

연계형 풍력발전설비(225[kV], AC 링크방식)가 전력계통의 전원 품질에 미치는 영향에 관한 연구 분석

(Research on the Effect of Interconnected Distributed Wind Power Generation(225[kV], AC Link Method) on Power Quality in System)

나채동* · 박중신

(Chae-Dong Na · Jung-Shin Park)

요 약

소규모 풍력 및 태양광설비가 기존의 배전계통에 연계되어 전압변동, 역률, 주파수, 고조파, 플리커 등의 전원품질 요소에 영향을 줄 것으로 우려하고 있다. 따라서 본 연구에서는 풍력발전설비(AC 링크방식)가 연계된 배전계통의 전력품질에 어떠한 영향을 줄 수 있는지에 대한 조사를 위하여 현재 운영 중에 있는 풍력발전설비의 전력변환장치 앞과 배전선로측 수용가 전원설비 2차측에 각각 전력품질 분석 장치를 설치하여 실측하고 풍력발전기가 가동과 정지 상태에서 배전선로측에 어떠한 영향을 주는지에 대하여 분석하였다. 분석결과 발전기가 가동 및 정지 시 전압변동이 0.34[%] 상승, 전류파형과고율 0.145 정도 상승, 위상차가 가동 중일 때 0.6[°] 정도의 편차를 발생시켰다.

Abstract

When small scale wind and solar power generation systems are connected to conventional power distribution system. It is worried that it can affect the quality of electricity such as voltage variation, power factor, frequency, harmonics and flicker. Therefore, in this research, in order to investigate the effects of wind power generation equipments(AC link method) on electrical power quality, when they are connected to distribution system. Power quality analyzer was installed respectively at the front side of power conversion system of conventional wind generation system and secondary side of consumer's power supply at distribution line. Measurements on power quality were performed and the effects of the wind generation system on distribution system were analyzed when it was and was not operated. The results show that 0.34[%] increase on voltage variation, 0.145 increase on current crest factor and 0.6[°] deviation on phase difference when the power generation system was operated.

Key Words : Small Scale Wind, The Quality of Electricity, Voltage Variation, Current Crest Factor

* 주저자 : 동서울대학 전기정보제어과/산학협력처장

Tel : 031-720-2066, Fax : 031-720-2262, E-mail : cdna@dsc.ac.kr

접수일자 : 2010년 4월 22일, 1차심사 : 2010년 4월 29일, 심사완료 : 2010년 5월 20일

1. 서 론

최근에 분산형전원의 형태로 태양광, 연료전지 및 풍력발전 설비가 배전계통에 연계되어 운영되고 있다. 이러한 소규모의 전원설비가 배전계통에 연계 운영되면서 배전계통의 전압변동, 역률, 고조파 및 플리커 등의 전원 품질에 영향을 줄 수 있어 우리나라 전력회사의 전기공급 약관 제39조와 분산형전원의 배전계통 연계기술기준 등의 지침을 마련하여 운영하고 있다 [1].

분산형전원은 자연에 혼재되어 있는 에너지를 이용하여 전기에너지를 발생하기 때문에 대규모 전원설비에 비해 전력생산량이 일정하지 않아 배전계통에 잦은 연계와 분리를 반복하게 되는 문제가 있다. 이러한 과정에서 배전계통의 전원품질에 영향을 줄 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 전력품질 측정 장치를 사용하여 현재 포항지역에 운영 중에 있는 풍력발전설비를 대상으로 전압변동, 전압파형, 3상 전압 불평형, 전류파형, 위상, 주파수, 역률, 고조파 성분, 고조파 DC 전류 성분 그리고 플리커 영향 등에 관하여 측정·분석하였다.

2. 연계형 풍력 발전설비의 전원품질 측정 방법

2.1 측정 계통 및 측정 위치

그림 1과 같이 배전선로는 공장지대를 경유하는 동력부하가 많은 전력계통(측정지점 “B”)과 연계된 풍력 발전설비의 전력변환장치(컨버터, 인버터)의 교류 전원 출력(측정지점 “A”)지점에 전원품질분석 장치를 각각 설치하였다. 풍력발전기가 발전할 경우와 발전하지 않을 경우에 전원품질을 측정하였고, 이 측정된 값을 비교 분석하여 풍력발전기가 전력계통에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 연구 분석하였다.

