

Bench급 석탄가스화 시스템 제어로직의 최적화

김원배, 조성수, 유희종, 윤용승
고등기술연구원 Plant Engineering 센터

Control Logic Optimization for the Bench Scale Coal Gasification System

Won-Bae Kim, Sung-Su Cho, Hee-Jong Yoo, Yongseung Yun
Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering

1. 서론

IGCC(Integrated Gasification Combined Cycle) BSU(Bench Scale Unit) 석탄 가스화공정은 정상상태 조업시 약 1450℃, 25기압의 고온 및 고압의 조건하에서 운전되기 때문에 설정된 운전조건을 안정하게 유지하기 위해서 이러한 조건에 상응하는 안정된 제어로직의 구성은 매우 중요한 요소이다. IGCC BSU의 주요공정은 석탄분쇄 및 건조, 고압가스 및 석탄 공급, 가스화반응, 생성가스 냉각 및 처리, 생성된 용융회 및 비산재의 제거등으로 구성되며, 이러한 BSU 공정의 연속운전을 통해 제어시스템 구성 및 제어로직 최적화 연구가 수행되었다. BSU의 공정제어는 운전조건 변화에 따라 주어진 설정치를 추적 또는 유지하기 위한 PID(Proportional-Integral-Derivative) 제어를 중심으로 구성되는 feedback, cascade 제어루트를 조합하여 구성되어 있다. 또한 설정된 조건의 변화에 따라 작동되는 순차논리제어(Sequence Logic Control)로 구성되어 있는데 특히 고압 운전상태에서 미분탄 가압 재충전 및 반응물 공급노즐부분의 비상정지제어(Emergency Shutdown, ESD)가 매우 중요하다. 본 연구에서는 이러한 부분의 BSU 제어로직의 최적화에 관하여 설명하고자 한다.

2. 제어시스템 구성

BSU 제어시스템은 SIEMENS TI-545 PLC(Programmable Logic Controller)와 운전자가 운전을 용이하게 하기 위한 MMI(Man Machine Interface) S/W인 Intellution사의 FIXDMACS가 설치된 펜티엄급 PC로 구성되어 있다. 단위공정에 설치된 계측 기기들은 PLC I/O card를 통해 PLC와 제어계측 신호를 주고받으며, PLC는 TI-SOFT라는 프로그램에 의해 운용된다. 또한, PLC는 자체에 장착된 NIM(Network Interface Module)을 통하여 FIXDMACS가 설치된 PC와 운전정보를 주고받는다. PLC와 NIM을 통해서 연결된 SCADA(Supervisory Control Alarm & Data Aquisition)는 PLC에 수집된 공정변수를 감시하며, 또한 운전자의 명령을 PLC에 전달하는 기능을 한다. SCADA와 LAN으로 연결된 3대의 VIEW 노드는 공정변수들의 감시, 운전조작 및 데이터 저장기능을 담당한다. PLC와 직접 연결(RS-232C)된 Interface PC는 PLC와의 통신을 통해 PLC의 동작을 감시하는 기능 이외에 사용자가 작성한 제어 프로그램을 up-loading 및 down-loading하는 역할을 한다. 운전중 실시시간으로 수집된 BSU의 모든 공정자료는 FIXDMACS의 Historical Data 처리기능을 사용하여 VIEW 노드를 통해서 주기적으로 저장된다.

3. 주요 제어로직 최적화

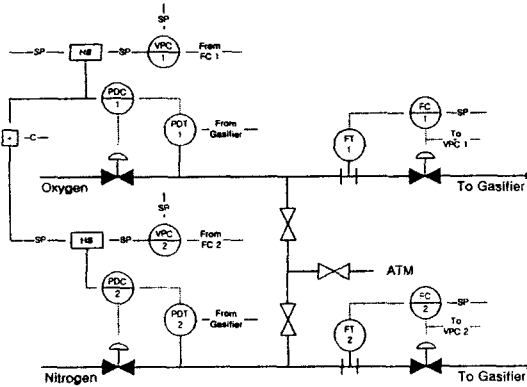
BSU는 PID 제어를 사용한 제어로직은 공급가스 압력제어, 가스화기 온도제어, 반응

물 공급량 제어가 주요 제어루프이며, 순차논리제어 로직은 특히 고압 운전상태에서 미분탄 가압 재충전 및 인터록(interlock) 제어로직이 매우 중요하며 각 부분에 대한 제어로직 최적화에 대한 내용은 다음과 같다.

