선진국 사례를 중심으로한 유연 생산 및 컴퓨터 통합 생산 시스템(FMS / CIM)의 운영분석†

김승권*

Evaluation of FMS /CIM through Case Studies in Advanced Countries†

Sheung-Kown Kim*

1. 서 론

1985년 이래로 구미 선진국에서는 FMS(Flexible Manufacturing Systems)를 통한CIM(Computer Integrated Manufacturing)의 열풍이 강하게 불고 있다. 개념의 단계로만 파악되던 CIM은 선진국에서는 현실로 나타나기 시작하고 있다. 이제는 선반과 밀링 또는 기계가공센타(machining center), 로봇(robot)등과의 구분이 희미해지고 기계가공 설비의 자동화 기술은 크게 발전하고 있다. 그리고 CIM의 구축과 그에 수반되는 정보화 수준에 따라 수직적이던 경영 조직 구조가 좀 더 수평적인 구조로 조직 개편이 이루어지고 있으며, 전통적인 원가관리 방식까지도 ABC (Activity Based Costing) 기법과 같은 새로운 원가 관리 및 회계 기법으로 전환할 수 있게 하는 계기가 되고 있다. 선진국의 제조업 노동 생산성은 미국과 일본의 경우 현재 우리나라 보다 각각 2. 4배, 1. 8배 (전자신문, 강진구, 1993) 에서 더 크게 벌어질 것이며 종래의 값싼 노동력을 찾아 철새처럼 돌아다니던 제조업의 국제적인 투자 관행마저도 바뀌어 가고 있다. 즉, 선진 제국은 자국 내에서 모든 생산활동을 하여도 품질 및 가격 경쟁력을 확보할 수 있도록 제조업의 자동화를 이룩하고 있다. 따라서 우리도 그에 따른 적절한 대비를 하지 못하면, 선진국들은 우루과이 라운드 협정에 의한 세계시장의 자유경쟁의 바람을 등에 업고 FMS /CIM에 의한 품질과 생산성 향상으로 제조업의 국제 분업의 체계마저 허물지도 모른다. 21 세기에는 정보의 초고속화에 의지하여 지능형 제조업(IMS: Intelligent Manufacturing Systems) 체계를 실현하고 자동화 제조 기술의 블럭화에 의한 제품시장의 독점을 꾀하려 할 지도 모른다.

Henry Ford 시대의 대량 생산에 의한 인간의 욕구를 충족시킬 수 있었던 시대에는 일차적인 인간의 호기심과 욕구를 충족시킬 수 있으면 어떤 제품이라도 시장성이 있었다. 그러나 사회가

† 본 연구는 고려대학교 교내 연구비의 지원으로 이루어졌습니다.
* 고려대학교 산업공학과

급속하게 다변화하여 발전해 가고 소득 수준이 올라가서 생활의 여유가 생기기 시작하자 소비자는 더 많은 값을 치르더라도 더욱 자신들의 기호에 맞는 질 좋은 제품에 흥미를 갖기 시작하였다. 시장 정보의 흐름이 빨라지고, 유행에 민감하여져서 제품의 수명주기가 급속히 짧아지게 되었으며, 정보 및 자동화 구현 제조기술 통합화가 기업의 사활을 좌우하게 되었다. 이제 재래식의 생산 시스템으로는 이 같은 새로운 시장 환경에 대응하기가 어렵게 되어가고 있다. 즉 앞으로는 10개 이하의 소량 생산이 되더라도 경쟁에 이기고 이익이 남을수 있는 그러한 생산 기술이 필요하게 되었다. 이같은 다양한 소비자의 욕구에 부응하고자 대안으로 출현 한 것이 FMS라고 하는 유연생산 시스템이라 할 수 있으며, 그같은 생산 시스템의 활용성을 보장해주는 토대를 CIM이라 할 수 있다.

FMS하면 주로 기계장비 같은 공작기기의 제작을 위한 자동화된 유연생산 시스템으로만 알려져 왔지만, 이제는 적용대상도 제조업 전반으로 확산되고, 유연성의 개념도 확대되어서 마치 우리가 양복을 마추어 입는 것처럼 신발이나 자전거 등도 소비자의 기호에 맞는 "마춤 호출기", "마춤 신발" 또는 "마춤 자전거" 까지 제작해낼 수 있는 정도로 되었다. FMS는 제조업 전반의 유연생산 시스템과 CIM의 개념으로 통합되어 사용되기에 이르렀고, CIM은 이제 개념의 단계를 벗어나 우리의 눈앞에 현실로 나타나기에 이르렀다. 공업화 사회로부터 정보화 사회로, 생산라인도 다품종 소량생산에서 초 다품종 다량생산의 시대로 옮겨가고 있다. 이제는 정보, 사람, 설비 공간, 시간, 타이밍, 자금을 낭비없이 효율적으로 사용할 수 있는 혼류 생산 시스템 (mixed production system)과 융합 생산시스템 (fusion manufacturing system , agile manufacturing system)을 구축하여 운영하여야 하게끔 되었다.

본문에서는 제조업의 CIM 구현의 핵심 자동화 기술인 FMS가 점하는 위치를 조망해보고, 개념이 확대되고 재 해석된 선진국의 FMS/CIM기술의 개념과 기술 구현의 사례를 내부적인 운영과정을 중심으로 살펴봄으로써 FMS/CIM의 운영방식에 대한 이해를 돕고, 그의 도입에 따른 운영효과와 문제점을 알아 보고자 한다.

2. CIM을 위한 FMS 구성요소 및 자동화의 발전 방향

전통적으로 소량의 제품들은 선반, 밀링, 쉐퍼, 연마기, 드릴등의 몇가지의 필수적인 공작기계를 갖춘 Job shop이라 불리는 재래식의 소규모의 기계 공작소에서 숙련된 기계공에 의하여 제작되어 공급되었다. 대개의 경우 아주 정밀한 가공과 조립이 요구되는 그런 복잡한 제품의 생산 의뢰였다. 1960년경에는 그동안 실험실에서만 개발되어 사용하였던 NC공작기계를 대기업에서 사용하기 위한 실험을 거듭하다가 유연성 있고 효율적인 batch 제조를 위하여 공작기계들을 체계화하는 FMS라는 개념이 영국의 Williamson (1968)에 의하여 처음으로 제안되었다. 그의 개념은 권련 제조기 제작회사인 Molins Machine Co. 의 "System24"로 구현되었고 (ECE, 1986), 그 이듬해엔 서독의 Stuttgart 공대와 합작으로 Heidelberger Druckmaschinen에서 구축하였다. 미국의 경우 진정한 FMS는 1970에 Kerney & Trecker에서 처음으로 설계 되었다. 그 2년 후에 일본의 Fuji Xerox(도요다 工機 계열사)로 전파되었으며, USSR의 경우는 "Stanki-72" 박람회에 소개되었다.

처음에는 FMS가 운송기구와 한 두가지의 공작기계로 구성되었다. 그로부터 NC 공작기계는

급속한 발전을 거듭하여 종이 테잎에 의한 NC로부터 CNC 공작기계로 그리고는 DNC 공작기계로 발전했으며 servo-drive와 feedback요소 기술들이 추가되었고, 주축 회전속도의 증가에 따른 진동을 제어하기 위하여 공작기계 구조와 몸체는 크고 견고해졌으며 무거워지게 되었다. 기계가공을 위한 FMS를 구성하는 기본장비로는 수치선반, 수치기계 가공센터, PLC, 셀 통제기 등이 있다.

수치 선반은 NC turning center라고도 불리며 수동식, 직립 또는 수평식 turret선반을 현대적인 개념으로 개조한 NC 선반을 말하며 유연성과 적응능력에 있어서 기존의 NC turret선반을 훨씬 뛰어 넘는 최신의 현대식 선반이라 할 수 있다. 기존의 수동식 turret 선반은 회전하는 공구대를 갖고 수 개의 절삭공구를 작업공정순서에 따라 장치하고 가공물을 주축에 장치하여 놓은 다음, turret공구대를 회전시켜 가면서 장치된 공구 순으로 가공한다. 따라서 작업 중에 공구의 장치와 교환에 필요한 시간을 절약하고 동일한 치수의 제품을 대량으로 제작할 때에 편리하다. 최근에는 주축이 로봇트의 기능까지 하여 공작물의 장·탈착 작업까지 해주는 6축 제어 신형 선반이 등장하는 실정으로 공작기계의 수명주기도 3-4년으로 점점 짧아지는 추세에 있다 (EMO'93).

수치 기계가공센터 (NC machining center)의 전신은 "turret drill" 이라 할 수있는데, 1960년대에는 자동 공구교환기 (ATC : Automatic Tool Changer)로 알려졌으며, 작업물에 여러가지의 공구를 바꾸어 가며 작업을 할 수 있게하여 그 명성을 높이기 시작하였다. 현재에는 수치제어와 여러 가지 특징을 가미하여 FMS 에 가장 많이 사용되는 기계공구의 하나로 되었으며 공구대의 위치에 따라 직립 또는 수평식의 종류로 분류되고 주축의 수와 작업대의 가공축수에 따라서 3, 4, 5축 수치기계가공센터로 분류된다. 기능은 구멍뚫기(drilling), 나사홈내기(tapping), 보링(boring), 밀링(milling) 등을 할수 있다. 그리고 작업물을 장착한 작업대를 움직여(turning) 자유곡면의 가공도 가능하다.