단, 측정대상 풍력발전기의 연계방식은 AC 연계방식으로 축전용 배터리가 사용되지 않은 설비이다. 전력변환장치는 AC/DC/AC 형태로 변환한다.

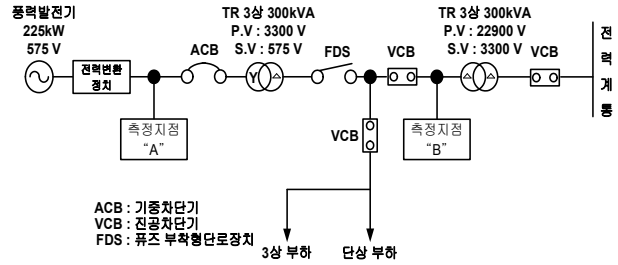


그림 1. 전원품질 측정 대상 풍력발전설비의 계통과 측정점 위치

Fig. 1. Measured systems and points of power quality in wind power generation

2.2 측정 방법

전원품질 요소에 대한 측정방법은 24시간 측정을 원칙으로 하되 부하설비의 부하변동 및 바람의 세기변화에 의한 풍력 발전량을 고려하였다. 측정 개소별로 3회 이상 반복 측정하였다. 측정 내용은 전압, 전류, 위상, 주파수, 역률, 고조파 및 플리커 등의 일반적인 요소와 EZ측정 요소인 Sag/Swell, Wave disturbance, Peak, CBEMA 등으로 구분하여 측정·분석하였다.

2.3 전원품질분석기의 제원

미국 AMETAK사의 Meridian 6000 전원품질분석 장비로 측정기의 제원 및 성능 표 1과 같다.

표 1. 측정 성능

Table 1. Measurement Capabilities

항 목	측 정 성 능
전체성능	4전압/4전류 채널
샘플비율	전력품질 : 15.36[kHz]@60[Hz] Line
정밀도	전압, 전류 : 전체범위의 ±0.05[%] 고속과도상태 250[ns], 14-[bit] 분해능
전압, 전류	실효치, 파형, 최소, 최대, 평균, INST 측정
전력품질	파형외란, 불평형, 최대치, 주파수, 하락, 상승, 부족/과전압, 노칭
전력	피상, 유효, 무효전력, 역률, 수용전력
고조파	DC, 63차 THD 설정, 전압, 전류, 63차 전력 설정
플리커	IEC 868과 IEC 61000-4-15

3. 전원품질요소 측정 데이터 및 분석

본 연구의 측정 대상인 연계형 풍력 발전설비 사양은 Vesta사에서 제작한 V 27로 발전기의 정격속도가 16[m/s]일 때 3상 60[Hz], 575[V], 정격 출력 225[kW]을 발생시키는 비동기식 발전기이다. 발전기의 정격속도는 날개의 피치제어와 기어박스의 증속기에 의해 조절된다. 또한, 역률이 83[%]로 고정되어 있는 형이고 이때 발생전류는 225.9[A]이다.

3.1 전압변동

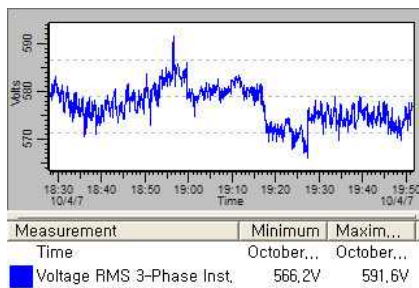


그림 2. 풍력발전기 가동상태에서 A점에서 측정한 전압 실효치

Fig. 2. RMS voltage value measurement under operating of wind power generation at the point A

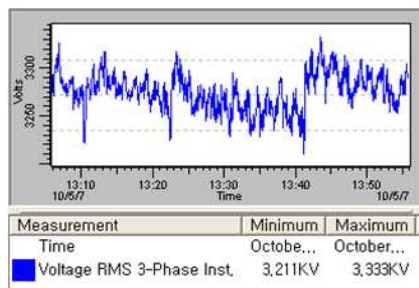


그림 3. 풍력발전기 정지상태에서 B점에서 측정한 전압 실효치

Fig. 3. Effective voltage value measurement under ceasing of wind power generation at the point B

풍력발전기가 가동 중일 때와 정지상태일 때로 구분하고 A, B 지점에서 동시에 전압 실효치의 변동을 측정하였다. 측정된 결과는 그림 2, 3과 같고, 분석결과

는 표 2와 같다.

