EMS tool(SAM2000)을 사용하였으며 엔진의 주요 부분에 대해 압력과 온도를 측정하여 엔진상태를 파악하였다. 연소실 압력과 유해 배기가스 성분측정을 포함한 모든 측정데이터는 데이터 획득장치를 통하여 PC에 저장되도록 하였다.

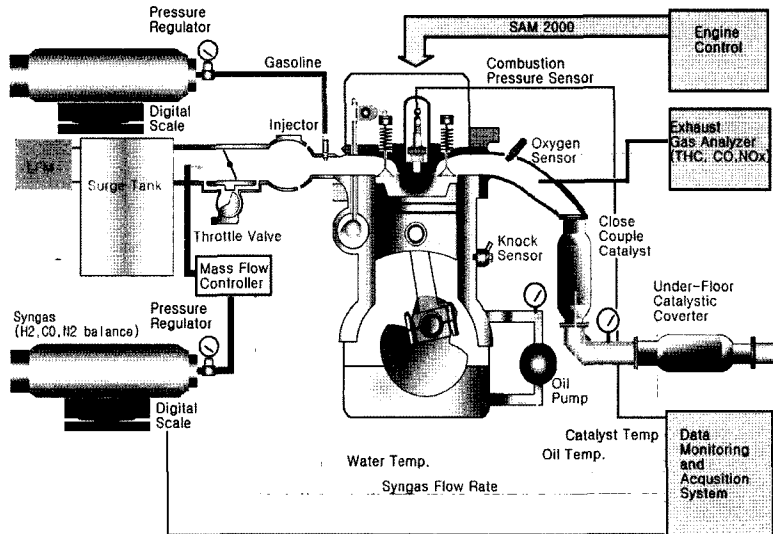


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

## 2.2 실험조건 및 방법

엔진의 실험조건은 냉각수 온도가 78~82°C인 워밍업 이후의 열간 아이들 상태로 배기규제모드 중 가장 유해 배기가스가 많이 배출되는 냉간 아이들 상태를 모사하기 위한 조건이다. 냉간 아이들은 실험조건 유지와 반복이 매우 어려운 천이영역임에 따라 다양한 접근을 시도하기에는 많은 시간적 제약이 있어 각 실험 인자에 대한 엔진성능의 경향을 열간 아이들 조건에서 파악하였다.

실험변수는 가솔린 연료에 대한 합성가스의 첨가비, 공연비, 점화시기로서 각각을 연소안정성이 보장되는 영역까지 변화시키면서 실험을 실시하였다. 각 실험변수의 변화에 따라 유해 배기가스 배출량, 연소안정성, 배기가스 온도, 연료소모량(SFC) 등을 측정하였으며 냉간 아이들 상태에서 갖추어야 할 여러 가지 필요조건들을 토대로 최적운전조건을 찾아나갔다. 여기서 연소안정성이 보장되는 영역의 판단기준은 가솔린 연료에 기존 ECU의 제어조건을 그대로 적용하였을 때 나타나는 아이들 상태의 연소안정성(COVimep)으로 정의하였다.

MFC를 통해 유량이 조절된 고압의 합성가스는 엔진의 스토를 바디 이전에 대기압 상태로 흡입공기와 혼합시킴으로써 충분히 균일한 상태로 엔진에 공급될 수 있도록 하였다. 합성가스 첨가비(syngas fraction)는 사용되는 전체 연료의 저위 발열량에 대한 사용되는 합성가스의 저위발열량으로 다음의 식으로 정의하였다.

SYNGAS FRACTION(%)

$$= \frac{LHV_{syngas} \times m_{syngas}}{LHV_{syngas} \times m_{syngas} + LHV_{gasoline} \times m_{gasoline}} \times 100$$

각 실험변수를 포함한 실험조건을 Table 2에 나타내었다. 각 조건에서의 데이터 취득은 정상상태 도달 후 약 5분이 경과한 다음 30초간 측정하여 평균값을 취하였고 최소 5회 이상 실시되었다. 연소안정성을 평가하기 위한 COVimep 측정은 100 사이클에 대하여 5회 이상 실시되었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 합성가스 연소특성

Table 2 Experimental conditions

Engine speed	700 rpm
Ambient temp.	25 ± 3 °C
Ambient humidity	50 ± 10 %
Syngas fraction	0%, 50%, 100%
Coolant temp.	78 ~ 82 °C
Lambda	1.0 ~ 1.9
Ignition timing	7° ~ -18° (BTDC, CA)
Fuel	Syngas and Gasoline

