'90 韓國自動制御學術會議論文集 1990. 10.26~27

발전소 제어용 디지탈 계장제어 시스템의 관리제어에 관한 연구

권 만 준* 이 재 혁* 김 병 국* 변 증 남*
배 병 환° 박 익 수° 허 성 광°
* 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
° 한전기술연구원 자동 제어 연구실

A Study on the Supervisory Control of Digital Instrumetation and Control System for Power Plant

Mann Jun Kwon* Jae Hyeok Lee* Byung Kook Kim* Zeungnam Bien*
Byoung Hwan Bae° Ik Soo Park° Sung Kwang Hur°

* Dept. of Electrical Engineering, KAIST
° Automat. Cont. Dept., R&D Center, KEPCO

ABSTRACT

The digital instrumentation and control system for the large scale system like the power plant must have the form of the heirachical structure. Because most large scale system have many control and process signals and it is distributed in the wide region, it is necessary to partition them into several subsystems. Therefore, the role of SCS(Supervisory Control System) having the funtions of controlling and monitoring for the status of subsystems is very important. In this paper, new SCS for the effective control of the large scale system is proposed.

1. 서 론

모든 산업의 기초가 되는 발전산업은 전기적 에너지를 만들어 내는 산업으로 국가 기술 산업에 기여한 바가 크다. 현대에 들어와 화력 발전은 점차 전력 수요 변화에 의한 변동 부하를 충족시키도록 운전되면서, 제어의 질이라 할 수 있는 주파수의 유지, 속응성 및 효율성의 개선이 더욱 필요하게 되어 발전된 현대 제어이론을 적응하려는 노력이 진행되고 있다.

그런데 현재 설치중인 우리나라 발전소는 대부분 아날로그 제어방식이 사용되어 보수유지시 부품수급에 상당한 어려움이 있다. 이러한 어려움을 피함과 동시에 발전효율을 높이기 위해 기존의 제어 시스템을 디지탈 제어 방식으로 대체하는 것을 생각할 수 있으며, 대상 시스템으로 같은 대규모 공정의 시스템을 위한 디지탈 계장시스템을 어떻게 관리할 것인가는 중요한 문제가 된다.

발전소와 같은 대규모의 공정을 위한 디지탈 계장시스템은 제어신호의 수가 많고 시스템 자체가 광범위한 지역을 차지하고 있으므로 계층적 구조를 갖는 분산제어시스템의 형태를 취해야 한다.

기존의 발전소 제어에서는 제어 신호나 프로세스의 수가 많기 때문에 수십개의 제어 판넬에 부착된 기록계나 지시계의 값을 일일이 돌아다니면서 기록한뒤 적절한 조치를 취했으며, 하드웨어적으로 구성된 제어기는 기능적으로 고정되어 다른 형식의 제어기로 동작할 수 없는 어려움이 있다. 그래서, 본 논문에서는 대규모 공정 제어에 필요한 적절한 관리제어 시스템을 제안하여 제어의 중앙 집중화를 이루어 사용자가 작업대 위의 워크스테이션을 통해서도 충분이 대상 시스템을 파악할 수 있으며 제어할 수 있도록 했으며, 제어기를 그래픽 화면을 통해 쉽게 구성할 수 있게 하였다.

2. 시스템의 일반적 구성

발전소와 같은 대규모의 공장을 위한 디지탈 계장 제어시스템은 통상 그림 2.1과 같이 계층적 구조를 갖는 분산제어 시스템의 형태를 취한다. 그림 2.1에서 다중 루프 제어기(MLPC, multi-loop programmable controller)로 불리워지는 부분은 공정제어의 가장 중요한 역할로 제어연산

및 신호 입.출력을 담당한다. 대규모 공정은 제어 신호의 수가 많고 광범위한 지역을 차지하고 있어 하나의 MLPC로는 계산능력과 신호전달에 한계가 있으므로 여러대의 MLPC에 의한 분산 제어 방식이 사용되고, 프로세서간의 연결(interconnection)은 LAN(local area network)과 같은 컴퓨터 통신방식을 사용하여 보상될 수 있다. 계장 제어시스템 전체의 감시와 통제 역할을 하는 SCS(supervisory control system)는 통상 데이타 저장의 칼라 그래픽 디스플레이 장치를 갖고 있으며, 계층 구조상 최상단에 위치한다. SCS의 주요 기능은 다음과 같다.

