

## 생산자동화 시스템 기술의 진화

高明三

서울대학교 制御計測學科

### I. 서론

생산자동화시스템기술의 최종목표는 생산계획, 설계 및 제조의 경제성과 관리기술의 최적화에 있다. 1980년대 후반에 접어들면서 미국의 일부산업은 일본의 생산기술에 밀려 국제적인 경쟁력을 잃게되어 미국내에서 크게 논의 대상이 되고 있다. 1989년 MIT에서 발간된 보고서<sup>1)</sup>의 첫장에 다음과 같은 글이 실려있다.

To live well, a nation must produce well. In recent years many observers have charged that American industry is not producing as well as it ought to produce, or as well as it used to produce, or as well as the industries of some other nations have learned to produce. If the charges are true and if the trend cannot be reversed, then sooner or later the American standard of living must pay the penalty.

이 글이 미국인 뿐만 아니라 우리에게 시사해 주는 바도 매우 크다. 다시 말하면 국제경쟁력이 있는 상품을 생산하기 위해서는 최신 생산설비를 갖추어야 된다는 것을 말해준다.

최근 우리들의 생산공장들이 처해있거나 앞으로 실현시켜야 할 환경은 매우 심각하다. 그 대표적인 몇 가지 특징을 열거하면

- 첨단기술에 의한 고정도제품의 제조

- 치열한 국제적 경쟁
- 수출원가의 상승
- 고임금과 소량다품종생산
- 노동환경 개선, 노동시간 단축과 생산성 향상 실현
- 공장의 대형화와 분산화
- 자구차원에서 환경보존을 위한 리사이클기술 개발

등이다. 우리는 보다 적은 종업원으로 고정도, 고성능 제품을 경제적으로 생산하기 위하여 설계, 제조 및 관리등의 각분야에서의 자동화가 필요하다.

자동화기술은 개개 기계의 자동화부터 시작하여 가공, 조립, 물류운반, 셀, 라인 및 작업장 전체의 자동화로 발전하고 있다. 단순한 제조 프로세스에 멈추지 않고, 관리 및 경영부문을 포함한 공장경영의 전 정보를 통합적으로 처리하는 CIM 시스템 구축이 큰 과제가 되고 있다. 더욱이 이러한 자동화기술이 실현되고 장시간 무인운전 - 현재 일본에서는 74시간 무인운전 시스템 개발을 목표로 함 - 이 실현되게되면 기계 자신이 자율적으로 상황판단을 하여 행동을 결정해 나가는 지능적인 기능이 본격화될 것이다.

한편 우리나라의 생산자동화기술의 역사는 매우 짧으며 불과 10년내외의 역사밖에 안된다. 설상가상으로 요소기술에 대한 기술축적도 이웃 일본에 비하면 비교할 수 없는 정도로 낙후되어 있다. 또한 우리는 hardware뿐만 아니라 고도의 지적 software의 개발응용능력도 갖추어야 한다.

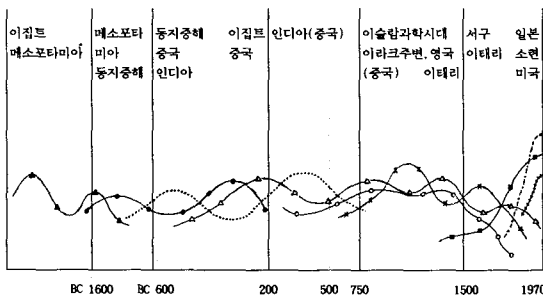
금후 FA 시스템을 구성하는 기술을 발전시키기 위한 software의 핵심기술분야로 I<sup>3</sup> 즉 정보 (information), 지능 (intelligence) 및 종합 (integration)을 들 수 있다. I<sup>3</sup>의 구체적인 실현을 위한 동시

병행공학 (concurrent engineering)과 가상생산 (virtual manufacturing)에 대한 본격적인 논의가 1990년에 들어와서 나타나고 있다.

