

3 톤/일 석탄가스화 반응장치의 운전제어 시스템 개발

김대규*, 윤용승
고등기술연구원 전력에너지 연구실

장휴정, 유진열, 홍만화
대우조선공업(주) 기술연구소 설계연구실

Development of Operation Control System for the 3 Ton/Day Bench Scale Gasifier

Dae Gyu Kim*, Yong Seung Yun
Institute for Advanced Engineering
CPO Box 2849, Seoul, KOREA

Hyu Jung Jang, Jin Yeol Lyu, Man Hwa Hong
DAEWOO Shipbuilding & Heavy Machinery Ltd.
Ajou-Dong 1, Jang Seung City, Kyung Nam, KOREA

요약

현재 건설중인 3톤/일 규모의 석탄가스화기 운전제어를 위한 콘트롤시스템은 각종 하드웨어와 소프트웨어로 구성된다. 하드웨어는 운전자가 접하게되는 컴퓨터 화면(Operator Console), 운전 제어용 패널(Hardwired Console), 본 시스템의 핵심인 콘트롤러(PLC; Programmable Logic Controller), 폭발성가스와 분진이 있는 환경하에서의 안전운전을 위한 본질안전 장벽(Intrinsic Safety Barrier) 및 운전정보 수집과 운전 제어를 위한 각종 전/계장품(Field Instrument) 등으로 구성된다. 본 시스템에 포함되는 소프트웨어에는 운전자와 콘트롤러간의 통신을 위한 운전제어화면(GUI; Graphical User Interface), 전체적인 제어를 위한 콘트롤로직(Control Logic)등이 있다. 한편 각종 펌프 및 보일러 등 보조설비의 전기공급을 위한 MCC(Motor Control Center)도 하나의 구성원이 된다.

본 논문은 석탄가스화 반응기의 운전에 관한 전반적인 검토와 콘트롤시스템을 구성하는 각 요소와 각각의 특징 및 그 개발 현황에 대한 검토를 그 내용으로 한다. 본 연구과제를 통해 제작, 설치될 석탄가스화기는 차세대 발전 시스템으로 주목을 받고있는 석탄가스화 복합발전시스템의 핵심부분으로, 본 반응장치의 제어에 관한 경험은 상용 규모의 석탄가스화 반응기에도 유사하게 적용될 것으로 기대된다.

1. 서론

석탄가스화 복합발전시스템은 에너지원의 다변화에의 요구, 각종 환경규제 등이 심해지는 현실에서 차세대 화력발전 방식의 하나로 많은 주목을 받는 방식의 하나이다.

이 발전방식의 핵심은 석탄으로부터 가스를 생성해내는 석탄가스화기 및 가스정화기술이며, 고등기술연구원에서는 현재 1일 3톤의 아역청탄 및 유연탄을 가스화할 수 있는 가스화기를 제작, 설치 중이다.

본 콘트롤시스템은 현재 건설중인 석탄가스화반응기(이하 ‘가스화기’)의 운전제어(Operation Control) 및 실험자료 취득 및 분석(Data Acquisition & Analysis)을 그 목표로 하며, 1차로는 운전제어를 그 목표로 하고있다. 2차로 고려중인 실험자료의 취득 시스템은 운전제어를 위해 설치된 각종 계기류, 다음 단계에 설치될 계기류 및 이들로 부터의 자료 취득과 분석을 위한 시스템을 포함한다.

본 콘트롤시스템은 크게 소프트웨어부와 하드웨어부로 나눌 수 있는데, 소프트웨어부는 하드웨어부의 구동을 위해 그 내부에 설치되는 프로그램이 해당된다. 이들 소프트웨어 중 특히 콘트롤로직은 석탄가스화 반응기 및 그 운전과 관련된 문헌[1, 2], 프로세스 콘트롤과 관련된 문헌[3-5]과, 관련 소프트웨어[6-9] 등을 이용하여 개발되었다. 또한 하드웨어부는 가스화기의 설계 자료에 따라 확장성, 안전성 등을 토대로 선정하였으며, 각종 전,계장품들은 안전한 운전을 우선의 관점으로 선정하고 필요시에는 설계 사항을 변경하여 가능한한 국내에서 제작 가능한 품목을 사용하고자 하였다.

현재 개발중인 콘트롤시스템은 제작중인 가스화기에 부착되어, 실제 운전에서 사용될 것이다. 이같이 자체적인 기술로 개발된 콘트롤시스템은 실험실 규모의 가스화기 운전제어에 사용되어 타당성이 입증되면, 추후에 제작 설치될 상용 발전 규모의 대용량 가스화기의 제어에도 사용될 수 있을 것이다.

2. 본론

2.1 석탄가스화 반응기 운전의 개요

본 과정을 통해 개발중인 콘트롤시스템의 대상이 되는 가스화기는 표 1.과 같은 특징을 가지고 있다. 또한, 본 가스화기는 크게 다음의 6가지의 시스템으로 구분할 수 있다.