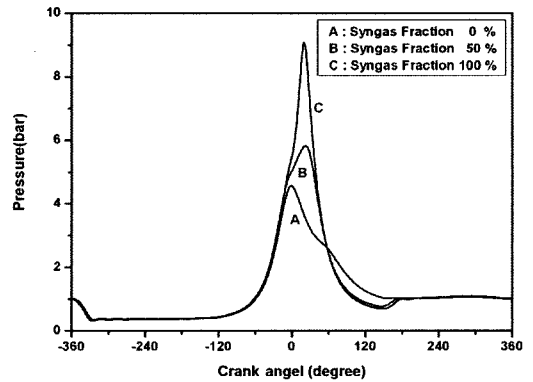


Fig. 2 Combustion characteristics with the change of syngas fractions (IGA : BTDC 7° CA, λ = 1.0, 700rpm)

Fig. 2는 합성가스 첨가비에 대한 연소 압력 특성을 나타낸 그래프이다. 결과에서 확인할 수 있듯이 합성가스 첨가비가 증가할수록 팽창과정 초기에 더욱 높은 연소 압력을 나타내고, 일찍 연소가 종료되어 팽창과정 말기에는 더 낮은 연소압력을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이러한 특성은 합성가스 내에 포함되어 있는 수소의 빠른 연소특성에 의한 것으로 합성가스 첨가비 증가로 상대적으로 빠르게 연소한 다음 일찍 연소를 종료하기 때문이다.

다음 절에서 설명하겠지만, 합성가스 첨가비의 증가로 인해 연소가 빠르게 이루어지고 일찍 종료되면 배기가스 온도는 감소하여 냉간시동 초기의 촉매활성화에 부정적인 영향을 미친다. 그러나 수소에 의한 빠른 연소특성은 cyclic variation을 줄여 안정적이 연소특성을 확보할 수 있다.

### 3.2 연소안정성(COVimep)

Fig. 3은 합성가스 첨가비에 따른 연소안정성의 변화를 점화시기와 공연비의 변화에 대해 나타낸

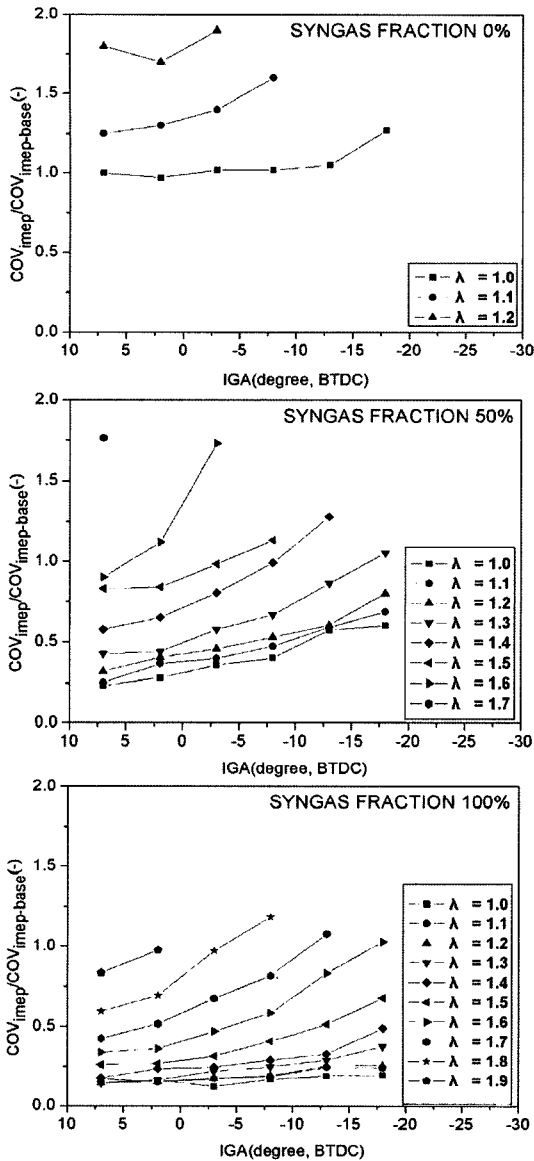


Fig. 3 COVimep with various syngas fractions

그래프이다. 그래프에 나타낸 값은 비교의 편의를 위해, 상용 ECU의 기존 제어조건에서 가솔린 연료를 사용한 결과(합성가스 첨가비 0%,  $\lambda = 1.0$ , IGA = BTDC 7° CA)를 base로 규정하여 상대 비교하였으며, 이후 배기가스 온도 특성을 제외한 다른 실험 결과의 비교에서도 동일한 방법을 적용하였다.