생산자동화시스템기술에 대한 본론을 설명하기 전에 근대과학기술문명에 대한 세계사적 발자취를 우리 조상들의 업적과 함께 조명해 본후 과거의 발자취와 최근 동향을 살펴보기로 한다.

## II. 과학기술의 흥망

BC 600년까지는 세계의 과학기술은 이집트, 메소포타미아, 동지중해 및 중국의 도시국가들이 그 당시의 선진사회를 형성하였다. BC 600년경부터 AD 1500년경까지는 특히 중국, 인도, 이라크 등 주로 아세아인들이 지배하는 사회가 선진사회 내지 선진국가군을 형성하였다.<sup>[3]</sup> 특히 인도, 중국 및 이슬람 과학기술은 BC 1500년부터 AD 1500년까지 약 3000년간을 선후의 차이는 있으나 약 1000년의 성쇠주기를 지니면서 인류 과학기술문명의 발달에 기여하였다. Needham<sup>[2]</sup>에 의하면 18세기의 산업혁명의 원동력이 된 유럽의 농업혁명은 중국의 아이디어와 기술을 도입함으로써 가능했음을 밝히고 있다. 뿐만아니라 근대 과학기술의 원천은 중국에서 유래했다고 한다.<sup>[2]</sup>



500: 古代, 1500: 中代, 1970: 近代

- : Orient(지중대의 남동쪽 및 아프리카 동북부지방)
- : 東亞中洲
- △— : 인디아
- △— : 중국
- ×— : 이슬람(동서과학혼수, 서구전파)
- : 구라파
- ◇— : 미국, 소련
- ★— : 일본
- : 한국

그림 1. 과학기술문명의 흥망

한편 한국의 과학기술문명은 중국의 그것과 맥을 같이 한 바가 매우 큼을 우리들은 지난날의 역사에서 찾을 수 있다. 즉 세계 최초로 천체관측의 기능을 갖춘 침성대 (632-647년), 718년의 물시계, 현대식 시이켄스 조정기능을 갖춘 1434년의 자격루 그리고 1441년에 세계 최초로 개발된 측우기 등<sup>[4]</sup> 우리의 과학기술중 특히 자동화기술의 기본핵심기술의 개발은 7세기부터 15세기의 기간중에 이룩되었음을 알 수 있다. 우리는 중국 및 이슬람 과학기술문명과 더불어 15세기까지는 선진국이었음이 분명하다.

그림1은 1970년대까지의 인류의 과학기술문명의 흥망을 나타내며 약 1000년의 성쇠주기와 약500년의 전성기를 읽을 수 있다.

## III. 자동화기술의 역사

과거부터 현재 그리고 미래로 향한 공장관리의 역사적 흐름을 과제별로 관찰한다면 다음과 같이 열거할 수 있다.

- (1) 19세기의 craftman 시대
- (2) 1920-40년의 단일품종 대량생산 시대:  
Ford T형 자동차, 분업, 전문업화
- (3) 1970년대의 일본 도요다 생산방식:  
종합적 관리, 자율적 관리, 동기제어, 무창고
- (4) 1975-80년의 메카트로닉스 시대:  
NC, 로봇, 마이크로프로세서 응용, flexibility와 versatility
- (5) 1980-85년의 공장자동화 시대:  
공장의 시스템화
- (6) 1985년 이후의 새로운 개념:  
CIM, SIS, IMS

즉 생산양식은 대량생산을 지향하는 자동화 (automation)로부터 다품종소량생산을 지향하는 flexible automation으로 변환되고 있으며, 컴퓨터의 관리기술은 시스템 내외에서 발생하는 변화에 대하여 손실이 없는 활동을 실현하는데 큰 기여를 하고 있다. 최근 국내에서도 일부 FMS/CIM에 관한 연구 보고가 있다.<sup>[5] [8] [9]</sup> 표 1은 1950년 이후 성취된 주요 제어이론과 응용기술의 상관관계를 나타낸다.