첫째, 사용자가 원하는대로 디지탈 제어기를 구성할 수 있도록 하기위해 CAD방식을 이용한 다중루프 제어기의 프로그램 기능, 둘째, 현재 플랜트의 동작상태 및 제어상태를 쉽게 이해하기 위해 프로세스 정보 모니터링 기능, 세째, 온라인(on-line)중에 특정한 제어루프의 원하는 파라미터를 변경할 수 있는 튜닝(tuning)기능, 네째, 제어기의 신뢰도 증가를 위해 MLPC는 하드웨어 고장에 대해서도 내고장성(fault tolerant)기능을 갖게 설계되어 있으며 관리제어 자체에서도 여러가지의 진단을 통한 MLPC의 고장진단 기능, 다섯째, 구성된 플랜트의 하층구조와 상층구조의 모든 데이타에 대한 상호 정보 교환, 정보 저장, 정보 탐색을 할 수 있는 통신기능이 있다. 이들 기능들을 갖는 SCS와 전체 시스템을 그림 2.2에서 보여준다.

3. SCS의 주요 기능

3.1 제어기 구성 기능

디지탈 제어기는 제어 알고리즘이 소프트웨어로 구현되므로 기존의 아날로그 방식에 비해 제어 알고리즘의 확장 및 변경이 용이한 특징이 있다. 또한, 마이크로 프로세서 기술의 진보에 따라 하나의 모듈에서 처리할 수 있는 용량이 증가되므로 전체 디지탈 제어기의 크기는 작아지면서도 처리용량은 증가된다. 따라서 제어 알고리즘을 효과적으로 설계할 수 있는 방법이 필요하다.

제어기 구성기능(configuration)은 그래픽 에디터를 통하여 복잡한 제어 알고리즘을 전문적인 지식없이도 쉽게 구성할 수 있는 방법을 제공한다. 즉, 사용자(operator)는 미리 준비된 기능 블록(function code block)을 선택하고 연결하면 자동적으로 디지탈 제어기가 인식할 수 있는 형태로 제어 알고리즘을 구현할 수 있다. 그래픽 에디터에서 구성된 디지탈 제어 프로그램은 통신 시스템을 통하여 다중 루프 제어기(MLC)에 다운로드(down load)되어지며 다중 루프 제어기는 시작 명령에 의해 제어 알고리즘을 수행한다.

그래픽 에디터를 이용한 디지탈 제어기의 구성방법은 사용자가 전문적인 지식 또는 경험없이도 쉽게 제어기를 구성할 수 있도록 하는 일종의 CAD라고 할 수 있다.

예를 들면, 그림 3.1에서와 같이 몇개의 기능 블록이 연결되어 서울 화력 4호기의 압력 제어 루프(pressure control loop)를 표현해 주고 있다.

3.2 프로세서 정보 모니터링 기능

이 기능은 각 프로세서들이 내는 정보중 비슷한 형태나 비교하고자 하는 신호들을 화면에 적절하게 배치하여 프로세스 신호들의 상태 또는 경향을 파악함으로써 현재의 제어상태를 개괄적으로 판단할 수 있게 한다.

정보가 여러가지 있으므로 정보의 종류에 따라 여러가지 표현방법이 있다.

공정 정보를 시간의 흐름에 따라서 경향을 파악하고자 할때는 그룹 트랜드(group trend) 기능이 필요하게 된다. 공정정보는 퍼센트(%)단위로 전달되기 때문에 세로축이 0-100%의 구간으로 나뉘어지며 가로축은 시간축으로 되어진다. 한 화면에 되도록이면 많은 신호를 보여 주는 것이 좋으나 불필요하게 많으면 혼란을 가져다 줄 수 있다. 그래서 한 화면은 4개의 작은 부윈도우로 구성하여 한개의 부윈도우는 최대4개의 신호를 각기 다른 색깔로 표현하게 했다. 어떤 부윈도우에 어떤 신호를 볼것인가는 사용자가 쉽게 구성할 수 있도록 하였다.

공정 정보 중에는 제어 파라미터로써 설정치(set value)를 갖는 것이 있다. 이것에 대해 프로세스 값(process value)과 비교하여 보여주는 막대 그래프의 기능이 있다. 왼편에는 설정치가 오른편에는 매번 정보가 교체될때 마다 새롭게 막대가 그려진다. 이것을 통해서 사용자는 순간의 상태치를 알 수 있게 된다.

