

# 합성가스를 이용한 SI 엔진의 냉간시동 배기가스 배출특성에 관한 연구

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

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

## A Study on Cold Start Emission Characteristics using the Syngas in a SI Engine

Chunsub Song<sup>1)</sup> · Changgi Kim<sup>\*2)</sup> · Kernyoung Kang<sup>2)</sup> · Yongseok Cho<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

<sup>2)</sup>Korea Institute of Machinery & Materials, 171 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

(Received 3 August 2007 / Accepted 15 November 2007)

**Abstract** : Fuel reforming technology for the fuel cell vehicles could be adopted 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 paper, syngas was feed to 2.0 liter gasoline engine during the cold start and early state of idle condition. Not only cold start HC emission but also NO<sub>x</sub> emission could be dramatically reduced due to the fact that syngas has no HC and has nitrogen up to 50% as components. Exhaust gas temperature was lower than that of gasoline feeding condition. Delayed ignition timing, however, resulted in increased exhaust gas temperature approximated to gasoline condition. It is supposed that the usage of syngas in the gasoline internal combustion engine is an effective solution to meet the future strict emission regulations by the reduction of cold start THC and NO<sub>x</sub> emissions.

**Key words** : Syngas(합성가스), Cold start(냉간시동), Fast FID(고속 THC 분석기), Light-off(저온활성화), SI engine(가솔린 엔진), Exhaust gas(배기가스)

### 1. 서 론

가솔린 엔진은 삼원촉매의 개발과 제어 정밀도의 개선을 통해 꾸준히 유해배기가스 배출량을 줄여왔으며, 최근의 기술 수준은 가솔린 엔진의 배기가스가 도심의 공기보다 더 깨끗한 상태로 배출될 정도로 발달하였다. 하지만 촉매가 활성화되기 이전인 냉간시동 조건에서 배출되는 다량의 유해배기가스는 배기규제를 만족시키기 위해서 반드시 해결하여야 할 문제로 여전히 남아있다. 촉매활성화 이전에 배출되는 유해배기가스는 연소개선을 통해 근본적

으로 저감시키는 방법이 가장 효과적이다.

수소는 생산과정이 간단하고 연소과정에서 원리적으로 물(H<sub>2</sub>O)이외에는 배출하지 않을 뿐만 아니라 가연한계가 넓어 대체에너지로의 활용성이 우수하다. 이미 많은 연구를 통해 수소를 연료로 이용할 경우 수소의 연소특성으로 연소 및 배기가스 배출특성이 상당히 개선된다는 것은 밝혀진 바 있다.<sup>1,2)</sup> 하지만, 동력발생 에너지로 수소를 공급하기 위한 인프라 구축을 위해 소모되는 막대한 비용과 시간 등에 대한 문제점을 가지고 있다.<sup>3-5)</sup> 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근에는 연료전지 기술에 이용되는 연료 개질기술로 가솔린 연료를 개질하여 수

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

소를 포함한 합성가스를 생산하여 내연기관의 연료로 이용하는 방법에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>6-10)</sup> 연료 개질기술을 이용한 수소 연료의 확보는 동력발생을 위한 수소의 이용에 필요한 많은 문제점을 해결할 수 있기 때문에 연료 개질기술의 발달과 더불어 합성가스의 엔진 적용은 그 범위를 넓혀갈 것으로 예상되어진다.

본 연구에서는 합성가스에 포함된 수소의 연소특성과 구성성분의 고유특성을 활용하여 냉간시동에서 배출되는 대표적인 유해물질인 HC, NO<sub>x</sub>, CO의 배출량을 근원적으로 동시에 저감하고자 하였으며, 합성가스의 이용과 엔진 제어변수의 변경이 냉간시동 조건에서 유해배기가스 배출량과 배기가스 온도에 미치는 영향에 대해서 검토하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험장치

실험에는 1975cc 승용차용 가솔린 엔진을 사용하였으며 엔진의 주요 제원을 Table 1에 정리하였다.

