

합성가스를 이용한 SI엔진의 아이들 성능 개선에 관한 연구

김창기* · 송춘섭** · 조용석** · 강건용*

A Study on the Improvements of Idle Performance for a SI Engine with a Syngas Assist

Chang-Gi Kim*, Chun-Sub Song**, Young-Seok Cho**, Kern-Young Kang*

ABSTRACT

In this study, syngas which is reformed from fossil fuel and has hydrogen as a major component, was added to a gasoline engine to improve combustion stability and exhaust emissions of idle state. Syngas fraction of the total supplied fuel varied to 0 %, 25 %, 50 % 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. It is supposed that the usage of syngas in the internal combustion engine is an effective solution to meet the future strict emission regulations.

Key Words : Syngas, Fuel reforming, Exhaust emissions, Exhaust gas temperature, Idle stability, Specific fuel consumption

기 호 설 명

COV _{imep}	Coefficient Of Variation	LHV	Low Heating Value
λ	Excess air ratio	IGA	Ignition Angle

1. 서 론

저유가시대의 마감과 강화되어가는 환경규제에 대응하기 위하여 높은 에너지효율과 원천적으로 배출가스가 적은 대체에너지의 개발이 필요한 실정이다. 가장 각광 받고 있는 미래형 대체에너지는 수소를 이용한 연료전지를 사용하는 것이지만 수소를 연료로 사용하기 위한 문제점[1-3] 이외에 연료전지를 상용화하기에는 많은 기술적인 문제점이 남아있는 실정이다[3,4].

한편, 최근 들어서는 연료전지 자동차용으로

지금까지 개발된 연료 개질기술을 기존의 연소기 또는 엔진에 접목시킨 새로운 기술들이 다수 발표되고 있다[5-8]. 기존의 자동차 연료에 수소를 첨가할 경우 수소의 안정되고 빠른 연소특성을 바탕으로 연소 및 배기성능을 상당히 개선할 수 있다는 것은 이미 많은 연구를 통해 밝혀진 바 있다[9,10]. 기존 화석연료를 개질하여 발생한 수소가 함유된 합성가스를 사용할 경우에도 수소 연료와 유사한 효과를 얻을 수 있고 특히 자동차에 직접 연료 개질기를 장착할 경우 수소저장 및 인프라 문제를 해결할 수 있기 때문에 연료 개질 기술의 발달과 더불어 합성가스의 엔진적용은 점차 범위를 넓혀갈 것으로 예상하고 있다.

합성가스의 엔진 적용방법에는 여러 가지가 있으나 최근 주목을 받고 있는 분야 중 하나는 냉

* 한국기계연구원

** 국민대학교 자동차전문대학원

† 연락처자. cgkim@kimm.re.kr

간 시동 및 냉간아이들 상태에서 배출되는 유해 배기가스를 합성가스를 이용하여 획기적으로 저감시키는 분야이다. 냉간운전 상태에서 배출되는 유해 배기가스는 촉매의 미활성화로 인해 정화되지 않고 그대로 배출됨에 따라 배기규제 만족에 최대의 걸림돌로 작용하고 있다. 본 연구에서는 합성가스를 엔진의 냉간운전 상태에 직접 적용하기에 앞서 최적의 합성가스의 활용방안을 폭넓게 도출하고자 우선 엔진의 열간아이들 운전영역을 대상으로 합성가스의 적용효과를 파악하였다. 실험에서는 합성가스의 첨가량을 포함한 여러가지 엔진변수에 대하여 연소특성, 배기특성, 그리고 배기가스온도 등을 측정하여 냉간운전 상태에서 필요로 하는 주요인자들의 특성을 파악하여 향후 냉간 운전상태의 성능을 개선하는데 활용하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에는 승용차용 가솔린엔진 1975 cc, 4 실린더 DOHC 엔진을 사용하였으며 실험에 사용된 엔진의 제원을 Table 1에 정리하였다.

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	BTDC8±5° CA
Intake Timing	BTDC9° CA/ABDC43° CA
Exhaust Timing	BBDC50° CA/ATDC10° CA
Valve overlap	15° CA

Figure 1은 실험장치의 개략도를 나타내며 Table 2는 실험에 사용된 실험장치의 제원을 나타낸다. 본 실험에는 합성가스의 공급편의를 위해 연료 개질장치를 직접 사용하여 생산되는 합성가스가 아닌 H₂/CO/N₂의 비가 26.8/22.8/50.4의 성분비를 가진 모사가스(이후 합성가스)를 사용하였다. 실험에 사용된 모사가스는 가솔린을 개질하였을 때와 성분이 유사하며 개질과정에서 발생이 가능한 H₂O, CO₂, HCs 등은 그 양이 적어 무시하였다.

