

새로운 생산혁명 디지털 공장

玄 源 福 (과학저널리스트/본지 편집위원)

지난 10년간 일본제품의 공세로 궁지에 몰렸던 미국제조업계들이 오랫만에 기지개를 평기 시작했다. 최근 미국 공산품수출고는 1980년대 아래 처음으로 일본과 독일을 앞지르게 되었다. 미국생산업자들은 제품을 보다 싸고 신속하게 생산할 수 있는 새로운 방법을 통해 그 옛날의 영광을 되찾게 될 것이라고 생각하고 있다. 그 비결은 컴퓨터 소프트웨어, 그래서 이 새로운 공장들을 디지털 공장이라고 부르고 있다.

다품종 생산라인

미국 노스캐롤라이나주 샬럿시에 있는 IBM공장의 한 조립라인에서는 40명의 근로자들이 휴대용의 바코드(컴퓨터 판독용의 부호화된 라벨) 스캐너와 휴대식 의료용 컴퓨터에서 대형컴퓨터용의 광섬유연결판과 트럭운전사용 위성통신장치에 이르기까지 12종의 서로 다른 제품을 한번에 생산하고 있으나 이 라인에서는 최대한 모두 27종의 제품까지 동시에 생산할 수 있다.

근로자가 자리한 근처에는 부품키트가 놓여있는데 이것은 부품담당부의 근로자들이 생산주문에 맞추어 조립한 것이다. 작업을 효율적으로 진행시키기 위해 각 근로자마다 공장 컴퓨터망과 연결된 컴퓨터 스크린을 갖고 있다. 화면에서는 자기앞에 있는 제품에 거치해야 할 부품의 체크리스트(일람표)를 보여 주면서 만약에 도움을 요청하면 조립단계를 설명해 준다. 이런 작업을 마친 근로자가 단추를 누르면 컴퓨터 시스템은 컨베이어를 통해 제품을 다음 벤치로 옮겨 준다.

정보화시대를 맞아 미국제조업계가 다시 회복세를 보이기 시작하자 일본과

유럽메이커들은 건설장비에서 승용차, 개인용 컴퓨터, 전자무선호출기에 이르는 다양한 분야에 걸쳐 미국기술의 모방을 서두르고 있다.

이들이 찾고 있는 새로운 자동화의 규범은 생산기계보다 더 중요한 자리



◇디지털공장은 새로운 기술혁신을 예고하고 있다.

를 차지하게 된 소프트웨어와 컴퓨터 망의 절묘한 조화와 관련된 것인데 여기에서는 로봇은 다만 지원역할을 하는데 지나지 않고 인간노동자가 다시 생산의 주역으로 복귀한다. 이런 공장은 정보기술에 의존한다는 뜻에서 디지털 공장이라고도 하고 인간과 기계가 한데 어울린다는 의미에서 소프트 공장이라고도 부르고 있다.