(1) 가스화기 공급가스 압력제어

석탄가스화기로의 산소 및 질소공급을 제어하기 위하여 각각의 유량조절밸브 전단에는 압력조절밸브를 설치하여 운전중 유량조절밸브 전단의 압력을 가스화기의 압력보다 일정값 높게 제어할 수 있도록 가스화기와의 차압을 설정치로 사용하는 기본적인 단일 압력제어루프를 우선 구성하였다. 그러나, 대상공정의 실제 운전중에 있어서 유량조절밸브 전단의 압력은 일정하게 제어되는 반면에 유량제어기의 설정치는 가스화기의 부하, 온도, 압력 및 가스 조성 등을 제어하기 위하여 변동하게 된다. 이에 따라 유량조절 밸브의 열림개도는 넓은 범위 하에서 변화하게 되며 이로 인하여 특정 유량범위내에서 조절된 PID 제어기의 성능이 운전중 저하할 수 있다.

따라서 초기에 설계된 여러 가지 단일제어루프를 점차적으로 cascade 다중루프의 고급 제어로직으로 변경함으로써 단일제어루프 조업중 발생할 수 있는 여러 가지 문제를 해결하였다. 일반적으로 유량조절밸브의 제어는 밸브전단의 압력을 조절함으로써, 차압손실을 최소로 하는 범위에서 유량조절밸브의 열림개도를 일정하게 제어하는 방식이다. 즉, 초기에 단일 루프로 구성된 유량조절밸브 전단의 압력제어는 유량조절밸브의 위치제어기를 주제어기로 하여 cascade로 구성하며, 이러한 제어로직의 구조는 [그림 1]에 나타내었다. 압력제어기의 설정치는 초기에 운전자에 의하여 설정될 수 있으며 또한 유량조절밸브의 위치를 제어하는 주제어기의 출력에 의하여 설정될 수도 있다. 이러한 두 종류의 설정치를 비교하여 더 높은 값을 선택하며 이는 압력제어기의 설정치로 입력된다. 이러한 제어구조에서는 조업중 유량설정치의 증가에 따라 나타날 수 있는 제어기의 성능저하를 유량조절밸브의 전단압력을 증가시켜 유량조절밸브의 열림개도를 일정값 이하로 유지함으로써 미연에 방지할 수 있다.

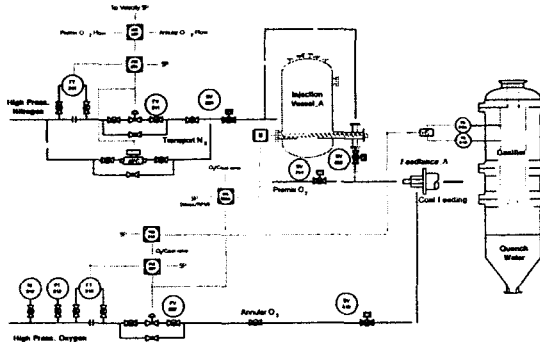


[그림 1] 가스화기 공급가스 압력제어를 위한 cascade 루프 구성도

(2) 가스화기 온도제어

가스화기 운전시 운전온도 변화는 산소 및 석탄등의 공급이 불안정하여 주로 발생되며, 이러한 외란에 대해 가스화기가 안전한 범위 내에서 조업될 수 있도록 가스화기의 온도를 제어변수로 하는 다중루프 제어로직을 최적화하여 적용하였다. 이러한 제어 프로그램의 구성은 [그림 2]에 간단히 나타내었으며, 주 제어기(TIC_310)의 설정치는 사용되는 석탄의 특성에 따라 결정된 값이 사용되며, 공정값은 가스화기 주 반응영역에 설치된 2개의 열전대에 의해서 측정된 온도 중 높은 온도를 선택되어 사용하였다. 주제어기의 출력은 하위의 ratio 로직으로 전달되며, 출력 신호는 산소/석탄비이며

