

## 2 Case IGCC 시스템 연구

김종진, 서석빈, 이윤경, 안달홍  
한전 전력연구원

### A Study of 2 Case IGCC System

Jong-jin Kim, Suk-Bin Seo, Yun-Kyoung Lee, Dal-Hong Ahn  
Korea Electric Power Research Institute

#### 1. 서론

석탄가스화 복합발전(IGCC; Integrated Gasification Combined Cycle)은 석탄을 연료로 사용하면서 NOx, SOx 등 오염물 발생량이 적고 가스터빈을 채용한 복합발전 방식으로 효율이 높은 청정에너지 발전방식이다. 특히 우리나라와 같이 전력생산 분야에서 석탄화력의 비중이 높은('99년 6월 현재 27.8%(한전통계자료)) 우리나라에서 급격히 강화되는 석탄화력발전소에 대한 오염물 배출량 제한에 대처하기 위해 기존 석탄화력의 대안으로써 석탄가스화 복합발전이 부각되고 있다. 본 연구에서 국내에 IGCC 상용설비 도입에 대비하여 참조플랜트로서 Texaco 가스화공정을 채용한 2 case의 IGCC 시스템 연구를 수행하였다. 고효율 IGCC와 저비용 IGCC의 두 case에 대해 증기 및 공기연계 등을 적절히 고려하여 시스템을 설정하였다. 이들 시스템에 대해 ASPEN PLUS 등을 사용한 시스템 시뮬레이션 모델을 개발하고 시스템 성능을 계산하였다. 또한, 저비용 IGCC case에 대해 공기추출율에 따른 민감도분석을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 고효율 IGCC와 저비용 IGCC 시스템 효율이 각각 42.6%, 40.2%(HHV, Net)로 나타났다.

#### 2. 본론

IGCC는 석탄을 가스화하는 가스화공정과 이 공정에 필요한 산소를 공급하는 산소분리공정, 석탄가스를 정제하는 탈황공정, 그리고 이 가스를 연소하여 발전하는 가스터빈 및 복합사이클 등 여러 공정들로 구성되어있기 때문에 이 공정들간의 적절한 연계가 전체 플랜트 성능에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서 2 case의 IGCC 시스템에 대해 공정간의 연계를 고려하여 시스템 구성을 설정하고 시스템 성능을 해석하고자 하였다. 이를 위해 다음과 같이 2가지 case의 IGCC 시스템을 고려하였다. 첫째는 가스화기에서 나온 고온의 현열을 최대한 회수하여 시스템효율을 높이는 고효율 방식의 IGCC case이며 두 번째는 고가인 고온열회수 설비가 없이 가스화기에서 나온 Syngas를 Quench 시키는 방식인 저비용의 IGCC case이다. 이들 시스템 성능해석을 위해 다음과 같이 기준을 설정하였다.

- 시스템 구성기준
  - 대기조건 : 15°C, 습도 : 60%
  - 설계 연료 : Datong Coal
  - 용 량 : 300MW 급 IGCC 1기

가. 시스템 구성

1) 고효율 IGCC Case

IGCC의 가스화기에서 연료에너지의 일부가 현열로 전환되며 분류층 가스화기 공정에서는, 약 15~25%의 연료에너지가 현열로 전환된다. 이 현열을 효과적으로 회수함으로써 IGCC 시스템의 효율을 높일 수 있으며 이는 가스화공정과 복합사이클간의 적절한 증기 연계를 통해 달성할 수 있다. 고효율 IGCC는 Texaco Full Heat Recovery Type 가스화공정을 채용하여 가스화에서 나온 현열을 증기생산으로 최대한 회수하여 출력을 증대시키는 방식으로써 현열회수를 위해 가스화기 후단에 Radiant Syngas Cooler 와 Convective Cooler를 배치하여 고압증기를 생산하고 이 생산된 증기는 HRSG와 연계하여 증기터빈 출력을 증대시키도록 하였다. 또한 저온정제공정 운전 온도인 40℃까지 Syngas를 냉각하는 동안 효과적으로 열회수를 하기 위해 가스터빈에 공급되는 연료가스과 질소를 가열하는 열교환기를 설치하여 복합사이클의 효율을 증대시키도록 하였다. 주요 시스템 구성은 Table 1과 같으며 이에 대한 계통도는 Fig. 1과 같다.

