

유연생산시스템의 계층구조적 실시간 운용제어 및 모니터링에 관한 연구

김 종 원*

A Study on the Hierarchical Real-time Operation Control and Monitoring for an Flexible Manufacturing System

Jong-Won Kim*

ABSTRACT

This paper presents a hierarchical real-time operation control and monitoring scheme of the FMS/CIM center which has been implemented at the Automation and Systems Research Institute of Seoul National University. The hierarchical structure of the whole scheme consists of three layers. The upper layer is in charge of on-line scheduling, computer network control, shop-floor monitoring and command generation for AGV dispatching, machining, assembly, inspection, set-up, etc. The middle layer has six modules, which are installed in the FMS host computer with the upper layer and run on the multi-tasking basis. Each module is connected to one of six cell controllers distributed in the FMS model plant and transfers operation command down to each cell controller through the Ethernet/TCP-IP local area network. The lower layer is comprised of six cell control software modules for machining cell, assembly cell, inspection cell, set-up stations, AS/RS and AGV. Each cell controller reports the status of the manufacturing facilities to the middle layer as well as executing the appropriate sequence control of the manufacturing processes.

1. 서 론

생산원가의 절감, 품질의 균일화, 단순작업에 대한 근로기피 등으로 생산자동화에 대한 필요성이 크게 부각되고 있다. 또한, 소비자의 욕구가 다양해지고, 제품의 수명이 단축되며, 기업간의 경쟁이 치열해짐에 따라서, 다양한 제품을 별도의 설비조정 없이 생산할 수 있는 유연생산시스템(FMS : Flexible Manufacturing System)에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되고 있다.

특히, FMS 운용제어 및 모니터링은 FMS를 구축하

는데 있어서 매우 중요한 소프트웨어 모듈이다. Dilts 등은 생산자동화시스템의 운용제어구조를 중앙집중식, 계층식 및 분산식 등으로 분류하여 장단점을 정리하였으며⁽¹⁾, Duggan 등은 일정전개, 모니터, 작업할당, 물류이동 및 생산지시 모듈 등으로 구성된 생산활동제어(PAC : Production Activity Control) 개념을 제시하였다⁽²⁾. 한편, Sahraoui 등은 FMS를 위한 분산식 모듈화 모니터링 시스템(DMMS : Distributed and Modular Monitoring System)을 제시하였는데, 설비단위의 국부적(local) 모니터링과 상위계층의 총체적

* 서울대학교 자동화시스템공동연구소 (정회원)

(global) 모니터링 시스템으로 구분하였으며, 페트리 넷(Petri-net) 를 이용하여 개념을 설명하였다⁽³⁾.

이러한 이론적인 배경을 근거로 하여, 서울대학교 자동화시스템공동연구소에서는 실제로 가공, 조립 및 검사 등의 공정이 통합되어 있는 FMS 시범플랜트를 설치하고^(4,5,6), 이것에 적합한 운용제어구조 및 모니터링 시스템을 개발하였다. FMS 시범플랜트는 자동가공셀, 자동조립셀, 자동검사셀 등의 생산공정군과 무인운반시스템(AGV : Automatically Guided Vehicle), 자동창고시스템(AS/RS : Automatic Storage/Retrieval System), 셋업 스테이션 등의 물류처리군으로 구성되어 있으며, 각각의 셀 제어장치는 근거리 통신망으로 FMS중앙제어컴퓨터 (HP9000/433 워크스테이션)에 연결되어 있다.

본 논문에서는, FMS 운용제어 및 모니터링 시스템의 개념을 정의하고, 서울대 FMS 시범플랜트의 구성을 소개하며, 계층구조적 실시간 FMS 운용제어 및 모니터링 소프트웨어의 개발사례를 설명하고, 끝으로, 장기적인 개발방향을 제시하고자 한다.

2. FMS 운용제어 및 모니터링 시스템

FMS란 부가치를 창출하는 생산공정 (절삭가공, 비접촉가공, 소성가공, 조립, 용접, 도장 등)을, 분야별로 적절한 물류운반장치와 셀제어장치로 연결하여 생산자동화셀로 만들고, 2개이상의 생산자동화셀을 생산지원설비군 (자동창고, 무인운반시스템, 소재세팅라인, 치공구관리공급실, 자동검사설비, 자동세척설비 등)과 중앙운용제어시스템으로 유기적인 결합을 시켜서, 별도의 셋업을 위한 휴지시간이 없이, 다양한 제품을 자동적으로 제조하는 시스템이다.

