



저발열량 석탄가스화연료의 가스엔진 및 소형발전기 적용연구

†김태권 · 김성훈 · 장준영*

계명대학교 기계자동차공학부, *계명대학교 저공해자동차부품기술개발센터
(2006년 6월 5일 접수, 2006년 8월 2일 채택)

Applicability to Gas Engine and Small Sized Generator of Low Caloric Synthetic Gas Fuel from Coal Gasification

†Tae Kwon Kim · Sung Hoon Kim · Jun Young Jang*

School of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University

*Center for Automotive Parts Technology, Keimyung University

(Received 5 June 2006, Accepted 2 August 2006)

요 약

본 연구는 석탄을 가스화한 저발열량 합성가스 연료의 가스엔진과 소형가스발전기로의 적용가능성을 보여준다. 석탄을 가스화한 저발열량 합성가스를 가스엔진의 연료로 사용하기 위해 상용 LPG엔진을 부분적으로 변경하였다. 석탄가스화 연료에 적합한 연료공급시스템 -공기유량조절 오리피스, 가스믹서, 기화기, 예열히터, 레귤레이터, 연료탱크-이 집중적으로 변경되었다. 엔진 운전 결과에서 비록 석탄가스화 연료의 엔진 출력이 LPG연료에 비해 다소 떨어지지만 석탄가스화 연료를 사용하는 엔진이 공회전 조건에서부터 고출력을 완전 개방한 전부하조건까지 잘 운전됨을 보여주었다. 또한 본 연구에서 개발된 가스엔진발전기는 다양한 부하에서도 잘 작동됨을 보여주었다.

Abstract – This paper presents the applicability of low caloric synthetic gas from coal gasification to a gas engine system and small sized generator. 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. From the results of engine performance data, we have demonstrated that the engine modified by using the 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. And we have also demonstrated that the generator is well operated with various loads.

Key words : Synthetic gas, Coal gasification, Gas engine, Small sized generator

I. 서 론

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 대체 연료로서의 역할을 담당하게 될 것이다. 이러한 관점에서 석탄가스화 연료는 기존의 석탄을 고체에서 기체로 연료상태를 바꾸어서 연소시킴으로써 유해배기성분이 훨씬 저감되어 대기공해를 방지할 뿐만 아니라 석유보

다 훨씬 저렴하며 에너지원의 다변화 정책 및 대체연료로서의 개발면에서도 유리하다. 석탄가스화 처리과정은 미분탄을 산소 및 질소와 함께 가스화조에 공급하여 가스화과정을 거쳐, 석탄 내의 탄소 및 수소 성분을 가연성 가스인 일산화탄소와 수소 가스로 전환시킨다. 그리고 석탄 내의 회분은 용융시켜 슬래크로 처리한다. 여기서 발생된 가스의 조성은 일산화탄소, 이산화탄소, 수소, 질소 등으로 되어 있으며, 이들 중 가연가스는 일산화탄소(CO), 수소(H₂) 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

†주저자:tkkim@kmu.ac.kr

필수적이라 할 수 있다[1-5].

본 연구는 선행연구[6]를 바탕으로 석탄가스화에서 생성되는 가연가스를 엔진의 연료로 사용할 수 있도록 가스엔진시스템을 구성 및 제작(엔진의 연료공급장치(gas mixer, vaporizer, pre-heater, regulator & valve, fuel tank)와 전기장치, 이외 각종 장치)하여 석탄가스화 연료를 적용한 소형발전기 개발의 가능성을 제시함에 그 목적이 있다.