- ① 석탄 저장 및 전처리시스템
- ② 석탄주입시스템
- ③ 석탄가스화기 및 냉각시스템
- ④ 슬랙 및 분진 배출시스템
- ⑤ 가스(산소, 질소, 스팀, LPG, 고압수) 공급시스템
- ⑥ 생성가스 처리시스템(생성가스연소장치)

현재의 가스화기에 사용되는 석탄은 그림 1.에서 나타난 바와 같이 콘베이어(C-100), 석탄분쇄기(Crusher & Pulverizer, CP-100), 석탄저장호퍼(H-200), 석탄운반호퍼(V-230), 분배호퍼(H-250) 까지 운반된 후 Lock Vessel(LV-250)을 거치면서 가압되어 Injection Vessel(V-250), 분사 노즐을 거쳐 가스화기로 공급된다. 질소는 액체질소탱크(NT-600), 가압펌프(P-601) 등을 거쳐 고압, 중압, 저압의 3가지 압력으로 공급되며, 산소는 액체산소저장탱크(OT-600), 가압펌프(P-600)를 거쳐 가압되어 공급된다. 정수기(WP-600)를 거친 물은 탱크(T-330)에 저장되었다가 고압펌프(P-330), 저압펌프(P-331)를 거쳐 고압수는 생성가스 냉각(GC-320), 슬랙 Quench 호퍼(QC-300), 고압수 Purge 용으로 이용되며, 저압펌프를 거친 물은 전기보일러 시스템(HT-260), 슬랙 Lock 호퍼(LV-305)로 공급된다.

위와 같은 가스화기는 초기 가동시 상압에서 가동을 시작하고, 점차로 내부 압력을 높여가면서 정상가동 상태로 바뀌어 간다. 이같이 가스화기의 압력이 상승하는 과정에서 각 Lock Vessel에 작용하는 압력도 이에 따라 점차 높아져야 하므로 이러한 사항도 콘트롤시스템에서 제어한다[1; 6.1 Gasifier Process Description].

표 1에 보인대로, 본 가스화기의 운전 압력은 30기압이란 고압인 관계로 압력을 가압하고 유지하는 방법, 급격한 압력 상승에 대처할 수 있는 고려 들이 필요하며, 발생할 수 있는 미분탄 및 생성가스의 누출시에도 폭발을 피할 수 있는 방법 등도 고려 대상이 되어야 한다. 따라서, 본 가스화기 콘트롤 시스템의 구축에 앞서 가스화기 주위의 환경을 North America 기준으로 Div. I & II, Class I & II, Group B & F로 정의하였다(상세사양은 표 2 참조). 이에 따라 가스화기 주변에 부착되는 각종 계기류들은 방폭형 또는 본질안전형으로 선정되었다.

가스화기의 운전 과정중 발생하는 이상 상황은 크게 9개의 영역으로 구분할 수 있으며, 이들은 표 3에 정리되어 있다. 이들 조건이 발생하면 가스화기의 운전은 자동 또는 수동으로 멈추게 된다.

2.2 가스화기용 콘트롤 시스템의 개요

본 과정을 통하여 개발되고 있는 가스화기의 개략적인 구성은 그림 2에 표시되어 있다. 여기서 보는 바와 같이 운전자용 컴퓨터 3대(SCADA Node 1개, View Node 2개)는 LAN으로 연결되어 각각의 콘솔에서 가스화기 상황의 Monitoring, 제어 등의 조작을 할 수 있다. 특히, 3번째의 콘솔은 2번 콘솔과 Modem 통신이 가능하기 때문에 전용 회선 또는 공중망을 이용하여 원거리에서의 제어가 가능하도록 되어 있다. 그림 3은 콘솔에 나타나는 콘트롤시스템 GUI의 주 화면이며, 여기부터 운전자가 원하는 각 상태의 Monitoring 및 제어용 화면으로 이동할 수 있다. 그림 4는 이들 가스화기운전제어시스템용 GUI중 가스화기의 제어를 위한 화면의 하나이다. 이들 각 화면은 Mouse 또는 Touch Screen으로 해당 기기를 클릭함으로써 작동을 제어할 수 있으며 각종 버튼이나 장치를 선택함으로써 원하는 화면으로의 이동이 가능하도록 구성되어 있다.

본 콘트롤시스템의 가장 중요한 부분이라고 할 수 있는 Controller는 추후의 확장성을 고려하여 현재의 범위에 해당하는 입출력 갯수(약 400개)보다 훨씬 많은 입출력을 제공(2048개)하는 것으로 선정하였다. 이 콘트롤러는 PC(SCADA Node)와 RS-232C, RS-422, Ti-Way의 3가지로 연결되어 필요에 따라 연결방식을 선택할 수 있게 되어 있다. 콘트롤러의 입,출력 단자에 해당하는 I/O Card는 사용신호의 종류에 따라 DI(Digital Input), DO(Digital Output), AI(Analog Input), AO(Analog Output)의 4가지로 구분된다. 가스화기 운전시의 안전 확보를 위해서 DI, DO, AO 신호를 취급하는 장비류는 모두 내압방폭형 케이스에 들어있는 것으로 선정하였고, AI 신호를 발생하는 계기류(압력전송기, 차압전송기, 열전대, 저항식 온도계) 들은 내압방폭형 또는 본질안전형 계기로 선정하였다. 본질안전형 계기와 콘트롤러와의 사이에는 본질안전 장벽(Intrinsic Safety Barrier 또는 Zener Barrier)이 설치되어 계기로의 전류와 전압을 제한하도록 되어 있다.

2.3 프로세스 제어의 두가지 측면

일반적인 프로세스제어에서와 마찬가지로 가스화기의 운전제어는 판단 조건의 변화에 따라 작동하는 순차제어(Sequence Control)[12]와 주어진 목표치를 추적 또는 유지하기 위한 피드백제어(Feedback Control)[3]의 2가지의 조합으로 이루어져 있다. 또한,

가스화기 운전중 발생하는 이상 상태에 가스화기의 가동을 중단하기 위한 비상정지제어(ESD; Emergency Shutdown) 논리는 위의 두 가지 제어의 인터럽트로 작용한다.

