

태양광 발전용 PCS의 개발 동향

최 종 선

(현대중공업 전기전자시스템사업본부 과장)

현대중공업 전기전자시스템사업본부는 전력계통의 송배전 분야에 걸쳐 꾸준한 기술개발로 최고의 품질을 갖는 중전기기를 생산하는 Global Leader로써 성장하였다. 최근에는 신·재생에너지 분야 사업에 집중하여 태양광발전, 풍력발전, 조력발전의 연구개발을 활발히 진행 중에 있으며, 이러한 분산발전의 핵심기술인 PCS 개발에 매진하고 있다. PCS의 핵심은 전력전자기술을 기반으로 고품질의 전력을 계통으로 역송전하는 기술이다. 계통 연계형 태양광 PCS는 계통에 연계되어 운전되므로 전력계통의 이상 유무를 감지하여 전력계통의 보호협조 기능을 갖는 전력변환장치이다. 그래서 단순히 인버터라 부르지 않고 PCS (Power Conditioning System)라 부른다.^[1] 이는 일반적인 인버터 제어와 더불어 제어동작에서 계통의 안정성을 최우선으로 고려하여야 하며, 효율을 최대화하여 고객에게 최대의 수익을 창출할 수 있도록 하여야 한다. 이러한 계통과 연관된 인버터 기술의 발전으로 인하여 태양광 발전분야가 급속도로 성장하는 계기가 되었다.

본 논문은 현대중공업 제품을 중심으로 태양광 발전용 PCS의 개발 동향을 소개하고자 한다.

1. 서론

화석에너지의 소비는 산성비, 대기오염, 지구온난화 등 심각한 공해문제를 유발시키고 있을 뿐만 아니라, 화석에너지의 유한성과 고가화 등으로 인하여 세계 각국은 신·재생에너지 개발 및 보급에 박차를 가하고 있으며, 신·재생에너지






중에서 태양광발전은 환경오염, 소음, 진동 등과 같은 공해가 전혀 발생하지 않고 무료이면서, 무한정한 에너지원이며, 설치가 용이하기 때문에 가장 유용한 신·재생에너지 분야로 평가 받고 있어 유럽을 중심으로 하여 세계적으로 보급이 확산되고 있다.

실리콘 원재료부터 발전시스템에 이르기까지 태양광의 가치사슬 (Value Chain) 측면에서 볼 때 각 사업분야가 모두 중요하지만 특히 최종단에서 태양전지 어레이의 발전 전력을 계통에 안정적으로 공급하는 역할을 하는 태양광 PCS가 가장 중요하다고 할 수 있다. 이는 태양전지 어레이의 효율이 높다 하더라도 태양광 PCS에서 정상적으로 출력을 내지 못하면 아무 소용이 없기 때문이다. 태양광 PCS는 태양광 어레이로부터 발전된 직류전력을 교류로 변환하여 부하나 계통에 전력을 공급하는 역할을 하는 분산발전 시스템의 일종이기 때문에 각종 보호 기능을 내장하고 있어야 한다.^[1]

2. 태양광 발전용 PCS 개발동향

현대중공업의 태양광 PCS는 2005년 3kW 주택용 무변압기형 PCS의 개발을 시작으로 10kW 무변압기형, 12.5kW/50kW/100kW/250kW 변압기형 PCS를 개발하여 국내에 보급하고 있으며, 2010년에는 4kW 일본형 PCS를 개발 완료하여 일본 JET 인증을 획득하였으며, 유럽형 50kW/100kW/250kW를 개발 완료 및 TUV인증을 획득하여 일본 및 유럽으로 수출을 시작하고 있다.

표 1 현대중공업 국내형 태양광 PCS 현황

모델명	HPC-003SL	HPC-012HT	HPC-050HT	HPC-100HT	HPC-250HT
제품 사진					
정격 용량	3kW	12.5kW	50kW	100kW	250kW
개발 현황	2009년 출시	2007년 출시	2009년 4월 출시		
상계 컨버터	무변압기형	변압기형			