II. 실험장치 및 방법

2.1. 가스엔진시스템 설계 및 제작

본 연구에서는 A사의 LPG엔진(CD800L)을 기초로 하여 가스엔진시스템을 설계 · 구성하고 있다. Table 1은 본 연구에 사용된 LPG엔진의 주요 제원이다. 대상엔진은 수냉식 3기통이며, 전기 점화 방식으로 배기량 796 cc, 압축비 9.5이다. 대상엔진을 엔진 구동시의 충격 및 진동을 방지하기 위해 엔진고정나사에 방진땀퍼를 부착시킨 엔진설치대(가로 0.9 m, 세로 1.8 m, 높이 0.8 m)에 설치하였다. 엔진설치대에는 엔진의 시동을 위한 키스위치 및 각종 스위치 등과 인디게이터, 배터리 등을 설치하였다. 또한 엔진 냉각을 위한 냉각수 순환은 엔진자체에 붙어있는 물펌프를 사용하나 용량이 부족하므로 냉각 효율을 높이기 위해 50 l 용량의 물탱크를 별도로 설치하였다. 물탱크는 엔진의 냉각수 공급 및 드레인 역할을 한다. 엔진의 시동은 엔진설치대 상단에 부착된 키스위치를 통해 작동된다. 키스위치는 ON 상태와 START 상태로 단순화시켰으며 ON 상태에서는 점화장치만으로 전원이 공급되며 START 상태에서는 점화장치와 시동장치로 전원이 공급된다. 모든 전기장치의 전원은 자동차용 12 volts 전원을 이용하였다.

연료공급시스템은 기존의 LPG 연료시스템에 추가적으로 석탄가스화 연료시스템을 추가함으로써 이중연료(bi-fuel) 엔진 시스템의 개념으로 설계되었으며 각각의

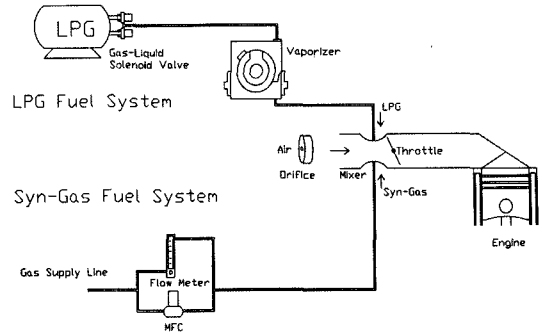


Fig. 1. Schematic of bi-fuel supply system.

연료공급시스템을 Fig. 1에 나타내었다. LPG 연료시스템은 LPG탱크에서 기상/액상솔레노이드 밸브를 거쳐 기화기를 통해 가스믹서의 연료흡기구로 들어간다. 석탄가스화 연료는 석탄가스화공정에 의해 발생된 CO 30%, H₂ 20%, CO₂ 5%, N₂ 45%의 구성으로 이루어지며 발열량이 약 5.852 MJ/Nm³이며 완전연소를 위한 공연비는 1.5:1이다. LPG연료는 발열량이 약 112.86 MJ/Nm³이며 완전연소를 위한 공연비는 15.6:1이다. 석탄가스화 연료시스템은 가스화공정에서 만들어진 가스가 연료유량계(Dwyer)에서 연료량이 조절된 후 가스 믹서의 연료흡기구로 공급된다. 이중연료(bi-fuel) 시스템의 개념으로 개조하기 위해서는 필요에 따라 연료전환이 가능하도록 설계하였으며, 엔진설치대 앞부분에 전환스위치와 솔레노이드밸브, T-피팅을 설치하였다. LPG연료시스템의 경우에는 믹서에서 연료유량을 MAS(main adjust screw)와 공기유량 결정을 위한 AAS(air adjust screw)를 적절히 조정하여 적합한 엔진 운전상태를 유지한다. 석탄가스화 연료의 경우는 이론적으로 구

Table 1. Specification of engine.

Model	CD800L
Valve type	OHC
Cylinder	3 cylinders
Piston displacement	796 cc
Bore×Stroke (mm)	70×69
Idle rpm	950 rpm
Compression ratio	9.5
Maximum power	38 ps/5600 rpm

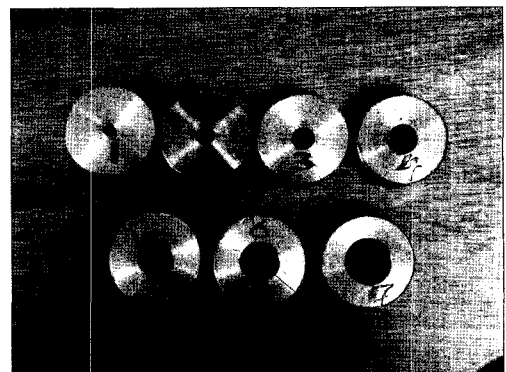


Fig. 2. Orifice for controlling air flowrate (Inner Diameter #1=7, #2=10, #3=12, #4=15, #5=17, #6=20, #7=22 mm).