PLC (Programmable Logic Controller)는 아주 작은 규모의 컴퓨터로서 기계의 작동, 첨단 자동화시스템의 통제를 가능케 하는 계전기를 기술적으로 진일보시킨 것이다. 따라서 과거의 복잡한 전기선의 연결작업을 대신하며, 일련의 입력신호들을 받아들여서 출력장치들을 통제하거나 조정하는 장치이다. PLC에는 프로그램의 형태로 명령들을 입력시킨다. 주로 ladder diagram, Boolean mnemonics, functional block 등으로 작성하는데, 최근에는 Basic, Pascal은 물론 C와 같은 고차원 프로그램언어까지도 사용할 수 있도록 발전시키고 있으며, Intel486 processor를 장착시켜 1000 Boolean 명령을 0. 3 ms에 처리할 수있고 40,000단어의 명령을 기억할 수 있는 고용량의 고속 PLC도 개발되고 있다(Simatic TI555PLC, GE Fanuc Model 341CPU) . PLC는 FMS내의 각 PLC와 주 전산기 끼리 서로 신호를 주고받아서 팰릿의 움직임, ASRS(Automatic Storage and Retrieval Systems), 작업물의 장 탈착, 냉각 및 절삭유의 투입,등을 통제 조정한다.

작업설비 통제기(station controller)는 단 하나의 제조공정 또는 특정 작업대의 제조 작업을 관리하는 컴퓨터이다. PLC를 프로그래밍 하는데는 깊은 프로그래밍의 기술이 필요치는 않다. 그러나 점점 고기능의 PLC로 발전되고 있어서PLC가 작업설비 통제기(station controller)의 기능을 수행하게 됨에 따라 좀더 고차적인 프로그래밍 능력이 요구될 것으로 전망된다.

셀 통제기 (Cell Controller)는 PLC와 생산 정보관리 컴퓨터 기능을 합친 컴퓨터로서 Cell에 포

함된 여러대의 작업대, 즉 PLC들을 통제 관리하며 그 자신도 상위의 생산라인 통제기(line controller)의 통제를 받는다. 그러나 PLC가 점점 고기능의 PLC로 발전되어 작업설비 통제기(station controller)의 기능까지할 수 있게 됨에 따라 셀 통제기를 거치지 않고 조립라인의 전체 운영을 책임지는 생산라인 통제기와 직접 소통하게 하므로써 셀 통제기의 필요성은 점차 감소될 것으로 전망된다.

이상은 기계장비 제조 FMS를 구성하는데에 가장 주요한 기본장비들이라 할 수 있다. 실제로 시스템의 작동이 이루어지려면 작업물 장·탈착 및 대기 장치, 무인운반장치 (AGV), 쇠 찌꺼기 제거 및 냉각장치, 공구준비장치, 정밀 위치 측정장비, 감지기(sensor), 프로그래머블 콘트롤러, 가공소재 청결작업대, 컴퓨터, CAD/CAM장비, 자동창고 등등의 하드웨어와 NC program, 작업물 이동 통제 프로그램, 위치측정 프로그램, 공구정보관리, 작업순서 관리 화일 등의 소프트웨어가 필요하다. 이중에 하나라도 빠져서는 원활한 시스템의 운영이 어렵게된다.

유연생산 시스템 (FMS : Flexible Manufacturing Systems)에 대한 정의는 단순하게 내릴 수는 없지만 대개 여러대의 NC 공작기계와 위에서 열거된 여러 보조장비들이 자동화된 자재 취급 시스템으로 연결되어 이 시스템의 모든 구성요소들이 중앙 컴퓨터에 의하여 조정되는 자동생산 시스템이라 할 수 있다. 선진국에서는 이러한 생산 시스템에 대한 연구및 응용이 활발하게 이루어지고 있으며 국내에서도 몇몇 기계부품 가공 공장에서는 이미 FMS를 도입하여 운영하고 있고 무인화를 위한 기술 축적을 해 나가고 있다. 최근에는 기계부품 가공뿐 아니라 전자부품과 상품의 조립생산에 이르기까지 적용 범위가 확산되어 개념 자체도 확대되었다. 앞으로 본문에서는 상황에 따라서 FMS를 기계 가공업에 있어서의 유연생산시스템 또는 조립업에서의 자동조립라인 시스템의 개념으로 혼용하여 사용할 것이다.

CIM이란 적용 업종의 종류가 조립업, 가공업, 장치산업인지에 따라 특성이 다르지마는 기본적으로는 서로 다른 제조 과정과 기능들을 컴퓨터와 통신 시스템 들로 엮어낸 시스템이다. 구성요소는 CNC기계, 로봇, FMS와 같은 자동 유연생산 시스템, CAD/CAM/CAE와 같은 시제품 제조 및 설계 시스템, CAPP와 공정간의 협조체제를 이룩할 수 있는 컴퓨터 계획 및 통제 시스템, 그리고 자료를 교환하고 전송할통신망 시스템 등이다. 여기서 FMS는 CIM구축을 위한 필요 불가결한 요소 기술로서 기계장비 가공 뿐만 아니라 자동 조립라인도 유연 생산시스템의 개념으로 이해된다. 이제 선진국에서는 이미 "lean production"으로 대변되는 낭비의 제거, 전사적 품질관리, JIT(Just In Time), Concurrent Engineering, 최저 비용생산, 효율성 제고 등의 개념으로부터 수요의 변화에 따른 생산 공정의 재구성이 가능한 "agile"의 개념과 소비자의 요구에 전적으로 부응하는 생산이라는 의미에서의 "flexible" 의 개념이 통합되는 "fusion" 개념의 CIM으로 발전하고 있다. 즉, CIM은 경영의 측면에서 임금의 상승에 대비한 노동 생산성 제고를 목표로 사무 자동화와 산업자재 및 물류관리 (Industrial Logistics:IL), 주문 및 판매관리를 결합함으로써, 다품종소량생산, 재고와 생산 기간의 축소, 재공품 재고의 관리, 유연한 납기의 관리등을 이룩하는 통합 생산관리(Computer Integrated production Management: CIpM)를의미한다. 따라서 이는 MRP-II(Material Resource Planning)나 JIT보다 한 단계 더 발전된 포괄적인 생산관리 개념이라고 할 수도 있다.

FMS 시스템은 제조업의 CIM의 구현을 위한

기초적인 요소 기술로서 아직도 완전한것이 아니다. 하지만 선진국에서는 이미 무인화 처리가 상대적으로 쉬운 전자 부품 제조및 장비 조립등의 분야에 성공적인 CIM을 구축하고 있다. 기계 가공업에 있어서도 FMS가 안고 있는 무인화 가공을 어렵게 하는 몇가지 점만 해결 보완된다면 완전 무인 자동 가공 시스템을 갖춘 CIM의 구축도 조만간에 이루어질 것으로전망된다. CIM의 구축을 위하여 FMS의 완전한 무인 가공이 필수적인 것은 아니다. 공정이나 제품의 종류에 따라서 완전 무인가공이 비경제적이거나 비현실적일 수도 있다. 완전한 유연성을 이룩하기 위하여는 무인가공이 기술적인 목표가 되지만,완전한 무인가공을 위하여는 해결하여야할 문제점들이 적지 않다 (Luggen,1991).

3. FMS와 CIM 운영 현황 분석

3. 1 선진국들의 FMS/ CIM 구현 사례

본 절에서는 선진국의 FMS 구축사례를 주로 살펴보고 우리의 FMS/CIM 시스템구축을 위한 보기로 삼고자 한다. 1988년까지 유럽의 다섯 국가에대한 CIM관련 조사 보고에 의하면 각국에서는 각국의 문화적 차이에 따라서 그리고 사용 목적에 따라서 서로 다른 양상을 나타내고 있다 (Berenschot, 1989). 조사의 일환으로 각국에서 사용하는 FMS의 종류와 숫자와 CIM으로의 발전 전략등이 조사되었는데 요약하면 다음과 같다. FMS의 개념이 소개된 초창기에는 FMS가 기계 부품 가공을 위한 시스템이 주류를 이루고 있었다. FMS의 사용 정도로 보면 단연 스웨덴이 가장 발전되었고 그 다음은 독일과 영국인 것이 밝혀졌다. 최근에는 전기 전자산업 및 컴퓨터 산업의 발전에 힘입어서 자동화의 개념이 수백 킬로그램이나 나가는 중 기계 부품 장비 제작으로 부터 가벼운 전기전자 제품들의 경 제조업에로 확산되어 나가게 되었다. 그에 따른 CIM으로의 발전 과정은 각국의 산업발전의 역사와 배경에 따라 다르며 적용 대상업체도 자동차 기계 전기 업종이 주류를 이루고 있지만 점점 다양해지는 추세이다.

독일과 미국과 스웨덴에서는 현대식의 자동화 공작기계 업체들이 있어서 부품 생산을 위한 금속 절단작업용 자동기기와 용접과 조립 응용을 위한 사업용 로봇의 개발에 많은 진전이 있었다. 발전 과정상의 차이로 보면 소규모의 업체 (화란에서는 소기업의 약 15%)에서는 단일 FMC (Flexible Manufacturing Cell)로 이루어지고있으며, 대기업들에 있어서는 좀 더 통합된 형태의 FMS로 이루어지고 있고, 특히 독일에서는 그 경향이 심하다. 미국을 위시하여, 최근에는 독일과 프랑스 영국에서 강력한 logistic 소프트웨어 산업이 크게 발전하고 있어서 정보자료망 구성을통한 CIM으로의 발전에 크게 기여하고 있다.