생산자동화시스템의 통합측면에서, FMS의 효율성과 신뢰성은 운용제어와 모니터링 시스템에 의해서 결정된다. FMS의 운용제어는 물류이동(Material Handling)과 생산공정(Manufacturing Process)의 동작제어(Operation Control)를 통하여, 원자재 투입부터 완제품 반출까지의 생산공정을 관리 수행하며, 이를 위하여, 상위계층으로, 일정전개(Scheduling), 작업할당(Dispatching) 및 모니터링 시스템을 가지고 있어야 한다.

FMS의 운용제어시스템의 구조는 Fig.1에서와 같이 중앙집중식(Centralized), 계층식(Hierarchical) 및 분

산식(Heterarchical) 구조로 분류할 수 있다. 중앙집중식 구조는 하나의 메인 컴퓨터가 모든 하위계층의 생산공정과 일정계획을 조정하고, 전체 생산정보를 중앙의 데이터베이스에 모두 관리하는 구조다. 계층식 구조는 피라미드 형태로 몇개의 제어계층을 가지며, 상위운용제어기와 하위운용제어기가 종속관계를 유지하는 구조이다. 분산식 구조는, 중앙컴퓨터와 셀운용제어기 사이에 종속관계가 없이, FMS 내부에 분포되어 있는 각각의 셀운용제어기가 유기적으로 결합하여 자신이 담당하는 영역의 생산설비를 제어하면서, 동시에, 다른 셀운용제어기와 서로 생산정보를 교환 및 처리하는 구조이다.

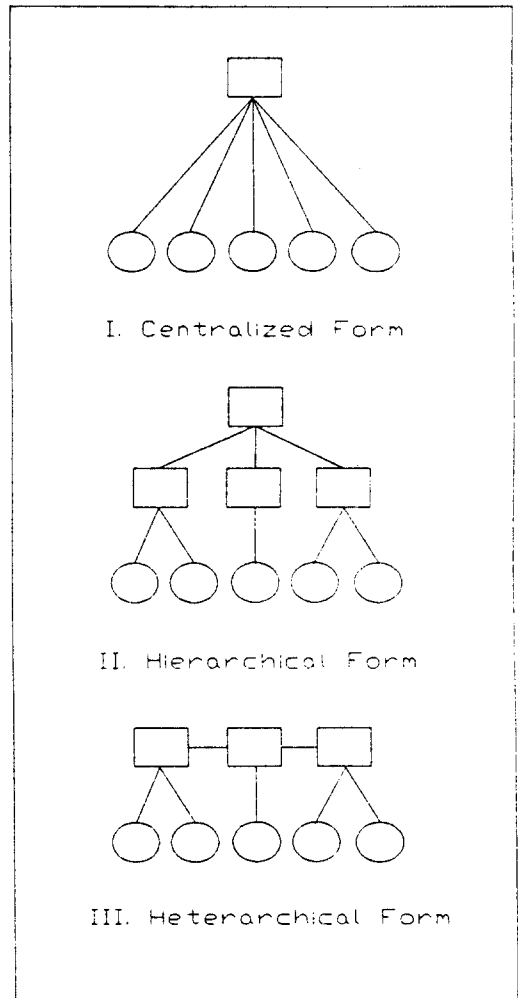


Fig.1 Three Types of FMS Operation Control Structures

중앙집중식 구조는 하위계층의 생산설비로부터 생산정보를 얻거나 전체 FMS를 최적화하기 쉽다는 장점을 가지고 있으나, 운용제어 소프트웨어의 변경이 어렵고, 하나의 컴퓨터에 전체 시스템이 의존하게 된다는 위험이 있다. 계층식 구조는 응답성이 좋고, 시스템 변경에 대하여 적응성을 가질 수 있으며, 하위계층의 셀제어기 추가가 간편하다는 장점이 있는 반면, 단점으로는 운용제어기간의 통신망 연결이 복잡해지고, 동적 적응제어가 어려워진다. 분산식 구조는 각각의 셀운용제어기가 독립되어 있기 때문에 시스템 상태 변화에 대한 적응성이 좋고, 재배열이 용이하다는 장점이 있으나, 현실적으로, 분산식 구조에서 요구되는 고성능의 지능화된 운용제어 소프트웨어의 개발이 아직 실용화되지 못하고 있고, 통신방식과 운영체제가 통일되어 있지 않으며, 셀단위로 국부적인 최적화만이 가능하다는 단점이 있다.

