

3톤/일급 석탄가스화기에서의 가스화 특성 Operation characteristics in a 3T/D entrained flow coal gasifier

유영돈, 임동렬, 유희중, 김원배, 정석우, 윤용승
Y.D. Yoo, D.R. Rhim, H.J. Yoo, W.B. Kim, S.W. Chung, Y.S. Yun

고등기술연구원 전력에너지 연구실
Electric Power System Laboratory, Institute for Advanced Engineering

요약

3톤/일 미분탄 처리 용량을 갖는 석탄 가스화기에 대한 운전 조건 및 특성을 조사 하기 위하여 먼저 ASPEN 모사를 통하여 얻은 최적 가스화 조건을 3톤/일 석탄 가스화기 초기 운전 조건으로 결정 하였다. 모사 결과에서 산소/석탄의 무게비가 가스화기 운전에 중요한 변수임을 알 수 있었다. 모사 결과를 기초로 운전한 결과 산소/석탄의 무게비가 0.7 근처에서 일산화탄소 및 수소의 생성율이 최대임을 알 수 있었고 생성 가스의 발열량은 2500 kcal/Nm³ 정도임을 알 수 있었다.

1. 서론

석탄을 이용한 차세대 발전 시스템으로 석탄가스화 복합발전(IGCC, Integrated Gasification Combined Cycle)이 하나의 대안으로 제시되고 있다. 고효정 환경성의 측면에서 석탄가스화 복합발전설비는 기존의 유연탄 화력발전 방식에 비해서 SO_x, NO_x 및 분진 등의 배출량을 크게 감소시킬 수 있다. 재(ash)는 분진형태가 아닌 용융된 후 영긴 슬래크형태로 수거하므로 환경적으로 안전하며, 슬래크와 탈황공정에서 만들어지는 황원소를 회수하여 경제성 있는 부산물로 활용할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 이유로 국내 외적으로 석탄가스화 복합발전 시스템의 상업화 위한 기초 및 응용 연구개발에 관심이 집중되고 있다⁽¹⁻³⁾.

본 연구는 3톤/일의 석탄 처리 용량을 갖

는 석탄가스화에 대하여 최적 가스화 조건 찾기 위하여 먼저 전산 모사를 통하여 초기 조업조건을 정하고, 이 조건을 기준으로 석탄 가스화 장치를 운전하여 3톤/일 건식 가스화기의 최적 운전 조건을 실증적으로 찾는 것이다.

2. 연구 방법 및 실험 장치

석탄가스화기에 대한 운전 특성을 고찰하기 하기 위하여 본 연구에서 채택한 연구 방법은 먼저 상용 공정 모사 프로그램인 ASPEN을 이용하여 여러 운전 조건에 대한 최적 조건을 결정하고 이 기준을 3톤/일 용량의 석탄 가스화기 운전 조건으로 하여 석탄 가스화기 실험 장치에서 얻은 결과와 비교를 통하여 ASPEN 계산 모델에 대한 검증 및 상용 석탄가스화기 장치에 대한 설계 및

운전 방법에 대한 특성을 파악하는 것이다.

3톤/일의 용량을 갖는 석탄 가스화기 시스템의 구조에 대한 개략도를 Fig.1 에 나타내었다.

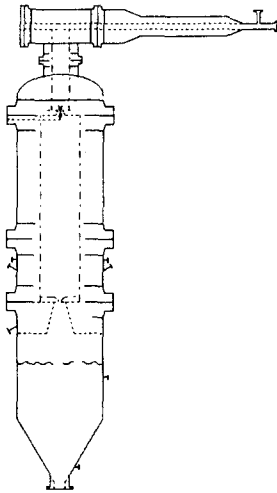


Fig.1 석탄 가스화기 개략도

석탄가스화기는 슬래크 냉각 및 저장부, 가스화 반응부, 그리고 생성 가스 냉각부 등으로 크게 구성된다. 가스화 반응부는 석탄과 산화제 등을 공급하는 공급노즐, 온도 측정 장치, 농도 샘플링 장치로 구성되었으며, 슬래크 냉각 및 저장부는 용융된 슬래크를 냉각, 배출할 수 있는 호퍼 시스템으로 구성된다. 그리고 가스 냉각부는 물 분사 노즐이 설치되어 고온의 생성 가스에 물을 분사하여 적정 온도(본 연구에서는 315℃)로 냉각 시킨 후 플레어스택(flare stack)으로 석탄 가스를 공급하여 주성분이 CO, H₂ 인 석탄 가스를 완전 연소시켜 대기로 방출한다. 정상 운전 시 석탄 가스화기는 1400℃, 30기압의 고온 고압에서 운전되므로 가스화기 내벽은 3겹의 내화벽으로 시공되었으며 가스화기 벽면에는 7개의 열전대와 2개의 적외선 온도 측정장치가 설치되어 온도 분포를 연속적으로 모니터링할 수 있으며, 1개의 압력계와 3개의 차압

