
태양광전원 계통연계시험장치에 의한 수용가 전력품질특성에 관한 연구

김병목, 김병기, 박재범, 노대석*
한국기술교육대학교 전기전자통신공학부

Analysis of Customer Power Quality Characteristics Using PV Test Devices

Byungmok Kim, Byungki Kim, Jeabum Park, Rho Daeseok*
Division of Electric Electronic Information Communication,
Korea University of Technology and Education

요약 현재 신·재생에너지 보급사업에 의해 설치되고 있는 태양광전원설비가 전력계통과 연계 운영될 경우 배전계통의 전력품질 요소에 어떠한 영향을 미치고 있는지를 모의시험을 통해 정확히 측정·분석하여 향후 분산형전원의 확대 보급에 따른 가이드라인의 구축과 기술적인 연계지침이 필요한 상황이다. 따라서 본 논문에서는 태양광이 연계되는 위치에 따른 선로임피던스($R \pm jX$)에 의하여 생기는 전압상승 및 하강에 의한 전력품질[Sag/Swell] 저하 현상에 대하여 태양광전원용 LabVIEW 프로그램을 통해 전력품질 시험을 수행하여 그 특성을 분석한다.

• **주제어** : 융합, 사회, 태양광전원, 품질, 특성

Abstract Recently, new distributed power sources such as photovoltaic, wind power, fuel cell systems etc. are energetically interconnected and operated in the distribution feeders, as one of the national projects for alternative energy. When new power sources are considered to be interconnected to distribution systems, bi-directional power flow and interconnection conditions of new power sources may cause several power quality problems like voltage sag, voltage swell, harmonics, since new power sources can change typical characteristics of distribution systems. Under these situations, this paper deals with the analysis the power quality problems at primary and secondary feeders in distribution systems, when new power sources like photovoltaic (PV) systems are interconnected, by using the test devices for PV systems based on the LabVIEW S/W. This paper presents the test device which is consisted with model distribution system and model PV systems. By performing the simulation for power quality operation characteristic based on the test facilities, this paper presents the optimal countermeasures for power quality.

• **Key Words** : Convergence; Society, PV, Quality, Characteristics

1. 서론

최근 지구환경 및 에너지문제 즉, 환경오염과 화석연료의 고갈에 대한 대처방안으로 태양광, 풍력, 연료전지

등 기타 재생 가능한 에너지를 중심으로 분산형전원이 도입되고 있다. 현재 우리나라에서는 태양광전원의 도입 시 배전계통에 끼치는 영향과 문제점에 대한 구체적인

*교신저자 : 노대석(dsrho@kut.ac.kr)

접수일 2011년 9월 2일 수정일 2011년 10월 25일 게재확정일 2011년 11월 28일

분석과 평가없이, 배전계통에 연계되어 운용이 이루어지고 있다. 수용가에게 공급하는 표준전압별 전압유지범위는 220V±13V, 380V±38V 이내로, 배전계통에 태양광전원의 도입에 따라 기존의 부하만이 존재하는 배전계통과는 달리, 수용가 부근에 신에너지전원과 부하가 혼재되어 운용되고 운전됨에 따라 배전계통 측과 태양광전원측에 영향을 주어 전압 및 전력품질에 영향을 끼칠 수 있다.[1]-[6]

태양광전원이 기존 전력계통에 연계되어 운전될 경우, 원만하고 효율적인 계통연계운전 실현을 위해 기존의 전력품질(전압, 주파수, 고조파, 역률 등)과 공급신뢰도(정정시간 및 정전횟수)의 향상, 공중 및 작업자의 안전과 전력공급설비 또는 타수용가의 설비보전, 불필요한 기동정지를 하지 않고 전력계통과 협조 운전할 수 있는 안정성을 확보할 필요가 있다. 하지만 이러한 태양광전원을 배전계통에 연계할 경우 계통연계기술요건(가이드라인)에 정해진 각종 규정에 미달되어 운용시 여러 가지 문제가 표면화될 가능성이 제기되고 있다.[7]-[12] 이와 같은 배경 하에 현재 신·재생에너지 보급사업에 의해 설치되고 있는 태양광전원설비가 전력계통과 연계 운영될 경우 배전계통의 전력품질 요소에 어떠한 영향을 미치고 있는지를 모의시험을 통해 정확히 측정·분석하여 향후 분산형전원의 확대 보급에 따른 가이드라인의 구축과 기술적인 연계지침이 필요한 상황이다. 따라서 본 논문에서는 태양광이 연계되는 위치에 따른 선로임피던스(R+jX)에 의하여 생기는 전압상승 및 하강에 의한 전력품질[Sag/Swell] 저하 현상에 대하여 태양광전원용 LabVIEW 프로그램을 통해 전력품질 시험을 수행하여 그 특성을 분석한다.