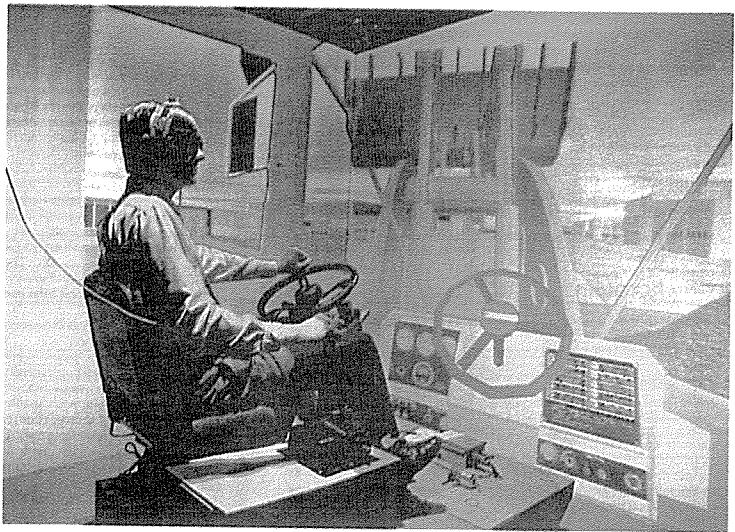
민첩한 활동

소프트제조방식으로 공장은 전에 없던 민첩성을 발휘할 수 있게 된다. 기업들은 대량의 제품을 양산속도로 맞춤생산할 수 있다. 소프트제조방식은 또 공급자와 고객들을 생산과의 관계를 보다 긴밀하게 묶어 전통적인 공장의 경계개념을 흐리게 한다. 그러나 소프트제조법의 가장 두드러진 특징은 생산직 근로자의 수를 안정시키거나 늘릴 수 있다는 점이다.

불과 10년전만해도 미국공학아카데미와 같은 권위있는 기관도 미국제조업의 앞날을 경고했다. 특히 유연생산방식(FMS: 다품종 소량 생산시스템)에 적합한 융통성이 높은 자동화 생산방식)으로 알려진 미국의 발명품을 일본이 이용하는 것을 두려워했다.

한 시스템이 2천5백만달러나 하는 이런 시스템은 복잡한 금속부품을 깎는 컴퓨터제어의 기계, 복잡한 하드웨일을 하는 로봇 그리고 재료를 생산라인까지 운반하는 원격조종의 운반차로 구성되어 있다.

FMS는 근로자없이 24시간 작업할 수 있는 '불빛없는' 자동화공장의 선



◇캐터필러사의 엔지니어 캠 알러즈가 이 기업의 페오리아 실험장을
복사한 가상현실에서 기계를 시험하고 있다.
그는 실제로 신호소리도 듣고 가상의 자갈을 퍼울릴 수도 있다.

구자라고 특히 일본인들은 갈채를 보냈다.

그러나 미국 생산업자들은 FMS를 도입하는 비싼 댓가를 치뤄 얻은 교훈은 지나친 자동화는 실제로 손해를 보는 수도 있다는 것이었다. 예컨대 엔지니어들의 안전대책에도 불구하고 대규모의 복잡한 시스템은 본질적으로 실패하기 쉽다는 것이다. 특히 로봇은 실망의 대상으로 드러났다.

기업들이 FMS의 몇에서 벗어나려고 몸부림치고 있을 때 소프트제조법이 탄생했다. 엔지니어들은 거대한 FMS시설을 모두 쉽게 다룰 수 있는 작은 단위의 '셀' (세포라는 뜻)로 쪼개서 FMS처럼 다양하된 실패율이 적은 소규모 기계집단으로 만들었다. 로봇은 스포용접(点溶接)과 같은 단순한 작업을시키고 로봇이 실패한 조립작업에는 탁월한 기민성과 판단력을 가진 사람들이 되돌아 왔다. IBM생산

부장 레이 메이즈는 "자동화에 관한 많은 연구조사결과 로봇을 사용하는 것보다 소프트웨어망을 가진 노동자를 사용하는 편이 훨씬 비용효과가 뛰어나다는 것이 밝혀졌다"고 말하고 예컨대 특별 한 사이즈의 부품과 빽빽한 허용치를 다루는 데는 인간이 로봇보다 뛰어나다고 주장하고 있다.

