

## 석탄가스화기로부터 발생된 저발열량 합성가스의 엔진연료 적용 연구

장준영\*, 김태권\*\*, 유명돈\*\*\*, 윤용승\*\*\*

\*계명대학교 대학원 기계공학과

\*\*계명대학교 기계자동차공학부

\*\*\*고등기술연구원 Plant Engineering 센터

### Applicability to Engine Fuel of Low Caloric Synthetic Gas from Coal Gasification

J. Y. Jang\*, T. K. Kim\*\*, Y. D. Yoo\*\*\*, Y. S. Yun\*\*\*

\*Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Keimyung university

\*\*Faculty of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung university

\*\*\*Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering

#### Abstract

This paper presents the applicability of low caloric synthetic gas from coal gasification to a gas engine system. A commercial LPG engine is modified to use the low caloric synthetic gas from coal gasification as the gas engine fuel. The modification is focused on the fuel supplying system, which includes air flowrate adjusting orifice, gas mixer, vaporizer, preheater, regulators, and fuel tank. The electrical system and others for the alternative fuel are also redesigned and replaced. From the results of engine performance data, we have demonstrated that the engine modified by using coal gasification gas is well operated from idle to wide open throttle conditions although the engine power is somewhat reduced relative to LPG fueled engine. This paper addresses the need to determine the practical potential for such a concept and to identify further research and development efforts that may be necessary.

#### 1. 서론

가스엔진은 기존의 석유계 연료 엔진에 비해 열효율도 어느 정도 유지할 수 있으며, 특히 유해배기가스에 의한 대기환경 오염문제 해결에 유리한 면을 갖고 있다. 또한 한정된 석유계 연료에 비하면 양적인 면에서 비교적 장기적으로 활용 가능하여 유망한 저공해 대체연료로서의 역할을 담당하게 될 것이다. 이러한 관점에서 석탄 가스화 연료는 기존의 석탄을 고체에서 기체로 연료상태를 바꾸어서 연소시킴으로써 유해배기성분이 훨씬 저감되어 대기공해를 방지할 뿐만 아니라 석유보다 훨씬 저렴하며 에너지원의 다변화 정책 및 대체연료로서의 개발면에서도 유리하다. 석탄가스화 시스템은 미분탄을 산소 및 질소와 함께 가스화로에 공급하여 석탄 내의 탄소 및 수소 성분을 가연성 가스인 일산화탄소와 수소 가스로 전환하면서, 석탄 내의 회분을 용융시켜 슬래크로 처리된다. 여기서 발생된 가스의 조성은 일산화탄소, 이산화탄소, 수소, 질소 등으로 되어 있으며, 이들 중 가연가스는 일산화탄소(CO), 수소(H<sub>2</sub>) 등으로 구성되어 있다. 이와 같은 가스화기술을 활용하여 가스엔진 시스템을 구동하고 이의 동력을 이용하기 위해 석탄가스 가스엔진 시스템을 개발하는 것은 대체에너지 개발, 에너지 수입 대체 효과 및 고청정 환경친화, 고효율면에서 필수적이라 할 수 있다.<sup>1~4)</sup>

따라서 본 연구는 석탄가스화에서 생성되는 가연가스를 엔진의 연료로 사용할 수 있도록 가스엔진시스템을 구성 및 제작하는 것이다. 이에 적합한 엔진을 선정하고 엔진의 연료공급

장치(Gas Mixer, Vaporizer, Pre-heater, Regulator & Valve, Fuel Tank 등)와 전기장치, 이외 각종 장치를 적절히 개조 및 제작한다. 이러한 개조 및 제작을 통해 석탄가스연료로 구동되는 엔진의 운전조건 상태와 운전성능 실험을 수행하여 대체연료로서의 활용 가능성을 제시한다.

