

고온정제 IGCC 시스템 성능 해석에 관한 연구

이윤경*, 서석빈, 안달홍
한국전력 전력연구원

Plant performance analysis for IGCC employing HGCU

Yunk Kyoung Lee*, Seok Bin Seo and Dal Hong Ahn
Korea Electric Power Research Institute

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 이루어지고 있으며 특히 미국 에너지성에서는 2000년까지 플랜트 효율 45%의 건식 고온정제를 채용한 IGCC 시스템을 개발 중에 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 연구에서는 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.

본론

IGCC 시스템 성능분석을 위해 본 논문에서 대상 공정으로 Texaco 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 Full Heat Recovery가스화기, Oxygen-blown, Slurry Feed
Gas Cleanup	Hot gas desulfurization, Zinc Titanate sorbent,
Gas Turbine	GE 7FA and GE 7H
Steam Cycle	3 pressure level, Reheat
Air Separation Unit	Cryogenic separator

가. 가스화 공정 모사

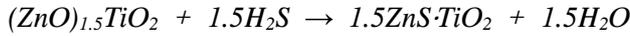
가스화공정모델은 박 등[1]이 수행한 ASPEN PLUS 모델을 사용하였으며, 본 연구에서 고온정제를 채용함에 따라 가스냉각등 일부 계통구성이 상이한 부분을 보완하였으며 복합블럭과의 물, 증기 및 공기 연계부분은 복합사이클 성능분석 상용코드인 GateCycle

code와 데이터 교환이 되도록 하였다.

나. 고온정제공정모사

고온탈황공정에서 ZInc Titanate 의 주요반응은 다음과 같다.

Sulfidation

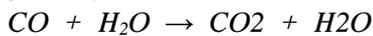


Regeneration

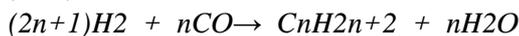
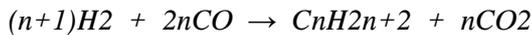


실제 탈황반응기내에서 일어나는 화학반응은 단순한 sulfidation 뿐만아니라 다양한 조성들간의 상호 반응을 포함한다. 따라서 탈황제 혹은 구성상의 차이를 반영하기 위해 모델에 각각의 조건에서 특성적으로 발생하는 현상을 구현하여 반응후 생성되는 clean gas 조성에 반영하도록 하였다. 특히 주요반응 이외에 고려되어야 할 반응은 다음과 같으며 이는 반응기 모델에 각각 반영되었다.

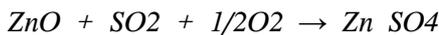
water-gas shift reaction



methanation



sulfation



다. 가스터빈 및 복합사이클 모델링

가스터빈 모델은 GE 7FA 및 GE 7H 가스터빈을 대상으로 모델링하였으며 설계 제원은 Table 2와 같다.

Table 2. Gas turbine data

Model	Power Output(MW) (Syngas Firing)	Pressure Ratio	Air Flow (Kg/sec)	TRIT(°C)
GE 7FA	197	13.5	416.5	1,260
GE 7H	340	23.0	492.3	1,357

가스터빈 성능예측은 제작사의 설계데이터로부터 시스템적인 방법을 사용하였으며 상용코드인 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.

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

P : expander inlet pressure

T : expander inlet temperature

A : critical area

K: constant

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

라. 복합사이클 모델

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 설계조건에 성능예측은 GE 증기터빈 성능데이터(Spencer, Cotton and Cannon; SCC)에 기초하였다.

3. 결과 및 분석

GE 7FA 및 GE 7H 가스터빈을 채용한 고온정제 IGCC 시스템에 대해 정제공정 운전온도에 따른 시스템 성능을 예측한 결과는 Fig. 2~ Fig 5 과 같다. GE 7H 가스터빈을 사용할 경우 시스템 출력 및 효율은 고온정제 온도 350°C에서 458MW, 46.02%로서 GE 7FA 가스터빈 채용시 276MW, 43.27% 보다 출력 182MW, 효율 2.75%가 상승한 것으로 나타났다. 한편, 정제공정 온도가 상승함에 따라 시스템의 순출력(Net Power output)은 일정하게 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 Fig. 2~3에서 보는 바와 같이 정제온도 상승에 따라 고온정제 운전온도로 냉각시키는 가스냉각기에서 가스화기로부터 나온 가스의 현열 회수량이 감소되어 증기발생량 감소로 인한 증기터빈 출력이 감소되기 때문으로 판단된다. 또한, Fig. 4와 같이 순출력의 감소율이 GE 7FA Case에 비해 GE 7H Case의 경우가 높게 나타났으며 이는 가스터빈에 공급되는 Synags 의 유량의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

시스템 효율은 고온정제 온도가 높아질수록 비례적으로 증가하는 경향을 보였으며 Fig. 5 와 같이 효율증가비율은 GE 7H Case 가 GE 7FA Case 에 비해 높게 나타났다. 이는 순출력 변화와 마찬가지로 고온정제온도 변화에 따라 가스터빈에 공급되는 연료유량의 변화 차이에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 가스터빈 성능이 우수할수록 고온정제 온도 상승의 효과를 보다 더 얻을 수 있을 것으로 분석된다.

결론

고온 정제를 채용한 차세대 IGCC 시스템의 연계연구의 하나로써 고온정제 온도에 따른 IGCC 시스템 성능을 분석하였다. 이를 위해 대상공정을 설정하고 정제온도에 따른 시스템 성능과 두 가지 타입의 가스터빈을 적용시 시스템 성능모사를 수행하였다.