표 1. 기술의 흐름 (Technology flow)

| 년대   | 시스템          | 제어이론                         | 응용수학                     | 물리 반도체기술                       | 가전 생산응용기술                             | 컴퓨터기술                               | 산업기술                              | 항공우주기술                 |
|------|--------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 1950 | .SISO        | .Shannon's theory            | .Cybernetics             |                                | .LP record                            | .Micro program                      | .Cont. Casting                    |                        |
|      |              | .Game theory                 | .Kuhn-Tucker             | .Shape memory Alloy            |                                       |                                     | .O <sup>2</sup> revolving furnace | .Jet-plane             |
|      |              | .Root-Locus                  |                          | .Parametron<br>.Solar Cell     | .Video-tape recorder                  |                                     |                                   |                        |
| 1960 | .NC          | .Kalman Filter               | .D.P.<br>.Max. Principle | .Amorfus Alloy                 | .Play-back type Robot                 | .AIGOL<br>.COBOL                    | .Poly-propilen                    | .ICBM<br>.Marinar II   |
|      | .CNC         | .Popov hyper stability       | .Perceptron              | .Semiconductor<br>.Laser       |                                       |                                     |                                   |                        |
|      |              |                              | .Fuzzy theory            | .Holography<br>.LSI            | .COLOR TV                             | .Mini-computer                      | .Shinkansen                       | .INTELSAT              |
| 1970 | .CAD         | .LQG                         |                          |                                |                                       |                                     |                                   | .Applo 11              |
|      |              | .MRAS                        |                          | .CMOS-IC                       |                                       |                                     |                                   | .Multi-head<br>Missile |
|      | .CAM         | .STR                         |                          | .SAW device                    | .Ultra sound CT                       | .μ-processor<br>μ-computer<br>.RISC | .High speed breeder               | .Concord               |
| 1980 | .FMS         |                              | .Association<br>Memory   |                                | .VLSI                                 | .Optical Fiber<br>Communication     |                                   |                        |
|      |              | .Pole-Zero<br>assignment STC |                          | .OECl                          | .LAN                                  | .Holnic System                      | .3-miles accident                 | .Columbia              |
|      |              |                              |                          | .HEMT<br>.ULSI                 | .MRI Scanner                          | .Computer virus                     |                                   |                        |
| 1990 | .CIM<br>.IMS | .H <sub>∞</sub> control      | .Hofield model           | .Non-Neumann super<br>computer | .Intelligent robot                    | .C++<br>UNIX Integration            | .30K ultra conduction             |                        |
|      |              |                              |                          |                                | .Machine Translation<br>Sensor fusion |                                     |                                   |                        |

IV. 메카트로닉스와 제어이론의 발전

Microelectronics의 발달(기능, 성능향상 그리고 가격저하)은 기계의 유연성을 실현시켰다. 이것은 종래 hardware 위주의 자동화 기술을 software 위주의 새로운 기술로 승화시키는데 결정적인 역할을 하고 있으며, 소위 software servo 기술을 탄생시켰다 (1970년대 후반). 즉 자동화기술의 기초 레벨에서의 진보는 마이크로프로세서 제어의 actuator, software servo의 발전을 의미한다고 하여도 과언은 아니다. 이것에 의하여 각종 자동화동작의 유연성화, 지능화 및 상위 수평적인 컴퓨터와의 정보통신에 의한 시스템 통합이 가능하게 되었다.

자동화기술의 원천기술인 써어보기술의 발전을 연대별로 열거하면 다음과 같다.

1960년대: 유압 써어보(높은 동력), 조립복잡성

1970년대: DC 써어보(고효율), 유연성, 성에너지, 열가

1980년대: AC 써어보(보수, 유지 자유)

1990년대: 마이크로 메카닉스(미소화, 정전기)

써어보 제어기술은 마이크로 컴퓨터의 도입에 따라 여러가지 고도의 제어기술이 가능하게 되었다. 실용화되고 있는 주된 제어기법을 열거하면 아래와 같다.