실험에 사용된 합성가스 연료는 공급의 편의를 위해 가솔린 연료를 개질하여 생산되는 합성가스와 성분비가 유사한 H<sub>2</sub> : 26.8 / CO : 22.8 / N<sub>2</sub> : 50.4의 모사가스를 사용하였다. Table 2에는 실험에 사용된 가솔린과 합성가스 구성성분 중 에너지를 발생시킬 수 있는 H<sub>2</sub>와 CO의 특성을 나타내었다. Fig. 1은 실험엔진을 포함한 실험장치의 개략도를 나타낸다. 합성가스 연료의 공급을 위해 keihin 가스 인젝터 4

Table 1 Test engine specifications

Item	Specifications
Displacement volume	1975 cc
Bore	82 mm
Stroke	93.5 mm
Engine type	In-line 4cyl., 16V DOHC
Compression ratio	10.1
Idle speed	700 ± 100 rpm
Spark timing	BTDC 8 ± 5°CA
Valve overlap period	15°CA

Table 2 Comparative properties of gasoline, hydrogen and carbon monoxide

Property	Gasoline	H <sub>2</sub>	CO
Lean limit equivalence ratio in air	0.58	0.1	0.34
Flammability limits (volume %)	1.2~6	4~75	12~74
Laminar flame speed (m/s)	0.37~0.43	1.9~2.7	~0.4
Spontaneous ignition temperature (°C)	280~400	574	609
Net energy density (MJ/m <sup>3</sup> )	202	10.3	12.6
Quench distance (mm)	~2.0	0.64	-
Minimum ignition energy (MJ)	0.24	0.02	-

개를 사용하였다. 엔진의 제어조건 변경은 EMS tool인 SAM 2000을 통해 이루어졌으며 엔진의 주요부분에 대해 압력과 온도를 측정하여 엔진의 원활한 작동상태를 파악하였다. 엔진에서 배출되는 유해배기가스의 성분 분석은 HORIBA MEXA-8120을 사용하였고 냉간시동에서의 THC 배출특성을 실시간으로 파악하기 위하여 고속으로 THC 성분을 검출하는 CMBUSTION HFR-500을 함께 사용하였다.