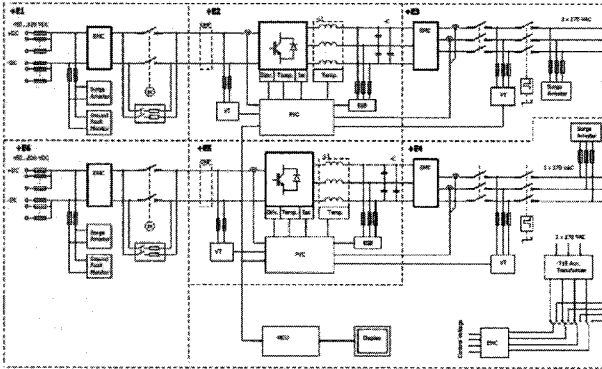


그림 1 HPC-010ML (1MW 무변압기형 PCS) 시스템 구성도

2.1 대용량화

정부기관의 재정지원에 의한 태양광 발전 보조금(FIT) 지원이 단위 발전소의 용량에 따라 지원금이 차등 지급됨으로써 기존에는 100kW 단위의 발전이 주류를 이루며, 국내 태양광 사업을 견인해왔다. 그러나, 점차 FIT사업이 축소되고, 신·재생에너지 자발적 공급협약(RPA) 사업, 신·재생에너지 공급 의무화 제도(RPS) 사업이 성장함에 따라 점차 대규모 태양광 발전소가 증가하고 있다. 대용량화의 장점은 집중화된 설치로 인해 태양광 발전 효율을 극대화할 수 있다는 장점과 관리의 용이성, 대량 구매를 통한 자재비를 줄임으로써 발전용량 대비 초기투자비용의 절감을 이룰 수 있다. 그러나, 태양광 PCS의 대용량화는 계통에 미치는 영향이 점차 커지므로 계통의 안정성을 위한 다양한 요구가 발생하고 있다.

이러한 다양한 요구로 인해 전압 상승 억제 제어, 단독운전 방지, 무효 전류 제어, 최대전력 억제 제어 등과 같은 계통 상황에 따라 태양광 PCS 출력을 제한하는 기능이 필요하게 되었다. 당사는 현재 대용량급으로 500kW, 1MW PCS를 개발하고 있으며, 금년 하반기부터 실증시험을 준비하고 있다.

2.2 효율개선

태양광 발전 사업의 확대는 발전원가 인하에 있다. 태양광 발전은 화석연료와 같은 동등한 발전원가를 이루기 위해 태양광 셀, 모듈은 대량생산체제를 구축하여 끊임없이 가격 인하를 추구하고 있으며, 무한경쟁체제에 들어가 있는 상태이다. 투자비 대비 원금 회수 기간을 단축하기 위하여 1%의 효

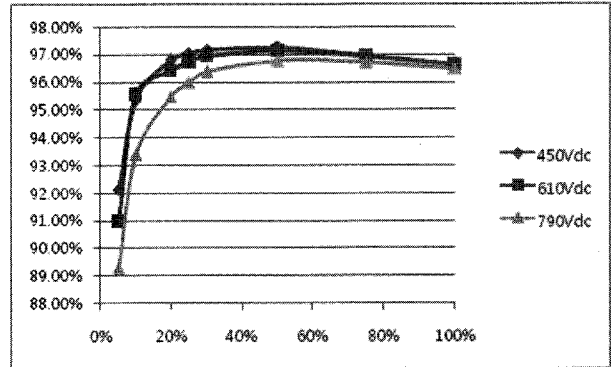


그림 2 HPC-250HT-E의 부하별 효율 시험 결과

율 개선은 태양광 PCS 개발의 핵심 고려 사항이다. 태양광 PCS의 손실은 인버터부로 구성된 파워스택, 사인필터용 리액터와 절연 변압기 손실이 주로 차지한다. 따라서, 스위칭 손실, 리액터 및 변압기에서의 손실 개선을 위한 연구개발이 지속적으로 필요하다. 당사는 꾸준히 효율개선을 위한 연구개발이 진행중에 있으며, HPC-250HT-E (250kW 유럽형 태양광 PCS)의 효율 곡선은 그림 2와 같다.

이러한 효율 개선 노력 및 제어의 안정성이 증가함에 따라 기존 소용량에만 적용되던 무변압기형이 점차 대용량 PCS에도 적용되고 있다.

