

석탄 합성가스를 사용한 가스엔진 발전시스템 운전 특성

정 석우¹⁾, 김 문현²⁾, 이 승종³⁾, 윤 용승⁴⁾

Operation Characteristics of Gas Engine Generator System using Coal Syngas

Seokwoo Chung, Munhyun Kim, Seungjong Lee, Yongseung Yun

Key words : Coal Gasification(석탄 가스화), Coal Syngas(석탄 합성가스), Gas Engine(가스엔진), Particulate Removal(집진), Desulfurization(탈황), Auxiliary Fuel(보조연료), Electricity Generation(발전)

Abstract : Gasification has been regarded as a core technology in dealing with environmental pollutants and in obtaining higher efficiency for power generation. Among several ways in utilizing produced syngas from gasification, power generation would be the most prominent application. Syngas from coal was applied to the readily available LPG engine from automobiles. Main purpose was to identify the combustion characteristics in the modified gas engine when using syngas of low heating value and to test the modification options in the LPG gas engine. Gas engine rpm and the corresponding flue gas composition were measured for each syngas input condition. Results showed that even with syngas at the heating value of 1300~1800 kcal/Nm³ corresponding to the 6~7% of LPG heating value, gas engine operated successfully only with the problems of high CO and oxygen concentrations in the flue gas.

1. 서론

석탄의 가스화 기술은 차세대 고효율 청정 발전의 기본이 되는 기술로서 이미 미국, 유럽 및 일본 등의 선진국에서는 상용화 단계의 연구가 활발히 진행중에 있으며, 이러한 가스화 반응에 의해 생성되는 CO와 H₂가 주성분인 합성가스를 이용하여 차세대 대체에너지원으로 사용하고자 하는 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있다.

석탄 가스화기에서 가스화 반응에 의해 제조되는 합성가스는 조성에 따라 다소 차이는 있지만 발열량이 약 1300~1800 kcal/Nm³ 정도로서, 일반 CNG(발열량:10,000 kcal/Nm³ 정도)와 비교하여 매우 낮은 발열량을 갖는다. 따라서, 천연가스와 동일한 발열량을 갖도록 합성가스를 공급하기 위해서는 합성가스를 천연가스에 비해 많이 공급하여야 한다. 그리고, 기존 LPG 또는 LNG용으로 개발된 상용급 가스엔진을 저발열량 합성가스에 적용하기 위한 엔진으로 개조하기 위해서는 저발열량 합성가스의 가스엔진 내에서의 연소 특성 파악이 선행되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 pilot급 석탄 가스화 시스템으로부터 제조된 석탄 합성가스를 연료로 사용 가능한 저발열량 합성가스용 가스엔진 발전 시스템 개발을 위해 아역청탄 계열인 인도네시아 Roto Middle탄을 대상으로 양질의 합성가스를 안정적으로 제조하고, 제조된 합성가스를 이용하여 가스엔진 발전시스템을 연계 운전함으로써 저발열량 합성가스를 이용한 가스엔진의 운전특성 및 전기생산 실증 시험을 진행하였다.

- 1) 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터
E-mail : swchung@iae.re.kr
Tel : (031)219-1946 Fax : (031)219-2306
- 2) 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터
E-mail : kmunhyun@iae.re.kr
Tel : (031)219-2687 Fax : (031)219-2306
- 3) 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터
E-mail : sjlee@iae.re.kr
Tel : (031)219-2670 Fax : (031)216-9125
- 4) 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터
E-mail : ysyun@iae.re.kr
Tel : (031)219-2677 Fax : (031)216-9125

2. 실험장치 및 방법

석탄 합성가스를 제조하기 위한 pilot급 가스화기 시스템은 크게 원탄을 건조 미분탄으로 만들기 위한 전처리설비, 석탄의 가스화 반응을 통하여 CO와 H₂가 주성분인 합성가스를 제조하기 위한 석탄 합성가스 제조설비, 합성가스 중에 포함된 분진 및 부식성이 강한 COS 및 H₂S 성분을 제거하기 위한 정제설비 등으로 구성되며, 저발열량 석탄 합성가스를 연료로 사용하여 발전을 하기 위한 가스엔진 발전시스템은 정제설비 후단에 연계하였다.