스웨덴에서는 1983년부터 1988년까지 The Swedish National Board for Technical Development(STU)의 주관아래 FMS의 구현을 유도하여 Bentzler (Sala), Mecman Pneumatics (Vagnhärad), Haldex (Landskrona), SECO Tools (Arboga), IBM (Järfälla) FFV Zakrisdals plant(Karlstad) 등을 포함하여 도합 11곳에 FMS 운영공장이 설치되었다 (Landsell, 1989). 특히 로봇과 공작기계 업체들의 활동이 왕성하여 보다 광범위하고 다양한 로봇 기술의 응용이 이루어지고 있다. 화란과 독일에서는 주요한 전자와 조립 금속업계의 활동이 강하여 조립공정, 물류관리 그리고 아크 용접등에 활발하게 응용되고 있다. 예로 다른 나라에서는 평균 15% 내외에 비해, 화란에서는 전체의 약 26%가 아크용접에 응용되고

있다. 그러나 제품의 가공공정이 좀 더 복잡하고 어려운 제품을 생산하는 대기업들에 있어서는 총체적인 CIM구축에 문제점들이 있어서 최근에는 인간 통합 제조 시스템 (Human Integrated Manufacturing : HIM)이 제안되어 호응을 받고 있다. HIM의기본적인 개념은 자동화된 시스템과 시스템 사이의 연계를 기계나 자동 운반 시스템 대신에 인간을 개입시켜서 유연성과 신뢰도를 높이자는 것이다. 이같은 방안은 실제로 스웨덴이나 화란 같은 국가에서도 성공적으로 이루어지고 있다. 화란에서는 가구 제조나 농기계 제조, 철판 부품제조업 등에 성공적으로 활용되고 있음이 알려져 있다. 스웨덴의 Wartsila 디젤엔진 공장에서는 여러개의 FMC, AGV, Pallet과, stocker 등을 활용한 유연한 부품생산 및 작업 우선순위의 결정을 인간의 지시 통제에 의하여 처리하고 있다. 일본에는 후지 제록스가 1972년에 처음 이같은 FMS를 도입하였다.

대체로 각국은 CIM에로의 발전을 목표로 하고 있다고 볼 수 있는데, 그 경향은 크게는 두 가지로 가를 수 있다. 하나는 되도록이면 최대한의 통합을 목표로 하여 이루어지고 있고 다른 하나는 공장 중심의 좀 더 실제적인 접근 경향으로서, 최대한의 통합을 자제하고 지연시켜 나가는 방안이다. 이는 CIM으로의 급속한 변환을 더디게는 하지만, 모든 종류의 유연한 기계와 유연한 조직구조를 갖추게 한다. 좋은 예로써 일본의 하마마츠에 있는 얀마 디젤엔진 공장(마끼노 플라이스 제작소)을 들 수 있다. 즉, 미국을 위시한 여타 제조업이 FMC와 AGV를 활용하는 자동화설비를 구축하는 것과는 달리 주로 중소기업에서는 Machining Center와 ATV(Automatic Transport Vehicles)를 활용한 부분 자동화로 FMS의 필요요구를 충족시키고 있다. 그리고 간반과 같은 JIT기법을 최대한 활용하여 생산재고를 줄이고 품질 혁신을 통하여 직접 주물, 절삭 그리고 조립공정에 이르기까지 모두 독자적인 기술로 수행하며, 재공품 재고가 거의 없어서 자재및 물류 관리가 큰 문제점으로 부각되지 않고 있다고 한다. 따라서 CIM의 기본인 자동 supervisory control의 필요성을 1980년대 후반에 이르러야 점검해보기 시작하고 있다. 히다찌 精機,도요다 工機등도 사정은 비슷하다.

1987년 6월 일본 오사카에 소재한 마쓰시타전기 계열의 National Bicycle Industrial Co. Ltd. (NBI)에서는, 단시간 내에 다량으로 '마춤자전거'를 생산할수있는 FMS/CIM 시스템을 구축하여 마춤 다품종 다량생산 시스템의 시대를 열었다고 할 수 있다(Bell, 1993). 통상 우리가 생각하던 FMS는 다품종 소량생산 이었으나 이는 주문의 종류가 다양하여 Henry Ford시대의 대량 생산 시스템으로 부터 구별하기 위한 '소량'의 의미일 뿐 그런 주문이 많다면 굳이 소량일 필요는 처음부터 없었다고 할 수 있다. 이 생산시스템은 주문에서 출하까지 일관된 작업을 거치는 것이다. 주문 당시에 주문자의 신체의 치수를 재고, 좋아하는 형태, 색갈, 원하는 재질, 기호등을 입력 시키고 CAD 시스템을 통하여 최종 제품의 형태를 주문자가 확인한 후에 발주를 하면 판매대리점으로부터 공장으로 생산에 필요한 정보가 컴퓨터를 통하여 전달되어 생산 및 운송 납품이 이루어지게 하는 시스템이다.

생산할 수 있는 제품의 종류는 18가지의 모델에 다리 길이와 재질에 따라 맞춘15가지의 후레임 크기, 6가지의 핸들까지 팔거리, 3가지의 핸들 크기, 199가지의 색상, 2가지의 페달형태, 3가지의 발끝장치, 2가지의 타이어 종류, 2가지의 이름표 부착장소, 그리고 6가지의 필체등의 조합으로 총 11,231,860 가지의 서로다른 자전거를 한 사람의 감독하의 일관된 생산 라인에서 생산할 수 있

게 되어 있다. 즉, '마춤 자전거'라 불러도 손색이 없는 다양한 제품을 생산할 수 있는 HIM유연 생산 시스템이며 동시에 컴퓨터 통합 생산관리 시스템(CIPM) 이다. 생산 라인에는 컴퓨터에 의하여 자동 제어되는 자동 절단 및 후레임 조립, 용접, 연마, 도장기기들로 이루어져 있고 JIT, CAD/CAM, Robot등을 활용하여 CIM 체계를 이루고 있다.

일본내의 8000여 곳의 판매 대리점 중에서 주문자의 신체부위의 측정과 주문자의 취향에 따른 주문이 가능한 1500 곳의 자전거포로부터 주문정보들이 오후 2시까지 공장으로 직접 FAX 전송되면 전산요원이 즉시 정보를 컴퓨터에 입력한다. 컴퓨터는 CAD/CAM을 이용하여 후레임 설계를 마치고 모든 소요 부품들에 바-코드 번호를 부여한다. 바-코드 번호를 부여함으로써 주문공정의 진척 상황을 한눈에 알 수있고 소비자의 문의에 즉각적인 답을 할 수 있다. 그리고 공장 컴퓨터는 정확한 칫수의 부품을 하청 업체에 주문 발송할 준비를 한다. 주문은 한달에 두번만 이루어지므로 과거 주문상황을 참고로 소요 예상 갯수를 추정하여 미리 주문하게 된다. 공장에서는 매 자전거마다 한명의 숙련 기능인을 할당하여 전 제작공정을 감독하게 한다. 공정중 힘들고 어려운 작업은 로봇이 대신하게 하고, 쉽고도 세세한 주의를 기울여야하는 작업만 작업자가 수행하게 한다. NBI에서는 주문이 있을때만 작업하게 하는 진정한 JIT를 수행한다. 어떤 자전거는 탄소섬유 플라스틱으로 만들어지기도 한다. 대개는 크롬이나 특수 알루미늄 강관을 컴퓨터가 계산한 길이로 정확하게 자동 절단시키고 용접하여 삼각형 형태로 만든다. 용접시 예열과정이나 온도 조절, 동 용접봉의 주입 속도등도 자동으로 조절된다. 알루미늄이나 탄소섬유 후레임의 경우는 용접 대신에 강력한 본드를 사용하여 접합시킨다. 그리고 세가지의 특별히 비싼 탄소섬유 후레임은 특수 주문 제작한 몰드에 성형시켜서 한통속으로 제작한다. 어떤 재질을 사용하건, 3차원 측정시스템이 자동으로 칫수를 재고, 컴퓨터 화면에 합격인지 불합격인지를 알려준다. 작업자가 도색 작업준비상황을 확인한 후에 로봇이 초벌칠부터 시작하여 구석 구석까지 여섯 번 색칠을 한다. 로봇이 주문자의 바-코드를 식별하여 주 전산기로부터 관련 자료를 전송받아 작업을 수행한다. 두 세번의 도색 작업과 주문자의 명찰을 부착시킨 후에 작업자에게 작업이 넘어간다. 이들 작업에 소요되는 시간은 약 5일 정도 걸린다. 최종 공정인 타이어와 브레이크, 기어 부착작업 및 검사 작업등 미세한 조정작업만 한사람의 기능공에 의하여 실시된다.

목재의 판자와 문짝을 제작하는 Wirus 회사는 독일의 중간 규모의 회사로서 약 6년간에 걸쳐서 단계 단계별로 조직적으로 새로운 모듈들을 추가시켜서 저렴한 가격으로 총체적인 CIM시스템을 구현하였다. 그 회사에서는 고객이 요구하는 제품을 CAD/CAM과 CAPP를 이용하여 제작 공급하는데 놀랍게도 Simens' BS2000를 주 전산기로 사용하고 구식의 ISI-MRP시스템에 의존하고 있다. 아마도 단계별로 완전 자동화된 CIM시스템을 구축한 아마도 전세계에서 최초의 회사로 알려져 있다.

프랑스의 Francaise de Mecanique 회사에서는 자동차 엔진 실린더 헤드 제조과정중 조립과정만을 인간의 개입에 의하여 처리하는 세개의 FMC들로 구성되는 자동차부품가공 FMS를 구축하여 생산 활용하고 있다. FMS시스템의 구축 및 운영에 따르는 문제점에 대한 이해를 돕고 자동차 부품 가공 시스템의 자동화를 원하는 사람들에게 많은 시사점을 제공하므로, 실제 도입 사례(IMS,1990)를 요약 소개한다.

Francaise de Mecanique (FM) 회사는 1969

년에 설립되어 25년의 역사를 갖고 있는 자동차 엔진을 제조하는 회사로서 프랑스 북부의 Douvrin에 위치하고 있으며 Renault와 Peugeot의 두회사가 반씩 지분을 가지고 경영하는 회사로 알려져 있다.

즉 Renault와 Peugeot는 각각 독자적인 엔진의 설계를 담당하고 FM회사는 설계된 엔진을 제작하여 각 자동차회사에 납품을 하고 있다. 1989년의 종업원의 총 수는 약 6000명이며 약 71억 FFr의 매출을 올리는 회사로 알려져 있다. 이 회사에서는 Citroen AX, BX 그리고 Peugeot 205, 309, 405에 탑재되는 TU엔진을 제작하여 왔는데 Transfer Line을 통하여 하루에 약 4000대에서 5000대를 생산하여 납품하고있다. 그러나 고급기종인 Peugeot 605에 탑재될 ZPJ4엔진의 경우는 하루 일 이백대 정도의 소량 주문이므로 이의 생산에 FMS시스템을 활용하고 있다.