계가 설치되어 가스화기 내부 압력과 가스화기 각 단면에서의 차압을 측정하도록 되어 있다. 안전 장치로는 가스화기 벽면에 rupture disk가 설치되어 있다. 미분탄의 공급의 상황을 모니터링하기 2개의 차압계(미분탄을 수송하기 위해 공급하는 수송 질소의 배관에 수송 질소의 유량을 측정할 목적인 차압계, 수송 질소 배관과 가스화기의 차압을 측정하는 차압계)를 설치하여 2개의 차압을 분석 함으로써 미분탄 공급 배관에서의 막힘과 미분탄 공급 호퍼에서의 브리징 등을 모니터링 하였다.

3. 연구 결과

3톤/일의 용량을 갖는 석탄 가스화기의 실험은 예열 단계, 정상 운전 단계, 정지 단계의 3단계를 걸쳐 진행하였다. 먼저 예열 단계는 석탄이 자연 점화하기에 충분한 온도인 800℃ 이상으로 가스화기 내부 내화벽을 예열 하는 단계이다. 이를 위하여 본 연구에서는 LPG와 공기를 이용한 예혼합 버너를 이용하였다. 통상적으로 예열이 하는데 소요되는 시간은 12 시간 정도이다. 예열이 완료되면 예열용 예혼합버너를 가스화기로부터 분리시키고 석탄과 산화제의 공급 노즐을 통하여 석탄과 산소, 그리고 증기를 공급하면서 가스화기의 온도를 조절하여 석탄 가스화 반응을 진행시킨다. 가압의 경우에는 가스화기 후단에 설치되어 있는 압력 조절 밸브를 열림 정도를 조절하여 가스화기 내부 압력을 조절하였다.

공급되는 석탄양에 따른 운전 온도, 산소, 증기의 양은 ASPEN모사를 통하여 얻은 최적 가스화 조건을 초기 운전 조건을 기준으로 하여 운전을 실시 하였다. ASPEN 모사를 통하여 운전 온도, 압력, 산화제 및 증기의 공급 조건에 따라 생성 가스의 조성을 조사한 결과, 최적 가스화 조건은 Table 1 에 나타내었다⁽⁴⁾.

운전 온도	~ 1420℃
운전 압력	Negligible effect
산소/석탄 무게비	~ 0.8
증기/석탄 무게비	~ 0.04

Table 1. ASPEN 모사를 통하여 얻은
최적 운전 조건

그리고 3톤/일 석탄가스화기에 대한 실험 조건을 Table 2. 에 나타내었다.

실험이 완료되면 공급 노즐로 석탄과 산소의 공급을 차단하고 그 상태에서 고온을 유지시켜 용융된 슬래크이 완전히 슬래크 냉각 챔버로 흘러 내리게 한 다음 서서히 감압하여 실험을 종료한다. 본 연구에서 정지 단계가 중요한 이유는 가스화기는 1400℃ 이상의 고온에서 운전하여 고형 잔류물을 대부분 슬래크으로 처리하기 때문에 급랭시키는 경우 슬래크이 가스화기 벽에 응고되어 측정 및 운전에 막대한 영향을 미치기 때문이다.

생성된 가스를 분석하는 분석 기기로 Gas Chromatography(이하 GC)를 사용하였으며, 분석 column으로 Molecular Sieve 5A와 Porapak Q를 사용하였다. Detector로는 Thermal Conductivity Detector(이하 TCD)를 사용하였고, carrier 가스는 헬륨(유량 : 30 ml/min)을 사용하였고, oven 온도는 40℃에서 180℃로 분당 20℃씩 승온시켰으며, detector의 온도는 150℃로 생성가스를 측정하였다. 그리고 Fig.2에는 실제 운전 결과와 ASPEN 모델링 결과의 비교하기 위하여 생성 가스 중의 CO와 H₂의 조성을 나타내었다. 이 농도 값은 질소량을 제외한 나머지 성분을 백분율로 나타낸 것이다. 운전 조건에 따라 평균 10~15%의 질소가 생성 가스에 포함되어 있었다.

ASPEN 모사 결과 최적 가스화조건은 산소

/석탄의 비가 대략 0.8 이었으나 본 가스화기 실험에서는 0.7 부근에서 CO의 발생량이 최대 값을 갖음을 알 수 있었다. 위의 실험 조건에서 운전 변수에 따른 수소 생성량의 변화 경향은 얻을 수 없었다. 산소/석탄의 무게비가 0.7을 경계로 증가되면 CO농도는 감소하는데 이 경향은 ASPEN 결과와도 정성적으로 일치한다. 그리고 또한 0.7 이하에서도 CO 농도는 감소하는데 이 경향은 ASPEN 결과와 일치한다.

