한국신·재생에너지학회 2007년도 추계학술대회논문집 pp.429~432

석탄 합성가스 제조를 위한 pilot급 가스화 시스템 운전특성

정 석우[1], 정 우현[2], 이 승종[3], 윤 용승[4]

Operation Characteristics of Pilot-Scale Gasification System for Coal Syngas Production

Seokwoo Chung, Woohyun Jung, Seungjong Lee, Yongseung Yun

Key words : Coal(석탄), Gasification(가스화), Syngas(합성가스), Pneumatic Conveying(기류수송), Refractory(내화재), Coal Feeding System(미분탄공급장치)

Abstract :

Gasification has been regarded as a very important technology to decrease environmental pollution and to obtain higher efficiency. The coal gasification process converts carbon containing coal into a syngas, composed primarily of CO and H_2. And the coal syngas can be used as a source for power generation or chemical material production. This paper illustrates the opeartion characteristics and results of pilot-scale coal syngas production facilities. The entrained-bed pilot scale coal gasifier was operated normally in the temperature range of 1,300~1,400℃, 2~3 kg/cm^2 pressure. And Indonesian KPC coal produced syngas that has a composition of 46~54% CO, 20~26% H_2, and 5~8% CO_2.

1. 서 론

가스화용융 기술은 석탄, petroleum coke, 폐기물 등의 시료로부터 유용한 대체에너지원인 합성가스를 생산하는 고청정, 고효율 기술로서, 생산되는 합성가스는 천연가스를 대체하여 발전에 사용되거나 화학원료 또는 액체연료를 생산하기 위한 원료 물질로 사용이 가능하다. 가스화기 내부에서 공급되는 시료와 산소의 가스화 반응에 의해 생산되는 합성가스는 CO와 H_2가 주 성분이며, 가스화기 내부의 고온 조건으로 인해 공급되는 시료 중 무기물 성분은 용융되면서 골재 또는 노반재 등으로 재활용이 가능한 슬랙 형태로 배출된다. 그리고, 가스화용융 기술의 장점으로는 가스화기 내부가 환원성 분위기이므로 주요 공해물질인 SO_x와 NO_x의 발생을 최소화할 수 있다는 점이다. 이는 가스화반응이 산소가 불충분한 불완전연소이므로 화학반응 자체에서 SO_x, NO_x가 발생하지 않고, 대신 시료내의 S와 N 성분이 H_2S와 NH_3 형태로 대부분 발생되므로 후단 공정에서의 처리가 용이하기 때문이다.

가스화용융의 대표적인 공정인 가스화복합발전(IGCC) 시스템은 석탄, 중잔유 등과 같은 고체 및 액체 시료를 고온/고압의 조건에서 가스화반응을 통하여 CO와 H_2가 주성분인 합성가스를 제조한 다음 가스정제 공정을 거쳐 가스터빈에서 1차발전, 증기터빈에서 2차발전을 하는 방식으로 말하며, 주요 설비로는 가스화기계통, 가스정제계통, 발전계통 및 산소분리계통 등으로 구분된다. 석탄가스화복합발전의 경우에는 매장량이 풍부하며 세계적으로 골고루 분포되어 있는 석탄을 환경친화적이면서도 42~50% 정도의 고효율로 활용이 가능하도록 하는 신뢰성 있는 차세대 발전기술로서, 미국, 일본, 유럽 등의 선진국에서는 이미 국가적인 차원에서 연구개발과 실증 플랜의

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

건설/운전이 진행중에 있으며, 국내에서도 2006년 12월부터 300 MW급 한국형 석탄 IGCC 발전소 건설 프로젝트가 시작되어 진행중에 있다.

본 연구에서는 미분탄을 정량적으로 이송하고 가스화기에 공급하기 위한 denseveying 시스템, weighing 시스템, 고압 미분탄공급장치 등에 대한 개선작업을 진행한 후 인도네시아 KPC탄을 대상으로 양질의 합성가스 제조를 위한 pilot급 가스화 시스템 운전특성 시험을 진행하였다.