FMS를 활용하는 가장 큰 이유는 생산량이 적어서 Transfer Line의 구축을 정당화시키지 못하기 때문이고, 시장 상황의 불투명에 따른 제품 디자인의 변경 가능성 때문이다. 따라서 FM사의 FMS는 제품의 설계 변경에 따라 쉽게 변할 고정구나 클램프, 공구작업등에 영향을 많이 받는 부분에는 되도록 적은 비용을 투자하고 대신에 공작기계나 Pallet shuttle등에 치중하여 투자를 하므로써 제품 설계변경에 따른 대비를 하였다. 특수 알루미늄 엔진의 좌우 실린더 헤드를 FMS에서 가공하는데 주물로부터 시작하여 조립가공에 넘겨지기 전까지 약 500여가지의 가공 공정이 가해진다. 주물은 네 가지의 서로 다른 Pallet 치공구에 장착되어 가공이 수행된다. 조립가공 공정은 자동화가 안되었는데, 경제성이 없다고 판단되었기 때문이다. 이 작업을 FMS대신에 각 기계에 한 사람씩 붙어서 가공하게 한다면 약 40개의서로 다른 공작기계가 필요한 작업이며, 아마도 작업중 재고는 약 10배정도, 작업인원은 약 6내지 7배로 증가할 것이고 공정중 작업물 관리가 큰 문제로 대두될 것이라 한다. 더우기 많은 사람과 기계를 거쳐야 하므로 FMS에 비하여 유연성과 정확도가 떨어지고 품질 저하가 우려된다. 최고급 기종의 엔진 생산은 수요자의 취향에 따른 시장 상황의 변화를 즉각 생산에 반영할 수 있어야 하는데 이는 바로 FMS의 잇점이다.

FM사에서 운영하는 FMS는 6대의 공작 기계와 세척기가 일렬로 정렬되고 공작물들은 pallet에 고착시켜 pallet shuttle로 각 기계에 운반된다. 그리고 2곳의 장착및 탈착장치가 있으며 18개의 pallet들을 임시 저장할 수 있는 buffer로 구성되어있다. 실제로 FMS라인은 3개의 동일한 cell들로 이루어지고 각 cell은 M2F 가공센터(machining center)와 CU101 4축 가공센타로 이루어져있다. CU101은 Huron Graffenstaden에서 제작한 기계로서 두개의 공구 매거진에 각각 100개의 절삭 공구를 장착하고 있으며 ZPJ4 엔진의 실린더 헤드의 가공시에는 구멍뚫기나 나사홈내기(tapping)등의 정밀도가 요구 되지 않는 일차 가공을 담당한다. 정밀도를 요구하는 비스듬한 구멍뚫기나 마무리 가공등은 Renault Automation에서 제작한 6축 가공 센터인 M2F가 담당한다. M2F는 헤드를 바꿀 수 있는 두개의 드럼을 장착하고 있는데 각 드럼마다 6가지의 헤드를 구비하고 있으며 40개의 공구가 장착될수 있는 하나의 공구 매가진을 갖추고 있다. 그리고 세척기는 15가지의 다양한 세척 사이클을 수행할 수 있으며 Computer에 의하여 조종되고 있다. 모든 공작기계들과 Pallet 왕복기구는 NUM 760 CNC 시스템이 조종하며 최상위의 통제는 DEC MicroVAXII 주 전산기가 담당한다. 그리고 주 전산기의 통제하에 공구 예비조정장비 (tool presetting machine)와 공구관리를 위한 산업용

PC 그리고 장·탈착을위한 console 등이 있다. 실린더 헤드를 가공하기 위하여는 네 번의 준비 작업이 필요하며 각 준비작업마다 서로 다른 Pallet이 필요하다. 두개의 pallet에는 네가지의 가공 작업을 가능케 하는 고정구들이 설치되어 있다. 고정구 설치 위치에 따라서 둘은 왼편 실린더 헤드, 둘은 오른편 실리더 헤드를 가공할 수 있다. 나머지 두 pallet에는 양 방향에서 최종가공을 할 수 있도록 고정구가 장착된다. 각 준비작업시 마다 사이클타임은 5분에서 50분으로 다양하다.

첫번의 기계 가공을 마친 후에는 공작물을 탈착시키고 조그만 운반선에 실려서 인접한 조립장으로 보내진후 세척을 하고 예열을 한 후에 valve guide와 valveseat를 끼운 다음 식혀주고 다시 FMS로 되돌려 다음 기계가공을 한다. FMS에서 두번째의 기계가공이 끝나면 다시 조립장으로 와서 최종 세척과 각종 구멍에 plug를 끼운후, 공기 밀폐 실험과 3차원 외관 검사후에 작업이 끝난다. 수작업에 의한 조립 작업과 FMS는 작업이 정상 궤도에 오르면 각각 3인 이 일조가 되어 관리된다.

이같은 FMS 설치 작업은 8천만 FFr의 계약하에 Renault Automation에 의하여 수행되었는데 가장 큰 이유는 Renault Automation이 제작한 M2F기계 때문이라고 한다.

그 당시로서는 M2F의 가공센타는 가공 유연성 확보에 필수적인 캠축 보링가공을 가능하게 해줄 수 있는 유일한 공작기계 였고, 실제로 BMW, VOLVO, The RoverGroup과 같은 타 회사에서는 그 공정을 위하여 여러가지의 특수한 장비를 동원하고 있었다 한다. 그리고 Renault Automation에서는 FMS를 운영하는 데 필요한 일체의 통제용 소프트웨어와 pallet, 작업물을 지지할 고정구, 절삭가공 프로그램,그리고 절삭 공구등의 지원이 있었다. 아직까지는 M2F 가공 센터의 기능인 다축헤드변환장치는 활용하지 못하고 단일 공구(single tooling)만 사용하고 있는데 앞으로 물량이 증가하거나 새로운 설계의 제품 가공시에 필요하다면 가격 대비 수익을 고려하여 추가하여 사용할 수 있다 한다. 활용 가능한 모든 특성을 사용하면 좋겠지만 비용문제를 고려하여 공구 매거진에도 극히 필요한 공구들만 채워 넣어서 총 가용량의 8분의 7 만 채우고 있으며 CU101 가공센터에도 약 40%만 채워서 사용하고 있다. 그러나 똑 같은 공구 셋을 공구실에 항상 사용가능한 상태로 하여 준비하고 있다고 한다.

공구 관리는 공구 예비조정 장비 (tool pre-setting machine)와 공구실에 위치한 산업용 PC에 의하여 관리되고 있으며 supervisory MicroVAX에 의하여 통제된다.

어떤 공구가 사용 가능한 상태로 미리 준비되면 공구의 식별 번호가 프린트되고 공구잡이에 끼워넣는다. 동시에 공구에 관련된 기술적인 자료들은 예비조정 장비로부터 통제용 주 전산기에 전송된다. 작업 도중에 공구가 부러진다거나 미리 정해진 마모 시한이 다 되어 더 이상 사용이 불가능해지면 관련된 CNC 콘트롤러는 그사실을 주 전산기에 알려주고 주 전산기는 공구실의 PC에 통보한다. 공구 운영자는 이미 조정되어 사용을 기다리고 있는 대체 공구를 관련 가공센터의 공구 매거진에 마모된 공구 대신 새로운 공구로 갈아 놓는다. 이때 그는 CNC기계에 바코드화된 공구 식별번호를 라이트 펜을 사용하여 읽혀들이므로써 CNC기계가 공구에 관련된 모든 정보를 주 전산기로 부터 받아들이게 한다.

공구 관리자는 3명을 1조로 하는 FMS관리 전담 팀중 한 명으로써 다른 두 명은 각각 전 시스템 관리자와 장착 및 탈착 관리자로 구분된다. 장착 및 탈착 관리자의 일은 작업물을 고정구에 붙

이고 떼는 일은 물론 생산공정의 이상 유무를 확인해야하는 보다 주의를 요하는 집중도가 높은 일을 한다. 즉, 그는 제품검사의 일도 담당하여 불량품이 발견되면 즉시 시스템 관리자에게 보고하여 필요한 조처를 취할 수 있게 하여야 하는데, 실제로는 생산공정의 이상유무를 파악하기 위함이므로 약간의 불량 기미만 보여도 보고하여 기록을 유지하도록 해야 하기 때문이다. 작업물 장착및 탈착을 관리하는 관리자는 검사장비와 통제용 console을 이용함은 물론 고정구로부터 분리되어 다음공정을 기다리는 중간 대기장소의 영역도 포함하여 공정 감시를 게을리 하지 않는다. 고정구들은 모두 색깔과 숫자로 구별할 수 있게 되어 있으며, 중간 대기장소의 여덟 위치도 비슷하게 칠해지고 준비된 순서대로 숫자가 매겨있어서 관리자로 하여금 어떤 공작물이 어떤 고정구에 장착되기 위하여 어디에 대기 하고 있는지를 쉽게 판별할 수 있게 되어있다.

생산 셀들은 작업이 진행됨에 따라서 하나씩 작업을 해나가는데, 각 셀은 모두 똑같은 공구들로 설비되어 있어서 작업물들이 필요로하는 모든 공정을 수행해낼 수있다. 세 셀이 모두 가동될 때에는 주 전산기는 기계 활용도를 최대로 높이기 위하여 셋중 어떤 셀에라도 작업을 투입할 수 있게 하며 80%의 활용도를 목표로 하고 있다. 설치된 FMS가 최대 용량으로 가동되려면 하루 3교대로 24시간 가동되어야 하는 수요가 있어야 하는데 이는 하루에 좌, 우 약 60쌍의 실린더 헤드를 가공하는 수준이라 한다.