전달되어지는 정보중에는 연산기능을 하는 MLC(multi loop controller)가 데이타 입출력을 하는 SIB(signal interface board)로 보내는 디지탈 신호에 대한 상태를 1(high level))과 0(low level)으로 구분하여 표현해주며 수동 혹은 자동 절환으로 제어 출력값을 정해주는 기능이 있는 AMS(auto/manual station)의 연결상태와 현재의 자동 혹은 수동 인가를 보여주는 디지탈 신호 입출력 정보기능이 있다. 그리고, 본 시스템이 대단위 공정 제어시스템이므로 여러개의 제어기에 의해 구성되는데 이때 구성되는 전체시스템에 대한 연결상태를 일목요연하게 보여주기도 한다.

막대 그래프나 그룹 플랜트는 물리적으로 어디에서 나오는 신호의 값인지를 알 수없고 단지 정보의 고유 번호와 명칭만을 알 뿐이다. 그러나, 전체시스템의 블록선도나 스키매틱 다이어그램(schematic diagram)을 통해서 신호가 전달되는 부분을 직접 볼 수 있으면서 신호의 상태치를 파악할 수 있는 기능을 또한 갖추고 있다.

3.3 제어 파라미터 튜닝기능

칼라 그래픽으로 그룹 트랜드를 표시하는 부윈도우를 통하여 변경된 파라미터가 그와 관련된 신호에 대해서 어떤 영향을 미치는 가를 직접 확인 할 필요가 있기 때문에 현재 수행중인 MLPC에 대해 온라인중 특정한 루프의 원하는 파라미터를 변화시켜서 정확한 성능을 위한 세밀한 튜닝 작업을 수행할 수 있다. 이런 과정에 의해 MLPC의 적절한 상태를 유지시킬 수 있다.

특정한 루프의 파라미터의 변경은 두가지 경우가 있다. 모니터를 보고 키보드 입력에 의하여 실행하는 것과 제어판넬에서 직접 DCS를 튜닝함으로써 바꾸는 경우가 있다. 전자는 관리제어 서브시스템의 명령 전달 매체인 워크스테이션을 이용해, 화면에 구성된 메뉴에 의해 특정한 루프의 파라미터를 변경시킨후 MLPC에게 다운 로드하는 과정을 거쳐서 그 변경사항이 직접 프로세스에 전달된다. 후자의 경우는 제어판넬에서 바꾸어진 파라미터는 직접 그 제어루프에 영향을 주게된다. 이 변경 사항에 대해 관리제어 서브시스템의 사용자에게도 기능 코드라는 파일의 파라미터를 변경시켜 주어야 하는데 이것은 업 로드(upload)라는 과정에 의해 가능하게 된다. 이렇게 해야만 하드웨어적으로 실행되는 파라미터 값과 사용자가 쉽게 이해할 수 있는 기능 코드 파일의 내용과 일치하기 때문이다. 만약에 키보드 입력에 의한 파라미터의 변경이 원하는 결과를 보여주지 못했을 경우는 취소라는 기능에 의해 이전의 값이 다운 로드된다. 이 기능을 수행하기 위한 화면구성은 그림 3.2에 나타나 있다.

3.4 고장 정보 모니터링 기능

관리 제어 시스템에서 프로세서 제어기에 대한 신뢰도 증가 목적으로 시스템 진단을 하고자 할 때 마우스를 조작하여 점검 부위를 결정할 수 있으며, 이 명령에 의해 MLC에서 점검한 뒤 결과를 통신 서브시스템을 통해서 전달받아 디스플레이되게 구현하였다. 이와 같이 MLC가 주 기능의 제어기로서 동작하지 않을때는 사용자 임의의 진단을 할 수 있으나 온라인에서는 불가능하다. 그러나, 온라인에서는 주MLC, 부MLC 각각의 자기진단(self test)이나 상대진단(cross test) 결과를 사용자가 다른 화면을 관찰하고 있을 경우에도 오른쪽상단의 붉은 사각형에 표시하게 되므로, 고장이 발생하더라도 즉시 MLC인지 SIB인지 표현해 주게 된다. 이때 사용자가 자세한 정보를 알고자 할 경우에는 SIB정보 기능으로 가서 상태를 파악할 수 있다. 또한 SIB정보 기능에는 백업상태를 알 수 있다.