합성가스의 공급유량은 MFC를 사용하여 조절하였으며 합성가스 질량유량 측정의 정확성을 위해 전자저울을 사용하여 전 유량범위에 대해 검

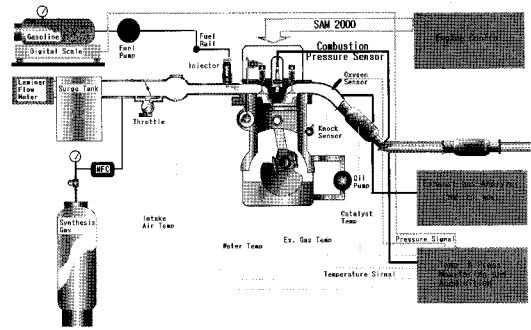


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

Table 2. Test device specifications

Content	Device
engine control	SIEMENS SAM2000
emission analyzer	HORIBA MEXA-8120
cylinder press.	KISTLER 6117BFD-17
DAQ system	NI SCXI-1000
lambda sensor	ETAS lambda sensor
MFC	GAT GMC-1000
digital scale	AND HP-100k

증을 하였다. 대부분의 엔진제어는 EMS tool (SAM2000)을 사용하여 이루어졌으며 엔진의 주요부분에 대해 압력과 온도를 측정하여 원활한 엔진상태를 파악하였다. 배기가스 성분측정을 포함한 모든 측정 데이터는 데이터 획득장치를 통하여 PC에 저장되도록 하였다.

2.2 실험 조건 및 방법

실험 엔진의 운전조건은 냉각수온도가 78~82°C인 warm-up 이후의 열간아이들 상태로서 배기규제모드 중 가장 유해 배기가스가 많이 방출되는 냉간아이들 상태를 모사하기 위한 조건이다. 냉간아이들 상태는 실험조건 유지와 반복이 매우 어려운 천이영역임에 따라 다양한 접근을 시도하기에는 많은 시간적 제약이 따른다. 또한 가솔린연료의 경우는 열간상태와는 달리 냉간 상태에서는 연료가 충분히 기화될 수 있는 연소실 내부의 온도가 형성되지 않았기 때문에 엔진 작동조건을 만족시키기 위해서는 열간상태에 사용되는 연료량보다 많은 연료를 사용하게 되고 공연비가 농후한 조건에서 충분히 기화되지 않은 연료로 인해서 유해 배기가스가 다량 발생하게 된다. 하지만 합성가스 연료는 기체 상태로 존재하기 때문에 냉간상태에서도 엔진 작동조건에 만

죽시키는 충분한 혼합기를 형성하는데 문제가 되지 않는다. 그래서 합성가스를 사용한 본 실험의 결과는 향후 냉간시동과 냉간아이들 상태에서의 연소특성과 배기가스 배출특성에서는 정량적인 수치의 차이가 있겠지만 정성적인 측면에서는 큰 차이가 없을 것으로 판단된다.

실험변수는 가솔린연료에 대한 합성가스의 첨가비, 공연비, 점화시기로서 각각을 연소안정성이 보장되는 영역까지 변화시키면서 실험을 하였다. 합성가스 첨가비(F)는 전체 공급연료의 저위발열량에 대한 합성가스의 저위발열량의 비로서 다음의 식으로 정의된다.

SYNGAS FRACTION(%), F

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

각 실험조건에 대한 연소안정성(COV_{imep}), 배기가스 배출량, 배기가스온도, 연료소모량 등을 측정하였으며 냉간아이들 상태에서 갖추어야 할 여러가지 필요조건들을 토대로 최적 운전조건을 찾아나갔다. 본 실험에서 연소안정성이 보장되는 영역이라고 판단하는 기준은 상용 ECU에서 제어되는 가솔린 베이스엔진(Syngas fraction = 0%, λ=1.0, IGA=BTDC 7° CA, 이하 기준조건)의 아이들 상태의 연소안정성으로 정의하였다.

연료소모량의 계산은 측정된 가솔린의 질량유량과 합성가스의 질량유량에 해당하는 개질된 가솔린 질량유량을 합산하여 이루어졌다.

각 실험변수를 포함한 실험조건을 Table 3에 나타내었다. 각 조건에서의 데이터 취득은 정상상태 도달 후 약 5분이 경과한 다음 30초간 측정하여 평균값을 취하였고 최소 3회 이상 실시되었다. 연소안정성을 평가하기 위한 COV_{imep} 측정은 100 사이클에 대하여 이루어졌으며 각 조건에 대해 5회 이상 실시되었다.