한편, 효율적인 FMS 운용제어를 위해서 신뢰성 있는 모니터링 시스템이 필요하다. 모니터링 시스템은 국부적(Local) 모니터링과 총괄적(Global) 모니터링으로 분류할 수 있다. 국부적 모니터링은 주로 셀단위에서 생산설비의 이상동작상태를 감지(Detection), 진단(Diagnosis)하여 자체적으로 오류처리(Error Confinement)하는 것을 말한다. 감지는 오류 또는 설비의 상태변화를 그때마다 알아내고 이를 화면에 표시해주는 것은 물론 이 정보를 상위 운용제어계에 보내주는 기능이고, 진단은 감지된 상태변화가 전체 시스템에 어떤 영향을 미칠지를 판단하고 이에 알맞는 조치를 결정하는 단계이다. 오류처리는 진단에서 결정된 조치를 수행하는 메카니즘으로, 주로 오류를 해결하고 전체 시스템이 원활히 운용되도록 상위운용제어계에서 명령을 받아 수행하게 된다.

총괄적 모니터링은 상위 운용제어 계층에서 작업관리자가 모든 설비의 상태를 한눈에 파악할 수 있도록 공정설비의 상태를 보여주는 기능이다. 총괄적 모니터링은 단계에 따라 총괄화면(Global Monitor)와 구역화면(Local Monitor)으로 나눌 수 있다. 구역화면은 자동생산셀 단위의 상태정보를 셀단위화면으로 표시하여, 각각의 셀단위에 대한 자세한 정보를 화면에 표시하는 것이고, 총괄화면은 하위단계의 정보를 축약하여 필요한 정보만 하나의 FMS 설비배치도 화면에 표시하는 것이다.

3. 서울대 FMS 시범플랜트의 생산설비

서울대 FMS 시범플랜트의 생산설비는 자동가공셀(Machining Cell), 자동조립셀(Assembly Cell), 자동검사셀(Inspection Cell) 및 자동창고와 무인운반차 등의 자동물류운반시스템으로 구분되며, FMS 운용제어 및 모니터링을 담당하는 FMS운용제어실, 치공구관리실과 소재세팅스테이션(Set-up Station)이 있다. 전체 생산설비 배치도는 Fig. 2와 같다.

3.1 자동가공셀

자동가공셀은 자동팔렛교환기(APC : Automatic Pallet Changer)가 장착된 세일중공업의 수평형 머시닝센터 MCH-10과 대우중공업의 CNC 선반 PUMA6-J가 있으며, 선반에 대한 소재 장탈작용의 물류운반로봇로서 대우중공업의 6축 관절형로봇 ARCMATE가 설치되어 있고, 셀 제어기로서, IBM PC/286이 RS232C를 통하여 각 설비와 연결되어 있다. 주요 특징으로서, 유연성 극대화를 위하여, 6축 관절로봇을 이용한 선반용 소프트조 교환기능을 구현하였으며, 다양한 소재에 대응하기 위한 자동그리퍼교환기능도 가능하다.

3.2 자동조립셀

자동조립셀은 서울대와 공동설계한 금성계전의 메인컨베이어와 3개의 부품공급컨베이어를 중심으로 삼선전자의 4축 SCARA 로봇 SM3 2대와 대우중공업의 6축 관절형로봇 ARCMATE 1대로 구성되어 있으며, 조립셀 제어장치로서 IBM PC/386이 사용된다. 현재는 세가지 직경의 모터를 조립하고 있는데, 각 공정에서의 유연성을 위하여 자동그리퍼교환기능과 RCC(Remote Center Compliance) 유닛을 각각의 로봇에 구현 및 장착하였다.

3.3 자동검사셀

자동검사셀에는, 2축좌표계로봇인 YAMAHA FT-150에 2대의 CCD 카메라를 부착하여, 대기스테이션에 놓여있는 가공완제품을 촬영하고, 그 영상정보를 Imaging Technology의 IP-151 영상정보처리장치로 신호처리하여, SUN SPARC 워크스테이션으로 부품의 기하학적인 치수를 계산하는, 영상인식을 응용한 검사시스템이 설치되어 있다. 또한, 조립에 투입될 부품의 셋업 검사나 문자인식 검사 등을 수행한다.