2. 실험장치

2.1 Pilot급 석탄 가스화기 시스템

대상탄의 가스화 특성을 시험하기 위한 1톤/일급 석탄 가스화기 시스템은 석탄을 74㎛ 크기로 분쇄하고 건조하는 석탄 분쇄/건조장치, 분쇄된 미분탄을 기류수송 방식으로 이송하기 위한 denseveying 장치, 고압으로 석탄 가스화기에 공급하는 고압 미분탄공급장치, 미분탄과 산소의 가스화 반응에 의해 양질의 합성가스(CO, H_2)를 제조하기 위한 분류층 석탄 가스화기, 가스화기에서 생성되는 고온의 합성가스를 정제설비의 처리온도까지 냉각시키는 합성가스 냉각장치, 합성가스에 포함된 분진과 H_2S 성분을 제거하기 위한 고온집진장치 및 습식세정장치 등으로 구성되는데, Fig.1은 이러한 1톤/일급 석탄 가스화기 시스템의 공정구성도를 나타낸 것이다.

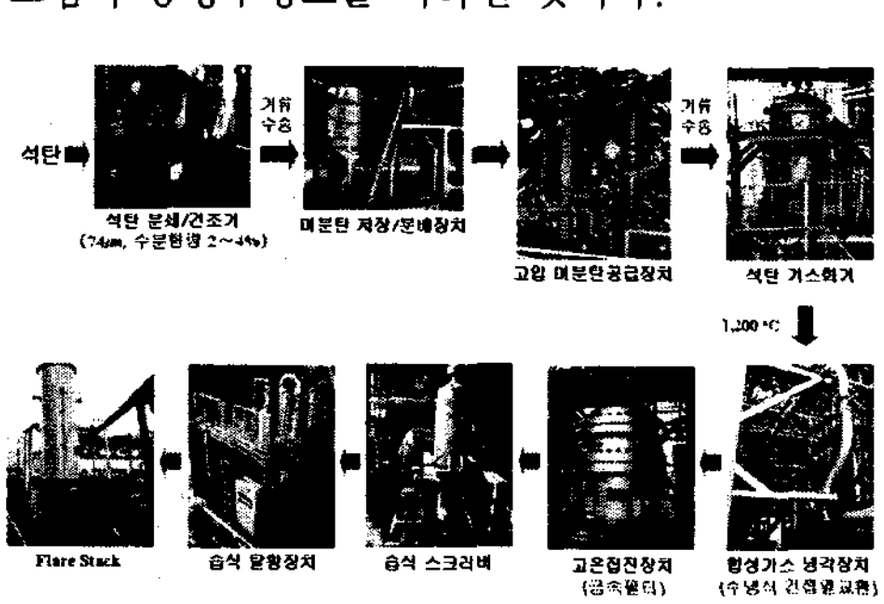

Fig. 1 Schematic diagram of 1 ton/day scale coal gasification system

2.2 미분탄 denseveying 및 weighing 시스템

미분탄 denseveying 시스템은 분쇄/건조된 미분탄을 PC bin에서 저장/분배장치까지 기류수송 방식에 의해 이송하기 위한 설비로서 로타리 밸브, 체분리기, denseveyor 등으로 구성되는데, 기존 시스템에서는 운전자 1명이 설비를 담당하며 조작을 진행하였다. 하지만, 개선된 시스템에서는 제어실에서 시스템 자동운전을 진행할 수 있도록 개선하였는데, 분쇄/건조된 미분탄이 로타리 밸브를 통하여 일정량씩 체분리기에 공급되면 체분리기에서는 미분탄에 포함된 이물질을 제거하고 하부에 설치된 denseveyor로 미분탄을 공급하게 되며 레벨게이지의 감지에 따라 자동으로 미분탄이 저장/분배장치에 기류수송되도록 구성하였다.

미분탄 weighing 시스템은 분배/저장호퍼에서 고압 미분탄공급장치로 공급되는 미분탄의 무게를 측정하기 위한 설비로서 계량호퍼 내부에 교반기를 추가로 설치하고, 압축식 로드셀을 설치함으로써 공급되는 미분탄이 정량적으로 계량되면서 원활히 배출될 수 있도록 개선하여 구성하였다. Fig.2는 이와같이 개선하여 시험에 적용한 미분탄 denseveying 시스템 및 weighing 시스템의 제어화면을 나타낸 것이다.

