

# 산업용 전동기 구동시스템의 동향

설 승 기

(서울대 공대 전기공학과 조교수)

## 1. 서 론

전동기는 기계적 구동력을 얻는 수단으로써 많은 산업 현장에서 이용되고 있다. 전체 전기에너지의 2/3이상이 전동기 구동을 위하여 사용된다는 사실은 전동력이 산업 현장에서 차지하는 중요성을 나타내고 있다[1]. 1800년대 말 전동기의 발명으로 인하여 종래의 내연기관 또는 증기기관에 비하여 산업현장에서 기계적 구동력을 손쉽게 얻을 수 있게 되어 본격적인 전기에너지의 시대가 열리게 되었다. 그 후 100여년간 전동기 구동시스템은 비약적인 발전을 거듭하여 오늘날과 같은 첨단 산업문명시대를 이끄는 원동력이 되었다. 전동기 자체는 100여년간의 전기재료와 설계기술의 발전으로 소형, 경량화 되었을 뿐 여전히 전자기적인 힘(Electro Magnetic Force)에 의존하여 기계적 출력을 얻는 형태에는 큰 변함이 없다. 최근 영구자석의 발전으로 인하여 영구자석을 이용하는 특수한 형태의 전동기가 개발되어 정밀기계의 구동원으로 이용되고 있으나 산업용 구동력으로는 아직 폭넓게 이용되지 못하고 있다. 그러나 20세기 중반부터 혁명적이라 할 만큼 빠른 발전을 보이고 있는 전자 공학은 전동기 구동의 분야에도 큰 영향을 주고 있으며, 특히 전력전자공학으로 불리는 전력제어기술과 전자회로기술의 결합은 산업용 전동기 구동 시스템에 새로운 지평을 열고 있으며 그 성능이 나날이 발전하고 있다. 이 글에서는 전력전자공학을 이용한 산업용 전동기 구동시스템의 최근의 발전추세와 문제점을 전망 하고자 한다.

## 2. 전력전자공학의 발전

전력전자공학은 전자공학의 기술을 이용하여 전력에너지를 제어하는 학문으로 1950년대말의 다이리스터로 통칭되는 전력용 반도체의 발명과 더불어 시작되었다.

초기의 다이리스터의 용량은 수백볼트, 수십 암페어급의 소용량이었으나 현재는 다양한 종류의 전력용 반도체가 개발되어 이용되고 있으며 단일 소자의 용량이 수천 볼트, 수천 암페어에 이르고 있다. 또한 개개의 트랜지스터를 이용한 전력제어를 위한 전자회로의 구성은 마이크로프로세서로 상징되는 대규모 집적회로의 발전으로 복잡한 신호처리를 소프트웨어로 간단하게 구현할 수 있게 되었다.

이러한 전자공학의 기술의 발전에 힘입어 전력전자기술은 산업전동력 구동시스템에 폭넓게 적용되었고 특히 전동기 회전력, 속도의 제어가 필수적인 일괄 공정의 제철, 제지 등의 전동기 제어 시스템의 성능 향상에 결정적인 기여를 하였으며 현재에도 그 발전추세를 늦추지 않고 있다[2].

## 3. 직류전동기에서 교류전동기로

회전력과 속도의 빠른 변화가 필요한 가변속 제어시스템에는 전통적으로 직류전동기가 사용되어 왔다. 직류전동기는 속도와 회전력의 제어가 손쉽고 그 특성이 우수하여 제철, 제지 등의 일괄 공정과 엘리베이터, 전철 등의 수송기계의 구동원으로 폭넓게 이용되어 왔다. 그러나 직류기는 브러쉬와 정류자로 인한 정기적인 유지보수의 필요성으로 인하여 그 사용이 점차 줄어들고 있다.

교류 전동기로 통칭되는 농형 유도전동기는 그 구조가 간단하고 견고하여 범용 전동기로서 널리 사용되어 왔으나 속도와 회전력의 제어가 어려워 고성능의 가변속 시스템에는 사용되지 못하고 있었다. 그러나 1970년대 이후 전력용 트랜지스터와 GTO의 발달로 인하여 가변전압 가변주파수원을 비교적 용이하게 얻을 수 있게 되었고 벡터제어로 불리는 교류전동기 제어이론의 발전으로 고성능의 가변속제어에도 농형유도전동기가 사용되기 시작하였다. 이러한 교류 전동기 가변속구동을 가능

연 대		1960	1970	1980	1990
전 동 기			DCM		ACM
전 력 변 환 기		M-G 세트	사이리스터레오네드	사이크로 컨버터	GTO
제 어 소 자		트랜지스터	아날로그 IC	전압형PWM인버터 TRS	전체디지털 IGBT 마이크로프로세서
제어성능	속도 정도		= 0.25%	= 0.01%	
	속도 응답		15~20rad/s	60rad/s	

그림 1 철강압연 공정에서의 전동기 제어 기술 발전

제한 전력용반도체와 전동기 제어이론의 발전은 계속 될 것으로 생각되며 직류전동기의 유지보수 문제는 인건비와 재료비의 상승으로 더욱 심각해지리라 예상되어 새로 건설되는 산업용 전동기 구동 설비의 경우 유도전동기 구동시스템으로 바뀔 것으로 예상된다 그림 1은 철강 압연공정에서의 전동기 제어 기술의 발전을 나타내고 있다[3].