Table 3. Experimental Condition

engine speed(rpm)	700 rpm
ambient temp.	25 ± 3 °C
ambient humidity	50 ± 10 %
simulation gas fraction	0%, 10%, 25%
coolant and oil temp.	78~82°C
Lambda	1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4
ignition timing	7°, 2°, -3°, -8°, -13°, -18° (BTDC CA)
fuel	Simulated syngas and Gasoline

3. 결과 및 고찰

3.1 합성가스 연소

Figure 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 종료하게 되면 엔진에서 배출되는 배기가스의 온도는 감소하여 냉간시동 초기의 촉매활성화에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 그러나 수소에 의한 빠른 연소특성은 cycle variation을 줄여 안정적인 연소특성을 확보할 수 있다.

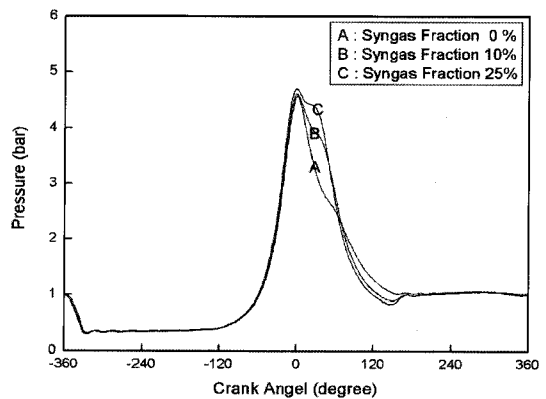


Fig. 2 Combustion characteristics of various syngas fractions (λ = 1.0, IGA = BTDC 7° CA)

3.2 연소안정성(COV_{imep})

Figure 3은 합성가스 첨가비에 따른 연소안정성의 변화를 점화시기와 공연비의 변화에 대해 나타낸 그래프이다. 그래프에 나타낸 값은 비교의 편의를 위해 앞서 언급한 기준조건(Syngas fraction = 0%, λ = 1.0, IGA=BTDC 7° CA)에서의 결과를 1.0으로 정하여 상대 비교한 것이며, 이후 배기가스온도를 제외한 실험 결과의 비교에서도 동일한 방법을 적용하였다.

실험결과를 보면 합성가스의 첨가비가 증가할수록 연소가 안정적으로 이루어졌으며 합성가스 첨가비가 25 %일 경우 최대 60 %까지 연소가

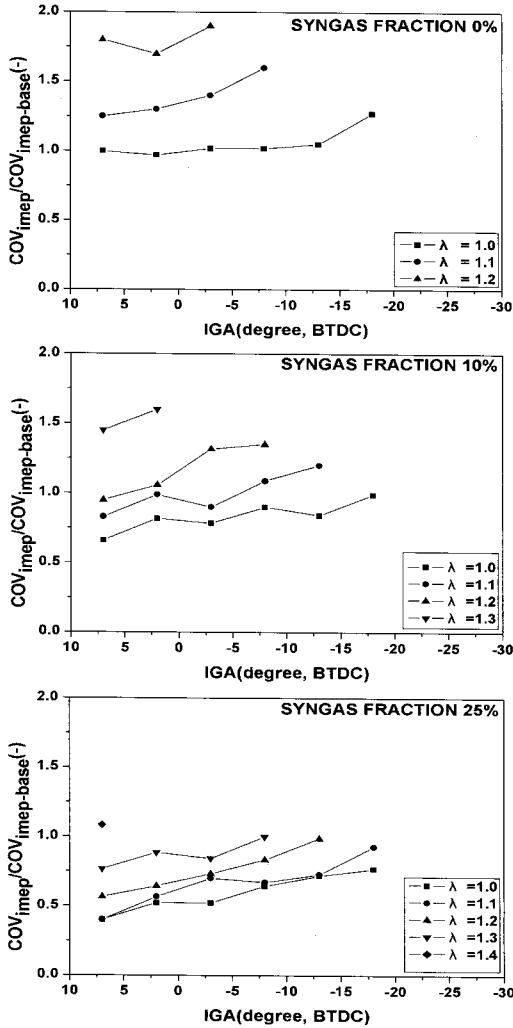


Fig. 3 Comparison of COVimep with various syngas fractions

안정적으로 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 합성가스 첨가비 0%에서는 공연비가 희박해질수록 매우 급격히 연소가 불안정해 지지만 합성가스 첨가비가 증가할수록 그 경향은 점차 감소한다. 또한, 합성가스 첨가비가 증가할수록 희박가연한계를 확장시켜 합성가스 첨가비 10%에서는 $\lambda = 1.2$ 까지, 그리고 25%에서는 $\lambda = 1.4$ 까지 연소안정성을 유지하는 아이들 운행이 가능하다. 이것은 합성가스에 함유된 수소의 넓은 가연범위 특성과 빠르고 안정된 연소특성에 의한 것이며 합성가스 첨가비가 증가할수록 그 효과는 점차 확대된다는 것을 결과를 통해 확인할 수 있다.