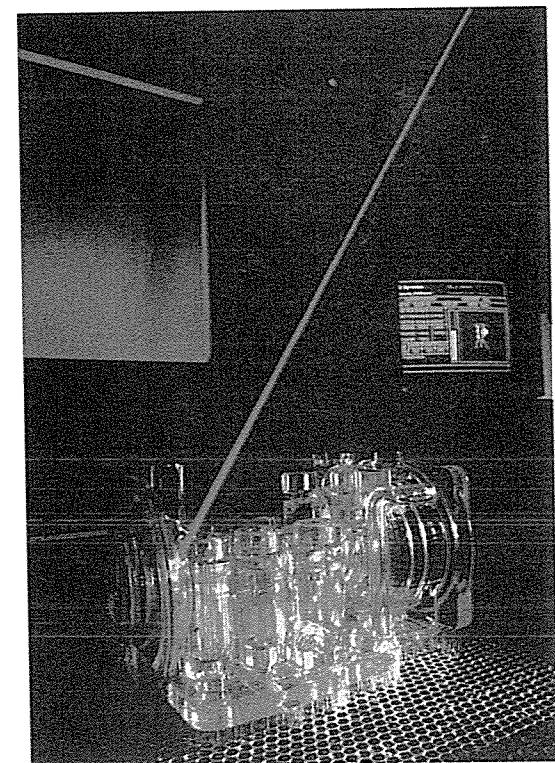
주문당일로 제품받아

그 결과 오늘날 소프트공장은 1980년대의 자동화전문가들이 꿈조차 꿀 수 없었던 일을 해내고 있다. 예컨대 모토롤라사가 호출기를 생산하고 있는 미국 플로리다주 보인턴 비치 공장의 경우다. 이 공장에는 포켓크기의 호출기 주문이 주로 무료전화번호나 전자우편을 통해 판매점이나 모토롤라의 세일즈 맨에게서 온다.

세일즈맨이 "땡땡소리가 나는 노랑색 호출기 한대와 삐삐 소리를 내는

푸른색 호출기 5대 그리고 분산화음 을 내는 핑크색 호출기 10대 등” 고객의 요구를 자세히 설명하면 이 데이터는 디지털화되어 조립라인으로 보내 진다. 로봇이 주문한 상품마다 조립에 적절한 부품을 선택하면 사람이 호출 기를 조립한다. 대개의 경우 주문이 온 뒤 80분이면 제품이 완성되고 고객이 어디 살고 있는가에 따라 주문한 날이나 그 다음날 호출기를 받아 볼 수 있다.

한편 노스캐롤라이나주 트라이앵글 연구단지에 있는 IBM사의 PC공장에서도 이와 비슷한 방법으로 제품을 만들고 있다. 수십 명의 판매원들이 무료 전화번호를 통해 하루 약 5천명의



◇3D 시스템즈가 개발한 한 공정에서 자외선 레이저가 한번에 한층씩 오일 펌프 모델을 제작하고 있다.

고객으로부터 여러 모델의 IBM PC의 주문을 받는다. 이들이 통화하고 있는 동안 판매원은 스크린에 예컨대 새로운 PC는 486 DX66칩, 16 메가바이트 RAM, 내장팩스를 장착하는 등 주문의 특정사항을 입력하고 이런 부품이 있는가의 여부도 확인한다. 완성된 주문서는 이웃의 조립공장으로 전송되는 데 컴퓨터는 매 10분마다 주문을 점검 한다.

같은 컴퓨터가 자동으로 생산개시를 지시한다. 제어실의 컴퓨터는 아래층에 있는 예컨대 론 로빈슨과 같은 근로자에게 무선신호를 보낸다. 로빈슨은 그의 휴대용 바코드판독기에서 이 데이터를 받은 뒤 바코드를 가진 장소

를 이리저리 옮겨 가면서 한곳에서는 하드 디스크를, 다른 곳에서는 메모리 팁을 꼬집어 낸다. 로빈슨은 PC 한대를 조립할 수 있는 완전한 키트를 모으면 이것을 조립장소로 들고 간다.

그곳에서 티샤 하이만이라는 이름의 조립공은 컴퓨터를 조립하는 한편 각 부품의 바코드를 주사(走查)하면서 공장시스템이 제공해서 각 부품을 공제 했는가의 여부도 확인하다. 이윽고 조립이 끝난 새로운 PC가 조립라인을 타고 내려가면서 자동적으로 검사를 받고 포장된다. 고객이 요구하는 경우

항공 배달편으로 주문한 다음날 제품을 받아 볼 수 있다. 전문가들은 멀지 않아 생산공장과 소매상은 통합될지 모른다고 전망하고 있다.