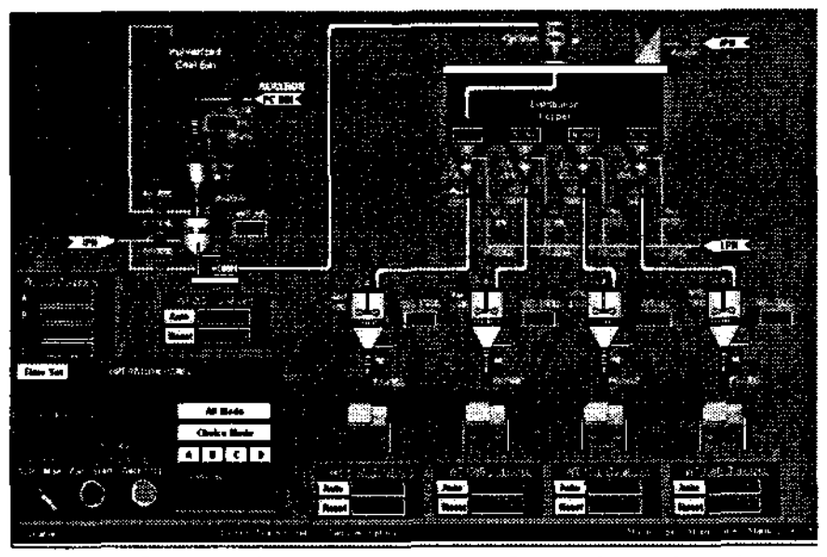

Fig. 2 Operation screen of pulverized coal denseveying and weighing system

2.3 고압 미분탄공급장치

고압 미분탄공급장치는 스크류피더에 의해 공급되는 미분탄을 질소 가스를 이용한 기류수송 방식에 의해 고온, 고압 조건으로 운전되는 석탄 가스화기에 이송하기 위한 핵심 설비로서, 가스화효율 증대를 위해 석탄가스화기 내부로 분사되면서 선회를 형성할 수 있도록 총 4기로 구성되어 있다. 그리고, 고압 미분탄공급장치는 가스화기의 운전압력보다 조금 높은 가압 상태로 운전되면서 스크류피더 작동과 질소가스에 의한 기류수송에 의해 내부에 저장된 미분탄을 가스화기에 공급하는 하부호퍼(Injection Vessel)와 상압상태로 유지되다가 미분탄 재충진시 가압/감압 과정을 반복하면서 외부로부터 추가적으로 공급되는 미분탄을 하부호퍼에 공급하는 상부호퍼(Lock Vessel)로 구성되며, 정상운전 중 하부호퍼로의 연속적인 미분탄의 재충진을 위하여 고압 미분탄공급장치는 록호퍼 방식에 의해 작동하게 된다.

본 연구에서는 석탄가스화기 시스템을 보다 높은 압력조건에서 운전하거나 미분탄 공급량을 증대시킬 수 있는 조건에서 보다 안정적인 운전을 진행하기 위하여 고압 미분탄공급장치에 설치된 스크류피더 연결 감속모타를 기존의 감속비 30:1에서 20:1로 변경하여 교체함으로써 스크류피더용 인버터의 동일한 헤르쯔(Hertz) 조건에서 미분탄 공급량을 현재의 공급량 보다 증가시킬 수 있도록 개선하여 구성하였다.

3. 실험 및 결과

3.1 대상탄 분석

Pilot급 석탄 가스화기 시스템을 이용한 실험에서는 국내 화력발전소에서 보조탄으로 사용하는 인도네시아 아역청탄인 KPC탄을 대상으로 하

였는데, 대상탄의 분석결과는 Table 1과 같다.

Table 1의 결과에 의하면 KPC의 경우 기존에 사용하였던 인도네시아 아역청탄에 비하여 C함량이 다소 많으며 이에따라 발열량 역시 조금 높은 것으로 분석되었다.