COVimep로 나타낸 연소안정성을 살펴보면 합성가스의 첨가비가 증가할수록 전체적으로 연소가 안정적으로 이루어짐을 알 수 있으며 합성가스 첨가

비가 100%일 경우 최대 85%까지 개선될 수 있음을 확인할 수 있다. 합성가스 첨가비 0%(=가솔린100%)에서는 혼합기가 희박해 질수록 매우 급속하게 연소가 불안정화 되지만 합성가스를 첨가할수록 그 경향은 점차 줄어든다. 합성가스의 첨가는 희박가연한계를 확장시켜 합성가스 첨가비 50%에서는  $\lambda = 1.6$ 까지, 그리고 100%에서는  $\lambda = 1.9$ 까지 안정적인 아이들 운전이 가능하다. 이것은 합성가스에 함유된 수소의 넓은 가연범위 특성과 빠르고 안정된 연소특성에 기인하는 것이며 합성가스 첨가비가 증가할수록 그 효과는 점차 확대된다는 것을 결과를 통해 확인할 수 있다. 점화시기의 영향은 상대적으로 크지는 않지만 대체적으로 지각할수록 연소안정성이 악화되는 경향을 나타내었다. 점화시기는 유해 배기가스 배출량과 촉매활성화 기간 단축에 큰 영향을 미치는 주요한 변수이기 때문에 희박영역에서도 최대한 지각시킬 수 있도록 합성가스의 첨가를 통해 연소안정성을 확보해 두는 것이 중요하다.

### 3.3 배기가스 온도 특성

촉매전단에서 측정된 배기가스 온도는 냉간운전 초기의 촉매의 활성화기간에 영향을 미치는 주요한 변수로서 높을수록 그 기간이 단축된다. 냉간 운전 조건에서 배출되는 유해 배기가스가 특히 문제가 되는 것은 촉매의 미 활성화에 기인하기 때문에 이를 저감시키기 위해서는 촉매 활성화기간을 단축시키는 것이 필수적이다.

Fig. 4는 실험조건에 따른 배기가스의 온도를 나타내는 그래프로 합성가스 첨가비가 증가할수록 전체적으로 배기가스 온도가 감소함을 보여준다. 이는 Fig. 2에 나타난 합성가스에 포함되어 있는 수소의 빠른 연소특성으로 인해 실린더 내의 연소가 상대적으로 일찍 종료되기 때문이다. 동일한 합성가스 첨가비에 대해서는 공연비가 희박할수록 배기가스의 온도가 상승하는 것으로 나타났다. 일반적으로 희박연소를 적용할 경우 배기가스 온도가 감소하는 경향이 있지만 아이들 운전영역에서는 희박연소에 의한 느린 화염전파속도의 영향이 더 큰 것으로 보인다. 점화시기의 영향은 지각시킬수록 배기가스 온도가 빠르게 상승하는 전형적인 특성을 잘

