

## 텍사코 가스화기 적용 석탄가스화 복합발전소 계통 최적화 연구(I)

조상기, 김종진, 서석빈, 이윤경  
전력연구원

### A Study on System Optimization of Texaco Gasifier Based IGCC(I)

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

#### 1. 서론

석탄가스화복합발전시스템 설계기술 개발 연구의 일환으로 상용 공정설계 프로그램인 Aspen Plus, Tsweet, Gatecycle을 이용하여 계통구성 최적화 연구를 수행하였다.

석탄은 대동탄(Tatung Coal)을 사용하였으며 그 성상은 <표 1>과 같다. 대동탄은 국내 화력발전설비에서 사용되고 있는 모든 석탄을 대상으로 석탄의 특성에 따른 가스화 반응특성을 분석한 결과, 석탄가스화에 가장 적합한 성상으로 나타난 바 있다. Texaco가스화기는 석탄가스냉각을 위해 복사형 증기발생기(Radiant Syngas Cooler) 및 대류형 증기발생기(Convective Syngas Cooler)를 구비한 FHR(Full Heat Recovery)방식과 생성가스를 수냉하는 Quench방식으로 구분할 수 있는데, 본 연구에서는 고가인 증기발생기를 줄임으로써 설비를 단순화할 수 있는 Quench형을 대상으로 하였다. 저온정제공정은 General MDEA공정을 채택하였고, 극저온(Cryogenic) 공기분리공정, GE MS 7001 FA 가스터빈을 채용하여 계통을 구성하였다. 선택된 공정을 대상으로 먼저 각 단위공정 모델을 개발하였으며 열성능설계 절차에 따라 각 모델간 데이터 교환 및 integration을 통해 열 및 물질수지를 계산하고 계통구성도를 작성하는 순서로 수행되었다.

본 연구는 300MW급 IGCC 발전소의 계통 최적구성을 목표로 설계기준을 정하고 각 단위공정의 Option Study를 수행 후 시스템 최적화 연구를 수행하여 설계 기준 및 목표를 만족하는 최적 시스템 구성을 도출하는 것이 목적이었다.

#### 2. 공정개요

본 연구의 대상 공정으로 선택한 Texaco 가스화기는 Slurry석탄 공급 방식이며, 산화제는 95%순도의 산소를 사용하였다. 석탄 미분, 가압/급탄 계통에서 석탄을 Grey Water (Slag Handling 및 Scrubber계통수)와 함께 Grinding Mill에 넣어 Slurry를 만들고 이 Slurry를 가스화기로 공급하며, 가스화기에 공급 전에 Slurry를 저압 증기를 이용하여 121.1℃까지 가열한다.

가압된 미분탄 및 산소는 버너를 통하여 가스화기로 공급되며 온도 1429℃, 압력 70 Kg/cm<sup>2a</sup> 조건에서 가스화 되도록 하였다. 조업 조건중 가스화기 압력은 효율향상을 목적으로 가스화기공정사의 설계 Data 및 상용 가스화기 조업조건 분석을 통해 통상 25~30 Bar 정도에서 70 Bar로 상승시켰다. 가스화기의 압력을 상승시킴에 따라 설비가 보다 Compact하고 압력강하시 Expander에서 추가로 전력을 생산하게 됨으로써 효율향상이 가능해졌다.

Raw Syngas는 가스화기 하부의 Water Bath로 들어가서 약 250℃까지 급냉(Quench)

된다. 석탄중에 함유된 회는 용융되어 슬래그로 전환된 후 가스화기 하부에 위치한 Water Bath로 흘러 내려 고형화 되어 외부로 배출된다.

냉각된 석탄가스는 제진공정 및 탈황공정, 가스터빈 질소산화물(NOx) 제어용 질소 및 증기 포화기(Saturator)를 거쳐서 가스터빈에 공급된다.