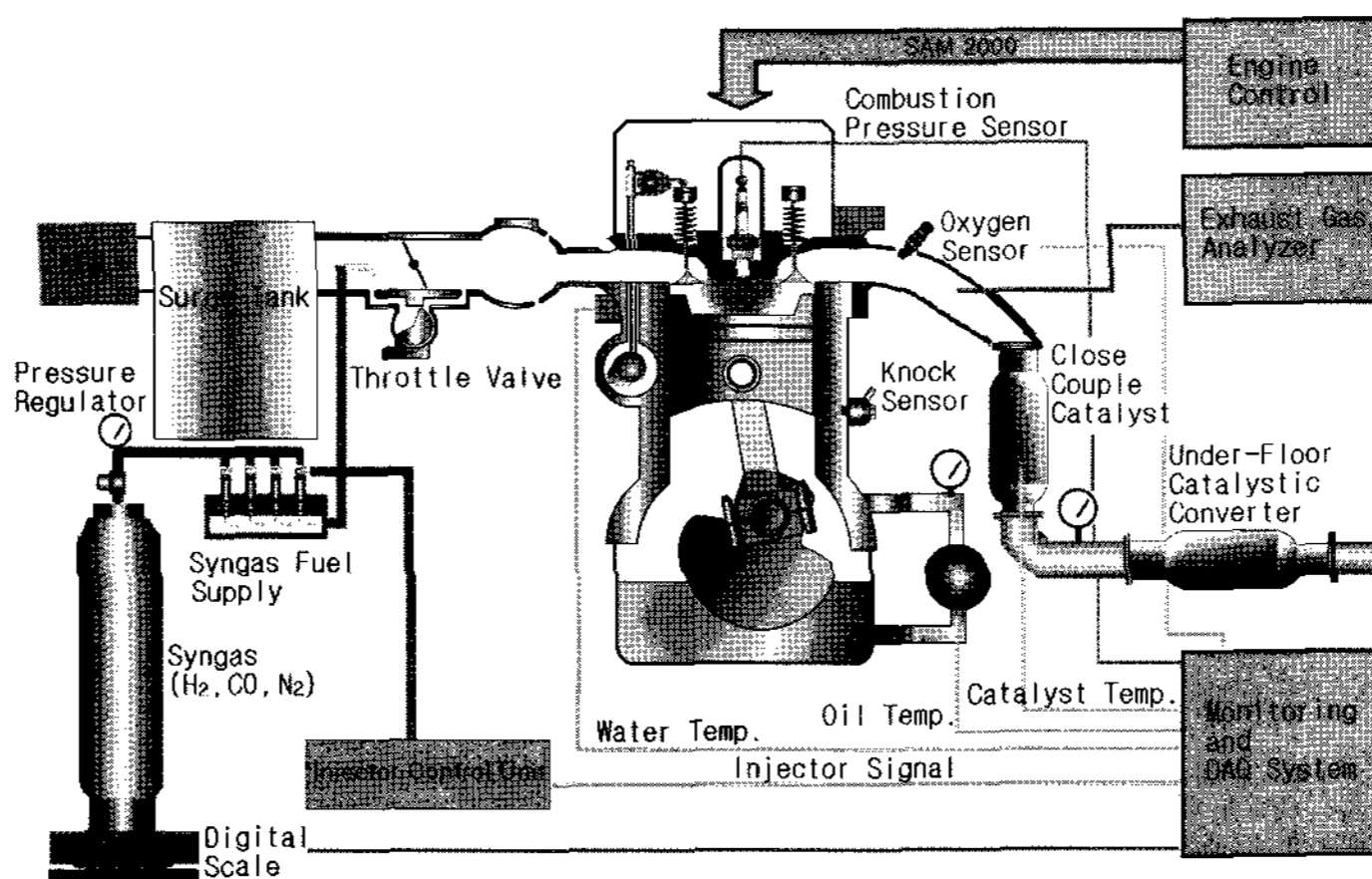


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

### 2.2 실험조건 및 방법

본 실험은 냉간시동 조건에서 크랭킹 구간을 포함하여 15초 동안 이루어졌다. 주변 환경에 대한 영향을 배제하기 위하여 실험실 내부의 대기 온도와 습도를  $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ ,  $50\pm 10\%$ 로 유지하여 12시간 이상 엔진을 방치한 후 실험을 실시하였다. 합성가스는 가스 인젝터 4개를 사용하여 SPI(Single Port Injection) 방식으로 엔진 스로틀바디 이전에 공급하였고 합성가스 공급량 제어는 LabVIEW 프로그램을 이용하였다.

엔진의 운전조건은 가솔린의 경우 기존 ECU의 제어조건을 그대로 사용하였으며 합성가스의 경우에는 냉간시동에서 합성가스의 효과를 확인할 수 있도록 점화시기와 공연비를 가솔린과 동일하게 제어한 조건과 점화시기와 공연비를 변화시킨 조건으로 설정하였다. 각각의 실험 조건에 대하여 엔진 회전속도, 공연비 그리고 배기가스 온도 및 촉매 내부의 온도를 측정하였으며 THC,  $\text{NO}_x$ , CO와 같은 유해배기가스의 배출특성을 검토하여 SI엔진에서의 합성가스 적용에 따른 냉간시동 개선효과를 파악하였다.

냉간시동 조건에서 실화는 유해배기가스 배출특성에 큰 영향을 줄 수 있는 주요한 인자이기 때문에 데이터 비교에 있어 큰 오류를 범할 수 있다. 따라서 실험에서는 연료 분사순서에 따른 각 실린더의 배기가스 온도 특성을 비교함과 아울러 배기관에서 고속으로 THC 배출량을 모니터링 함으로 실화의 유무를 확인하여 실화가 포함된 데이터는 배제토록 하였다. 또한 흡기계와 연소실 내부에 남아있는 잔류 연료에 의한 영향을 배제하기 위해 실험 이전에 공기로 충분히 소기한 다음 실험을 실시하였다.

### 2.3 합성가스 냉간시동 엔진제어

합성가스에 의한 가솔린 엔진의 냉간시동 작동특성을 살펴보기 위해 세 가지 조건에 대하여 실험을 실시하였다. Fig. 2에는 가솔린 연료에 의한 냉간시동을 포함하여 각 조건에서의 엔진 회전속도와 공연비, 그리고 점화시기를 나타내었다.

