

공기연계시 IGCC 플랜트 성능 영향 분석

서석빈, 김종진, 조상기, 이윤경
 전력연구원

The effect of air integration on IGCC performance

Suk-Bin Seo, Jong-Jin Kim, Sang-Kie Cho, Yun-Kyoung Lee
 Korea Electric Power Research Institute

1. 서론

석탄가스화복합발전(Integrated Gasification Combined Cycle)기술은 우수한 환경성능과 열성능을 지니고 있어 장래 미분탄화력을 대신할 수 있는 대체기술로서 각광을 받고 있다. IGCC는 석탄가스화, 정제, 복합발전계통 및 공기분리계통 등 그 구성요소가 복잡하여 이들 간의 시스템 최적화 정도에 따라 경제성 및 플랜트 성능이 크게 좌우된다. 최근에 가스터빈과 공기분리설비(Air Separation Unit)를 연계시켜 IGCC플랜트 성능을 향상시키는 연구가 다수 진행되었다[1],[2],[3]. 본 연구에서는 가스터빈과 ASU 간의 연계시 공기추출량을 결정하는 인자들을 검토하고 Texaco quench 가스화공정을 채용한 IGCC 플랜트에 대해 GatecCyle code등 상용코드를 이용하여 모델링하고 가스터빈 압축기 공기추출량에 따른 IGCC 플랜트 성능을 분석하였다. 본 연구 결과를 통하여 대상 IGCC 플랜트의 적정 공기추출량을 결정하고 플랜트 성능을 계산하였다. 본 연구 결과는 전력연구원에서 수행중인 300MW급 IGCC 예비기본설계에 활용될 것이다.

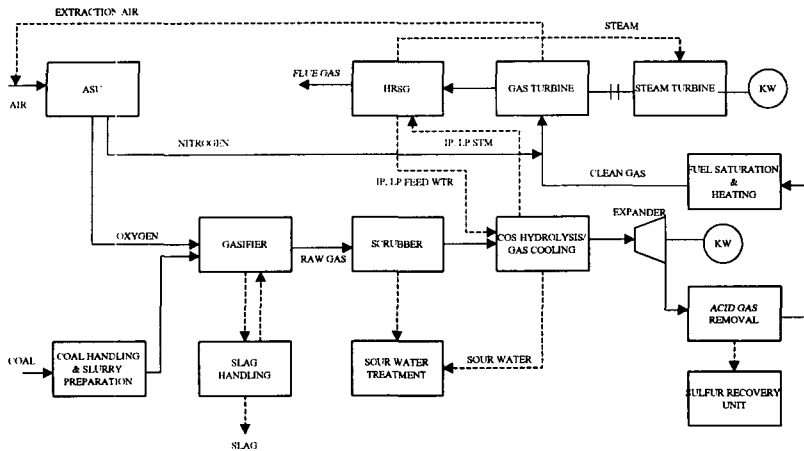
2. 공정개요

본 연구에서 대상으로 하는 공정은 Texaco Quench 가스화 공정을 채용하였으며 이 공정의 주요 구성설비는 다음과 같으며 공정구성도가 Figure 1에 나타내었다.

구 분	구 성 설 비
가스화기	Texaco Quench 고압 가스화기, Oxygen-blown, Slurry feed
가스정제	Wet Scrubber, Low Temp, COS Hydrolysis
가스터빈	GE 7FA, 197MW(Coal gas 연소)
증기사이클	3압, 비조연, 재열
공기분리설비	Cryogenic separator

3. IGCC 공기 연계(Air Integration)

전통적인 복합사이클 플랜트에 사용되는 가스터빈과 비교하여, IGCC플랜트에 설치되는 가스터빈은 상대적으로 낮은 발열량의 연료가스가 공급된다. 이에 따른 연료가스 유량의 증가는 다른 조건이 변화하지않는다면 가스터빈압축기에서 서지문제를 가져오게 된다.



[Figure 1] Texaco Quench IGCC Process Flow Diagram

공기연계는 이 문제를 해결하기 위해 가스터빈과 ASU간의 연계하는 방법이다. 가스터빈 압축기로부터 추출된 압축공기는 ASU로 공급되며, ASU의 공기압축기는 가스화에 공급되는 산소 생산에 필요한 공기량을 보충하게 된다. ASU에서 분리된 잉여질소는 회수되어 가스터빈 연소기에 주입되어 NOx제어를 위한 회석제로서 사용된다. 추출된 공기의 보유열은 적절한 열교환망을 사용하여 회수하게 된다.

