

# 트랜스포머/인덕터 설계용 CAD 도구의 현황 및 이용

한 수 빈

(한국에너지기술연구원 책임연구원)

## 1. 서론

전력전자 제품에서 트랜스포머와 인덕터 등 마그네틱스 부품의 역할과 그 중요성은 결코 간과할 수가 없다. 제품의 가격, 크기 무게 그리고 신뢰성을 결정하는데 핵심적인 문제와 관계된다. 그러나 이들은 반도체 스위치, 저항, 캐패시터 등 다른 대부분의 부품과 달리 표준화되거나 완전한 제품으로 판매되기보다는 사용 회로의 토폴로지나 제어 동작에 개별적으로 설계가 되어야 하며 또한 제품의 사양과 특성에 맞추어서 제작이 되는 것이 대부분이다. 통상적으로 일반인 뿐만 아니라 전력전자의 전공자들에게 있어서도 정밀한 설계와 제작이 쉽지 않으며 관련 경험자에게도 여러번의 시행착오를 거치게 되어서 완성이 되는 쉽게 접근하기가 어려운 부품이다.

보통 마그네틱스 부품은 black box로 알려질 만큼 설계 및 제작에 고려해야 하는 무수히 많은 파라미터와 경우의 수가 존재한다. 설계방식도 나름대로 다양하여 어느 하나만의 왕도가 있는 것도 아니고 설계자마다 저마다의 다른 방식이 존재한다. 이 복잡한 부품의 설계 및 제작이 최근에는 CAD를 활용한 여러 가지 도구 등이 개발되어 제공되고 있어 비경험자가 비교적 쉽게 접근할 수 있고 전문가들은 개발기간을 단축시킬 수 있게 되었다. 또한 제품의 실장이 되기 전에 회로에 적용시 어느 정도의 특성을 보일지도 시뮬레이션하여 근사적으로 예측이 되기 때문에 보다 최적화된 성능을 갖는 제품을 개발할 수 있게 되었다.

본 논문에서는 마그네틱스의 설계에 대한 간단한 검토 후 현재 나와 있는 여러 설계 도구를 소개하고 각 설계 도구의 중요한 특징과 기능들에 대해서 설명하기로 한다. 마그네틱스 부

품을 설계하고자 하는 기술자들이 향후 적극적으로 이를 이용하여 실무에 도움이 되기를 바란다.

## 2. 마그네틱스 설계의 검토 및 코어의 선택 문제

통상 트랜스포머나 인덕터의 설계는 설계자에 따라서는 제작 과정에서의 순서가 달라지기는 하지만 통상적으로 다음 과정을 거치게 된다.

- (1) 마그네틱스 코어의 재료를 선택한다. 이것은 회로상의 동작주파수에 의해서 결정되며 가끔 취급할 수 있는 전력에 따라서도 영향을 받게 된다.
- (2) 마그네틱스 코어의 형태를 선택한다. 이것은 회로의 응용분야, 취급 전력, 제한 규격 또는 특정제품의 형태에 따라 영향을 받게 된다.
- (3) 마그네틱스 코어의 크기를 선택한다. 이것은 대부분 취급 전력에 의해 결정된다.
- (4) 필요한 권선의 턴수와 권선의 종류 및 크기, 공극(air gap)의 길이 등을 결정한다.
- (5) 코어에 권선을 감아 부품을 제작한다. 이때에는 다양한 권선 방식이 고려된다.
- (6) 완성된 제작품에 대해서 다양한 전기적 성능과 열적 특성 그리고 EMI를 포함한 각종 안전성을 확인한다.

이렇게 여러 절차를 걸쳐서 제작이 되기 때문에 최종제품에 합당한 마그네틱스 부품의 개발은 쉬운 일이 아니다. 그 과정 중에서도 가장 문제가 되는 것은 결국 코어의 선택이며 특히 코어의 크기를 결정하는 것이 중요하다. 따라서 코어의 크기를

표 1 취급전력에 따른 코아의 대략적인 크기 선택

취급 전력(W)	MPP Toroid 직경 (mm)	EE 코아의 측면 (mm)
5W급까지	16mm	11mm
25W급까지	20mm	20mm
50W급까지	30mm	30mm
100W급까지	38mm	47mm
250W급까지	51mm	60mm