Table 1 Analysis data of feed coal

공업분석[1) [wt.%]	수분	4.67
	휘발분	42.23
	회분	2.59
	고정탄소	50.51
원소분석[2) [wt.%]	C	74.93
	H	5.42
	N	0.87
	S	0.79
	O	15.32
	Ash	2.67
발열량(HHV) [kcal/kg]		7,031

3.2 석탄 가스화기 운전조건

대상탄인 인도네시아 아역청탄 계열 KPC탄의 가스화 특성 시험을 위한 1톤/일급 석탄 가스화기는 내부온도 1300~1400℃, 운전압력 2.5기압을 조건에서 시험을 진행하였다. 그리고, Table 2에 나타내었듯이 미분탄은 40~45 kg/h 조건으로 공급하였고 가스화 반응을 위해 산화제로 공급되는 산소는 미분탄과 무게비로 0.7~0.85 정도 범위인 20~25 Nm^3/h를 공급하였으며, 미분탄을 석탄 가스화기에 기류수송하기 위하여 4기의 고압 미분탄공급장치에 질소 가스를 17~18 Nm^3/h 공급하였다.

Table 2 Operating conditions of coal gasifier

항목	운전조건
가스화기 운전압력	2.5 kg/cm^2
가스화기 운전온도	1300~1400 ℃
미분탄 공급량	40~45 kg/h
산소 공급량	20~25 Nm^3/h
미분탄 이송질소 공급량	17~18 Nm^3/h

3.3 고압 미분탄공급장치 성능시험

고압 미분탄공급장치에서 미분탄을 정량적으로 공급하는 스크류피더에 연결된 감속모타를 교체 개선한 후 고압 미분탄공급장치에 대해 미분탄 공급량 증가 정도를 확인하기 위하여 스크류피더에 대한 성능시험을 진행하였는데, 그 결과는 Fig. 3에 나탄낸 바와같이 기존 감속모타를 사용하였을 경우 미분탄 공급량 부하 85% 조건인 50Hz 조건에서 26.3 kg/h의 미분탄 공급이 가능하였으나 감속모타를 교체 개선함에 따라 동일한 조건에서 36.6 kg/h의 미분탄 공급이 가능해짐으로써, 고압 미분탄공급장치의 감속모타 교체 개선에 따라 스크류피더의 미분탄 공급량이 30% 이상 증가되었다.

그리고, 감속모타 교체 개선에 따른 고압 미분탄공급장치의 정량공급 특성 시험을 진행한 결과, 미분탄 공급 설정값 20 kg/h 조건으로 시험하였을 때 Fig. 4에 나타낸 바와같이 20.59 kg/h이 공급되었으며, 고압 미분탄공급장치의 정상운전이 진행되는 동안 실제로 공급되는 미분탄 양이 설정값에 따라 정량적으로 일정하게 공급됨을 확인할 수 있었다.