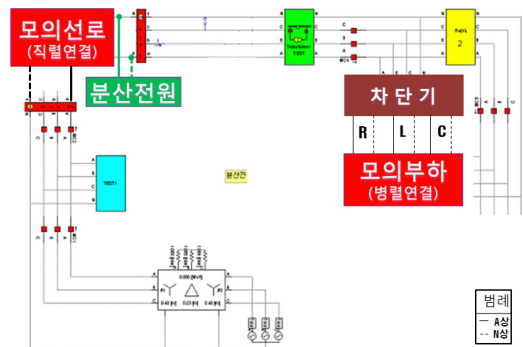
2. 태양광전원용 계통연계 시험장치 제작

태양광전원용 계통연계 시험장치는 크게 배전계통 모의 장치와 분산전원 모의장치, 감시제어장치로 구성된다.

2.1 배전계통 모의 장치

모의 배전계통은 그림 1과 같이 격리변압기를 이용하여 3상4선식 380/220V의 2개의 저압선로를 구성하고, 선로의 각 구간에는 M/C와 NFB를 이용하여 보호기기와 개폐기를 대응하게 하였으며, 가변부하를 인가하여 부하 특성을 조정할 수 있도록 하였고, 분산전원을 연계하도

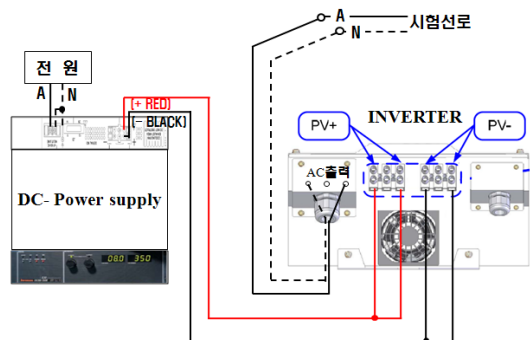
록 하였다. 우리나라의 22.9[kV] 변전선로는 ACSR 160mm²로 구성되어 있으며 선로 공장은 최대 40[km] 설정되어 있다. 그래서 가변모의선로는 간단하게 선로 임피던스를 계산하여 선로의 공장이 40[km]이상이 되는 선로 모의 가능하도록 2~24[Ω] 가변 할 수 있도록 구성하였다. 변전소로부터 인출되는 각 피더의 부하량은 10[MVA]정도이다. 22.9[kV]를 단상 220[V]로 축소(약1/100)하면 각 상별 약 1500[W]이므로 R, L, C 부하량을 가변 할 수 있도록 구성하였다.



[Fig. 1] distributing system simulator

2.2 분산전원 모의장치

분산전원(태양광 발전)은 그림 2와 같이 계통연계용 인버터(3kW)와 DC Power Supply의 출력 전류를 가변하여 분산전원의 출력량을 조정하도록 구성하였다.

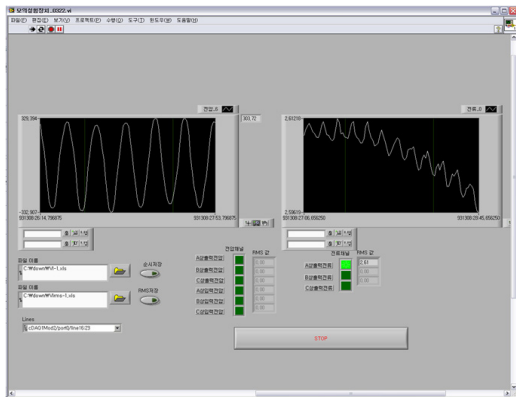


[Fig. 2] Configuration of Distributed power simulator

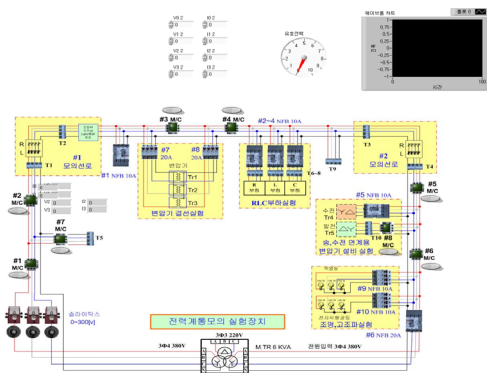
2.3 LabVIEW에 의한 감시제어장치

LabVIEW는 Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench의 약어로서 LabVIEW는 C나 BASIC과 같은

