

Bench Scale 급 석탄 가스화공정의 제어시스템 운용

유희중, 김원배, 임동렬, 윤용승
고등기술연구원 전력에너지연구소

Control System Application for the 3Ton/Day Coal Gasifier Process

Hee Jong Yoo, Won Bae Kim, Dong Ryul Rhim, Yongseung Yun
Institute for Advance Engineering, Electric Power System Lab.

1. 서론

Bench Scale 급으로 하루 3톤의 석탄을 가스화 시킬 수 있는 IGCC(Integrated Gasification Combined Cycle) BSU(Bench Scale Unit) 석탄 가스화공정은 정상상태 조업시 약 1500℃, 30기압의 고온 및 고압의 조건하에서 운전되기 때문에 설정된 운전조건을 안정하게 유지하기 위해서 이러한 조건에 상응하는 안정된 제어시스템의 설계는 매우 중요한 요소이다. IGCC BSU의 주요 공정으로는 석탄분쇄 및 건조, 석탄공급, 가스화반응, 생성가스 냉각 및 처리, 생성된 용융회 및 비산회의 제거등으로 구성되며, 이러한 BSU 공정의 제어시스템 설계를 위해서는 먼저 BSU 공정에 대한 기본적인 해석 및 예측은 필수적으로 수행되어야 하며 개념 및 기본설계를 바탕으로 확정된 BSU의 P&ID(Piping and Instrumentation Diagram)를 바탕으로 필요한 단위공정 설비들을 제어할 수 있는 전계장 설비의 사양이 결정되어야 한다. 일반적인 화학공정 제어에서와 마찬가지로 BSU의 공정제어는 기설정된 판단조건의 변화에 따라 작동되는 순차논리제어(Sequence Logic Control)와 운전조건의 변화에 따라 주어진 설정치를 추적 또는 유지하기 위한 PID(Proportional-Integral-Derivative) 제어를 중심으로 구성되는 feedback, cascade 제어루프를 조합하여 구성되어 있으며, BSU 운전중에 발생할 수 있는 안전운전 범위를 벗어난 비정상 상태에 대하여 BSU의 가동을 중단하기 위한 비상정지제어(Emergency Shutdown, ESD) 논리가 위의 두가지 제어논리의 인터럽트로 작용하도록 구성되어 있다. 본 발표에서는 이러한 개념을 바탕으로 구현된 BSU 제어시스템의 구축 및 설계에 관하여 다루고자 한다.

2. BSU 공정의 개념설계

고온 및 고압하에서 연속공정으로 가동되는 BSU의 안정한 정상상태의 자동운전을 위해서는 이에 상응하는 원료의 안정한 공급 및 가스화기의 정상상태 조건의 유지를 위한 적절한 공정흐름 및 안전을 위한 설계개념은 BSU 공정의 자동제어를 위한 기본설계의 가장 중요한 요소중의 하나로 작용한다. 본 BSU 공정에서 가스화기는 고온 및 고압하에서 운전되기 때문에 전단에서 공급되는 원료 및 기타 물질의 흐름은 가스화기 압력과 비교하여 항상 일정수준 높게 조절되어 공급되어야 하며 이를 위하여 모든 주입시스템의 전단에서는 역압방지를 위한 압력조절을 통하여 공급될 수 있도록 설계되어야 한다.

고온 및 고압하에서 조업되는 가스화기로의 원료탄 공급유량은 4기의 injection 호퍼 스크류의 회전수 조절을 통하여 가스화기의 설정압력에 따라 일정량으로 조절되며 공급된 원료탄은 각각 4기의 공급노즐을 통하여 원료탄의 유량에 따라 일정비로 설정된 유량으로 제어된 수송용 질소를 사용하여 농후상으로 주입될 수 있도록 설계되었다.

이외에 가스화 반응에 필요한 산소 및 스팀과 purge 용 질소의 유량은 주입되는 석탄 및 가스화기의 운전조건에 따라 일정한 비율로 설정되며 설정된 유량은 전단의 압력조절 밸브 및 후단의 유량조절 밸브를 통하여 공급될 수 있도록 설계되었으며 이러한 설계개념을 통하여 확정된 가스화기 주변의 개략적인 P&ID는 Fig. 1. 과 같다.