해진 필요 연료량, 공기량을 토대로 먼저 연료유량계를 조절하여 엔진회전속도를 유지하였다. 공기량 조절은 Fig. 2에서 보는 바와 같은 내경이 각기 다른 공기량조절 오리피스를 제작하여 공기흡입구 앞부분에 설치하여 공기량을 조절하였다. 오리피스는 내경 7 mm에서 22 mm까지 제작하여 사용하였으며 각각의 오리피스를 사용하여 연료유량을 조절함으로써 엔진회전속도 변화에 따른 연료공기 혼합비를 적절히 맞추었다.

2.2. 성능측정을 위한 계측시스템

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

2.3. 석탄가스화 연료 발전기

발전기의 동체는 1800 rpm의 엔진회전속도가 요구되어지고 최대 20 kW의 출력을 내는 동체를 선정하였다. 발전기 동체에는 주파수와 전압을 나타내주는 계기와 전원스위치 및 전원출력단자가 있다. 발전기 동체는 커플링을 활용하여 엔진 플라이 휠 부분과 연결하였다. 본 연구에 사용된 발전기 동체는 정격엔진회전속도가 1800 rpm이며 60 Hz의 주파수를 가지고 최대 20 kW의 정격출력을 가진다. 발전기 동체는 정격엔진회전속도의 ±5% 내외의 범위에서 전력발생이 가능하고 따라서 엔진회전속도를 약 1710 rpm~1890 rpm 근처에서 유지시켜야 한다. 발전기는 발전기 동체를 구동시켜주는 엔진의 회전속도가 일정하지 않으면 안정된 전력을 공급할 수 없다. 부하량의 변동에 따라 엔진회전속도를 정속으로 유지하기 위해 흡기매니폴드에 부착된 스톱 밸브의 개폐를 통해 엔진회전속도를 조절하

였다. 정속유지장치는 엔코더, 펄스메타, 컨트롤러, 서보모터, 서보모터 드라이버로 구성된다. 엔코더의 회전속도 펄스가 펄스메타에 입력되고 컨트롤러를 거쳐 서보모터를 작동시킨다. 서보모터와 흡기매니폴드의 스톱 밸브는 액셀케이בל로 연결되어 있다. 엔진회전속도를 판단하여 정격회전속도보다 낮을 경우에는 스톱 밸브를 열어주어 혼합기의 공급을 가해주며, 엔진회전속도보다 높을 경우에는 밸브를 닫아주어 공급을 감해준다. 엔진은 기관자체의 반응지연시간이 있으므로 반응속도와 가속속도를 조절하며 밸브를 열고 닫는다.

석탄가스화 연료 발전기를 제작하여 발전기의 성능을 측정하기 위해 부하량을 확인할 수 있도록 100 W의 출력을 내는 전구를 장착하여 부하를 확인하였다. 석탄가스화 엔진이 구동되면 연결된 발전기동체를 통하여 동력이 전달되고 1800 rpm 내외로 고정되었을 때 발전기동체의 출력스위치를 켜면 발전기동체에 부착된 패널의 출력단자를 통해서 교류전류가 발생하게 된다. 이때 발생된 전압과 전류는 전압 측정기와 전류 측정기를 통하여 측정함으로써 발전기의 최대 생산전력을 계산하였다.

