



# 자동화 및 디지털 제어기술

권옥현\*

(\*서울대학교 공대 전기공학부 교수)

## 1. 서 론

자동화 및 디지털 제어 기술은 대량 생산 체제의 기반 기술로서 국내 산업계의 발달에 지대한 공헌을 해왔으며 최근들어 생산성의 고효율화가 주요 문제로 지적되면서 그 중요성이 크게 부각되고 있는 분야이다. 본고에서는 자동화 및 디지털 제어 기술을 프로그램형 제어기(PLC), 분산제어 시스템(DCS), 로봇(Robot), 컴퓨터 수치제어기(CNC), 서보(Servo) 구동 기술 등의 5개 분야로 나누어 각 분야의 국내 기술 발전 현황 및 향후 동향에 대해 알아 본다.

## 2. 프로그램형 제어기(PLC)

프로그램형 제어기(PLC : Programmable Logic Controller)는 자동제어의 핵심장비로써 소형 Relay Panel, 간이자동화, 소형 Conveyor Line, 각종 소형 제조 기기 등에서부터 중형 주차 설비, 대규모 단위 기계, Process 제어, 철강 자동차등의 생산 라인, 화학, 섬유 공장제어 등 그 적용 범위가 대단히 넓다. 국내 PLC 산업은 1981년부터 2~3개 업체가 구미 및 일본의 PLC를 도입 판매하면서 시작되었다. 그후 자동화에 대한 인식이 고조되면서 단순 도입판매를 하던 금성계전(현재 LG산전)을 비롯한 몇몇 대기업들이 자체모델 개발과 기술제휴를 통한 제품개발을 하였으며 현재 국내 PLC 시장에 참여하고 있는 업체는 대략 10여개사 정도가 된다. 국내 PLC 시장 규모는 1991년 500억원을 돌파해서 매년 20% 정도의 고속 성장을 이루어 왔다. 한국내 PLC 잠재 시장 규모는 약 3조원 정도로 추정되고 있어 아직 국내 PLC 시장은 엄청난 잠재성을 갖고 있다고 할 수 있다. 잠재 시장이 크다는 것은 현재의 PLC 기종이나 성능보다 훨씬 고기능화되고 다기능화된 PLC의 등장에 시급해졌다는 것이다.

PLC 산업을 최초로 시작한 금성 계전은 1993년 MASTER-K 1000 및 복수카드를 출시하여 고기능 PLC의 자체모델 시대를 열었다. 초소형부터 중,대형까지 다양한 기능을 확보하고 있으며 강력한 통신기능, 전용 S/W 및 Gate Way Package등 다양한 주변기기를 지원할 수 있고 각종 특수 기능 모듈 장치가 가능하며 다양한 명령어를 보유하였다. 금성계전은 일본 미쯔비시전기와 제휴에 의해 Goldsec-M 시리즈를 1988년부터 1993년까지 출시하여 큰 인기를 얻었다. 두 회사가 LG 산전으로 통합된 후로는 GLOFA PLC를 주 모델로 하고 있는데 이것은 IEC(Inter-

national Electrotechnical Commission)의 국제 표준화규격을 충실히 적용하여 개발되었으며 고속 전용 ASIC을 탑재하여 명령어의 고속처리를 실현하였다. 또한 이중화 시스템의 구축이 가능하여 신뢰도를 향상시켰으며 상위 레벨의 Mini-MAP 네트워크와 하위 레벨의 필드버스 네트워크를 포함하여 인터페이스를 크게 향상시켰다.

삼성항공은 94년부터 Brain SPC 시리즈와 고급기종인 Hibrain 시리즈를 출시하였다. 소형 PLC인 Brain SPC10은 기존 소형급의 릴레이를 대체를 목적으로 14점에서 56점까지 구성, 초소형 사이즈, 고속 카운터, 펄스 출력등의 특수 기능등이 보유되어 있다. SPC100은 최대 120점으로 구성되고 RS-232, RS-485 포트를 통한 컴퓨터와 통신망 구축, 메모리 EEPROM으로 신뢰성 향상, 고기능 응용, 연산 명령어 보유한 것이며, SPC300은 최대 544점 구성, 초고속 데이터 처리(0.75M Sec), Network 강화(Link Remote), 확실한 자기진단, 편리한 S/W, 다양한 Network 구축(Mini-Map 탑재가능), Analog, 고속 카운터 Link 등의 특수 모듈 구비, 수치 연산 가능한 광범위한 제어 가능한 모델이다.

