

ASPEN을 이용한 IGCC BSU 실험플랜트의 모사

이승중, 윤용승

고등기술연구원 전력에너지연구실 및 아주대학교 시스템공학과

요 약

본 연구는 상용공정해석용 프로그램으로서 고체 반응물을 포함하고 있는 공정을 해석할 수 있는 ASPEN(Advanced System for Process Engineering) 코드를 이용하여 IGCC BSU 실험플랜트를 모사하고 실제 실험 결과와 비교하였으며, IGCC BSU 시스템을 수정 보완하여 가스정화공정을 도입하고 석탄가스화기에서 생성된 생성가스에 대해 발전 연료로서의 타당성 및 적합성 여부를 살펴보고 이 자료를 토대로 향후 IGCC 플랜트의 scale-up 및 실용플랜트에 대한 이해를 도모코자 한다. 또한 환경적인 측면에서 IGCC BSU에서 방출되는 슬랙, 비산재 및 flare stack을 통한 SOx 및 NOx 등의 방출량을 살펴보았다.

1. 서론

석탄가스화 공정과 복합발전 사이클을 결합한 석탄가스화 복합발전시스템(Integrated Gasification Combined Cycle, 이하 IGCC)은 고효율/청정 시스템으로 기존의 석탄연소 발전방식에 비해 SOx 및 분진은 95% 이상, NOx는 75% 이상 감소 시킬 수 있고 재는 용융된 후 슬랙 형태로 수거되어 공해배출 문제나 열효율 등에서 우수한 특성을 가지므로, 차세대 발전 방식으로 국내외적으로 IGCC 시스템의 상업화를 위한 기초 및 응용 연구가 진행중에 있다. 이미 선진 공업국들은 70년대 석유파동 이후 IGCC 기술의 개발을 활발히 진행하고 있고, 현재 250Mw급 IGCC 상용화 플랜트의 건설 및 가동중에 있으며, 머지않아 상업화에 도달할 전망이다 [1.2]. 최근 전력 수요의 급증과 전세계적으로 확산되고 있는 환경규제의 강화 등으로 국내에서도 우리의 실정에 맞는 IGCC 공정의 개발이 전력연구원, 고등기술연구원 및 에너지기술연구소를 중심으로 활발히 진행되고 있다.

IGCC 시스템은 석탄을 불완전 연소시키면서 수증기를 공급하여 가스를 생성하는 석탄가스화공정, 이 생성가스의 불순물(주로 산성가스)을 정제하는 가스정화공정, 정화된 가스를 1차 발전에 이용하는 가스터빈공정과 이곳에서 배출되는 폐열을 이용하여 2차로 발전시키는 증기터빈공정으로 구성된 복합적 개념의 발전시스템이다. 상기에 명기한 공정 이외에 IGCC 시스템을 구성하고 있는 주요 공정중의 하나로 공기분리공정(Air Separation Unit, 이하 ASU)이 있다.

본 연구는 IGCC 발전 시스템 개발 프로젝트의 일환으로 상용 공정해석용 프로그램으로 고체 반응물이 있는 시스템 모사에 효과적인 ASPEN 코드를 사용하여, 석탄가스화기 개발의 일환으로 현재 실험 운전중인 IGCC BSU 실험플랜트를 모사하고 가스정화공정을 접목시켜 IGCC BSU 실험플랜트에서 생성되는 생성가스의 발전연료로서의 타당성 여부 및 그 적합성 여부를 살펴보고자 한다.

2. IGCC BSU 실험플랜트 구성 장비 및 운전 조건

현재 운전중인 IGCC BSU 실험플랜트는 가스화기 개발에 1차적인 목표를 둔 연구로 정상 운전시 3톤/일의 용량의 소규모 가스화기로서 발전시스템인 가스터빈공정과 증기터빈공정이 제외되어 있고, 대신 가스화 반응으로 생성된 생성가스를 flare stack에서 완전 연소시켜 대기중으로 방출시키는 시스템으로 구성되어 있다. 또한 IGCC BSU에서는 질소 및 산소의 소요 용량이 작아 ASU 공정 대신 질소 및 산소의 저장 탱크를 설치하여 가스화기에 공급하고 있다. 따라서 본 연구는 IGCC BSU 단위의 모델링을 검토하는 과정에서 발전시스템인 가스터빈공정과 스팀터빈공정 및 ASU 공정을 제외한 석탄가스화공정과 가스정화공정을 고려하여 ASPEN 코드를 이용한 모사를 수행하였다.