III. 결과 및 토의

LPG엔진의 연료장치, 전기장치, 각종 장치 등을 적절히 개조 및 제작하여 석탄가스화 연료를 연료로 공급하여 구동될 수 있는 이중연료시스템을 완성하였다. 석탄가스화 연료를 공급할 때도 LPG 연료와 마찬가지로 4000 rpm 이상의 고회전의 출력이 발생함을 확인하였다. 두 연료에 대한 엔진운전상태를 비교하면 LPG 연료일때가 좀 더 안정적으로 구동되고 있다. 이는 본 엔진의 시스템이 LPG 연료의 연소특성을 기본으로 제작되었기 때문이며 석탄가스화 연료에 적합한 점화시기, 점화에너지, 연료공급압력, 공연비, 연소속도, 피스톤 형상 등의 수정을 통하여 엔진운전상태가 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 영역에서 고회전 영역으로 갈수록 계산에 의한 연료량과 실제 공급량의 차이가 커짐을 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 증

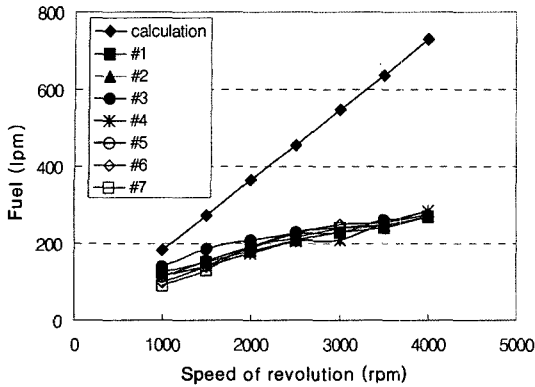


Fig. 3. Flowrate of fuel.

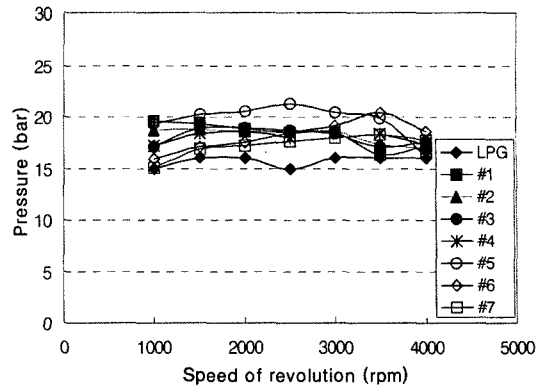


Fig. 6. Maximum combustion pressure.

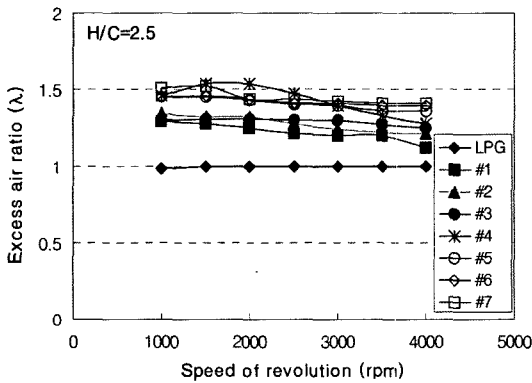


Fig. 4. Excess air ratio.

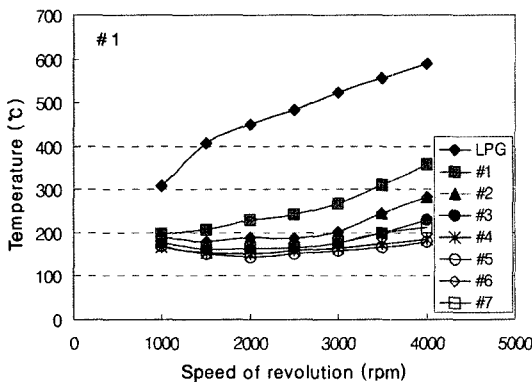


Fig. 5. Exhaust temperature.

가에 따라 공기과잉률이 줄어들고 있다. 이는 Fig. 3의 회전속도 증가에 따라 연료유량의 증가로 인해 공기과잉률이 줄어드는 것으로 생각되며, 석탄가스화 연료의 경우, 유량계와 공기량 조절 오리피스에 의한 시행착오

법으로 공기과잉률이 이루어지므로 차이가 발생한다. Fig. 5는 회전속도에 따른 배기온도를 나타낸 것이다. LPG의 경우가 석탄가스화 연료보다 배기온도가 더 높다. 이것은 석탄가스화 연료가 가지는 발열량이 상대적으로 낮기 때문으로 생각된다.

