

한국에너지공학회(2001년도)  
추계 학술발표회 논문집 P51~55

## 중잔사유 가스화 IGCC 플랜트의 성능 최적화

이찬, 서제영, 윤용승\*, 이승중\*

수원대학교 환경청정기술연구센터/기계공학과,  
\* 고등기술연구원 플랜트엔지니어링 센터

### Performance Optimization of Heavy Residue Oil IGCC Power Plant

Chan Lee, Je Young Seo, Seung Jong Lee\* and Yongseung Yun\*  
Center for Environmental & Clean Tech./Dept. of Mech. Eng., Univ. of Suwon  
\* Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering

#### 초 록

정유공장에서부터 발생하는 중잔사유를 이용하는 가스화 복합발전 플랜트에 대한 공정모사를 수행하였고, 공기분리장치의 연계공정 최적화를 통해 IGCC 플랜트의 효율을 극대화하였다. 가스화 복합사이클의 발전계통을 모델링하기 위해, 본 연구는 MS7001FA 가스터빈이 공기분리장치와 연계되어 있고, 공기분리장치를 위한 공기 추출과 공기분리장치로부터 질소회석이 이루어진다고 가정하였다. 가스터빈의 폐열은 삼중압력의 폐열회수 증기발생장치로부터 회수하였다. 정유공장 중잔사유는 Shell 가스화 및 Sulfinol-SCOT-Claus 공정을 거쳐, 합성가스 연료를 발생시키는 것으로 가정하였다. 공기분리장치의 연계 공정 최적 결과는 가스화 복합사이클의 효율이, 질소 회석이 없는 경우와 있는 경우에 대해, 공기추출비 20% 또는 40-60%에서 가장 우수함을 보여주었다.

#### 1. 서론

정유공장에서 원유 정제 과정 후 남는 찌꺼기인 중잔사유(heavy residue oil)는 원유의 정제과정을 거치며 남게 되는 유황 및 중금속 성분등을 포함하는 일종의 폐유로서, 아직까지는 주로 도로포장을 위한 아스팔트의 원료나 저급의 석유연료와의 혼합등에 사용되고 있는 실정이다. 그러나 최근들어 중잔사유를 가스화하여 정제한후 복합발전소의 연료로 사용하여 전기를 얻고 동시에 수소도 생산 가능한 가스화복합사이클(IGCC: Integrated Gasification Combined Cycle)기술을 응용함으로써, 정유공장에 필요한 전기와 수소를 자체 생산할 수 있다. 이러한 이유로, 미국, 일본 및 이태리등과 같은 기술선진국에서는 중잔사유를 이용한 IGCC 발전소를 다수 건설하여 운전하고 있으며, 국내의 정유회사들도 대체에너지 관점에서 IGCC 도입을 적극적으로 검토하고 있는 실정이다.

본 연구는, 국내 중잔사유 IGCC 기술 개발의 초기 시도로서, 중잔사유 가스화 연료를 이용한 복합발전 계통의 공정 설계를 수행하였고, 공기분리장치와의 연계 공정 설계 개념 및 변수에 따른 복합발전 계통의 성능, NOx 배출량 및 안정성을 평가하였으며, 최적의 공기분리장치와 복합발전계통 간의 연계 공정설계 조건을 제시하였다.

## 2. 공정 설계 및 성능 모사

Fig.1 은 중잔사유를 가스화하여 활용하기 위한 IGCC 공정의 구성도를 보여주고 있다. 그림에서 보여지듯이, 정유공장의 중잔사유는 산소와 반응하여 조생가스(Raw syngas)를 생성하고, 가스중의 산성가스 성분( $H_2S$ ,  $COS$ )을 제거한 후 가스터빈 연료로 사용된다. 가스터빈은 가스 연료를 태워 전기를 생산하고, 가스터빈의 배기가스 폐열은 폐열회수장치(HRSG)에서 증기를 생산하여 증기터빈을 돌려 전기를 추가적으로 생산한다.

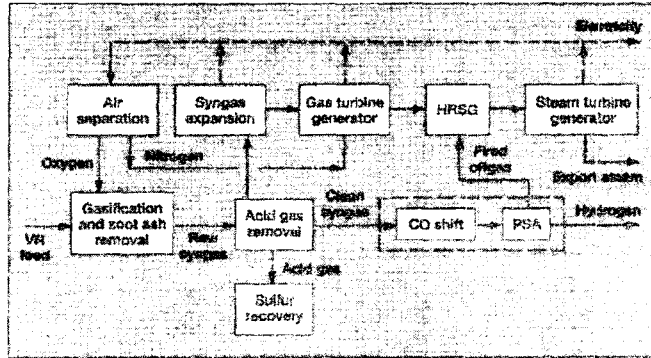


Fig.1 Schematic Diagram of Heavy Residual Oil IGCC Power Plant

본 연구에서는, 중잔사유 가스화 공정으로 상용화 공정인 Shell 공정을 사용하였고, 조생 가스 중 산성가스 제거공정으로는 Sulfinol 공정을, 탈황공정으로는 SCOT-Claus 공정을 사용하였다[2]. 이러한 화학 공정설계 및 모사는 ASPEN Plus 코드를 이용하였다. 본 연구에서 사용한 중잔사유인 Visbreaker residue 에 대한 원소분석 결과와 가스화 및 산성가스 제거공정을 거친 후의 연료 가스의 조성과 발열량이 Table 1 과 Table 2 에 각각 나타나 있다[3].