IGCC BSU 실험플랜트의 대략적인 운전 logic은 다음과 같다. 석탄은 석탄운반장치에 의해 pulverizer로 주입된 후 분쇄된다. 미분화된 석탄은 질소에 의해 공압 수송되어 가스화기로 주입되고 가스화기에서 가스화 반응으로 생성된 생성가스는 가스화기 상단부에서 물분사에 의해 315°C로 냉각된 후 사이클론으로 유입된다. 사이클론에서 생성가스에 함유된 비산재가 제거된 후 flare stack으로 보내지고 flare stack에서 완전 연소되어 대기중으로 방출된다.

본 연구는 ASPEN 코드를 이용한 모델링시 상기 시스템을 고려하여 IGCC BSU 실험플랜트에 대한 모델을 구성하였으며, ASPEN 모델에 대한 계통도를 그림 1에 나타내었다. 가스화기에 공급되는 질소, 산소 및 증기는 가스화기보다 각각 4 kg/cm², 3 kg/cm² 및 3 kg/cm²씩 높은 압력으로 주입된다.

대상으로 한 IGCC BSU 석탄가스화기는 건식석탄주입 산소공급형 가압 분류층 가스화기이고 대상탄은 P탄을 사용하였으며 석탄은 IGCC BSU 운전 용량인 3톤/일로 주입하였다. P탄에 대한 공업분석 및 원소분석치를 표 1에 나타내었다. Pulverizer에서 분쇄된 석탄은 1.50%로 건조되고 질소에 의해 가스화기 측면으로 주입된다. 가스화기에 유입되는 미분탄은 가스화기 내부의 온도로 인해 석탄의 휘발성 물질이 분해되고 가스화기에 유입되는 산소와 혼합되어 가스화 반응을 일으킨 후 석탄재는 고온으로 인해 90% 이상이 슬래크를 형성하고 나머지는 비산재가 된다. 가스화기에서 용융된 석탄재는 가스화기 하단부로 흘러내려 제거되고, 비산재는 사이클론에서 제거된다.

물분사에 의해 가스화기에서 나오는 생성가스를 315°C까지 냉각하는 시스템이므로, 현재 운전중인 IGCC BSU 시스템에는 저온탈황공정이 적합하지만, 고온탈황공정이 저온탈황공정보다 발전효율면에서 우수한 장점이 있으므로, 본 연구는 IGCC BSU 실험플랜트를 수정 보완하여 생성가스를 정제하는 고온탈황공정을 도입한 ASPEN 모사를 수행하였으며, 수정 보완된 대략적인 시스템은 다음과 같다. 가스화기에서 생성된 생성가스는 고압 증기를 만드는 열교환기에 의해서 냉각되어 분진제거 공정인 사이클론을 거쳐 가스정화공정으로 유입된다. 또한 IGCC BSU 실험플랜트에서는 가스터빈을 도입하기에는 생성되는 가스의 용량이 적으므로, CO 및 H₂ 등 환경 문제를 야기할 수 있는 공해가스의 제거를 위하여 flare stack에서 완전 연소시켜 대기중으로 방출시키는 시스템을 반영하였다.

3. 결과 및 고찰

P탄을 사용하여 IGCC BSU 실험플랜트에 대한 실제 운전 조건이 표 2에 나타나 있다. 실제 조업에 사용된 IGCC BSU 실험플랜트의 운전조건 및 utility 주입량을 반영하고 대상탄으로 P탄을 사용하여 수행한 ASPEN 모사 결과와 IGCC BSU 실험플랜트에서 생성된 생성가스의 운전 결과를 표 3에 나타내었다. 표 3의 결과로부터 IGCC BSU 실험플랜트에 대한 ASPEN 모사가 타당성 있는 것으로 판단된다. 또한 표 3의 예에서는 질소의 조성비가 40% 정도로 높았는데 이는 가스화기의 운전 특성을 확실하게 파악하기 전까지는 가스화기의 내부벽을 보호하고, 운전상의 안전을 고려하여 질소를 이론치보다 많게 주입하였기 때문이다.