점화시기의 영향은 상대적으로 크지는 않지만 대체적으로 지각할수록 연소가 불안정해지는 것을 확인할 수 있다. 점화시기는 배기가스 배출량

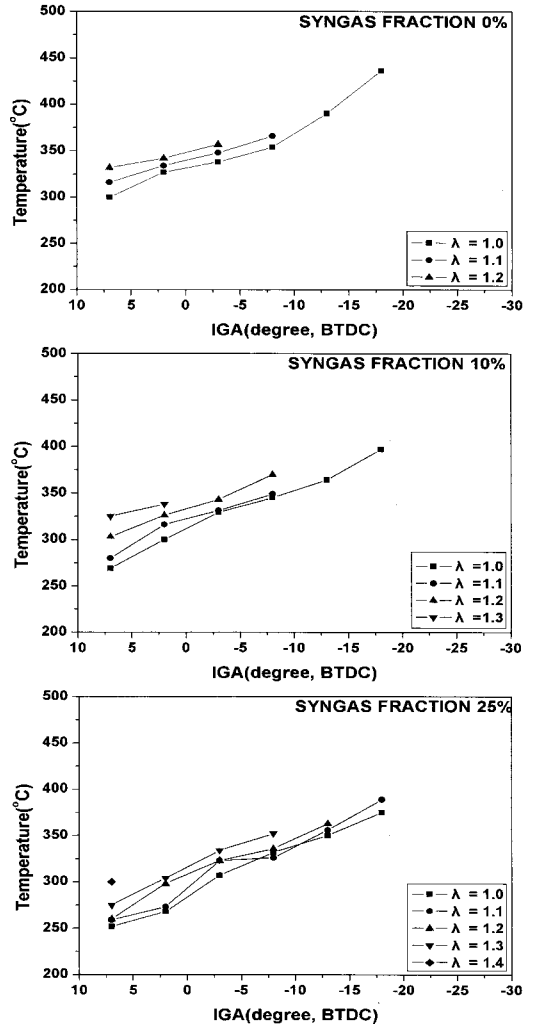


Fig. 4 Comparison of exhaust gas temperature with various syngas fractions

과 촉매활성화기간 단축에 큰 영향을 미치는 주요한 변수이기 때문에 희박영역에서도 가능한 지각시킬 수 있도록 합성가스의 첨가를 통해 연소안정성을 확보해 두는 것이 중요하다.

3.3 배기가스 온도

촉매전단에서 측정된 배기가스온도는 엔진의 냉간운전 초기의 촉매활성화기간에 영향을 미치는 주요한 변수로서 높을수록 그 기간이 단축된다. 냉간운전 상태에서 배출되는 유해 배기가스가 특히 문제가 되는 것은 촉매 미활성화에 기인하기 때문에 배기가스를 저감시키기 위해서는 촉매활성화기간을 단축시키는 것이 필수적이다.

Figure 4는 실험조건에 따른 배기가스온도를 나타내고 있는 곡선으로 합성가스 첨가비가 증가

할수록 배기가스온도가 감소함을 보여준다. 이는 Fig. 2에서 보여주는 합성가스의 연소특성으로 실린더 내의 연소가 합성가스 첨가비가 증가할수록 상대적으로 일찍 종료되기 때문이다. 동일한 합성가스 첨가비에 대해서는 공연비가 희박한 영역으로 갈수록 배기가스온도가 상승하는 것으로 나타났다. 일반적으로 희박연소를 적용할 경우 배기가스온도가 감소하는 경향이 있지만 아이들 운전영역에서는 희박연소에 의한 느린 화염전파 속도의 영향이 더 큰 것으로 보인다.

점화시기의 영향은 지각시킬수록 배기가스온도가 빠르게 상승하는 전형적인 특성을 잘 나타내고 있다. 비록 합성가스 첨가비 0%에서 가장 높은 배기가스온도를 얻을 수 있으나 연소안정성 확보가 우선이므로 합성가스를 첨가하여 점화시기를 안정적으로 지각시킬 수 있도록 한 다음 배기가스온도의 상승을 유도하여야 한다.

