

전동력 응용기술의 현재와 미래

이은용*, 김일중**, 김종겸**

(충남대 전기공학과 교수*, 주성전문대학 전기과 교수**, 원주전문대학 전기과 교수**)

1. 서론

현대문명의 역사에서 전동기의 사용은 현재 우리가 살고 있는 산업사회의 각종 이기로 사용되어 편리하고 안락한 삶을 영위하는 초석이 되었다. 대형 플랜트 산업에서 부터 각종 정보통신기기, 가전기기에 이르기 까지 우리 생활 전반에 걸쳐 다양한 종류의 동력을 필요로 하는 생산 라인에서 무수히 많은 전동기들이 사용되고 있다.

이와 같이 전기에너지를 동력에너지로 변환하는 전동기는 그 종류가 다양하여 이용되는 응용분야와 기능, 크기 및 구동원리에 따라 다양하게 분류된다.

전동기는 크게 전원의 종류와 구동원리에 따라 직류전동기, 유도전동기, 동기전동기로 분류할 수 있으며 이들 전동기는 100여년 전부터 산업현장에서 사용되고 있다[1]. 최근에는 영구자석 전동기, SR전동기, 브러시없는 직류전동기, 소형정밀전동기 등이 특수한 응용분야는 물론 기존의 전동기를 대체하여 광범위하게 사용되기 시작하였으며 전기에너지를 절약할 수 있는 고효율, 고성능화를 실현하기 위한 설계기술의 집중적인 연구가 이루어지고 있다[2].

전동기 고유의 특성은 물론이거니와 그것을 구동 및 제어하는 고성능 드라이버의 출현은 다양한 요소기술의 발달로 눈부신 발전을 계속하고 있다. 새로운 형태의 응용기기가 개발되는 것과 동시에 그 응용기기에 적합하도록 기존의 전동기가 새롭게 설계되기도 하고, 전동기의 구동원리는 물론 그 형태와 특성이 기존 전동기와 다른 새로운 형태의 마이크로 액츄에이터와 같은 새로운 구동장치가 개발되기도 한다.

각종 전동기를 분류하는 방법은 여러 가지가 있으나 간단하게 전동기의 형태에 따라 분류하면 원통형, 디스크형, 직선형등이 있으며, 전원의 종류와 전동기의 기능에 따라 세분하면 표1과 같다[3].

본 원고에서는 전동력 응용기술의 방대한 범위 중에서 위에 언급된 제한된 범위의 전동기에 대한 기본적인 특징 및 구동회로에 관한 내용만을 간략히 설명하고자 한다.

그리고 실제 산업현장을 비롯한 우리 주변에서 전동기를 이용한 전동력이 어떻게 응용되고 있으며 응용하고자 하는 지를 몇가지 사례를 들어 설명하기로 한다.

표 1. 각종 전동기의 기능과 전원에 의한 분류

DC motor	<ul style="list-style-type: none"> ■ power and torque motor ■ dc servo motor ■ brushless motor ■ micromotor(with electronic governer) ■ micromotor(with mechanical governer) ■ coreless motor 	
AC synchronous motor	<ul style="list-style-type: none"> ■ wound field motor ■ PM motor ■ reluctance motor ■ hysteresis motor ■ inductor motor ■ eddy current motor 	
AC asynchronous motor	single-phase induction motor	<ul style="list-style-type: none"> ■ split phase motor ■ capacitor start motor ■ two value capacitor ■ permanent capacitor ■ shaded pole ■ AC servo
	three-phase induction motor	<ul style="list-style-type: none"> ■ squirrel cage ■ wound rotor
Universal motc	<ul style="list-style-type: none"> ■ series commutator motor 	
Stepper motor	<ul style="list-style-type: none"> ■ PM type ■ VR type ■ HB type ■ shaded pole type 	
Switched reluctance motor		
Disk and printed circuit motor		
Linear motor	<ul style="list-style-type: none"> ■LIM ■LSM ■LPM ■LDM ■LOA ■LES 	

2. 각종 전동기의 특징

직류전동기는 전통적으로 간단한 제어방법과 교류-직류 변환장치만으로 쉽게 구동이 가능하기 때문에 속도제어가 요구되는 산업현장의 구동시스템으로 사용하였다. 직류전동기의 토오크는 전기자전류와 계자자속에 의해 발생되며 계

자속은 계자전류에 비례한다. 그리고 직류분권전동기의 토오크 제어는 일정계자전류 값에서 전기자전류를 제어하므로써 구현할 수 있다. 그러나 정류자와 브러시등 기계적 마찰 부분이 존재하기 때문에 고장이 잦고 정기적인 유지보수가 필요한 단점이 있다.