뛰어난 경쟁력

이리하여 미국 제조업자들은 시장의 출하시간과 융통성있는 제작방법을 포함한 중요한 문제에서 외국의 경쟁사들을 훨씬 앞지르기 시작했다. 미국제조업이 재기하고 있다는 사실을 제네럴 일렉트릭(GE)사 기관차시장에서의 최근 성공사례를 통해 찾아 볼 수 있다. GE사는 미국 펜실베이니아주 이리 장의 기능을 주문생산할 수 있게 개편하고 주문생산 출하시간을 크게 단축함으로써 해외시장점유율을 끌어 올리고 있다.

이 공장에서는 기관차의 차대제작처럼 반복적인 작업을 하기 위해 생산라인의 시작은 자동화 되어 있다. 그러나 서로 다른 운전대, 추력, 모터 그리고 페인트방법을 가진 맞춤 기관차를 만들자면 프로그램을 할 수 있는 융통성있는 셀(단위 생산시설)이 필요하다.

그래서 소프트웨어가 하드웨어보다 더 중요한 역할을 하게 되어 있다. 이런 노력의 결과 이 공장은 1992년이래 생산고가 3배 이상으로 뛰어 오르게 되고 기관차를 맞춤제작하는데 필요한 시간을 2년에서 6개월로 줄일 수 있게 되었다.

한편 캐터필러사는 18억 달러를 들여 공장들을 개조함으로써 건설용 작업기계 생산계에서 다시 옛날의 영광을 회

복했다. 캐터필러사는 1994년 해외판매고가 생산고에서 차지하는 비율이 보잉과 인텔에 이어 미국 3위의 자리를 차지했다. 이 기업은 제품의 3분의 2는 미국내에서 생산하지만 1993년의 1백20억달러의 매출고 중 거의 반은 해외에서 거둬들였다. 이 기업의 일본 시장 점유율은 경쟁사인 일본의 고마츠가 미국시장에서 차지하고 있는 점유율보다 훨씬 높다. 미국 일리노이 주의 오로라소재 캐터필러사 공장의 소프트 자동화에서 가장 두드러진 특징은 사무용책상 크기의 무인차량에서 찾아 볼 수 있다.

이 차량은 이쪽 프레이즈반(원형날이 회전하면서 절삭하는 공작기계)에서 저쪽 프레이즈반으로 부산하게 돌아 다니면서 기어를 나르고 집어 올린다. 그런데 캐터필러사의 차량은 공장 바닥에 심어 둔 와이어를 따라 경직한 패턴으로 움직이는 일본의 FMS시설의 운반차와는 달리 마치 동물처럼 유연하게 돌아 다닌다. 이 차의 옥상에 있는 컵크기의 거리 측정계가 레이저 광을 공장벽의 바코드패널에 반사하여 수레의 위치를 알려 주면 통제센터에서 보내는 컴퓨터 무선신호가 이런저런 지시를 한다.

그런데 일본에서는 도요다 자동차사를 제외하면 소프트제작과 유사한 것은 전혀 찾아 볼 수 없다. 더욱이 이번에는 대부분의 일본메이커들로서는 미국것을 모방하기 어려울 것이라는 것이 전문가들의 생각이다. 그 이유는 일본의 공장들은 높은 품질의 동일제품만을 양산하게 되어 있어 쉽게 프로



◇비행훈련용 시뮬레이터를 닮은 '헥사파드'는 1800년 공업용 선반이 완성된 이래 생산공구에서 최초의 기본적인 기술혁신으로 알려졌다. 컴퓨터제어의 모터로 구동되는 '헥사파드'의 6개의 다리는 스팬들(선반위의 가공품을 받치는 죽)이 가공되는 부품주위를 마음대로 움직일 수 있다.

