

# 합성가스를 첨가한 SI 엔진의 냉간시동 유해 배기가스 저감에 관한 연구

송 춘 섭<sup>\*1)</sup> · 가 재 금<sup>1)</sup> · 홍 우 경<sup>1)</sup> · 박 정 권<sup>1)</sup> · 조 용 석<sup>2)</sup> · 김 창 기<sup>3)</sup>

국민대학교 자동차공학전대학원<sup>1)</sup> · 국민대학교 자동차공학과<sup>2)</sup> · 한국기계연구원 그린환경기계연구본부<sup>3)</sup>

## A Study on Reductions of Cold Start Emissions with Syngas Assist in an SI Engine

Chun-Sub Song<sup>\*1)</sup> · Jae-Geum Ka<sup>1)</sup> · Woo-Kyung Hong<sup>1)</sup> · Jeoung-Kwon Park<sup>1)</sup> · Yong-Seok Cho<sup>2)</sup> · Chang-Gi Kim<sup>3)</sup>

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

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

<sup>3)</sup>Environmental and Energy Systems Research Division, Korea Institute of Machinery & Materials, 171 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

(Received 26 October 2010 / Accepted 15 March 2011)

**Abstract** : Fuel reforming technology for the fuel cell vehicles has been frequently 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 paper, syngas was feed to a 2.0 liter SI engine with MPI to improve exhaust emissions under cold start and early state of idle condition. Syngas fraction is varied to 0%, 10%, 25%, with various ignition timings. Exhaust emission characteristics and the exhaust system temperature were measured to investigate the effects of syngas addition on cold start. Result showed that HC emission could be dramatically reduced due to the fact that syngas has H<sub>2</sub> and no HC as components. The amount of NO<sub>x</sub> emission was decreased with the increase of syngas fraction. Because the dilution effect of N<sub>2</sub> and the retard of ignition timing reduces the peak combustion temperature inside the cylinder. Exhaust gas temperature was lower than that of gasoline feeding condition. Retarded ignition timing, however, resulted in increased exhaust gas temperature approximated to gasoline condition. It is supposed that the usage of syngas in an SI engine is an effective solution to meet the future strict emission regulations.

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

### 1. 서 론

최근에는 수소 연료전지 자동차용으로 지금까지 개발되어 왔던 연료 개질기술을 기존의 연소기 또는 내연기관에 접목시킨 새로운 기술들이 다수 발표되고 있다.<sup>1-3)</sup> 기존의 자동차 연료에 수소를 첨가해서 수소의 넓은 가연범위 특성과 안정되고 빠른 연소특

성을 바탕으로 연소 및 배기성능을 상당히 개선할 수 있다는 것은 이미 많은 연구를 통해 밝혀진 바 있다.<sup>4,5)</sup> 내연기관에서는 희박연소를 실현함으로써 기관의 수명을 연장시킬 수 있으며, 연료효율이 증대되며 유해 배기가스 배출량을 저감시킨다.<sup>6)</sup> 하지만 희박연소로 인해서 기관내의 연소가 불안정해지는 단점으로 인해 가솔린을 연료로 사용하는 내연기관 자동차에서는 별도의 장치를 이용하여 이론적으로 연

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

료와 공기의 비율을 일정하게 유지하는 범위에서 작동하도록 제어한다. 하지만, 수소를 연료로 이용하면 수소의 연료로의 장점으로 인하여 희박한 영역에서도 안정적인 연소특성을 확보할 수 있다.<sup>7)</sup> 연료 개질기술을 통해 수소가 함유된 합성가스를 사용하면 수소를 연료로 사용하는 기관과 유사한 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상되며 희박한 영역에서도 연소안정성을 확보할 수 있을 것이다. 또한, 연료 개질기술을 통해서 수소를 생산하기 때문에 수소연료를 차량에 적재하는 문제와 인프라 문제를 해결할 수 있어 연료 개질기술의 발달과 더불어 합성가스의 내연기관 적용은 범위를 점차 넓혀갈 것으로 예상된다.

가솔린기관에서 합성가스의 적용이 필요한 대표적인 운전조건은 냉간시동 조건이다. 냉간시동 조건에서는 촉매의 미활성화에 의해 유해 배기가스가 그대로 배출되기 때문에 합성가스를 연료로 활용한 유해 배기가스 저감기술이 필수적으로 요구된다.