그 결과 정제공정온도가 상승함에 따라 시스템의 순출력(Net Power output)은 일정하게 감소하는 경향을 보이며 순출력의 감소비율은 GE 7FA Case에 비해 GE 7H Case의 경우 감소비율이 높게 나타났다. 또한 시스템 효율은 고온정제 온도가 높아질수록 비례적으로 증가하는 경향을 보였으며 그 비율은 GE 7H Case 가 GE 7FA Case 에 비해 고온정제 온도에 더 민감한 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"

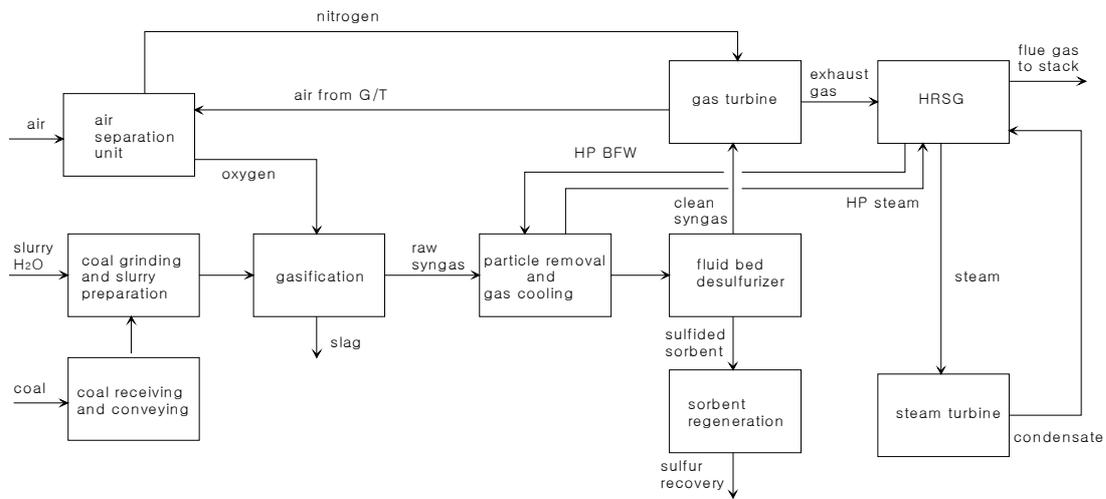


Fig. 1 HGCU IGCC Process Block Diagram

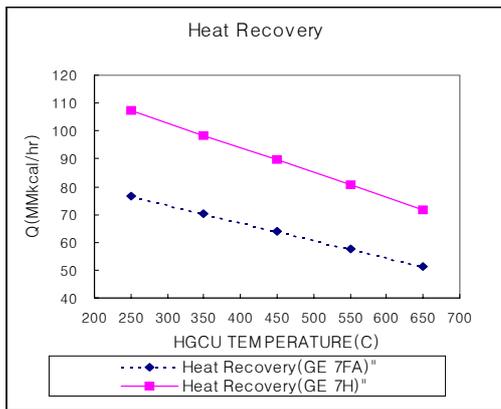


Fig. 2 Heat Recovery at Syngas Cooler vs. HGCU Temperature

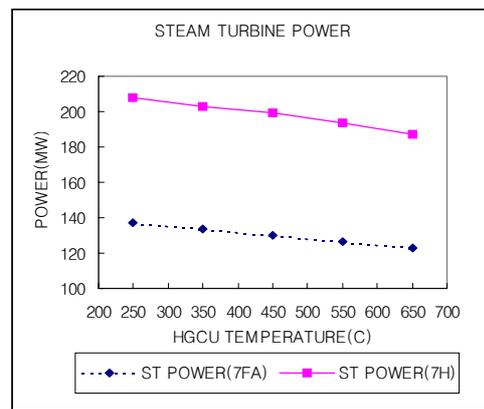


Fig. 3 Steam Turbine Power vs. HGCU Temperature

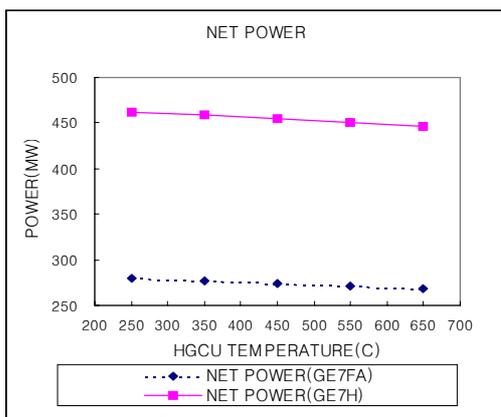


Fig. 4 Net Power vs HGCU Temperature

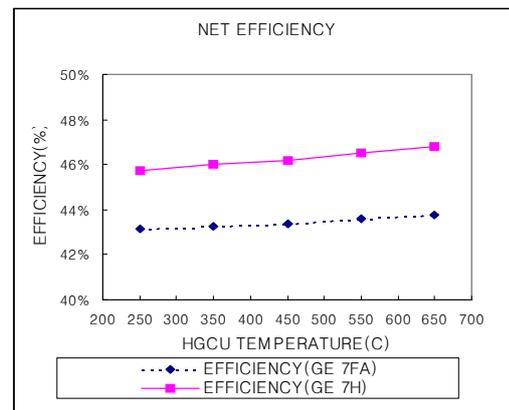


Fig. 5 Net Efficiency vs. HGCU Temperature