순차 제어의 대상

일반적인 순차 제어는 정해진 시간에 따라 같은 동작을 반복하는 것과 주어진 조건이 완료됨에 따라 다음 단계로 이동하는 조건제어의 두 가지로 구분할 수 있다. 가스화기의 제어에 있어서는 이들 두 가지 방식이 따로 또는 함께 이용된다.

시간에 따른 순차제어는 석탄 전처리장치에 포함되는 Bag Filter(H-110), 석탄저장호퍼(H-200)의 Bag Filter(F-200), 분배호퍼(H-250)용 Bag Filter(F-250)의 청소용 질소 분사의 제어에 이용된다. 이들은 또한 각 Bag Filter의 안팎의 차압이란 조건에 따라서도 제어된다.

조건에 따른 제어는 본 가스화장치의 거의 모든 부분의 제어에 이용된다. 특히, 콘베이어(C-100) 모터의 제어, 석탄분쇄기(CP-100)의 제어, 의 각 Lock Vessel의 압력 제어(가압, 감압)에 이용되며, 질소의 분출(Purge)제어, 석탄운반호퍼(V-230)의 제어 등 거의 모든 장치의 제어에 이용된다.

조건제어의 대상중 가장 전형적인 것은 Lock Vessel의 제어로, 그림 5는 석탄 분진제거를위해 Cyclone 하부에 설치되는 Fine Lock Hopper 부분의 P&ID(Piping and Instrument Diagram)의 일부이고, 표 4는 그 제어논리의 작성 및 검증을 위해 작성한 Timing Chart이다. 각 단계는 조건순차제어의 각 상황들을 의미하며, 아래쪽 표의 조건들은 각 단계에 관한 설명 및 다음 단계로의 전진을 위해 판단해야하는 조건들이다.

이같은 과정을 거쳐 작성된 콘트롤로직들은 Ladder Diagram 형태로 콘트롤러에 프로그래밍 된다[12].

피이드백 제어의 대상

앞서 언급한 바와 같이 거의 모든 장치들이 순차제어방식에 의해 제어되는 것과 병행하여, 가스화기운전으로 생성되는 생성가스의 성분, 운전상태 등에 영향을 미치는 변수들의 제어에는 피이드백제어를 이용한다. 이와 같은 피이드백제어 대상은 본 가스화기 전체에 걸쳐 다수가 있으며 중 16개에 대한 명칭과 역할은 표 5에 정리되어있다. 이들의 종류 및 수량은 운전이 개시된 후 경험이 축적됨에 따라 가감될 수 있다. 또한, 피드백 루프중 6개의 구성은 그림 6에서 보는 바와 같다.

본 피이드백제어에는 가장 전통적이며 일반적으로 사용되는 PID 콘트롤 방식을 이용한다. 아직 실제의 운전 경험이 없는 관계로, 각 루프에 사용되는 콘트롤러의 콘트롤 파라미터(P, I, D)는 해당 루프를 구성에 대한 수학적 해석을 통하여 구하며[3], 이것은 그대로 콘트롤러에 입력되는 초기값에 해당하며 다음의 다섯 단계를 거친다.

- ① 각 요소들의 수학적 모델 구축
- ② Laplace Transformation
- ③ 각 콘트롤파라미터의 변화에 따른 응답계산
- ④ 최적 Parameter 선정을 위한 반복계산
- ⑤ 최적 Parameter 선정(콘트롤러에 입력되는 초기값)

그림 7은 슬랙 Quench Chamber(QC-300) 내부의 수온 조절을 위하여 설정된 "Quench" 루프의 개략도이다. 주어진 시스템에서의 에너지 보존 방정식은 다음과 같이 정의된다.

$$V\rho C_p \frac{dt(t)}{dt} = f_w(t)\rho_w C_p T_w(t) + f_{sf}(t)\rho_{sf} C_p T_{sf}(t) - f_{ss}(t)\rho_{ss} C_p T_{ss}(t) - f_w(t)\rho_w C_p T_o(t)$$

여기서, 첨자 w, sf, ss 는 각각 Water, 액체상태의 슬래크, 고체상태의 슬래크를 의미한다. 또한, V, T_w, T_o 는 Slag Quench Chamber의 용적, 급수의 온도, 배출수의 온도를 나타낸다. 몇 가지 가정과 선형화 과정을 거친 후 Laplace Transformation을 하고, TT-300-1, FY-345, FV-345들의 수학적모델[3]과 함께, 해당 Feed Back System의 Transfer Function을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{T_{out}}{T_{set}} = \frac{G_c(s)G_v(s)G_s(s)}{1+G_c(s)G_v(s)G_s(s)G_h(s)}$$

$$G_c(s) = K_c(1 + \frac{1}{\tau_{IS}} + \tau_{DS})$$

$$G_v(s) = 0.025$$

여기서,

$$G_s(s) = \frac{-450}{1+14100s}$$

$$G_h(s) = 0.064$$

이것으로부터 응답을 계산하면서 P, I, D의 초기값을 구하게 된다. 또한, 그림 8은 특정 열교환 장치의 최적 콘트롤 Parameter 선정을 위한 반복계산 중 Overshoot에 관련된 그래프이다. 이와 같이, 콘트롤파라미터의 선정을 위해 Overshoot, Rise Time, Settle Time 등을 함께 검토함으로써 콘트롤러에 입력될 PID 값의 초기치를 구하게 된다.

본 과정에서의 Parameter 선정을 위한 응답계산은 PC용 소프트웨어의 하나인 "MATLAB"을 이용하였다. 본 과정에서는 MATLAB을 이같은 계산에 이용하였으며, 여기서 제공하는 m-File 프로그래밍을 이용함으로써 수학적 계산 과정에 소요되는 시간을 상당히 절약할 수 있었다[10, 11].