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 기관 제어변수의 변경이 냉간시동 조건에서 유해 배기가스 배출량과 촉매의 활성화에 미치는 영향에 대해서 검토하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

실험에는 2000cc급 SI 기관을 사용하였으며 기관에 대한 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. 여기서, 가솔린 연료를 개질할 때 실제 발생할 수 있는 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, HCs 등은 그 양이 작아 무시하였다. Fig. 1은 대상 기관을 포함한 실험장치의 개략도를 나타낸다. 점화시기 변경을 포함한 기관의 제어조건은 EMS tool(SAM 2000)을 통해 변경되었으며 기관의 주요부분에 대해 압력과 온도를 실시간 측정하여 기관의 원활한 작동상태를

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 7 ± 5°CA           |
| Valve overlap period | 15°CA                   |

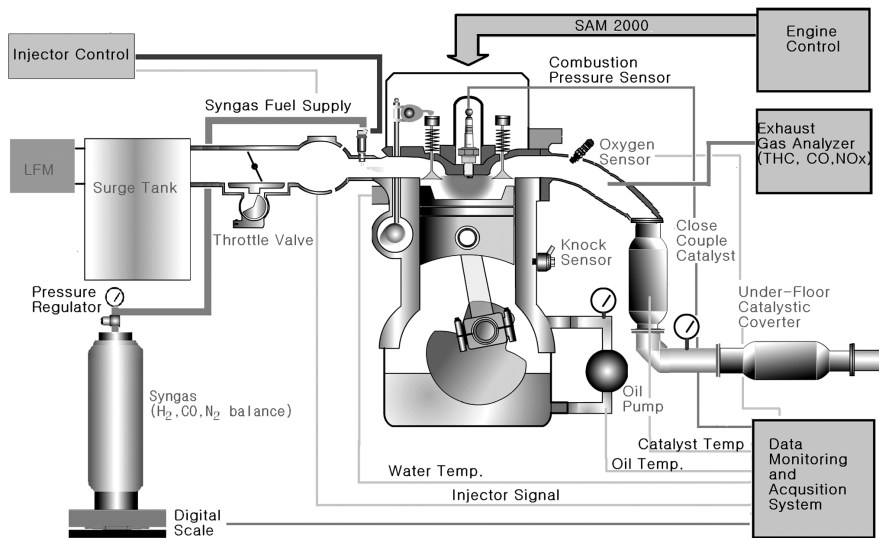


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

파악하였다. 합성가스의 공급은 KEIHIN 가스분사기 4개를 이용하였으며 압력 조절장치를 통해 일정하게 공급되었다. 기관에서 배출되는 유해 배기가스의 성분 분석은 HORIBA의 MEXA-8120을 사용하였고, 냉간시동 조건에서 THC 배출특성을 고속으로 검출할 수 있는 CAMBUSTION HFR-500을 사용하여 엔진의 실화 유무를 파악하였다.

## 2.2 실험조건 및 방법

본 실험은 SI 기관의 냉간시동 조건에서 배기가스 배출특성 및 촉매내부의 온도특성을 파악하기 위하여 실험실 내부의 대기온도와 습도를  $25 \pm 3^\circ\text{C}$ ,  $50 \pm 10\%$ 로 각각 유지하였다. 실험실 환경에 의한 연료의 연소특성 차이를 줄이기 위하여 12시간 이상 기관을 방치한 후 실험을 실시하였다. 합성가스 연료는 각각의 연소실 흡기밸브 이전에 분사기 4개를 설치하여 MPI(Multi Point Injection)방식으로 흡입공기와 혼합하여 연소실 내부로 공급될 수 있도록 하였다. 합성가스의 공급량 제어는 LabVIEW를 이용하여 자체적으로 개발한 프로그램을 이용하였으며 흡입공기량은 ISC(Idle Speed Control) valve로 조절하였다. 모든 실험은 크랭킹을 포함한 약 15초 동안의 초기 냉간시동 조건에 대해서 실시되었다. 기관의 운전조건은 가솔린의 경우 베이스 엔진의 상용 ECU 제어조건을 그대로 사용하였으며, 합성가스를 10%, 25% 첨가한 조건에서는 공연비를  $\lambda$  기준으로 1.2로 일정하게 조절하였다. 또한 점화시기를 기준조건인 BTDC  $7^\circ\text{CA}$ 에서 BTDC  $-8^\circ\text{CA}$ 까지  $5^\circ\text{CA}$  단위로 지각하였다. 각각의 실험조건에 대하여 엔진 회전속도, 공연비를 동일하게 설정하였으며 배기가스 온도 및 촉매내부의 온도를 측정하였다. 또한, THC, NO<sub>x</sub>, CO와 같은 유해 배기가스의 배출특성을 검토하여 SI기관에서의 합성가스 적용에 따른 냉간시동 개선효과를 파악하였다.