표 2 동작 주파수에 따른 최대 자속 밀도의 대략적인 선택

동작 주파수	최대 자속 밀도 $B_{max}$
50kHz까지	$B_{sat}$ 의 0.5
100kHz까지	$B_{sat}$ 의 0.4
500kHz까지	$B_{sat}$ 의 0.25
1MHz까지	$B_{sat}$ 의 0.1

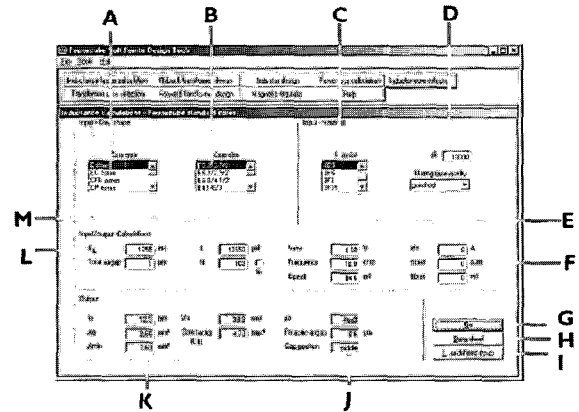
결정하는 방법 등이 많이 연구된 바 있는데 area product에 기초한  $A_p$  방식과 Core geometry에 기초한  $K_g$  방식 또는 변형된  $K_g$  방식 등 여러 방식이 존재한다. 마그네틱스의 주요 제조사들의 경우 사용자들에게 이론적인 방식들의 사용에 어려움이 있기 때문에 코아의 선택을 쉽게 도와주는 도구를 대부분 제공하고 있다.

참고로 이론적인 설계방식을 모르는 경우 대략적으로 코아를 선택하는 지침이 있는데 사용 전력에 따른 코아의 크기는 표 1을 참조하여 선택할 수 있다. 또한 동작 주파수에 대해 코아의 손실 때문에 최대 자속밀도를 제한하여야 하는 데 이에 대한 지침은 표 2를 참조할 수 있다. 그러나 정확한 기준은 아니며 최적인 설계는 앞에서 나열된 여러 절차를 거쳐서 설계 및 제작의 여러 시행을 통해서 얻어질 수 있게 된다.

### 3. 설계에 활용될 수 있는 도구

#### 3.1 각 제조사의 설계 보조 도구

마그네틱스의 주요 제조사들의 경우 코아의 선택을 도와주는 도구를 대부분 제공하고 있으며 또한 사용되는 응용에 필요한 설계가 되도록 좋은 기능을 갖고 있는 것도 있다. 예를 들어서 Ferroxcube사의 경우도 자사의 마그네틱스를 활용하여 설계할 수 있는 프로그램을 공급하고 있는데 그림 1의 경우 인덕터를 설계할 수 있는 화면이다. 사용자 정의의 코아에 대해서도 예측이 가능하도록 되어 있으며 다양한 트랜스포머에 대해서도 설계가 가능하다. Ferroxcube외에도 대부분의 메이저급 마그네틱스 제조사의 경우 유사한 설계 도구를 제공하고 있다.



- A: 코아의 형태 선정
- B: 선정된 형태의 코아중에서 크기별로 선택
- C: 선택된 코아에서 공급되는 자성재료
- D: 사용자가 자성체의  $u$ 를 임의로 결정할 수 있도록 입력
- E: 자속밀도  $B_{peak}$ 를 주어진 전압과 턴수로 계산
- F: 바이어스 전류가 있는 경우 자장을 계산하고 이경우의 자속 밀도  $B_{bias}$ 를 유효투자율에 의해 예측
- G: 계산을 시작
- H: 선택된 코아의 datasheet를 바로 보게함
- I: 사용자에 의해서 정의된 코아 활용가능함
- J: 유효투자율을 계산
- K: 선택된 코아의 유효 파라미터 계산
- L: 인덕턴스 팩터  $A_L$ 을 계산
- M: 인덕턴스 값을 계산

그림 1 Ferroxcube사의 마그네틱스 설계 도구

#### 3.2 Ansoft의 PExpert

Ansoft사는 PExpert라는 마그네틱스 설계 프로그램을 제공하고 있다. 제공되는 코아 벤더로는 TDK, Magnetics, Ferroxcube(Philips), AVX, Epcos(Siemens), Micrometals, Steward 등이 있으며 권선으로는 크기가 AWG10에서 AWG28까지의 magnet wire와 Litz wire의 두가지를 제공하고 있지만 사용자 정의도 가능하다. 설계 가능한 마그네틱스의 종류로는 inductor, coupled inductor, transformer, planer transformer가 가능하다.