합성가스에 대한 첫 번째 실험조건(Test B)은 가능한 한 작은 유량의 합성가스를 공급하여 냉간시

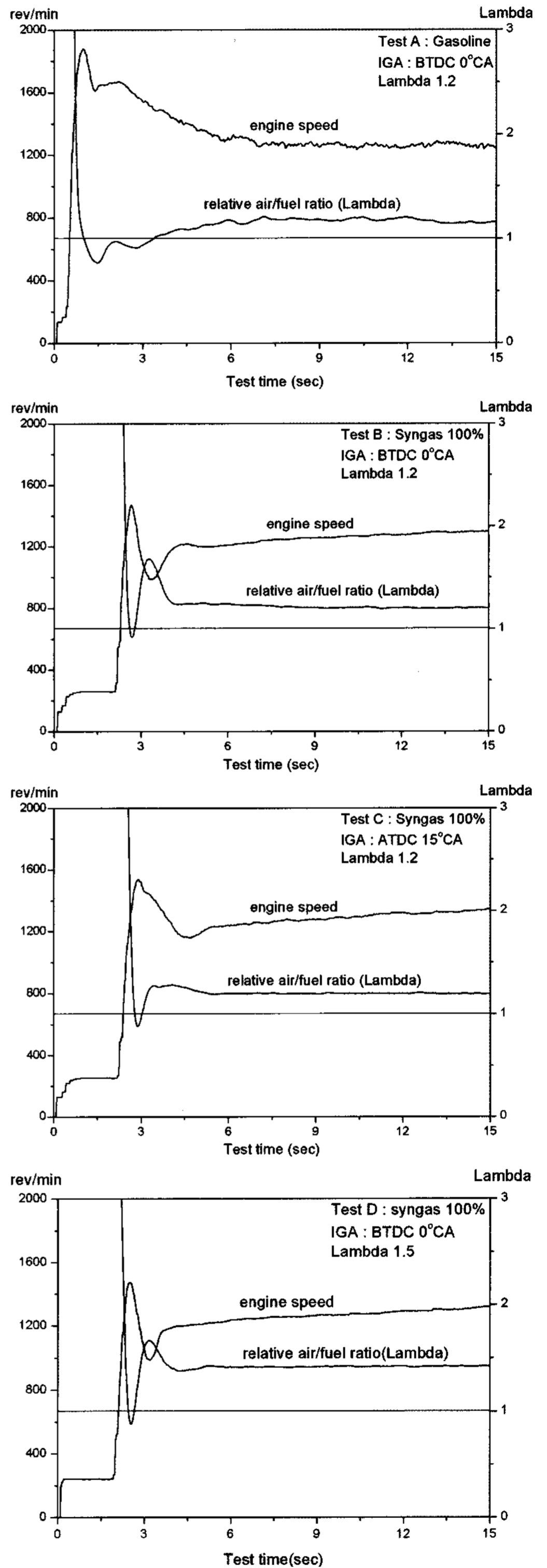


Fig. 2 Engine speed and lambda control on cold start condition

동과 아이들을 유지하는 조건으로서 합성가스 생산 시스템의 최소용량을 검토하기 위한 것이다. 이 조건은 가솔린에 의한 냉간시동 조건(Test A)과 비교하여 시동초기 엔진 회전속도는 낮지만 점화시기와 공연비는 비슷하게 유지되었다. 두 번째 조건인 Test C는 Test B에서 공연비는 동일하게 유지하되 점화시기를 지각한 경우이다. 냉간시동에서 점화시기 지각은 배기가스 중 THC를 저감할 수 있을 뿐만 아니라 배기가스 온도를 높이는데 매우 효과적인 방법이다. 세 번째 조건인 Test D는 Test B에서 점화시기는 동일하게 유지하되 공연비를 더욱 희박하게 제어한 경우이다. 안정적인 희박연소는 THC 뿐만 아니라 NO<sub>x</sub> 배출량을 억제하는데 매우 효과적이며 연소 속도 감소효과에 의해 배기가스 온도도 어느 정도 높일 수 있는 방법이다.

여기서 Test C와 Test D는 Test A에 비하여 유해 배기가스 저감과 촉매활성화 기간 단축에 유리하지만 냉간시동 및 아이들을 유지하는데 더 많은 합성가스의 공급이 필요한 조건이다.

Fig. 2를 살펴보면 합성가스가 적용된 조건이 가솔린에 비해 시동초기의 크랭킹 기간이 긴 것을 확인할 수 있다. 이는 합성가스가 SPI 방식으로 스톱틀바디 이전에서 공급되고 제어시스템의 구조문제로 시동 초기 캠각 검출에 지연이 발생했기 때문이다. 공연비 변화도 시동초기에 다소 크게 나타나는데 이러한 문제들은 향후 MPI 방식의 적용과 S/W 개선을 통해 해결될 것으로 예상된다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 냉간시동 THC 배출특성 - Fast FID

냉간시동 조건에서 발생하는 유해배기가스 성분 중 THC를 Fast FID를 이용하여 실시간으로 측정된 결과에 대하여 Fig. 3에 나타내었다. 가솔린을 이용한 Test A의 경우는 시동과 동시에 12000ppm 수준으로 최대치를 나타내고 약 3초 동안의 아이들로의 천이과정 이후 1500ppm 수준으로 일정하게 유지된다. 이러한 특성은 냉간시동 조건에서 엔진의 원활한 시동을 위하여 공연비가 농후하게 제어되다가 아이들에서는 희박하게 연료를 제어한 결과로서 냉간시동에서는 초기 공연비제어가 THC 배출량에 큰