3.5 통신 기능

통신 서브시스템의 목적은 공정을 제어하는데 있어 가장 핵심적인 부분이라 할 수 있는 사용되는 제어 입력을 공정으로 부터 받은 정보를 이용하여 계산하고 그 결과를 다시 공정으로 보내는 역활을 담당 하는 공정제어 서브시스템 (PCS, process control subsystem), 관리제어시스템(SCS, supervisory control subsystem), 그리고 어떤 대상이 되는 시스템의 동작을 사용자가 바라는 정확도와 범위에서 대신 수행해 주는 모사 시스템(SMS, simulation subsystem) 사이의 정보의 전달을 하는 것이다. 즉 계층 구조에서 상위 레벨(level)인 SCS와 하위 계층인 PCS와 SMS사이의 정보전달이다. 상위 레벨에서 아래쪽으로 내려주는 운전명령어 및 MLPC 내부의 제어 알고리즘 언어와 하위 레벨에서 위로 올려주는 PV(process value), MV(manipulated value), SV(set value), 디지탈 상태정보, 고장정보, 튜닝정보가 주요 정보로 전달되며 기타 서브시스템들 사이의 필요한 정보가 전달된다.

통신 서브시스템의 구현을 위한 통신 방식은 여러가지를 생각할 수 있으나, 토폴로지(topology), 전송매체 프로토콜등의 채택에 따라 각각의 장단점을 달리 한다. 특히 현재의 전체 시스템 구조에서 상용 LAN(ethernet)과 같이 고성능의 방식을 채택할 수 있으나, 이것들의 대상은 주로, SCS와 같은 상위 레벨에서 시스템 단위의 통신을 위한 것으로, 채택하는데 무리가 따른다. 그리고, RS-232C나 RS-422와 같이 간단한 구조의 경우는 1대1 통신을 위한 것이므로 다대다 통신의 기능을 구현하기에 부적합하다. 그래서 상용 LAN과 RS-232C의 통신과 중간 레벨에서 다대다 통신이 가능한 것으로 RS-485 Multi-drop 통신 방식을 채택하였다.

4. 실험 결과 및 검토

관리 제어 시스템에서 그래픽 편집기를 이용하여 공정제어 서브시스템이 수행할 제어 알고리즘을 구성하면 이를 기능 코드 변환기가 기능코드(function code)로 변환한다. 다음 이 기능코드를 통신 서브 시스템을 통하여 공정제어 서브시스템(MLC)에 다운 로드시키고 MLC와 SMS에게 시작명령을 내려주면 MLC는 이 기능코드를 해석하여 제어를 수행한다. 시뮬레이터가 수행하는 플랜트는 현재 서울 화력 발전소 4호기의 보일러이고 MLC가 수행하는 제어는 4호기에대한 공기압 제어를 디지탈 알고리즘으로 바꾸어 수행하고 있다.

검증하고자 하는 실험 내용은 첫째 그래픽 편집기를 통한 기능코드생성이며, 둘째로는 통신서브시스템의 데이타 교환 및 에러처리, 세째는 서울화력 4호기 보일러에 대한 MLC의 제어수행기능, 네째는 관리제어 및 DCS에서의 PID 이득이나 설정치(set value)의 변경, 마지막으로는 MLC의 각 고장에 대한 대응 기능 등이다.

여기에서 각 기능을 확인하는 방법은 첫째에서 네째까지는 실제로 시스템을 운영하면서 확인하는 것이고 마지막 고장 대응 기능은 고장을 인위적으로 만들어서 각각에 대한 대응 능력을 시험하였다. 먼저 주(primary) MLC가 제어를 수행하고 백업(backup) MLC는 핫 스탠바이(hot standby) 상황에서 이중화되어 있는 SIB중에 하나를 강제로 빼어낸 후 백업용 SIB가 그 기능을 대신하는가를 시험하고 다음에 주 MLC를 강제로 정지시킨후 백업 CPU가 대신 제어를 수행하는 가를 확인하고 이 상황에서 다시 다른 SIB 보드 하나를 제거하여 역시 백업용 SIB가 백업을 수행하는가를 화면을 통하여 확인하였다.

구체적인 실험 결과는 아래의 내용과 같다.

관리제어 시스템에서 그래픽 편집기를 이용하여 제어 알고리즘을 구성하여 이를 MLC에게 통신 시스템을 이용하여 전달하였다.

다음은 MLC와 SMS에게 각각 시작 명령을 내린후 시스템의 동작을 P&I 다이어그램위에서 상태치의 모니터링(monitoring), 트랜드 모니터링, 바 모니터링, 디지탈 입출력의 모니터링, 고장 정보의 모니터링을 통하여 신호의 전달 상태를 확인하였고, 온 라인으로 동작하는 MLC의 제어 파라미터를 변경하여 관련된 신호의 변화를 관찰하였다.