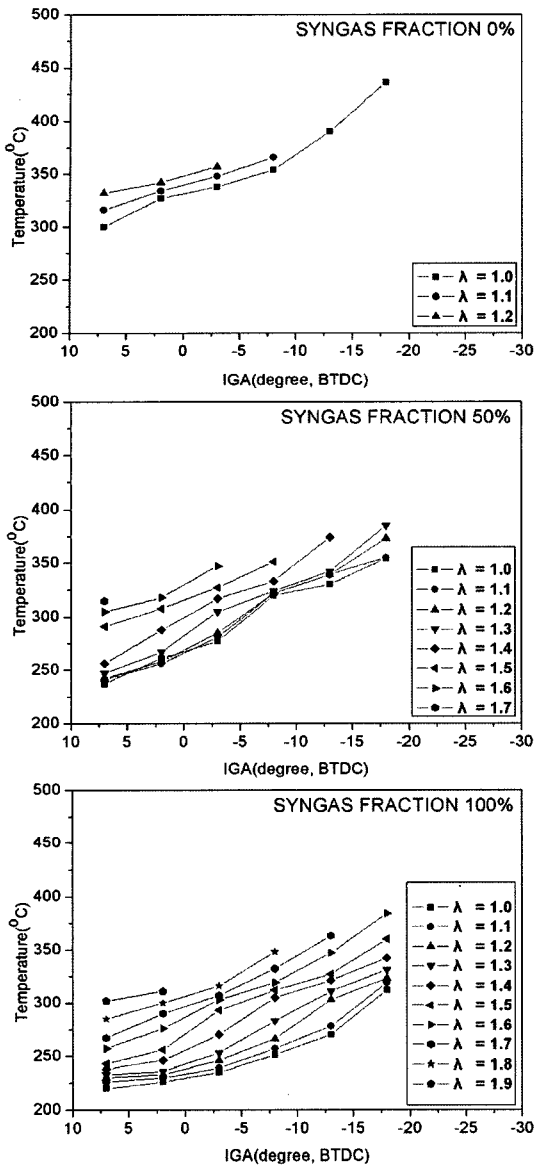


Fig. 4 Exhaust gas temperature with various syngas fractions

나타내고 있다. 비록 합성가스 첨가비 0%에서 가장 높은 배기가스 온도를 얻을 수 있으나 연소안정성 확보가 우선이므로 합성가스를 첨가하여 점화시기를 안정적으로 지각시킬 수 있도록 한 다음 배기가스 온도상승을 유도하는 것이 효과적이다.

### 3.4 유해 배기가스 배출 특성

유해 배기가스로 대표되는 THC, NO<sub>x</sub>, CO는 일반적으로 공연비와 점화시기에 민감하게 반응하며

동시저감을 이루기 위해서는 안정된 희박연소가 필수적이다. 합성가스를 아이들 영역에 적용한 이유는 합성가스에 포함되어 있는 수소의 도움으로 희박가연한계를 높여 유해 배기가스를 근원적으로 저감시키기 위함이다.

THC는 연소안정성이 보장된다면 희박할수록 높은 연소효율에 의해, 그리고 점화시기가 지각될수록 연소 중 남아있던 THC와 틈새체적에 축적되어 있던 THC의 후연소에 의해 각각 저감되는 경향을 가지고 있다. Fig. 5에 나타낸 THC의 결과를 살펴보면 합성가스의 첨가비가 증가할수록 THC의 최저값들이 점차 낮아지고 있다. 이러한 특성은 합성가스에 의해 희박연소와 점화시기 지각이 안정적으로 확보될 수 있을 뿐 아니라 합성가스가 탄화수소계 성분이 없는 연료적 특성을 가지고 있기 때문이다. 반면, 합성가스 첨가비 0%에서 희박연소와 점화시기 지각을 동시에 적용할 경우, 전체적으로 연소가 불안정해 지면서 THC의 저감은 더 이상 이루어지지 않는다. 합성가스 첨가비 100%에서는 이론적으로 THC가 발생치 않아야 하지만 윤활유의 영향으로 소량의 THC가 방출되는 것으로 나타났다. 그러나 충분한 희박연소와 점화시기 지각이 적용되면 97%이상의 저감율을 보이기 때문에 초기 냉간 시동에 적용할 경우 THC 저감에 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

NO<sub>x</sub>의 변화량을 나타내는 Fig. 6은 다소 특이한 경향을 보이고 있다. 우선, 합성가스 첨가비가 증가할수록 NO<sub>x</sub>가 저감되는 것으로 나타났는데 이것은 합성가스 연료자체에 불활성가스인 질소가 50% 이상 포함되어 있어 질소의 희석효과에 의한 것으로 해석된다. 점화시기의 지각은 일반적으로 실린더 내의 최고 연소온도를 낮춤으로써 NO<sub>x</sub> 배출량을 감소시키는 효과를 가지고 있지만 실험결과에서는 반대의 경향을 보이고 있다. 엔진의 아이들 작동시 점화시기 지각에 따른 NO<sub>x</sub>의 증가는 연료소비율의 증가(Fig. 8), 즉 부하의 증가가 그 원인으로 판단되며 아이들 상태에서는 점화시기 지각에 의한 연소 최고온도의 감소영향이 상대적으로 작기 때문에 추측된다. 점화시기 지각에 의한 NO<sub>x</sub> 증가는 합성가스 첨가비가 증가할수록 점차 그 영향이 작아지