2.1 석탄 합성가스 제조설비

석탄 합성가스 제조설비는 질소 가스에 의한 기류수송 방식으로 공급되는 미분탄을 산소와 함께 고온/고압으로 운전되는 석탄 가스화기에 분사하면서 가스화 반응을 통하여 합성가스를 생산하기 위한 설비로서, 구성은 74μm 크기로 분쇄/건조된 미분탄을 질소 가스를 이용하여 정량적으로 기류수송하기 위한 고압 미분탄공급장치, 고온/고압 가스화 용융 반응이 진행되는 석탄가스화기, 제조되는 고온의 합성가스를 300~400℃까지 냉각시키기 위한 합성가스 냉각장치로 구성된다. 그리고, 이렇게 제조된 석탄 합성가스는 분진 제거를 위한 고온집진장치와 H₂S 제거를 위한 습식 탈황장치를 통과하여 가스엔진에 공급되도록 구성된다. Fig. 1은 이러한 pilot급 석탄 합성가스 제조설비의 공정구성도를 나타낸 것이다.

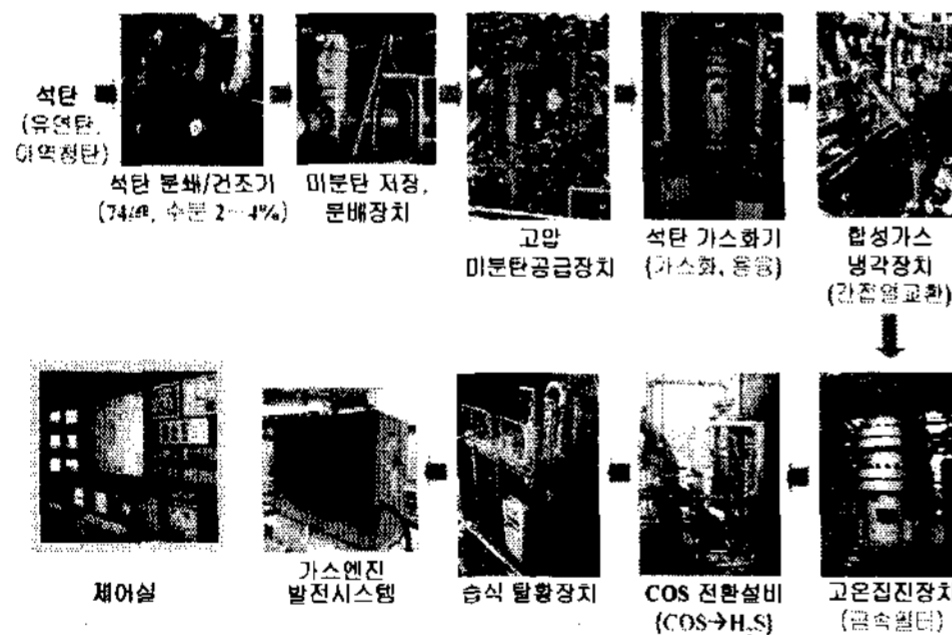


Fig. 1 Process flow diagram of pilot scale coal gasification and syngas cleaning system

그리고, 석탄 합성가스 제조를 위하여 설비들 중 핵심설비인 석탄가스화기의 운전조건은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

Table 1 Operating conditions of pilot scale coal gasifier

Coal	Roto Middle
Operating pressure	7-8 kg/cm ²
Operating temperature	1,400~1,450℃
Coal feed rate	40 kg/h
Oxygen feed rate	22~26 Nm ³ /h
Nitrogen feed rate	35~40 Nm ³ /h
Feed oxygen temperature	250~300℃