측정결과 전기사업법 제18조 ①항 및 시행규칙의 표준전압 및 전압 유지범위를 만족하였다[2-4]. 그러나 풍력발전기가 가동 중일 때 분산전원 계통 연계 기술 기준인 상시(10분 평균값) 3[%] 이내 유지 기준 보다 높은 4.45[%]로 기준을 초과하였다[5].

표 2. 전압 실효치 측정 결과

Table 2. Result of effective voltage value measurement

규정 범위	풍력 발전 상태	측정 결과(%)		전력계통의 영향 정도
		풍력 발전	전력 계통	
상시 3[%] 이내 (10분 평균값)	가동 중	4.45	2.85	가동 정지 시 0.34[%] 상승
	가동 정지	1.05	3.75	
	계통 분리	-	3.41	

3.2 전류파형

풍력발전기가 가동 중일 때와 정지상태일 때로 구분하고 A, B 지점에서 동시에 전류파형을 측정하였다. 측정된 결과는 그림 4, 5와 같고 분석결과는 표 3과 같다.

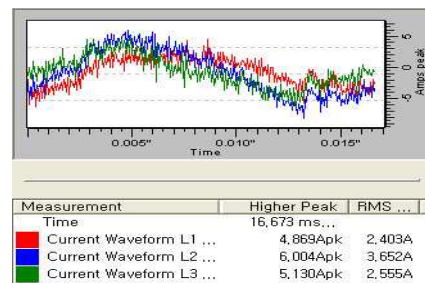


그림 4. 풍력발전기 정지상태에서 A점에서 측정한 전류파형
Fig. 4. Current waveform measurement under ceasing of wind power generation at the point A

풍력발전설비의 전류파형의 상전류 과고율은 전력계통과 연계되어 가동 중일 때 1.669~1.831, 정지상태에서 1.451~2.147, 풍력발전설비를 분리할 때 1.472~2.002로 측정되었다. 풍력발전설비가 정지하면 발전기가 부하로 작용하여 많은 고조파 전류를 유출하여 전력계통의 과고율은 부하설비와 풍력발전설비의 영향으로 이상적인 정현파 과고율 1.414 보다 0.733정도 높게 나타났다.

연계형 풍력발전설비(225kV, AC 링크방식)가 전력계통의 전원 품질에 미치는 영향에 관한 연구 분석

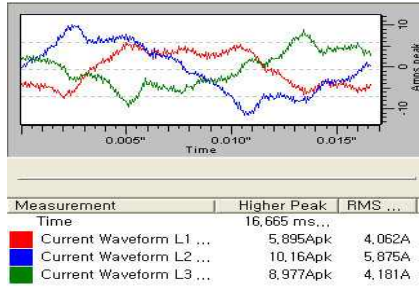


그림 5. 풍력발전기 정지상태에서 B점에서 측정된 전류파형
Fig. 5. Current waveform measurement under ceasing of wind power generation at the point B

즉, 풍력발전설비가 정지하면 전력계통의 과고율은 풍력 발전설비를 가동 중일 때가 풍력발전설비를 분리할 때 보다 0.145 정도 더 높게 나타났다.

표 3. 전류파형 측정 결과
Table 3. Result of current waveform measurement

규정 범위	풍력 발전 상태	측정 결과		전력계통의 영향 정도
		풍력 발전	전력 계통	
정현파 과고율 1.414 ($=\sqrt{2}$)	가동 중	최대 1.523	최대 1.831	가동 정지 시 0.145 상승
	가동 정지	최대 2.026	최대 2.147	
	계통 분리	-	최대 2.002	

3.3 위 상

풍력발전설비가 가동 중일 때와 정지상태일 때로 구분하고 A, B 지점에서 동시에 위상을 측정하였다. 측정된 결과는 그림 6, 7, 8과 같고 분석결과는 표 4와 같다.