비상정지 논리

가스화기 운전시 발생할 수 있는 이상 상황들은 표 3에 정리된 바와 같으며, 이같은 각 경우의 발생시 따라야하는 각 조치들은 Safety Chart로 정리되어 있다. 이들은 정상운전을 기준으로 작성된 콘트롤 로직에 관한 Interrupt로 작용한다. 비상정지(ESD; Emergency Shutdown)신호는 해당하는 계측기기(예, 가스화기 온도계측용 열전대, Hydrogen Sensor 등)로부터의 신호를 번역함으로써 발생하기도 하지만 비상정지버튼(HPB-300)을 누름으로써 발생할 수도 있게 되어있다. 이것은, 각 계기류에 의해 감지되지 못할 수도있는 상황이 발생한 경우 운전 조작자의 판단에 따라 ESD 신호를 발생할 수 있도록 하기 위함이다.

2.4 가스화기 제어용 콘트롤 로직의 프로그래밍

앞에서 살펴본 과정을 통하여 작성된 콘트롤 로직은 콘트롤러에 프로그램 형태로 입력된다. 순차제어를 위한 로직은 Ladder Diagram형태로, 피이드백 콘트롤 로직 루프

프로그램은 메뉴에 원하는 값을 입력함으로써 이루어진다. 그림 9는 이들이 입력되는 예이다.

2.5 가스화기의 안전 운전을 위한 고려

가스화기에서 발생할 수 있는 위험은 운전자의 실수, 콘트롤시스템의 오동작, 비 정상 상태에 분출된 폭발성물질(가스, 분진)에 의한 폭발 등으로 구분할 수 있다.

본 콘트롤 시스템에서는 각 운전자 콘솔에 터치스크린을 설치해 두었는데, 이에따른 운전자의 실수를 배제하기 위해서 각각의 선택에 대해 확인하는 버튼을 마련해 줌으로써 운전자 자신이 선택한 버튼이 적절한 것인지를 한번 더 확인하도록 했다. 특히, 가스화기의 기동(Start-up) 시와 같이 운전자가 현재 상황을 보고 다음 단계로 진행할 지를 판단하는 경우에는 적절한 Inter-lock을 설정하여 다음 단계로의 진행 조건의 완료 여부에 따라 진행버튼이 동작을 할 수도 있고 못할 수도 있도록 해주었다. 또한, 중요한 콘트롤 파라미터를 변경할 수 있는 사용자 화면으로의 이동시에는 반드시 사용자 암호를 입력하도록 한 것도 안전 장치의 하나라고 할 수 있다.

콘트롤 시스템의 오동작은 계측기의 오동작 또는 콘트롤러의 오동작에 기인한다. 계측기의 오동작에 대한 대책으로, 중요한 변수값의 측정은 다중의 계측기로 하도록 하였다. 그 예는 가스화기 내부의 온도, 압력, 생성가스의 온도 등을 들 수 있다. 콘트롤러가 어떠한 이유로 동작을 안하는 경우에 대한 대책은 제 2의 콘트롤러를 병렬로 연결하여 하나가 이상이 생기면 즉시 제 2의 콘트롤러가 동작을 하도록 하는 것이 있는데, 본 콘트롤시스템에서는 이같은 예비 콘트롤러를 제외하였으며 추후 필요시 추가할 예정이다.

각종 폭발에 대한 대책은 앞서 언급한 바와 같이 방폭형 또는 본질안전형 계측기를 선택한 것으로 대신할 수 있다. 또한, Bag Filter의 폭발과 같은 경우에 대한 대책으로는 방폭을 위한 분진배출용 덕트를 구비하도록 설계하였다.

3. 결론 및 향후 계획

이제까지 고등기술연구원에서 진행중인 “석탄가스화 복합발전시스템 실용화개발”의 일환으로, 가스화장치의 운전제어를 위해 개발중인 콘트롤시스템의 개요, 콘트롤로직 및 각종 고려사항 등에 대해 살펴보았다.

현재는 운전자 제어용 화면의 수정작업, Feed Back Loop의 초기값 선정을 위한 계산 및 콘트롤러의 프로그래밍 단계가 진행되고 있으며, 이 과정이 끝나면 Lab. Test를 거쳐, 설치 작업이 진행될 것이다.

본 과정에서 개발된 콘트롤시스템은, 현재는 실험실 규모의 석탄가스화반응 장치의 제어를 위해 사용되지만, 상용 규모의 대용량 석탄가스화반응기의 제어에도 약간의 수정을 통하여 그대로 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 상용 발전소 규모의 가스화 반응기 및 이를 이용한 실제 발전소에서의 적용 가능성은, DCS(Distribute Control System)이 영역을 넓혀가고 있는 현재의 콘트롤시스템 개발 방향을 고려해볼 때 상용 플랜트에의 적용 가능성이 높다. 즉, 하나의 플랜트를 구성하고있는 각각의 시스템(석탄가스화기, 탈황장치, 가스터어빈 등)은 서로 독립적인 콘트롤러로 제어하고, 이들을 중앙에서 종합제어하는 DCS의 경우 본 과정을 통하여 개발된 콘트롤 시스템은 가스화 장치의 제어하기위한 하나의 Module로 사용될 수 있을 것이기 때문이다.

감사

본 논문은 1992년 동력자원부의 지원으로 시작된 “석탄가스화 복합사이클 발전시스템 실용화개발 (과제번호 : 921E105-348DG1)”의 일환으로 고등기술연구원과 대우조선공업(주)가 공동으로 수행중인 “석탄가스화기 운전제어시스템 개발”과 관련된 것입니다.