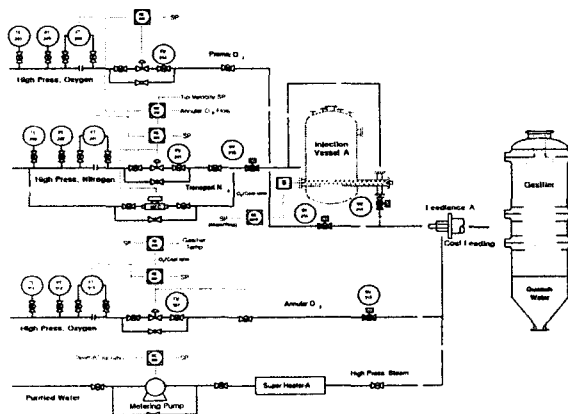
제어기의 출력은 0.4 - 1.2의 범위로 전환되고, ratio 로직에서 가스화기로 공급되는 석탄의 유량과 곁하여 하위의 산소유량 제어기인 FIC_307의 설정치로 공급된다. FIC_307 제어기는 상위의 ratio 로직으로부터 출력된 설정치에 맞추어 가스화기로 공급되는 산소의 유량을 조절한다. 또한 다중부르 온도제어로직에 대하여 구현된 PLC 프로그램은 antiwindup 기능을 포함하고 reverse로 동작하는 2개의 PID 제어기(TIC_310, FIC_307), 온도 및 유량 계산에 필요한 special function 및 운전모드 (MAN/AUTO/CAS) 처리를 위한 ladder 로직 등으로 구성되어 있다.



[그림 2] 가스화기 온도 제어로직 구성도

(3) 반응물 공급량 제어

BSU 운전시 운전자가 주로 조작하는 변수는 미분탄 가압공급장치의 운전여부 및 이에 따르는 미분탄 공급량, 미분탄/질소 비, 산소/미분탄 비, annular산소/전체산소 비, 스팀/미분탄 비에 따라 반응물의 공급량도 바로 변화하게 제어로직을 구현하였과 이러한 내용을 [그림 3]에 나타내었다. 산소공급은 압력조절밸브를 거친 고압산소는 annular 및 premix 산소 라인으로 분리되며, annular 산소 공급량은 가스화기의 온도 및 생성가스 조성변화에 매우 중요한데, 초기 설정값을 입력하여 유량제어루프(FIC_307)를 구성하여 유량조절밸브(FV_307)를 제어하며, 가스화기의 온도, 미분탄 공급량, 산소/석탄비를 고려한 cascade 제어 루프(FFIC_310)에서 설정값을 줄 수 있게 구성하였다. 또한 Premix 산소는 annular산소/전체산소 비에 따라 설정값이 입력되어 premix 유량조절밸브(FV_244)가 제어된다.



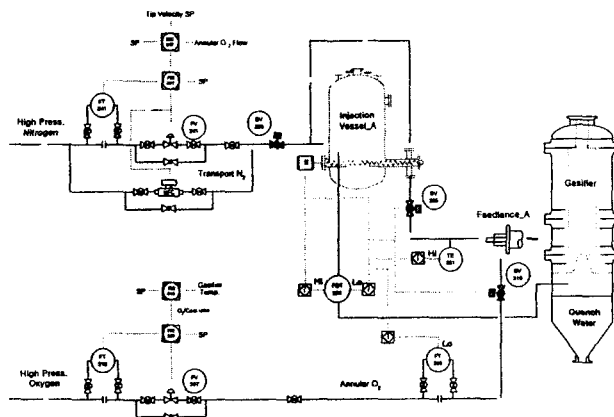
[그림 3] 가스화기로 공급되는 공급유량 제어로직 구성도

질소공급도 질소 압력조절밸브를 거쳐 가스화기 보다 일정압력 이상을 유지하면서 질소 유량조절밸브(FV_241) 또는 각각의 질량유량계에서 유량이 제어되고, 4대의 고압 미분탄 공급장치로 분리되어 각각 공급되며 미분탄을 고압으로 가스화기에 공급하는 미분탄 고압수송 역할을 한다. 설정값은 미분탄/질소 비에 따라 계산된 설정값이 입력되어 질소 유량제어루프(FIC_241)가 동작된다.