이 이외에도 동양산전, 코오롱엔지니어링, 포스콘등이 독자 모델을 개발하여 제품을 출시하고 있으며 모디콘, AB 등 여러 외국회사들의 현지 법인이 국내에 PLC를 공급하고 있다.

기술분야에서 PLC에 계속적으로 요구되는 것은 데이터 처리나 수치연산의 명령충실, 새로운 명령어와 특수 기능 모듈, 네트워크 조작의 전용 명령어 추가, 고장 검출 기능 강화 등 기존 기능의 충실화이다. 스캔 타임 축소와 고속 응답을 위한 연산속도 향상, 특히 응용 명령의 고속화 등의 속도의 향상과 리모트 I/O 모듈의 증대, 마이크로 프로세서가 탑재된 인텔리전트 I/O 모듈, 고유한 I/O 인터페이스를 위한 전용 처리 모듈 등과 같은 기능의 향상 또한 PLC의 주요한 과제이다. PLC의 네트워크 기능이 더욱 요구되어 오픈화된 상위, 하위 네트워크 구비. PLC간 네트워크의 고속화와 대용량화 등은 필수 기능이 되고 있다. 비대화되는 소프트웨어에 대응도 필요하며 개발 환경 정비, MMI 기능 충실, 범용 퍼스널 컴퓨터의 응용등이 해결 방안으로 생각되고 있다.

## 3. 분산제어 시스템(DCS)

분산제어 시스템(DCS : Distributed Control System)은 순차 제어 및 연속 제어를 포함한 공정 제어 기능은 분산화하고, 분산화된 기기들로부터의 데이터 수집, 처리, 저장, 감시 등의 공정 정보 처리 기능은 집중화한다는 개념의 복

합적인 공정제어 시스템을 의미한다. 분산제어 시스템은 공정의 분산 및 제어를 통하여 생산성 향상은 물론 에너지 절감, 생산 원가 절감 등의 제반 효과를 얻을 수 있고, 또한 통신 시스템의 발달로 CIM(Computer Integrated Manufacturing)의 한 계층으로서 공장 자동화에도 중요한 역할을 담당하고 있어서 최근 국내 여러 산업계에 확산 적용되고 있는 추세이다.

국내 산업계에서의 분산제어 시스템의 개발 현황에 관해서는, 국내의 주도적 업체 중의 하나인 LG 산전의 개발 역사를 중심으로 살펴보도록 한다. 국내에 분산제어 시스템이 도입되기 시작한 것은 1980년대 초반부터이다. 1984년을 즈음하여 LG 산전의 전신인 금성 계전에서는 일본의 후지 전기에서 개발된 분산제어 시스템을 국내에 도입, 판매하면서 관련 기술력을 축적해 나갔다. 그리하여, 1985년부터 금성 계전은 분산제어 시스템의 국내 모델 개발에 착수하여 1987년 6월에 그 첫 모델인 Master P-1000을 발표하였다. Master P-1000은 응용 프로그램의 호환성을 위하여 제품 사양은 후지 전기의 분산제어 시스템과 유사하지만, MMI를 비롯한 기본적인 소프트웨어들과 시스템을 구성하는 하드웨어들이 모두 독자 개발된 최초의 국산 분산제어 시스템으로 볼 수 있다. 이 시스템은 1988년에 나주에 있는 럭키 DOP(가스제) 공장에 적용된 것을 효시로 하여 본격적으로 현장에 적용되기 시작하였는데, 1990년대 초까지 일산 정수장, 진로 소주 공장 등 약 10 여개의 사이트에 설치되었다. 1992년부터 LG 산전은 분산제어 시스템의 세계적인 추세인 개방형 구조와 UNIX 시스템을 지원하는 새로운 모델의 개발에 착수하여 1995년에 Master P-3000을 발표하였다. Master P-3000은 공장 전체를 관리하기 위한 대규모 제어, 데이터 수집 및 관리 기능을 가진 개방형 구조의 분산형 공정 제어 시스템으로서, 1997년 현재까지 평택 화력 발전소, 울산 화력 발전소, 북제주 화력 발전소, 포항 정수장 등 약 12 개의 사이트에 설치, 운용되고 있다. 현재 국내에서 분산제어 시스템을 개발하고 있는 업체로는 LG 산전 이외에도 삼성 전자, 현대 중공업, 포스콘, 광명 제어 등을 들 수 있다. 그러나, 아직까지도 국내 분산제어 시스템 시장은 일부 분야를 제외하고는 여전히 하니엘, 요코가와, 폭스보로 등 외국 제품들이 그 주류를 이루고 있는 실정이다. 여기에는 국내 업체의 현장 적용 단계에서의 기술력 부족, 새로운 시스템의 적용을 꺼리는 수요자들의 보수적 성향, 그리고 국내 업체들의 적극적인 투자 부족 등을 그 원인으로 들 수 있다.