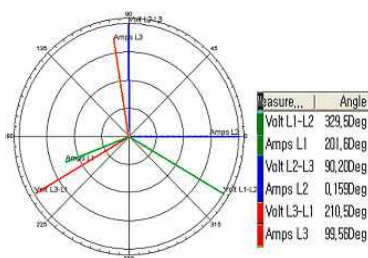


그림 6. 풍력발전기 가동상태에서 B점에서 측정된 전압과 전류의 위상
Fig. 6. Phase between current & voltage measurement under operating of wind power generation at the point B

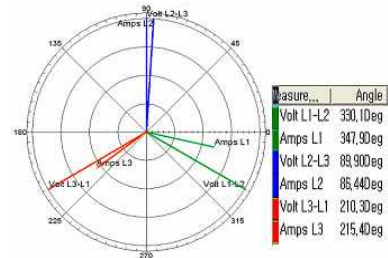


그림 7. 풍력발전기 정지상태에서 B점에서 측정된 전압과 전류의 위상
Fig. 7. Phase between current & voltage measurement under ceasing of wind power generation at the point B

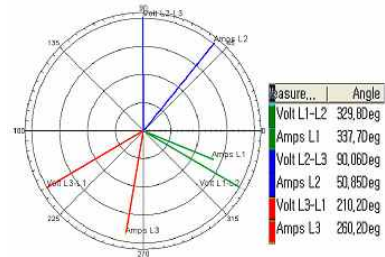


그림 8. 풍력발전기가 분리된 상태에서 B점에서 측정된 전압과 전류의 위상
Fig. 8. Phase between current & voltage measurement under separating of wind power generation at the point B

풍력발전설비의 전압 위상은 가동 중 일 때는 그림 6과 같이 L1-L2 → 329.5[°], L2-L3 → 90.2[°], L3-L1 → 210.5[°], 정지상태 일 때는 그림 7과 같이 L1-L2 → 330.1[°], L2-L3 → 89.9[°], L3-L1 → 210.3[°]로 측정되었다. 풍력발전설비를 분리하였을 때는 그림 8과 같이 L1-L2 → 329.8[°], L2-L3 → 90.1[°], L3-L1 → 210.2로 측정되었다. 따라서 3상 교류회로의 각상(330[°], 90[°], 210[°])의 위상각 기준 120[°]에 대한 편차는 풍력발전기가 가동 중일 때 최대 1[°], 정지상태일 때 최대 0.4[°], 풍력발전 설비를 분리하였을 때는 최대 0.4[°]의 편차를 보였다. 즉, 3상 교류전압의 위상각 편차는 풍력발전설비가 가동되고 있을 때가 전력계통에서 분리되었을 때 보다 약 2.5배 높은 수치를 보이고 있다. 그러나 전류 파형에 대하여 특별히 규정 범위는 없으나, 분산전원설비로부터 계통에 유입되는 고조파 전류는 10분 평균한 40차까지의 종합전류 왜

형률이 5[%]를 초과하지 않도록 각 차수별로 제어하도록 되어 있다.

표 4. 전압의 위상차
Table 4. phase of voltage measurement

규정 범위	풍력 발전 상태	측정 결과(°)		전력계통의 영향 정도
		풍력 발전	전력 계통	
각 상 120[°]유지 기준에서 ± 0[°]	가동 중	최대 0.7	최대 1.0	가동 중일 때 0.6[°]편차 상승
	가동 정지	최대 0.7	최대 0.4	
		-	최대 0.4	

3.4 고조파 전류 THD[%]

풍력발전기가 가동 중일 때와 정지상태일 때로 구분하고 A, B 지점에서 동시에 고조파 전류를 측정하였다. 측정된 결과는 그림 9, 10, 11과 같고 분석결과는 표 5와 같다.

풍력발전기의 고조파 전류 THD[%]는 전력계통과 연계되어 가동 중일 때 그림 9와 같이 풍력발전에서 최대 35.32[%]로 분산전원의 계통연계 기술기준인 전류 THD 5[%]를 초과하였고, 그림 10과 같이 전력계통측에도 영향을 주어 최대 1,871[%]로 나타나게 한다. 풍력발전설비가 정지상태일 때 부하로 작용하면서 그림 11과 같이 263.7[%]로 높게 측정되고 있지만, 전체 부하량에 비해 상대적으로 적기 때문에 전력계통에 미치는 영향은 극히 미약하게 나타났다.