## 2. 가스엔진시스템 설계 및 제작

### 2.1 대상엔진의 설계 및 제작

본 연구에서는 A사의 LPG엔진(CD800L)을 기초로 하여 가스엔진시스템을 설계·구성하고 있다. Table 1은 본 연구에 사용된 LPG엔진의 주요 제원이다. 대상 엔진은 수냉식 3기통이며, 전기 점화 방식으로 배기량 796cc, 압축비 9.5이다. 대상엔진을 가로 1m, 세로 2m, 높이 1m의 엔진설치대에 기존 차량의 형태로 설치하였다. 엔진 구동 시의 충격 및 진동을 방지하기 위해 엔진고정나사에 댐퍼를 부착시켰다. 엔진설치대에는 엔진의 시동을 위한 키스위치, 각종 스위치와 인디케이터, 배터리 등을 설치하였다. 또한 엔진 냉각을 위한 냉각수 순환은 엔진차체에 붙어있는 물펌프를 사용하나 용량이 부족하므로 냉각 효율을 높이기 위해 50ℓ용량의 물탱크를 설치하였다. 물탱크는 엔진의 냉각수 공급, 냉각 및 드레인 역할을 한다. 엔진의 시동은 엔진설치대 상단에 부착된 키스위치를 통해 작동된다. 키스위치는 ON 상태와 START상태로 단순화시켰으며 ON 상태에서는 점화장치만 전원이 공급되며 START상태에서는 점화장치와 시동장치로 전원이 공급된다. 모든 전기장치의 전원은 자동차용 12volt 전원을 이용하였다.

Table 1 개조대상 엔진의 주요제원

모 델	CD800L
밸브형식	OHC, 벨트구동
실린더수	직렬 3기통
배기량	796 cc
내경×행정(mm)	70×69
공회전수	950 rpm
압축비	9.5
연소실형태	다구식
최고출력	38 ps / 5600 rpm

본 연구에서는 기존의 LPG연료시스템에 부과하여 석탄가스 연료시스템을 추가함으로써 이중연료(bi-fuel)엔진 시스템의 개념으로 구성하였으며 이에 각각의 연료공급시스템을 Fig. 1에 나타내었다. LPG연료시스템은 LPG탱크에서 기상/액상 솔레노이드 밸브를 거쳐 베이퍼라이즈를 통해 가스믹서의 연료흡기구로 들어간다. 석탄가스연료시스템은 가스화공정에서 만들어진 가스가 연료유량계(Dwyer)를 통해 연료량이 조절된 후 가스믹서의 연료흡기구로 들어간다. 이에 이중연료(bi-fuel)시스템의 개념으로 개조하기 위해서는 필요에 따라 연료전환이 가능하도록 설계하였으며 엔진설치대 앞부분에 전환스위치와 솔레노이드밸브, T-피팅을 설치하였다.

LPG연료시스템의 경우에서는 믹서에서 연료유량을 MAS(Main Adjust Screw)와 공기유량 결정을 위한 AAS(Air Adjust Screw)를 적절히 조정하여 적합한 엔진 운전상태를 유지한다. MAS는 가솔린자동차의 메인 제트와 같은 것으로서 연료브랜드조정 이외에 이것을

조정하면 베이스 공연비를 변화시키게 되기 때문에 조정시에 신중을 기해야 한다. 본 연구의 석탄가스연료의 경우는 MAS 및 AAS의 조정만으로는 소기의 성능을 얻을 수 없으므로 연료량과 공기량의 조절을 직접 시행착오법으로 수행하였다. 이론적으로 구해진 필요 연료량, 공기량을 토대로 먼저 연료유량계를 조절하여 엔진회전속도를 유지하였다. 공기량 조절은 Fig. 2에서 보는 바와 같은 공기량조절 오리피스를 제작하여 공기흡입구 앞부분에 설치하여 공기량을 조정하였다. 오리피스는 내경 7mm에서 22mm 까지 제작하여 사용하였으며 각각의 오리피스를 사용하여 연료유량을 조절함으로써 엔진회전속도 변화에 따른 연료공기 혼합비를 적절히 맞추었다.