<표 1. 석탄분석>

구 분		대 상 탄
총 수분함량 ( % )		10.6
발열량 (HHV, kcal/kg)	인수치 기준	6,281
	기건식 기준	6,822
	건식 기준	7,026
공업 분석치 (기건식, wt%)	수 분	2.9
	휘발분	28.6
	탄 소	59.2
	회 분	9.3
원소 분석치 (건식, wt%)	C	73.5
	H	4.1
	O	11.7
	N	0.9
	S	1.1
	회분	8.7
	Cl	350 ppm
회용점 온도 (℃, 환원조건)	I.D.T.	1,307
	F.T.	1,362
Hardgrove Index (HGI)		56.0

### 3. 설계기준 및 계통구성

본 연구의 목적은 IGCC 발전소 건설에 대비하여 현재의 기술수준에서 최선의 설비구성을 도출하는 것이므로 타발전 방식대비 경제적 경쟁력(Cost Effective) 및 기술적 신뢰도가 확보되도록 목표를 설정하였다. 첫째, 균등화 발전원가(LCOE)는 탈황설비를 구비한 미분탄 화력 발전소(PC+FGD)와 동등 또는 낮은 수준이 되어야 하고, 둘째, 이용율(Availability)은 미분탄화력 발전소(PC+FGD)와 동등 또는 그 이상이어야 하며, 셋째, 사용하는 공정 및 기술은 이미 상업적으로 증명된 것만을 대상으로 한다는 것이다. 이에 따라 설계 목표치를 아래 <표 2>와 같이 설정하였다.

<표 2. 설계 목표치>

항 목		기준값
기준효율(Net, HHV, %)		40 이상
환경기준	SOx	60(@6% O2)
	NOx	100(@6% O2)

설비용량은 300MW급으로서 가스화기, 가스터빈 및 증기터빈이 각각 1대로 구성되어 있다. 설비운영은 기저 및 중간부하로 운영되는 것으로 설정하였다. 가스화기는 상업화 정도가 높고 저비용의 Quench type High pressure(약 70bar)가스화기를 채용하였다. 제진 설비는 경제성 및 유지보수 편의성을 고려하여 수세정(wet scrubber) 방식을 적용하였다. 탈황율을 높이기 위한 가수분해설비를 채택하였으며 향후 경제성을 고려하여 경우에 따라서는 생략이 가능하도록 설비를 구성하였다. 산성가스 제거설비(acid gas removal)는 경제성, 운전비 및 황화수소(H2S)에 대한 선택적 흡수성을 고려하여 General MDEA공정을 적용하였다.

가스터빈은 Tampa IGCC발전소등 실증플랜트에서 성공적으로 운전중인 GE 7FA를 선택

하였고, 복합사이클 설비 최적화 연구를 통해 배열회수보일러(HRSG)는 3압, 비조연, 재열 방식을 채택하고 주증기 조건은 103kg/cm<sup>2</sup>, 538℃로 선정하였다.

#### 4. 시스템 최적구성 분석

Quench 가스화공정은 고온의 현열을 회수하는 설비(Syngas Cooler)가 없어 투자비가 적은 반면, 열회수방식(FHR: Full Heat Recovery) 가스화공정에 비해 효율이 낮다. 그러나 저온의 열원이 풍부하기 때문에 이를 최대한 이용하는 것이 효율을 상승시키는 방법이다. 본 연구에서는 quench 가스화공정설계를 위한 설계기준과 이 저온의 열원을 효과적으로 이용하기 위한 9가지 계통구성을 설정하고 이들에 대한 성능을 비교 분석하였다.

<표 3. 계통구성 비교>

구 분	Expander 위치	Saturator	N2 가열기	Air Extraction
CASE 1	AGR 후단	설치	NO	NO
CASE 2	AGR 후단	설치	설치	NO
CASE 3	AGR 전단	설치	NO	NO
CASE 4	AGR 전단	설치	설치	NO
CASE 5	AGR 전단	NO	NO	NO
CASE 6	AGR 전단	NO	설치	NO
CASE 7	AGR 후단	설치	설치	YES
CASE 8	AGR 전단	설치	설치	YES
CASE 9	AGR 전단	NO	설치	YES

Expander 설치 위치는 탈황설비(AGR) 전단에 설치하는 것이 타당하다고 분석되었다.