유도전동기는 견고하면서 가격이 싸기 때문에 전통적으로 정속도를 요구하는 구동시스템에 적합한 전동기로 자리잡았다. 이와 같은 정속도특성의 유도전동기를 가변속 구동시스템으로 이용하기 위한 노력이 30여년 전부터 현재까지 계속되고 있다. 그 결과 유도전동기 가변속구동시스템의 개발이 이루어져 성능이 우수하고 가격이 싸지면서 산업현장에서 기존의 직류전동기를 대체하여 가변속 구동용 전동기로 사용되고 있다. 최근에는 전력전자, 마이크로일렉트로닉스, 마이크로컴퓨터 기술의 급속한 발전에 따라 복잡한 제어알고리즘의 유도전동기 제어가 적당한 가격으로 보급되고 있다.

동기전동기도 가변속 구동시스템 분야에서 유도전동기의 강력한 경쟁자로 등장하고 있다. 유도전동기와 비교하여 주요 장점은 유도전동기의 전압제어시 발생하는 전력손실을 배제할 수 있으며 보상전류를 흘릴 수 있다는 점을 들 수 있다. 또한 회전자형이 대부분이므로 회전자로 부터 자화 에너지를 공급하므로 성능의 감소없이 공극을 크게 할 수 있다. 그러나 500마력 이하에서는 농형유도전동기와 비교하여 제작 단가가 높고 고성능 제어를 위해서는 위치검출용 센서가 필요하다

영구자석 동기전동기는 최근들어 희토류 자석의 등장과 함께 비약적인 성장을 계속하고 있다. 이 전동기는 여자를 위한 별도의 정류장치와 브러시가 없어도 회전자 자속을 영구자석으로 부터 공급받을 수 있기 때문에 동기전동기와 비교하여 계자권선과 직류전원공급장치, 슬립 링을 필요로 하지 않는다. 따라서 손실을 줄일 수 있을뿐 아니라 구조도 복잡하지 않다. 회전자의 여자제어는 가능하지 않고 고정자측 여자제어만으로 전동기를 제어할 수 있다. 또한 영구자석을 회전자의 표면에 장착한 비돌극형 영구자석 전동기의 경우는 공극이 크게 되면서 전지자반작용의 영향이 적게된다. 그리고 고정자 전류의 변화에 따른 공극 자속밀도의 변화도 적게된다.

SR전동기의 기본적인 원리는 이미 100여년 전에 알려졌음에도 불구하고 그동안 실용화가 정착되지 못하였다. 최근에는 소용량에서 부터 중간 용량의 부하 구동용 전동기로 활발하게 이용되고 있으며 국내외적으로 연구도 활발하다. SR전동기는 고정자와 회전자 모두에 돌극을 가지며 회전자는 권선이나 영구자석을 갖지 않는 성충철심을 사용한다. 회전자의 위치에 따라 공극의 자기저항이 최소가 되는 위치로 이동하려는 리럭턴스 토오크를 발생시키기 위해 고정자 권선에 펄스 형태의 전류를 가한다. 그러나 SR전동기의

특성이 직류전동기와 유도전동기의 특성과 달리 매우 비선형적이기 때문에 아직 제어기술부분이 미진하여 지속적으로 연구되고 있다.