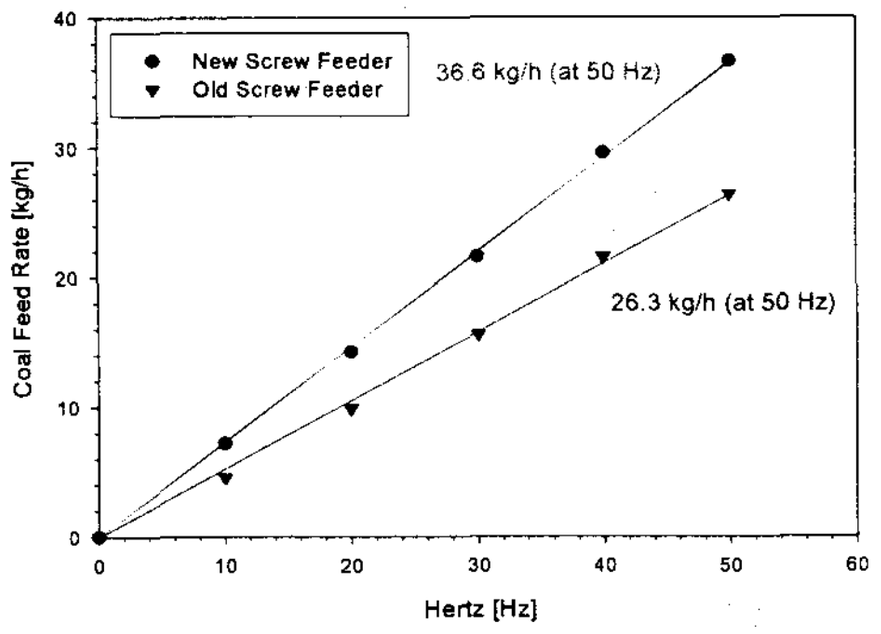

Fig. 3 Profiles of carbon conversion and cold gas efficiency

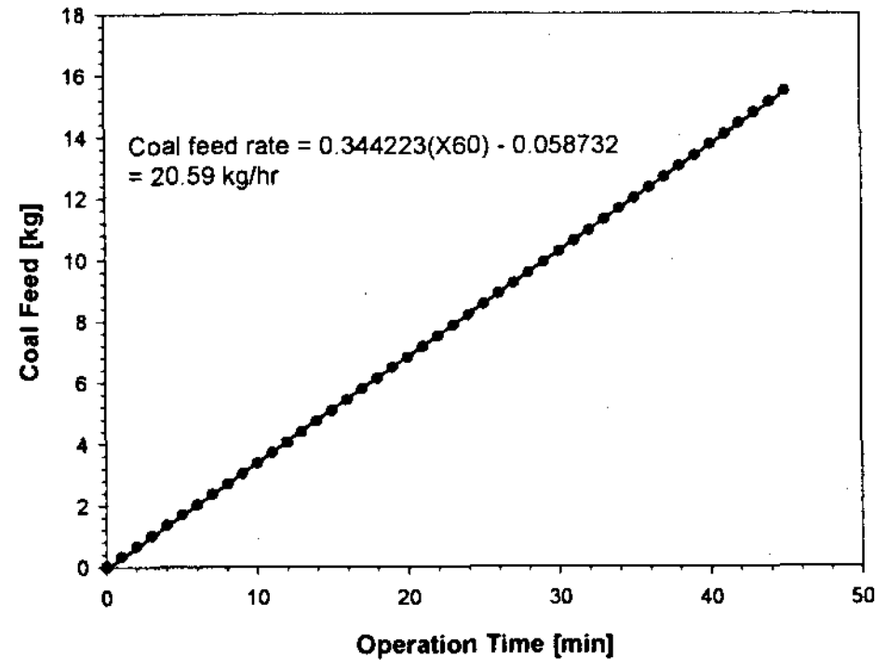

Fig. 4 Profiles of carbon conversion and cold gas efficiency

3.4 가스화 시스템 운전결과

인도네시아 KPC탄을 대상으로 양질의 석탄 합성가스 제조를 위한 실험결과는 Fig. 5에 나타낸 바와 같다.