2.2 가스엔진 발전시스템

석탄 합성가스 사용을 위한 가스엔진 발전시스템은 가스화기로부터 제조된 합성가스 100 Nm³를 공급하는 조건에서 100 kW급 이하 발전을 위해 국내에서 수급이 가능한 대형 천연가스 버스엔진(11,149 cc)을 대상으로 개조하였는데, CO와 H₂가 주성분인 석탄 합성가스의 발열량이 기존 천연가스 발열량에 비해 1/5 이하이므로 많은 양의 합성가스를 원활히 공급하기 위하여 고용량 zero pressure regulator 및 venturi를 장착하였다. 그리고, 합성가스의 발열량 부족으로 인한 초기 기동 문제 해결 및 가스엔진 운전의 안정성 확보, 천연가스 사용시와의 비교자료 확보 등을 위하여 합성가스와 CNG를 동시에 공급할 수 있는 dual 방식으로 연료공급 장치를 개선하였으며, 제어시스템은 공연비를 제어하기 위한 A/F 콘트롤러와 점화시기 제어용 DLI ECU로 구성하였다. Fig. 2는 이러한 개조된 가스엔진의 연료 공급 및 제어 계통도를 나타낸 것이다.

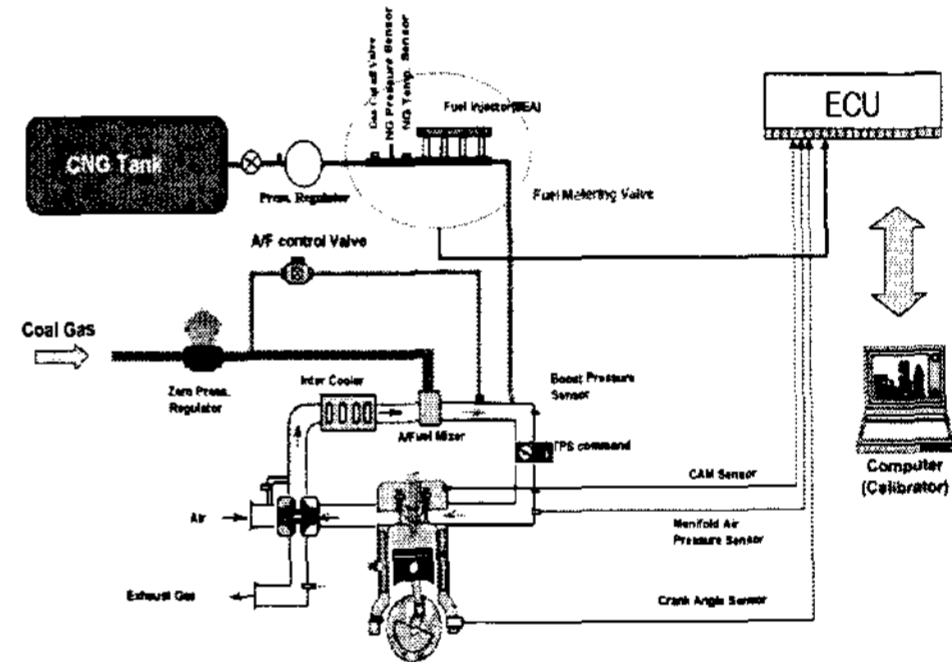


Fig. 2 Syngas supply and control diagram of modified gas engine

가스엔진의 후단에는 합성가스 연소후 배출되는 가스 처리를 위하여 삼원촉매장치를 설치하여 대기로 배출되는 오염물질의 규제 기준치를 맞출 수 있도록 하였으며, 가스엔진으로 유입되는 석탄 합성가스는 0.5 kg/cm²의 압력으로 자연흡입 방식에 의해 공급되고 가스엔진으로 공급되지 않는 여분의 합성가스는 플레어스택으로 배출될 수 있도록 구성하였다. Fig. 3는 상용급 버스엔진을 개조하여 제작한 석탄 합성가스용 가스엔진 발전시스템의 외형 및 내부 모습을 나타낸 것이고, Table 2는 석탄 합성가스용 가스엔진의 설계 조건을 나타낸 것이다.