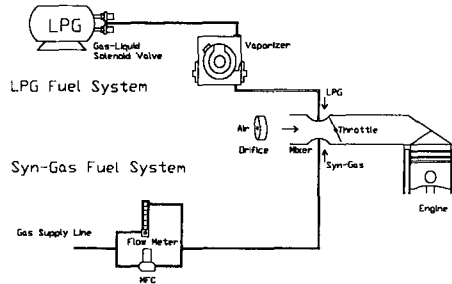


Fig. 1 이중연료(bi-fuel) 공급시스템

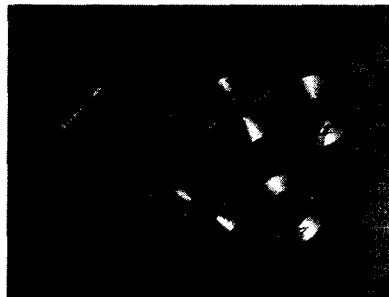


Fig. 2 공기량조절 오리피스

(Inner Daimeter #1=7, #2=10, #3=12, #4=15, #5=17, #6=20, #7=22 mm)

## 2.2 성능측정을 위한 계측시스템

엔진의 성능특성 파악을 위하여 엔진성능 계측장치를 구성하였다. 엔진회전속도, 실린더 압력, 흡기/배기온도, 배기가스, 공기과잉률을 측정할 수 있도록 각종 센서를 설치하였으며, 이들의 상태를 관찰하기 위해 각종 인디케이터(Indicator)를 엔진설치대 앞부분에 설치하였다. 엔진회전속도는 엔진의 캠축에 분해능 360펄스인 엔코드(Encoder, Omron, E6B2-CWZ3E)를 엔코드 브라켓에 장착하였다. 실린더 압력을 측정하기 위해 점화플러그타입의 피에조 압력센서(Kistler, 6117)를 점화플러그 홀에 설치하였으며 압력신호는 전하증폭기(Kistler, 5051)를 통해 증폭되어 캠축에 설치된 엔코드의 펄스 신호에 따라 크랭크각 2°간격으로 데이터처리장치(LabVIEW, PCI-MIO -16E1)에 저장된다. 흡기/배기온도측정은 K-타입 열전대를 믹서 앞부분과 배기포트에 설치하였다. 배기가스 측정을 위해 가스분석기(Horiba, Mexa554jk)를 배기라인에 설치하였으며 연료와 공기의 혼합비를 알기 위해 램다센서(ETAS)를 배기라인 전반부에 설치하였다.

### 3. 결과 및 토의

본 연구에서는 LPG엔진의 연료장치, 전기장치, 각종 장치 등을 적절히 개조 및 제작하여 석탄가스연료를 연료로 공급하여 구동될 수 있는 이중연료시스템을 완성하였다. 석탄가스연료를 공급할때도 LPG연료와 마찬가지로 4000rpm 이상의 고회전의 출력이 발생함을 확인하였다. 두 연료에 대한 엔진운전상태를 비교하면 LPG연료일때가 좀 더 안정적으로 구동되고 있다. 이는 본 엔진의 시스템이 LPG연료의 연소특성을 기본으로 제작되었기에 석탄가스연료에 적합한 점화시기, 점화에너지, 연료공급압력, 공연비, 연소속도, 피스톤 형상 등의 수정을 통해 최적화 될 수 있다고 생각된다.

Fig. 3은 회전속도에 따른 연료유량을 나타낸 것이다. 이론적인 값은 계산되어진 것이며 #1~#7은 공기량 조절 오리피스에 따른 유량계에서 측정되어진 값이다. 저회전 영역에서는 이론적인 값과 실제 공급되는 값이 비슷하지만 고회전 영역으로 갈수록 연료의 공급량이 작음을 볼 수 있다.

Fig. 4는 회전속도에 따른 공기과잉률을 나타낸 것이다. LPG의 경우에는 연료량과 공기량을 MAS(Main Adjust Screw), AAS(Air Adjust Screw)를 통해 적정의 공연비 1로 조절하였기에 공기과잉률이 1로 나타나고 있다. 석탄가스 연료를 사용하는 경우에는 회전속도 증가에 따라 공기과잉률이 줄어들고 있다. 이는 Fig. 3의 회전속도 증가에 따라 연료유량의 증가로 인해 공기과잉률이 줄어드는 것으로 생각되며 석탄가스연료의 경우, 유량계와 공기량 조절 오리피스에 의한 시행착오범으로 공기과잉률이 이루어지므로 차이가 발생한다.