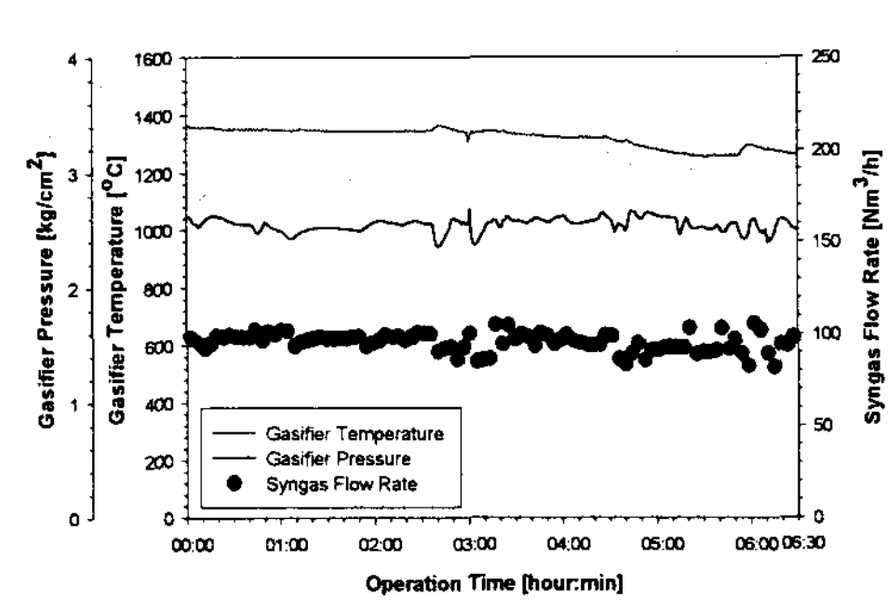

Fig. 5 Operation profile of 1 ton/day scale coal gasifier system

Fig. 5에 나타낸 결과에 의하면 정상운전중 가스화기 압력은 2.5 kg/cm^2 범위에서 일정하게 유지되었고, 온도는 1,300~1,380℃로 운전되었으며, 기류수송 방식에 의해 미분탄을 40 kg/h 공급하는 조건에서 합성가스는 100 Nm^3/h 정도가 제조되었음을 알 수 있다.

Fig. 6은 1톤/일급 석탄 가스화기 시스템을 이용하여 제조한 합성가스의 조성을 나타낸 그래프로서, KPC탄을 이용하여 Table 2에 나타낸 운전조건으로 가스화기 시스템 정상운전시 부피비로 CO 48~54%, H_2 20~26%, CO_2 5~8% 범위에서 안정적으로 합성가스를 제조할 수 있었다. 이 결과에서 합성가스의 조성을 제외한 나머지는 거의 대부분 미분탄의 기류수송에 사용되는 이송용 질소가스이다. 그리고, Fig.6의 그래프에서 02시 50분부터 5 kg/h 조건으로 스팀을 공급함에 따라 수성가스 전환반응이 진행되면서 H_2 조성이 약 2% 정도 증가되고 이에따라 CO 농도가 감소함을 알 수 있다.

석탄 가스화기의 성능을 나타내는 가스화 탄소전환율과 냉가스효율을 Fig. 7에 나타내었는데, 가스화 탄소전환율은 합성가스 유량측정장치의 계기오차와 on-line 분석기에서 분석되는 합성가스 조성의 시간차에 따라 다소의 차이는 있지만 가스화기 정상운전 시간 동안 평균적으로 99% 정도 이었으며, 냉가스효율은 70~75% 정도임을 확인하였다.