설계 방법은 파형에 의한 방법과 회로 토폴로지에 의한 방법 중에서 하나를 선택하게 되어있다. 그림 2는 파형에 의한 인덕터의 설계 화면으로 동작 전압과 주파수 그리고 인덕턴스의 값을 주거나 리플전류 값을 주게 된다. 설계 입력으로는 그림 3과 같이 주로 공극과 권선에 관련된 사항을 입력하게 된다. 이상에 대해서 후보군에 대한 코아와 권선들을 복수로 선택한 후 자동설계를 실행시키면 그림 4와 같이 후보군중에서 최적에 가까운 순서대로 설계후보를 정리하게 된다. 여기에서는 인덕터의 손실을 최소화하는 것을 기준으로 정리되었다.

이중에서 첫 번째 설계에 대한 성능을 보게 되면 그림 5와 같이 코아와 동선의 손실결과와 권선의 상태 그리고 자속밀

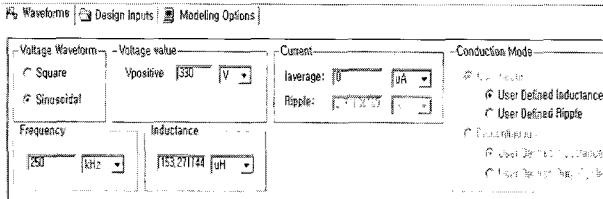


그림 2 인덕터 파형에 대한 입력 화면

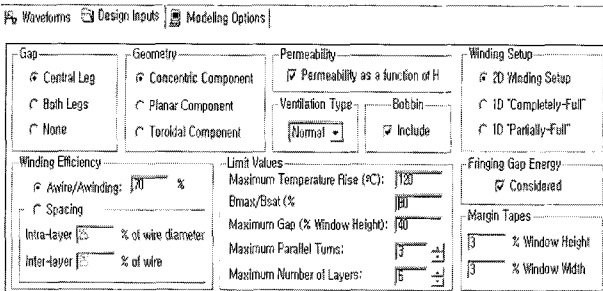


그림 3 인덕터 설계에 파라미터에 대한 입력 화면

Core Name	Wire Name	Volume (cm <sup>3</sup> )	Turns	Temperature Rise (°C)	Gap (mm)	Parallel Turns (s)	Power Losses (W)
PC32/30	LITZ_1-15-0.071	13474.86	57	5.02	6.9332	3	2.4911
PC32/30	#9028	13474.86	55	6.23	5.7552	2	3.5377
PC32/30	#9028	4952.00	28	11.78	7.3717	3	4.5428
PC32/30	LITZ_1-15-0.071	11521.10	78	5.04	9.6127	3	3.5706
PC32/30	#9028	7622.16	73	6.52	7.6101	2	4.9682
PC32/30	#9028	11521.10	57	6.33	4.9389	2	4.6162
PC32/30	LITZ_1-15-0.071	5365.90	57	11.25	5.9336	3	3.9251
PC32/30	LITZ_1-10-0.071	13474.86	51	7.63	4.9116	3	4.6594
PC32/30	LITZ_1-15-0.071	13474.86	51	7.53	4.7816	2	3.5645
PC32/30	LITZ_1-15-0.071	4952.00	22	14.38	6.9272	3	4.6278

그림 4 계산된 설계 후보군에 대한 결과 화면

Losses considering selected model		Window Occupancy		Flux Density	
Core:	141.047 (mW)	Window Filling (%):	14.51	Variant of B (mT):	44.14
Winding:	350.095 (mW)	Winding Rate (%):	20.44	Maximum B (mT):	22.07
Total:	491.141 (mW)	Additional Parameters		Incremental permeability	
Winding DC losses:	371.085 (mW)	Current Density:	5.44 (A/mm <sup>2</sup> )	Havg (A/m):	3.00
DC Resistance:	969.212 (mΩ)	Inductance:	154.10 (uH)	Permeability:	Initial: 2000.00
DC losses:	348.587 (mW)	Temperature Rise (°C):	5.02	Actual: 2000.00	