또한 생성가스의 발열량을 측정한 결과 평균 발열량이 2500 kcal/Nm³ 정도임을 알 수 있었다. 이 값은 생성 가스 중에 질소를 제외하고 계산한 값이므로 실제 생성 가스의 발열량은 약간 감소될 것이다.

	가스화기 압력 (kg/cm ²)	석탄 주입량 (kg/h)	산소 주입량 (Nm ³ /h)	스팀 주입량 (kg/h)	산소와 석탄비 (무게비)
test 1	0.1	6.6	8.8	0.2	1.9
test 2	0.1	9.9	9.3	0.2	1.34
test 3	0.1	9.9	8.8	0.2	1.27
test 4	0.1	13.2	8.3	0.2	0.9
test 5	1.2	9.9	6.2	-	0.89
test 6	5.0	13.2	6.56	0.13	0.71
test 7	4.5	20.4	8.0	-	0.55
test 8	5.5	27.2	10.4	-	0.55
test 9	3.0	20.4	8.0	-	0.56

Table 2. Gas sampling conditions

4. 결론

이에 따라 3톤/일 용량을 갖는 석탄 가스화기에 대해서 산소/석탄 비를 변경시키면서 실험을 실시하였다. 그 결과 전사 모사와 정

성적으로 일치한 가스화 경향을 얻을 수 있었으며 전산 모사에서는 산소/석탄의 비가 0.8일때 석탄 가스 중의 일산화탄소와 수소의 농도가 최대이었으며 본 실험에서는 0.7 근처에서 최대임을 알 수 있었다. 그리고 가스화기 성능을 평가할 수 있는 지수인 탄소 전환률, 냉가스 효율 등을 평가 하기 위하여 추가 실험을 진행 중에 있다.

후기

본 연구는 통상산업부 에너지자원기술개발 지원센터에서 지원하고 전력 연구원에서 주관하는 “석탄가스화 복합 발전 기반 기술 개발” 과제의 지원을 받아 수행된 것으로 이에 센터 및 전력 연구원 관계자들에게 감사드립니다.

참고 문헌

1. S.A. Azuhata, P.O. Hedman, L.D. Smoot, W.A. Sowa, 1986, "Effects of flame type and pressure on entrained coal gasification", *Fuel*, Vol.65, pp.1511-1515.
2. N.R. Soelberg, P.O. Hedman, L.D. Smoot, 1985, "Effects of flame type and pressure on entrained coal gasification", *Fuel*, Vol.64, pp.776-781
3. 植田昭雄 等, 1991, “旋回流型氣流層石炭 가스화용バナ”, 日本機械學會論文集(B編), 57卷, pp.18-24.
4. Bench Scale급 건식 석탄 가스화기 운전 및 모사 기술 개발(I), 연차 보고서, 통산 산업부, 1996.

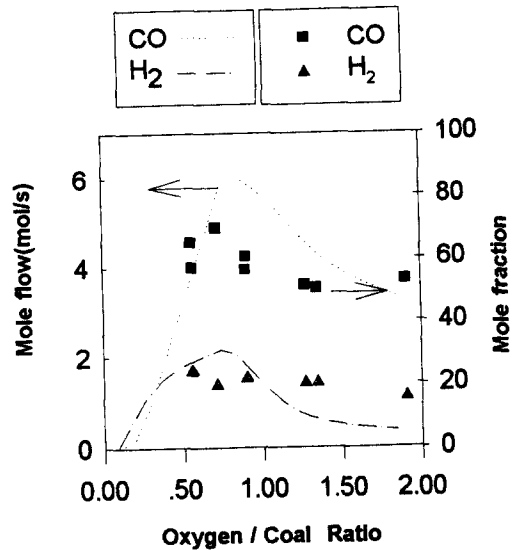


Fig. 2 CO, H₂ 농도 측정 결과 및 ASPEN 결과와 비교

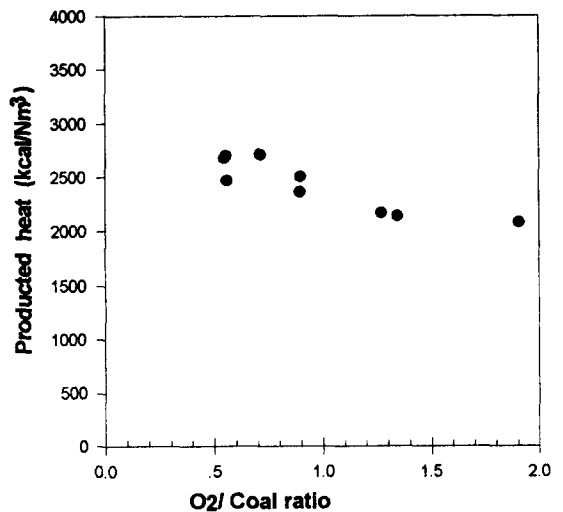


Fig. 3 발열량 계산 결과