Fig. 6은 회전속도에 따른 최대연소압력을 나타낸 것이다. LPG 연료와 석탄가스화 연료의 경우 회전속도에 따라 거의 최대연소압력이 일정하게 나타나고 있다.

Fig. 7은 회전속도에 따른 배기가스 CO, CO₂, O₂, HC 농도를 나타낸 것이다. LPG 연료의 경우 공회전시 원활한 구동을 위해 연료량을 좀 더 공급하며 이로 인해 CO 농도가 다른 회전수보다 약간 높게 나타나고 있다. 석탄가스화 연료의 경우에는 평균 5% 정도의 CO가 배출되고 있으며, 이는 공급되는 연료성분이 차지하는 CO의 농도가 약 30%나 되므로 이들이 불완전 연소되어 배출되는 것으로 생각된다. CO₂의 농도를 보면, LPG 연료의 공기과잉률이 1이므로 거의 일정하게 배출되고 있다. 석탄가스화 연료의 경우에는 회전속도 증가에 따라 공기과잉률이 1로 가까이 감에 따라 CO₂의 농도가 증가하고 있다. O₂의 농도는 LPG 연료의 경우 거의 일정하게 나타나고 있으며, 석탄가스화 연료의 경우 회전속도 증가에 따라 공기과잉률의 감소로 점차 감소되어지고 있다. HC 농도는 LPG의 경우 저회전영역에서 높게 검출되지만 석탄가스화 연료의 경우 연료 성분중 탄화수소의 성분이 거의 없으므로 나타나지 않고 있다.

석탄가스화 엔진의 엔진회전속도를 1800 rpm으로 유지하면서 전구를 켜서 생산 전력량을 확인하였다. 최대 생산전력은 엔진회전속도 1800 rpm에서 주파수 60 Hz, 전압 220 V, 최대전류는 11.6 A가 측정되었고, 100watt 용량의 전구 26개에 전기가 들어왔다. Fig. 8~10은 3가