각 모니터링 기능을 관찰한 결과 서울 화력 4호기의 보일러 시스템을 구현된 MLC로 잘 제어하고 있음을 확인할 수 있었다. 또 PID 튜닝 기능에서 온라인으로 PID 이득과 설정치(set value)등을 바꾸면서 전달하여 실제 MLC에서 각 해당값 바뀐 것을 확인하였고 역으로 MLC쪽의 DCS에서 바꾼 파라미터가 관리 제어쪽으로 전달되어 데이타가 변한 것을 확인하였다. 또 모니터링되는 신호와 SMS쪽에서 기록계나 지시계, 모터등으로 표시되는 PV를 비교하면서 각 신호가 제대로 모니터링되는 가를 확인하였다.

한편 통신 기능 실험을 위해 관리 제어를 잠시 중단시킨 경우 MLC와 SMS에서 다시 데이타를 전송하는 것을 확인하고 역으로 MLC와 SMS쪽의 통신 노드를 잠시 세운후 다시 수행시키면 수퍼 노드(관리제어)에서 다시 토큰을 생성하여 정상적으로 동작되는 것을 확인하였다.

마지막으로 고장 대응 기능을 살펴보기 위하여 MLC에서 백업 SIB가 붙어있는 SIB 1장을 강제로 제거하였다. 그후에도 계속해서 바 그래프나 그룹 트랜드를 통하여 제어가 정상적으로 수행됨을 관찰할 수 있었다.

다음 주(primary) CPU 보드를 강제로 세운 결과 백업 CPU가 이를 감지하고 백업으로 들어갔다. 다시 백업 SIB가 있는 SIB 한장을 제거하여도 정상 동작함을 확인하였다. 이같이 SIB나 CPU가 어느 하나라도 고장이 발생하면 이를 즉각 관리제어의 모니터링에 표시하고 사용자가 좀더 자세한 정보를 원하는 경우 고장 정보 메뉴에서 이를 볼 수 있게 하여 즉각적인 대응을 할 수 있음을 확인하였다. 그림 4.1에 각 고장에 대한 자세한 정보가 나타나 있다.

5. 결 론

1980년대를 들어서면서 디지탈 제어기술을 이용한 발전소 제어 시스템들이 개발/적용되기 시작한 이후로 기존의 아날로그 제어방식은 점차적으로 대체되고 있다. 본 연구는 이와같은 기술동향에 따라 디지탈 제어 시스템에 대하여 발전소에 확대 적용할 기술을 확보하고, 첨단 기술을 응용한 제어시스템의 국내개발로 컴퓨터 제어기술의 선진화 발판을 마련코자 추진되었다.

본 연구의 결과를 통하여 발전소와 같은 대규모 공정의 제어를 위한 다중 루우프 프로그램 제어기를 구현했으며, 다중 루우프 제어기를 구성함에 있어서 그래픽 편집 방식을 사용함으로써 사용자에게 편리함을 제공할 수 있고, 운전상황을 다양한 그래픽 화면을 통해 제공함으로써 신속한 정보 전달을 할 수 있으며, 고장 발생시의 상황을 빨리 알려줌으로써 그에 의한 파급효과를 줄일 수 있게 하였으며, 보다 나은 제어를 위해 제어 파라미터의 변경이 신호에 주는 영향을 직접보면서 그 값을 선택할 수 있으며, 이 모든 기능들이 탑 다운(top-down) 설계방식을 도입하여 구현하였으므로 대상시스템에 따라 확장성(expandability)과 유연성(flexibility)이 뛰어남을 실험으로 확인하였다.

이런 결과들을 가지고 국내 발전소등의 디지탈 공정에 대해 제어 시스템의 성능 개선 및 제어 기술 발달을 이룩할 수 있을 것이다.

Reference

[1] W. Stallings, "Local Network : An Introduction", Macmillan, 1984.

[2] 변증남, 김병국, 조영조, "전력 플랜트에 적용되는 다중 루프 제어시스템의구성", 대한전기학회지, Vol.38, No.3, 1989년 3월.

[3] 서울 화력 발전소 4호기 운전 조작 설명서, 1983.

[4] Sun Microsystems, "Sun System Overview", 1986.

[5] Sun Microsystems, "Sun GKS Reference Manual", 1986.

[6] Bailey Controls, "Bailey Network 90 - Function Code Reference Manual".

[7] Bailey Controls, "C Language Implementation Guide for the Multi-Function Controller (NMFC03) - Software Manual ; E93-916-16.

[8] 한전 기술 연구원, "발전소 제어용 디지탈 계장제어 시스템 개발 (최종 보고서)", 1990년 8월.