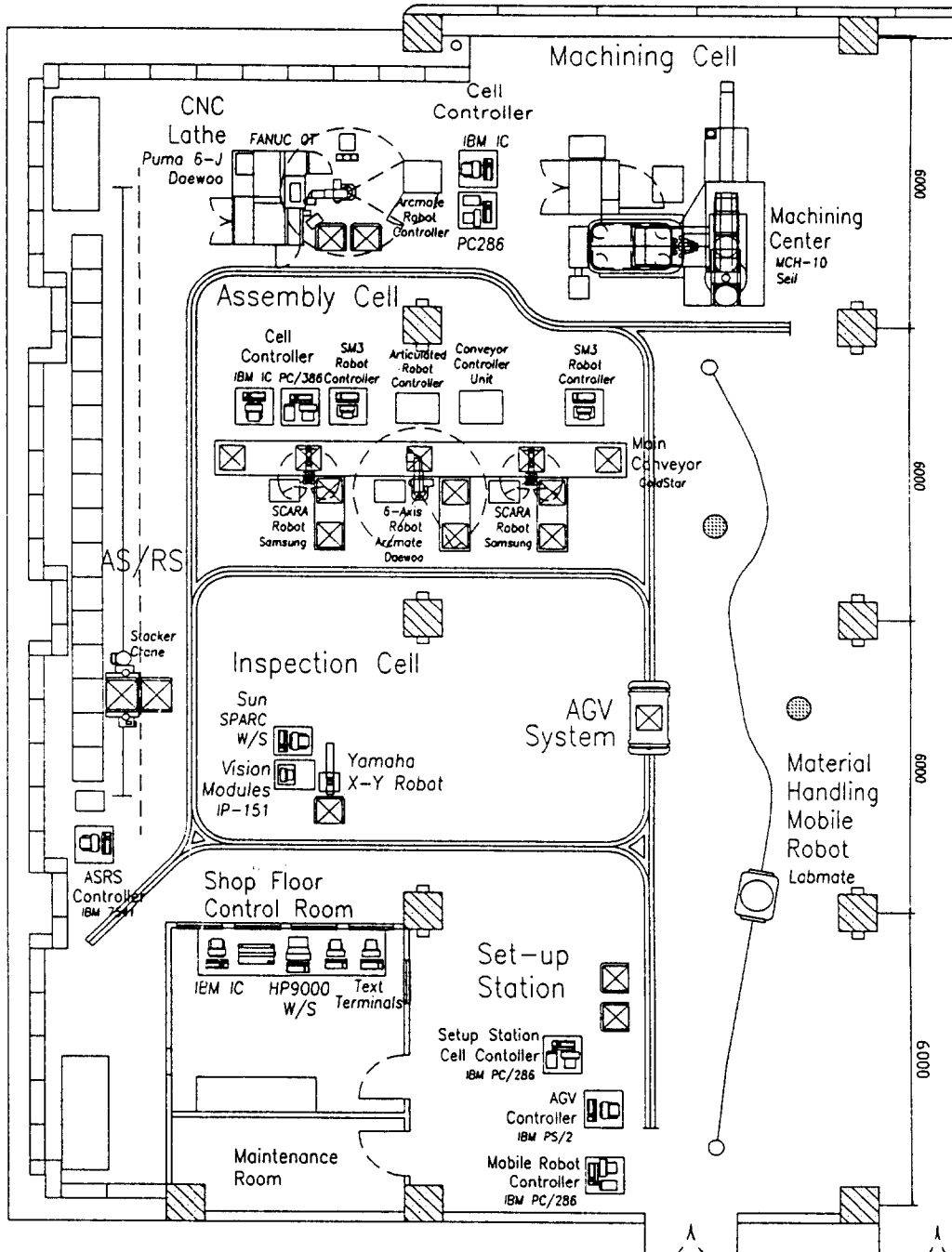


Fig. 2 Layout of the FMS Model Plant at ASRI- SNU

3.4 물류처리시스템

FMS시범플랜트내의 물류운반과 보관은 금성계전의 무인운반차 MiniCart-350과 서울대와 공동설계한 반도 기계의 자동창고를 이용하여 수행된다. 무인운반시스템과 자동창고시스템의 셀 제어장치를 공장내의 근거리통신망 Ethernet/TCP-IP에 연결하기 위하여, 소스코드를 각 회사로부터 인수해서 통신용 소프트웨어를 추가 변경하였다. 한편, 무인운반차가 각각의 스테이션 앞에 정지하는 반복정밀도를 $\pm 1mm$ 로 유지하기 위하여 공압실린더를 사용하여 최종적으로 클램핑하는 방법을 사용하였다. 이것을 위하여, 자동가공셀의 머시닝센터의 APC부분도 개조하였으며, 무인운반차의 이재장치도 서울대의 요구규격에 맞추어 제작되었다.