3.4 배기가스 배출량

유해 배기가스로 대표되는 THC, NO_x, CO는 일반적으로 공연비와 점화시기에 민감하게 반응하며 동시저감을 이루기 위해서는 희박영역에서의 안정적인 연소가 필수적이다. 합성가스를 냉간아이들 상태에 적용하고자한 이유도 수소의 연소특성으로 희박가연한계를 높여 유해 배기가스를 저감시키기 위함이다.

THC는 연소안정성이 보장된다면 희박할수록 높은 연소효율에 의해, 그리고 점화시기가 지각될수록 틈새체적에 축적되어 있던 THC의 후연소에 의해 각각 저감되는 경향을 가지고 있다. Fig. 5에 나타난 THC의 배출특성을 살펴보면 합성가스 첨가비가 증가할수록 THC의 최저값들이 점차 낮아지고 있는데 이는 합성가스에 의해 희박연소와 점화시기 지각을 안정적으로 확보할 수 있었기 때문이다. 반면, 합성가스 첨가비 0%의 경우 희박연소를 하거나 점화시기 지각을 하더라도 연소가 불안정한 조건이면 THC의 저감은 큰 의미는 없다. 합성가스는 탄화수소계의 성분이 없어 합성가스의 첨가에 따른 THC 저감효과도 기대할 수 있으나 25%까지 첨가된 본 연구에서는 그 영향을 확실하게 구분하기가 어렵다.

NO_x의 변화량을 나타내는 Fig. 6은 일반적인 경향과 다소 다르게 나타나고 있다. 우선, 합성가스 첨가비가 증가할수록 NO_x가 저감되는 것으로 나타났는데 이것은 합성가스 자체가 부분연소된 상태로써 EGR과 유사한 효과를 가지고 있기 때문으로 해석된다. 점화시기의 지각은 일반적으로 실린더 내 최고 연소온도를 낮춤으로써 NO_x 배출량을 감소시키는 효과를 가지고 있지만 실험 결과에서는 반대의 경향을 보이고 있다. 아이들에서 점화시기 지각에 따른 NO_x의 증가는 연료

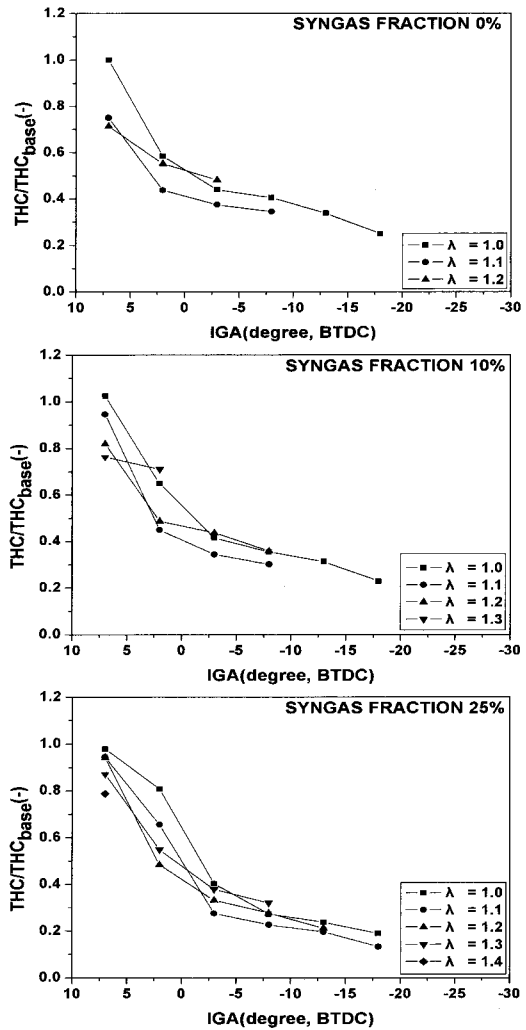


Fig. 5 Comparison of THC with various syngas fractions

소비율의 증가(Fig. 8), 즉 부하의 증가에 그 원인이 있는 것으로 추측되며 아이들에서는 점화시기 지각에 의한 최고 연소온도의 영향이 상대적으로 작기 때문에 판단된다. 공연비의 영향은 희박할수록 NO_x가 저감되는 전형적인 특성을 나타냈다. 따라서 아이들 상태에서 NO_x를 저감시키기 위해서는 합성가스 첨가비를 증가시키고 희박연소를 적용하되 과도하게 점화시기를 지각시키지 않는 것이 가장 효과적임을 알 수 있다.