참고문헌

1. Institute for Advanced Engineering, "*Design Package for 3 Tons/Day Coal Gasifier System*", IAE, 1993
2. Mountain Fuel Resources, Inc., "*Design, Construction and Operation of a Coal Gasification Process Development Unit*", United States Department of Energy, Contract No. DE-AC21-81 FE05121, April, 1986
3. Carlos A. Smith & Armando B. Corripio, "*Principles and Practice of Automatic Process Control*", John Willey & Sons, 1985
4. 김 동화 & 김 운해, “계장제어”, 동일 출판사, 1992
5. 김 상진, “계장제어 시스템”, 연학사, 1991
6. "*MATLAB User's Guide*", The Math Works Inc., 1993
7. "*MATLAB Reference Guide*", The Math Works Inc., 1993
8. "*Control System TOOLBOX User's Guide*", The Math Works Inc., 1993
9. "*SIMULINK User's Guide*", The Math Works Inc., 1993
10. Naomi Ehrich Leonard & William S. Levine, "*Using MATLAB to Analysis and Design Control System*", The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1992
11. Hadi Saadat, "*Computational Aids in Control Systems Using MATLAB*", McGraw-Hill, Inc., 1993
12. 차득근, “시퀀스제어”, 성안당, 1994

표 1. 고등기술연구원/아주대학교 석탄가스화기의 제원

길이	5234 mm
직경	1219 mm
처리용량	아역청탄, 유연탄 3톤/일 (산소공급 운전시) 아역청탄, 유연탄 1톤/일 (공기공급 운전시)
운전온도	1400 ℃
운전압력	30 기압

표 2. 플랜트의 위험도 구분 (from "Flamable Facts" by MTL)

AREA CLASSIFICATION			
	Continuous Hazard	Intermittent Hazard	Hazard under Abnormal Conditions
IEC/CENELEC/ EUROPE	Zone 0 , Z	Zone 1 , Z	Zone 2, Y
NORTH AMERICA	Division I (Gases & Dusts)		Division II (Gases & Dusts)
NORTH AMERICAN HAZARD CATEGORIES			
CLASS I (Gases and Vapours)	Group A : Acetylene Group B : Hydrogen Group C : Ethylene Group D : Methane		
CLASS II (Dusts)	Group E : Metal Dusts Group F : Coal Dusts Group G : Grain Dusts		
CLASS III (Fibers)	No Sub-Groups		

표 3. 가스화기 비상정지 상황의 구분

Interlock No.	Description
I-1	Gasifier, R-300 Fault
I-2	Oxygen Shutdown
I-3	Coal Feed Shutdown
I-4	Feed System Isolation
I-5	Coal Transporter Fault
I-6A I-6B I-6C I-6D	Coal Feed Lockhopper Fault
I-7	Gasifier Start-up Burner Fault
I-8	Slag Lock Hopper Fault
I-9	Fine Lock Hopper Fault

표 4. Fine Lock Hopper System의 동작 Sequence

TAG	1	2	3	4	5	6	7	8	9
LV-402	LP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP
LV-305	LP	HP	HP	LP	LP	LP	HP	HP	HP
FH-360	REST	REST	REST	REST	RUN	REST	REST	REST	REST
FR-360	REST	REST	REST	REST	RUN	REST	REST	REST	REST
WT-360	REST	REST	REST	REST	RUN	REST	REST	REST	REST
FV-402	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN
FV-416	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN
PV-408	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	CLOSE
PV-411	OPEN	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	OPEN	CLOSE
PV-412	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	CLOSE	CLOSE
SV-407	CLOSE	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN
HS-402	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
HS-407	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
HS-408	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
HS-411	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
HS-412	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
HS-416	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
PDIS-405	1	1	1	0	0	0	1	1	1
PISL-406	1	0	0	1	1	1	0	0	0
LSH-401	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LSH-415	0	0	1	1	0	0	0	0	1

표 5. 가스화기 피드백 제어용 콘트롤 루프의 예

순번	명칭	기능
1	Steam Flow	Steam Flow Rate Control from Boiler
2	Steam Temp.	Steam Temperature Control from Boiler
3	Oxygen Press.	Oxygen Supply Pressure Control
4	Nitrogen Press.	Nitrogen Supply Pressure Control
5	Premix Flow	Premix Oxygen Flow Rate Control
6	Annular Flow	Annular Oxygen Flow Rate Control
7	Transport	Transport Nitrogen Flow Rate Control
8	Coal	Coal Feed Rate Control
9	Quench	Quench Water Flow Rate Control
10	Cooler	Product Gas Temperature Control
11	Temp.	Gasifier Temperature Control
12	Press.	Gasifier Pressure Control
13	Receiver	Water Receiver Level Control
14	Premix Temp.	Premix Oxygen Pipe Heat Tracing
15	Annular Temp.	Annular Oxygen Pipe Heat Tracing
16	Nitrogen Temp.	Transport Nitrogen Pipe Heat Tracing

