

## 저발열량 석탄가스화 연료에 의한 소형발전시스템 개발

장준열\*, 김태권\*, 유영돈\*\*, 윤용승\*\*, 정석우\*\*  
계명대학교\*, 고등기술연구원\*\*

### Development of a Small Sized Generator by Low Caloric Synthetic Gas from Coal Gasification

J. Y. Jang\*, T. K. Kim\*\*, Y. D. Yoo\*\*\*, Y. S. Yun\*\*\*, S. W. Jung\*\*\*  
Keimyung University\*, Institute for Advanced Engineering\*\*

#### Abstract

This paper presents the applicability of low caloric synthetic gas from coal gasification to small sized generator. Measurements on the combustion characteristics of synthetic gas from coal gasification as compared with LPG in constant volume combustion chamber have been conducted. A commercial LPG engine and generator are modified to use the low caloric synthetic gas from coal gasification as the engine fuel. We have demonstrated that the generator is well operated with various loads.

#### 1. 서론

석탄가스화 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 전환하며, 석탄 내의 회분을 용융시켜 슬래크로 처리된다. 여기서 발생된 가스의 조성은 일산화탄소, 이산화탄소, 수소, 질소 등으로 되다. 이와 같은 가스화기술을 활용하여 가스엔진 시스템을 구동하고 이의 동력을 이용하여 소형발전시스템을 개발하는 것은 대체에너지 개발, 에너지 수입 대체 효과 및 고청정 환경친화, 고효율면에서 필수적이라 할 수 있다.<sup>1~4)</sup>

본 연구는 석탄가스화에서 생성되는 가연가스를 엔진의 연료로 사용할 수 있도록 가스엔진시스템을 구성 및 제작하고, 석탄가스화 연료를 적용한 소형발전기 개발의 가능성을 제시함에 그 목적이 있다. 먼저 석탄가스화 연료의 연소특성을 규명하기 위해 연소실과 실험변수를 단순화시킨 정적연소실에서 혼합기의 당량비 및 초기압력에 따라 연소압력, 유해배출물을 측정하여 비교 검토한다. 그리고 이를 토대로 선정된 엔진의 연료공급, 전기장치 등을 적절히 개조 및 제작하고 가스엔진에 적합한 발전기 동체를 선정하여 이를 가스엔진에 부착하여 발전기로 개조함으로써 전력생산을 확인하고자 한다.

#### 2. 실험장치 및 방법

##### 2.1 정적연소실

석탄가스화장치에서 발생된 가스를 이용하여 가스엔진을 구동하기 전에 먼저 LPG와 석탄가스화 연료를 정적연소실(constant volume combustion chamber)에서 연소시켜서 연소압력 및 연소생성물의 특성을 비교, 조사한다.