미국은 Allen Bradley Co.를 비롯하여 Applied Digital Data Systems Inc., Apple Computer, Hewlett-Packerd, Motorola 등등 다방면의 수없이 많은 회사들이 자동화와 궁극적인 CIM화를 위하여 연구하여 왔으며, 제조업 CIM화의 메카라 할 수 있다. 1980년대에 이르러서 Motorola사는 6 시그마 프로그램을 시행하여 불량률을 3.4ppm 수준으로 줄이고 (Smith, 1993), 1990년대에는 CIM을 목표로하는 Fusion Program을 가동하여 동남아의 값싼 노동력을 이용하는 생산보다도 경제성이 있는 진정한 의미의 CIM 무선 호출기 생산 시스템을 수립하였다 (Strobel et. al. 1993).

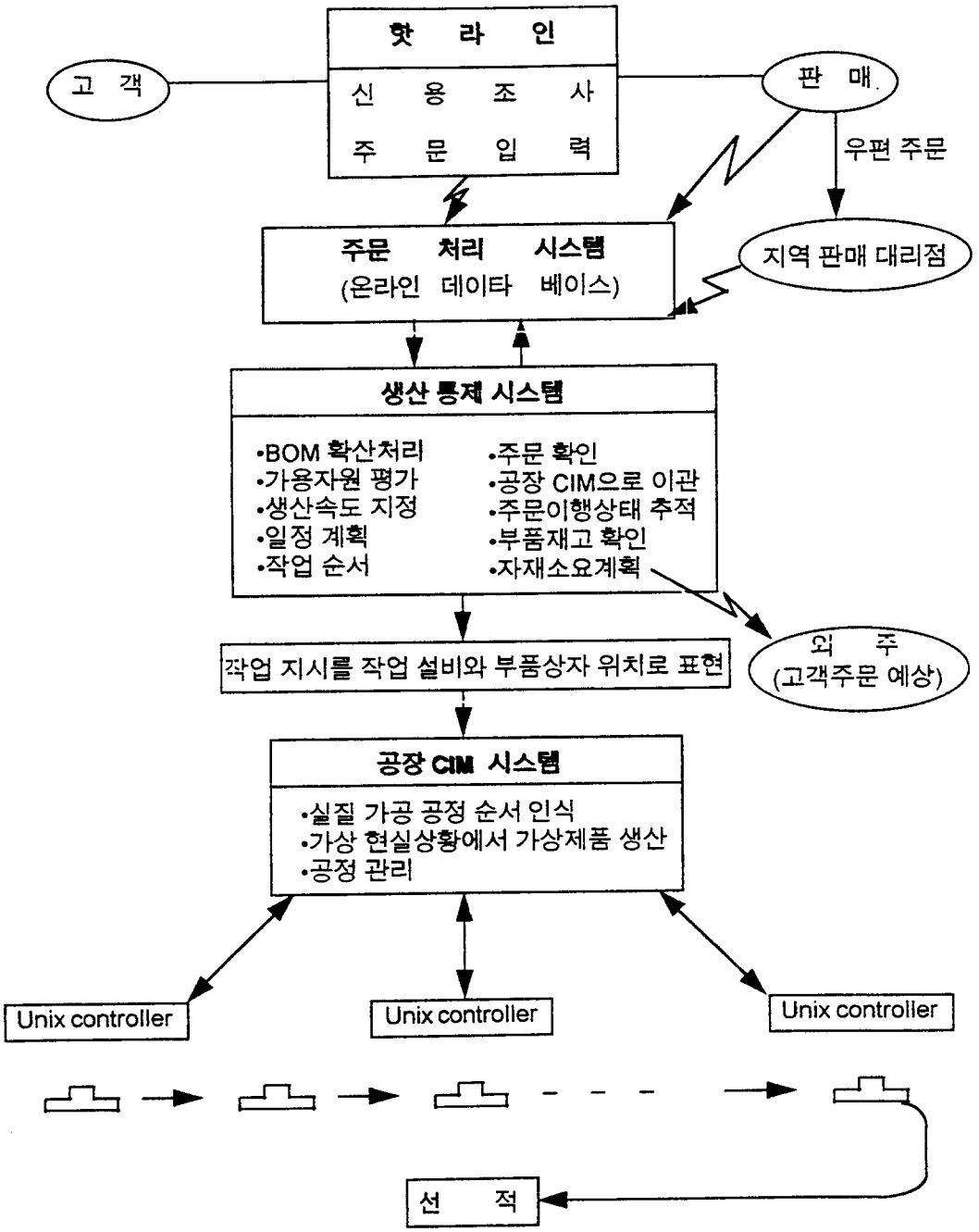
Motorola사의 Fusion CIM은 미국 Florida주의 Boynton Beach에 위치한 무선호출기 생산공장에 설치된 시스템으로서, 1985년 부터 시작한 자동제조시스템의 구현을 위한 노력의 결실로서 획기적인 시스템으로 평가된다. 호출기의 제품시장은 시장경쟁이 치열하고 고객의 취향이 급변하고, 기술적 환경도 부품의 모듈화나, 세라믹 필터를 대신하여 저전압 고집적 IC가 대두되는 등 대단히 가변적이어서 투자위험이 큰 시장이다. 초창기에는 노동력이 싼 동남아나 푸에르토리코, 또는 싱가포르에서 회로기판을 제작하여 조립할 계획도 검토하였으나 고객의 취향을 즉시 반영시켜 시장을 확보하기가 어렵다는 이유로 유연생산시스템을 미국내에 세우는 것으로 결정되었다. 첫 생산라인은 그 당시의 수준으로 볼때 진일보한 CIM으로 평가되었으며, 일단의 생산및 제조공학, 컴퓨터공학 엔지니어들에 의하여 약 18개월 걸려서 1987년에 완성되었다. 그로부터 6년이 지난 1993년에는 기존의 기반 기술을 활용하고 조립장비에만 약 300만 달러이상을 추가 투자하여 최첨단의 제조기술을 총 망라한 최신의 Fusion CIM을 구축하여 운영하게 되었다. Fusion CIM에서는 고객의 주문에 대한 고유한 부품구성표를 생성해내므로써 작업지연 없이 일 대 일로처리할 수있다. Fusion CIM이 구축되기 전에는 회로기판을 제외한 모든 주문 사양을 만족시키며 생산할 수 있었으나, Fusion CIM은 회로기판은 물론 제품 설계사양에 따라 형태가 전혀 다른 제품까

지도 다양하게 동일 라인에서 생산될 수 있도록 하였다. 이 생산라인은 유연하여서 제품뿐아니라 시제품의 단계를 거치지 않고 새롭게 설계된 신제품의 생산까지도 즉각적으로 이루어지게 되어 있다. 다시 말하면, Fusion CIM은 제품개발, 공정설계 및 제조과정이 서로 융합된 CAD/CAM/CAE, VM(Virtual Manufacturing)에 의한 제조시스템으로 전혀 새로운 제품의 생산이 가능하고 동일 생산라인에서 작업공구를 바꾸지 않고도 다양한 제품의 생산이 가능하게 한 'agile' 시스템이다.

생산라인은 전반부와 후반부 생산라인이 납작한 8자 형태로 나뉘며 8자 형태의 윗부분인, 전반부에서는 전자부품을 꽂기 위한 작업 처리장이 두 곳, 회로기판의 회로구성을 위한 땜납 용융처리(reflow-soldering)부분 두 곳으로 이루어져 있다. 아랫 부분인 후반부 공정은 형태가 서로 다른 제품의 조립을 위하여 다른 부품상자에서 부품을 선택할 수 있도록 자체 개발된 로봇팔들(Flow Mate)과 병렬로 이루어진 조립검사와 포장부로 구성되어있다. 그리고 전 후반의 공정을 공유하는 위치에 통제 컴퓨터의 지시에 따라서 각 제품별로 공정흐름 방향을 바꾸어줄 수있는 장치대가 설치되어 있어서 마치 열차의 선로를 바꾸는 것처럼 필요에 따라 작업의 흐름 방향을 바꿀 수 있게 설계되었다. 기존의 생산라인에서는 라인상의 한 작업대에 이상이 발생하면 전 공정이 멈추어야 했으나, Fusion CIM의 생산라인은 작업의 흐름을 실시간으로 지속적으로 감지할 수 있는 자체 감지장치를 설치하여 통제용 컴퓨터에 보고하게 하고 필요에 따라 작업흐름을 바꿀 수 있도록 동적인 병렬 생산라인을 활용하기 때문에 그럴 경우가 거의 발생하지 않는다. 그리고 전반부 생산라인의 경우, 라인 앞쪽의 로봇과 뒤쪽의 로봇이 평상시에는 서로 다른 작업기능을 하도록 설계되어 있으나 어느 한쪽의 기능장애가 발생하면 서로의 작업을 바꾸어 수행할 수 있도록 하므로써 순조로운 생산흐름이 이어지도록 설계되어 있다.

Fusion CIM은 일반의 전자 제품 조립라인과 비슷하다. 다만 장비가 컴퓨터 제어 system에 연결된 방식과 운영 software만 다를 뿐이다. Fusion CIM에서는 기존의 CIM이 RS-232c를 이용한 CISC(Complex Instruction Set Computer)시스템에 비하여 크게 진일보한 시스템이다. 카메라로 인식된 영상처리의 신속성과 효율성을 위하여, 최첨단의 RISC (Reduced Instruction Set Computer) 시스템을 UNIX환경하에서 Ethernet에 연결하여 사용하고 있다. 전에도 UNIX환경이긴 하였지만, 생산라인 통제기가 생산라인과의 자료 전달을 위하여 셀 통제기와 작업설비 통제기라 불리는 컴퓨터를 통하여 접속하여야 하였다. 그리고 생산라인 통제기와 작업설비 통제기 사이에는 여러 겹의 셀 통제기를 거쳐야 했다. 그러나 Fusion CIM에서는 셀 통제기를 거쳐야하는 과정을 없애고 각 로봇에 UNIX based 작업설비 통제기를 붙이고 UNIX용 생산라인 통제기와 Ethernet을 통하여 직접 소통하게 하므로써 정보 통신의 원활화를 기하였다. 작업설비 통제기와 UNIX용 생산라인 통제기는 서로 대등한 컴퓨터이므로 어떤 프로그램도 호환성있게 운영되도록 설계되었다.