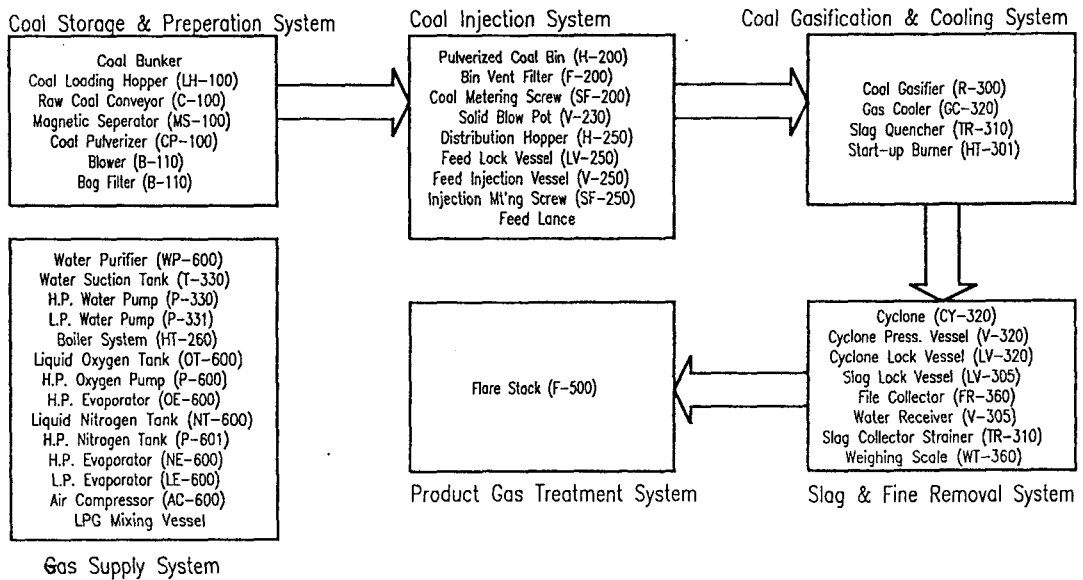


그림 1. 3 톤/일 IGCC Bench Scale Unit의 Process Flow Diagram.

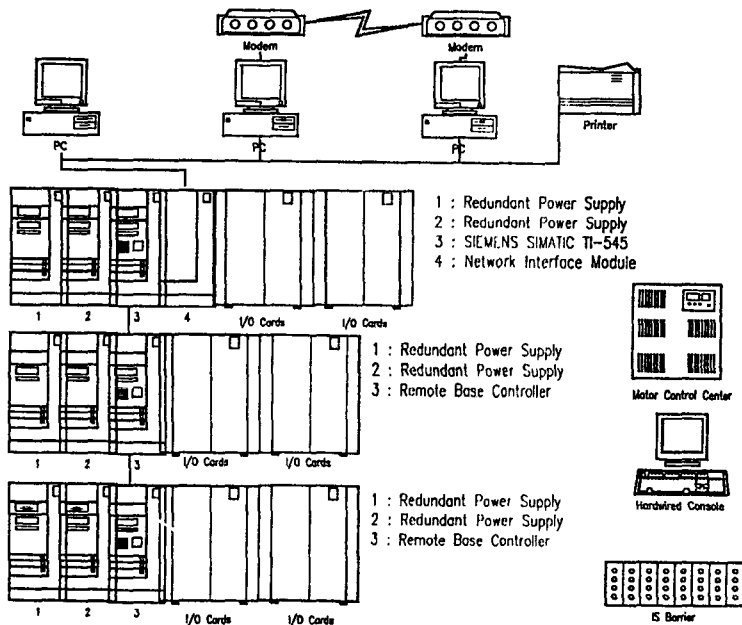


그림 2. Control System의 구성도.

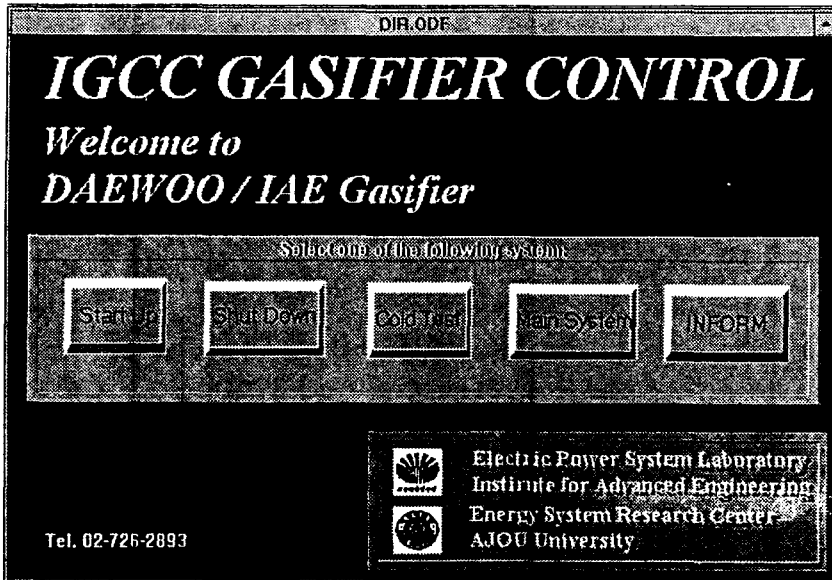


그림 3. 운전자용 Console의 Main Menu.

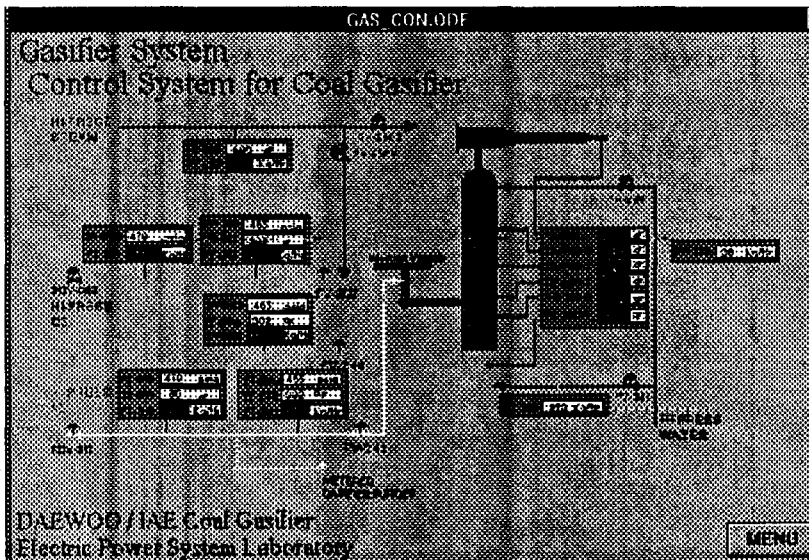


그림 4. 운전자용 Console의 Gasifier 제어 및 Monitoring 화면.