저발열량 석탄가스화연료의 가스엔진 및 소형발전기 적용연구

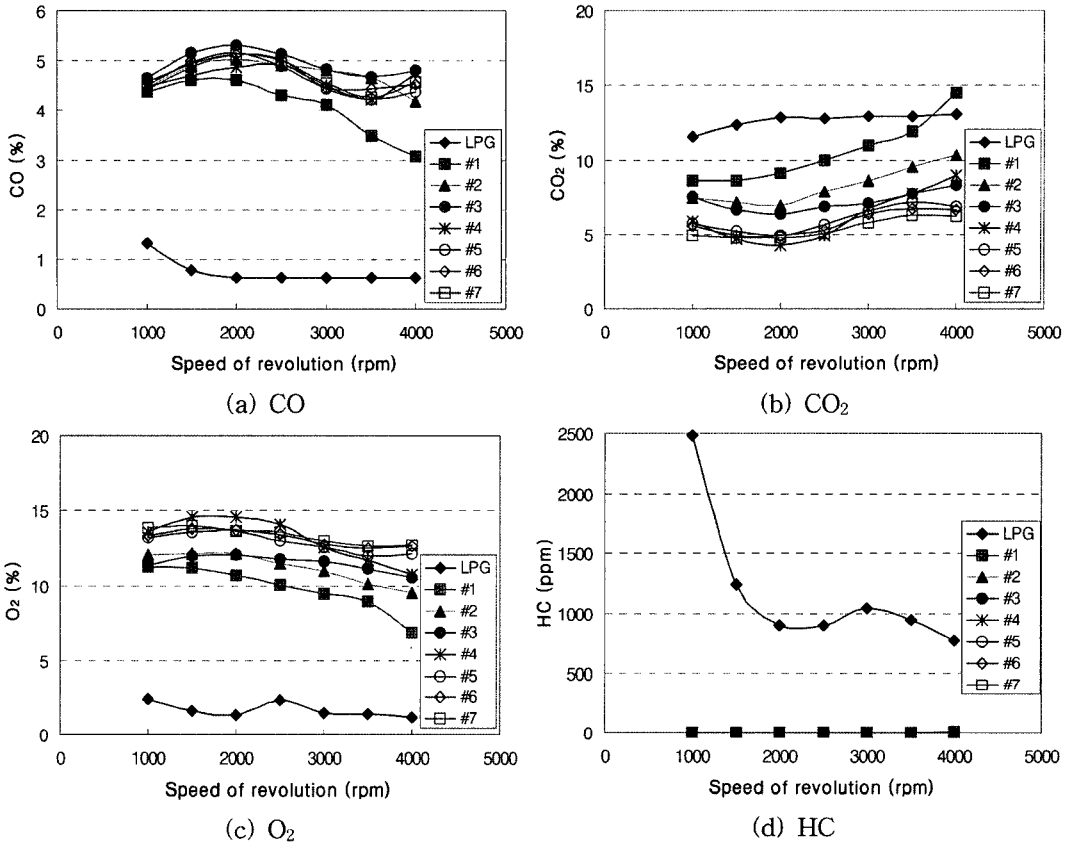


Fig. 7. Concentration of exhaust.

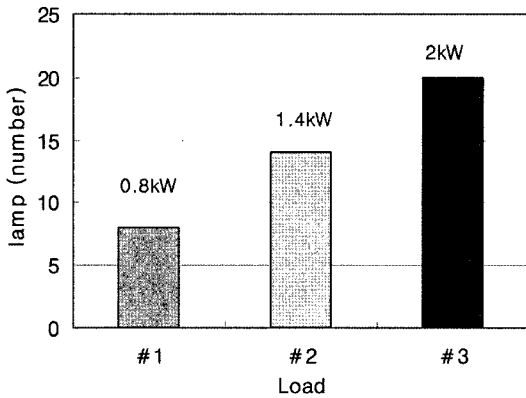


Fig. 8. Electric power.

지 부하량에 따른 생산전력, 연료량, 배기가스농도를 계측하였다. 부하량은 전구수에 따라 나타내었으며, 부하량에 따른 엔진회전속도는 정속유지장치가 엔진회전속도를 1800 rpm으로 유지시키기 위해 스톱틀 밸브를 조절하였다.

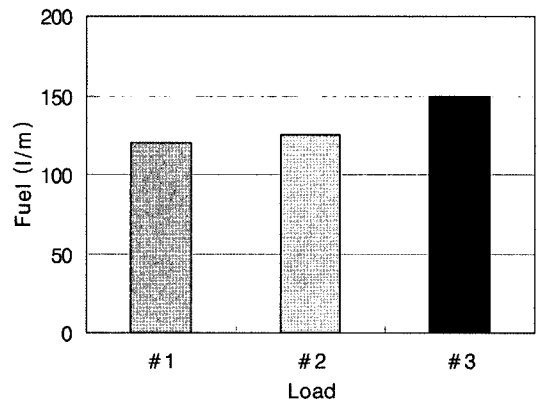


Fig. 9. Flowrate of fuel.

Fig. 8은 부하량에 따른 전구수와 생산 전력 및 엔진회전속도를 나타낸 것이다. 3가지 부하량에 따른 각각의 생산전력은 0.8, 1.4, 2kW이다.