#### 4. 분산구동과 직접 구동

종래의 경우 산업용 전동기의 가변속 구동시스템의 가격이 비싸고 각 시스템간의 제어가 힘들어 1대의 대형 전동기를 적절히 구동하고 얻어진 기계적 구동력을 벨트, 기어, 캠 등의 전달 수단을 통하여 필요한 곳에 구동력을 배분하였다. 그림 2는 섬유기계에 사용되는 편심치차를 이용한 구동시스템의 예를 나타낸다. 이 경우  $\alpha$ 가 일정한 각속도로 회전할 경우  $\beta$ 는 원하는 비선형의 구동을 얻을 수 있다. 그러나 서보 전동기를 사용하면  $\beta$ 의 비선형 운동을 전동기 자체에서 직접 구현 할 수 있다[4].

이 경우 전동기 구동시스템 그 자체는 단순하나 기계적인 전달요소로 인하여 유지보수의 어려움과 에너지 효율이 떨어지고 필요한 곳에 필요한 기계적 힘의 분배가 어려웠다. 그러나 최근의 디지털 제어와 산업용 구동시스템을 위한 전용 통신기술의 발전과 함께 전동기제어시스템의 가격도 하락하고 있어 기계적 구동력이 필요한 곳에 필요한 크기의 전동기를 분산배치 한 후 각각의 전력용 변환기를 통하여 분산제어하고 각 변환기는 중앙의 제어시스템에서 통괄제어하는 방식의 분산형 구동시스템이 이용되기 시작했으며 이러한 추세는 고가의 대형 시스템에서 시작하여 점차 중, 소형 생산 공정에도 폭넓게 이용되리라 예상된다. 그림 3은 현재 유럽에서 산업용 전동기 구동시스템의 표준 통신 시스템으로 채택하려 하

고 있는 InterBus-S의 대표적 사양이다[5]. 이러한 분산형 제어와 함께 기어, 캠 등을 이용하여 기계적 구동력을 변형시키는 종래의 방식에서 직접 구동(Direct Drive)으로 불리는, 말단의 기계적 운동 부위와 전동기 축을 직결하여 제어하는 새로운 전동기 구동 방식이 개발되어 사용되고 있다[6].

이는 기어의 오차(Back-lash)가 문제되는 곳 또는 기어를 통해서서는 회전력의 원활한 제어가 어려운 곳, 예를 들면 정밀 가공기계의 테이블 구동, 정밀 로봇의 관절구동, 고속 엘리베이터의 승차감개선등에 이용되고 있으며 이러한 추세는 특수 전동기의 개발과 제어시스템의 성능

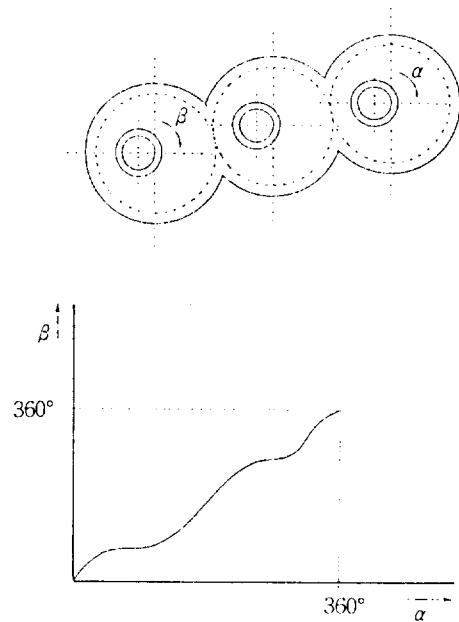


그림 2 편심치차(Eccentric Gear)에 의한 비선형운동

**System Specifications**

- Number of I/O points 4096 inputs and 4096 outputs
- Baud rate 500 kBaud/2 MBaud
- Communication media Twisted copper conductors, plastic fiber, glass fiber slotted waveguide, slip ring, infrared transmission
- Data security CRC 16

**Remote Bus**

- Number of stations 256
- Station-to-station distance 400 m With copper line  
100 m With plastic fiber  
2500 m With glass fiber
- Maximum system expansion 12.8 km With copper line  
80 km With glass fiber