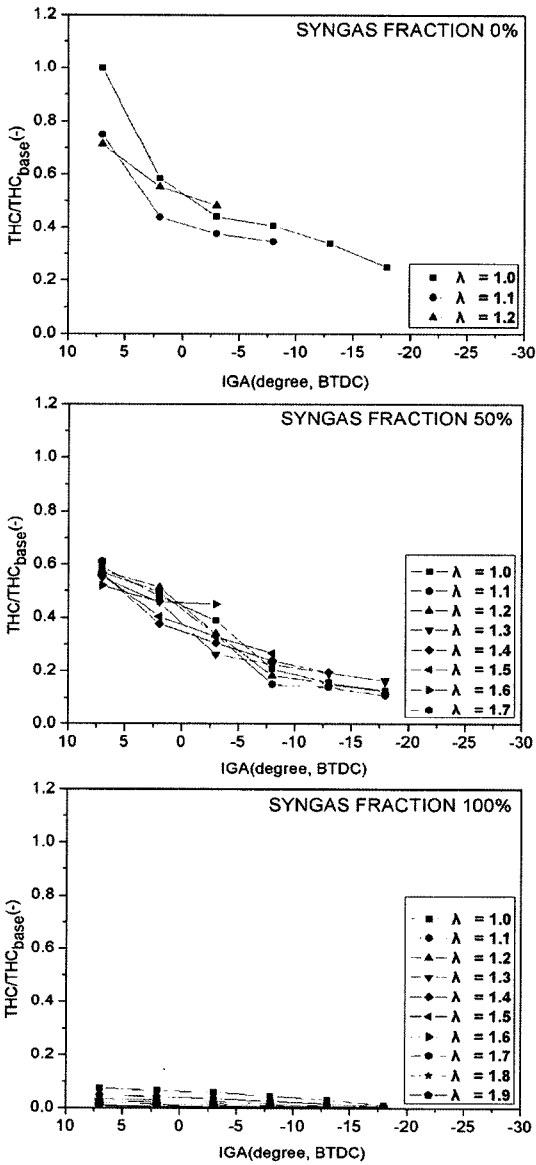


Fig. 5 THC emissions with various syngas fractions

는 경향을 보이고 있다. 공연비의 영향은 희박할수록 NOx가 저감되는 일반적인 경향을 나타냈다. 따라서 아이들 상태에서 NOx를 저감시키기 위해서는 합성가스의 첨가비를 최대한 늘리고 희박연소를 적용하는 반면 과도하게 점화시기를 지각시키지 않는 것이 효과적임을 알 수 있다.

CO 배출특성을 보여주고 있는 Fig. 7은 합성가스의 연료적 특성을 잘 나타내고 있다. 가솔린만으로 운행되는 합성가스 첨가비 0%에서는 이론공연비