그램을 개신할 수 없다. 또 여러종의 번거로운 유통시스템때문에 일본은 국내시장에서 맞춤제품을 공급할 수 없게 되어 있다.

앞서가는 소프트웨어

바꿔 말해서 전통적인 비(非)전산화된 하드웨어보다 소프트웨어가 제조 방법을 좌우하기 시작하면서 미국은 다시 세계제조업계의 영도권을 잡게 되었다. 이제 미국의 공장에서는 소프트웨어가 하드웨어보다 그리고 공작기계보다 더 중요한 자리를 차지하게 되었다.

오늘날 미국 제조업자들은 일본 메이커들보다 3배나 더 많은 훌륭한 소프트웨어를 사용하고 있다. 미국 공장에는 10년전 사무실을 휩쓸던 것처럼 PC가 빠른 걸음으로 보급되기 시작하면서 강력한 전산망에 연결되어 마치 슈퍼드뇌처럼 공장바닥을 누비고 다닌다.

크라이슬러 자동차사에는 약 1만명

의 엔지니어, 설계전문가 그리고 제작전문가들이 프랑스 우주항공사인 디솔사가 개발한 '카디아' 공장데이터베이스를 함께 사용하고 있다. 이 소프트웨어에는 설계개념의 초기모델링에서 생산라인에 관한 데이터관리에 이르기까지 48종의 모듈이 포함되어 있다. 그래서 설계자는 작업중인 승용차의 문짝의 반투명그림을 스크린에 불러 내어 빗장을 작동시키고 창을 여닫아 보면서 점검할 수도 있다. 이 소프트웨어 덕으로 크라이슬러사는 '네온' 소형차를 기록적인 33개월만에 완성할 수 있게 되었다. 이것은 통상적인 개발사이클보다 1년을 앞당긴 것이다.

한편 캐터필러사의 설계자들은 이보다 더 이색적인 시스템을 이용하고 있다. 이들은 제품을 생산하기 전에 시스템이 제공하는 가상의 시험장에서 거대한 건설장비를 시험운전할 수 있다. '케이브' (CAVE: 동굴 자동화 가상환경이라는 뜻의 머리글자)로 알려

진 이 시스템은 일리노이대학 토머스 데판티교수와 대니엘 샌던교수의 작품이다. 한쪽이 약 3m의 울타리모양의 스크린으로 되어있는 이 장치는 슈퍼 컴퓨터가 만든 3차원의 그래픽을 벽에 투영하면 누구든지 현실적인 환상을 맛보게 된다. 비디오 아케이드의 가상 현실 시스템과는 달리 '케이브' 속에 있는 사람은 거추장스런 헬멧대신 가벼운 입체 안경을 쓰는데 이것은 디스플레이의 선명도를 부추겨 준다. 사람들은 케이브내부를 걸어 다니면서 머리와 손을 움직여서 영상을 제어할 수 있다. 케이브 시스템은 사람의 머리와 손의 움직임을 탐지하여 그에 상응하게 그림과 소리를 조절한다.

캐터필러사의 시뮬레이션을 이용하면 실물크기의 불도저 모형속에 앉아 실제로 이 회사의 시험장에서 하는 것처럼 이 거대한 기계를駕동할 수 있다. 엔진이 설득력있게 굉음을 울리면서 가상의 자갈을 퍼울려 자갈 더미위에 부릴 때 신호음까지 보낸다.

캐터필러사의 '케이브'는 드릴을 맛 보기 위한 것은 아니다. 이 기업이 1995년 선을 보일 백호우(지만 아래쪽의 흙을 파내는 포크레인처럼 생긴 수 압굴착기)와 휠로더등 2가지 기계는 가상의 시험운전에서 나온 데이터를 바탕으로 시계와 성능을 개선하게 된다.