- (1) PID, I-PD, 2자유도 제어계
- (2) 극배치 - 주파수 영역특성을 고려한 현대제어
- (3) Feedforward 제어 - Computed torque 제어
- (4) VSS - Sliding mode 제어
- (5) 적응, 학습, 반복 제어
- (6) Fuzzy, 신경회로망 이용 제어
- (7) Robust 제어 - H<sub>∞</sub> 제어
- (8) 지능제어

- 제어와 AI와 OR의 결합
- 센서, 인식, 지식베이스, 계획, 제어 및 actuator에 의한 loop 구성과 통합화

표 2는 제어이론의 발전에 따른 주요 결과 및 그 특징을 나타낸다.

표 2. 제어이론의 발전

| 세대   | 명 칭                            | 주 요 결 과  | 특 징  |
|------|--------------------------------|--|--|
| 제1세대 | 유년기<br>(18세기경-1930)            | ·미분방정식 도입<br>·대수적안정판별조건<br>·적분보상에 의한 정상편차의 제거  | ·해석적인 이론   |
| 제2세대 | 고전적 주파수<br>응답시대<br>(1930-1960) | ·전달함수, 블록크선도의 정비<br>·주파수응답도입(나이키스트판별법,<br>안전여부, 감도함수, 보드의등식<br>주파수/과도응답)<br>·위상보상, PID로 설계 | ·설계이론  |
| 제3세대 | 현대제어이론전기<br>(1960-1980)        | ·상태공간개념<br>·최적제어개념 및 해법<br>·적응학습동작, 통계적이론<br>·비선형, 데드시간, 분포정수계                             | ·제어과학<br>·Hardware기술 미달<br>로 인한 실용화<br>부진                                  |
| 제4세대 | 현대제어이론후기<br>(1980- )           | ·복잡한 제어대상 적용<br>·견실, $H_{\infty}$ 이론<br>·자동화의 확대(학습, 설계)<br>·종합소프트적인 체계화                   | ·사용에 편리한 이론완성<br>·하드기술의 발달<br>·H/W와 S/W의 접합<br>·정보시스템기술과 자동화기술<br>의 융합과 통합 |

## V. FA용 hardware 요소의 발전

Software servo를 이용한 새로운 자동화기기들이 개발되어 생산공정의 유연성을 제공하였으며 그 대표적인 기기로 CNC 공작기계, 머시닝 센터, 로봇, 자동조립장치, 그리고 AGV 등을 들 수 있다.

### 1. CNC 공작기계

32 bits의 고속 마이크로프로세서를 이용, feedforward vector 제어를 사용한 AC motor의 고정도 softservo 및 고속의 곡선 보간을 실현시키고 있으며, nano 가공을 가능하게 하였다. 원통형 주축을 사용한 고속회전절삭이 가능하고, 고속가공에 견딜 수 있도록 종래의 저이득 softservo에 대하여 각종 보상이 필요하게 되었다. 현재 절대치 방식

encoder를 주축과 결합하여 송출축과 동기시켜 원통가공과 평면가공이 1단계에서 가능하게 되었다. 현재 사용되고 있는 제어 programming 기법은 다음의 네가지이다.

- Manual
- Digitizing
- Language-based computer assist
- Graphic-based computer assist

### 2. 머시닝 센터

CNC 공작기계를 다축화(현재 5축화 상품)하고, ATC, 공구 마가진, APC 및 head changer를 비치하여 work를 떼어내지 않고 여러종류를 가공할 수 있게 되어 FA의 기본요소로 되고 있다. 최근 연삭조합, 용접, 조립, 소둔, 표면처리 세척 및 도장 등 보

다 복잡다기능화가 실현되고, 공구의 사용상태를 기억한 메모리와 ID 신호를 읽고 POP를 쉽게 실현시킬 수 있는 기계로 발달되고 있다. 그리고 공구마찰을 측정하는 미소저항을 바이트 끝 피막에서 실현시킬 수 있는 기술개발이 시도되고 있다.