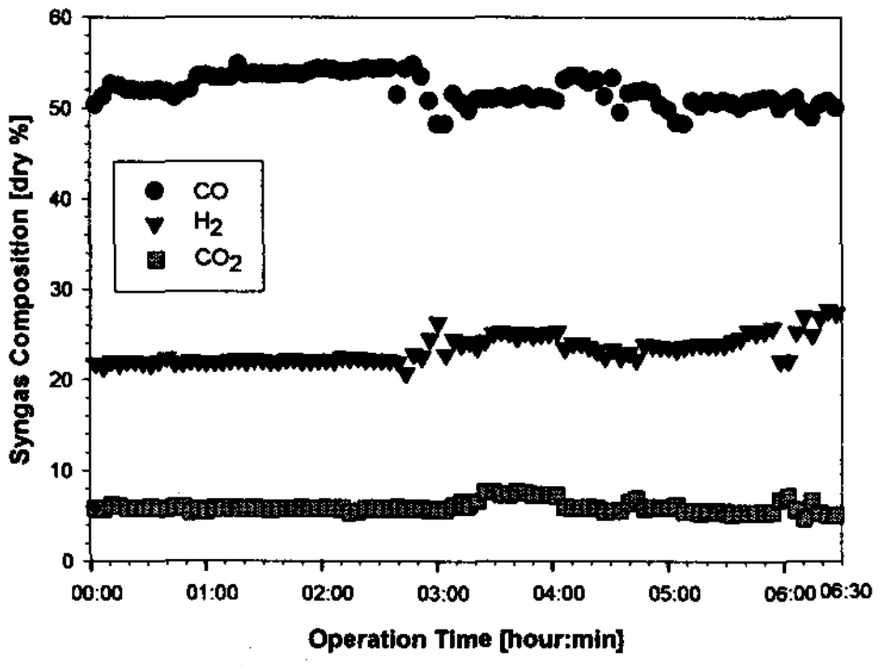

Fig. 6 Coal Syngas composition produced from 1 ton/day scale coal gasifier

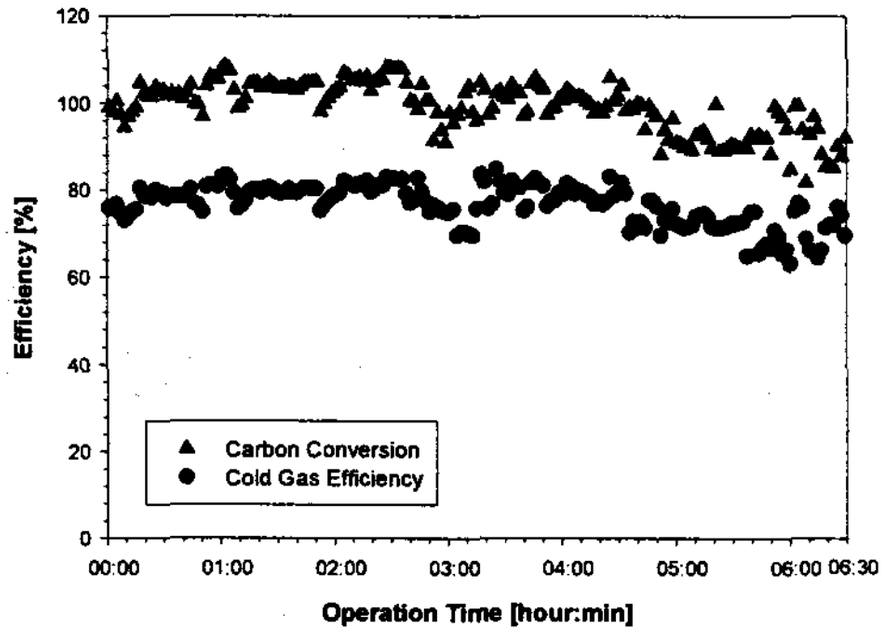

Fig. 7 Profiles of carbon conversion and cold gas efficiency

4. 결 론

국내 화력발전소에서 사용하는 인도네시아 아역청탄인 KPC탄을 사용한 2.5기압, 1300~1380℃ 조건에서의 석탄 가스화 시험을 통하여 대상탄의 가스화 특성 파악 및 양질의 합성가스 제조를 위한 운전기술 개발을 진행하였는데, 미분탄의 이송 및 공급장치를 개선한 후 시험을 진행한 결과 미분탄을 40~45 kg/h 조건으로 일정하게 공급하는 상태에서 CO 48~54%, H_2 20~26%, CO_2 5~8% 조성의 양질의 합성가스를 100 Nm^3/h 정도 안정적으로 제조할 수 있었다.

그리고, 이러한 가스화 성능은 석탄 가스화기의 운전 온도, 압력 및 산소 공급량 등의 최적화에 의해서 결정되지만, 본 시험에서 알 수 있었듯이 연료인 미분탄을 고온, 고압으로 운전되는 가스화기에 정량적으로 일정하게 공급하는 고압 미분탄공급장치의 안정적인 운전에 의해서도 크게 좌우되므로 미분탄 이송라인 상에서의 막힘현상과 가스화기 내부에 장착된 석탄주입노즐 끝단에서의 막힘현상 등을 방지할 수 있도록 추가적인 개선을 진행할 계획이다.

후 기

본 연구는 산업자원부 산하 에너지관리공단 신·재생에너지센터와 석탄 IGCC 사업단에서 지원하는 "3톤/일급 가스화시스템 구축 운전 및 국내 고유 가스화기 모델 개발" 과제의 일환으로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

References

[1] 정석우, 김문현, 이승종, 윤용승, "석탄 합성가스 제조 및 화학원료(DME) 전환설비의 운전특성", 한국신·재생에너지학회 춘계학술대회, p.83~86, 2006

[2] 산업자원부, 가스화 복합시스템 연계 실증 및 모사기술 개발, 보고서 2000-N-C002-P-01, Vol.1, 2002

[3] Y.Yun, S.W.Chung, S.J.Lee, Preliminary Selection of IGCC Candidate Coals in Korea for IGCC Applications, Pittsburgh Coal Conference, 2007