

고온정제 온도에 따른 IGCC 시스템 성능 영향 분석

서석빈, 김종진, 이윤경, 안달홍
전력연구원

The analysis of the effect on the temperature of Hot Gas Clean-Up for IGCC system

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

1. 서론

차세대 석탄가스화복합발전(Integrated Gasification Combined Cycle; IGCC)으로써 고온정제(Hot Gas Clean-up; HGCU)는 고온고압의 석탄가스 중에 있는 불순물을 고온고압에서 제거하는 기술이다. 현재 이 기술에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 이루어지고있으며 특히 미국 에너지성에서는 2000년까지 플랜트 효율 45%의 건식 고온정제를 채용한 IGCC 시스템을 개발중에 있으며 나아가 목표 효율 50% 이상으로 건식 고온 정제뿐 아니라 차세대 가스터빈을 채용한 시스템으로 2010년 개발을 목표로 하고 있다.

차세대 IGCC 시스템의 구성 요소인 고온 정제나 혹은 차세대 가스터빈 자체의 기술 개발은 IGCC의 플랜트 효율 증가 및 환경 성능 향상, 또한 투자비 감소 등을 목적으로 국내·외에서 활발히 이루어지고 있다. 그러나 이와 같은 단위 기술 개발은 각 각의 구성요소 혹은 각 구성요소의 연계(integration)가 플랜트 성능에 미치는 영향을 시스템 연구를 통해 체계적으로 분석하고 최적 시스템을 개발하는 기술이 수반되어야 기술 개발 투자 효과를 더욱 증대될 수 있을 것이다.

본 논문에서는 이러한 맥락에서 고온 정제를 채용한 차세대 IGCC 시스템 연계 연구의 하나로써 고온정제 온도에 따른 IGCC 시스템 성능을 분석하고 아울러 가스터빈 기종에 따른 영향을 분석하였다. 이를 위해 대상공정을 설정하고 상용코드를 이용하여 공정모사를 수행하고 시스템 성능을 분석하였다.

2. 시스템 성능모사

IGCC 시스템 성능분석을 위해 본 논문에서 대상 공정으로 Texaco Quench 가스화 공정 및 고온정제 공정을 채용하였으며 이 시스템의 주요 구성설비는 Table 1 과 같으며 시스템 구성도는 Fig. 1과 같다.

Table 1. System main components

Items	Components
Gasifier	Texaco Quench 고압 가스화기, Oxygen-blown, Slurry Feed
Gas Cleanup	Hot gas desulfurization, Zinc Titanate sorbent,
Gas Turbine	GE 7FA or GE 7G
Steam Cycle	3 pressure level, Reheat
Air Separation Unit	Cryogenic separator

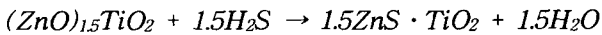
가. 가스화 공정 모사

가스화공정모델은 박 등[1]이 수행한 ASPEN PLUS 모델을 사용하였으며, 본 연구에서 고온정제를 채용함에 따라 가스냉각등 일부 계통구성이 상이한 부분을 보완하였으며 복잡블럭과의 물, 증기 및 공기 연계부분은 복합사이클 성능분석 상용코드인 GateCycle code와 데이터 교환이 되도록 하였다.

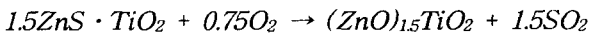
나. 고온정제공정모사

고온탈황공정에서 Zinc Titanate 의 주요반응은 다음과 같다.

Sulfidation

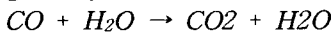


Regeneration

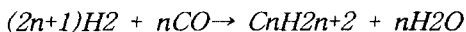
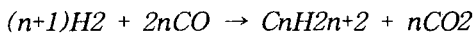


실제 탈황반응기내에서 일어나는 화학반응은 단순한 sulfidation 뿐만아니라 다양한 조성들간의 상호 반응을 포함한다. 따라서 탈황제 혹은 구성상의 차이를 반영하기 위해 모델에 각각의 조건에서 특성적으로 발생하는 현상을 구현하여 반응후 생성되는 clean gas 조성에 반영하도록 하였다. 특히 주요반응 이외에 고려되어야 할 반응은 다음과 같으며 이는 반응기 모델에 각각 반영되었다.

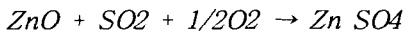
water-gas shift reaction



methanation



sulfation



다. 가스터빈 및 복합사이클 모델링

가스터빈 모델은 GE 7FA 및 GE 7G 가스터빈을 대상으로 모델링하였으며 설계 제원은 Table 2와 같다[2],[3].