냉간시동 조건에서 실화는 유해 배기가스 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 온도특성을 비교함과 아울러 배기관에서 고속으로 THC 배출량을 모니터링 함으로 실화의 유

무를 확인하여 실화가 포함된 데이터는 배제토록 하였다. 또한 흡기계와 연소실 내부에 남아있는 잔류 연료에 의한 영향을 배제하기 위해 실험 이전에 공기로 충분히 소기하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 냉간시동 유해 배출가스 특성

SI기관의 대표적인 유해 배출가스인 THC, NO<sub>x</sub>, CO는 일반적으로 점화시기에 민감하게 반응하며 합성가스를 SI기관의 냉간시동 조건에 일정량 사용하여 안정적인 점화시기 지각을 실현하였다.

#### 3.1.1 THC 배출특성

THC는 연소안정성이 확보된다면 희박할수록 높은 연소효율에 의해, 그리고 점화시기가 지각될수록 연소 이후 남아있던 THC와 틈새체적에 축적되어 있던 THC의 후연소에 의해 각각 저감되는 경향을 가지고 있다. 각각의 실험조건에 대하여 배기가스 성분 분석기를 통하여 측정된 THC의 배출특성을 Fig. 2에 나타내었다. 본 실험에 사용한 배기가스 성분 분석기는 장비 특성상 실시간 측정이 어렵고 일정기간의 측정지연이 존재하여 냉간시동 초기의 천이구간에서의 배출특성을 정확히 나타낼 수 없지만 냉간아이들 구간에서는 신뢰할만한 성분 분석이 가능하다.

실험결과를 살펴보면 가솔린만을 연료로 활용한 기준조건에서는 시동 이후 최대 4600ppm 수준으로 THC가 배출되며, 이후 일정기간의 천이영역을 거쳐 냉간아이들 영역에서는 1600ppm 수준으로 일정하게 배출된다. 가솔린연료를 이용한 냉간시동 조건에서 발생하는 THC peak는 안정적인 시동성능을 확보하기 위하여 시동과정에서 농후한 공연비로 기관을 제어하기 때문이다. 합성가스를 전체 연료의 발열량 기준으로 10%, 25% 사용하고 기관 제어조건을 기준조건과 동일하게 제어한 냉간시동 실험결과에서는 합성가스의 첨가량이 증가할수록 THC 배출량이 감소함을 확인할 수 있다. 또한 점화시기를 충분히 지각한 조건(IGA=BTDC- $8^\circ\text{CA}$ )에서는 냉간아이들 영역에서 70% 수준 저감된다. 이러한 THC 배출특성은 합성가스의 구성성분중 탄화수소계 성분을 전혀 포함하지 않기 때문이며, 합성가스에 포

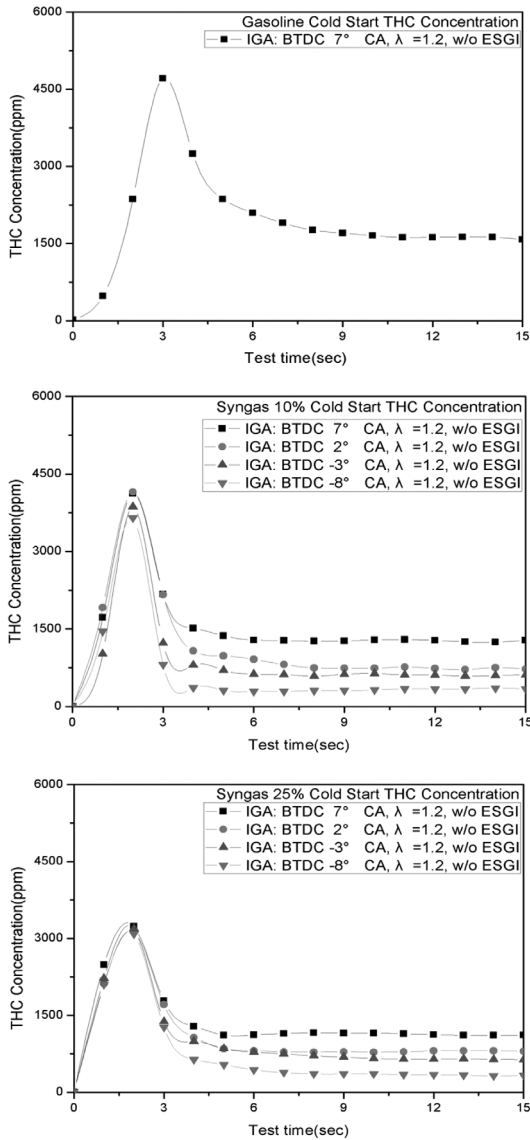


Fig. 2 THC concentration on cold start condition at the variable syngas fractions and ignition timings