Table 1 Ultimate Analysis of Visbreaker Residue

Ultimate Analysis (wt %)	Visbreaker Residue
Carbon	85.27
Hydrogen	10.08
Nitrogen	0.30
Sulfur	4.00
Oxygen	0.20
Ash	0.15

Table 2 Composition and Heating Value of Clean Syngas Fuel

Composition (Vol %)	Visbreaker Residue
H <sub>2</sub>	45.50
CO	50.28
CO <sub>2</sub>	2.25
H <sub>2</sub> O	0.19
CH <sub>4</sub>	0.50
N <sub>2</sub>	0.40
Ar	0.88
LHV(kJ/kg)	15729.8

가스터빈은 General Electric 사의 MS70001FA 모델을 사용하였고, 폐열회수장치 및 증기사이클은 저압, 중압, 고압의 증기를 생산, 활용하는 3압설계 방식을 적용하였고, 터빈은 재열 방식을 채택하였으며 HRSG 배기가스의 배출온도는 최하 100 °C 로 제한하였다[4]. 그리고 이러한 가스터빈-증기사이클 복합발전계통의 설계는 플랜트 전용 해석 코드인 GateCycle을 이용하였으며, 이때 가스터빈의 연료조건은 Table 2 의 결과를 사용하였다. Fig.2 는 본 연구에서 고려한 IGCC 플랜트의 복합발전 계통의 시뮬레이션 모델을 보여주고 있다.

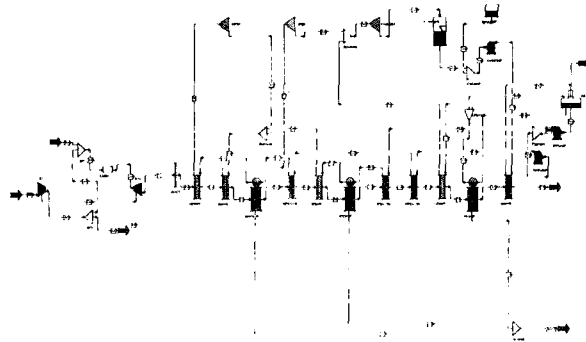


Fig.2 Simulation model of heavy residue oil IGCC power plant

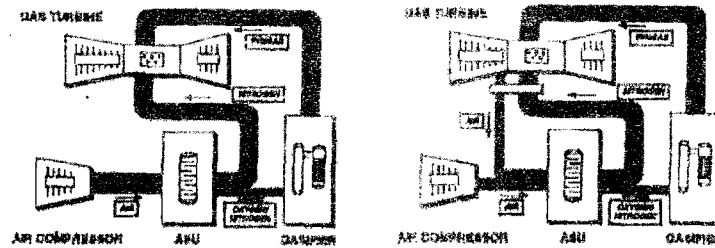


Fig.3 Nitrogen and air integration design concept between gas turbine and air separation unit

Fig.3 은 중잔사유 IGCC 플랜트의 주요한 특징 중의 하나인 공기분리장치(ASU)와의 연계설계로, 가스터빈에서 추출된 공기와 별도의 공기 압축기에서 공급되는 공기를 ASU에서 산소와 질소로 분리한 후, 질소는 다시 가스터빈 연소기로 유입시키고 산소는 중잔사유 가스화의 산화제로 사용한다. 이때, 질소의 유입은 가스터빈 연소기의 질소회석을 통해 NOx 저감에 기여하며, ASU 에 필요한 전체 공기량 중 가스터빈으로부터 추출되는 공기의 양을 공기추출비라 한다. 공기추출비는 IGCC 플랜트의 성능 향상에 매우 주요한 변수이므로, IGCC 플랜트의 공정설계를 위해서는 공기추출비의 최적화가 필수적이다.

### 3. 모사 결과 및 고찰

Figs.4-6 은 중잔사유 가스화 복합 플랜트의 출력 및 효율의 모사결과들을 보여주고 있다. Fig.4 에서 볼 수 있듯이, 공기 추출비의 증가는 가스터빈의 출력 감소를 수반하여 이로 인해 전체 플랜트의 출력도 저하되는 경향을 보인다. 또한, Fig.5 에서 보여지듯이, ASU에서 재유입되는 질소의 회석은 가스터빈의 출력 증가 와 증기터빈 출력 감소를 동시에 야기시키나, 전체적으로는 질소 회석이 없는 경우에 비해 약 10% 가량의 출력 향상을 가져온다. Fig.6 에서 보여지듯이, 전체 복합발전계통의 효율은 질소회석이 없는 경우에는 공기 추출비 20% 조건에서 가장 높으며, 질소회석이 있는 경우에는 공기 추출비 40-60% 범위 내에서 가장 최적의 상태임을 알 수 있다. 그리고, 전체 복합발전 계통의 효율은 약 50-52% 사이의 값을 보여주고 있다. 참고로 IGCC 플랜트의 보조 부하 및 에너지 손실이 전체 출력의 약 10% 입을 감안하면, 실제 IGCC 플랜트 효율은 45-47% 수준일 것으로 추산된다.