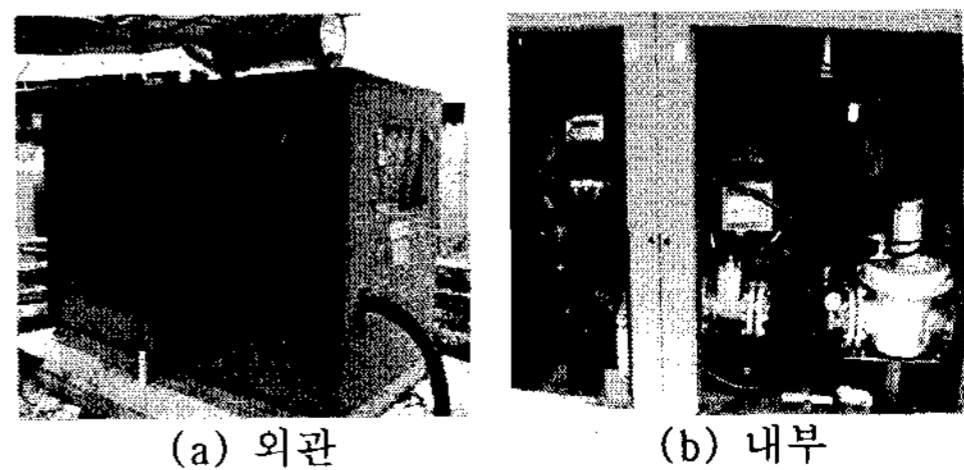


Fig. 3 Modified gas engine generator system for coal syngas

Table 2 Specification of gas engine generator system for coal syngas

항 목		설계 조건
가스엔진 용량		11,149 cc
발전기 용량		100 kW
공급 연료		Dual Fuel (합성가스+CNG)
공급압력	Coal Syngas	0.5 kg/cm ²
	CNG	8 kg/cm ²
공급방식	Coal Syngas	자연 흡입
	CNG	Injection
엔진 회전수		1,800 rpm
배가스 처리		삼원촉매장치

그리고, 석탄 합성가스용 가스엔진 발전시스템의 전기생산 실증시험을 위하여 생산되는 전기는 할로겐 램프와 전기히터를 통하여 소모되도록 부하장치를 설치하였다.

3. 실험결과 및 토의

3.1 석탄 합성가스 제조 실험결과

아역청탄 계열인 인도네시아 Roto Middle탄을 대상으로 진행한 석탄 합성가스 제조 실험은 Table 1에 나타낸 바와같이 가스화기 운전압력 7-8 kg/cm², 운전온도 1400-1450°C, 미분탄 공급량 40 kg/h 조건에서 진행하였으며, 이러한 조건에서 Fig. 4에서 알 수 있듯이 100-120 Nm³/h의 석탄 합성가스가 제조되었다.