아이들 조건에서의 CO 배출특성은 Fig. 7에서와 같이 이론공연비 연소와 희박연소의 영향을 극명하게 보여주고 있다. 희박정도에 따라서는 큰 변화를 보여주고 있지 않지만 희박연소가 적용되는 순간부터 CO 배출량이 급격하게 감소되어 계속 유지하고 있음을 알 수 있다. 점화시기

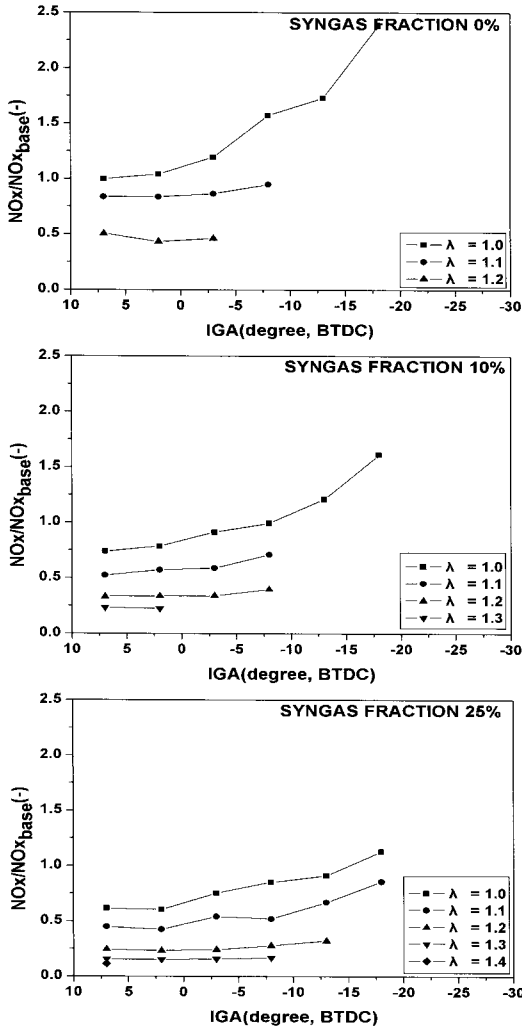


Fig. 6 Comparison of NOx with various syngas fractions

의 영향은 THC와 유사하게 지각될수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 반면, 합성가스 첨가비가 증가할수록 CO 배출량이 증가하는 것을 확인할 수 있는데 이는 합성가스의 주성분으로 CO를 포함하고 있기 때문이다. THC 및 NOx와는 반대로 CO는 합성가스 첨가비가 증가할수록 조금씩 배출되는 값이 올라가지만 우려할 수준은 아니며 합성가스 첨가비가 증가하더라도 안정적인 점화시기 지각을 통해 충분히 저감시킬 수 있으리라 판단된다.

3.5 연료소모량

Figure 8은 각 실험조건에서의 연료소모량을 나타내는 것으로서, 합성가스가 생산될 때 가솔린 저위발열량의 20%가 손실된다는 가정이 고려

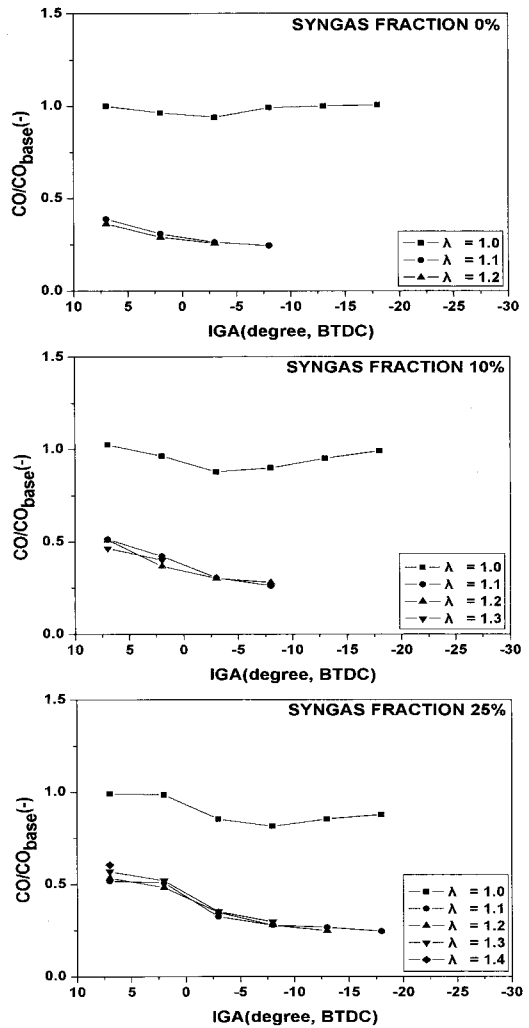


Fig. 7 Comparison of CO with various syngas fractions

된 것이다. 손실의 원인으로는 가솔린의 개질과정 중 부분 산화과정에서 화학에너지 손실과 개질장치 자체의 전력소비를 들 수 있다[7].