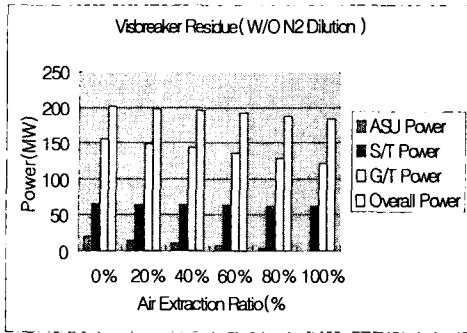


Fig.4 Power Outputs and Consumption of Heavy Residue Oil IGCC Power Plant without N<sub>2</sub> Dilution

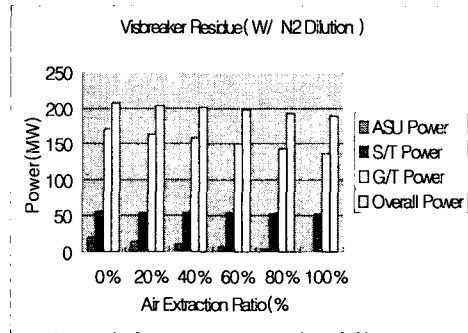


Fig.5 Power Outputs and Consumption of Heavy Residue Oil IGCC Power Plant with N<sub>2</sub> Dilution

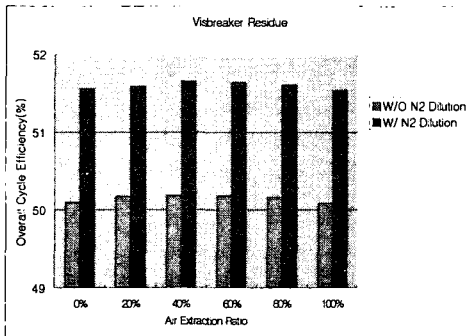


Fig.6 Overall Cycle Efficiency of Heavy Residue Oil IGCC Power Plant

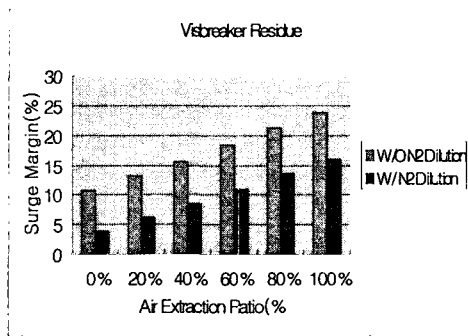


Fig.7 Surge Margin of Heavy Residue Oil Residue Oil IGCC Power Plant

Fig.7 은 가스터빈의 작동 압력에 따른 썬지 마진을 보여주고 있다. 공기 추출비의 감소와 질소회석으로 인해 가스터빈의 작동 압력이 상승되고, 이로 인해 가스터빈의 안전한 운전 여유범위를 나타내는 썬지 마진도 급격히 줄어들어 최소 3% 까지 근접함을 볼 수 있다. 일반적인 가스터빈의 썬지 마진이 10% 이상으로 설계됨을 감안한다면, IGCC 플랜트의 공기 추출비도 질소 회석이 있는 경우에 대해서는 50% 이상이어야 안전한 가스터빈 작동이 보장되어 진다.

#### 4. 결론

정유공장 중간사유를 활용을 위한 가스화 복합발전 계통의 공정 설계 및 모사 기법을 제안하였고, 이를 Visbreaker residue 에 적용하여 보았다. 공기 추출비의 감소와 질소회석을 통해 복합 플랜트 출력의 향상이 가능하며, 전체 효율은 질소 회석이 없는 경우에는 약 20% 공기 추출비 조건에서, 질소 회석이 있는 경우에는 40-60% 공기 추출비 범위에서 최적의 값을 보였다. 공기 추출비의 감소와 질소회석이 동시에 이루어지는 경우, 가스터빈의 압축비 상승과 더불어 썬지와 같은 운전 불안정성이 유발될 가능성이 높아진다.

#### 후 기

본 연구는 고등기술연구원의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 관계자들에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Schulman, B.L. and Dickenson, R.L., ACS Spring Nat'l Meeting Procd., 463(1993)
2. Liebner, W. and Hauser, N., EPRI Gasification Conference, (1996)
3. 이승죽 외, HWAHAK KONGHAK, Vol.37, No.5, 775(1999)
4. Baily, F.G., GER-3720B, General Electric, (1993)