향후 분산제어 시스템은 관련 컴퓨터 분야의 기술과 환경 변화에 따라 계속 변화, 발전해 나갈 것으로 예상된다. 궁극적으로는 기존의 공정제어 기능 뿐만 아니라 다른 영업 및 재무관련 정보와 공정제어 정보를 통합하는 시스템으로 그 기능이 바뀌어 플랜트나 사업 전반적인 부분의 통합된 정보 처리를 담당하게 될 것으로 예상된다. 즉, 하나의 터미널에서 공정 정보 뿐만 아니라 영업, 연구개발, 일반 관리 등 다른 부분의 정보를 접할 수 있게 되어 공정제어 부분과 정보관리 부분의 경계가 없어지고 유기적으로 합쳐

지게 되는 것이다. 국내 업계에서도 이와 같은 흐름의 변화에 빠르게 발맞추어 나가면서 개발에 박차를 가해야 할 것이다.

#### 4. 로봇(Robot)

국내 로봇의 개발은 15여년에 불과한 짧은 역사를 가지고 있다. 초기에는 직접적인 수요가 없는 상황에서 KIST와 같은 국가기관에서 탐색적인 연구개발을 하였고, 80년대초, 자동차 산업의 급속한 발전과 더불어 제조업용 로봇의 개발이 몇몇 대기업에 의해 의욕적으로 착수되기 시작하였다. 그러나, 당시 상황으로는 시장수요에 대처하기보다는 기술 주도형 개발을 시도하는데 그쳤고, 상품화로 연결되지는 못하였다. 기술력도 부족하고, 국내 로봇 산업 기반도 열악하여 로봇자체의 개발이 어렵자 로봇의 직접적인 개발보다는 로봇의 공정 응용에 치중하고, 로봇은 외국에서 수입하여 사용하게 되었다.

80년대말에 접어들면서 삼성전자가 독자적인 기술개발에 의해 직교, 수평 및 수직 다관절 로봇을 개발하여 이를 생산현장에 직접 다량 적용하는데 성공하였다. 이후 90년대에 접어들어 주로 대기업을 중심으로 다양한 용도의 로봇 개발이 이루어져 왔으나, 소수의 업체를 제외하고 대부분의 업체에서는 순수 로봇개발보다는 로봇시스템 응용기술 개발에 주력하여 왔다. 현재 로봇을 개발하여 직접 생산하는 업체는 현대중공업, 두산기계, 삼성전자, 대우중공업, 기아기공 등이며, 국내의 로봇 보급 대수는 약 2만대에 육박하고 있다.