브러시없는 직류전동기는 1980년대에 출현하여 컴퓨터 주변기기에서 부터 공업용, 군사용에 이르기까지 응용분야를 넓히기 시작하였다. 특히 컴퓨터 디스크 드라이브, 비디오 테이프 레코더, 인공심장, 연료펌프, 로봇, 프린터, VCR 등에 기존의 직류전동기를 대체하여 사용되고 있다. 이와 같은 현상은 전동기의 가격과 제어소자의 가격이 내려가면서 앞으로도 계속될 전망이다. 큰 값의 잔류자속밀도와 보자력, 그리고 큰 에너지적을 갖는 Nd계 영구자석의 등장은 시스템의 크기를 줄이고 효율을 증대시킬 수 있게 되었다. 또한 기존의 직류전동기는 정류자와 브러시 사이에 스파크를 발생시켜 불필요한 전기적 잡음을 만들게 되고, 이같은 잡음은 제어성능에 지장을 초래하게 된다. 이와 같은 문제점이 브러시 없는 직류전동기에서는 발생되지 않는다. 향후 컴퓨터 주변기기의 생산량 증가에 따라 브러시 없는 직류전동기의 수요는 폭발적으로 증가할 것으로 예측된다.

3. 산업에서의 전동력 응용기술의 현재와 미래

로봇, 산업용 기기, rolling mill 등의 구동시 반드시 요구되는 사항으로 부하변동과 동시에 이루어지는 속도보정능력과 파라미터의 영향을 받지않는 제어특성, 빠른 동응답을 제공할 수 있는 고성능, 고신뢰성의 구동회로가 필요하다. 전동력 응용기술의 발전은 매우 다양한 각종 전동기의 설계제작기술은 물론 각 전동기의 특성을 충분히 살릴 수 있는 구동 및 제어회로 기술의 진전 여부에 따라 결정된다. 그리고 각종 전동기들의 구동 및 제어기술은 전력반도체소자, 변환회로, 제어이론, 신호처리 그리고 마이크로일렉트로닉스등과 같은 매우 다양한 분야의 발전과 밀접한 관계가 있다.

다음은 현재 가장 많이 사용되는 전동력응용기술에 대하여 그 예를 들고 앞으로의 전망을 기술하고자 한다.

3.1 산업용 로봇과 CNC공작기계용 AC서보모터

현대산업사회에서 산업용 로봇과 CNC공작기계는 공장자동화의 주역으로 운동축의 구동은 DC나 AC서보전동기가 주류이다. 한편 최근 AC서보전동기는 위상검파를 이용한 상전류제어나 벡터제어에 의해 DC서보전동기와 동일한 제어성능을 가지게 되어 급격히 실용화되고 있으며 다음과 같은 분야에서 광범위하게 이용되고 있다[4].

- 1) 시스템의 소형화를 위해 전동기가 시스템 내부에 장착되는 경우(산업용 로봇, 공작기계)
- 2) 한 공장에서 복수개의 서보전동기를 사용할 경우(트랜스퍼 머신)

- 3) 높은 파워레이트 밀도가 요구되는 경우(X-Y테이블)
- 4) 브러시의 분말이 영향을 주는 환경(반도체제조설비)
- 5) 열악한 작업환경으로 브러시,정류자 등의 손상이 우려되는 경우(사출성형기)

이러한 AC서보전동기의 구동은 아나로그 소자로 구성된 아나로그 제어기에 의해 구동되고 있으나 최근에는 고속 DSP를 채택하여 전류(토크), 속도, 위치를 디지털제어하는 디지털 제어기를 개발하여 제어가 가능하도록 하고 있다. 이와 같은 제어기는 산업용 로봇과 CNC 공작기계의 소형화, 용이한 유지보수, 제어기의 가격 인하 등의 이유로 향후 널리 사용되리라 예상된다. 또한 기존의 가감속 및 기본적인 전류,속도, 위치제어 이외에도 고성능 동특성, 고정밀 제어가 가능한 제어기의 출현이 기대된다.

3.2 전기자동차

자연환경의 보호관점에서 전기자동차의 실용화는 현재 커다란 관심사가 되고 있다. 배기가스의 발생량을 비교하여도 전기자동차의 충전전력을 화력발전으로 얻는다고 가정할 때 기존의 내연기관형 자동차와 비교하여 절반 이하로 평가되고 있다. 전기자동차의 구동용 전동기는 축전지로부터 공급되는 전기에너지를 기계에너지로 변환하여 자동차를 구동시키는 매우 중요한 핵심 요소기술의 하나이며, 한정된 축전지의 용량을 고려한다면 전동기의 효율이 높아야 하고 소형경량화와 승차감을 높이기 위해 소음 및 진동이 작아야 한다. 전기자동차의 동력원이 직류이기 때문에 전동기의 종류에 따라 직류-교류변환, 직류-직류변환, 직류-펄스변환등이 필요하게 된다. 전기자동차에 적합하다고 판단되는 전동기의 대표적인 특성값을 비교하면 표2와 같다[5].