3.5 FMS운용제어실과 통신망

FMS운용제어실의 중앙컴퓨터는 HP9000/433 워크스테이션으로서, FMS 운용제어 및 모니터링 기능의 상위 계층을 구성한다. 작업일정 전개기능을 수행하며, 하위 계층의 셀 제어장치에 대한 동작제어명령을 생성하여 근거리통신망을 통하여 동작제어명령을 하위계층에 전송하고, 하위계층의 셀 제어장치로부터 상태정보를 받아 모니

터링하는 역할을 한다. FMS 시범플랜트의 컴퓨터 통신망 구성체계는 Fig.3과 같다. 셀과 셀 제어장치, 셀 제어장치와 운용제어컴퓨터사이의 생산정보 교환을 담당하는 생산공정용 통신망으로 Ethernet/TCP-IP를 채택하였으며, 응용프로그램 인터페이스를 위하여 통신지원용 소프트웨어 라이브러리를 자체개발하여 각 셀 제어용 소프트웨어가 공용하도록 하였다. 한편, 셀 제어장치와 하위계층의 CNC, PLC 및 로봇 제어장치 사이에는 RS232C를 이용하여 통신을 하는데, 각 하위계층 기기에서 사용하는 통신 프로토콜에 맞추어서 각각의 셀 제어장치용 통신 소프트웨어를 개발하였다.

4. 서울대 FMS시범플랜트의 운용제어 및 모니터링

서울대 FMS 시범플랜트의 운용제어 소프트웨어는 Fig.4(a)와 같이 계층식 구조로 되어 있으며, HP9000/433 워크스테이션에 탑재되어 UNIX 환경하에서 운용된다. 멀티프로세싱에 의해서 동시에 8개의 모듈이 운용된다. 상위 계층의 모듈로서 [MAIN]과 [MONITOR]가 있으며, 데이터베이스는 INGRES 관계형 DBMS를 사용하고 있다. 중간 계층의 모듈로서

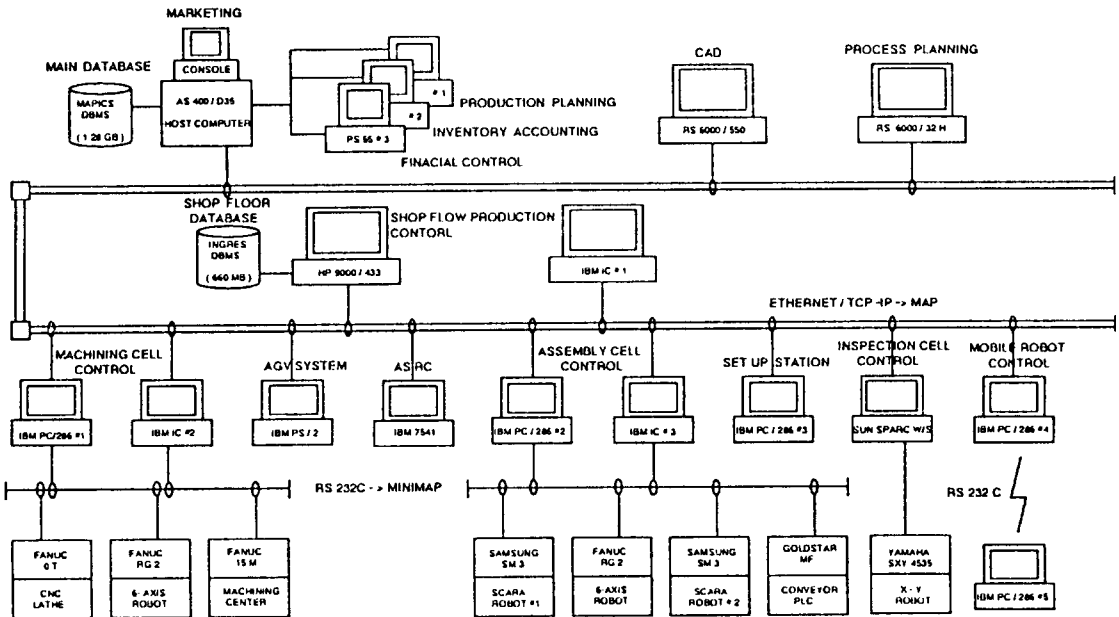


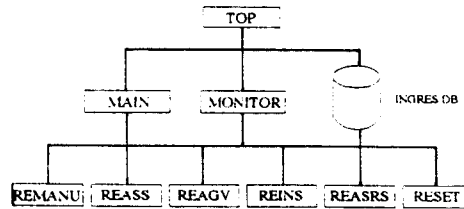
Fig.3 Computer Network Configuration of the FMS Model Plant at ASRI-SNU

[REMANU], [REASS], [REAGV], [REINS], [REASRS], [RESET] 등이 있으며, FMS 시범플랜트에 분포되어 있는 하위 계층의 자동가공셀, 자동조립셀, 무인운반차, 자동검사셀, 자동창고, 셋업스테이션 등의 제어장치와 각각 연결되어 있다.