3. BSU 제어시스템 구성

상기한 IGCC BSU 공정의 자동운전을 위한 제어시스템은 크게 하드웨어와 소프트웨어로 구성되는데 하드웨어로는 운전자가 공정의 상황을 판단하고 제어할 수 있도록 설계된 PC 화면(Operator Console), 안전운전을 위하여 PC 화면과 더불어 사용되는 운전 제어용 콘솔(Hardwired Console), BSU 공정과 중앙제어실 사이의 입출력 및 필요한 연산을 수행하는 PLC(Programmable

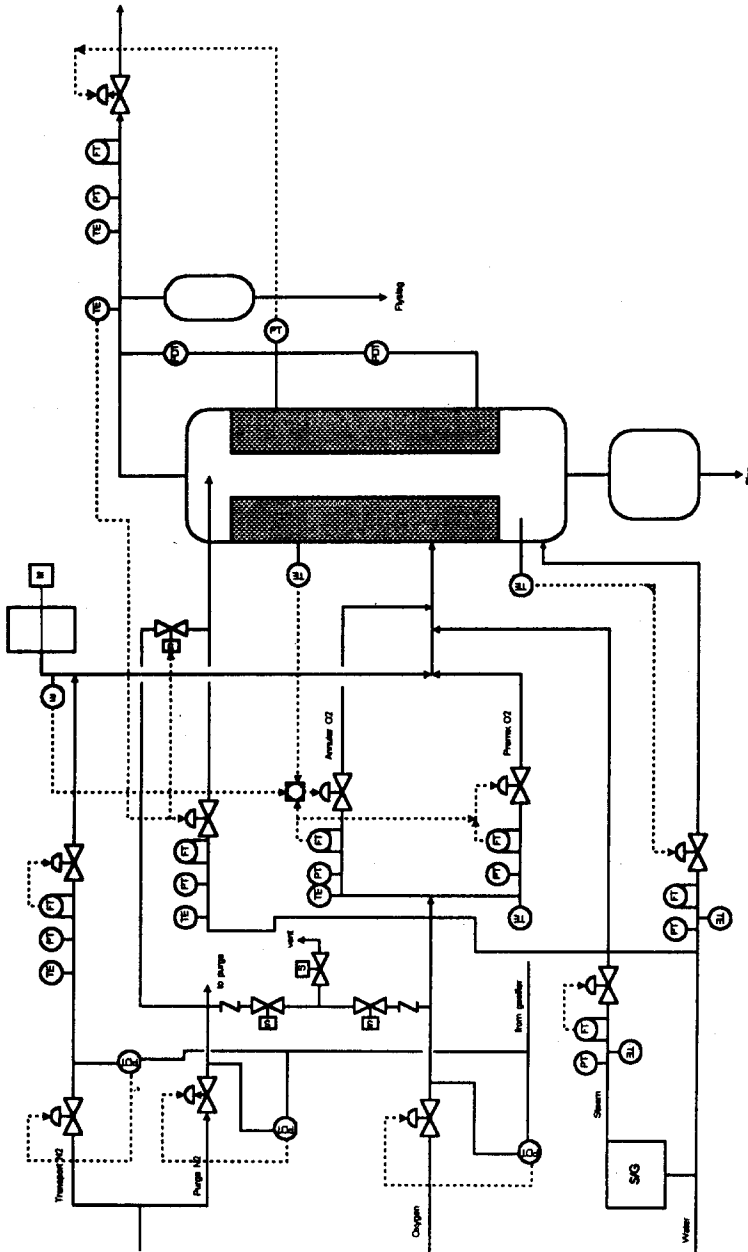


Fig. 1. Simplified P&ID for the 3 ton/day bench scale gasification process.