Fig. 5는 회전속도에 따른 배기온도를 나타낸 것이다. LPG의 경우가 석탄가스연료 더 높다. 이는 석탄가스가 가지는 발열량이 낮기 때문으로 생각된다.

Fig. 6은 회전속도에 따른 최대연소압력을 나타낸 것이다. LPG연료와 석탄가스 연료의 경우 회전속도에 따라 거의 일정하게 나타나고 있다

Fig. 7은 회전속도에 따른 배기가스 CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC농도를 나타낸 것이다. LPG연료의 경우 공회전시 원활한 구동을 위해 연료량을 좀 더 공급하며 이로 인해 CO농도가 다른 회전수보다 약간 높게 나타나고 있다. 석탄가스연료의 경우에는 평균 5%정도의 CO가 배출되고 있으며 이는 공급되는 연료성분의 차지하는 CO의 농도가 약 30%나 되므로 이들이 불완전연소되어 배출되는 것으로 생각된다. CO<sub>2</sub>의 농도를 보면, LPG연료의 공기과잉률이 1이므로 거의 일정하게 배출되고 있다. 석탄가스연료의 경우에는 회전속도 증가에 따라 공기과잉률이 1로 가까이 감에 따라 CO<sub>2</sub>의 농도가 증가하고 있다. O<sub>2</sub>의 농도는 LPG연료의 경우 거의 일정하게 나타나고 있으며 석탄가스연료의 경우 회전속도 증가에 따라 공기과잉률의 감소로 점차 감소되어지고 있다. HC농도는 LPG의 경우 저회전영역에서 높게 검출되지만 석탄가스연료의 경우 연료성분중 탄화수소의 성분이 거의 없으므로 나타나지 않고 있다.