### 3. 로봇

산업용 로봇은 용접, 도장, 조립, palleting, 장착, 탈착 등 각종 작업의 자동화에 활약하고 있다. 직교형, 평향4변링크형, 수평다관절형, 수직다관절형, 진자형 등 각종 로봇이 현재 사용되고 있다. 제어방식은 교시반복형방식이 작업의 복잡화에 따른 교시시간 폭주가 문제되고 있으며, CAD/CAM에 의한 프로그램의 자동발생으로 로봇을 NC 방식으로 제어하는 시스템이 개발중에 있다. 한편 작업공간의 축소에 따른 새로운 조립용 핸드 및 센서개발에 대한 연구가 시도되고 있다. 특히 최근에는 성공간과 성에너지 전제로 한 매니플레이터 개발이 시도되고 있으며 사용언어의 규격은 현재 ISO TC 184/SC2 WG4에서 검토되고 있다. 한국의 경우 필자들이 개발한 C언어에 의한 SNU-L<sup>[6]</sup> [7]이 현재 일부 기업체에서 생산되고 있는 산업용 로봇의 로봇 전용언어로 사용되고 있다.

### 4. 자동조립장치 및 AGV

자동삽입기 혹은 비디오 공장에서 고무 벨트, 스프링 등 유연한 부품을 취급하는 장치가 발달하였다. 부품자동공급에는 제조공급방식, 배열공급방식 (part feeder, magazine, taping 등), random 공급 등이 있다. 또 CCD 카메라를 사용하여 부품의 위치자세를 측정하여 로봇의 자세를 조정하여 조립하는 bin picking system도 실용화되고 있다.

AGV에는 전자유도, 빛표시에 의한 유도, 유도자기 테이프에 의한 유도방식이 있다. 최근 압전소자를 이용한 저가격 (20만원-3만원) gyroscope가 개발되어 AGV의 새로운 유도방식을 제공하고 있다. 이외에도 초음파센서 및 CCD 카메라 혹은 레이저를 이용한 자율유도방식 AGV의 실용화도 곧 실현될 것이다. 특히 매니플레이터를 적재한 AGV가 최근에 발달하고 있다. AGV는 장래 생산공장에 새로운 working cell 개념으로서 공장자동화구성의 새로운 기초기술로 등장할 것이다.

## VI. FMS와 CIM의 진화

FMS는 FMC(유연생산셀), IMC(지능생산셀), 자동창고 및 AGV들의 집합으로 구성되는 새로운 생산시스템이다. FMC란 머시닝 센터와 로봇트 혹은 APC 등을 조합하여 장시간의 무인운전을 가능하게 하는 기본 생산공정단위이다. 현재 실현되고 있는 FMC는 0.1 μm의 정도와 60 m/min의 속도로 운전이 가능하다. 한편 IMC는 FMC에 자동조정기능(적응제어기능), 가공감시시스템(AE에 의한 공구절손감시기능), 계측시스템 등을 부가시켜 고도의 생산유연성과 자동화를 달성하는데 있다. 현재 60 시간 무인운전이 가능(일본)하다.

금후의 기술과제로는 현재의 기계는 사이즈가 같은 유사형상부품의 가공에는 기계의 위력을 발휘하지만 사이즈가 크게 달라지면 동작이 불가능해지는 것을 개선해야 한다. 또한 불량품 발생의 자동예지기능 개발, 자동고장진단, 자동복귀, 공구식별과 진단 등의 기능보완이 필요하다.