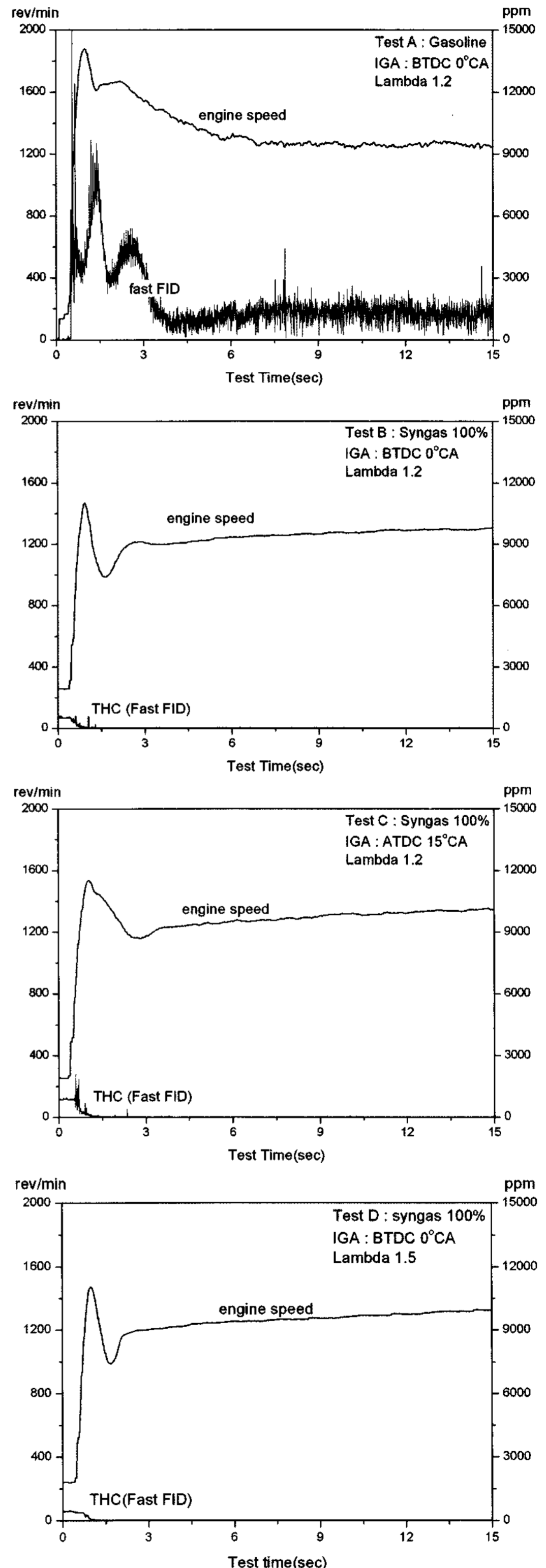


Fig. 3 THC characteristics on cold start condition

영향을 미침을 알 수 있다. 합성가스를 이용한 냉간시동 Test B, C, D에서는 초기에 1000ppm 미만의 THC를 배출한 후 아이들에서는 거의 배출되지 않는다. 합성가스는 연료 특성상 HC계열의 성분을 포함하지 않기 때문에 초기에 배출되는 1000ppm 이하의 THC는 크랭킹 과정에서 배출되는 윤활유에 대한 영향으로 판단되며 또한, 아이들 구간에서도 윤활유가 일부 연소반응을 일으켜 15ppm 전후의 수준으로 THC가 배출되는 것으로 판단된다. 냉간시동 조건에 합성가스를 적용한 결과 THC의 배출량은 윤활유에 대한 영향을 감안하더라도 가솔린 대비 약 95% 이상의 저감율을 확인할 수 있다. 점화시기를 지각한 Test C와 공연비를 희박하게 제어한 Test D에서는 THC를 더욱 감소시키는 결과를 나타내었지만 Test B에서 워낙 낮은 수치를 보임에 따라 합성가스 100%를 사용하여 엔진의 냉간시동을 수행할 경우에는 큰 의미가 없는 것으로 나타났다. 하지만 합성가스를 가솔린에 부분적으로 첨가하는 방식을 적용한다면 이는 중요한 제어인자가 될 수 있다.