그림 5 첫 번째 설계에 대한 성능 결과표

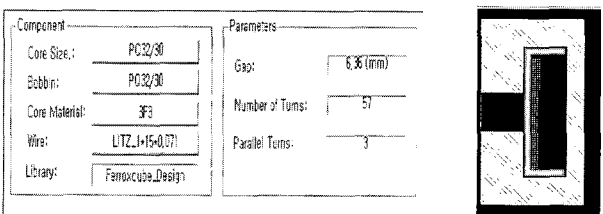


그림 6 첫 번째 설계의 권선 구조 요약

도의 상태 등에 대한 계산치가 정리되어 있다. 또한 이결과에 대한 구조 상태에 대한 결과도 그림 6과 같이 볼 수가 있다.

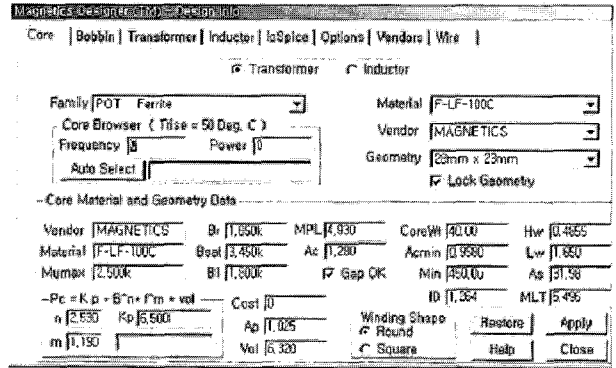


그림 7 Magnetic Designer의 코어 관련 주요 설계 화면

또한 권선의 방식을 임의로 할 경우의 상태도 분석할 수 있는 기능이 있다.

### 3.3 Intusoft사 Magnetics Designer

IsSpice 또는 ICAP으로 잘 알려진 미국의 Intusoft사는 Magnetics Designer를 제공하고 있다. Magnetics Designer는 SPICE호환 모델과 권선 결과 등을 포함한 전기적 특성을 기본으로 하는 트랜스포머, 인덕터 라이브러리 생성 프로그램이다. 또한 다양한 재질의 권선과 코어의 데이터 베이스를 포함한다. 이러한 데이터베이스는 사용자가 쉽게 첨가 또는 수정할 수 있도록 Excel spreadsheet로 되어 있고 제공되는 코어 벤더로는 TDK, Magnetics, Ferroxcube(Philips), Thomson, Micrometals, Siemens, Kaschke, Ferrite International, VAC, and Fair-Rite 등이 있으며 magnet wire, Litz wire, pcb traces, foil 등 특별한 형태의 권선형태를 사용자가 쉽게 선택하여 사용할 수 있고 사용자 정의도가 가능하다. Magnetics Designer는 자화, 누설 임피던스, 선내부 용량, 자속밀도, DC 저항, 표피효과 등을 포함하는 고주파 AC 저항, AC & DC 동선 손실, 코어 손실, 온도상승 등을 예측할 수 있다.

대부분 주요 성능은 앞에서의 PExpert와 유사하나 많은 부분이 세밀화 되어 있다. 그림 7은 코어 선택 관련 화면으로 상당히 많은 정보를 한번에 볼 수 있게 되어 있는 것을 알 수 있다. 그림 8은 보빈 및 권선관련 화면으로 다양한 권선 방식을 구현할 수 있고 이에 따른 권선에서의 자속분포를 또한 볼 수 있게 되어 있다. 전선에 관한 정보도 그림 9와 같이 전선의 AWG 데이터베이스와 함께 관련 주파수에 따른 인덕턴스, 캐패시턴스 특성을 포함한 많은 정보를 주고 있다.