Fig. 9는 부하량에 따른 공급되는 연료량을 나타낸 것이다. 연료량은 유량계를 통해 읽혀진 값이다. 공급

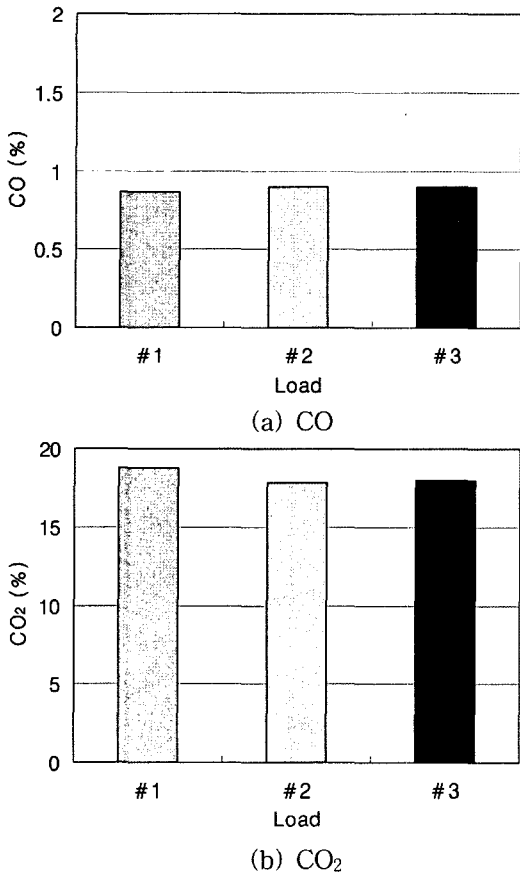


Fig. 10. Concentration of CO and CO₂.

되는 유량은 부하량이 증가함에 따라 증가하고 있다.

Fig. 10은 부하량에 따른 CO, CO₂ 발생농도를 나타낸 것이다. 배기가스 측정을 위해 가스분석기를 배기라인에 설치하였다. CO의 발생량이 1% 정도로 높은 것은 연료에 포함된 CO의 농도가 높기 때문에 이들이 불완전연소되어 배출되는 것으로 생각된다. CO, CO₂ 발생농도는 3가지 부하량에서 비슷하게 나타나고 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 발열량 5.852 MJ/Nm³의 석탄가스화 연료를 사용한 가스엔진시스템을 구성 및 제작하고, 석

탄가스화 연료를 적용한 소형발전기 개발의 가능성을 제시하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) LPG 엔진의 연료장치, 전기장치, 각종 장치 등을 적절히 개조 및 제작하여 석탄가스화 연료를 공급하여 구동될 수 있는 이중연료 가스엔진시스템을 완성하였다.

2) 석탄가스화 연료를 공급하여 LPG 연료와 마찬가지로 4000 rpm 이상의 고회전 출력이 발생함을 확인하였다. 두 연료에 대한 엔진운전상태를 비교하면, LPG 연료일 때가 좀 더 안정적으로 구동되고 있다. 이는 본 엔진의 시스템이 LPG 연료의 연소특성을 기본으로 제작되었기 때문에 석탄가스화 연료에 적합한 점화시기, 점화에너지, 연료공급압력, 공연비, 연소속도, 피스톤 형상 등의 수정을 통하여 보다 안정된 엔진운전상태를 제시할 수 있다고 생각한다.

3) 수정된 가스엔진에 발전기 동체를 선정 및 장착하여 발전시스템을 형성함으로써 석탄가스화 연료로 구동되는 발전시스템을 개발하였으며 최대생산전력은 약 2.6 kW로써 소형발전기로서의 활용가능성을 제시하게 되었다.

참고문헌

- [1] 김태권, 합성고분자류 폐기물의 발생가스를 이용한 가스엔진 시스템 개발, 한국기계연구원 보고서, pp. 1-37, (1997)
- [2] 박태인, 김태권, 이장희, 홍순철, 가스엔진 연소시스템개발 및 성능실험연구, 한국기계연구원 연구보고서, pp. 1-20, (1994)
- [3] 정동수, 김석준, 방효선, 김명남, 김옥중, 심성훈, 냉난방을 위한 가스엔진 구동 열펌프 기술개발, 한국기계연구소 연구보고서, pp. 1-146, (1991)
- [4] 고창조, CNG·디젤 듀얼퓨얼 엔진의 개발연구, 한국에너지기술연구소 연구보고서, pp. 1-30, (1991)
- [5] 김현규, 우석근, 전충환, 장영준, 2000, "발전용 가스엔진의 개발 및 연소특성에 관한 연구", 한국박용기학회지, **24**, 800-810, (2000)
- [6] 김태권, 장준영, "석탄가스화 연료의 정적 예혼합 연소특성", 한국환경과학회지, **15**(6), 311-317, (2006)