Fusion CIM은 간편한 추적시스템을 활용하고 있다. 기존의 조립라인은 pallet을 추적해 왔으나, Fusion CIM의 각 작업설비에는 카메라가 장치되어 있어서 pallet대신에 각 제품에 laser로 표식된 고객번호를 읽고 추적하여 공정을 감시하고, 생산라인 통제기로부터 구체적인 작업지시를 받도록 되어 있다. 조달되는 모든 부품은 이미 바-코드가 부착되어 있고 부품 공급장치에도 바-코드가 부여



[그림 1] 모토롤라 Fusion CIM System에 의한 주문 처리과정

되어 있어서 부품이 공급장치에서 공급이 되면 부품과 공급장치의 바-코드가 즉각 기록된다.

주문된 호출기를 생산하는데 소요된 부품의 롯트 번호와 공급 날자를 통제 컴퓨터가 즉각 알아낼 수 있다. Fusion CIM에서는 소요 부품이 있을 경우만 작업이 수행된다. 그리고 Fusion CIM은 가공될 제품을 컴퓨터가 생성하는 가상의 현실에서 가상제품을 조립해봄으로써 생산시 어떠한 오류가 발생할 것인가를 미리 검증해보고 소요되는 부품을 확인하는 Virtual Manufacturing system 이다. 이 확인 과정에서 문제가 발생되면, 주문은 처음의 주문작업 시작점에서 문제가 해소될 때까지 대기한다.

Fusion CIM에서는 고객의 주문을 '나는 무슨 무슨 기능을 하는 검정색의 호출기를 원합니다'고 하는 음성전화 주문으로부터 자동으로 알맞은 사양을 가진 고유의 부품구성표를 찾아내어 CAD /CAM 컴퓨터상의 가상 제조현실세계에서 가상으로 조립을 해보고 필요한 생산관련 자료로 바꾸어 생산라인에 전송한다. 생산이 완료되어 포장이 끝남과 동시에 보유 부품의 재고를 경신하고 소요된 부품이 불출되었음을 자동 기록 정리하도록 설계되었다. 전화 주문에서 생산하는데 까지 걸리는 시간은 수 시간 이내에 이루어진다. [그림 1]은 Motorola사의 Fusion CIM의 시스템 운영 과정을 보여주는 과정 흐름도이다.

3. 2 FMS및 CIM 시스템의 효율적 운용을 위한 조직 환경 및 교육

기존의 조직 체계하에서 새로운 자동화된 생산 시스템을 운영한다고 해서 당초에 목표로 한 기대효과가 항상 나타나는 것은 아니다. 그리고 새로운 생산환경은 시스템의 적응과 급변하는 미래 제조업 기술환경에 대비하기 위한 교육의 문제도 야기시키고 있다. 실제로 1989년에 화란에서 개최된 FMS의 구현에 대한 학술대회의 이틀 간에 걸친 워크숍에서는 첨단 자동생산시스템의 운영과 조직환경 그리고 교육의 문제를 다루었으며, 발표된 내용을 간추리면 다음과 같다.

영국의 Brighton Polytechnic의 Bessant교수에 의하면, FMS를 통하여 여러가지 가공 시스템이 통합됨에 따라서 간접적인 기능 인력의 비율이 직접적인 기능인력에 비하여 월등하게 커지게 되었다. 직접적인 기능인들은 훨씬 더 복잡하고도 기술집약적인 시스템의 책임을 맡게 되었으며 두 구룹 모두 좀 더 광범위한 분야의 넓은 지식과 기술이 필요하게 되었다고 한다. 그리고 노동 작업에 대한 관념도 "비용이 드는 필요악이므로 가급적이면 줄여야 한다" 라는 인식에서 "시스템의 활용도를 높이는데 있어서 크게 필요한 요소"라고 인식하기 시작했다고 한다. 그리고 프랑스의 Ingersoll Engineers의 Jacques Pataillot에 의하면 FMS를 구현하므로써 좀 더 전략적인 시스템 구현계획이 필요하게 되었고 조직의 구조도 바뀌어야 한다고 한다(Kochan, 1989).

FMS의 유연성을 최대한 살리기 위하여 Bessant교수는 조직구조의 개편은 주로 네 가지의 형태로 추진되어야 한다고 한다. 첫째는 기능통합의 형태이고 둘째로 수직적인 통합, 세째로 작업 재설계, 그리고 마지막으로 기업 조직문화적인 통합의 형태이다. 기능의 통합으로 부서와 부서 사이의 장벽이 허물어지면 각 부서간의-예를 들면 생산부서와 설계부서- 긴밀한 공조체제를 유지되고 각자의 전문영역은 더욱 더 빛을 발하면서 서로 협조관계가 이루어져서 시스템의 관점에서 효율성이 증가될 것이라 한다. 수직적인 통합은 상하관계의 깊이를 얕게 하므로써 의사결정의 기동성이 유지되고 최상급자와 작업자와의 의사전달이 쉽게 이루어지는 결과를 가져오게 한다.

이러한 조직 구조를 유지하려면 특정 제품의 생산시설이나 보조시설에 집중적으로 관여도 하고 관련 사무관리 및 재정 업무까지도 관장할 수 있는 반 자치적인 업무부서의 설치가 필요할 것이라 한다. 그리고 업무설계에 있어서는 결과에 따라서 보상과 책임을 추궁하는 제도로부터 내부통제와 유연성에서 뛰어난 자율적인 소 구룹중심의 업무로 재 설계되어야 하고 기업 조직 문화적인 측면에서는 회사의 분위기가 새로운 발상이나 아이디어가 발붙이기 쉬운 창조적인 분위기로 되어야 할 것이라 주장한다. Bessant교수가 주창하는 조직구조 개편의 필요성은, 목표를 달성하기 위한 방법론으로서 기존의 업무를 프로세스의 관점에서 재조명하여야 한다는 점에만 차이가 있을 뿐, 컴퓨터 network을 통한 정보의 통합화및 프로세스의 간략화를 통한 조직의 간소화로 근본적인 경영 혁신을 이루어야 한다는 Business Re-engineering (Michael Hammer,1993)으로 직결된다고 할 수 있다.

업무 재설계와 조직 구조 개편은 새로운 환경에의 적응을 위한 작업자 재교육의 필요성으로 이어진다. Aachen의 Forschungs Institut für Rational-issierung의 Ing Hans-Ullrigh Forster는 FMS가 기능인의 기술적 자질을 낮추게할 것이라는 초기의 전망과는 달리 독일에서는 새롭고 더 높은 수준의 기능 훈련과 특정한 분야에 치우치지 않는 더 넓은 주요한 자질들이 필요하게 되었다고 생각한다. 독일내 FMS의 약 반 정도의 시스템에 대한 조직과 기술적인 문제점을 조사해 본 결과 가장 시급한 문제가 기능인은 물론 엔지니어 그리고 관리자에 대한 교육훈련이라고 한다. 철강 산업에 있어서는 1987초 까지 42개의 서로 다른 직업 교과로부터 12가지의 전공을 갖는 6개의 주 직업 교과구조로 개편되었다고 한다. 독일의 Aschaffenburg의 Stradinger에 의하면, 오늘의 독일의 젊은 세대는 대개 가정에서 홀로 키워져 TV와 Computer로 소일하고 학교에서도 서로간의 극심한 경쟁 환경하에 자라난 세대라 한다. 따라서 자기 중심적이고 홀로서기를 좋아하여 팀웍(teamwork)의 중요성을 일깨우고자 6명을 한 조로하는 단체 실습 훈련을 시킨다고 한다. 이 부분은 우리나라의 신세대도 TV와 Computer, 전자오락, 그리고극심한 입시 경쟁하에서 개인주의적인 생각을 키워가고 있는 것은 아닌가 걱정되므로 유념해 두어야 할 부분이라 생각된다.

화란의 경우는 아주 달라서 중소기업은 새로운 기술을 받아들일 능력이 부족하여 정부에서 1억 Dutch Guilders를 출자하여 기술학교의 교사를 교육한다고 하였다.

NaBoNT로 알려져있는 교육 프로그램으로써 1992년 까지 약 6만에서 7만명의 교사에게 새로운 기술을 전수하는 것을 목표하고 있다 한다. 한편, 화란의 Linden 기계의 Dick de Wagenaar에 의하면 그의 회사에 처음 소개된 유연 생산 시스템은 용접 로봇과 수평형 MC 그리고 CNC 선반으로 이루어진 전산화된 시스템이었는데 목표로 한 투자의 성과를 얻지 못했다고 한다. 이유는 투자가 조금씩 이루어져서 실제로 이루어져야 할 조직 구조의 개편이 전체적인 경영 혁신과 구조개편의 일환으로 이루어지지 못하고 부분적으로 이루어진 탓일 것으로 진단했다.

스웨덴의 Brighton Polytechnic의 Haywood (1987)는 스웨덴에서는 노조의 동의 없이는 새로운 기술을 도입할 수 없게 법으로 규정하고 있어서 모든 기술적인 변화는 노사 협조하에 필요한 작업자와 장비를 도입하므로 사용자와 작업자 모두에게 득이 되는 시스템이 구성되고 있다고 한다. 그리고 스웨덴의 관리자들은 작업자들이 더 많은 책임과 권한을 갖도록 하고 있으며 상품 구매자와 공급자의 인간관계가 매우 돈독하여 구매

선의 대표가 공급선의 관리자를 거치지 않고, 작업자에게 직접 부탁을 할 수 있을 정도라 한다. 그리고 산업계와 교육계와의 연결이 잘 되어 있어서 스웨덴의 거의 모든 업체가 지역 교육기관과의 연계하에 서로간의 인력교환이 자연스럽게 이루어지고 있다 한다. 그리고 업체내의 상하간의 조직 구조의 깊이도 겨우 3단계 밖에 안되어 의사결정을 위한 의사소통이 매우 원활하다고 한다.