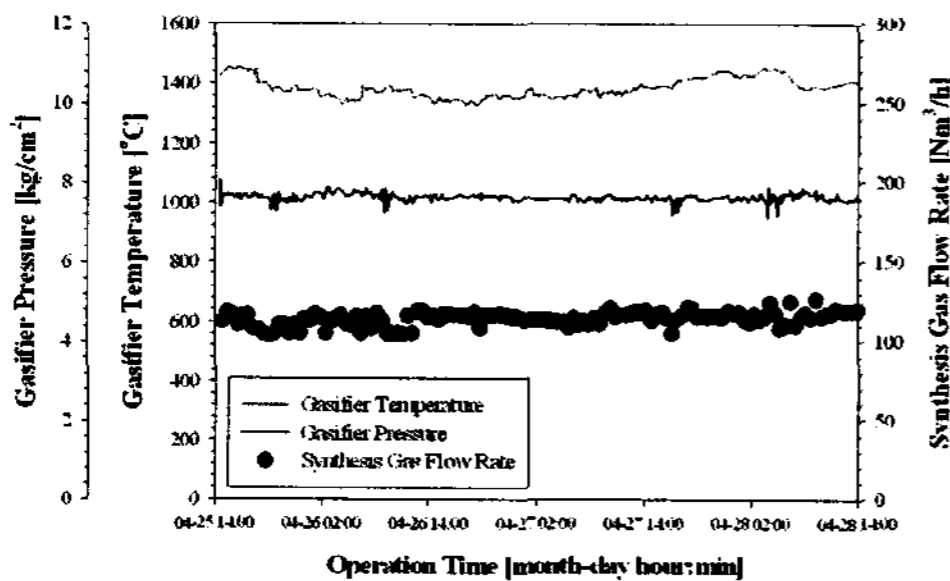


Fig. 4 Operation profile of pilot scale coal gasifier

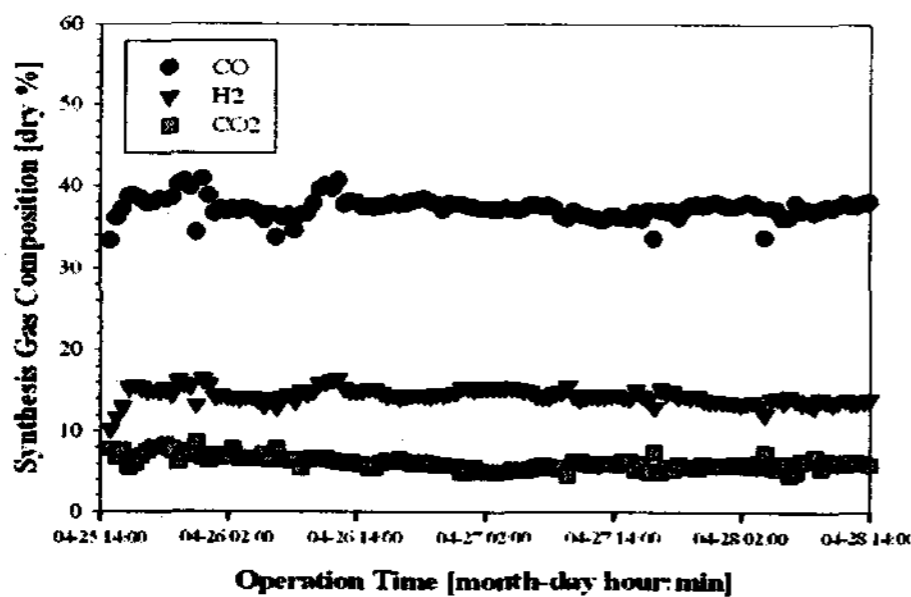


Fig. 5 Coal Syngas composition produced from pilot scale coal gasifier

Fig. 5는 본 연구의 대상이 되는 pilot급 석탄 가스화기 시스템의 정상운전중 가스화 반응에 의해 제조되는 합성가스의 조성을 나타낸 그래프로, Roto Middle탄을 이용하여 Table 1의 운전조건으로 가스화기 시스템 정상운전시 부피비로 CO 35-40%, H₂ 14-16%, CO₂ 6-9% 범위에서 안정적으로 합성가스가 제조되었음을 알 수 있다. 그리고, 이렇게 제조된 석탄 합성가스를 가스엔진 발전시스템에 공급하면서 전기생산 실증시험을 진행하였다.

3.2 가스엔진 발전시스템 실험결과

개조된 가스엔진 발전시스템을 이용한 합성가스 이용 운전특성 시험은 석탄 가스화기 시스템이 정상운전 상태에 도달한 후 정제된 석탄 합성가스를 공급하면서 가스엔진의 회전속도를 1800 rpm으로 일정하게 유지하는 상태에서 진행하였으며, 부하장치로 설치된 할로겐 램프와 전기히터에서 소모되는 전력량을 측정하는 방식으로 전기생산 실증시험을 진행하였다.

Fig. 6은 합성가스 유량을 70-75 Nm³/h 범위로 공급하고 가스엔진의 회전수를 1800 rpm으로 일정하게 유지하며 진행한 시험 결과로서, 운전 초기에는 10 Nm³/h 이하의 보조연료인 CNG를 공급하였으나 일정시간 경과 후(20시 이후)부터는 석탄 합성가스만 공급하여 발전한 결과이다. 이 시험에서 석탄 합성가스를 이용한 가스엔진 발전량은 18 kW 정도, 발전 효율은 11% 정도로 안정적인 가스엔진을 이용한 발전이 가능하였다.