[9] 박세화, 이중 구조를 갖는 제어 시스템의 구현과 신뢰도 분석에 관한 연구", KAIST, 석사논문, 1990

그림

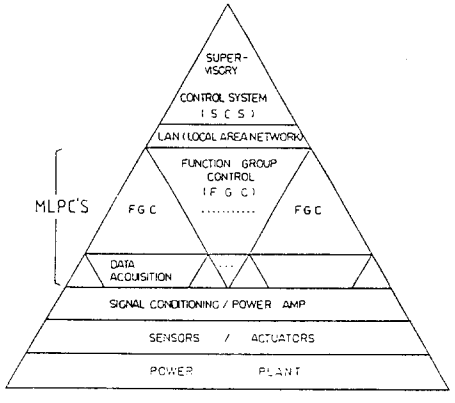

그림 2.1 발전소 제어용 디지탈 계장 제어시스템

Fig 2.1 Digital instrumentaion and control system for the power plant

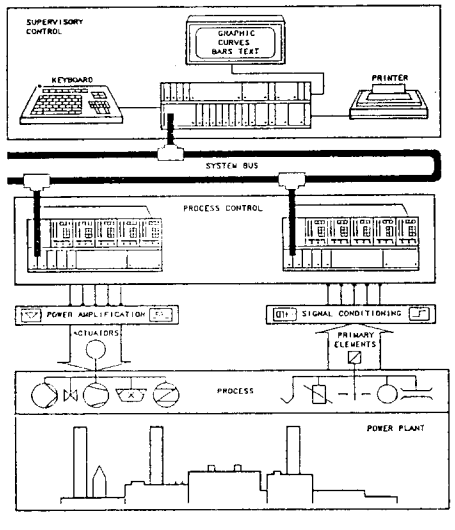

그림 2.2 대규모 공정 제어시스템의 계층 구조

Fig 2.2 Hierachical structure of the control system of large scale system

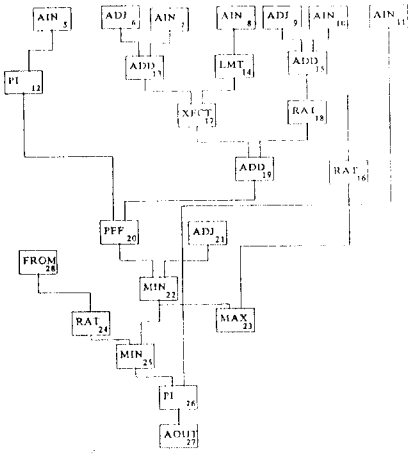

그림 3.1 서울 화력 압력 제어 루프 다이어그램

Fig 3.1 pressure control loop diagram of seoul power plant

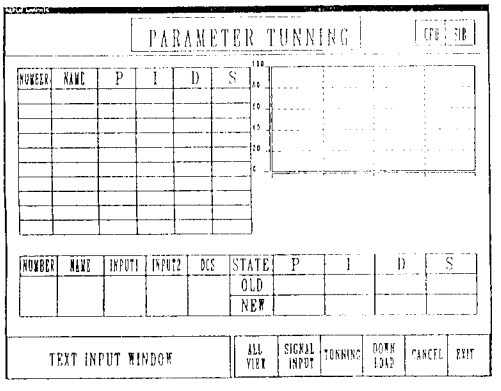

그림 3.2 파라미터 튜닝을 위한 화면 구성

Fig 3.2 monitoring page for parameter tuning

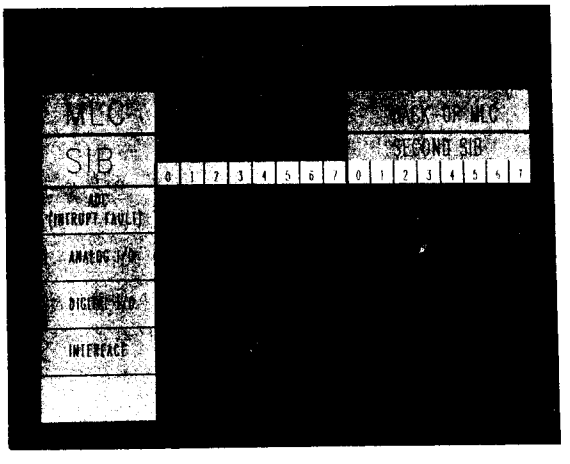

그림 4.1 고장 정보를 위한 화면 구성

Fig 4.1 monitoring page for the fault information