한편 CIM(Computer Integrated Manufacturing)이란 수주부터 설계, 제작, 납입 및 보증수리까지의 기업활동의 모든 것을 컴퓨터로 유기적으로 통합시킴으로서 기업의 평형을 유지하는데 목적이 있는 생산방식이다. 일반적으로 CIM 도입에는 환경변화, 품질변경, 생산량변동에 대한 유연적 대책과 생산성 향상, 품질향상, 원가절감과 납기단축 등 다섯가지의 큰 목적이 있다. 따라서 CIM 구축을 위하여는 제조와 정보처리시스템의 구축기술 및 이들을 유기적으로 결합시킨 시스템으로 실현시킬 수 있는 시스템 통합기술이 필요하게 된다.

CIM 구축에는 생산시스템을 체계적으로 다룬 구조설계가 필요하며 국제적인 표준화 움직임이 있다. 그림2는 ISO TC 184에서 추천한 CIM 계층모형이다.

CIM의 평가항목에 대한 국제적인 합의는 없으나 현재까지 생각할 수 있는 주요 항목은 다음과 같다.

- 성력화
- 제품 lead time
- 재고 삭감
- 제조원가 삭감
- 성공률
- 다품종

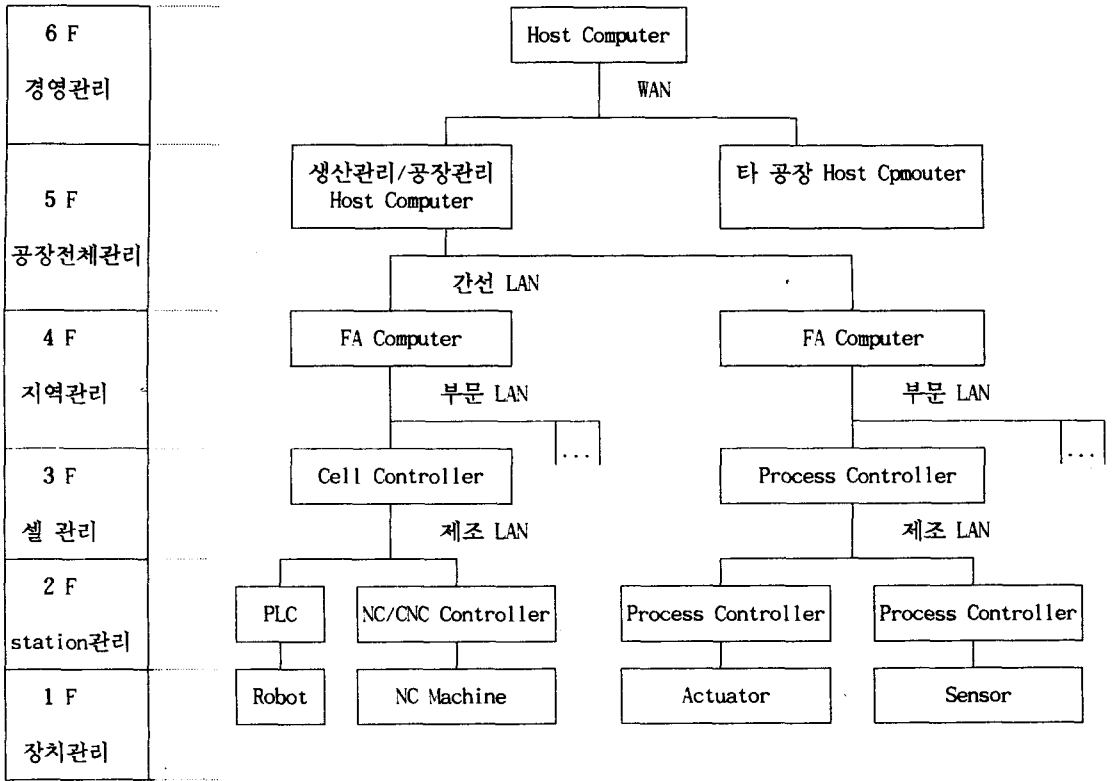


그림 2. CIM 계층모형(ISO TC 184 추천)  
WAN(Wire Area Network)  
LAN(Local Area Network)