또한, 효율개선을 위해 제어알고리즘 개선으로 변압기의 무부하손실 및 파워스택의 스위칭 손실의 최소화를 위한 노력 이외에 신소재의 스위칭 소자의 도입으로 효율개선을 위한 노력이 진행되고 있다. 이중 실리콘카바이드(SiC)는 다른 반도체소자에 비해 화학적, 물리적, 기계적으로 우수한 특성을 가지고 있다. 특히 내압특성이 우수하고, 저항값이 작으며, 열전도도가 높을 뿐 아니라, 고속 스위칭이 가능하여 반도체 소자로서 각광받고 있다. 실리콘카바이드(SiC)는 써 각 웨이퍼의 양산기술이 아직 부족하여 가격이 높아 보편화되지는 않고 있으며, 주로 LED 분야에 한정하여 사용이 확대되고 있으나, 점차 그 응용분야가 증가할 것으로 보인다. 효율 개선위치가수적인 태양광 PCS의 경우, 실리콘카바이드(SiC) 반도체를 적용하기 위해 유럽 및 일본을 중심으로 연구개발이 활발히 진행 중에 있다. 표 2와 그림 3은 기존 소자와 실리콘카바이드(SiC)의 물성 및 효율을 비교한 것으로 기존 실리콘(Si)에 비해 뚜렷한 성능 우위를 갖는 것을 알 수 있다.⁽²⁾⁽³⁾

2.3 전력 계통 보호

태양광 발전의 증가는 전력변환장치에 의한 계통전압, 전류 왜곡의 우려를 가져오고 있다. 전력변환장치는 그 특성상 고조파를 발생할 수 밖에 없다는 단점이 있으며, 태양광 PCS는

표 2 실리콘카바이드(SiC) 물성

특성 재료	Band gap [eV]	열전도도 [W/cm·K]	JFM	KFM
Si	1.12	1.45	1	1
GaAs	1.43	0.46	6.9	0.456
3C-SiC	2.41	4.9	1137.8	5.81

JFM : Johnson's Figure of merit (주파수 특성)

KFM : Keye's Figure of merit (온도 특성)

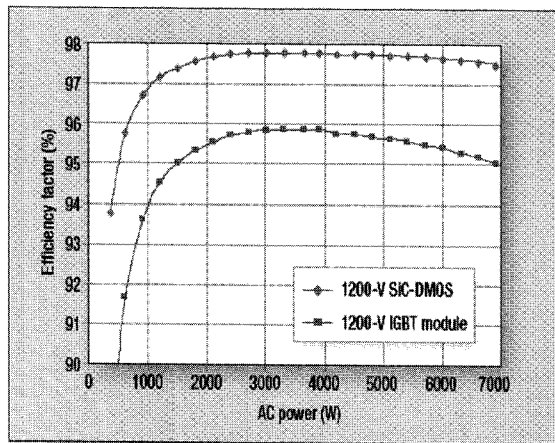


그림 3 1200V급 SiC-DMOSFET와 Si-IGBT를 이용한 태양광 PCS 효율비교

사인필터 및 제어 성능에 따라 그 고조파의 크기가 다르게 나타나며, 이는 계통에 고조파가 유입되어 심각한 문제를 발생시킬 수 있다.⁽⁴⁾ 현재 고조파에 대한 국내 규정은 정격 부하시 고조파 총합이 5%이내, 각 차수별 3% 이내로 규정하고 있다. 그러나, 미국의 경우 IEEE1547 규정은 아래와 같이 각 차수별 제한값이 다르며, 태양광발전과 같은 분산발전이 증가함에 따라 규제가 점차 강화될 것으로 예상된다.

또한, 계통연계형의 경우 계통 정전시 사고 예방을 위하여 단독운전 방지 기능이 요구되고 있다. 현재 국내의 규정은 단독운전 방지 시험시 부하조건이 Q factor가 1을 만족하면 되도록 되어 있으나, 유럽의 경우 Q factor를 2 이상에서 시험하도록 요구하고 있다. 그림 5는 HPC-250HT-E (250kW 유럽형 PCS)가 60Hz, 100% 부하(250kW 출력)로 운전 중이고 Q factor가 2일 때 단독운전 방지 시험한 결과이다. 단독운전 발생 후 정지 시간은 국내는 0.2초 이내로 규정되어 있으나, 유럽규격 (VDE V 0126-1-1) 기준은 5초 이내로 되어 있다.⁽⁵⁾