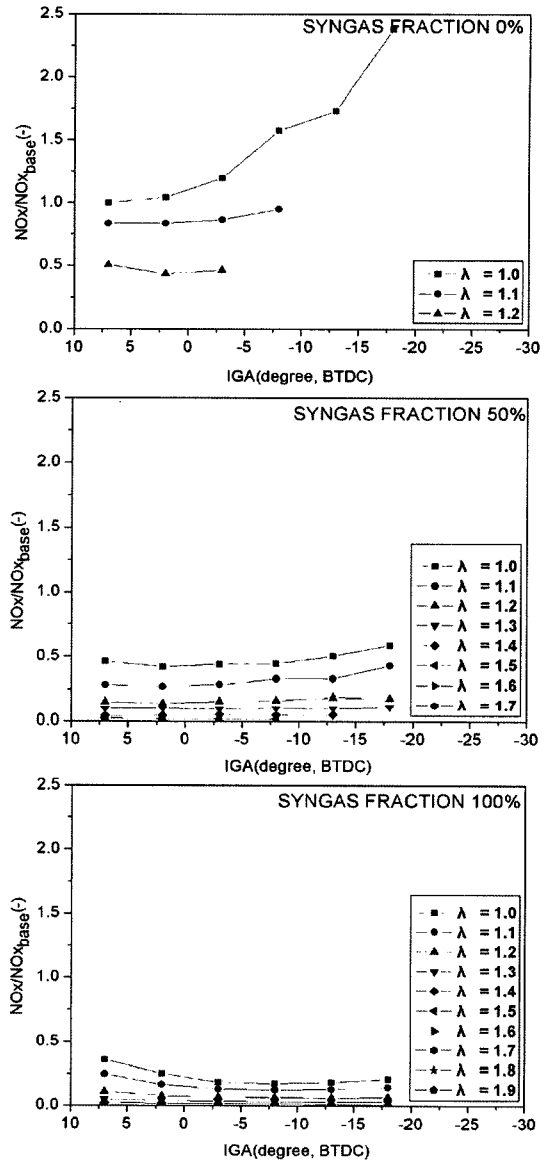


Fig. 6 NOx emissions with various syngas fractions

연소와 희박연소의 영향을 극명하게 보여주고 있는 반면, 합성가스 첨가비가 증가할수록 그 영향은 점차 줄어들어 희박연소에서도 CO 배출량이 크게 증가하게 된다. 실험에 사용된 합성가스에는 CO가 22.8% 함유되어 있기 때문에 합성가스 첨가비가 증가할수록 CO 배출량도 함께 증가하는 것으로 나타났다. 합성가스를 첨가한 경우 희박할수록 CO가 증가하는 것으로 나타났으며 100%를 첨가할 때는 λ = 1.9에서 오히려 기준조건보다 더 많이 배출되어

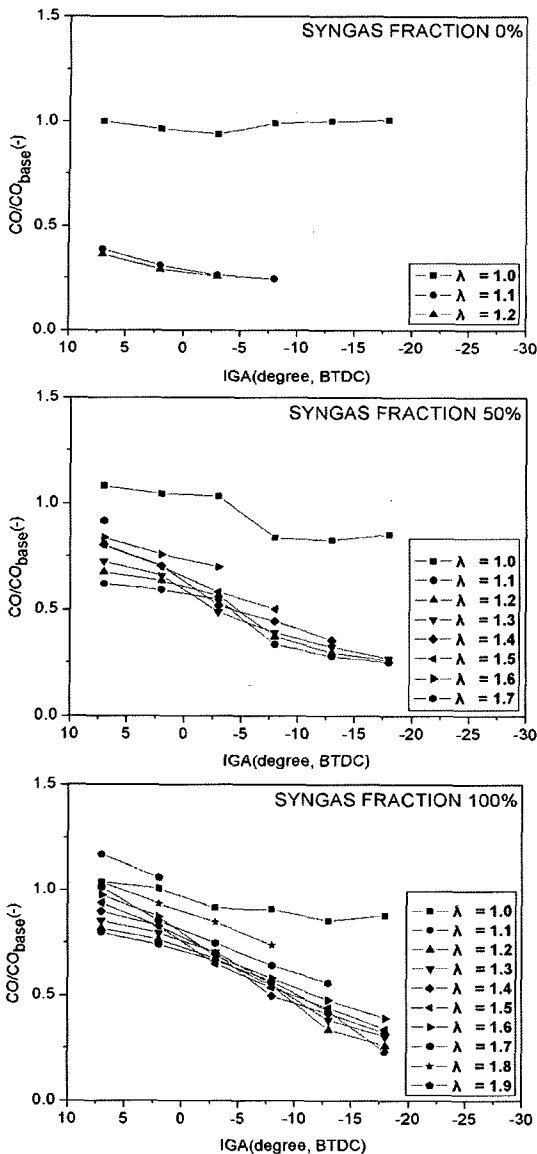


Fig. 7 CO emissions with various syngas fractions

THC 배출특성과는 매우 다른 경향을 보이고 있다. 점화시기의 영향은 THC와 유사하게 지각될수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 이와같이 CO 배출량은 THC 및 NOx와 반대로 합성가스 첨가에 따라 증가하는 경향을 가지고 있지만 우려할 만한 수준은 아니며 합성가스 첨가비가 100%에 도달하더라도 점화시기 지각으로 충분히 저감시킬 수 있음에 따라 CO 배출특성이 합성가스 사용의 장애로 작용하지는 않을 것으로 판단된다.

이상의 THC, NO<sub>x</sub>, 그리고 CO의 배출특성을 살펴보면 합성가스를 적용함으로써 매우 많은 양의 유해 배기가스를 동시에 저감시킬 수 있음을 알 수 있다. 각각의 배출특성이 합성가스 첨가비, 공연비, 점화시기 등에 대해 다소 다르게 나타나지만 대체적으로 합성가스 첨가비를 높이고 매우 안정된 희박연소 조건에서 점화시기를 충분히 지각시킬 경우 가장 효과적으로 유해 배기가스의 저감을 달성할 수 있는 것으로 나타났다.