가스터빈 압축기출구로부터의 공기추출은 IGCC와 같이 저열량의 가스를 연료로 사용하는 데 따른 가스터빈의 압축비 상승과 이로 인한 가스터빈 서지(surge)문제를 완화시킬 뿐만 아니라, ASU 투자비와 동력을 감소시켜 플랜트의 성능과 경제성을 향상시킨다.

공기연계시 공기추출량을 결정하는 주요 인자는 기준 대기조건, 가스터빈 서지마진(surge margin), 가스터빈 축 토크(shaft torque)에 의한 출력제한, 공기추출에 따른 가스터빈 출력과 ASU 주 공기압축기 소요동력을 고려한 순출력(net power), 순효율(net efficiency) 등이며 이들 인자들은 단독으로 검토하기 보다는 서로간 상호 관련성을 갖고 있으므로 동시에 검토하여야 한다.

4. 공정 모델링

대상 공정에 대해 공기연계에 따른 플랜트 성능을 분석하기 위해 공정 모델링을 수행하였다. 가스화공정은 ASPEN PLUS code를 사용하였고 복합사이클은 GateCycle code를 사용하였으며 이 coder간의 데이터 교환을 통해 전체 플랜트 성능을 계산하였다.

가. 가스화공정

가스화공정모델은 기존의 연구[5]에서 수행된 ASPEN PLUS 모델을 사용하였으며 본 연구에서 Texaco Quench 가스화공정 채용에 따른 계통구성이 상이한 부분을 보완하였으며 복합블럭과의 물, 증기 및 공기 연계부분은 복합사이클 성능분석 상용코드인 GateCycle code와 데이터 교환이 되도록 수정되었다.

나. 가스터빈 및 복합사이클 모델링

가스터빈 모델은 GE 7FA 가스터빈을 대상으로 모델링하였으며 설계 제원은 다음 표와 같다. 가스터빈 성능예측은 vandor의 주어진 제한된 설계데이터로부터 가스터빈 거동을 예측하는 systematic 방법이 발전플랜트 연구에 흔히 사용되고 있으며 본 연구에서는 이 방법에 의해 GateCycle code를 사용하여 가스터빈 성능을 해석하였다. 설계조건에서 제작사가 제공한 데이터를 사용하여 각 구성요소의 성능을 결정하였다. 단일축, 고정회전수를 갖는 가

모델	출력(MW)	압축비	배기가스온도 (°C)	TIT(°C)
GE 7FA	175.4	15.5	598	1327

스터빈의 탈설계점 성능해석은 팽창기 입구 유량이 choke된다는 가정하에서 이상기체의 유량에 대한 관계식 (1)을 사용하였다.

$$Constant = \left(\frac{m\sqrt{T}}{\kappa AP} \right)_{\text{nozzle inlet}} \quad (1)$$

P : expander inlet pressure

T : expander inlet temperature

A* : critical area

κ : constant

터빈냉각유량은 제작사 데이터를 이용하고 탈 설계조건에서의 냉각공기유량은 설계조건
의 가스터빈 입구 가스유량비율이 탈 설계조건에서도 일정하게 가정하였다.

Syngas 연소시 성능분석을 위해 압축기 가이드베인 각도에 따른 압축기 성능을 예측하
여야 한다. 이를 위해 가이드베인각도에 대한 압축기 맵을 생성하여야 하며 이에 대한 연구
가 참고문헌[4]에서 다루었다. 본 연구에서는 제작사의 데이터를 이용하여 가이드베인 각도
에 따라 압축기 효율이 일정하게 감소되는 것으로 가정하였다.

다. 복합사이클 모델[7]

가스터빈 출구로부터 나온 고온의 가스현열을 이용하여 배열회수보일러에서 회수하여
증기터빈을 운전하여 출력을 발생시킨다. 배열회수보일러 성능해석은 접근온도차(approach
temperature difference)와 핀치점 온도차(pinch point temperature difference) 정의에 의해
수행하고 열전달해석은 effectiveness-NTU methodolgy 에 기초하였다. 증기터빈의 설계조
건 및 탈 설계조건에서의 성능예측은 GE 증기터빈 성능데이터(Spencer, Cotton and Cannon;
SCC)에 기초하였다.