현재까지 개발된 전기자동차의 견인용 전동기는 대부분 직류전동기를 사용하고 있다. 그러나 최근에는 소형경량화, 보수성의 향상 등을 목적으로 교류전동기(유도전동기, 영구자석형 동기전동기)를 적용한 전기자동차의 개발이 진행되고 있으며 앞으로 이들 전동기가 주로 사용될 것으로 전망된다. 또한 SR전동기도 중량당 출력이 크고 고속운전이 가능하기 때문에 적용이 유망한 전동기라는 의견도 있다. 전기자동차용 전동기에 요구되는 사항에는 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) 고속회전을 위한 소형경량화
- 2) 축전지 1회 충전으로 장거리 운행이 가능한 고효율
- 3) 광범위한 정출력 특성
- 4) 속도, 위치검출용 센서를 부착하지 않은 신뢰성 향상

이와 같은 전동기의 요구를 만족시키기 위한 제어방법을 유도전동기와 영구자석형 동기전동기로 나누어 특징적인 것만 설명하면 다음과 같다.

1)유도전동기의 제어방식 : 유도전동기의 제어는 엔진을

사용한 자동차와 동일한 운전감각을 얻기 위한 방법으로 벡터제어에 의한 토오크제어가 일반적으로 제안된다. 여기에는 벡터제어를 전제한 임의의 토오크에 대하여 효율을 최대로 하는 제어방법과 속도 센서가 없는 벡터제어의 2가지 방법이 있다.

2) 영구자석형 동기전동기의 속도제어: 영구자석형 동기전동기의 속도제어에는 고정자권선에 회전자의 영구자석이 만드는 자속을 상쇄시킬 전류를 흘려 약계자에 의한 정출력 특성을 구현하는 제어방법과 위치센서가 없는 제어방법이 있다.

표 2. 전기자동차용 전동기의 대표적인 성능비교

전동기 항목	직류 전동기	PM형 동기전동기	유도 전동기	SR 전동기
최대효율 [%]	85~89	95~97	94~95	90미만
효율(10% 부하) [%]	80~87	90~92	79~85	78~86
최대회전 수(rpm)	4000~ 6000	4000~ 10000	9000~ 15000	15000 미만
비용/ 출출력 (\$/kW)	10	10~15	8~12	6~10
제어기 비용	1	2.5	3.5	4.5
신뢰성	보 통	우 수	최우수	우 수
구동 방식	초 퍼	인버터	인버터	인버터

전기자동차의 구동시스템은 전동기와 고속 자기 턴오프 디바이스를 사용한 초퍼 또는 인버터를 조합한 것으로 자동차의 구동 및 속도를 제어하는 것으로 파워 일렉트로닉스의 기술이 집약된 시스템이다.

현재 전기자동차의 직류-교류 변환장치에는 자려식 인버터가 사용되고 있다. 자기 턴오프 디바이스의 발전에 따라 다이리스터가 파워 트랜지스터, IGBT, MOSFET등으로 교체되고 있다. 유도전동기와 영구자석형 동기전동기의 제어에는 IGBT 등에 의한 전압형 VVVF 인버터를 적용하는 것이 주류이다. 전력변환 시스템의 용량은 수 십 kW 이하로 전압도 300~400V의 범위이다. 따라서 고전압, 대전류의 디바이스를 사용할 필요가 없기 때문에 다양한 운전 모드에 따른 전력손실이 작은 디바이스를 선정할 필요가 있다. 특히 자려식 인버터에서 반드시 필요한 역병렬 다이오드의 특성이 스위칭 손실의 저감에 중요한 요소가 된다.

전기자동차의 제동시 차체의 관성에너지를 축전지에 저장하는 회생제동은 1회 충전의 주행거리를 크게 증가시킬

수 있다. 따라서 축전지의 충전특성과 잘 맞는 효율이 좋은 회생제동을 채택할 필요가 있다.