2.4 전자기 적합성 규제 강화

전자기적합성에 대한 기준은 유럽을 중심으로 규격이 제

표 3 전류고조파 제한치 (IEEE1547)

고조파 차수	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	총합
합유율 (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5

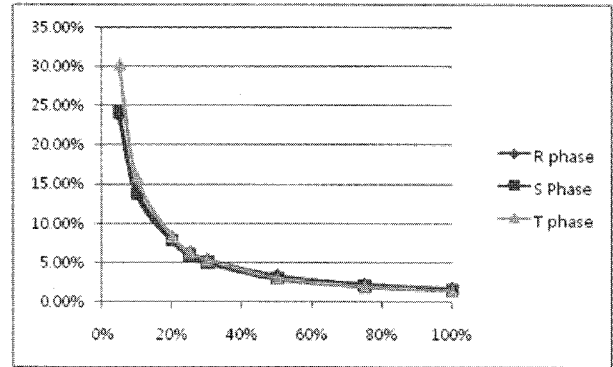


그림 4 HPC-250HT-E의 부하별 THD 시험 결과

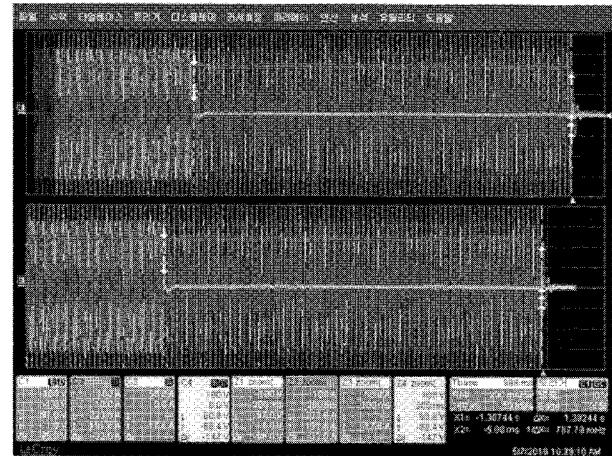


그림 5 HPC-250HT-E의 단독운전방지 시험 결과

정 및 강화되고 있다. 기존 EMC 규정은 계통측에 대해서만 그 기준을 만족하도록 요구하고 있었으나, 점차 입력 직류측에 대해서도 기준이 제정되고 시행되는 추세이다. 일본의 경우 20kW 이하의 태양광 PCS의 경우 '태양광 전지 시스템용 계통 연계보호장치 등의 시험방법 통칙'에 의해 인증시험이 진행되고 있으며, 입력 직류측에 대한 규정은 2008년부터 시행되었다. 당사 4kW 일본형 PCS는 이러한 규정을 만족하도록 개발되었으며, 일본전기안전환경연구소(JET) 인증을 금년 상반기에 획득하여 현재 일본 수출 중에 있다.

표 4 전파 장애시험 제한값 (JET)

구분	0.15~0.5MHz	0.5~5MHz	5MHz 이상
출력교류단자	66~56dB	56dB	60dB
입력직류단자	80dB	74dB	74dB

주) 교류출력단자에서의 0.15~0.5MHz에서의 노이즈 제한값은 주파수와 비례하여 직선적으로 감소한다.

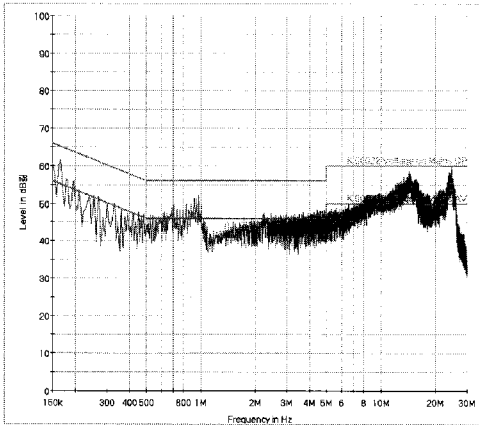


그림 6 출력 교류 측 EMI 측정 결과 (HPC-004SL)