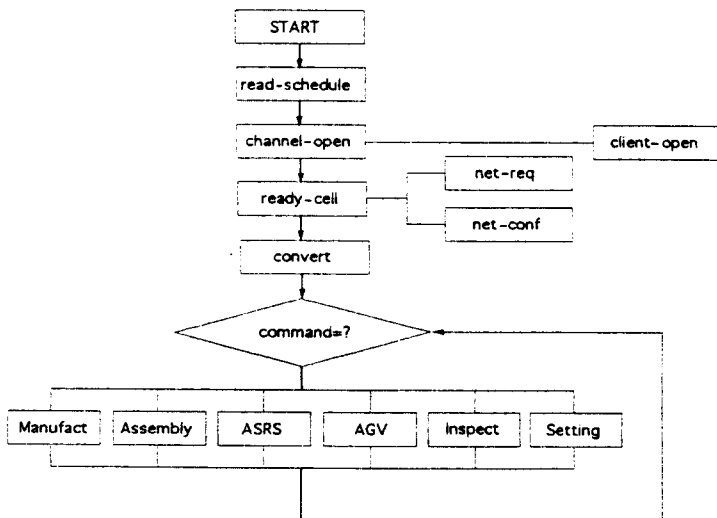
Fig. 4(b)는 상위계층의 [MAIN]의 구조를 보인 것이다. [READ-SCHEDULE]에서 전개된 일정을 읽고, [CHANNEL-OPEN]으로 통신망을 연결한 후, [READY-CELL]을 통하여 하위의 셀 제어장치가 통신망에 연결되어 있으며 작업준비가 되어 있는지 확인한 다음에, 동작제어 명령을 순차적으로 전달하고, 작업완료 보고를 기다린다. 작업완료가 된 셀에 대해서는 일정상의 다음 명령을 보낸다.

서울대 FMS 시범플랜트 운영제어 소프트웨어 모듈의 구성도는 Fig. 5와 같으며, 주요 특징은 다음과 같다

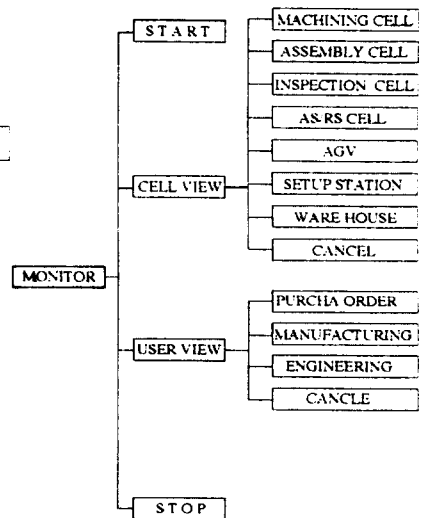
- (1) 각각의 셀운영제어 소프트웨어에서 처리할 수 있는 기능은 셀제어장치가 담당하게 하였으며, 그 결과를 상위 워크스테이션에서 감지할 수 있도록 시스템을 구성하였다.
- (2) 작업일정계획에 따라 공장내의 팔렛상황, 치구상황, 설비이상유무 및 작업자 작업상황을 고려하여 공장을 운용제어한다.
- (3) 작업중 이상상태가 발생하면, 셀제어장치는 에러코드(Error Code)를 상위 워크스테이션에 보고하며, 운영제어는 작업관리자에게 에러코드 및 해당되는 복구방안을 제시한다.



(a) Structure Outline



(b) Schematic of [MAIN]



(c) Schematic of [MONITOR]

Fig. 4 Structure of the FMS Control and Monitoring Modules at ASRI-SNU

- (4) 모든 작업명령은 팔렛단위로 내려지며, 한 팔렛위의 임의의 부품수량에 대한 정보로 처리될 수 있다.
- (5) C언어로 작성되었으며, 8개의 프로세서, 70개의 Function으로 구성되었다. 또한 공장내의 모든 작업, 설비, 자재 등이 정의되어 있으며, 60여개의 명령어 세트가 개발되어 있다.