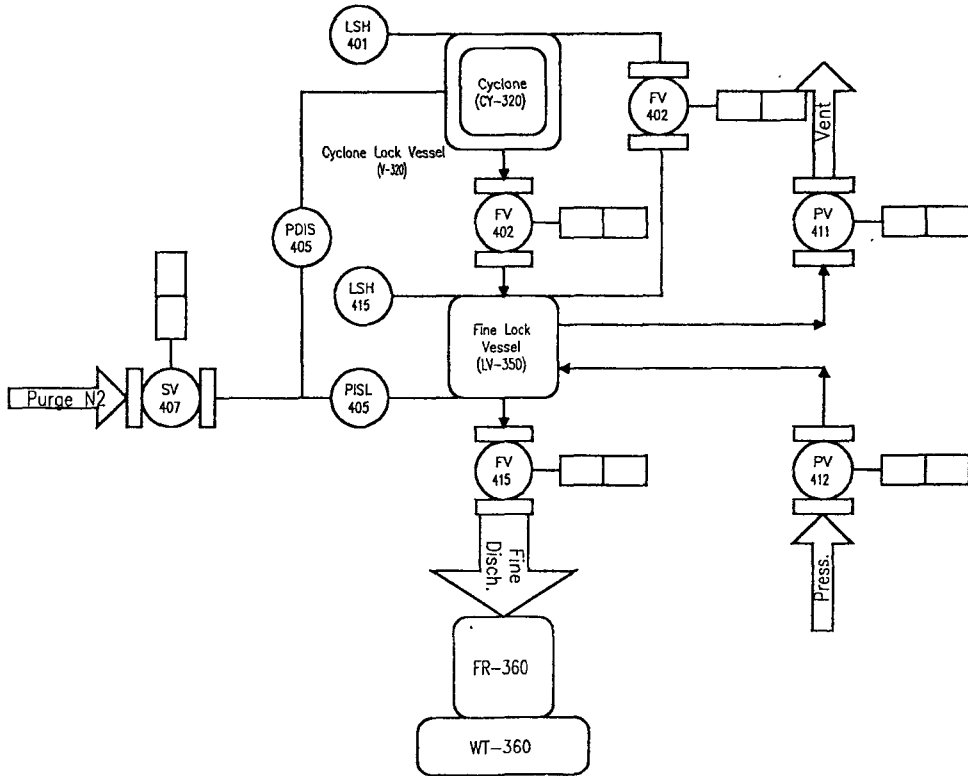


그림 5. Fine Removal System P&ID의 일부.

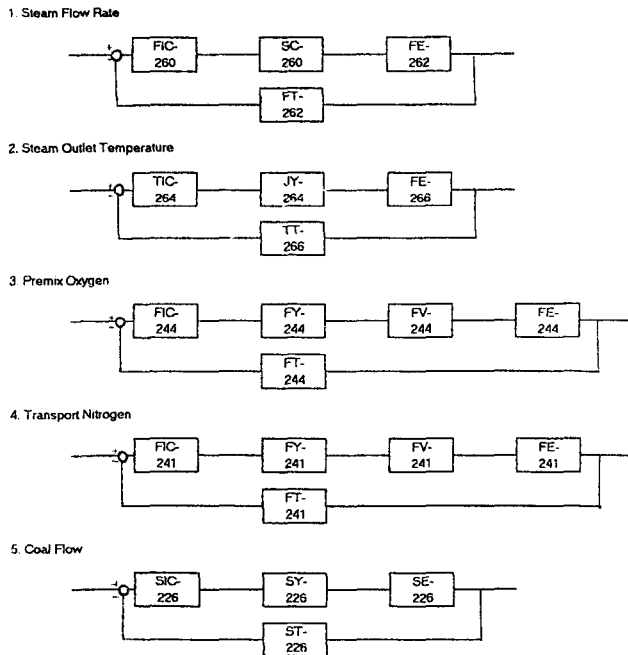


그림 6. 본 Control System에 포함된 Feedback Control Loop의 일부.

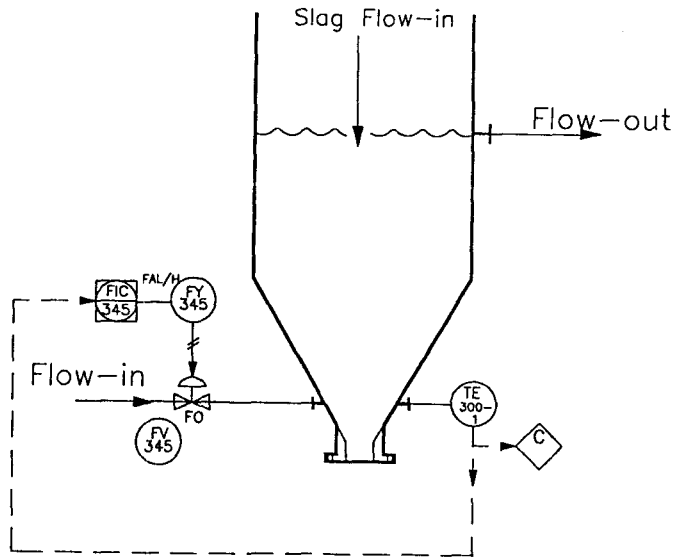


그림 7. Slag Quench Water Flow Control Loop의 구성의 일부.