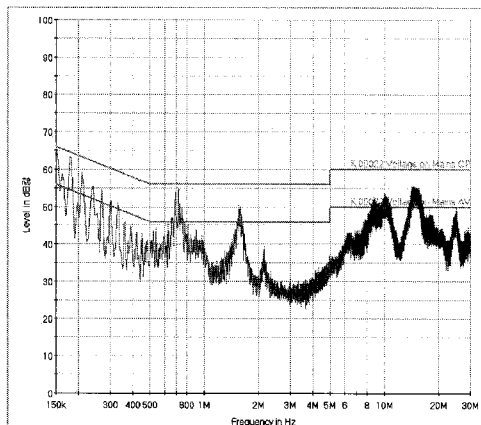


그림 7 입력 DC 측 EMI 측정 결과 (HPC-004SL)

2.5 소용량화

기존 개발 추세인 대용량화와 반대로 소용량의 사용 또한 증가하는 추세이다. 소용량 PCS의 사용은 별도의 배전반설치를 위한 전기실이 불필요하며, 발전용량 증대시 확장성이 용이하고, 사용되어지는 케이블 굵기가 작아 작업이 용이하고, 고장시 교체 및 발전 손실에 대한 위험이 작아 그 사용이 증가하고 있다. 이는 나대지에 태양광 어레이를 설치하기 보다는 건물의 지붕이나 외벽을 이용한 설치가 활성화됨에 따라 대용량 PCS 보다는 설치가 용이한 소용량 PCS가 선호되

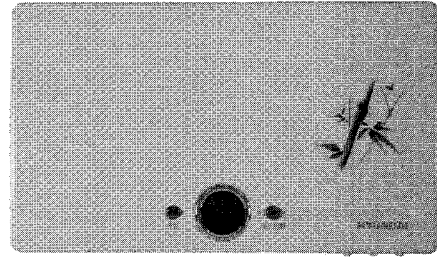


그림 8 HPC-004SL (4kW 일본형 태양광 PCS)

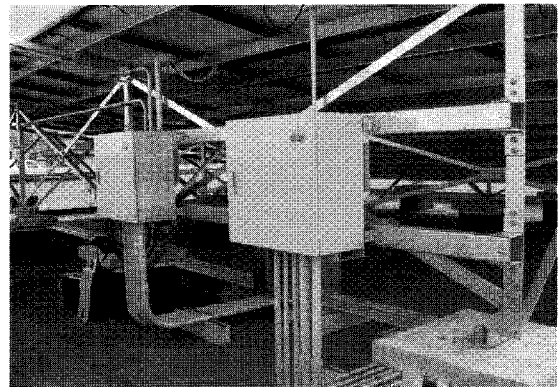


그림 9 10kW PCS 설치 예

고 있기 때문이다.⁽⁶⁾ 태양광 PCS의 신뢰성이 확보됨에 따라 소용량 PCS는 태양광 발전 시스템 입력단에 사용되는 스트링 박스를 사용하지 않고 태양광 모듈에서 태양광 PCS의 입력단자로 직접 연결함으로써 비용을 절감할 수 있을 뿐 아니라, 발전전력을 고압으로 승압하지 않고 저압으로 계통에 직접 연결하도록 함으로써 태양광 PCS 이외의 추가적인 장치의 비용을 절감하여 초기 투자비를 최소화할 수 있다. 이러한 소규모 발전 사업은 유럽 및 일본을 중심으로 증가하고 있는 추세이다.

2.6 모니터링 기능 강화

기존에는 인터넷을 이용하여 태양광 PCS 자체의 상태만을 모니터링 하였으나, 점차 입력단 스트링박스의 상태 및 발전소 내 온도, 일사량 등의 기상조건을 통합하여 감시하는 방식으로 발전하고 있다. 해외와 같이 원거리에 설치된 PCS의 상태를 감시하고 문제가 발생할 경우 즉각적인 조치가 가능하도록 하는 원격감시, 진단 및 제어가 가능한 기능이 추후되고 있다. 그리고 점차 태양광 발전의 단위 그룹인 태양광 모듈 그리고 셀 단위의 상태를 모니터링 하도록 하여 태양광 발전의 문제를 사전에 예방할 수 있도록 하도록 발전할 것으로 보인다.⁽⁷⁾