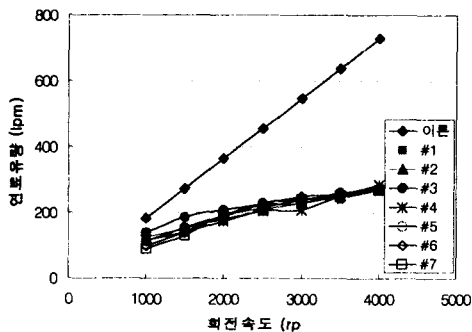


Fig. 3 회전속도에 따른 연료유량

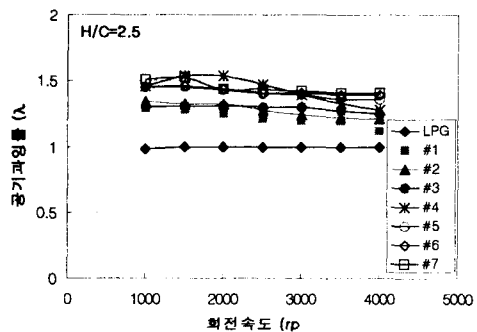


Fig. 4 회전속도에 따른 공기과잉률

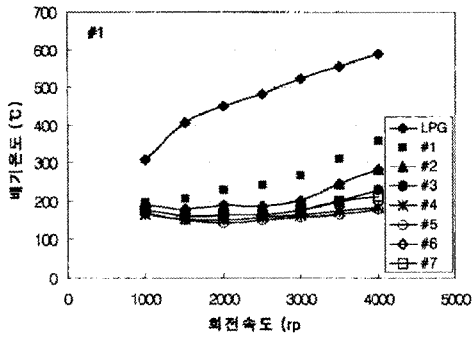


Fig. 5 회전속도에 따른 배기온도

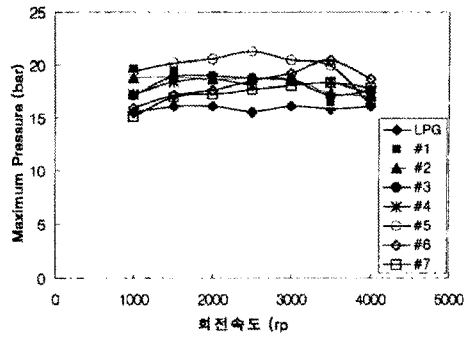
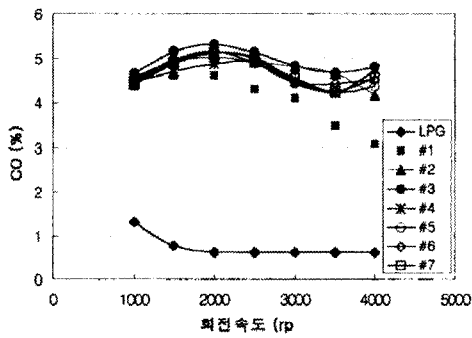
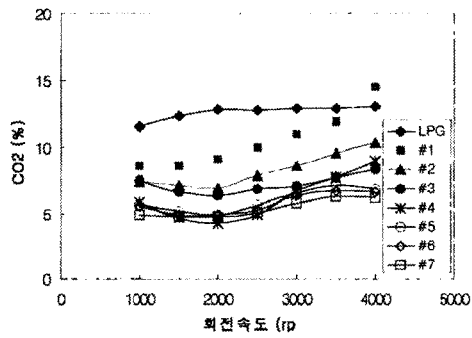


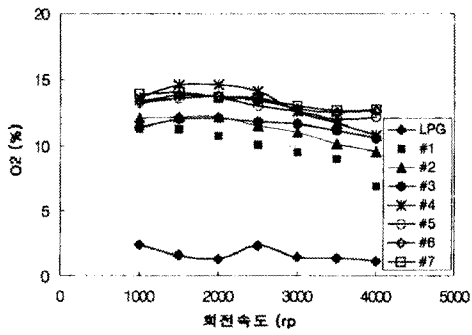
Fig. 6 회전속도에 따른 최대연소압력



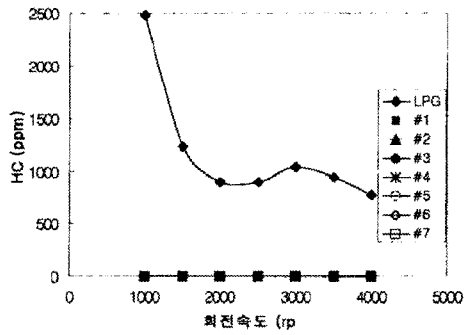
(a) CO



(b) CO<sub>2</sub>



(c) O<sub>2</sub>



(d) HC

Fig. 7 회전속도에 따른 배기가스농도

## 5. 결론

1) 본 연구는 발열량 1000~2000kcal/Nm<sup>3</sup>정도의 syn-gas를 활용하는 것으로서 LPG엔진의 연료장치, 전기장치, 각종 장치 등을 적절히 개조 및 제작하여 석탄가스연료를 연료로 공급하여 구동될 수 있는 이중연료 가스엔진시스템을 완성하였다.

2) 석탄가스연료를 공급하여 LPG연료와 마찬가지로 4000rpm 이상의 고회전 출력이 발생

함을 확인하였다. 두 연료에 대한 엔진 운전상태를 비교하면 LPG연료일 때가 좀 더 안정적으로 구동되고 있다. 이는 본 엔진의 시스템이 LPG연료의 연소특성을 기본으로 제작되었기 때문에 석탄가스연료에 적합한 점화시기, 점화에너지, 연료공급압력, 공연비, 연소속도, 피스톤 형상 등의 수정을 통해 최적화 될 수 있다고 생각된다.

#### 후기

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 계명대학교 저공해자동차부품기술개발센터의 지원에 의한 것입니다.

#### 참고문헌

1. 심성훈 외, “합성 폐기물의 화염열분해 가스화와 가스엔진에의 이용,” 대한기계 학회 열공학부문학술대회논문집, pp. 178 -187, (1999).
- 2) 김태권 외, “합성고분자류 폐기물의 화염 열분해 가스화에 의한 발생가스의 연소 특성 및 가스엔진시스템에의 적용연구,” 한국수소에너지학회논문집, Vol. 10, No. 4, pp. 233-243, (1999).
- 3) 김태권, 합성고분자류 폐기물의 발생가스를 이용한 가스엔진 시스템 개발, 한국 기계연구원 보고서, (1997).
- 4) 박태인 외 가스엔진 연소시스템개발 및 성능실험연구, 한국기계연구원 연구보고서, BSG019-136M, (1994).