상기의 ASPEN 모사 결과를 토대로 가스화기 운전조건과 필요 utility들에 대한 최적의 주입량을 표 4에 나타내었다. 표 2와 비교하여 표 4에서는 질소 주입량이 현저히 감소된 것을 알 수 있다. 이 조건하에서 ASPEN으로 모사된 IGCC BSU 실험플랜트의 가스화기 운전온도는 1441℃이며, 가스화기에서 생성된 생성가스는 고온탈황공정으로 유입된다. 본 연구에서 채택한 고온탈황공정의 운전온도는 600℃이고 흡착제는 zinc ferrite를 사용하였으며 DSRP (Direct Sulfur Removal Process) 공정을 도입하여 황 원소를 회수하였다. 고온탈황공정을 통과한 정화가스의 조성 및 발열량을 표 5에 나타내었다. 표 5의 결과에서 정화가스의 발열량이 2500 kcal/m³으로 발전 연료로서의 가치가 우수한 연료가 생성되는 것을 알 수 있다.

IGCC BSU 실험플랜트는 가스터빈을 도입하기에는 생성되는 가스의 용량이 적으므로 본 연구에서는 가스터빈 대신 생성가스를 완전 연소시킨 후 배출되도록 flare stack을 도입하였다. Flare stack에서 방출되는 SO_x와 NO_x 양의 ASPEN 모사 결과를 표 6에 나타내었으며 슬래크 및 비산재(ash)의 생성량, 고온탈황공정에서 회수되는 황원소 회수량을 표 7에 나타내었다.

4. 결론 및 향후 연구방향

이상과 같이 본 연구는 ASPEN 코드를 이용하여 IGCC BSU 단위의 모델링을 수행하였다. 가스정화공정은 현재 IGCC BSU 시스템에 장착된 공정은 아니지만, 본 연구는 가스정화공정을 반영하여 모델링을 수행하였으며, 가스정화공정을 반영한 이유는 가스화기 운전 특성을 파악하여 발전 효율이 좋은 연료가스를 생성하는 것이 IGCC BSU 시스템의 운전 목표중의 하나이므로, 가스정화공정을 도입하여 IGCC BSU 실험플랜트에서 생성되는 생성가스에 대한 적합성 여부를 판단하기 위함이다. 또한 가스정화공정으로 현 IGCC BSU 가스화기 운전에는 적합한 저온가스정화공정을 채택하는 대신, IGCC BSU 시스템의 생성가스 냉각 시스템을 수정하여 발전효율면에서 우수한 장점이 있는 고온가스정화공정을 채택하여 ASPEN 모사를 수행함으로써, 본 연구에서 수행한 자료를 토대로 향후 IGCC 플랜트의 scale-up 및 실용플랜트에 대한 이해를 도모코자 한다. 따라서 본 연구의 결과를 토대로 IGCC BSU 실험플랜트의 다음 단계로 예상되는 50톤/일 용량의 플랜트에 대한 ASPEN 모사를 수행할 예정이며, 이 단계의 모사시 현 시스템을 수정 보완하여 가스터빈을 도입하는 시스템을 모사할 예정이다.

후기

본 연구는 통상산업부 산하 에너지자원개발기술지원센터에서 지원하고, 한국전력연구원이 주관하는 '석탄가스화복합발전 기반기술개발' 과제의 1차년도 사업으로 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. G.D. Zon, "Integrated Coal Gasification Combined Cycle Demonstration Project Buggenum", EPRI conference, October 25-27, 1995.
2. J. Motter, "Advanced Coal-Fired Power Generation Systems", EPRI conference, October 25-27, 1995.

표 1. P탄의 공업분석 및 원소분석 자료

공업분석 (wt%)				원소분석 (wt%)					
수분	휘발분	회분	FC	C	H	N	S	O	Ash
1.58	30.11	9.99	58.32	71.05	3.71	3.61	0.56	10.92	10.15

표 2. IGCC BSU 실제 운전조건 및 각 utility 주입비

운전온도 (℃)	1200
운전압력 (kg/cm ²)	5.0
산소/석탄 질량비	0.710
증기/석탄 질량비	0.010
수송질소/석탄 질량비	0.543
정화질소/석탄 질량비	0.271

(석탄주입량: 3톤/일, 사용탄: P탄)

표 3. 생성가스의 IGCC BSU의 운전 결과 및 동일조건에서의 ASPEN 모사 결과

가스 성분	가스조성 (vol%)	
	IGCC BSU 운전 자료	ASPEN 모사 결과
CO	42.87	42.76
H ₂	11.58	15.91
N ₂	40.31	39.91
O ₂	0.34	trace
CO ₂	4.00	1.24
CH ₄	0.90	0.17