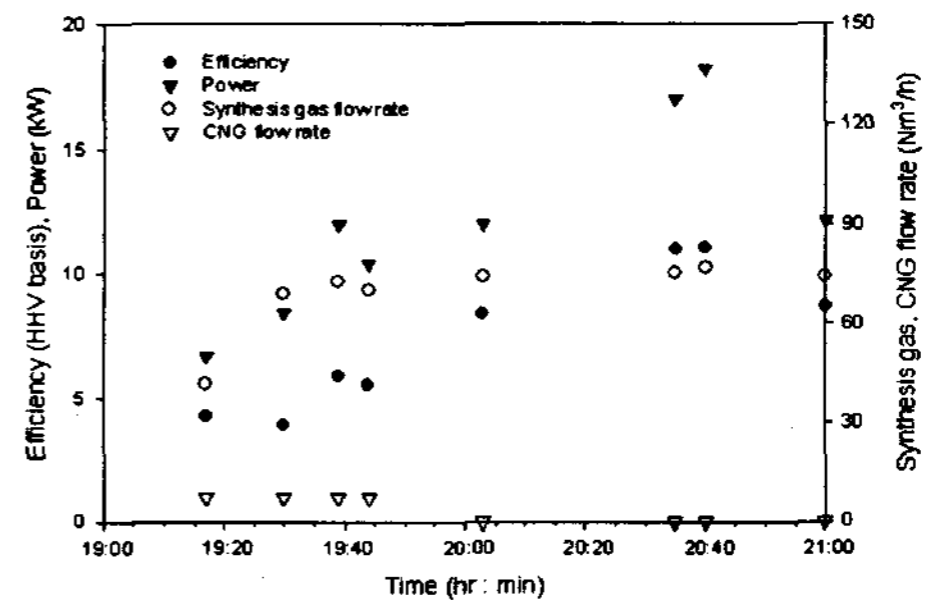


Fig. 6 Efficiency and power of gas engine generator system for coal syngas

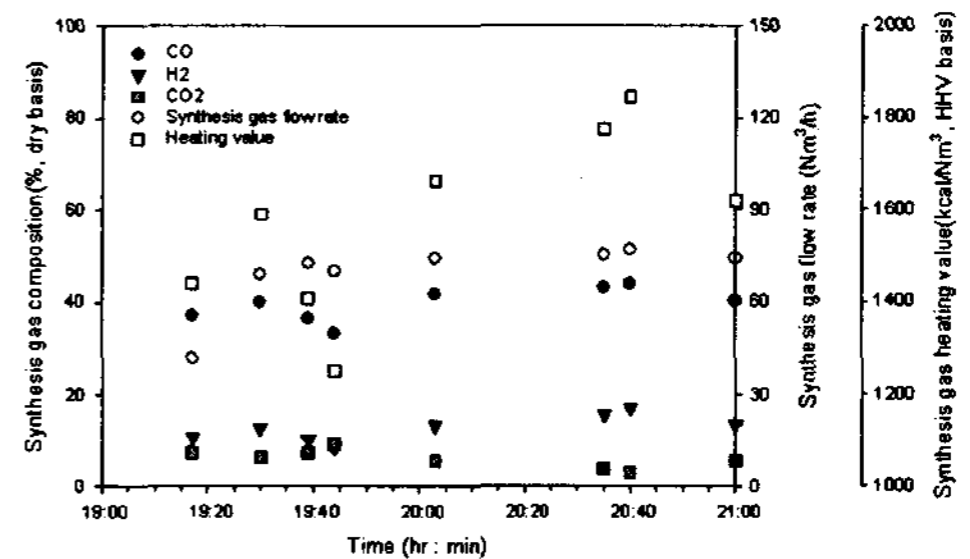


Fig. 7 Heating value of coal syngas supplied to gas engine

그리고, Fig. 7은 동일한 조건에서의 가스엔진 공급 석탄 합성가스 조성 및 발열량을 나타낸 것으로, 이 시험을 통해 공급되는 합성가스의 발열량이 1600 kcal/Nm³ 이하인 경우에는 보조연료인 CNG의 추가적인 공급이 필요하지만, 발열량이 1600 kcal/Nm³ 이상에서는 보조연료 없이도 안정적인 발전이 가능함을 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 가스엔진으로 제조된 석탄 합성가스 90 Nm³/h를 공급한 경우로서, 