향후 전기자동차용 전동기는 신소재를 사용한 하이테크 형태로 설계제작되어야 하며, 고성능 신형 축전지의 개발과 함께 상용화된다면 환경문제는 물론 심야전력을 이용한 충전시스템의 활용이 가능하기 때문에 에너지의 효율적 이용으로 에너지절약 효과도 기대된다[6].

3.3 전기철도

전기철도의 구동시스템은 견인용 전동기와 이의 구동을 위한 전력변환장치의 조합으로 구성된다. 전기철도의 견인용 전동기는 초기에는 직류전동기를 사용하였으나 현재는 물론 앞으로도 유도전동기나 동기전동기가 사용될 전망이다.

전기철도의 운용 및 개발에서 선두 주자인 프랑스는 동기전동기를 견인용 전동기로 채택하여 구동시스템을 구성한데 반해 비교적 후발 주자인 독일은 유도전동기를 채택하였다. 일본은 이들 양국의 구동시스템을 면밀히 검토한 결과 독일과 같이 유도전동기를 구동시스템으로 결정하였다.

동기전동기를 인버터로 구동시키는 경우에는 전동기마다 인버터가 필요하여 복수 개의 동기전동기를 병렬운전하는 것이 불가능하다.

따라서 동기전동기는 동력집중방식의 전기철도에 주로 사용되며, 계자는 별도의 초퍼에 의해 여자된다. 동기전동기는 본질적으로 위상특성곡선을 이용하여 높은 역률로 운전이 가능하기 때문에 효율을 향상시킬 수 있다. 특히 회전자 내에서 발생하는 손실은 여자손과 제동권선에서만 발생되므로 유도전동기와 비교하여 손실이 작다.

유도전동기를 인버터로 구동하는 경우 주로 전압형 인버터를 사용하며 PWM방식으로 제어되는 경우가 일반적이다. 이 방식은 반도체 소자의 on, off 동작을 이용하여 유도전동기에 거의 정현파에 가까운 전압을 인가하기 위한 효과적인 방식이다. 또한 유도전동기를 인버터로 구동하는 경우 복수 개의 전동기를 1대의 인버터로 병렬운전하는 것이 가능하다. 유도전동기는 직렬접속과 병렬접속이 모두 가능하지만 미끄럼, 역행시의 전력균형과 바퀴의 지름이 상이한 경우의 토크 균형을 고려하여 병렬접속으로 바퀴의 지름이 상이한 경우의 정도를 제한하는 것이 좋다[7].

최근 전기철도의 최고속도 기록을 표 3에 나타내고 있다. 표 3에서 알수 있는 것처럼 동력용 전원은 교류를 사용하고 있고 전동기도 직류전동기에서 교류전동기로 바뀌고 있다. 인버터를 시작으로 파워 일렉트로닉스 기술이 철도의 고속화에 공헌하고 있음을 알 수 있다. 특히 표 3에서 독일의 ICE는 상용주파수가 50[Hz]가 아니라 16(2/3)[Hz]를 사용하고 있다[8].

현재 국내 전기철도의 전동차 제어방식을 비교하면 표 4와 같다[9].

표 3. 각국의 연도별 최고 속도 기록

구분 연도	차량	속도 (km/h)	전압 (kV)	제어방식	견인 전동기
1981	프랑스 TGV-SE	380	AC 25	위상	직류 전동기
1988	독일 ICE	406	AC 15	전압형 인버터	유도 전동기
1990	프랑스 TGV-A	515	AC 25	진류형 인버터	동기 전동기
1993	일본 STAR21	425	AC 25	전압형 인버터	유도 전동기

표 4. 국내 전동차 제어방식 비교

제어 방식 구분	저항제어	초퍼제어	VVVF제어
견인 전동기	직류직권 전동기	직류직권 전동기	3상농형 유도전동기
제어원리	견인전동기와 직렬로 접속한 주회로 저항을 병렬콘택터의 on-off에 의한 저항값의 변화로 속도제어	견인전동기에 공급되는 전압을 전력반도체 소자의 ON-OFF에 의한 초퍼제어(PWM)로 제어	AC구간에서는 단상교류전압을 주변압기로강압시킨후 전력반도체소자를 사용한 콘버터를 통해 DC 1800[V]로 변환시키고, 6상제어 인버터로 3상농형유도전동기를VVVF제어한다. DC구간에서는 콘버터를 OFF하고 별도의 리액터를 통해 가선전압을 직접 공급받아 인버터를 구동
제동방식	발전+공기 제동	회생+공기 제동	회생+공기 제동
소비전력	1(기준)	0.75	0.65
적용차종	서울시 1호선	서울시 2~4호선, 부산시 1호선	과천,분당,서울시5~8호선, 부산2호,대구1호, 인천1호선