한편 6층으로 구성된 CIM 구조물간의 효율적인 정보통신을 위한 통일된 통신망과 MAP를 통해서 자동화기기장치간의 통신과 공장내의 소위 자동화섬을 없앤다.

puter 등의 모든 통신을 규정하여 단일 제조업자뿐만 아니라 여러제조업자로부터의 자동화기기 구입을 가능케하고 있다. 특히 기술부문, 사무부문 자동화 및 관리기술에 관련한 data base 구축과 MRP (Material Requirement Planning)과 각종생산계획, 공구관리(TRP)에 대한 컴퓨터 통합화를 실현시키고 있다. 그림3은 생산시스템의 발전과정을 나타낸다.

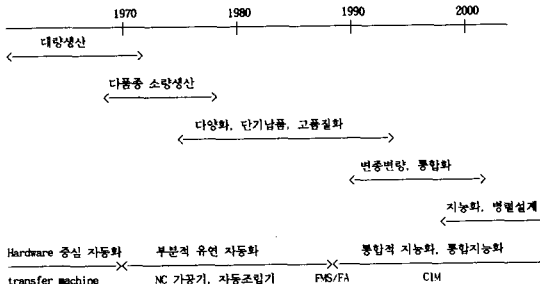


그림 3. 생산시스템의 진화 흐름

즉 CNC, 로봇트, 비존 시스템, PC 및 host com-

### VII. 결론

과학기술에 대한 역사적 고찰과 생산자동화기술에 대한 발전과정에 대하여 논하였다. 현재 일차적인 우리의 과제는 지금까지 개발된 기술을 완전히 이해하여 이를 효과적인 생산시스템을 구성하는데 필요한

지혜로운 지식으로 승화시키는데 있다. 기술에 요행이 없으며 과대포장도 있을 수 없다. 기술은 있는 그대로 사회경제에 영향을 미친다. 국내의 기술실태를 고려할 때 우리들은 기반요소기술부터 복합요소기술, 대규모 software 시스템 기술 및 폐기물 재활용기술에 이르기까지 거의 모든 분야의 기술을 동시에 개발 통합시켜야할 입장에 있다. 15세기에 우리가 전세계에서 누렸던 과학기술문명의 상대적 우월성이 21세기에 재현되기를 기대한다.

參考文獻

[1] Michael, etc., "Made in America," MIT Press, 1989.  
 [2] J. Needham, "Science and Civilisation in China," Cambridge Press, 1948.  
 [3] Temple, "China - Land of Discovery and Invention," Multimedia Pub.,

1986.  
 [4] 박대성, "과학사 서설," 외국어대, 1979.  
 [5] 고명삼, "Implementation of an Integrated FMS Model Plant," Proc. of the IMACS/SICE International Symposium on Robotics, Mechatronics and Manufacturing Systems '92, pp. 259-264, Kobe Japan, 1992.9.  
 [6] 고명삼, "산업용 로봇의 제어기 국산화 개발," 전기학회지 vol.40, No.7, pp.22-40, 1991.7.  
 [7] 고명삼 외, "SCARA형 로봇의 프로그래밍 언어 개발 및 구성에 관한 연구," 전기학회논문지, vol.37, No.11, pp.796-803, 1988.11.  
 [8] 고명삼, "자동화기술의 현황과 미래," KACC Workshop, pp.195-204, 1992.10.  
 [9] 고명삼, "자동화기술의 미래 - 정보시스템기술과의 결합," ASRI 준공1주년기념 논문지, pp.33-40, 1992.4.

筆者紹介



高明三  
 1930年 1月 1日生  
 1955年 3月 서울대학교 공과대학 졸업

1962年 10月 ~ 1993年 2月 서울대학교 교수  
 1993年 4月 ~ 현재 서울대학교 명예교수  
 자동화 시스템 공동연구소 고문