산업분야별로 로봇 개발현황을 살펴보면, 전자산업의 경우 로봇 자체의 개발 및 응용 기술이 다른 분야에 비해 월등하게 발달되어 왔다. 90년대 들어 전자산업이 국내에서 최대 경제생산력이 되면서 해당기업을 중심으로 품질 및 생산성 향상을 자동화를 통해 달성하려는 움직임이 강하게 나타나, 직교 및 수평다관절 로봇을 중심으로 하는 조립용 로봇 개발에 본격적으로 나섰기 때문이다. 삼성전자의 경우, 1989년 전자부품 조립에 최적인 수평다관절형 SCARA(selective compliance arm for robotic assembly)의 로봇몸체 및 제어기를 독자적으로 개발완료하고, 양산에 착수하였으며, 1990년에는 직교 로봇, 1991년 소형 6축 수직다관절 로봇(payload 6 Kg) 및 32비트 제어기, 1993년 palletizing 로봇, 1994년 2배속 Lowding/Unloading 로봇, 1996년 중형 6축 수직다관절 로봇(payload 10 Kg)등의 로봇 개발에 잇달아 성공을 거두어 모두 양산제품으로 현장에 적용하고 있다. 지금까지 삼성전자에서는 안정된 로봇 몸체 및 제어기의 신뢰성에 바탕을 두고, 약 4000 여대에 육박하는 로봇을 생산하여 생산현장에서 가동중에 있다.

한편, 국내 자동차산업의 경우에는 중대형 로봇의 개발을 시도해 왔으나, spot 용접용으로 많이 사용되는 대형 로봇은 payload가 크고(100Kg 이상), weight balancing 문제등을 고려한 고강성 몸체를 설계하고, 또한 이를 제어하기가 쉽지 않아 완전한 독자 모델로 가져가는 데는 많은 어려움

이 있었다. 그래서 대부분의 자동차 업계는 로봇 자체의 개발보다는 해외로부터 로봇의 몸체 및 제어기를 도입하고, 이 도입된 로봇의 응용기술 개발에 힘을 쏟아왔다.

현수준에서의 국내 제조업용 로봇 기술을 선진국과 간단하게 비교하여 보면, 몸체설계, 제어기 및 시스템 응용기술은 거의 동등한 수준에 와 있으며, 가장 중요한 기술의 하나인 신뢰성 확보 측면에서 보면 MTBF 100개월의 세계 최고 수준에 도달한 분야도 있다. 그러나, 이와같이 선진국과 어깨를 나란히 할 정도의 수준에 도달한 제조업용 로봇과는 달리 비제조업용 로봇에 대한 연구개발은 90년대에 들어서 본격적으로 시작되었으며, 주로 국가연구기관과 대학 연구기관에 의해 장기프로젝트로서 진행되어 오고 있다. 주연구대상으로 휴먼로봇, 극한작업용 로봇, 소형 로봇 등을 들 수 있다.

96년을 기준으로 약 1600억원 정도의 외형적 성장을 보이는 제조업용 로봇의 지속적인 성장을 도모하기 위해서는 전체 재료비의 약 40%까지 차지하면서 전량 수입에 의존하고 있는 서보모터, 감속기등의 핵심부품에 대한 기술개발 투자가 선행되어야 한다. 이밖에도 산적해있는 문제점들이 있으나 기 확보된 제조업용 로봇의 자체개발 및 응용기술의 수준은 전술한 바와 같이 세계적이라 할 수 있어 이 기술을 충분히 활용하고 발전시키도록 노력한다면 가장 경쟁력 있는 로봇기술 국가로 발돋움할 수 있다고 생각된다. 그러나 첨단기술의 복합체인 비제조업용 로봇 기술은 막대한 개발비용이 소요되고, 단시일내에 개발이 불가능할 뿐만 아니라 관련산업의 기술수준이 함께 높아야만 이루어지기 때문에 선진국과 같이 국가차원의 장기적이고 체계적인 개발 계획이 필요하다.

## 5. 컴퓨터 수치제어기(CNC)

컴퓨터 수치제어(Computerized Numerical Control, CNC)는 인간의 조작 기술에 의존하지 않고 컴퓨터를 이용하여 임의대로 기계 부분을 제작할 수 있게 해 주는 제조 방법이다. 이 CNC를 이용하여, 사용자는 가공대상의 디자인, 형태, 표면 또는 외형의 데이터의 입력만으로, CNC기계의 높은 위치 정확성, 다축 운동 그리고 다양한 기능을 통하여 고속·고정밀 가공을 한다.