4. 결 론

지난 30여년 동안 전동력을 이용하기 위한 전동기의 구동기술은 비약적인 발전을 이루었다. 교류전동기 구동기술은 매우 빨리 발전하고 있으며 많은 산업용용부분에서 직류전동기 구동기술을 추월할 것으로 판단된다. 그러나 시스템이 새로 설치되는 경우에는 많은 부분에서 교류전동기를 채용하지만 이미 설치된 직류전동기 구동 시스템의 경우 교류전동기로 대체되는 경우는 거의 없기 때문에 생산량의 증대와 양질의 제품 생산을 위해 고성능 직류 드라이버의 개발을 요구하게된다. 이와 같은 상황은 제철소의 각종 플랜트와 전기자동차, 고속 전기철도에서 그 예를 찾을 수 있

다. 새로운 고속 고효율의 스위칭소자, 새로운 구조의 전동기, 새로운 전력변환기술, 새로운 제어기술 그리고 새로운 고속 마이크로콘트롤러 등의 개발은 앞으로 뛰어난 특성을 갖는 전동기 구동회로의 개발에 기여할 것으로 예측되며 이와 같은 분야에 대한 관심과 연구는 꾸준히 계속될 것이다. 다양한 요소기술들이 집합된 구동 및 제어회로 기술의 발달은 곧 전동력 응용 분야의 확장과 밀접한 관계가 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

[1] Paresh C. Sen, "Electric Motor Drives and Control -Past, Present, and Future", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.37, No.6, pp.562-575, 1990
 [2] H. D. Chai, "Small Motors : Past, Present, and Future", SMIC '96 Seoul, pp.1-24, 1996. 9
 [3] 김일중, 이은웅, "소형정밀전동기의 기술동향과 해석기법", 대한전기학회지, Vol.45, No.2, pp.11~16, 1996. 2
 [4] 김동일, "산업용로봇과 CNC공작기계용 디지털 AC 서보모터 제어기 개발사례", 대한전기학회지, Vol.43, No.2, pp.4~10, 1994. 2
 [5] Kouji Imai, Atsuo Kawamura, Sigenori Kinoshita, Tadashi Ashikaga, Kenichi Yokoe, Masaharu Asano, "Electric Vehicle Related Technologies and Future Trend on Power Electronics for Electric Vehicles", Trans. of IEEJ, Vol. 116-D, No.3, pp.233-244, 1996. 3
 [6] Kaushik Rajashekara, "History of Electric Vehicles in General Motors", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.30, No.4, pp.897-904, 1994
 [7] 오성철, "고속 전철 견인용 교류전동기의 제어방식", 대한전기학회지, Vol.43, No.6, pp.13~18, 1994. 6
 [8] 小林 輝雄, "世界の高速鐵道", 日本電氣學會誌, Vol. 114, No.4, pp.238-243, 1994. 4

[9] "전동차 제어기술의 현재와 미래", (주)우진산전 기술자료, 1996. 9

저 자 소 개



이은웅(李殷雄)

1944년 8월 14일생. 1971년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1982-83년, 85-86년 캐나다 McGill대학 방문교수. 1984-85년 당 학회 대전지부장. 1987-현재 평의원. 1989-90년 편수위원. 1991-92년 학술이사. 1993-94년 편집이사. 1995년 편집위원장, 전기기기연구회 간사장. 현재 당 학회 감사. 충남대 공대 전기공학과 교수 및 공대 학장.



김일중(金一中)

1958년 12월 10일생. 1980년 충남대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1992-현재 주성전문대학 전기과 교수.



김종겸(金宗謙)

1962년 11월 20일생. 1984년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 충남대 공대 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996년 현재 원주전문대학 전기과 교수.