미국의 경우는 대학에서 제조업 경시로 제조업의 국제 경쟁력 약화가 가속되었다는 반성하에 1989년 이래로 각 대학에서 경영학 프로그램과 연계하여 생산공학 이나 제조공학의 학위 program 및 제조업 관련 커리큘럼이 경쟁적으로 확대되고 있다. 아울러 BPR(Business Process Reengineering)에 의한 경영혁신이 이루어지고 있다. MIT 재료공학과의 Thomas 교수에 의하면, MIT 공과대학에서는 LFM(Leaders for Manufacturing)라는 제조부문 지도자 육성 프로그램을 개발하여 지난 6년동안 135명의 졸업생을 배출하였고, 그중 78%가 미국 제조업체에 취업했으며 16개의 새로운 교과과정이 신설되고, 17개의 기존 교과과정이 수정되었다고 한다. 1986년 초에는 DEC, AT&T, Ford, GM, United Technologies, Texas Instrument등의 회사들이 주축이 되어 국가 제조과학센터(National Center for Manufacturing Science)를 설립하여 제조과학 관련 학술활동 지원및 1992년 부터 이동실험실 프로그램을 주도하여 미국내 중고등학생들의 첨단 제조업관련 흥미와 지식을 늘리고 흥미를 유발하는 사업을 수행해 나가고 있다.

3. 3 FMS/ CIM 시스템 구현의 운영 효과와 문제점

1968년 이전에는 주어진 작업지시와 설계도면에 따라서 숙련 기능인이 필요 장비를 활용하여 지시된 부분의 가공을 하였다. 그런데, 일반 기계가공 작업분석 통계보고에 의하면, 1년 총 작업시간중에 공휴일, 휴가기간 등으로 약 34%의 시간이 빠지고, 약 44%의 시간을 휴식, 근무교대 등으로 소모하며 단 22%의 시간만이 기계장비를 상대로 소비하는 것으로 조사되었다. 그나마도 그 22%의 시간중 95%의 시간은 다른 기계의 사용 또는 다음 가공작업을 준비하기 위하여 작업자가 이동하는데 소비하는 것으로 밝혀졌다. 실제로 기계가 가동되고 측정에 이용되는 시간은 5% 밖에 안되는 것으로 밝혀졌다(Powers,1987; Luggen, 1991). 이는 장비의 활용면에서 볼때 엄청난 낭비와 비효율을 입증하는 것으로서 이 같은 낭비의 요소는 인간의 개입 때문이라 판단되었다. FMS 시스템은 인적인 요소를 줄여서 생산성을 높여보고자 제안되었다. 실제로 FMS를 활용한 공정시간이 기존의 기기 사용에 비하여 대략 87% 정도 소요인원은 92% 단축되는 것으로 알려져있다.

일본에서는 1980년대에 이후로 부터 절삭가공용 중심으로부터 자동차, 건설기계, 전기, 공작기계 업소들이 계속 도입하여 도시바 (東芝) 탄가로이 가와자기(川崎) 사업소의 경우는 6대의 FMS 공작기계 설치에 5억엔을 들여서 소요인원을 70명에서 16명으로, 생산기간을 19일에서 4일로, 가동율은 20%에서 70%로 향상시키는 결과를 얻기도 했다(한국 경제사회 연구소, 1986). 마쓰시타 전기계열의 National Bicycle Industrial Co. Ltd. (NBI)에서 구현한 자전거 생산을 위한 CIM에서 생산된 마춤자전거의 경우 순전한 개인용 마춤 자전거가 $2500 에서 $3500인데 비하여 반 값 이라 한다. 생산기일은 동일 규격의 대량생산에 의한 기성 자전거에 비하여는 생산 기일이 약 두배 더 걸리고, 가격은 약 2-3배인 $1300에 판매되지만, 주문에서 납기까지 8일에

서 10일 이내에 납품되어 인기가 대단하다고 한다. 이 같은 마춤 다량 유연 생산시스템은 신발산업에까지 확대되고 있다고 한다.

미국의 Motorola사의 Fusion CIM은 동남아의 싼 노동력을 이용하려던 초기의 계획보다도 훨씬 경제성이 있는 제조시스템으로 판명되었고, 기존의 순 매출액 대비 재고자산액의 재고자산 회전율을 10배 이상으로 향상시키므로써 새로운 설계 제품들을 적시에 고객들에게 선보일 수 있어서 고객 만족도를 높이고 시장확보에도 크게 기여하고 있는 시스템으로 평가되고 있다. 더우기 Fusion CIM은 CAD/CAE를 활용하여 설계 단계에서부터 조립의 효율성을 고려하는 Concurrent Engineering을 구현할 수 있는 최첨단의 유연한 생산 시스템이라 할 수 있다. 소요부품 조달이 가능하기만 하면 계산기에서부터 휴대전화에 이르기까지 어떤 형태의 휴대용 전자기기도 조립이 가능한 유연성이 있는 생산시스템으로 전세계에 흩어져 있는 Motorola사 공장에 이 Fusion CIM의 개념을 확산시켜 가고 있다.

국내의 X사에서는 1990년도에 CNC 선반과 수평형 및 수직형의 수치 기계가공센타등을 생산가공할 수 있는 FMS 라인 2조를 구성하여 가동하고 있는데, 시스템의 설치 및 구현은 일본의 야마자끼 기계에서, 제어기기는 미쓰비시 전기에서 설계하여 설치한 것으로 알려져 있다. 비용은 대략 75억정도 들었다고 한다. (기계 한대에 약 2.5억정도로 예상할때, 일개 라인에 약 6대의 2개 라인으로 구성되어 있으므로 이중 약 40%는 순수한 기계 값일 것이고 기계값의 약 30%는 CNC값이며, 나머지는 컴퓨터장비, Pallet, 자동공급장치(Pallet changer), stocker, stacker crane,등과 설치비로 추정). 현장 실무자의 의견으로는 운영상의 가장 큰 애로점으로 하청업체로부터 공급되는 소재의 불안정을 들고 있다. 그 기계는 주물제품을 소재로 하여 약 400에서 450가지의 여러 공작기계 부품들을 가공한다고 한다. 그런데 자동운전이 제대로 되기 위하여는 고정구에 소재 설치를 하고 FMS가 제대로 소재의 장착과 탈착을 할 수 있어야 하는데, 주물 소재의 품질이 균일하지 않아서 균일한 가공 준비가 잘 안된다고 한다. 그에 따른 불량률이 보통 3-4%이나 클때는 약 10% 까지도 이른다고 한다. 그 외는 기계는 잔고장이 없고 양호하다고 하며 운영비용은 전용 고정구를 사용하여야 한다는 점에서 운영비용이 생각보다 크다고 한다. 약 400개의 전용 고정구를 제작하는데만 2년정도 걸리고 비용은 약 15억 정도 든다고 한다. 다양한 부품의 가공을 위하여는 특히 다양한 전용 고정구가 필요하게 되므로 가공용 FMS의 도입을 고려할 때 특별히 주의를 기울여야 할 부분이라고 생각된다. 그리고 소재의 안정적인 공급능력에 대한 평가도 이루어져야 할 것이다.

국내의 D전자의 TV사업부에서는 90년 이후 분산 시스템 환경하에서 사업부 수준의 CIM 개념을 도입하여 부분적인 성공을 거두고 있다고 한다. 그러나 제품 한개당 2000여개에 이르는 부품을 필요로 하므로 소요되는 데이타의 양이 방대하고 업무처리에 있어서 예외적인 상황이 빈번하게 발생하여 정확한 자료관리 및 업무의 표준화가 문제점이라 한다. 그리고 데이터의 일원화와 통합화 과정에서 부서의 입장보다는 전체의 효율성 추구를 먼저 생각하도록 하는 의식개혁의 필요성이 큰 문제로 대두되어서 효율적인 자료관리 시스템의 중요성과, 부처간의 이해관계를 조정하기 위한 경영진의 결연한 의지가 중요함을 내비치고 있다(송희석 등, 1993).

프랑스의 Francaise de Mecanique (FM) 회사에서 FMS를 활용하는 가장 큰 이유중의 하나가 Transfer Line의 구축을 정당화 시키지 못할

정도의 소요량과 시장 상황의 불투명에 따른 제품설계의 변경 가능성 때문이었다. 따라서 FMS의 구축후에도 예상대로 24시간의 가동을 하지는 못하고 있지만 장비를 쉬게하는 경우는 없다고 한다. 책임자 Blanckaert씨는 자신들이 구축한 시스템에 만족해 한다. 즉, 그들은 초기에 의도했던 대로 그들의 FMS를 가공 유연성에 더 큰 비중을 두고 운영하고 있다고 생각된다. 그리고 그들은 이미 Transfer Line 활용 기술이 있었고 여러가지 자동화 장비의 설계 및 구현 경험이 있었을 뿐아니라, 현명하게도 장비 운영요원을 장비제작 과정에 참여케 하여 장비 설치후에 발생할 운영 정비시의 문제점에 대비하여 장비보수 운영에도 어려움이 없다고 한다. 투자비의 조기 회수를 위하여 구축된 시스템을 새롭게 설계된 미래 엔진의 시제품 제작이나 다른공장에서 어렵게 가공되던 특수용도의 엔진제작에 투입하고 있다 .