### 3.5 연료소모량

Fig. 8은 각 실험조건에서의 연료소모량을 나타내는 것으로서, 합성가스가 생산될 때 가솔린 연료의 저위발열량의 20%가 손실된다는 가정이 고려된 것이다. 이러한 손실의 원인으로서는 가솔린 연료의 개질과정 중 부분 산화과정에서 화학에너지 손실과 개질장치 자체의 전력소비가 있으며 본 연구에서는 각각 15%와 5%를 적용하였다.<sup>9)</sup>

연료소모량 결과를 보면 동일 공연비와 점화시기에서 합성가스 첨가에 의해 연료소모량이 다소 개선되는 것을 확인할 수 있는데 이는 합성가스가 포함하고 있는 수소의 빠른 연소속도에 의해 효율적으로 에너지가 활용될 뿐만 아니라 합성가스가 흡기관에 큰 부피유량으로 공급되어 흡기부압의 감소로 펌핑손실이 작아지기 때문이다. 그러나 합성가스를 첨가할 경우 배기가스 온도가 많이 감소하므로(Fig. 4) 점화시기를 지각시켜야만 하며 이때는 에너지의 비효율적 활용으로 연료소모량이 다시 증가하게 된다.

Warm-up이 완료된 이후의 아이들 운전조건에서는 연료소모량이 매우 중요한 인자가 될 것임은 분명하다. 그러나 냉간 상태에서는 촉매가 활성화되는데 필요한 시간이 20초 이내로 짧아 냉간 아이들에서 유해 배기가스를 저감시키기 위해 이루어지는 연료소모량의 증가는 전체 연비에 거의 영향을 미치지 않는다. 따라서 합성가스를 냉간 상태에 적용하여 유해 배기가스를 저감시키는 과정에서 연료소모량이 다소 증가하더라도 이것이 큰 제약조건으로 작용되지는 않는다.

그러나 여기서 고려해야 할 점은 합성가스를 생

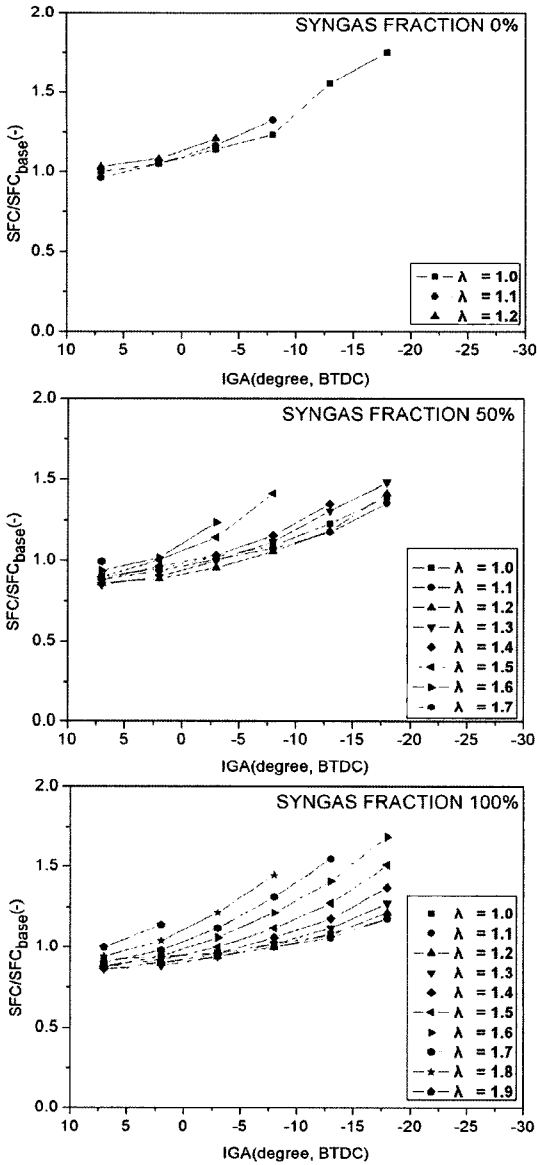


Fig. 8 Specific fuel consumption with various syngas fractions

산하는 개질장치로서 연료소모량이 많을 경우 생산하여야 하는 합성가스의 양이 증가하기 때문에 개질장치의 크기가 점차 커져야 하는 문제점이 있다. 합성가스 첨가비 100%에서는 합성가스의 LHV가 가솔린의 약 1/7로 매우 낮은 편이어서 합성가스의 유량이 약 50~70 liter/min 정도에 이르는데 이것은 warm-up이 완료된 이후의 700rpm에서의 결과이고 실제 냉간 아이들에서는 엔진회전수가 훨씬 높고