Table. 1 Main Components of High Efficiency IGCC

Items	Components
Gasifier	Texaco Full Heat Recovery type, Oxygen-blown, Slurry feed
Gas Cooling	N <sub>2</sub> Heat Exchanger, Fuel Heat Exchanger, Meddle Pressure Steam Generator, Condensate Heater
Acid Gas Removal	Wet Scrubber, Low Temp, COS Hydrolysis
Gas Turbine	GE 7FA
Steam Cycle	3 pressure level, Unfired HRSG, Reheat
Air Separation Unit	Cryogenic Separator

2) 저비용 IGCC Case

Texaco Quench Type 가스화공정을 채용한 방식이다[1]. 가스화기로부터 나온 약 1400℃의 고온가스를 Water Quench 시킴으로써 열손실로 인한 플랜트 효율이 고효율 IGCC에 비해 떨어지거나 고가의 Syngas Cooler가 없어 초기투자비가 상대적으로 적다. 고효율 IGCC에 비해 고준위의 열원이 적은 반면에 저준위의 열원이 풍부하여 이 열원을 적절히 회수하느냐에 따라 플랜트 효율이 큰 차이를 나타낼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 증기 및 공기연계 방법에 따라 Table 3과 같이 9 case에 대해 옵션연구를 수행하였으며 그 결과를 바탕으로 Fig. 2와 같이 계통구성을 설정하였다. 주요 시스템 구성요소는 Table 2와 같다.

Table 2 Main Components of Low Cost IGCC

Items	Main Components
Gasifier	Texaco Quench High Pressure, Oxygen-blown, Slurry feed
Gas Cooling	N <sub>2</sub> Heat Exchanger, Fuel Heat Exchanger, Meddle& Low Pressure Steam Generator, Expander, Condensate Heater
Acid Gas Removal	Wet Scrubber, Low Temp, COS Hydrolysis
Gas Turbine	GE 7FA, Air Extraction
Steam Cycle	3 pressure level, Unfired HRSG, Reheat
Air Separation Unit	Cryogenic Separator

Table 3 Case Matrix

Cases	Syngas Expander Position	Fuel Saturator	N <sub>2</sub> Heat Exchanger	Air Extraction
CASE 1	After AGR	Yes	No	No
CASE 2	After AGR	Yes	Yes	No
CASE 3	Before AGR	Yes	No	No
CASE 4	Before AGR	Yes	Yes	No
CASE 5	Before AGR	No	No	No
CASE 6	Before AGR	No	Yes	No
CASE 7	After AGR	Yes	Yes	Yes
CASE 8	Before AGR	Yes	Yes	Yes
CASE 9	Before AGR	No	Yes	Yes

나. 시뮬레이션 모델 개발

2case의 IGCC 시스템 성능해석을 위해 시뮬레이션 모델을 개발하였다. IGCC 시스템은 가스화공정과 복합사이클이 결합되어 있기 때문에 이를 단일의 시뮬레이션 코드를 사용하여 성능을 해석하기가 어렵다. 이를 보완하기 위해 Johnson[2]은 ASPEN code와 GateCycle code를 사용하여 해석하였다. 본 연구에서는 시스템 성능해석을 위해 각 공정들의 전용코드를 사용하였다. 가스화공정은 ASPEN PLUS code를, 복합사이클은 GateCycle code를 사용하였으며 탈황공정 및 황회수공정은 TSWEET code를 사용하였으며 전체 시스템 성능을 계산하기 위해 이 code간의 데이터 교환을 통해 수행하였다[3][4]. 이에 대한 절차는 Fig. 4에 나타내었으며 GateCycle code로 구성된 복합사이클 모델의 그림이 Fig. 3에 나타내었다.

다. Case 별 성능시뮬레이션 결과

위의 시뮬레이션 모델을 이용하여 고효율 IGCC와 저비용 IGCC 시스템의 성능 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과는 Table 4 과 같다.

Table 4 Performance Summary

Items	High Efficiency IGCC	Low Cost IGCC
Gasifier Heat Input (kcal/h x 10 <sup>6</sup> )	560.7	601.7
Gas Turbine Heat Input (LHV, kcal/h x 10 <sup>6</sup> )	410.5	437.7
Gas Turbine Air Extraction Rate(%)	0	71.0
Gas Turbine Power Output(MW)	197.1	196.9
Steam Turbine Power Output(MW)	133.8	114.4
Total Power Output(MW)	330.9	321.0
Auxiliary Power Consumption(MW)	53.4	40.0
Net Power Output(MW)	277.4	281.0
Thermal Efficiency(%, HHV, Net)	42.6	40.2

시뮬레이션 결과 열효율은 고효율 IGCC의 경우 42.6%이며 저비용 IGCC는 40.2%로 나타났다.