**Installation Remote Bus**

- Station-to-station distance Max 50 m (limited by voltage drop)
- Maximum expansion 50 m

**Local Bus**

- Number of local bus stations Max.8
- Station-to-station distance Max.1.5 m
- Maximum expansion Max.10 m

그림 3 Inter Bus-S의 사양

항상 요구에 따라 더욱 가속되리라 예상된다. 또한 직선운동이 필요한 곳에는 회전운동의 전동기를 선형운동의 전동기로 대체하여 직접 직선운동의 기계적 출력을 얻는 구동 시스템이 전철, 엘리베이터, 자동 운반장치 등에 이용되고 있으며 선형교류전동기의 설계, 제작 기술의 발전에 따라 그 용도가 더욱 넓어 질 것으로 생각된다.

은 배선과 유지 보수 등의 문제로 인하여 시스템의 신뢰성을 떨어뜨리는 요인으로 작용할 수 있다. 비약적으로 발전하고 있는 컴퓨터와 각종 현대 제어이론을 결합하여 전동력을 속도, 토오크의 측정없이 제어 할 수 있는 센서레스 제어기법이 개발 되어 산업현장에 이용되기 시작하였다. 이러한 제어 기법은 환경이 열악한 인쇄 공정등의 화학 물질을 많이 취급하는 산업현장에서부터 이용되기 시작하여 향후 일반적인 제어 성능이 요구되는 가변속 제어시스템에 광범위하게 이용될 것으로 예상된다. 그림 4는 인쇄공정에 사용되는 유도전동기 센서레스 제어 구동시스템의 구동특성이다[7].

**6. 대용량, 고속 스위칭화**

고성능의 가변속 시스템을 위해서는 빠른 제어주기가 필요하고 이를 위해서는 전력용 스위칭 소자가 제어 명령에 따라 빠르게 스위칭 할 필요가 있다. 통상 100Hz의 속도제어 주파수 대역을 위해서는 500 ~ 1000Hz 정도의 전류제어 주파수대역이 필요하고 500Hz정도의 전류제어를 위해서는 2500 ~ 5000Hz 정도의 스위칭 동작이 필요하다. 마이크로프로세서의 발전으로 인하여 5000Hz의 제어주기로 각종의 전동기 제어 알고리즘을 수행하는 것은 어렵지 않지만 대용량 전동기구동을 위해서 통상 사용되는 GTO소자의 경우 스위칭 주파수가 1KHz 미만으로 제한되어 고성능의 제어특성을 얻기 어렵다. 그러나 최근 대용량의 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)소자의 개발과 더불어 향후 제철 압연 공정의 1MW 이하의 보기(Auxiliary Machine)에는 IGBT를 이용한 교류가변속 구동의 적용이 가능하리라 예상되며 이미 지하철, 경전철의 수백 KVA급의 견인전동기 구동시스템에 IGBT가 이용되고 있다. 이러한 IGBT의 대용량화는 꾸준히 지속되리라 생각되며 향후 수년 이내에 수MVA급의 구동시스템도 스위칭주파수 수 KHz대의 IGBT소자가

**5. 센서레스 제어(Sensorless Control)**

공정의 적절한 제어를 위하여 이용되는 계측용 장비들

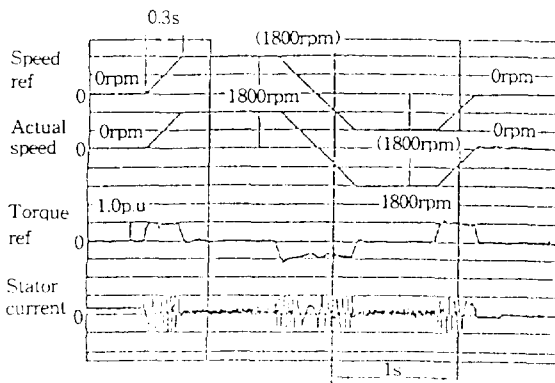


그림 4 유도전동기 Sensorless 벡터제어의 특성

표 1 1200A, 3300V, IGBT의 주요 특성

최대 인가 전압	3300 V
최대 도통전류(직류, 연속)	1200A
최대 도통전류(펄스, 1msec)	2400A
최대 발산전력	10 kw
도통전압 (Vec, Ic= 1200A)	4.2V - 5.2V
턴온시간 (유도성부하)	2 μsec
턴오프시간 (유도성부하)	0.3 μsec
동작온도	-40 °C - 125 °C
무 게	2.2 kg

이용될 수 있을 것으로 예상되며 이 경우 대용량 산업용 전동기 구동 시스템의 동특성(Dynamic Performance)이 크게 개선될 것으로 예측된다. 표 1은 최근에 발표된 3300V, 1200A IGBT의 주요 특성을 나타낸다[8].