Fig. 1은 본 실험에 사용된 정적연소실장치의 구성도를 나타낸 것이다. 실험장치는 정적연

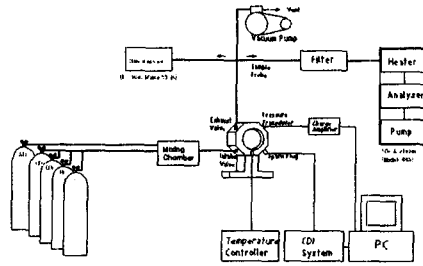


Fig. 1 정적연소실 구성도

소실, 연료-공기 예혼합탱크, 점화장치, 압력측정장치, 배기가스 계측장치 등으로 구성된다. 정적연소실은 내경 55mm, 폭 45mm, 체적 107cm<sup>3</sup>이다. 정적연소실 외형은 각종 주변장치의 부착이 용이하도록 원통형 8각형모양이며 재질은 내식성과 강도 및 가공성을 고려하여 두랄루민으로 사용하였다. 연소실의 전후면에는 가시화 및 연소 라디칼의 계측을 위해 직경 99mm, 두께 20mm의 FS(fused silica)창을 설치하였고, FS창과 연소실 사이에 기밀유지를 위해 석면을 삽입하였다. 정적연소실의 외측에는 점화플러그, 압력변환기, 흡배기 포트, 카트리리지 히터, 열전대를 설치하였다. 점화플러그는 연소실 내에서 점화가 이루어지도록 하였으며 사용한 점화플러그는 시판되는 자동차용 점화플러그를 사용하였다. 압력 측정을 위하여 압전형 압력변환기(Kistler, 6061B)를 설치하였으며 압력변환기의 출력은 증폭기(Kistler, 5011)로 증폭되어 A/D 변환기를 통하여 데이터 처리장치에 기록된다. 본 실험에서는 압력 데이터를 1ms당 1개씩 측정하였다. 흡기포트는 연소실벽에 접선방향으로 설치하여 유입시 혼합기의 스윙유동을 유도하였다. 연소기내의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 100W 용량의 카트리리지 히터 3개를 연소기 외측에 설치하였고 연소실의 온도는 연소기 내벽면으로부터 5mm 떨어진 위치에 K-type 열전대( $\phi=1.6\text{mm}$ )를 삽입하여 자동온도조절장치를 이용하여 일정하게 유지시켰다. 점화장치는 연소실 내의 압축된 혼합가스를 전기불꽃으로 점화, 연소시키는 장치로서 축전기에 충전되는 충전전압을 변화시켜 점화에너지의 크기변화가 가능하도록 CDI(capacitance discharge ignition)형태로 하였다. 4 $\mu\text{F}$ 용량의 축전기에 전압이 230V로 충전된 후 게이트펄스(gate pulse)가 가해지면 점화코일의 1차코일을 통해 방전이 이루어지도록 제작하였다. 정적연소실에서 발생하는 연소배기가스를 측정하기 위하여 배기포트에 샘플링 프로브(sampling probe)를 설치하였고 이 샘플링 프로브는 NO<sub>x</sub>분석기(Rotork Analysis, model443)와 Gas-Analyser(Horiba, MAXA 554jk)에 연결되었다.

## 2.2 석탄가스화엔진 및 발전기

가스연료의 적용이 비교적 용이하고 소형발전기의 구동에 적합한 A사의 LPG엔진(CD800L)을 개조하여 석탄가스화엔진을 구성 및 제작하였다. 대상 엔진은 수냉식 3기통이며, 전기점화방식으로 배기량 796cc, 압축비 9.5이다. 가스엔진 냉각을 위한 냉각수 순환은 엔진자체에 붙어있는 물펌프를 사용해서 냉각하지만 냉각 효율을 높이기 위해 50ℓ용량의 물탱크를 별도로 설치하였다.

석탄가스화 연료는 완전연소에 필요한 이론공기량이 약 1.18으로 개조 대상엔진의 연료에 비해 공기비가 매우 적으며 발열량 또한 매우 낮아서 많은 양의 연료의 공급이 필요하다. 따라서 본 연구의 가스조성에 적합한 시스템으로 설계 및 개조하기 위해서는 연소상태와 엔진출력에 직접적으로 연관되어지는 공기연료비의 조절이 가장 중요한 부분이다. 연료공급은

연료유량계(Dwyer)를 설치하여 연료유량을 조절하였으며 공기량의 조절은 공기유량조절 오리피스를 설치하였다. 이론적으로 구해진 필요 연료량, 공기량을 토대로 먼저 연료유량계를 조절하여 엔진 회전속도를 유지하였다.