고효율 IGCC의 경우 Syngas Cooler 등을 설치하여 고온 Syngas의 현열을 회수하여 증기로 생산함으로써 증기터빈 출력이 상대적으로 높아 저비용 IGCC에 비해 시스템 효율이 높게 나타난 것으로 판단된다. 또한, 보조동력소비가 고효율 IGCC가 저비용 IGCC에 비해 상대적으로 많은 것을 알 수가 있는데 이는 저비용 IGCC의 경우 가스터빈으로부터 압축공기의 일부를 추출하여 산소분리장치에 필요한 압축공기의 일부를 공급함으로써 산소분리장치의 소비동력이 감소되었기 때문이다.

#### 라. 시스템 민감도 분석

저비용 IGCC case에 대해 가스터빈과 ASU 간의 연계시 가스터빈 압축기 공기추출량에 따른 IGCC 시스템 성능을 계산하여 적정 공기추출량을 결정하였다.

Fig. 5는 가스터빈으로부터의 공기추출율에 따른 IGCC 시스템 출력을 나타내었다. 공기추출율이 증대될수록 시스템 출력은 상승되는 것으로 나타났다. 이는 그림에서와 같이 공기추출율의 증가에 따라 산소분리공정의 공기압축기의 소비동력이 적어져 보조동력이 감소되기 때문이다. 그러나 공기추출율이 75%를 넘으면 시스템 출력은 감소되는데 이는 공기추출율이 증가되면서 가스터빈 출력이 최대출력을 유지하지 못하고 감소되기 때문이다. Fig. 6는 공기추출율에 따른 시스템 성능을 나타내었다. 이 그림에서와 같이 시스템 효율은 공기추출율이 증가할수록 증대되는 것으로 나타났다. 이는 공기추출율의 증가에 따라 산소분리장치에서 보충공기압축기의 소비동력의 감소가 주요인으로 판단된다. 대상 플랜트에 대해 최대출력을 달성하기 위해 공기추출율 75%가 적정한 것으로 나타났다.

### 3. 결론

국내에 IGCC 상용설비 도입에 대비하여 참조플랜트로서 Texaco 가스화공정을 채용한 2 Case IGCC 시스템 연구를 수행하였다. 고효율 IGCC와 저비용 IGCC의 두가지 시스템에 대해 증기 및 공기연계 등을 적절히 고려하여 시스템을 설정하였다. 이들 시스템의 성능해석을 위해 ASPEN PLUS 등을 사용한 시스템 시뮬레이션 모델을 개발하였으며 이를 이용하여 시스템 성능을 계산하였다. 시뮬레이션 결과 고효율 IGCC와 저비용 IGCC 시스템 효율이 각각 42.6%, 40.2%(HHV, Net)로 나타났다. 또한 저비용 IGCC에 대해 공기추출율에 따른 시스템 성능에 대해 민감도 분석을 수행하여 적정 공기추출율을 설정하였다.

#### 참고문헌

1. A. d. Rao, A. R. Smith "Integration of Texaco TQ Gasification with Elevated Pressure ASU" 12th EPRI Coal Gasification Conference, (1993)
2. M. S. Johnson "Prediction of Gas Turbine On-and Off-Design Performance When firing Coal-Derived Syngas" Transactions of the ASME, (1992)
3. 김종진 외 5명 "Shell 석탄가스화 복합발전 시스템의 성능해석 연구" 한국에너지공학회, 제 6권 제1호(1997)
4. 서석민 외 4명 "가스터빈과 산소분리공정의 연계방법에 따른 IGCC 플랜트 성능영향 분석" 한국에너지공학회, 제 8권 제4호(1999)