Logic Controller) 등으로 구성되며, 소프트웨어에는 운전자가 PLC 로 부터 제어되는 공정상황을 파악하기 위한 공정화면과 운전자료를 수집하는 역할을 수행할 수 있도록 구성된다. 이외의 각종 펌프, 모터, 압축기 및 보일러 등 보조설비의 전기공급을 위한 MCC(Motor Control Center)도 하나의 구성원이 되며 이와 같은 BSU 제어시스템의 구성도는 Fig. 2. 과 같다. Fig. 2. 에서와 같이 BSU 의 운전제어용 화면은 Intellution 사에서 공급하는 FIXDMACS S/W 를 사용하여 구성하였으며 이를 이용한 SCADA(Supervisory Control & Data Aquisition) Node 에서는 PLC 와의 통신을 통하여 데이터를 수집하고 공정변수 설정치의 변경 및 밸브등의 조작이 가능하다. VIEW Node 는 독립적인 데이터 수집기능은 없으나 SCADA Node 와 근거리통신망(LAN) 으로 연결되어 SCADA Node 에서 수집된 자료를 저장 및 처리하며 BSU 조업중 중요한 공정변수의 실시간 경향 분석을 수행함과 동시에 BSU 의 운전조작이 가능토록 구성하였다. 본 BSU 제어시스템의 PLC 는 Siemens 사에서 공급하는 SIMATIC TI 545 기종을 사용하였으며 SCADA Node 와 고속통신 모드인 Ti-Way 방식을 선택하여 구성하였다. 기본적으로 구성된 제어프로그램은 PLC 에 program 화 되어 입력되며 이러한 프로그램은 순차제어 및 interlock 을 위한 ladder logic, PID 중심의 제어루프, 운전상황의 이상을 알려주는 alarm 불력 및 기타 측정변수 처리를 위하여 요구되는 연산기능을 담당하는 special function 들로 구성된다.

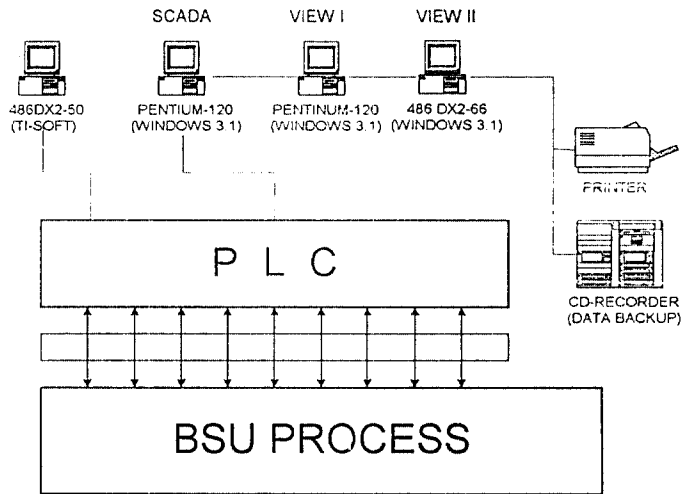


Fig.2. IGCC BSU control system.

4. BSU 공정감시 및 제어

앞서 설명한 바와 같이 기본적으로 BSU 공정의 제어는 기설정된 판단조건의 변화에 따라 작동하는 순차제어와 주어진 설정치를 추적 또는 유지하기 위한 PID 제어를 중심으로 구성된 feedback, cascade 제어 이외에 BSU 조업중 비정상 상태에 대처하기 위한 비상정지 제어논리(interlock)를 포함하여 구성된다.

4.1. 순차제어 대상

BSU 의 순차제어는 정해진 시간에 따라 같은 동작을 반복하는 것과 주어진 조건이 완료됨에 따라 다음 단계로 이동하는 조건제어의 두가지 방식이 각각 혹은 혼합된 형태로 구성된다. 이러한 순차제어논리는 고온 및 고압하에서 가동되는 가스화기의 연속조업을 위한 석탄의 공급공정 및 생성물의 처리공정에 이용되며 PLC 에 Ladder Diagram 으로 program 화 되어 주변장치의 동작을 제어한다. BSU 공정에서 순차적인 조건제어로 작동되는 대표적인 시스템은 미분탄 가압 공급공정, 슬랙 처리공정 및 비산재 처리공정을 들 수 있으며 특히 미분탄 가압 공급공정은 가스화기의 안정된 조업을 위하여 매우 중요한 제어대상이다.

4.2. PID 제어 대상

앞서 설명한 바와 같이 BSU 가스화기 주변의 미분탄 가압공급 및 생성물 처리공정은 대부분 기설정된 판단 및 신호에 따른 순차제어로 작동되며, 이외의 가스화기 운전에 필요한 온도, 압력 및 유량의 제어는 PID 제어를 중심으로 하는 feedback 과 cascade 제어방식을 사용한다. 본 BSU 공정의 제어를 위하여 사용되는 PID 제어기 중심의 제어 loop 중 기본적인 15항목에 대한 명칭과 기능은 Table 1. 과 같으며 이들중 산소 및 수송질소의 유량은 cascade 제어로 PID 방식에 의하여 조절된다.