Table 2. Gas turbine data

Model	Power Output(MW)	Pressure Ratio	Air Flow (Kg/sec)	TIT(°C)
GE 7FA	172.3	15.4	431.2	1327
GE 7G	240	23.0	558	1427

가스터빈 성능예측은 제작사의 설계데이터로부터 시스템적인 방법을 사용하였으며 상용 코드인 GateCycle code를 사용하여 가스터빈 성능을 해석하였다. 설계조건에서 제작사가 제공한 데이터를 사용하여 각 구성요소의 성능을 결정하였다. 단일축, 고정회전수를 갖는 가스터빈의 탈설계점 성능해석은 팽창기 입구 유량이 choke된다는 가정하에서 이상기체의 유량에 대한 관계식 (1)을 사용하였다[4].

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

P : expander inlet pressure

T : expander inlet temperature

A : critical area

κ : constant

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

라. 복합사이클 모델[4]

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

3. 결과 및 분석

GE 7FA 가스터빈을 채용한 고온정제 IGCC 시스템에 대해 정제공정 운전온도에 따른 성능을 분석한 결과는 Fig. 2, Fig 3과 같다. 이들 그림에서 정제공정온도가 350에서 500°C로 증가될 때 시스템 효율은 약 0.35% 상승하는 것으로 나타났다. 그러나 정제온도가 500°C 이상에서는 시스템 효율 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 정제온도 상승에 따라 고온정제 운전온도로 냉각시키는 가스냉각기에서 가스화기로부터 나온 가스의 현열회수량이 감소되어 증기발생량 감소로 인한 증기터빈 출력이 감소되기 때문으로 판단되며, 또한 가스터빈 출력 및 연소온도 제한으로 인해 정제온도 상승효과를 가스터빈에서 반영하지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

또한 가스터빈 기종에 따른 고온정제 IGCC 시스템 성능영향을 살펴보기 위해 동일 IGCC 시스템에서 연소온도 1427°C급 신형 가스터빈인 GE 7G을 채용하였을 때의 시스템 성능을 계산하고 두 가스터빈 적용시의 시스템 성능을 Fig. 4와 Fig. 5와 같이 비교하였다.

그 결과 GE 7G 가스터빈을 채용시 시스템 효율은 350℃ 정제온도에서 GE 7FA 가스터빈 채용시보다 약 2% 증대되는 것으로 나타났으며 GE 7FA 적용시와 달리 정제온도 650℃까지 시스템 효율이 계속 일정하게 증가되는 것으로 나타났다. 또한, 정제온도 350℃~650℃ 범위에서 시스템 효율이 약 0.48%/150℃ 비율로 증가하는 것으로 나타나 GE 7FA 적용시 보다 정제온도에 민감한 것으로 나타났다. 정제온도 650℃에서 800℃ 온도범위에서는 시스템 효율의 증가가 둔화되는 것으로 나타났으며 이는 증기터빈 출력감소에 기인한 것으로 판단된다.

4. 결론

고온 정제를 채용한 차세대 IGCC 시스템의 연계연구의 하나로써 고온정제 온도에 따른 IGCC 시스템 성능을 분석하였다. 이를 위해 대상공정을 설정하고 정제온도에 따른 시스템 성능과 두가지 타입의 가스터빈을 적용시 시스템 성능모사를 수행하였다. 그 결과 GE 7FA 가스터빈을 채용한 경우 350℃에서 500℃로 정제온도가 증가시 시스템 효율이 향상되나 그 이상의 온도에서는 효율 상승이 나타나지 않았다. 동일 IGCC시스템에 GE 7G 가스터빈을 적용한 경우 시스템 효율은 350℃ 정제온도에서 GE 7FA 가스터빈 적용시 보다 약 2% 상승하는 것으로 나타났으며 정제온도 650℃ 까지 플랜트 효율이 일정하게 상승되는 것으로 나타났다. 이 연구 결과로부터 차세대 IGCC에서 고온정제 온도와 가스터빈간의 연계가 시스템 성능에 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있었으며 차세대 IGCC는 정제온도 상승과 더불어 신형가스터빈을 채용함으로써 시스템 성능을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김종진 외, "Shell 석탄가스화복합발전 시스템의 성능해석 연구", 에너지공학회 97. vol.6
2. 한국전력공사 "Contract for PUSAN Combined Cycle Power Plant", 1998
3. GE " State-of-the-Art Technology Seminar" , 1998
4. Enter Co. " GateCycle User guide Book"