(4) 공급노즐 부분의 인터록(Interlock) 시스템

현재 BSU 운전시 주요 현장계기등의 이상이나 불안정한 운전상태에 의하여 더 이상의 운전이 불가능할 경우 자동으로 작동하여 운전을 중단시키는 인터록(interlock) 시스템을 구성하였다. 특히 가스화기의 고압 운전시 주로 동작 가능성이 높으며, 장기 운전에 매우 중요한 인터록 시스템은 석탄 공급 노즐쪽이며, 주로 미분탄 공급의 막힘현상 및 역압(back pressure)에 의하여 발생한다. 이러한 미분탄 공급노즐의 운전 이상으로 인한 안전상의 문제가 발생하므로 신속한 인터록 제어로직의 동작이 필수적이며, 이러한 인터록 제어로직 구성을 [그림 4]에 나타내었다. 가스화기 운전시 4개의 미분탄 공급장치중 특정 노즐부분에서 미분탄 막힘현상이 발생하면, 운전자는 미분탄 공급장치(Controlveyor A-D)와 가스화기와의 차압을 측정하는 차압 트랜스미터(PDT_236A-D)의 Hi 알람신호가 발생하면 인터록 시스템 동작모드 작동시 미분탄 screw feeder가 멈추게 작동되며, 차압이 안정되면 다시 운전자가 미분탄 공급 screw feeder를 동작한다. 또한, 미분탄 공급장치 압력이 가스화기보다 낮은 역압이 걸리거나, 역압으로 인한 역화발생시 운전자가 이러한 상태를 파악하기 위하여 미분탄 공급장치와 가스화기와의 차압을 측정하는 차압 트랜스미터(PDT_236A-D)의 Lo 알람신호나, 노즐의 표면온도를 측정하는 열전대(Thermocouple, TE_251A-D) Hi 알람 신호로 동작된다. 이때 미분탄 공급을 차단하고, 고온 인화성가스가 미분탄 및 산소와 반응하지 못하게 하는데, 미분탄 공급 screw가 멈추고, 미분탄공급장치 shut-off valve와 Annular 산소 shut-off 밸브가 닫힌다. 이러한 인터록 관련 내용을 정리하면 <표 1>과 같다.

[그림 5]에서는 각각의 미분탄 가압공급장치 운전화면에 나타낸 노즐부분에서의 인터록 시스템 부분을 나타냈으며, 운전자는 운전상태에 따라 노즐부분에서의 인터록 시스템 사용 유무를 선택할 수 있게 제작하였다.



[그림 4] 가스화기 미분탄 공급노즐부 interlock 제어로직 구성도

<표 1> 가스화기 미분탄 공급노즐 인터록 동작시 밸브 개별상태

이상현상	계기(알람)신호	Screw Feeder	Trans. N ₂ Valve	Ann. O ₂ Valve
미분탄 막힘	PDT_236 Hi	STOP	-	-
역압(역화)	TE_251 Hi	STOP	CLOSE	CLOSE
	PDT236 Lo	STOP	CLOSE	CLOSE

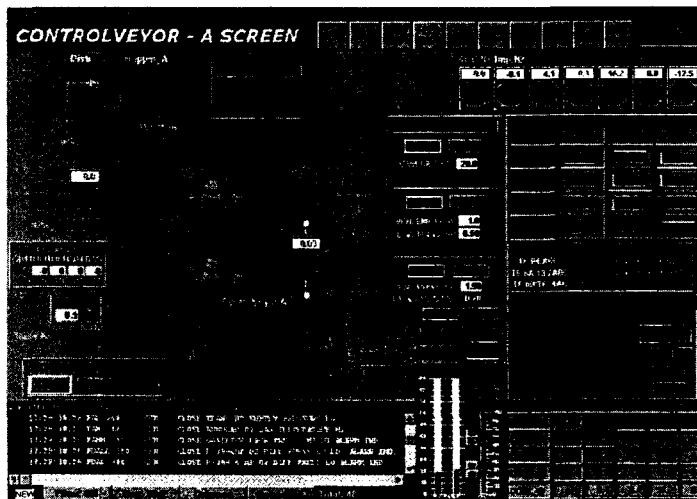
(5) 미분탄 가압 재충전(refill) 제어로직

록호퍼(lock hopper) 형태로 구성된 미분탄 공급장치(controlveyor) 시스템은 가스화기에 미분탄 및 산화제 주입을 위하여 설치된 4개의 공급노즐 각각에 대하여 설치되어 있다. 미분탄의 재충전은 대기압 상태로 분배호퍼에 저장되어 있는 미분탄을 고압상태의 주입용기로 연속적으로 공급하는 록호퍼 시스템을 사용하고 있는데, 가스화기로 미분탄을 공급하는 injection vessel에 지속적인 미분탄 충진을 위하여 상부에 위치한 lock vessel에서 가압과 감압과정을 반복하도록 되어 있다.