Table 1. 에 나타낸 각각의 제어 loop 에 대한 PID 제어기 변수의 조정은 기본적으로 각각의 loop 에 대하여 부하 및 설정값의 step 변화에 따른 응답특성으로 부터 얻어진 대상시스템의 동적모델을 이용하여 Cohen-Coon 방법을 사용하여 수행하였으며 이외에 BSU 운전을 통하여 얻어진 경험을 통하여 일부 조정되었다.

Table 1. Feedback control loop for BSU process.

No.	Name	Function
1	Coal	Coal Feed Rate Control
2	Oxygen Press.	O ₂ Supply Pressure Control
3	Premix Flow	Premix O ₂ Flow Rate Control
4	Annular Flow	Annular O ₂ Flow Rate Control
5	Nitrogen Press.	N ₂ Supply Pressure Control
6	Transport	Transport N ₂ Flow Rate Control
7	Steam Temp.	Steam Temperature Control
8	Steam Flow	Steam Flow Rate Control
9	Cooler	Product Gas Temperature Control
10	Quench	Quench Water Flow Rate Control
11	Gasifier Temp.	Gasifier Temperature Control
12	Gasifier Press.	Gasifier Pressure Control
13	Receiver	Water Receiver Level Control
14	Premix Temp.	Premix O ₂ Temperature Control
15	Annular Temp.	Annular O ₂ Temperature Control

4.3. BSU 비상정지 논리

본 BSU 공정의 제어구조에 포함된 비상정지 논리는 순차제어 및 피이드백 제어 구조에 인터럽트로 작용하여 BSU 운전시 발생할 수 있는 위험한 비상상태시 운전을 정지하는 시스템으로 세부사항은 Table 2. 과 같다.

Table 2. Interlock Summary for BSU Process.

Interlock No.	Description
I-1	Gasifier Fault
I-2	Oxygen Shutdown
I-3	Coal Feed Shutdown
I-4	Feed System Isolation
I-5	Coal Transport Fault
I-6	Coal Feed Lock Hopper Fault
I-7	Gasifier Start-up Burner Fault
I-8	Slag Lock Hopper Fault
I-9	Fine Lock Hopper Fault

5. 결론

본 연구를 통하여 BSU 석탄 가스화 공정은 앞서 설명한 바와 같이 BSU 공정의 안정한 운전 및 제어를 위하여 interlock 시스템 및 표준 제어기능을 수행하기 위한 PID 루프를 포함하는 PLC 프로그램을 사용하여 설계되었다. 현재 진행되고 있는 연구를 통하여 본 BSU 공정의 기본적인 감시 및 제어는 운전자의 수동조작이 가능한한 배제될 수 있도록 개선되고 있으며 제어기의 성능

을 충분히 활용하기 위하여 계속되고 있는 BSU 운전을 통한 제어기의 미세한 조절(tuning)을 수행하고 있는 상황에 있다. 향후 기본적인 BSU 공정의 감시 및 제어의 단계가 원활하게 수행된 이후에는 BSU 단위공정별 최적화 및 고급제어, 통계적 방법에 의한 제어 등의 기술들과 공정데이터의 신뢰도 향상 및 물질수지를 맞추기 위한 data reconciliation 알고리즘을 포함하는 상위 제어 시스템 구축 및 최적화로 발전시킬 계획에 있다.

6. 참고문헌

- 1) 고등기술연구원/아주대학교: "석탄가스화 복합사이클 발전시스템 실용화 개발(II)", 2차년도 보고서, 1994.
- 2) 고등기술연구원/아주대학교: "석탄가스화 복합사이클 발전시스템 실용화 개발(III)", 3차년도 보고서, 1995.

감 사

본 연구는 통상산업부산하 에너지자원기술개발지원센터에서 지원하고, 한국전력연구원이 주관하는 '석탄가스화복합발전 기반기술개발' 과제의 1차년도 사업으로 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.