또한, 무선통신의 발달로 무선망을 이용한 모니터링이 요구되고 있다. 당사는 ZigBee를 이용한 모니터를 개발하였으며,

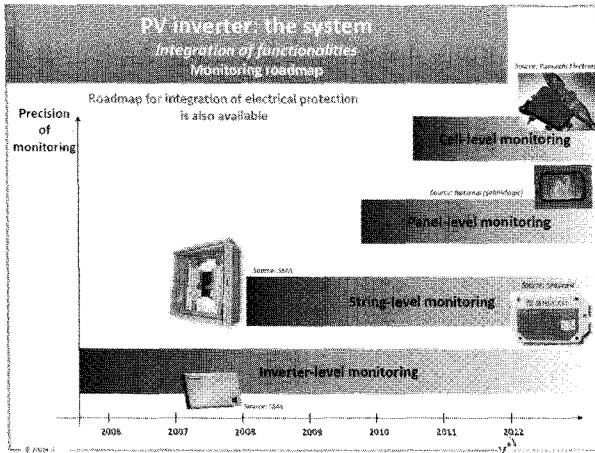


그림 10 태양광 발전 시스템 모니터링 로드맵

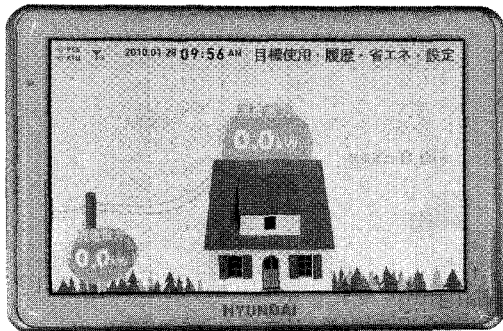


그림 11 일본형 4kW PCS용 모니터



그림 12 ZigBee를 이용한 무선 RTU

4kW 일본형 태양광 PCS와 함께 일본에 수출중에 있다.

3. 결론

본 논문에서는 태양광 PCS의 개발동향을 간략하게 기술하였다. 현대중공업은 세계 유수의 태양광 PCS 업체와 경쟁하

기 위해 꾸준히 연구개발을 진행하고 있으며, 성능개선과 더불어 용량별 시리즈 모델을 추가 개발하고 있다. 2009년에는 충북 음성에 500kW급 태양광 발전소를 구축하여 개발품에 대해 연구소 및 공장과 같은 제한된 조건에서만 시험이 아닌 현장 실증시험을 지속적으로 진행하고 있다. 태양광 발전 사업은 대규모 발전소와 더불어 건물 지붕이나 외벽을 이용하여 건물내 소요전력을 충당하는 자가발전의 개념으로 그 사용이 점차 확대되어 질 것이며, 이러한 사업의 확대는 태양광 PCS의 사용이 증가되어짐에 따라 계통에 안정적인 전력 공급에 대한 요구사항이 증가되어질 것이다. 따라서, 전력전 자기기술은 이러한 요구를 만족시키기 위하여 신뢰성, 계통연 계기술, 전력품질의 안정성, 수명예측, 고효율, 전력저장기술 등 다양한 연구가 필요할 것으로 사료된다. [8]

참고문헌

- [1] 한국과학기술정보연구원, "신 태양광발전 기술동향", pp. 9, 2009.
- [2] 조영득, 최창용, 구상모, "Silicon Carbide 전력 소자의 기술 동향", 전력전자재료 제22권, 제2호, pp. 25-32, February, 2009.
- [3] Burger, B., Kranzer, D., Stalter, O., and Lehrmann, S. "Silicon Carbide (SiC) D-MOS for Grid-Feeding Solar-Inverters," Fraunhofer Institute, EPE 2007, September 2007.
- [4] 김호영, 김재연, 김응삼, "분산형전원의 배전계통 도입전 망과 대책", 전기학회지 제45권 10호 pp. 23-31
- [5] DIN, "VDE V 0126-1-1", February, 2006.
- [6] Elsevier, "PV System Technologies" REFOCUS, January/February 2004.
- [7] Yole Development, "PV Inverter trends" 2009.
- [8] Tadao ISHIKAWA, "Grid-connected photovoltaic power systems: survey of inverter and related protection equipments" IEA International Energy Agency TASK V, December, 2002.

< 필 자 소 개 >



최종선(崔鍾善)

1972년 1월 13일생. 1997년 울산대 공과대학 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년~현재 현대중공업 전기전자 시스템사업본부 과장.