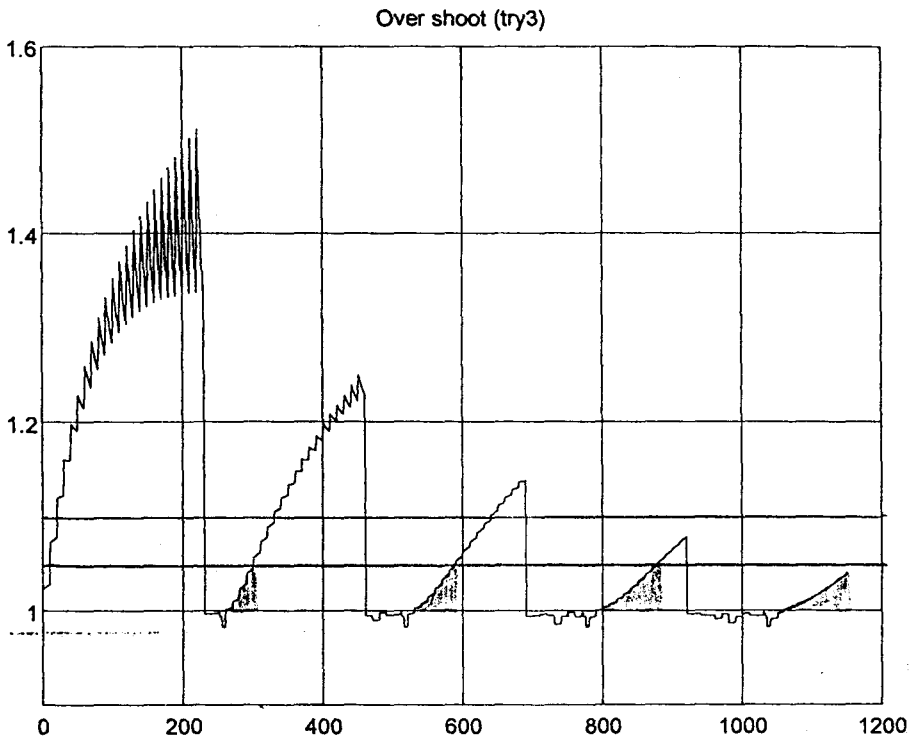
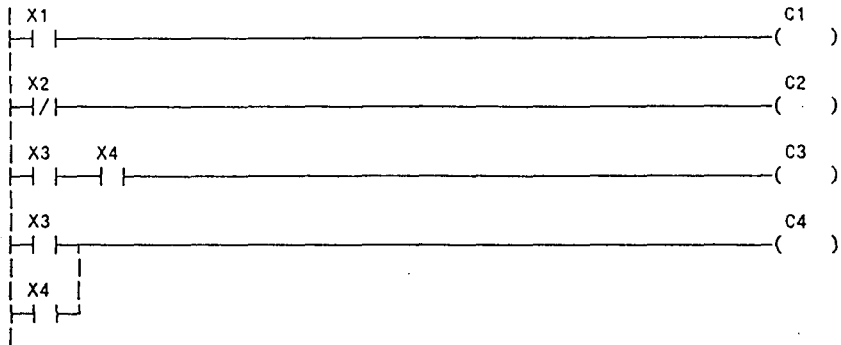


그림 8. Overshoot Trend for Heating Chamber
(P:5,50, I:2,10, D:1,10 ; 23 x 5 x 10 = 1150 Case).



PID LOOP 1 TITLE: TIC101	REMOTE SETPOINT: NONE
POS/VEL PID ALGORITHM: POS	CLAMP SP LIMITS: LOW = +0.00000
LOOP VFLAG ADDRESS: V20	HIGH = +100.000
SAMPLE RATE (SECS): +1.00000	LOOP GAIN: +2.00000
PROCESS VARIABLE ADDRESS: WX33	RESET (INTEGRAL TIME): +INF
PV RANGE: LOW = +0.00000	RATE (DERIVATIVE TIME): +0.00000
HIGH = +100.000	FREEZE BIAS: NO
PV IS BIPOLAR: NO	DERIVATIVE GAIN LIMITING: NO
SQUARE ROOT OF PV: NO	LIMITING COEFFICIENT: +10.0000
20% OFFSET ON PV: YES	SPECIAL CALCULATION ON: SP
LOOP OUTPUT ADDRESS: WY67	SPECIAL FUNCTION: SFGM2
OUTPUT IS BIPOLAR: NO	LOCK SETPOINT: NO
20% OFFSET ON OUTPUT: YES	LOCK AUTO/MANUAL: NO
RAMP/SOAK PROGRAMMED: YES	LOCK CASCADE: NO
RAMP/SOAK FOR SP: YES	ERROR OPERATION: NONE
ALARM DEADBAND: +0.50000	REVERSE ACTING: NO
MONITOR LOW-LOW/HI-HI: NO	MONITOR DEVIATION: YES
MONITOR LOW/HIGH: NO	DEVIATION ALARM: YELLOW = +10.0000
PV ALARMS: LOW-LOW = +10.0000	ORANGE = +15.0000
LOW = +15.0000	MONITOR RATE OF CHANGE: NO
HIGH = +85.0000	RATE OF CHANGE ALARM: +0.00000
HIGH-HIGH = +90.0000	MONITOR BROKEN XMITTER: YES

그림 9. Ladder 및 Loop Program 의 예.