Motorola사의 호출기 산업에서의 Fusion CIM과 같은 성공적인 CIM의 구현사례와 비교하면 기계 가공업에서의 CIM의 구현은 아직 크게 성공적이지는 못하다. 주요 이유로 기계가공의 특성상, 가공 소재의 불량이라던가 아니면 공구불량 또는 고정구 설치작업 불량, 공급전력의 불량 등, 아무도 예측할 수 없는 가공 환경이 조성되어 CNC 가공 정밀도에 문제가 있을 수 있기 때문이다. 더우기 가공물이 대개 크고 무거우며 가공정밀도가 pallet에 부착시킬 고정구의 형태나 방향, 공구마모정도 등에 영향받는 가공상의 특수성과 수량이 적은 속성을 들 수 있다. 따라서 개개의 공작기계에 적절한 감지기를 부착하여서 예기치 못한 상황에 적절한 대응을 할 수 있는 시스템이 되어 적당한 기간동안 인간의 간섭이나 감시가 필요 하지 않은 시스템으로 동작되어야 한다. 그러나 그같은 무인 가공을 실현하기 위하여는 우선 대상 부품이 검증된 기술로 직접가공이 가능한 제품이라야 하며, 가공 공정 프로그램의 검사가 반복적으로 이루어져서 완전 무결한 프로그램이어야 한다. 또한 유입되는 부품은 탈착이 자연스럽고 완벽하게 이루어질 수 있도록 세심한 사전 조율이 필요하며, 무인 가공이 시작되기 전에 고정구와 공구가 완벽하게 준비되어야 한다.

그리고 부품의 형상이 교묘하여, 절삭가공 조건이 어려운 부품가공은 회피되어야 하며, 가공속도와 절삭속도에 여유를 주어서 예측 가능한 절삭가공이 되도록 하여야 한다. 그러므로, 전자부품의 조립공정과는 달리, 자동화 가능 대상 부품의 종류가 제한적이며, 유연성 있는 Fusion CIM과 같은 시스템 구성이 어렵다. 그리고 가공정밀도가 0.001″ 이하인 일반 기계 부품가공의 경우는 (참고로 10000분의 5인치의 정밀도는 기밀이 양호한 금속주사기의 실린더와 피스톤의 표면 가공정도라 할 수 있다.) 현재의 자동화 기술 수준으로는 어느 정도의 생산량이 이루어지지 않으면 경제성을 맞추기 어렵다 한다. 현재의 가용한 기술 수준으로는, FMS가 아직도 큰 Batch의 부품가공에 유리하고 가공정밀도는 약 0.002 -0.005″의 정밀 수준을 요구하는 부품 가공에 경제성이 있으며, 기타 전략적/전술적인 평가요인을 고려해야 한다(김승권 등, 1989). 다만, 프랑스의 Francaise de Mecanique (FM) 회사에서 FMS를 활용하는 식의 특수 목적하에 시스템 구성의 정당성이 입증될 경우는 소량가공도 가능하다.

그리고 시스템의 구성을 위하여는 프로그램 가능 논리 제어기(PLC : Programmable Logic Controller), NC, CNC, WS 컴퓨터 등의 여러 가지 컴퓨터 제어기 간에 발생하는 통신 protocol상의 문제가 대두되고 이들의 통합이 요구된다. 이 문제는 GM-MAP (Manufacturing Automation Protocol) 같은 통신 표준화 프로젝트가 성공적으로 되면 해소될 것이며, 적어도 CAD 시스템에

의하여 작성된 공정순서등을 이용하는데는 별 문제가 없으리라고 전망하고 있다. 앞으로 controller 하드웨어의 가격이 더 내려가면 일반 공작기계에도 Motorola사의 Fusion CIM의 경우처럼, 통제시스템이 생산라인 통제기와 작업설비통제기가 서로 대등한 관계가 되도록 설계하므로써 통신상의 문제점을 해결할 수있을 것이다.

마지막으로 현재의 자동화를 위한 첨단 기술개발의 추세를 볼때, 앞으로는 첨단제조기술을 먼저 보유한 선진국들만 더욱 부강하게 되고 개발도상국이나 후진국들은 평생 부가가치가 낮은 제조업에 종사하게 하거나 실업에 시달리게 될지도 모른다. 국내적으로는 지식과 정보에 훈련되고 여러 분야에 걸친 전문성을 지닌 소수의 작업자 그룹이 중간급의 노동자들을 산업현장에서 밀어내거나 아니면 더욱 열악한 근무조건을 감수하게 하여 조직 구조상의 갈등을 야기할지도 모른다.

따라서 자동화를 위한 기술 개발은 물론 인간중심의 조직관리의 문제도 연구가 이루어져야 할 것이다.

4. 맺음말

FMS/CIM 시스템 구현은 적용 대상업종이 부품 가공업인가, 조립업인가 또는 장치산업인가에 따라서 서로 다른 운영효과와 문제점이 있을 것이다. 기계가공업의 경우는 가공제품이 상대적으로 크고 무거우므로 정보의 공유및 통합화보다는 생산 유연성의 확보가 상대적으로 더 중요하다. 따라서 정보 관리의 효율성과 아울러서 FMS 시스템의 기동성 및 유연성이 운영효과에 큰 영향을 끼치고 그에 관련된 문제점이 발생한다. 조립업의 경우는 부품의 재공품 재고를 최소화하고 효율적인 부품조달과 품질향상, 생산기간 단축에 의한 납기준수 등이 주요 목표가 될 것이므로 소요부품 및 생산일정 계획의 효율적 수립을 위한 정보관리 및 생산 장비간의 원활한 자료통신 시스템의 구현이 시스템의 성패를 좌우한다. 본문에서 장치산업의 사례는 제시되지 않았지만, 장치산업의 경우는 공정 전체의 흐름이 이미 자동화 되어 있어서 전략적인 판매 및 구매관리등을 중심으로 생산관리의 수행이 비교적 용이하다. 따라서 조립업에서처럼 생산일정 계획의 효율적 수립을 위한 정보관리 시스템의 구현이 중요하고, 실시간으로 수집되는 자료의 효율적인 관리와 공정의 표준화가 문제점이 된다. FMS/CIM을 구현하여 얻을 예상되는 운영효과로는 부하 평준화, 설비의 운영효율과 생산 수율의 향상, 납기의 준수를 위한 원부자재 공급계획의 수립, 재공품재고의 감소, 원활한 예방정비 보수계획의 수립, 조업관리가 기대된다. 그리고 적용 업종을 불문하고 가장 중요한 것은, Motorola사나 일본의 NBI사의 경우처럼 고객만족에 의한 시장확보일 것이다.

이상으로 제조업의 CIM 구현의 핵심 자동화 기술인 FMS가 점하는 위치를 조망해보고, 확대해석되어 재생산된 선진국의 FMS/CIM기술의 개념과 기술 구현의 현황을 제품생산운영, 부품가공, 조립생산의 운영 사례를 중심으로 살펴보았고 그의 도입에 따른 문제점을 알아 보았다. 각 선진국이 고객 중심의 생산 시스템운영을 위하여 생산라인을 다품종 소량생산에서 초 다품종 다량생산을 위한 CIM을 구성하여 마치 우리가 양복을 마추어 입는 것처럼 소비자의 기호에 맞는 마춤 상품의 시대로 가고 있음을 알 수 있었고, FMS도 CIM의 개념에 통합되어 사용되고 있음을 알 수 있었다. 그리고 FMS/CIM 의 도입은 기존의 조직 체계하에서는 당초에 목표로한 기대효과가 항상 나타나는 것은 아니라는 것도 알 수 있었다. '새술은 새부대에' 라는 말처럼 새로운 생산환경은 새로운 조직하에서 진정한 효과를 발휘

할 것이다. 단기적으로는 업무 재설계를 통한 조직의 간소화와 그에 부수되는 새로운 기술교육이 필요하고, 장기적으로는 심화되는 기술 경쟁에 대비한 국가적인 기술 교육체제의 확립도 시급히 이루어져야 할 것이다. 그리하여 자체의 기술개발과 조직의 간소화와 기술 교육의 강화로 제조업 전반에 불어닥치고있는 경쟁의 열풍을 극복해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 송희석, 장명석, 이충화, 박경철, 이영호, "대우전자 CIM 구축사례", 대한 산업공학회 추계 학술발표회 논문집, p. 296-299, 1993. 10. 9.
2. 강진구, "제조업 경쟁력 강화 방안", 1993년도 대한 산업공학회 추계 학술대회 특별강연, 1993. 10. 9.
3. 김승권, 김성인, 이종민, "유연생산시스템(FMS : Flexible Manufacturing Systems)의 타당성 평가를 위한 계층화 의사결정 모델," 경영과학, 제 7권, 제 1호, pp. 119-137, 1990.
4. 전자신문 "생산성본부 OECD 자료분석"과 "사설", 1993. 11. 12
5. 한국경제사회연구소, "공장 자동화의 진전과 관련업계의 동향", KESAI 경제정보자료 시리즈, 통권 제11호, 1986. 7. 1.
6. Bell, Trudy E., "Case Stydy : Bicycles on a personalized basis-National Bicycle Industrial Co.", Manufacturing a La Carte, IEEE *Spectrum*, p. 32-35., Sep., 1993.
7. Berenschot, M. V. "Strategies for CIM and logistics," The ***FMS Magazine International Quarterly***, 7 (4) p. 183-188, Oct. IFS Publications, 1989
8. Economic Commission for Europe, ***Recent Trends in Flexible Manufacturing***, United Nations, N. Y., 1986
9. Heywood and J. Bessant, "The Swedish Appproach to The Use of Flexible Manufacturing Systems", Brighton Polytechnic, Dept. of Business Management, Oct., 1987.
10. IMS "FMS takes over the transfer line business," ***IMS(Integrated Manufacturing Systems)***, p18-21, Jan. 1990.
11. Kochan A., " Report on Amsterdam Conference on Implementing Flexible Manufactureing," ***The FMS Magazine International Quarterly***, Vol. 7, No. 2, p. 100-102 April, IFS Publications, 1989
12. Michael Hammer and James Champy, "Reengineering the Corporation", 1993.
13. Luggen, William W., "Flexible Manufacturing Cells and Systems", Prentice-Hall, 1991.
14. Powers John H. Jr., ***Computer-Automated Manufacturing***, p. 250, McGraw-Hill Int. Ed., 1987.
15. Strobel, Russ and Andy Johnson, Motorola Inc. "Pocket Pagers in lots of one," Manufacturing a La Carte, IEEE *Spectrum*, p. 32-35., Sep., 1993.