<표 4. Expander 위치 장단점 분석>

구 분	AGR 후단	AGR 전단	비 고
열성능	불리	유리	AGR 전단에 설치시 Expander 입구 유량, 온도, 압력이 크므로 Expander 출력이 큼.
경제성	유리	불리	AGR 전단에 설치시 Expander 크기가 커지므로 설치비용증가
재질	유리	불리	AGR 전단에 설치시 Expander 유입 가스중의 산성가스 함유량이 높음.
신뢰성	불리	유리	AGR 전단에 설치한 사례

산소생산설비로부터 공급되는 질소를 가열하여 가스터빈에 공급하는 열환기 설치유무를 분석한 결과 설치하지 않는 것이 유리한 것으로 분석되었다.

<표 5. 질소가열기 有無 장단점 분석>

구 분	N2 HTR 有	N2 HTR 無	비 고
열성능	유리	불리	N2 HTR 설치시 가스터빈으로 유입되는 질소가스 온도가 높아져 가스터빈 입열량이 적어지나 복합발전블록에서 열원공급으로 인하여 증기터빈 출력 감소. 효율 차이 거의 없음
경제성	불리	유리	N2 HTR 및 관련 배관 설치비용 증가
재질	유사	유사	
신뢰성	유사	유사	

가스터빈으로부터 압축된 공기를 추기(Air Extraction)하여 산소생산설비(Air Separation Unit)에 사용하는 것이 타당한 것으로 분석되었다.



아래 <표 8>에 종합 성능 분석치를 정리하였다. 또한 Quench Type과 FHR Type의 주요 데이터를 비교할 수 있도록 하였다. Reference 데이터는 해외 엔지니어링사에서 수행한 텍사코 열회수방식(FHR) 300 MW IGCC 타당성 연구 결과이다.

<표 8. 종합성능비교표>

ITEM	Quench Case	Reference
AMBIENT TEMPERATURE, ℃	15.0	15.0
COAL FEED TO GASIFIER, Kg/Hr	94,202	93,270
TOTAL HEAT INPUT TO GAS PLANT(HHV),kCal/h X 10 <sup>6</sup>	593.6	586.8
COLD GAS EFFICIENCY, %	78.6	77.96
HEAT INPUT TO GAS TURBINE(LHV),kCal/h X 10 <sup>6</sup>	430.6	428.4
NITROGEN INJECTION TO GAS TURBINE, Kg/Hr	246,196	253,600
STACK EXHAUST TEMPERATURE, ℃	109.5	118.5
GAS TURBINE OUTPUT, MW	196.9	207.2
STEAM TURBINE OUTPUT, MW	116.0	138.4
EXPANDER OUTPUT, MW	8.6	-
GROSS POWER OUTPUT, MW	321.5	345.6
ASU POWER CONSUMPTION, MW	32.3	42.0
TOTAL AUX. POWER, MW	41.5	51.2
NET POWER OUTPUT, MW	280.0	294.3
PLANT THERMAL EFFICIENCY(HHV), %	40.6	43.1

## 5. 결론

300MW IGCC 발전소의 최적구성을 위해 상용 설계 프로그램인 Aspen Plus, Tsweet 및 Gatecycle을 이용하여 Case Study를 수행하였다. 이를 위하여 기술적으로 신뢰성이 높으면서도 경제성이 우수한 Texaco(미)사 Quench Type가스화기를 채용하고, 목표효율 달성을 위해 물·증기 및 공기 Integration 최적화 연구를 수행한 결과, Expander위치는 탈황설비 전단, 질소가열기는 채택하지 않으며, 가스터빈으로부터 압축된 공기 추기(Air Extraction) 공정 채택, 가스터빈 배가스의 질소산화물(NOx) 저감을 위한 연료 포화기는 설치하는 것이 타당한 것으로 분석되었다.

본 연구 결과를 토대로 향후 선진외국의 설계자료 입수 및 시험, 연구를 통하여 항상 첨단 연구결과 및 운전경험이 반영된 최적 IGCC 계통구성이 이루어질 수 있도록 지속적으로 보완할 예정이다.

## 참고문헌

1. "300Mw 급 IGCC 기술성 및 경제성분석", KEPRI
2. "석탄가스화 복합발전기반기술개발 년차보고서", KEPRI
3. "Fundamentals of Coal Combustion", L.Douglas Smooth, Elsevier
4. "IGCC study", Texaco, 1997
5. "IGCC 기본 설계서", Parsons Power, 1997