국내에서는 1968년 한국과학기술연구소(KIST)를 통하여 NC공작기계가 소개된 후 1976년에 KIST와 화천기공의 공동연구로 범용선반에 2축 제어 NC장치를 장착 개발한 첫 시작품이 제작되었고, 그후 수년간은 민간 수요자에게는 그다지 보급되지 않았으나 국가 교육 정책에 따라 기계공고에 일부 보급되었으며, 유럽지역으로 수출도 이루어 졌다. 그 이래로 국내에서 CNC에 대한 관심 및 연구개발은 갈수록 크게 증가하고 있다. 1990년전까지 국내의 대부분의 공작기계에는 일본의 FANUC사에서 제작한 CNC가 부착되었으나, 1990년이래 CNC에 집중적인 투자결과 현재는 국산 CNC장치를 장착한 공작기계가 많이 출시되고 있으며 수출

용도 확대되고 있다. 국내의 CNC공작기계에 대한 연구는 CNC제어기 개발 콘소시움(기아기공, 대우중공업, LG산전, 삼성전자, 한국산전, 화천기공, 현대정공, 서울대 제어계측신기술연구소)의 주도로, 종래 CNC에 대한 국산화 공동 개발을 서두르고 있다.

현재 국내에서는 정부의 주도하에 G7과제와 중기거점과제의 큰 줄기하에 각 업체들간의 공동 개발등이 이루어지고 있다. G7과제의 1단계에서는 기계기술에 초점을 맞추어 공작기계등을 개발하였고, CNC제어기는 LG산전을 주관기관으로 하여 여러 업체들과 협력으로 개발을 완료하였다. 중기거점과제에서는 CNC제어기 개발에 초점을 맞추어, 개방형 시스템, Windows용 사용자 환경, 실시간운영체제, CNC architecture등의 다양한 개발을 진행하고 있다.

현재는, 다양한 제품을 효율적으로 생산해야 하는 필요성과, 시장환경의 급속한 변화에 따른 대응력, 또 생산시스템의 높은 효율화를 지향해서, 네트워크를 통해 상위 제어계층과의 접속에 의한 시스템 통합과, PC를 중심으로 최근 소프트웨어와 하드웨어의 급신장등의 배경으로 현재는 개방형 CNC에 관심이 고조되고 있다. 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 이에 관한 국가지원 및 민간연구개발 프로젝트를 진행하고 있다. 국내에서도 개방형 NC에 대해 각 업체별로 개발 및 연구를 하고 있는 실정이며, 개방형 NC의 일종인 PC Based NC를 탑재한 공작기계는 이미 일부기업에서 개발을 완료해서 시제품을 발표했으며, 많은 업체가 개발을 서두르고 있어 NC의 개방화에 대한 국내의 관심을 엿볼 수 있다.

## 6. 서보(Servo) 구동 기술

국내의 서보 구동 기술은 80년대의 아날로그 회로 수준을 지나 90년대의 디지털 기술로 전환되었다. 특히 90년대 들어 상품화에 성공한 디지털 방식의 AC Servo Drive는 모터의 전류, 토크 및 속도 제어부를 포함한 전 부분을 디지털화하여 기존의 아날로그 Servo Drive의 단점인 환경 변화에 의한 성능 변화와 부품 특성 오차로 인한 성능 저하를 없앴으로써, 국내 AC Servo Drive의 수준을 한 차원 높일 수 있는 기반을 만들었다.

최근의 기술 수준은 전류, 토크 및 속도 제어를 Software로 처리함으로써, 사용 조건을 Digital로 입력하여 균일한 설정값의 재현이 가능하고, Motor 상태에 맞는 최적의 사용 조건으로 제어할 수 있어서, Servo Motor의 특성을 최대한 활용할 수 있다. 또한 DSP (Digital Signal Processor)를 사용, 고속 연산 처리가 가능하며 샘플링 시간을 고속 수행할 수 있으며, Digital 방식의 PWM 신호를 발생시켜 인버터 제어 신호로 사용함으로써 완전 디지털 방식의 AC Servo Drive를 구현하므로, 환경이나 부품 특성에 의한 성능 변화 및 특성 오차를 없앨 수 있다. 또한, 기존의 속도, 위치 제어 기능에 토크 제어 등의 다양한 기능 및 사용자 인터페이스를 지니도록 개발되고 있다. 아울러

서보 모터의 기술 개발도 활발히 이루어져, 용량대비 부피 축소 등의 제품 개선이 이루어지고 있다.