## 7. 문제점

대용량전동기 구동시스템이 더욱 전자화, 특히 컴퓨터에 의한 디지털 제어화 되어 감으로써 외부 또는 내부에서 발생하는 전자 잡음(Electromagnetic Noise)에 취약해 지며 시스템 자체로써도 더욱 많은 잡음을 발생하게 된다. 이러한 잡음에 관한 대응 능력이 약할 경우 예상치 않은 시스템의 정지 또는 오동작을 초래하여 인명과 재산상의 손실을 일으킬 수 있다. 특히 대용량, 고속 스위칭에 의한 급격한 전압, 전류의 변화는 전동기 구동 시스템 자체가 발생시키는 잡음의 정도를 더욱 크게 만들어 제어 시스템의 보호를 어렵게 하고 있다. 또한 디지털 제어 시스템의 특성상 한번 잡음에 의해 시스템이 영향을 받으면 특별한 하드웨어, 소프트웨어 기능이 없는 경우 시스템의 오동작을 초래할 수 있다. 또한 고속 스위칭에 의한 급격한 전압변동은 전력 변환기와 전동기 간의 분포 캐패시턴스와 전동기 자체의 캐패시턴스에 의한 유전 손실에 의해 절연과피 현상을 일으킬 수 있어 이에 대한 대책이 필요하다[9]. 또한 전력변환기가 발생시켜 전력계통에 침투되는 고조파(Harmanics)는 주변의 각종 전력용 기기, 전자제어기기 등에 영향을 주어 시스템의 신뢰성과 안정성을 떨어뜨리는 요인이 될 수 있다.

이상과 같은 부작용과 문제점은 각종 제어 시스템을 결합허용구조(Fault Tolerant System)로 하고 잡음에 대한 대응 능력을 향상 시키며 전력 변환기의 입, 출력에 적절한 여과기(Filter)를 부착하여 해결 할 수 있을 것으로 생각되나, 이 모든것이 원가 상승의 요인이 됨으로 필요에 따라 적절한 대책이 요구된다.

## 8. 결 론

전력전자공학의 탄생을 가능하게 한 전력용 반도체의 발전은 반도체 공학의 발전에 따라 더욱 가속화 될 것이고 컴퓨터와 관련 응용기술도 비약적으로 발전될 것으로 예상되어 향후 산업용 전동기 구동시스템은 더욱 전자화 디지털 제어화 할 것이며 대용량화 고속화 될 것이다. 또한 이러한 발전에 의해 전력변환기와 그 제어 시스템의 가격이 하락 함에 따라 다양한 용도에서 폭넓게 고성능의 가변속 구동 시스템이 이용될 것으로 예상된다. 그러나 예견되는 부작용에 대한 현명한 대책이 필요하고 이 역시 기술의 발전에 따라 해결 될 수 있으리라 예측된다.

## 참 고 문 헌

- [1] A.H. Bonnett, "Understanding Efficiency in squirrel-cage Induction Motor," IEEE Trans. Ind. App vol. IA-16, pp.476-483, July/Aug. 1980.
- [2] M.H. Rashid, Power Electronics Prentice Hall, ch1 1993.
- [3] 奥山俊昭, 高橋潤一, "압연기 드라이브 시스템" 일렉 OHM지, 93년 4월호 pp 46 -53.
- [4] P.K. Budig, "Multimotor Drives for Textile Machines PCIM '94 Conf. Rec. Intelligent Motion, pp 511-532, 1994.
- [5] M. Muller, "International Manufacturers Define Standard for Networking Drive Controllers", PCIM '9 Conf. Rec. Intelligent Motion, pp 487-498 1994.
- [6] S.C. Stoicovy, "Geared Versus Gearless Adjustable-Speed Drive Systems in the Pulp and Paper Industry," IEEE Trans. on Ind. Appl., vol. IA-24 no4, July/Aug. 1988.
- [7] T.Ohtani, N. Takada, K. Tanaka, "Vector Control of Induction Motor without Shaft Encoder," IEEE Trans on Ind. Appl., vol IA - 28, no1 Jan./Feb. 1992.
- [8] EUPEC Technical Information, EUPEC 1994.
- [9] S. Ogasawara, H. Fujita, H. Akagi, "Modeling and Analysis of High-Frequency Leakage Currents Caused by Voltage-Source PWM Inverters," Trans. of IEEE Ind. Appl. vol. 115-D no 1. Jan. 1995.

## 저 자 소 개



설승기(薛承基)

1958년 3월 25일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1986-88년 미국 Univ. of Wisconsin-Madison 객원연구원. 1988-90년 금성산전연구소 책임연구원. 현재 서울대 공대 전기공학과 조교수.