함되어 있는 수소의 도움으로 점화시기가 지각되더라도 안정적인 냉간시동 성능을 확보할 수 있기 때문이다. 실험결과에서는 냉간시동 조건에서 첨가되는 합성가스 대비 THC 저감량이 상당히 높게 나타나는 것은 확인할 수 있었다. 이를 통해 냉간시동 조건에서 25% 이상의 합성가스를 사용하면 SULEV 이상의 배기규제 만족에 상당한 도움이 될 수 있을 것이라 판단된다.

### 3.1.2 NOx 배출특성

Fig. 3에는 냉간시동 조건에서 합성가스 첨가비와 점화시기의 변경에 따른 NOx 배출특성을 나타낸다. 일반적으로 내연기관의 연료로 수소를 활용하면 NOx의 배출량은 증가하지만 수소를 일정부분 포함하는 합성가스의 경우 Fig. 3에서와 같이 합성가스 첨가량이 증가할수록 배출량이 감소하는 특성을 나타낸다. 이는 합성가스의 생산과정에서 부분

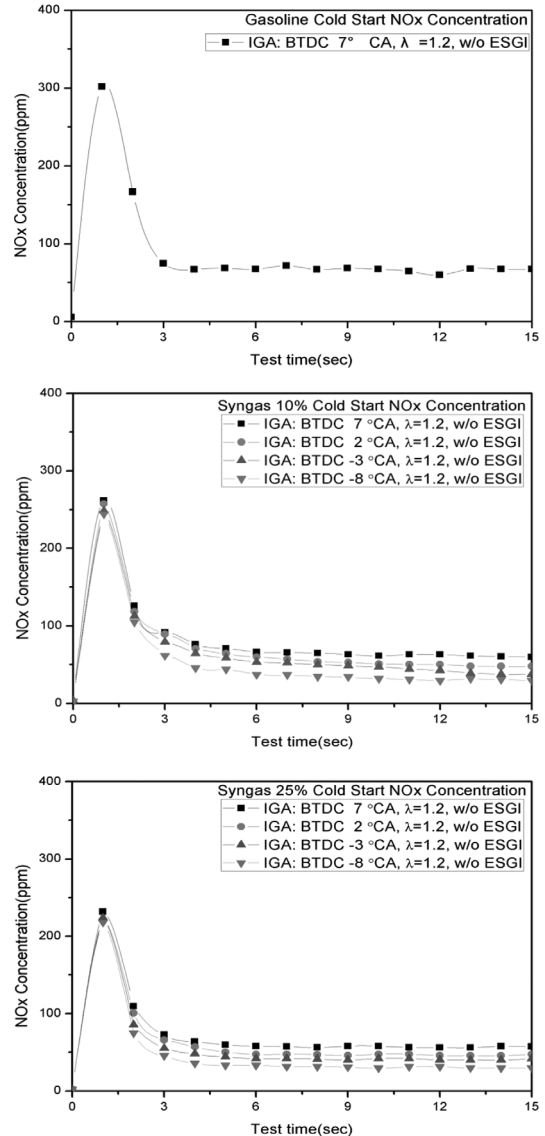


Fig. 3 NOx concentration on cold start condition at the variable syngas fractions and ignition timings

산화과정을 거쳐 생산되기 때문에 불활성물질을 다량으로 포함하고 있고, 이로 인해 합성가스 연료가 EGR과 동일한 효과를 유도하기 때문이다. 점화시기에 대한 특성은 지각할수록 NO<sub>x</sub> 배출량은 감소한다. 이는 점화시기의 지각으로 촉매내부의 온도는 상승하지만, 연소실 내부의 최고온도가 낮아지기 때문이다. 이러한 합성가스 연료의 특성으로 인해 합성가스를 연료의 25% 활용하고 점화시기를 BTDC-8°CA로 제어한 운전조건에서는 전체 NO<sub>x</sub> 배출량의 50% 저감이 가능하였다.