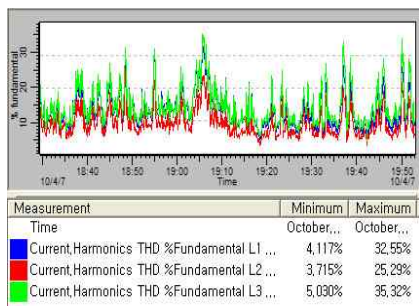


그림 9. 풍력발전기 가동상태에서 A점에서 측정된 고조파 전류 THD[%] 측정
Fig. 9. High harmonic current THD[%] measurement under operating of wind power generation at the point A

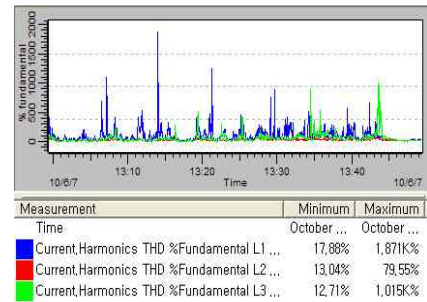


그림 10. 풍력발전기 가동상태에서 B점에서 측정된 고조파 전류 THD[%] 측정
Fig. 10. High harmonic current THD[%] measurement under operating of wind power generation at the point B

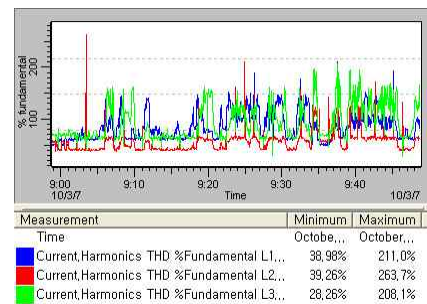


그림 11. 풍력발전기 정지상태에서 A점에서 측정된 고조파 전류 THD[%] 측정
Fig. 11. High harmonic current THD[%] measurement under ceasing of wind power generation at the point A

표 5. 위상차와 전압성분
Table 5. Result of high harmonic current THD[%] measurement

규정 범위	풍력 발전 상태	측정 결과(%)		전력계통의 영향 정도
		풍력 발전	전력 계통	
국내 전력회사 5[%] 이하	가동 중	3.7~35.3	12.7~1,871	가동 중 일때 순시 1,7860[%] 상승
	가동 정지	28.2~263.7	13.6~64.6	
	계통 분리	-	27.0~84.5	

3.5 고조파 전류 차수별[%]

풍력발전기가 가동 중일 때와 정지상태일 때로 구분하고 A, B 지점에서 동시에 고조파 전류 차수별[%]를 측정하였다. 측정된 결과는 그림 12, 13과 같고 분석결과는 표 6과 같다.

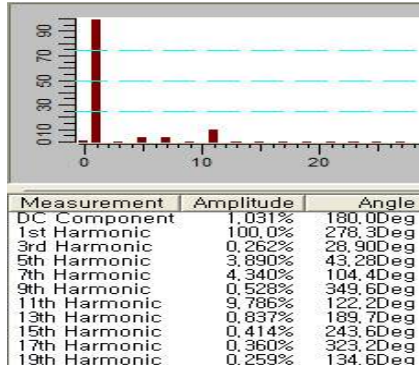


그림 12. 풍력발전기 가동상태에서 A점에서 측정된 고조파 전류 차수별(%) 측정
 Fig. 12. High harmonic current in orders(%) measurement under operating of wind power generation at the point A

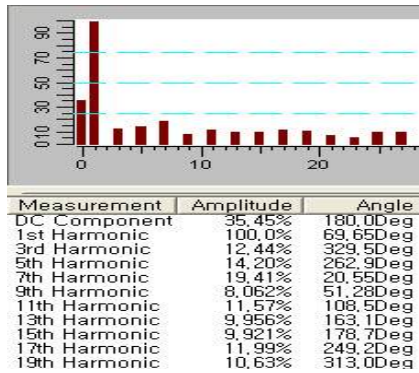


그림 13. 풍력발전기 정지상태에서 A점에서 측정된 고조파 전류 차수별(%) 측정
 Fig. 13. High harmonic current in orders(%) measurement under ceasing of wind power generation at the point A

풍력발전소의 차수별 개별 고조파 전류 함유량(%)은 전력계통과 연계되어 운전 중일 때 11차 미만에서 최대 4.34[%], 11~17차에서 최대 9.786[%]로 측정되었고, 정지상태에서는 11차 미만에서 최대 19.41[%], 11~17차에서 최대 11.99[%]로 측정되어 분산전원의 연계 기술기준인 11차 이하에서 4[%], 11~17차에서 2[%] 보다 많은[5] 고조파 전류를 전력계통으로 유출하고, 전력계통에서는 부하설비의 고조파 전류와 합쳐져 차수별 개별 고조파 전류 함유량이 최대 42.54[%]로 나타났다.