발전기의 동체는 1800rpm의 엔진회전속도가 요구되어지고 최대 20kW의 출력을 내는 동체를 선정하였다. 발전기 동체에는 주파수와 전압을 나타내주는 계기와 전원스위치 및 전원 출력단자가 있다. 발전기 동체는 커플링을 활용하여 엔진 플라이 휠 부분과 연결하였다. 본 연구에 사용된 발전기 동체는 정격 엔진회전속도가 1800rpm이며 60Hz의 주파수를 가지고 최대 20kW의 정격출력을 가진다. 발전기 동체는 정격엔진회전속도의  $\pm 5\%$ 내외의 범위에서 전력발생이 가능하고 따라서 엔진회전속도를 약 1710rpm~1890rpm 근처에서 유지시켜야 한다. 발전기는 발전기 동체를 구동시켜주는 엔진의 회전속도가 일정하지 않으면 안정된 전력을 공급할 수 없다. 부하량의 변동에 따라 엔진회전속도를 정속으로 유지하기 위해 흡기 매니폴드에 부착된 스로틀 밸브의 개폐를 통해 엔진회전속도를 조절하였다. 정속유지장치는 엔코드, 펄스메타, 콘트롤러, 서보모터, 서보모터 드라이버로 구성된다. 엔진회전속도를 판단하기 위해 엔진의 캠축에 분해능 360펄스인 엔코드(오므론)를 엔코드 브라켓에 장착하였다. 엔코드의 회전속도 펄스가 펄스메타에 입력되고 콘트롤러를 거쳐 서보모터를 작동시킨다. 서보모터와 흡기매니폴드의 스로틀밸브는 악셀케이블로 연결되어 있다. 엔진회전속도를 판단하여 정격회전속도보다 낮을 경우에는 스로틀 밸브를 열어주어 혼합기의 공급을 가해주며, 엔진회전속도보다 높을 경우에는 밸브를 닫아주어 공급을 감해준다. 엔진은 기관자체의 반응지연시간이 있으므로 반응속도와 가감속속도를 조절하며 밸브를 열고 닫는다.

석탄가스화연료 발전기를 제작하여 발전기의 성능을 측정하기 위해 부하량을 확인할 수 있도록 100W의 출력을 내는 전구를 장착하여 부하를 확인하였다. 석탄가스화엔진이 구동되면 연결된 발전기동체를 통하여 동력이 전달되고 1800rpm내외로 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.

### 3. 실험결과

Fig. 2는 정적연소실에서 석탄가스화 연료와 LPG연료의 연료-공기 혼합기의 초기압력(0.2~0.8MPa)을 변수로 하여 당량비  $\phi = 0.6 \sim 1.4$ 에 대한 연소최고압력을 나타낸 것이다. Fig. 2(a)의 석탄가스화연료의 경우, 연소최고압력이 희박혼합기인  $\phi = 0.6$ 에서 가장 낮게 나타내고 있으며 당량비 증가에 따라 증가하고 있으며  $\phi = 1$ 에서 최대값을 가지며 점차 감소되어지고 있다. 한편 초기혼합기의 압력이 증가할수록 연소 최고압력이 선형적으로 증가하고 있다. Fig. 2(b)의 LPG 연료의 경우, 당량비  $\phi = 0.6$ 에서는 점화에 의한 연소가 이루어