### 3.4 Ridley Engineering사 Power4-5-6

Ridley Engineering사 Power4-5-6은 Excel에 기초한 프로그램이다. 각 topology별로 해당 소프트웨어를 실행하여 설

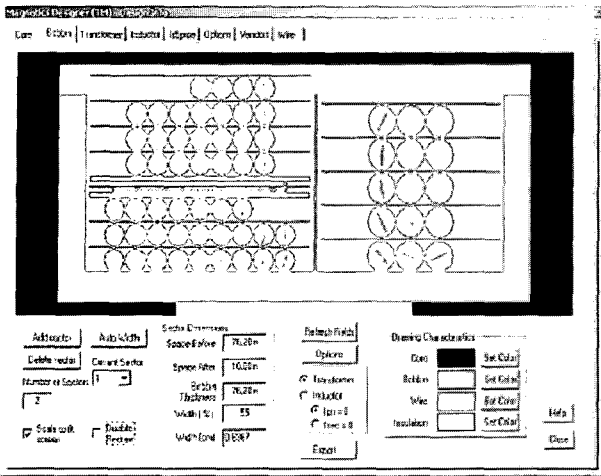


그림 8 Magnetic Designer의 보빈 관련 주요 설계 화면

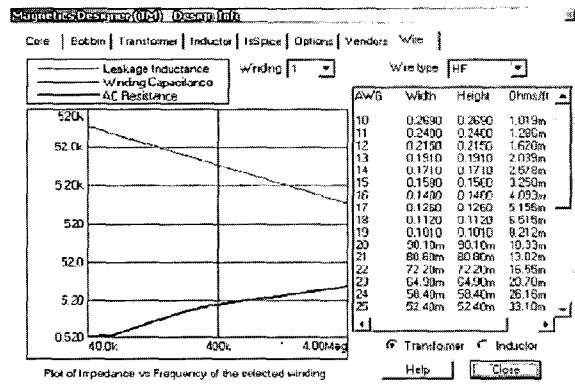


그림 9 Magnetic Designer의 동선 관련 주요 설계 화면

계하며 그림 10은 boost 설계 프로그램을 실행한 설계 화면이다. 화면에서 알 수 있듯이 마그네틱스 전용 프로그램이라기보다는 시뮬레이션 기능 및 주요 부분의 설계를 가능하게 하는 프로그램으로 전력부 및 각종 필터 그리고 제어부와 스너버 회로를 설계하는 것이 포함되어 있다. 물론 해당 마그네틱스 설계도 포함되어 있으며 그림 11은 booster의 인덕터 설계화면으로 인덕터 권선 설계창을 선택하였을때의 화면을 보여준다. 앞에서의 전용 마그네틱스 소프트웨어보다는 데이터베이스 된 내용이 적지만 기능은 실제로 큰 손색이 없도록 되어있다. 무엇보다도 전력부의 회로 설계부분과 완벽하게 쌍방향으로 연결되어 시뮬레이션을 통한 설계가 가능하다는 것이 장점이다.

#### 4. 분석도구들의 비교

PEExpert나 Magnetics Designer는 트랜스포머나 인덕터

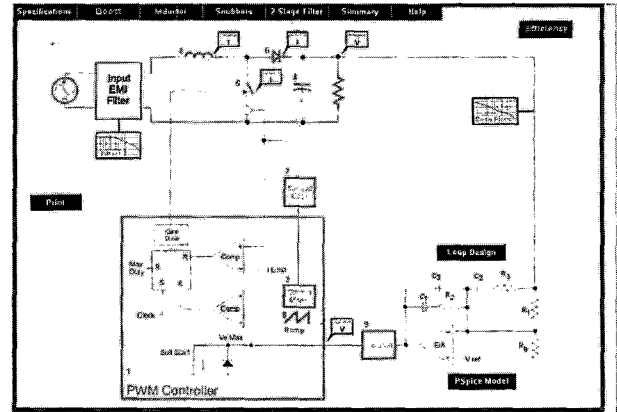


그림 10 Power 4-5-6의 Booster 설계 화면

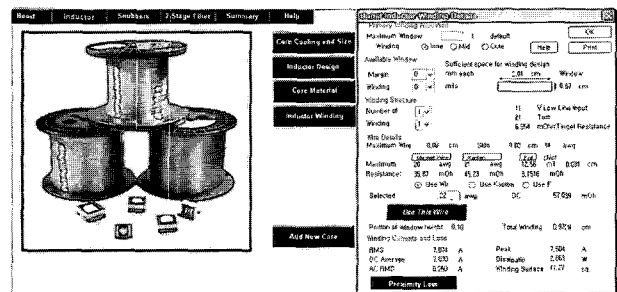


그림 11 Power 4-5-6의 Booster 인덕터 설계 화면

등의 마그네틱스 부품의 설계 개발 전용의 프로그램이다. 이들은 공통적으로 다양한 회사의 코어 및 동선에 대한 데이터 라이브러리를 제공하고 있으며 코어의 손실, 동선의 손실, skin effect, proximity effect 등에 대한 계산을 다 수행하여 설계에 도움을 주고 있다. 또한 이들은 회로 시뮬레이션 도구에 연계해서 이용할 수 있는데 PExpert같은 경우는 Simplorer와 Magnetics Designer의 경우는 IsSpice에 연계된다.