연료소모량 결과를 보면 동일 공연비와 점화시기에서 합성가스 첨가비가 증가할수록 약간의 개선을 확인할 수 있는데 이는 수소의 빠른 연소 속도에 의해 효율적으로 에너지가 활용되기 때문이다. 그러나 합성가스 첨가비가 증가할수록 배기가스온도가 많이 감소하므로 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 냉간상태에서는 촉매가 활성화되는데 필요한 시간이 20초 이내로 짧기 때문에 냉간아이

들 상태에서 배기가스를 저감시키기 위해 이루어지는 연료소모량의 증가는 전체 연비에 거의 영향을 미치지 않는다. 따라서 합성가스를 냉간상태에 적용하여 유해 배기가스를 저감시키는 과정에서 연료소모량이 다소 증가하더라도 이것이 큰 제약조건으로 작용되지는 않는다.

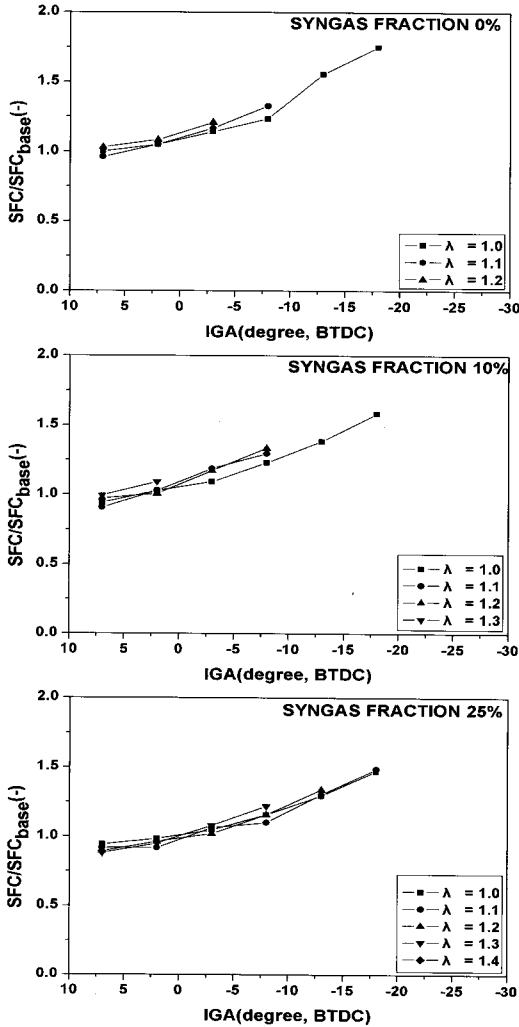


Fig. 8 Comparison of SFC with various syngas fractions

3.6 최적조건

본 실험의 결과를 통해서 합성가스 첨가비에 대한 최적조건을 Fig. 9에 정리 하였다. 합성가스 첨가비에 따른 최적조건에 대한 판별은 합성가스를 첨가함에 따라 연소안정성을 확보하는 영역내에서 공연비와 점화시기의 제어를 통해서 배기가스의 온도가 상승되며, THC, NO_x, CO등의 유해

비가가스의 배출량이 동시에 가장 많이 저감되는 조건으로 하였다. 이 결과에서는 합성가스 첨가비 0 %에서 가장 좋은 결과를 나타내었던 $\lambda = 1.0$, IGA = BTDC -3°C에서의 결과를 기준 조건 1.0으로 표현하였으며, 합성가스 첨가비에 따른 결과를 상대 비교하였다.

실험결과를 보면, 합성가스 첨가비가 10%인 조건에서는 $\lambda = 1.1$, IGA = BTDC -8°C에서 가장 좋은 결과를 보여 배기가스 온도가 10°C 이상 증가됨과 동시에 THC가 약 29 % 저감되었다. 합성가스 첨가비가 25 %인 조건에서는 $\lambda = 1.1$, IGA = BTDC -18°C까지 연소안정성을 확보할 수 있었으며 이때 배기가스 온도는 50°C 이상 증가된 반면 THC는 약 67 %까지 대폭 저감되었다.

THC와 trade-off 관계인 NO_x는 합성가스의 EGR 효과와 적절한 점화시기 조절로 40 % 이상 저감되었으며, CO 또한 희박연소와 점화 지연으로 70 % 이상 저감되는 결과를 나타내었다.