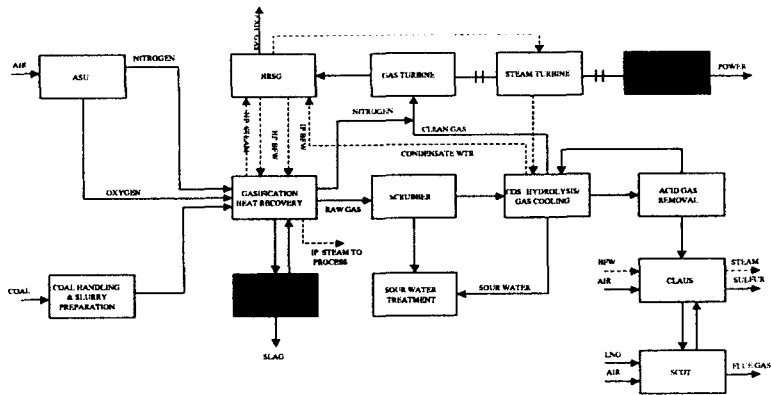


Fig. 1. High Efficiency IGCC Case Block Flow Diagram

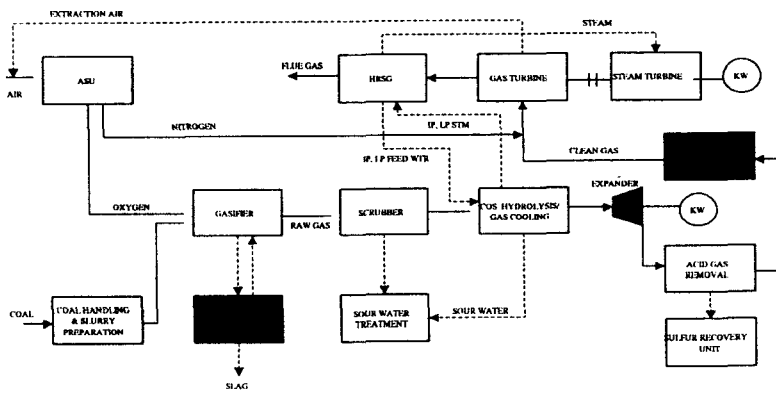


Fig. 2. Low Cost IGCC Case Block Flow Diagram

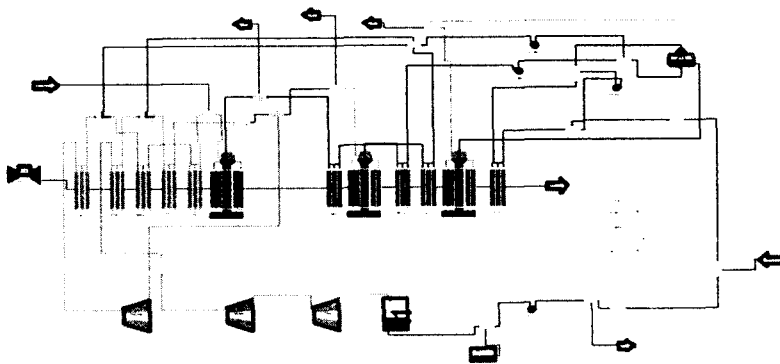


Fig. 3. Combined Cycle Model(GateCycle)

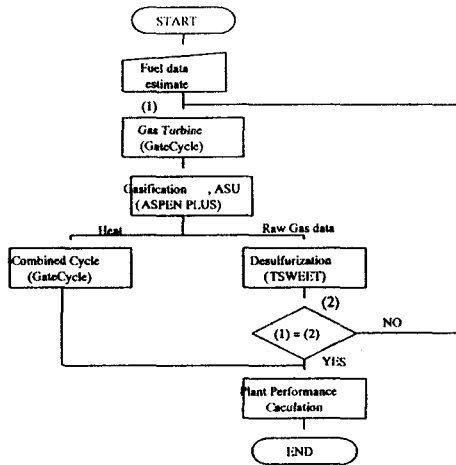


Fig. 4. Performance Simulation Flow Chart

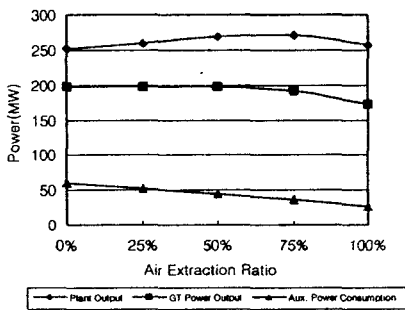


Fig. 5. Air Extraction Ratio vs. Power Output

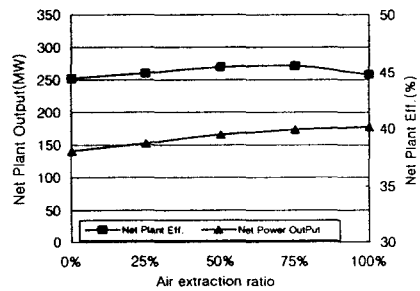


Fig. 6. Air Extraction Ratio vs. Plant Performance