서울대 FMS 시범플랜트의 모니터링은 실시간으로 공장상황과 기타 여러가지 정보를 표시하여 작업관리자가 이를 이용하여 판단하고 지시를 내릴 수 있도록 구성되었다. 모니터링 시스템은 INGRES DBMS를 이용하여 구축된 FMS 플랜트 데이터베이스와 유기적으로 결합되어 있으며, INGRES/WINDOWS 4GL을 이용하여 사용자가 최대한 편리하게 사용할 수 있도록 GUI (Graphic User Interface) 환경으로 구성되었다. 작업자는 모든 작업을 마우스를 사용하여 수행할 수 있다.

또한 모니터링 프로그램은 4GL의 목적기초(Object Oriented)적인 특성을 이용하여 사건발생에 의해 화면상에서 상태가 움직이도록 보이는 방식(Event Driven 방식)으로 구성되었다.

모니터링의 결과는 크게 총괄화면과 구역화면의 두 부분으로 표시된다. Fig.6은 모니터링의 총괄 화면이다. 총괄화면에서는 전체공장의 모습을 나타내면서 무인운반차의 현재위치, 각 설비의 가동상황, 팔렛의 현재위치, 에러발생여부, 조립셀의 조립 진척상황 등을 색깔로 표시하여 작업관리자가 전체 공장상황을 한눈에 알 수 있도록 돕는다. 총괄화면에는 또한 전체 공장을 가동시키는 [START], 비상시 전 설비를 정지시키는 [STOP], 구역화면으로 갈 수 있는 [CELL VIEW], 주문량, 일정 및 일정계획과 공정계획에 대한 정보를 얻거나 명령을 실행시킬 수 있는 [USER VIEW], 그리고 사용자를 위한 [HELP]의 5개의 버튼이 있다.