사용의 편리성면에서는 PExpert가 접근하기가 편리하고 설계값을 결정하는 데 수월한 접근방식을 갖고 있다. 반면에 설계가 융통성을 갖기에는 제한이 따르며 상대적으로 Magnetics Designer는 보다 다양한 기능과 데이터베이스의 제공면에서 우월한 제품으로 보인다. 특히 다양한 전선의 형태의 제공과 보빈의 권선방식 그리고 권선의 자속분포 특성을 보여주고 표류 캐패시턴스까지 계산하는 치밀한 점이 돋보인다. 무엇보다도 Magnetics Designer는 함께 사용하는 시뮬레이션 도구인 IsSpice와 상호 연계가 완벽하고 script로 융통성있게 설계도 가능하므로 보다 강력한 강력한 도구로 보인다. 상대적으로 PExpert는 시뮬레이션 도구인 Simplorer에 자유롭게 쌍방향으로 연계해서 사용하기에는


문제가 있다. 그러나 Magnetics Designer를 적절히 사용하기에는 상당한 전문적인 지식과 경험이 필요하여 따라서 접근하기에는 쉽지 않은 도구이기도 하다.

Power4-5-6은 앞의 두 제품과는 달리 마그네틱스 자체에 대한 설계 기능은 제한되고 많지 않은 코아의 라이브러리를 제공하고 있지만 자체가 원래 회로시뮬레이션 도구로 개발이 되어 있어 별도의 회로 시뮬레이션 도구가 필요 없다. 또한 voltage mode 또는 current mode 등 상관없이 control loop design이 가능하고 스너버 설계 기능 등 전력전자 종사자에게 매우 유용한 설계 도구를 제공하고 있다. 이것은 개발자인 Ridley 박사가 원래 전력전자공학에 능통한 기술자이기 때문에 이와 같은 기능을 통합할 수가 있게 된 것이다. Powe4-5-6의 경우는 8가지 토포로지에 대해서만 설계가 가능하다는 단점이 있지만 PExpert와 Magnetics Designer의 10분의 1도 안되는 가격이어서 매우 저렴하고 실제 일반 산업체에서 이 8가지 토포로지를 많이 사용하고 있기 때문에 충분한 가치가 존재한다.

### 5. 결론

트랜스포머나 인덕터 등의 설계 및 제작은 결국 코아의 선택과 권선수 및 권선의 방법 그리고 사용하는 전선의 크기와 종류를 결정하는 것으로 간단히 귀결된다. 그러나 이들을 결정하는 과정에서 고려해야 되는 수 많은 파라미터가 존재한다. 문헌에서 사용되고 있는 수식적인 접근방법은 유효하지만 결국은 많은 시행 오차를 필요로 한다.

그러나 최근에 CAD에 기초한 개발이 가능하도록 좋은 소프트웨어가 제공되고 있기 때문에 이들을 이용할 경우 개발의 시행오차와 시간을 줄이고 성능을 예측할 수 있다.

많은 제품들이 존재하지만 국내에 유통되고 있는 3가지 주요 제품에 대해 간단히 특징을 살펴보았으며 모두 유용한 도구로 손색이 없다. 또한 주요 코아의 제조회사들이 홈페이지에서 제공하는 설계보조 도구들도 최소한 코아의 선택에 대한 지침이 될 수 있으며 일부 도구들은 상당한 부분까지 설계도 할 수 있을 정도로 구성이 되어있으므로 이들을 잘 활용할 경우 제품 개발에 큰 도움이 될 수 있다. 

### 《 저 자 소 개 》



#### 한수빈(韓秀彬)

1958년 6월 9일생. 1977년 한양대 전자공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(석사). 1997년 한국과학기술원 전기및 전자공학과 졸업(공학). 현재 한국에너지기술연구원 전기·조명연구센터장, 당 학회 편집이사.