### 3.2 냉간시동 배기가스 배출특성

각각의 실험조건에 대하여 일반 배기가스 성분 분석기를 통하여 측정된 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 일반 배기가스 성분 분석기는 F-FID와 달리 장비 특성상 실시간 측정은 어렵고 일정기간의 측정 지연이 존재하여 냉간시동 초기의 천이 구간에서의 특성을 정확히 나타낼 수 없지만 냉간 아이들 구간에서는 신뢰할만한 성분 분석이 가능하다.

합성가스를 적용한 냉간시동 조건에서 일반 배기가스 성분 분석기를 통한 THC의 배출량은 F-FID의 결과와 동일하게 약 95% 이상의 저감율을 확인할 수 있으며 이에 대한 특성은 이미 언급한 바와 같이 윤활유에 의한 것으로 판단된다.

NO<sub>x</sub>의 배출특성은 가솔린을 이용한 Test A에 비해 합성가스를 이용한 Test B에서는 약 80% 이상의 저감율을 보인다. 합성가스는 부분산화물 거쳐 생성되는 혼합가스이기 때문에 불활성 물질(질소)을 다량으로 포함한다. 따라서 연소과정에서 EGR과 동일한 효과를 낼 수 있으며, 이는 NO<sub>x</sub>의 대폭적인 저감을 가능하게 한다. 점화시기의 지각(Test C)과

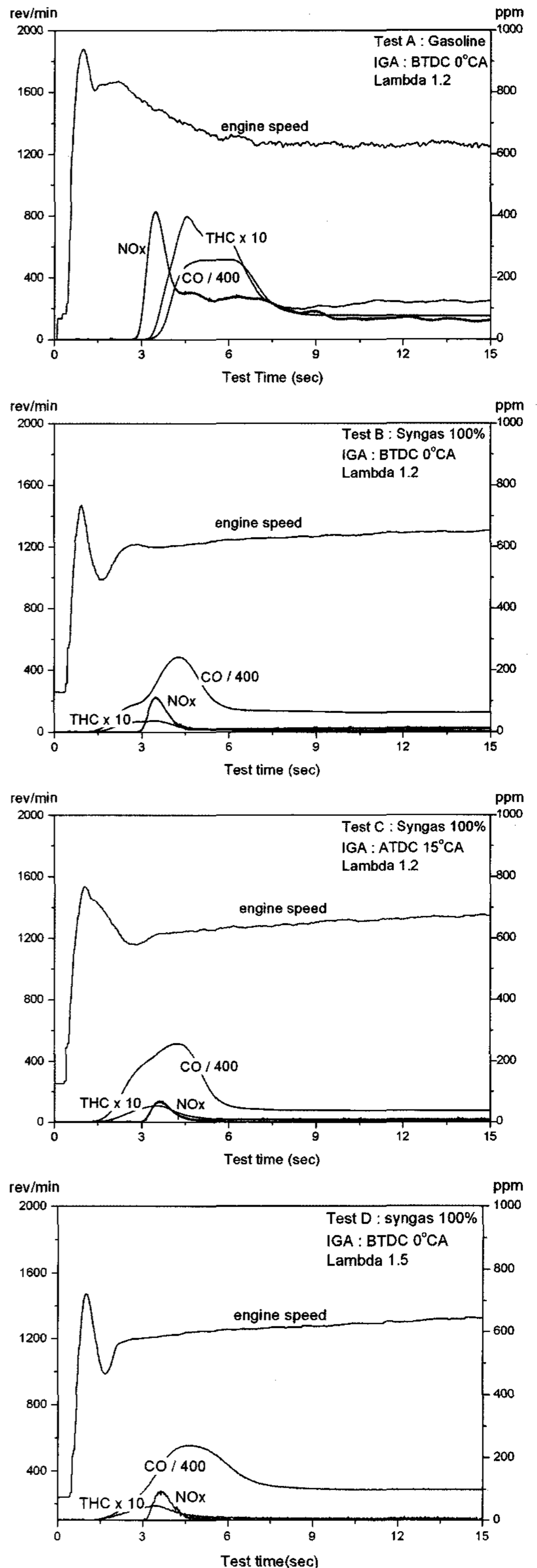


Fig. 4 Emission characteristics on cold start condition

희박한 공연비 제어(Test D)에 의한 추가적인 NO<sub>x</sub> 저감 또한 나타났으나 그 크기는 미미하였다.