표 4. IGCC BSU 운전조건 및 최적 utility 주입비

운전압력 (kg/cm ²)	31.0
산소/석탄 질량비	0.807
증기/석탄 질량비	0.042
수송질소/석탄 질량비	0.088
정화질소/석탄 질량비	0.099

(석탄주입량: 3톤/일, 사용탄: P탄)

표 5. 정화가스 조성 및 발열량

정화 가스 조성 (vol%)	CO	64.26
	H ₂	23.64
	N ₂	9.30
	O ₂	trace
	CO ₂	2.28
	CH ₄	0.12
	H ₂ S	trace
	COS	trace
	NH ₃	trace
H ₂ O	0.04	
정화가스 발열량 (Kcal/m ³ , LHV)		2,500

표 6. Flare Stack 방출량

SOx 방출량 (ppm)	17
NOx 방출량 (ppm)	18

(석탄주입량: 3톤/일, 사용탄: P탄)

표 7. IGCC BSU 슬랙 및 비산재 생성량

슬랙 생성량 (kg/day)	282
비산재 생성량 (kg/day)	24
황원소 회수량 (kg/day)	16

(석탄주입량: 3톤/일, 사용탄: P탄)

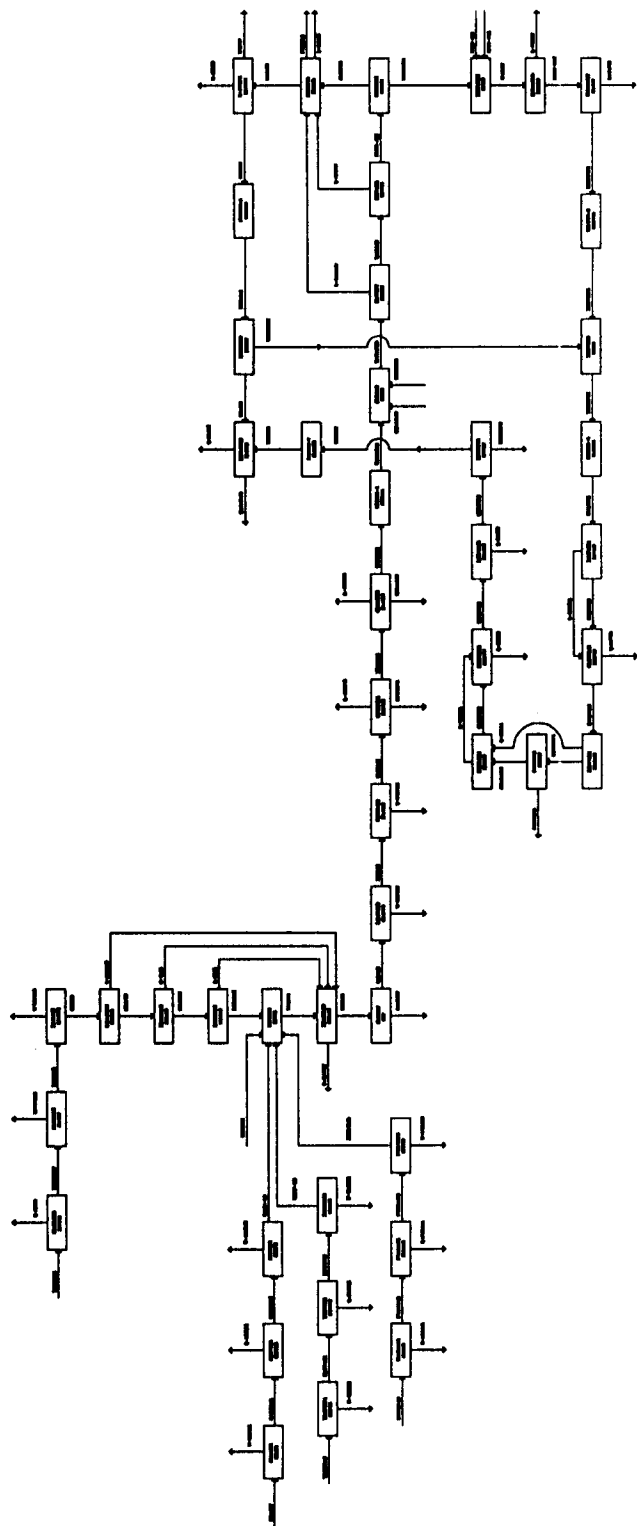


그림 1. IGCC BSU 실험플랜트 ASPEN 모델링 계통도