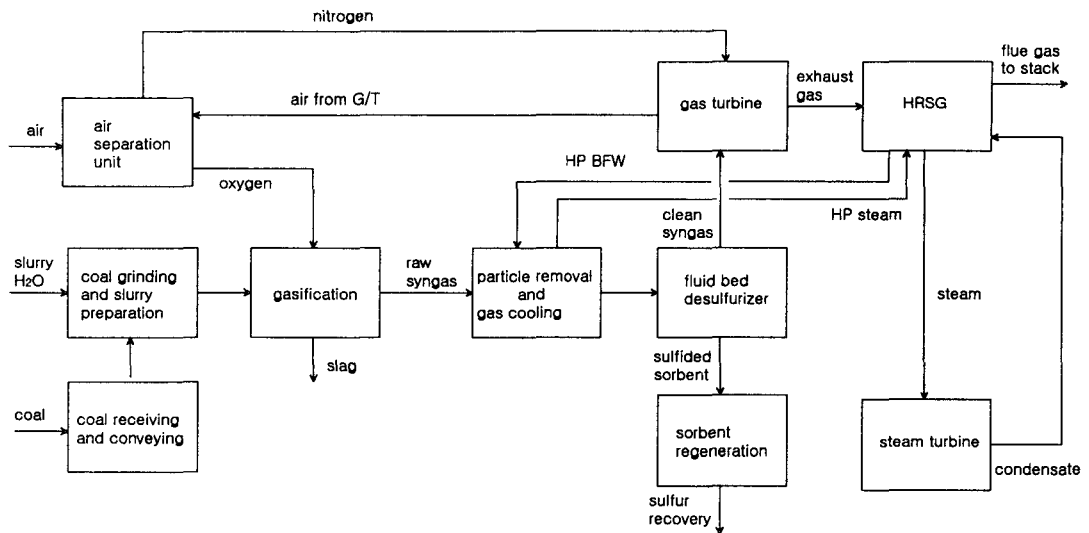


Fig. 1 HGCU IGCC Process Block Diagram

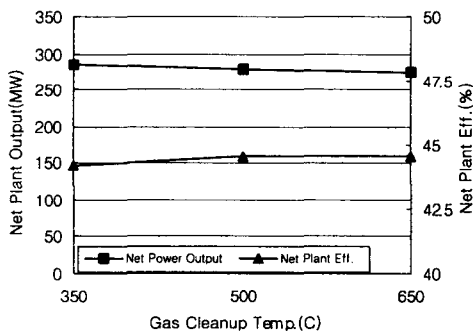


Fig. 2 Gas Cleanup Temp vs. System performance

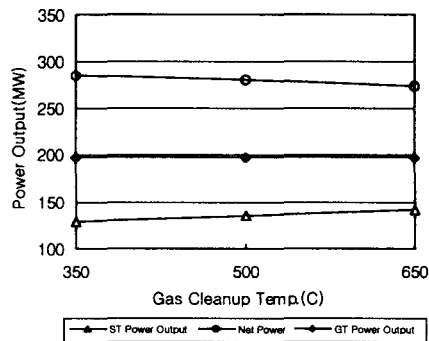


Fig. 3 Gas Cleanup Temp. vs. Power Out

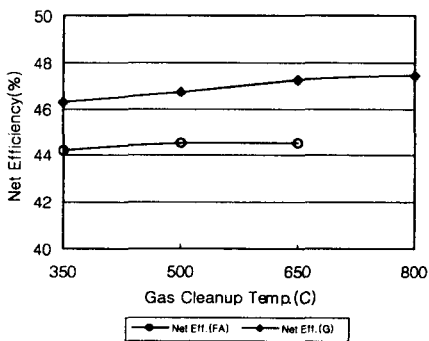


Fig. 4 GT type vs. System Eff.

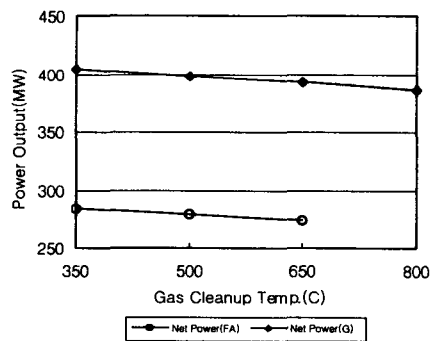


Fig. 5 GT Type vs. Net Power Output