운행유의 높은 점성에 의해 아이들 부하도 높아 약 3~4배의 연료가 공급되어야 한다. 따라서 냉간 시동, 냉간 아이들로 이어지는 냉간 운전조건에서는 운전영역에 따라 합성가스 첨가비를 달리하여 최적 운전조건을 찾는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

아이들 운전조건에서 연소안정성을 확보하고 유해 배기가스를 저감하고자 수소가 함유된 합성가스를 가솔린 연료에 첨가하였으며 합성가스 첨가비, 공연비, 점화시기 변화에 대해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 합성가스의 첨가는 수소의 우수한 연소특성으로 인해 희박가연한계를 확장시키고 점화시기를 충분히 지각하더라도 연소안정성을 확보할 수 있도록 하였다.
- 2) 배기가스 온도는 합성가스 첨가비가 증가할수록 빠른 연소특성에 의해 감소되는 경향을 나타내었지만 점화시기의 지각을 통해 충분히 만회할 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 합성가스 첨가비가 증가할수록 안정적인 희박연소와 점화시기 지각 범위가 확대됨에 따라 THC를 획기적으로 저감시킬 수 있었으며, 가솔린 대신 합성가스만을 연료로 공급할 경우 탄화수소계 성분이 존재하지 않는 합성가스의 특성으로 인해 THC는 거의 배출되지 않는 것으로 나타났다.
- 4) NOx는 합성가스가 다량 포함하고 있는 질소의 희석효과에 의해 감소하는 경향을 나타내었다. CO는 합성가스의 연료성분에 의해 합성가스의 첨가비가 증가할수록 희박영역에서 증가하는 특성을 보였으나 점화시기 지각으로 충분히 감소되는 것으로 나타났다.
- 5) 합성가스를 이용하여 유해 배기가스를 획기적으로 저감시키기 위해서는 충분한 점화시기 지각이 필요하며 이때 연료소모량이 다소 증가하지만 냉간 상태에 적용할 경우 그 적용기간이 짧기 때문에 문제가 되지 않는다. 단 합성가스 생산을 위한 개질장치의 용량은 고려되어야 할 것이다.



## 후 기

이 연구는 산업자원부 지원의 ‘미래형 자동차 배기가스 제로화 기술 개발’ 과제의 일부로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

## References

- 1) Norbert Metz (BMW Group), "Hydrogen- The Alternative Fuel for Future Powertrain, FISITA 2002, World Automotive Congress, Helsinki 4, June.
- 2) 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.
- 3) S. Dunn, "Hydrogen Futures: Towards a Sustainable Energy System," Int. J. Hydrogen Energy, Vol.27, pp.235-264, 2002.
- 4) 이기춘, 임태원, "전기화학 엔진의 구성 및 응용", 기계저널, Vol.42, No.9, pp.50-54, 2002.
- 5) 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.
- 6) D. Andreatta and F. W. Dibble, "An Experimental Study of Air-Reformed Natural Gas in Spark-Ignited Engines," SAE 960852, 1996.
- 7) J. E. Kirwan, A. A. Quader and M. J. Grieve, "Fast Start-Up On-Board Gasoline Fereformer for Near Zero Emissions in Spark-Ignition Engines," SAE 2002-01-1011, 2002.
- 8) K. D. Isherwood, J.-R. Linna and P. J. Loftus, "Using On-board Fuel Reforming by Partial Oxidation to Improve SI Engine Cold-Start Performance and Emissions," SAE 980939, 1998.
- 9) A. A. Quader, J. E. Kirwan and M. J. Grieve, "Engine Performance and Emissions near the Dilute Limit with Hydrogen Enrichment using an On-Board Reforming Strategy," SAE 2003-01-1356, 2003.
- 10) J. S. MacDonald, "Evaluation of the Hydrogen Supplemented Fuel Concept with an Experimental Multicylinder Engine," SAE 760101, 1976.
- 11) P. Tunestal, M. Christensen, P. Einewall, T. Andersson and B. Johansson, "Hydrogen Addition FOR Improved Lean Burn Capability of Slow and Fast Burning Natural Gas Combustion Chambers," SAE 2002-01-2686, 2002.