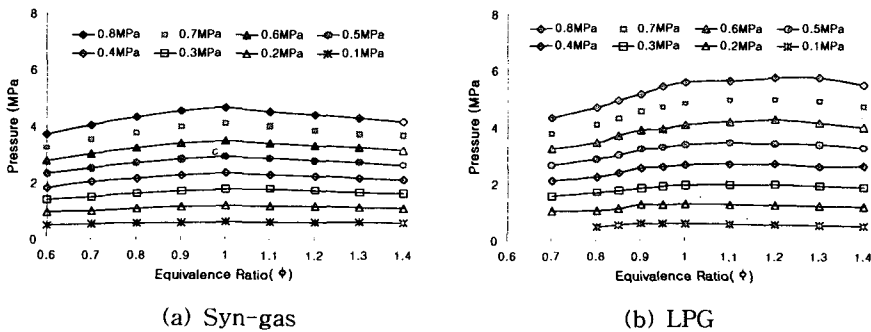


Fig. 2 당량비에 따른 연소최고압력

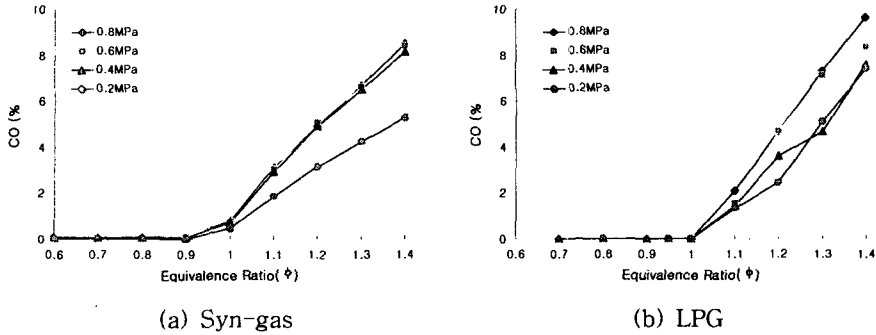


Fig. 3 당량비에 따른 CO 농도

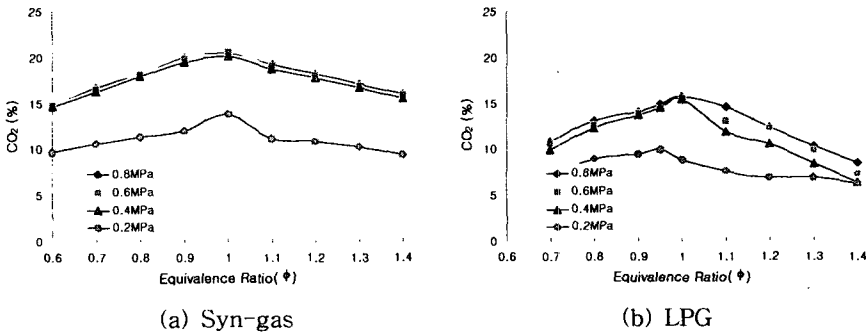


Fig. 4 당량비에 따른 CO<sub>2</sub> 농도

어 지지 않았다. 희박혼합기인  $\phi = 0.7$ 에서 당량비 증가에 따라 증가하고 있으며  $\phi = 1.1$  부근에서 최대값을 가진다. 석탄가스화 연료와 LPG 연료를 비교하면 발열량이 높은 LPG 연료가 같은 조건에서 연소최고압력이 더 높게 나타난다.

Fig. 3은 연료-공기 혼합기의 초기압력(0.2~0.8MPa)을 변수로 하여 당량비  $\phi = 0.6 \sim 1.4$ 에 대한 CO 발생농도를 나타낸 것이다. CO의 발생농도는 희박당량비 영역에서는 거의 생성이 이루어지지 않고 있으며 이론당량비인  $\phi = 1.0$ 에서부터 급격히 증가하고 있다. 이는 희박혼합기에서는 충분한 산소로 인해 CO의 발생농도가 감소하며 농후당량비로 갈수록 산소의 부족으로 증가된다. 석탄가스화 연료는 연료성분중 약 30%의 CO를 함유하고 있어 불완전연소할 경우 많은 양의 CO를 배출할 것으로 예측된다. 그러나 석탄가스화 연료와 LPG 연료를 정적연소실에서 비교한 결과를 보면 발생농도는 거의 비슷하다.

Fig. 4는 연료-공기 혼합기의 초기압력(0.2~0.8MPa)을 변수로 하여 당량비  $\phi = 0.6 \sim 1.4$ 에 대한 CO<sub>2</sub> 발생농도를 나타낸 것이다. CO<sub>2</sub>의 발생농도가 희박당량비인  $\phi = 0.6$ 에서 서서히 증가하여 이론당량비 부근인  $\phi = 1.0$ 에서 최대를 가진다. 이는 이론당량비  $\phi \approx 1.0$  부근에서 완전연소가 일어나고 있음을 보여주고 있다. 이상의 결과에서 석탄가스화연료와 LPG연료를 비교하면 연소압력면에서는 석탄가스화연료가 저발열량가스로서 연소압력이 낮지만 연소기간과 당량비 변화에 따른 배출가스의 농도변화는 매우 비슷한 유형을 보이고 있다. 따라서 석탄가스화 연료를 가스엔진의 연료로 적용할 경우, 약간의 출력의 감소가 예상되지만 엔진을 구동하여 동력을 얻을 수 있어 대체연료로서의 가능성은 충분히 높다고 판단된다.