발전량은 40 kW 정도이며 발전 효율은 13% 정도를 얻을 수 있었는데, 이때 합성가스의 조성은 CO 35%, H₂는 12%, CO₂는 9% 정도이므로 발열량은 1400 kcal/Nm³ 내외 이었다. 따라서, 이 경우 석탄 합성가스만으로 자발적인 발전이 가능한 발열량인 1600 kcal/Nm³ 이하이기 때문에 19 Nm³/h 정도의 CNG가 보조연료로 공급되었다.

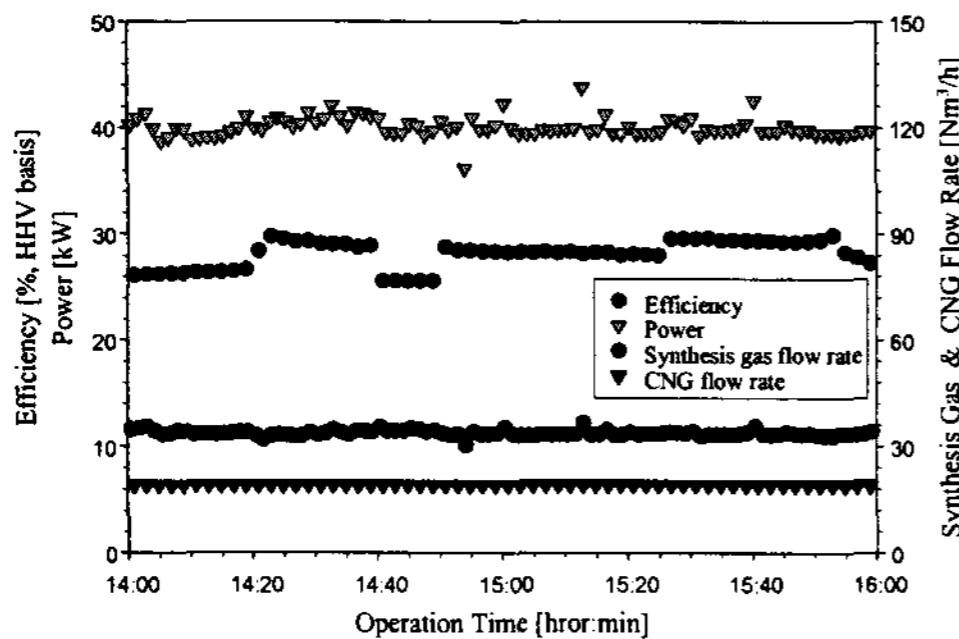


Fig. 8 Operation profile of modified gas engine generator system

그리고, Fig. 9는 이와같은 석탄 합성가스 이용 가스엔진 발전시스템의 운전특성 시험에서 발전된 전기를 할로겐 램프와 전기히터에 사용한 경우의 모습을 나타낸 것이다. 그림에서 왼쪽은 저부하 상태 전기생산의 경우로서 5~10 kW에 해당하며, 오른쪽 사진은 정상부하 상태로서 30~40 kW 전기량에 해당한다.