### 3.1.3 CO 배출특성

CO의 배출특성은 Fig. 4에 나타내었다. 그 특성을 살펴보면 합성가스 첨가량이 증가할수록 발생량은 감소하는 경향이 나타난다. 이러한 특성은 수소를 일정부분 포함하는 합성가스의 연료적 장점으로 동일한 기관 제어조건에서 합성가스 첨가량이 증가하면 연소효율이 증가하기 때문이다. 합성가스를 10%, 25% 연료로 사용하고 점화시기를 지각한 조건에서는 CO의 배출량이 저감하여 합성가스 첨가율 25%, 점화시기 BTDC-8°CA 조건에서는 CO의 배출량이 기준조건 대비 약 35% 저감된다. 그러므로 합성가스를 연료로 일정량 이용한 조건에서는 점화시기의 지각이 CO의 배출량을 저감시키는데 효과적임을 알 수 있다.

### 3.2 냉간시동 촉매내부 온도 특성

냉간시동에서 배기가스 온도는 삼원촉매의 활성화 기간에 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 동안 측정된 촉매내부의 배기가스 온도변화를 나타낸다.

결과를 살펴보면 합성가스 첨가율이 증가할수록 측정되는 촉매 내부의 온도가 낮게 나타남을 알 수 있다. 합성가스 첨가율이 10%인 조건에서는 기준조건 대비 30°C정도 낮게 나타났으며 합성가스 첨가율이 25%인 조건에서는 기준조건대비 60°C 이상 낮게 나타나 합성가스를 냉간시동 조건에서 일정부분 연료로 활용하면 촉매활성화 측면에서는 다소

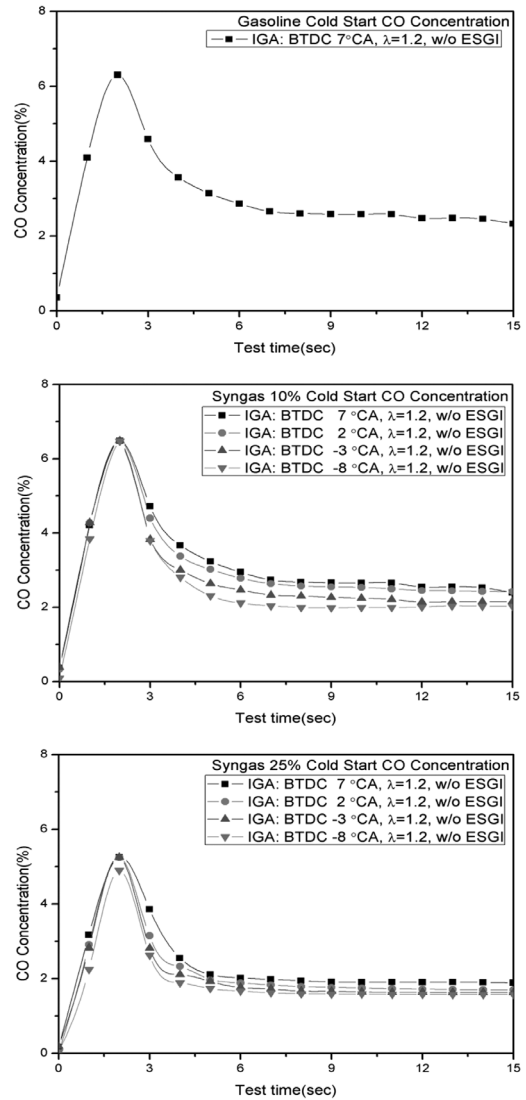


Fig. 4 CO concentration on cold start condition at the variable syngas fractions and ignition timings

불리함을 확인할 수 있다. 이는 합성가스에 포함되어 있는 수소의 빠른 연소특성으로 인해 실린더 내의 연소가 상대적으로 일찍 종료되기 때문이다. 점화시기의 변경에 대한 촉매내부의 온도변화 특성은 점화시기를 지각할수록 높게 나타나는 전형적인 특성이 나타난다. 합성가스 첨가율이 25%인 조건에서는 합성가스 연료에 의해 기준조건과 대비해 낮은 온도특성을 나타냈지만 점화시기를 충분히 지각함으로써 기준조건과 동일한 경향의 온도특성을 나타냄