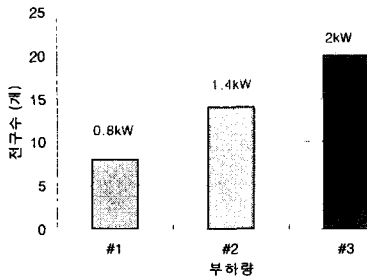


Fig. 5 부하량에 따른 전구수와 생산 전력

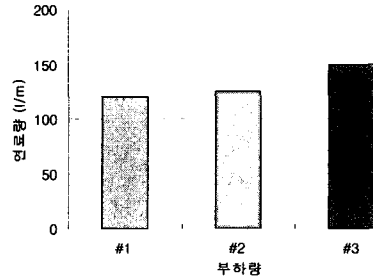


Fig. 6 부하량에 따른 연료량

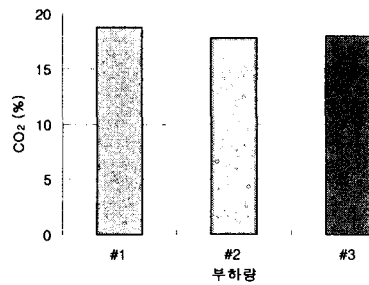
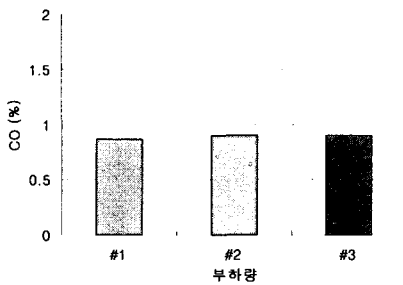


Fig. 7 부하량에 따른 CO, CO<sub>2</sub> 발생농도

석탄가스화 엔진의 엔진회전속도를 1800rpm으로 유지하면서 전구를 켜서 생산 전력량을 확인하였다. 생산전력을 확인하기 위해 3가지 부하량에 따라 연료량, 배기가스농도를 측정하였다. 부하량은 전구수에 따라 나타내었으며, 부하량에 따른 엔진회전속도는 정속유지장치가 엔진회전속도를 1800rpm으로 유지시키기 위해 스로틀 밸브를 조절하지만 기관자체의 지연으로 인해 엔진회전속도의 변동이 발생된다. 출력되는 엔진회전속도는 발전기가 요구하는 정격회전속도보다 낮게 나타났지만 전력을 생산하기 위한 변동 범위인 약  $\pm 5\%$  범위 내이다.

Fig. 5는 부하량에 따른 전구수와 생산 전력 및 엔진회전속도를 나타낸 것이다. 3가지 부하량에 따른 각각의 생산전력은 0.8, 1.4, 2 kW이다.

Fig. 6는 부하량에 따른 공급되는 연료량을 나타낸 것이다. 연료량은 유량계를 통해 읽혀진 값이다. 공급되는 유량은 부하량이 증가함에 따라 증가하고 있다.

Fig. 7은 부하량에 따른 CO, CO<sub>2</sub>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, CO<sub>2</sub>발생농도는 3가지 부하량에서 비슷하게 나타나고 있다.

최대 생산전력은 엔진회전속도 1800rpm에서 주파수 60Hz, 전압 220V, 최대전류는 11.6A가 측정되었고, 100watt 용량의 전구 26개에 전기가 들어왔다.

#### 4. 결론

석탄가스화에서 생성되는 가연가스를 엔진의 연료로 사용할 수 있도록 가스엔진시스템을 구성 및 제작하고, 석탄가스화 연료를 적용한 소형발전기 개발의 가능성을 제시하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 정적연소실 실험결과 석탄가스화연료가 저발열량가스로서 연소압력이 낮아 출력의 감소가 예상되지만 배출가스의 농도변화는 매우 비슷한 유형을 보이고 있어 대체연료로서의 가능성은 충분히 높다고 판단된다.

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

#### 후기

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

#### 참고문헌

- 1) 김태권, 합성고분자류 폐기물의 발생가스를 이용한 가스엔진 시스템 개발, 한국기계연구원 보고서 (1997)
- 2) 박태인, 김태권, 이장희, 홍순철, 가스엔진 연소시스템개발 및 성능실험연구, 한국기계연구원 연구보고서, BSG019-136 M (1994)
- 3) 정동수, 김석준, 방효선, 김명남, 김옥중, 심성훈, 냉난방을 위한 가스엔진 구동 열펌프 기술개발, 한국기계연구소 연구보고서, D-GU-006-89079112, 한국가스공사 (1991)
- 4) 고창조, CNG·디젤 듀얼퓨얼 엔진의 개발연구, 한국에너지기술연구소 연구보고서, KE - 91010G (1991)