이상의 결과를 살펴보면 적은 양의 합성가스 첨가로 냉간시동에서 문제로 지적되는 THC 배출량을 배기가스 온도 저감없이 대폭 줄일 수 있을 뿐만 아니라 NO_x와 CO 또한 동시에 줄일 수 있음을 알 수 있다. 따라서 합성가스의 생산과 제어기술이 차량탑재가 가능한 수준으로 개발된다면 합성가스의 이용은 배기규제 대처에 있어 큰 효과를 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

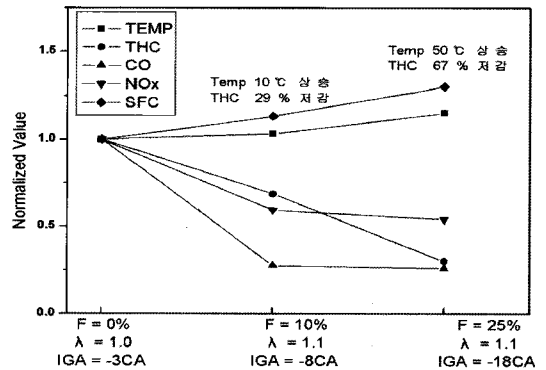


Fig. 9 Normalized values with changes in syngas fraction

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 안정적 점화시기 지각을 확보할 수 있게 하였다.

2) 배기가스온도는 합성가스 첨가비가 증가할수록 합성가스 내에 포함되어 있는 수소의 빠른 연소특성에 의해 감소되는 경향을 나타내었지만 점화시기의 지각을 통해 충분히 만회할 수 있는 것으로 나타났다.

3) 합성가스 첨가비가 증가할수록 희박가연한계와 안정적 점화시기 지각 범위가 확대됨에 따라 THC를 더 낮은 수준으로 저감시킬 수 있었으며, NOx는 합성가스가 가지고 있는 EGR효과에 의해 합성가스 첨가비가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. CO는 합성가스의 연료성분에 의해 합성가스를 첨가할수록 희박영역에서 증가하는 특성을 보였으나 점화시기 지각으로 충분히 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

4) 합성가스를 이용하여 유해 배기가스를 획기적으로 저감시키기 위해서는 충분한 점화시기 지각이 필요하며 이때 연료소모량이 다소 증가하지만 냉간상태에 적용할 경우 그 적용기간이 짧기 때문에 문제가 될 정도는 아니다.

5) 합성가스 첨가비, 공연비, 점화시기에 따라 배기가스온도 특성과 THC, NOx CO의 배출특성이 다르게 나타나기 때문에 trade-off를 통하여 최적조건을 찾아야 한다. 가솔린연료만을 사용한 최적 기준조건($\lambda=1.0$, IGA BTDC -3°)과 비교했을 때, 합성가스를 25% 첨가할 경우 아이들 상태의 배기가스 온도를 50°C 상승시킬 수 있음과 동시에 THC, NOx, CO를 40% 이상 모두 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다.

후 기

이 연구는 '미래형 자동차 배기가스 제로화 기술 개발' 과제의 일부로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] M. Norbert(BMW Group), "Hydrogen- The Alternative Fuel for Future Powertrain," FISITA 2002, World Automotive Congress, Helsinki 4, June
- [2] M. W. Jensen *et al*, "The Ultimate Challenge: developing an infrastructure for fuel cell vehicles," Environment, Vol. 42, No. 7, 2000, pp. 10-22
- [3] D. Seth, "Hydrogen futures: towards a sustainable energy system," Int'l J. of Hydrogen Energy 27, 2002, pp. 235-264.
- [4] 이 기준 외, "전기화학엔진의 구성 및 응용," 기계저널, Vol. 42, No. 9, pp. 50-54.
- [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 paper NO.2000-01-2206.
- [6] A. Dale and W. D. Fobert, "An Experimental Study of Air-Reformed Natural Gas in Spark-Ignited Engines," SAE paper NO. 960852.
- [7] E. K. John, A. Q. Ather and M. J. Grieve, "Fast Start-Up On-Board Gasoline Reformer for Near Zero Emissions in Spark-Ignition Engines," SAE paper NO. 2002-01-1011.
- [8] K. D. Isherwood, J. Linna and P. J. Loftus, "Using On-board Fuel Reforming by Partial Oxidation to Improve SI Engine Cold-Start Performance and Emissions," SAE paper NO. 980939.
- [9] J. S. MacDonald, "Evaluation of the Hydrogen Supplemented Fuel Concept with an Experimental Multicylinder Engine," SAE paper NO. 760101.
- [10] 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 paper NO. 2002-01-2686.