가스화기의 운전중 미분탄 재충전 제어로직의 동작은 injection vessel에 충전된 미분탄의 수위가 조업시간이 경과함에 따라 감소하여 하위 레벨 센서 이하로 감소하게 되면 제어로직이 동작된다. 록호퍼 시스템의 미분탄 공급성능(레벨게이지의 오동작 등)을 개선하기 위하여 분배호퍼(Distribution Hopper)로부터 Lock Vessel로 공급되는 미분탄의 공급량 측정이 가능하도록 무게측정(Weighing) 시스템을 추가로 설치하여 순제어 로직을 구현하였다.

미분탄 가압 재충전 로직은 설계된 로직자체의 신뢰성 및 안전성이 매우 중요시 되며, 또한 제어로직의 동작을 위하여 공정에 설치된 계측기의 재현성 및 신뢰성은 매우 중요하다.

순차제어 로직은 분배호퍼에서 무게측정호퍼, 무게측정호퍼에서 lock vessel, lock vessel에서 injection vessel의 3단계로 나누어 구현하였으며, 운전경험으로부터 파악된 문제점을 반영하여 제어 로직을 구현하였다. 미분탄 가압공급장치의 운전화면은 [그림 5]와 같으며, 제어로직의 순서도는 <표 2>에 나타내었다.



[그림 5] 미분탄 가압공급장치 운전화면

<표 2> 미분탄 가압공급장치 제어로직 순서

No.	Tag No.	Status	Actions
1	SV_224	ON	Opening lock vessel vent valve(PV_224)
2	SV_228	OFF	Deflating lock vessel dome valve seal
3	SV_221	ON	Opening lock vessel dome valve(FV_221)
4	SV_220	ON	Opening distribution hopper slide gate valve(FV_220)
5	WT_150	25kg	Weighing coal in the weighing hopper
6	SV_220	OFF	Closing distribution hopper slide gate valve(FV_220)
7	FV_150	ON	Opening weighing hopper slide gate valve(FV_150)
8	LSH_233	ON	Lock vessel is full
9	FV_150	OFF	Closing weighing hopper slide gate valve(FV_150)
10	SV_221	OFF	Closing lock vessel dome valve(FV_221)
11	SV_228	ON	Inflating lock vessel dome valve seal
12	SV_223	ON	Opening & Pressurizing lock vessel(PV_233)
13	PDIS_232	ON	De-energizing SV_233 & closing PV_233
14	SV_225	ON	Opening pressure equalizing valve(PV_225)
16	SV_229	OFF	Deflating injection vessel(V_250) dome valve seal
17	SV_222	ON	Opening injection vessel dome valve(FV_222)
18	LSH_233	OFF	De-energizing SV_222 (no coal in the lock vessel)
19	SV_222	OFF	Closing injection vessel dome valve(FV_222)
20	SV_229	ON	Inflating injection vessel dome valve
21	SV_225	OFF	Closing pressure equalizing valve(PV_225) and reset

4. 결 론

본 연구를 통하여 최적의 BSU 석탄 가스화기 제어로직을 구현하였다. 주요 최적화 제어공정은 앞서 설명한 바와 같이 반응물 공급량 제어, 인터록 시스템 및 고압운전중의 미분탄 재충전 시스템이다. 이러한 제어로직 개발은 가스화기의 다양한 탄종 및 운전압력 적용을 통해 문제점을 파악, 개선하였으며, 운전자의 수동조작이 가능한 배제될 수 있도록 최적화 되었다. 또한 제어기의 성능을 충분히 활용하기 위하여 제어기의 미세한 조절(tuning)을 완성하였다. 이러한 최적 제어로직은 제어루프 및 순차제어 로직과의 상호연동성을 통해 보다 안정된 가스화기 운전이 가능하게 되었다.

감 사

본 연구는 산업자원부 산하 에너지자원기술개발지원센터에서 지원한 “가스화 복합 시스템 연계 실증 및 모사기술 개발” 연구의 일부로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 윤용승 등 : “석탄가스화 복합발전 기반기술 개발(II),” 연차보고서(2000).
- 2) 윤용승 등 : “Bench Scale급 건식 석탄가스화기 운전 및 모사기술 개발(II),” 연차보고서(1999).