표 6. 고조파 전류차수별(%)

Table 6. Result of high harmonic current in orders measurement(%)

규정 범위	풍력 발전 상태	측정 결과(%)						전력계통의 영향 정도
		풍력 발전			전력 계통			
		3차	5차	7차	3차	5차	7차	
국내 전력회사	가동 중	0.26	3.89	4.34	42.5	25.9	18.7	가동 중 일때 3차: 29.4[%] 5차: 14.7[%]
	가동 정지	12.4	14.2	19.4	32.7	16.0	9.45	
11차 이하 4[%]	계통 분리	-			13.1	11.2	21.5	상승

기타 성분은 측정결과 크게 전력계통에 영향을 주지 않아 본 연구에서는 분석결과를 언급하지 않았다.

4. 결 론

본 조사연구는 분산형전원이 전력계통(배전계통)과 연계되면서 전원 품질에 미치는 영향의 정도를 분석하기 위하여 현재 운영 중에 있는 풍력발전설비를 대상으로 실측하여 현재 계통연계기술기준의 각 항목에 대하여 데이터를 분석한 것이다.

분석결과를 요약하면, 풍력발전설비는 배전계통과 분리되었을 때 보다 배전계통과 연계되어 가동 또는 정지 상태 일 때 전압변동은 0.34[%] 정도 상승하였고, 전류파형 파고율은 0.145 정도 상승, 3상 전압의 위상차는 0.6[°] 편차로 상승하였고, 고조파 전류 THD(%)는 순시 1,786[%] 상승, 고조파 전류 차수별(%)은 3차수가 29.4[%], 5차수가 14.7[%] 그리고 9차수가 3.73[%] 상승하여 전력계통에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

결론적으로 풍력발전설비가 전력계통에 연계되었을 때 전압변동, 고조파 전류 THD(%), 고조파 전류차수별(%), 주파수 변동, 플리커 등이 증가하여 전력계통에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다.

따라서 AC 링크방식과 같이 배터리가 사용되지 않는 경우에는 풍력발전 계통연계 기술기준에 풍력발전기의 운전상태(운전 중, 정지, 분리)에 대한 사항도 고려되어야 할 것으로 사료된다.

References

- [1] 대체에너지 발전시스템 계통연계를 위한 기술지침 수립, 산업자원부, 최종보고서 2004. 6.
- [2] 영업0100 전기공급약관, 한국전력공사, 2007. 7 개정.
- [3] 영업0900 배전용 전기설비 이용규정, 한국전력공사, 2006. 9 개정.
- [4] 전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준, 산업자원부 고시 제2005-11호, 2005. 1.
- [5] 풍력발전 계통연계 기술기준, 한국전력공사 배전처, 2007. 4.
- [6] 풍력공학입문, 牛山泉 원저, 고경남, 허종철 공역, 문운당, 2008. 4. 10 발행.
- [7] 전력계통의 고조파 장애 분석 연구, 한국전력안전공사, 1994. 12.
- [8] 고조파역제 대책 기술지침 JEAG 9702-1995, 일본 전기협회, 전기기술기준조사위원회, 헤이세이 7년 10월.

◇ 저자소개 ◇



나채동(羅萊東)

1954년 11월 3일생. 1979년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1983년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1979~1981년 동아건설산업(주). 1983~1991년 한국전기연구원 선임연구원. 1991년~현재 동서울대학 전기정보제어과/산학협력처장.



박중신(朴重信)

1956년 3월 3일생. 1980년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1982년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1979~1990년 한국전력공사 북부지점. 1990~1992년 한국전력공사 전력연구원 선임연구원. 1992~2002년 한국전력공사 중앙교육원 배전교육팀 교수. 2002~2005년 동해대학교 전기공학과. 2005~현재 위덕대학교 에너지전기공학부.