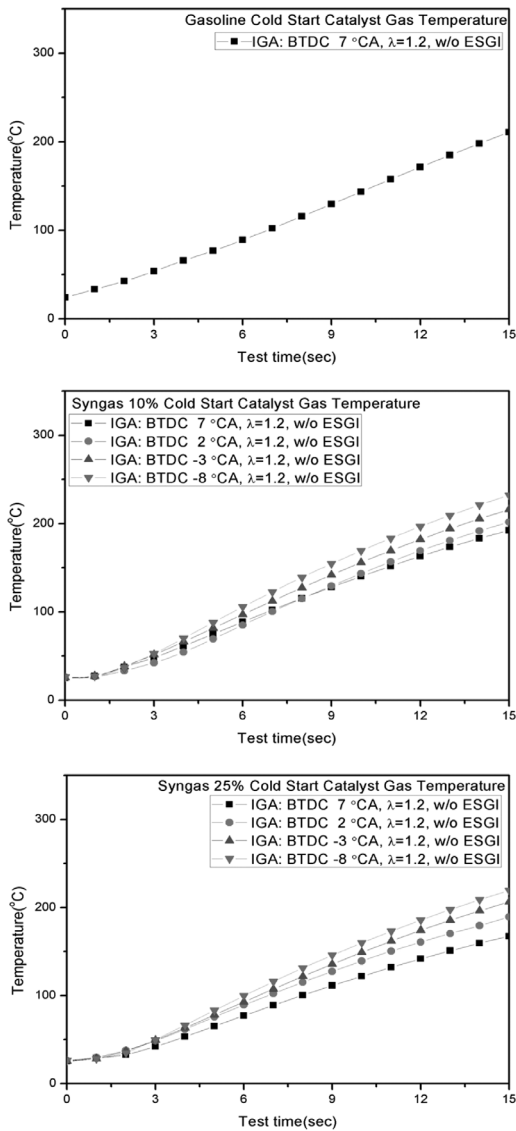


Fig. 5 Variations of gas temperature in the catalyst on cold start condition at the variable syngas fractions

으로 촉매 예열기간에 대한 문제점을 해결할 수 있다.

합성가스를 냉간시동에 적용한 이상의 결과는 정상상태의 온간 아이들 실험에서 나타난 결과와 동일한 경향을 나타내었다.<sup>5)</sup> 정상상태 실험에서는 합성가스를 10%, 25% 적용하는 방법 이외에 합성가스를 50%, 100% 활용하여 매우 우수한 성능을 확보할 수 있었다. 따라서 향후에는 합성가스 첨가율을 높이는 방법을 통해 좀 더 최적화된 조건들을 연구할 예정이다.

#### 4. 결론

SI 기관의 냉간시동 조건에서 배출되는 유해 배기가스를 저감하고자 합성가스 연료를 일정량 사용하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 냉간시동 조건에서 합성가스를 연료의 일정량 사용함으로 THC의 전체 배출량이 감소하였으며 합성가스 25%, 점화시기를 BTDC-8°C로 제어한 조건에서는 발생하는 THC 배출량을 70% 저감하였다.
- 2) NO<sub>x</sub>는 합성가스에 포함되어 있는 불활성가스에 의해 EGR과 동일한 효과로 배출량이 감소하며 점화시기 BTDC-8°C 조건에서는 전체 배출량의 50% 정도 저감이 가능하였다.
- 3) 합성가스는 CO를 주요성분으로 일정량 포함하고 있기 때문에 CO의 배출량에 대한 저감효과는 합성가스 첨가율 25%, 점화시기 BTDC-8°C 조건에서 30% 수준으로 다른 유해물질에 비해 적게 나타났고 점화시기를 지각하는 것이 CO 저감에 효과적이다.
- 4) 합성가스는 수소를 일정량 포함하고 있기 때문에 빠른 연소특성에 의해 촉매내부의 온도는 기준조건에 비해 낮게 나타났으며 촉매의 빠른 활성화를 위해서는 충분한 점화시기의 지각이 필수적이다.

#### 후 기

본 연구는 2010년도 국민대학교 교내연구비 사업의 지원 아래 이루어졌으며, 이에 저자일동은 깊은 감사를 드립니다.

#### References

- 1) 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.
- 2) 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.

- 3) J. S. MacDonald, "Evaluation of the Hydrogen Supplemented Fuel Concept with an Experimental Multicylinder Engine," SAE 760101, 1976.
- 4) 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.
- 5) C. G. Kim, K. Y. Kang, C. S. Song and Y. S. 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.
- 6) S. M. Skippon and Y. Takagi, "Effects of In-cylinder Fuel Spray Formation on Emissions and Cyclic Variability in a Lean-burn Engine. Part 2: Results," SAE 982620, 1998.
- 7) 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.