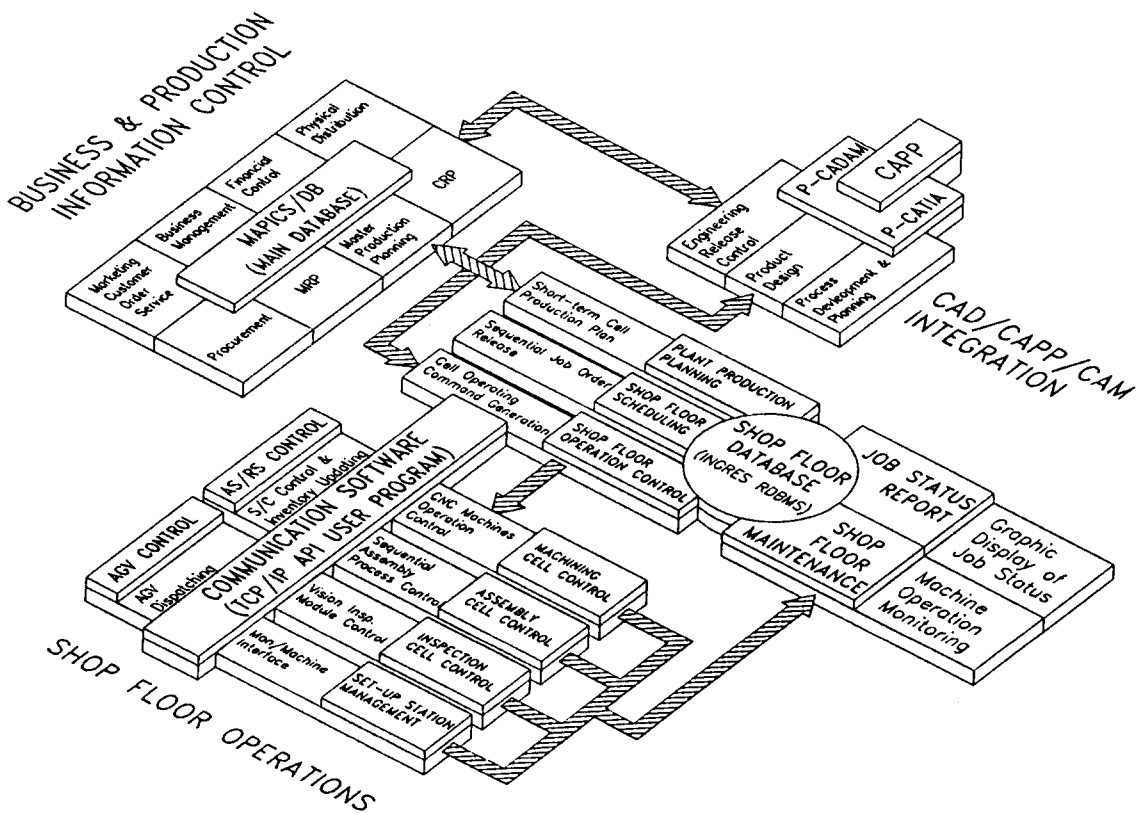


Fig.5 Software Configuration of the FMS Model Plant at ASRI-SNU

Fig.7은 [CELL VIEW]를 통해서 볼 수 있는 조립셀의 구역화면이다. Fig.7에서 알 수 있는 바와 같이, 구역화면에서는 설비의 가동률, 작업중인 팔렛, 작업중인 공정, 가공완료 시간, 공구 또는 그리퍼의 교체 시간, 실행중인 프로그램, 작업자, 교대시간 등의 정보를 볼 수도 있고, [MESSAGE]를 이용하여 셀작업관리자와 중앙제어실의 작업관리자가 서로 의견을 교환할 수도 있다.

5. 결론

서울대 FMS 시범플랜트의 FMS 운용제어는 3개 계층으로 구성된 계층적 구조로서, 상위 2개 계층은 멀티프로세싱으로 FMS 중앙제어컴퓨터에서 운용되며, 모니터링 시스템은 국부적 및 총괄적 모니터링을 INGRES DBMS와 근거리 통신망을 이용하여 동시에 구현된다. 앞으로의 장기적인 개발방향으로서는 운용제어를 분산식 구조로 전환하는 연구를 들 수 있으며, 이를 위하여, 단기적으로, 분산 데이터베이스에 대한 연구와 셀제어시스템의 멀티태스킹화와 지능화 작업을 추진하고 있다.

참고문헌

1. Dilts, D.M., Boyd, N.P. and Whorms, H. H., "The Evolution of Control Architectures for Automated Manufacturing Systems," Journal of Manufacturing System, Vol.10, No.1, pp.79~93, 1991.
2. Duggan, J. and Browne, J., "Production Activity Control: A Practical Approach to Scheduling," International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol.4, pp.79~103, 1991.
3. Sahraoui, A., Courvoisier, M. and Valette, R., "Some Consideration on Monitoring in Distributed Real-Time Control of Flexible Manufacturing Systems," IECON, pp.805~810, 1986.
4. Ko, M.S. and Kim, J., "Implementation of an Integrated FMS Model Plant," Proceedings of the IMACS/SICE, Kobe, Japan, pp.259~264, 1992.
5. 서울대학교 자동화시스템공동연구소, "중소기업을 위한 간이 자동화 및 FMS연계에 관한 연구," 상공부 최종보고서, 1991.
6. 서울대학교 자동화시스템공동연구소, "CIMS(컴퓨터 통합 생산시스템) 개발에 관한 연구," 상공부중간보고서, 1992.

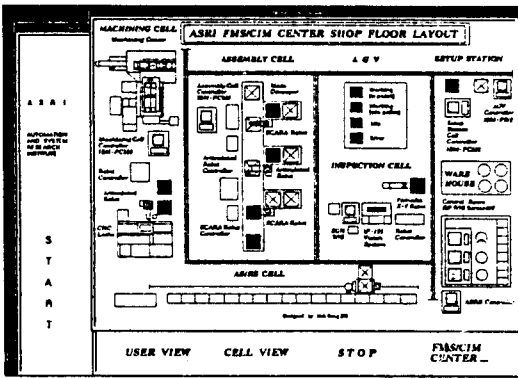


Fig.6 Global Monitor Display of the FMS Model Plant at ASRI-SNU

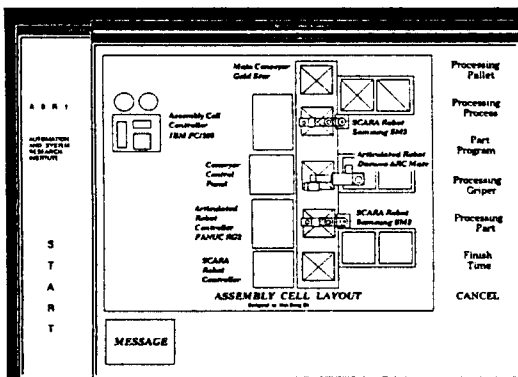


Fig.7 An Example of Local Monitor Display for the Assembly Cell