5. 결과 및 분석

Figure 2는 출력 대 가스터빈으로부터의 공기추출비율을 보여주고 있다. 공기추출량이
감소되면, 가스터빈출력은 증가되며 플랜트 출력 또한 증가된다. 그러나 공기추출량이 일정
추출량 이하가 되면 가스터빈 출력은 일정하게 유지하게 된다. 이는 가스터빈 축의 기계적
축제한 때문이다. 가스터빈 압축기입구 가이드베인이 완전히 열릴 때, 가스터빈출력은 제한
값을 초과하게되므로 가이드베인 각도를 감소시켜 가스터빈 출력을 일정하게 유지시킨다.

가스터빈의 출력은 가스터빈으로부터 22ton/hr 추출할 때 분기점이 생긴다. 이점에서 플
랜트 출력이 최대가 된다. 플랜트 출력은 공기추출량이 22ton/hr 보다 적을 때, 감소되는데
이는 그림과 같이 ASU 공기 압축기 동력 증가로 인한 보조동력소비가 증가되기 때문이다.
공기추출량 22ton/hr 보다 크면 가스터빈출력은 감소되고 그 결과 플랜트 출력도 감소한다.
Figure 3는 열효율 대 공기추출비율을 나타내고 있다. 공기추출량이 증가할 때 플랜트 순효
율은 증가되며 약 25ton/hr이상에서는 거의 일정하게 유지된다. 가스터빈 효율은 공기추출
량이 증가함에 따라 감소되며 공기추출량이 22ton/hr 보다 크면 출력 감소에 따라 효율이
급격히 감소된다. 본 연구의 계통구성에서 최적 공기추출량은 22ton/hr임을 알았다. 이 수준
의 공기추출에서 대상공정은 최대 순플랜트출력과 효율을 달성할 수 있다.

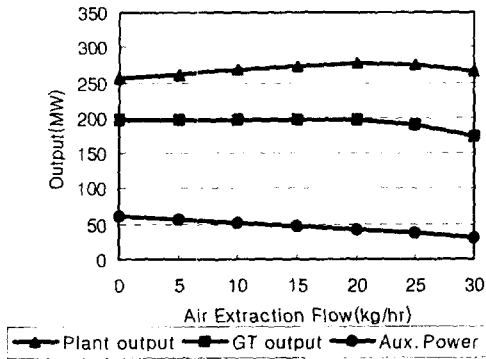


Figure 2 Power Output vs. Air Extraction flow

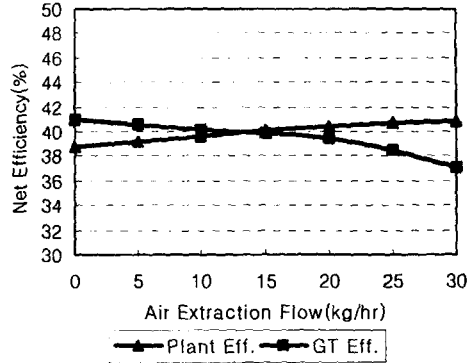


Figure 3 Efficiency vs. Air Extraction flow

6. 결론

IGCC 플랜트에서 공기추출율에 따른 플랜트 성능 영향을 분석하였다. 대상공정에 대해 GateCycle code 등을 이용하여 모델링을 수행하였으며 공기추출율에 따른 플랜트 성능을 계산하였다. 가스터빈 출력 제한에 의해 일정 공기추출량 이하에서 플랜트 출력은 감소하며 공기추출량이 증가할수록 플랜트 효율은 증가하는 것으로 나타났다. 대상 공정에 대해 가스터빈 압축기로부터 공기추출량 22ton/hr에서 최적의 플랜트 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

본 연구에서 수행된 내용은 전력연구원에서 수행 중인 300MW IGCC 예비기본설계에 활용될 것이다.

참고문헌

1. Union Carbide co. "Advanced air separation for coal gasification combined cycle power plants", EPRI AP-5340
2. J.C. Sorensen, A.R Smith "Cost-effective oxygen for GCC-matching the design to project"
3. Arthur R. Smith, James C. Sorensen, Donald W. Woodward "Integration of oxygen plants and gas turbines in IGCC facilities"
4. Mark S. Johnson "The effects of gas turbine characteristics on IGCC power plant performance"
5. 김종진 외, "Shell 석탄가스화복합발전 시스템의 성능해석 연구", 에너지공학회 97. vol.6
6. 한전 전력연구원 "300Mw 급 IGCC 기술성 및 경제성분석"
7. Enter co. "GateCycle user manual"