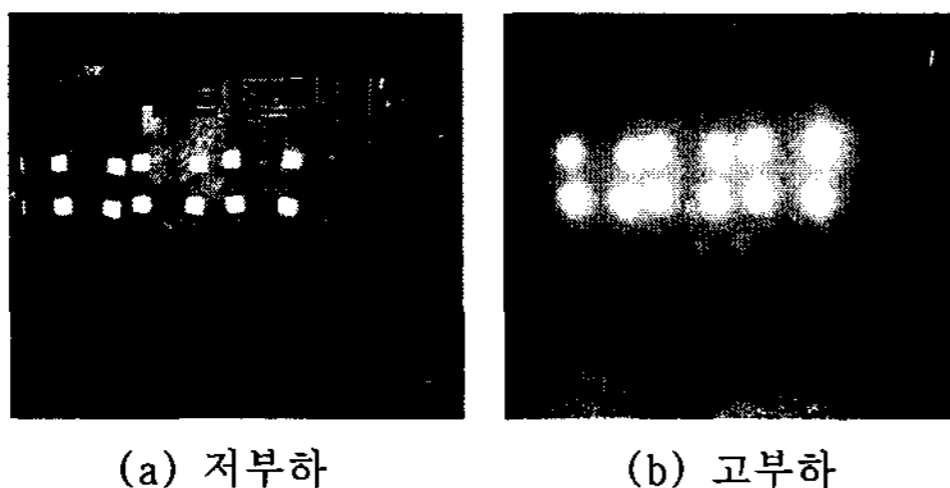


Fig. 9 Electricity production by gas engine generator system for coal syngas

또한, 합성가스 연료 사용시 배출되는 배기가스 중 CO와 NOx의 농도를 감소시키기 위하여 삼원촉매장치를 설치하였는데, 분석기를 이용한 측정결과 삼원촉매장치 전단에서는 CO 17,804 ppm, NOx 100 ppm으로 측정되었으며, 후단에서 대기중으로 배출되는 최종 농도는 CO 356 ppm, NOx 8 ppm으로 측정되었다. 따라서, 향후 보다 안정적

인 운전을 위하여 가스엔진 개선 및 연소시 배출되는 CO 농도 저감이 추가적으로 필요함을 파악할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 석탄 합성가스를 사용한 가스엔진 발전시스템의 운전특성 시험을 위하여 Roto Middle탄을 대상으로 pilot급 합성가스 제조설비를 이용한 양질의 합성가스 제조 실험을 진행하였는데, 그 결과 가스화기 운전온도 1400~1450°C, 운전압력 7~8 kg/cm² 조건에서 CO 35~40%, H₂ 14~16% 조성의 합성가스를 안정적으로 제조하였다. 그리고, 이렇게 제조된 석탄 합성가스를 정제공정을 거친후 개조된 가스엔진 발전시스템에 공급함으로써 합성가스만 70~75 Nm³/h 공급하는 조건에서 18 kW, 보조연료인 CNG를 일부 함께 공급하는 조건에서 40 kW의 전기생산 실증을 진행하였다.

또한, 본 연구를 통하여 합성가스만으로 가스엔진 구동을 통한 발전이 가능하기 위해서는 발열량이 최소 1600 kcal/Nm³ 이상이어야 함을 알 수 있었으며, 현재 구축된 가스엔진 발전시스템에서 합성가스를 연료로 사용할 경우 천연가스를 연료로 사용한 경우보다 발전 효율이 낮음을 확인할 수 있었다. 따라서, 발전 출력을 증가시키기 위해서는 가스엔진으로 유입되는 입열량을 증가시켜야 하는데, 합성가스의 발열량이 천연가스의 1/5 이하 수준으로 동일한 입열량을 공급하기 위해서는 천연가스보다 5배 이상의 공급량이 필요하므로 발전 효율 향상을 위해서는 CO, H₂가 주성분이 합성가스의 특성에 적합한 엔진 연소실 개발과 전체 시스템의 통합 제어 시스템의 구현을 통해서만 가능할 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 산업자원부 산하 에너지관리공단 신·재생에너지센터에서 지원하는 “3톤/일급 가스화시스템 구축 운전 및 국내 고유 가스화기 모델 개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

References

- [1] 정석우, 김문현, 이승중, 윤용승, “석탄 합성가스 제조 및 화학원료(DME) 전환설비의 운전특성”, 한국신·재생에너지학회 춘계학술대회, p.83~86, 2006
- [2] 산업자원부, 2006, “석탄가스화 합성가스 제조공정 및 발전시스템 기술 개발”, 완료보고서 2003-N-C002-P-0-000
- [3] Y.Yun, S.W.Chung, Y.D.Yoo, “Operation Characteristics of Gas Engine Using Syngas from Gasification”, International Conference on Coal Science and Technology, 2005