CO의 배출특성은 가솔린을 이용한 Test A에 비해 합성가스를 이용한 Test B에서는 약 20%의 저감율을 보인다. 합성가스가 가솔린보다 연료로써의 연소특성이 매우 우수하지만 연료 특성상 CO를 일정부분 포함하고 있기 때문에 CO의 배출량은 저감 정도가 작게 나타났다. 공연비를 희박하게 제어한 Test D에서는 Test B보다 조금 더 높은 CO 배출량을 나타내어 합성가스 연소에서는 희박연소의 확장이 CO 저감에 불리함을 알 수 있다. 반면, 점화시기를 지각한 Test C의 경우 가솔린 대비 약 40%의 저감율을 보여 합성가스를 이용한 냉간시동에서는 점화시기의 지각이 CO 배출량을 줄이는데 매우 효과적임을 알 수 있다.

합성가스에 대한 이상의 냉간시동에서의 유해배기가스 배출특성은 온간 아이들에서 측정된 결과(2)와 동일한 경향을 나타냄을 확인할 수 있다.

### 3.3 냉간시동 배기가스 온도 특성

냉간시동에서 배기가스 온도는 삼원촉매의 활성화기간에 영향을 미치는 중요한 인자로서 유해 배출물질의 저감을 위해 단기간에 높은 배기가스 온도를 형성하여 빠르게 촉매를 예열하는 것이 중요하다. Fig. 5는 각 실험조건에 대해 냉간시동 이후 15초 동안의 배기가스 온도를 각 실린더의 배기포트와 배기다기관 중심부분 그리고 촉매내부에서 측정하여 나타내었다.

결과를 살펴보면 Test B의 경우 가솔린 엔진에 비해 촉매 내부온도가 약 90°C 정도 낮게 나타나 합성가스가 촉매활성화 측면에서는 다소 불리함을 확인할 수 있다. 이것은 엔진 회전속도가 낮은 것도 하나의 원인이 되겠지만 합성가스의 빠른 연소속도에 의해 배기가스 온도가 낮아지기 때문이다.

Test B에 비해 공연비를 더욱 희박하게 제어한 Test D에서는 Test B 보다 조금 더 높은 촉매내부의 온도 특성을 나타내지만 그 폭은 매우 제한적이다. 따라서 희박연소를 통해서 배기가스 온도를 높이는 방법은 크게 효과가 없음을 알 수 있다.