줄지은 '신무기들'

한편 1982년 연간 40억달러의 업계에서 제1위의 자리를 잃었던 미국의 공작기계메이커들은 이제 일본과 독일을 먼발치에서 바라 보면서 제3위의

자리로 뒤쳐졌다.

그러나 최근 미국 공작기계메이커들은 레이저 프린터가 스프레드쉬트를 벨어 내는 것처럼 설계데이터에서 직접 부품을 만들어 내는 컴퓨터구동의 이론바 신속 원형만들기 기계시장에서 선두를 달리고 있다. 미국 3D시스템즈사가 개발한 이런 기계는 입체사진 석판술로 알려진 공정인 가루금속총을 쌓아 올려 원형을 만든다. 메르세데스-벤츠사는 3D기계를 사용하여 최근 신형엔진에 대한 50개부품의 적합도를 점검하여 개발시간을 80%나 줄여서 많은 돈을 절약했다.

그런데 컴퓨터제어의 공구중에서 가장 결작은 현재 시장에서 막 선을 보이기 시작한 '헥사파드' (六脚類)다. 가벼운 이 기계는 1800년 영국인 헨리 모드슬레이가 공업용 선반을 완성한 이래 가장 앞선 공작기계로 평가되고 있다. 보통 공작기계에 비교하면 우주선과 기차만큼이나 큰 격차를 가진 '헥사파드'는 일찍이 없는 복잡한 일을 다룰 수 있는 능력을 갖고 있다. 비행훈련시뮬레이터(훈련을 위해 실제 환경이나 조건을 모방해서 만든 장치)와 같은 기계적원리를 갖춘 '헥사파드'는 컴퓨터제어의 모터를 가진 6개의 다리를 갖고 있어 기계의 축판이 공구를 3차원공간의 어떤 각도로부터도 지탱할 수 있게 된다.

공장에서 '헥사파드'가 복잡한 금속 부품을 깎을 때는 마치 춤추는 거대한 훌라 댄서와 같다. 이 새로운 기계는 제작에서 전례없는 민첩성과 기동성을 제공한다고 알려져 있다. '헥사파드'

는 같은 출력의 재래식 공작기계 무게의 10분의 1밖에 안되고 자체의 프레임속에 들어 있어 특별한 기반이나 외부의 받침이 필요없다. 또 트럭으로 신속하고 쉽게 운반할 수 있고 필요한 곳이라면 어디서나 작업할 수 있다. 그래서 고도의 기동성을 갖고 트럭에서 발사하는 구소련의 키추사 로켓포가 2차대전을 승리로 이끄는데 일조를 한 것처럼 '헥사파드'는 다가 올 생산 전쟁에서 강력한 경쟁무기의 역할을 할 것으로 보인다.

'생산부흥'의 걸림돌

그런데 미국의 생산력 부흥을 가로막는 가장 큰 걸림돌은 자격을 갖춘 근로자의 부족이다. 이중에는 박사학 위급의 생산엔지니어만 아니라 공장에서 작업하는 숙련노동자들도 포함된다. 그래서 잉거솔 밀링 머신사와 같은 기업은 이웃의 초급대학에 투자하는 한편 지방고교생들의 공장견학도 권장하고 있다.

그러나 소프트제조법의 등장은 미국 경제에 효과적인 강장제구실을 할 것이라고 전문가들은 기대하고 있다. 지난 15년간 미국의 생산근로자의 수는 1천5백만에서 1천2백만으로 줄어 들었으나 최근 12개월간 21만 4천명이 불어 났다. 조사연구에 따르면 새로운 고임(高賃)생산직이 생길 때마다 그 지방에 4, 5개의 일자리를 창출한다는 것이 밝혀졌다. 그래서 일부 전문가들은 앞으로 5년내에 공장종업원수는 고정되거나 아니면 2백만명이 늘어 날 것으로 예측하고 있다. ST