인버터를 적용함으로써 기대되는 효과가 자동화 및 에너지 절감면에서 상당하다는 사용자측의 공감대로 인해서 '87년 7월 수입 다변화 지정 이후, 국내 업체에도 이에 대한 인버터의 개발, 생산이 활발해지고 있다. 또한 산업기기의 고성능화 추세와 엘리베이터 시장의 확대 등에 힘입어 여러 회사에서 제품 발표하는 등 활발한 연구 개발이 이루어지고 있다. 이에 따라 지난 '83년 연구소 설립 이래 인버터를 중심으로 한 전력 전자 제품을 개발해 온 LG 산전이 국내 최초의 인버터인 STARVERT 제품을 생산한 이래, 전량 수입에 의존해 온 유도 전동기(모터)의 속도와 위치를 동시에 제어할 수 있는 고품능 인버터도 국내 기술로 개발됐다.

인버터는 사용자들의 수준이나 공급 업체의 개발력이 낮은 가운데서도 기술적으로는 상당히 민감한 방향으로 이행하고 있는데 특히 제품의 소형 경량화와 저소음화, 신뢰성 향상 등이 두드러지고 있다. 그 동향을 살펴보면 다음과 같다. 사용자들의 요구 측면에서는 가격이 저렴하면서도 성능이나 기능이 적용 부하나 시스템에 적합하고, 신뢰성면에서도 보호 기능이 강화된 제품을 원하는 경향이 있고, 제품 개발 측면에서는 소자의 선택을 Power Transistor, MOSFET, IGBT 및 IPM 등으로 다양화됨과 동시에 저소음화를 기하고, 제어 부분은 32 비트 DSP를 채용, 응용한 벡터 제어 기술이 눈에 띄게 늘어나고 있다. 또한 회로는 아날로그에서 디지털화로 이행하고 있으며 Custom LSI화 및 제어 회로 표준화로 고신뢰성을 지향하는 기술 개발의 움직임이 일고 있다. 특히 최근에 출시된 Sensorless 타입의 인버터는 속도를 추정해서 현대 제어기술을 통해 페루우프를 제어함으로써, 기존의 V/F (Voltage-to-Frequency) 제어에 비해 토크 출력 특성 및 저속구동 특성이 향상되었다.

## 7. 결 론

본고에서는 국내의 자동화 및 디지털 제어 기술에 대하여 5개분야로 나누고 각 분야별 발전 역사 및 동향을 알아 보았다. 짧은 역사에도 불구하고 각 분야 별로 장족의 발전을 해 왔으며 몇몇 분야의 경우 이미 선진국과 대등한 위치에 와있음을 알 수 있으나, 아직도 외국 선진 기술에 비해 낙후된 분야가 많이 있다. 그러나 이의 극복은 막대한 개발비용이 소요되고, 관련산업의 기술수준이 함께 높아야만 이루어지기 때문에 선진국과 같이 국가차원의 장기적이고 체계적인 개발계획이 필요하다. 아울러 관련 업계 및 학계에서는 각 분야의 변화와 동향을 주시하며 지속적인 노력을 기울여 나가야 하겠다.

### - 감사의 글 -

본 원고를 작성하는 데 필요한 자료를 제공해 주시고 많은 도움을 주신 삼성전자 생산기술센터의 김성권 전무님, 김동일 부장님, LG산전의 신상근 실장님, 광균평 실장님께 감사드립니다.

## 저 자 소 개



### 권욱현(權旭鉉)

1943년 1월 19일생. 1966년 서울대학교 공대 전기공학과 졸업. 1971년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1975년 미국 브라운대학교 졸업(공학박). 현재 서울대학교 공대 전기공학부 교수 및 서울대 제어계측기술연구소 소장. 대한전기학회 부회장