반면, 점화시기를 지각한 Test C에서는 배기가스

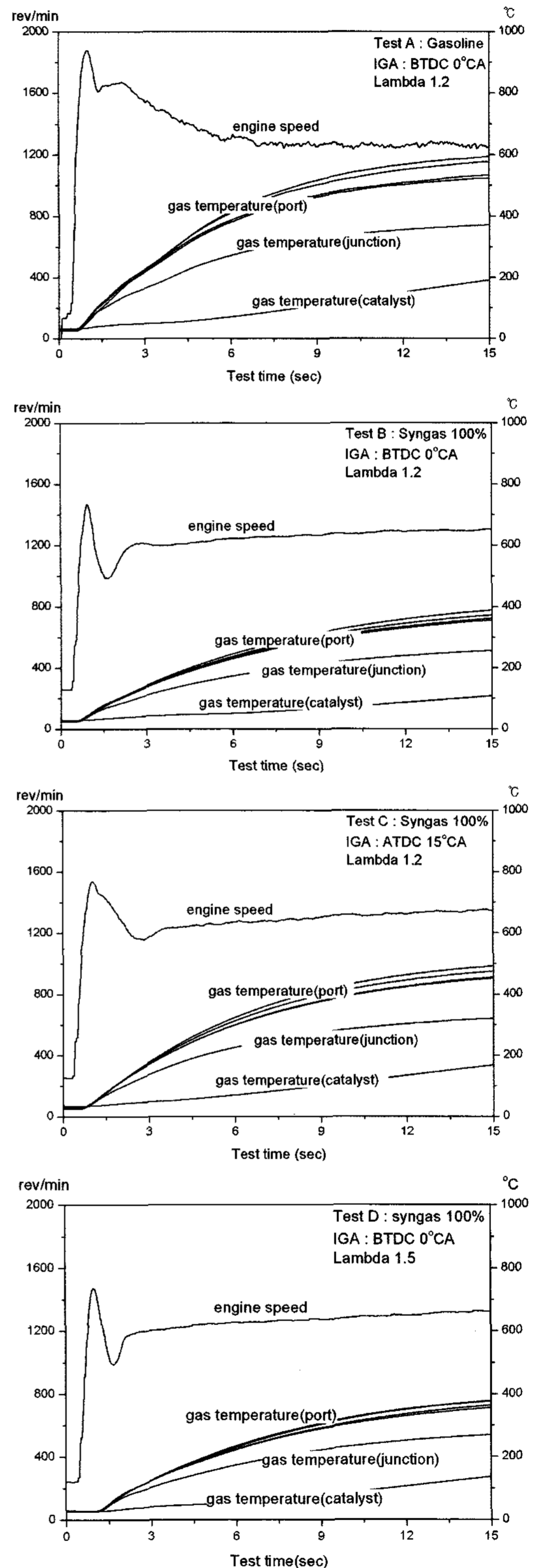


Fig. 5 Exhaust gas temperature on cold start condition

온도가 다소 상승하여 Test B에 비해 촉매활성화 기간을 많이 단축시키는 것을 확인할 수 있다. 하지만 가솔린을 적용한 Test A 보다 여전히 25°C 정도 낮게 나타남으로써 추가적인 점화시기 지각을 통해 촉매 예열기간을 단축시킬 수 있는 방법이 필요하다.

합성가스를 냉간시동에 적용한 이상의 결과는 정상상태의 온간 아이들 실험에서 나타난 결과와 동일한 경향을 나타내었다.<sup>2)</sup> 정상상태 실험에서는 합성가스를 100% 적용하는 방법 이외에 부분적으로 합성가스를 가솔린 연료에 첨가하는 방법을 사용하여도 매우 우수한 성능을 확보할 수 있었다. 따라서 향후에는 합성가스와 가솔린을 함께 공급하는 방법을 통해 좀 더 최적화된 조건들을 연구할 예정이다.

#### 4. 결 론

가솔린 엔진의 냉간시동 조건에서 배출되는 유해 배기가스를 저감하고자 합성가스를 적용하였으며 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 합성가스를 적용한 냉간시동에서 배출되는 THC는 가솔린 대비 약 95% 이상 저감시킬 수 있으며 매우 작은 양이 배출되기 때문에 점화시기 지각과 희박한 공연비 제어를 통해 추가로 저감시킬 THC의 양은 적다.
- 2) NO<sub>x</sub>는 합성가스의 EGR과 동일한 효과에 의해 80% 이상 저감되며, 이 또한 점화시기 지각과 희박한 공연비 제어를 통한 영향은 작다.
- 3) 합성가스는 CO를 주요 성분으로 포함하고 있기 때문에 CO배출량에 대한 저감효과는 20% 수준으로 다른 유해물질에 비해 적게 나타났고 공연비를 희박하게 제어하는 것은 불리하며 점화시기를 지각하는 것이 CO 저감에 효과적임을 확인하였다.
- 4) 수소를 일정부분 포함하고 있는 합성가스의 빠른 연소특성에 의해 배기가스 온도는 가솔린에 비해 낮은 편이며 촉매활성화기간의 단축을 위해 상당한 점화시기의 지각이 필요함을 확인하였다.

#### 후 기

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

#### References

- 1) P. Tunestal, M. Christensen, P. Einewall, T. Andersson, B. Johansson, “Hydrogen Addition FOR Improved Lean Burn Capability of Slow and Fast Burning Natural Gas Combustion Chambers,” SAE 2002-01-2686, 2002.
- 2) C. Kim, K. Kang, C. Song and Y. Cho, “An Experimental Study on Reductions of Idle Emissions with the Syngas Assist in an SI Engine,” Transactions of KSAE, Vol.15, No.3, pp.174-182, 2007.
- 3) Norbert Metz (BMW Group), “Hydrogen- The Alternative Fuel for Future Powertrain,” World Automotive Congress, Helsinki 4, FISITA 2002.
- 4) M. W. Jensen and M. H. Rooss, “The Ultimate Challenge: Developing an Infrastructure for Fuel Cell Vehicles,” Environment, Vol.42, No.7, pp.10-22, 2000.
- 5) S. Dunn, “Hydrogen Futures: Towards a Sustainable Energy System,” Int. J. Hydrogen Energy, Vol.27, pp.235-264, 2002.
- 6) 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.
- 7) D. Andreatta and F. W. Dibble, “An Experimental Study of Air-Reformed Natural Gas in Spark-Ignited Engines,” SAE 960852, 1996.
- 8) 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 2002-01-1011, 2002.
- 9) 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.
- 10) J. S. MacDonald, “Evaluation of the Hydrogen Supplemented Fuel Concept with an Experimental Multicylinder Engine,” SAE 760101, 1976.