프로그램 개발 도구이다. LabVIEW는 block diagram이라는 흐름도를 사용하는데 이 프로그램을 사용하여 그림 3과 같이 구성하고 초당 10개의 rms값과 초당 1000개의 전압과 전류의 순시 값을 받아 엑셀에 저장할 수 있게 구성하여 엑셀을 이용하여 시간에 따른 변화를 확인할 수 있도록 구성하였다. 전압 6개(A, B, C상 입출력) 전류 3개를 엑셀파일로 저장할 수 있게 구성하였다. 전압 6개(A, B, C상 입출력) 전류 3개를 엑셀파일로 저장할 수 있게 구성하였다. 전압 6개(A, B, C상 입출력) 전류 3개를 엑셀파일로 저장할 수 있게 구성하였다. 먼저 측정하고 싶은 값을 먼저 클릭한 후 순시값 또는 rms값 선택하여 클릭하여 저장 버튼을 누르면 된다. 동시에 두 개의 값을 다 저장도 가능하다 그림 4에 있는 MC는 선로 컨트롤 할 수 있게 설계되어있다. 여기서 사용된 MC는 실제통의 차단기 또는 리클로저의 대응으로 사용된 것이다. LabVIEW에서 MC의 On/Off를 컨트롤 하기 위해서는 배전계통에서 MC를 Off로 설정을 한 다음에만 가능하게 설정이 되어있다. 즉 Interrupt가 설정되어있어 Manual과 Auto가 서로 충돌되지 않도록 설정이 잘되어 있다.

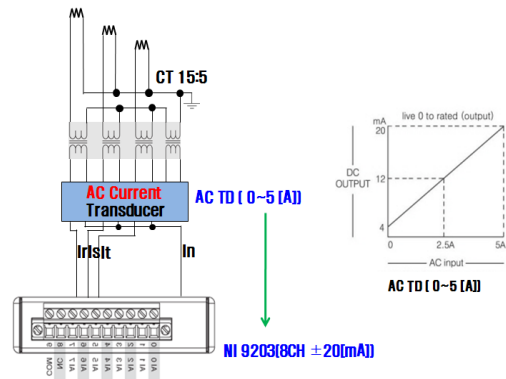


[Fig. 3] LabVIEW Screen (Right Side)

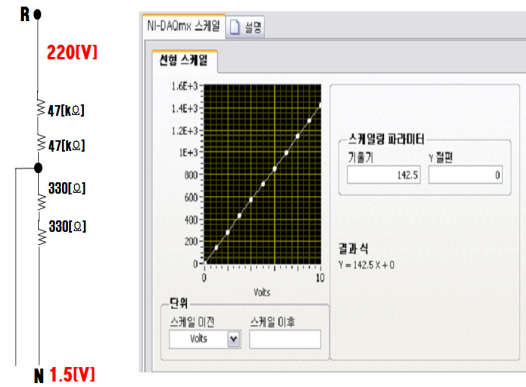


[Fig. 4] LabVIEW Screen (Left Side)

LabVIEW의 NI 통신용보드는 상용전압과 전류를 받아서 사용할 수 없기 때문에 전류는 그림 5와 같이 설정하고 전압은 그림 6과 같이 설정하였다. 전류는 CT를 사용하여 비를 조절한다. CT비는 (3:1)로 하여 전류를 조절하고 NI에서 받아드릴 수 있게 Transducer를 이용하여 4~20mA를 NI에 투입하였다. 전압을 Transducer를 사용하지 않고 저항을 이용하여 저항 비를 사용하였다. 220[V]일 때 NI에 들어가는 전압을 1.54[V]가 들어간다고 설정을 하기위해 기울기를 142.5로 설정을 하였다.

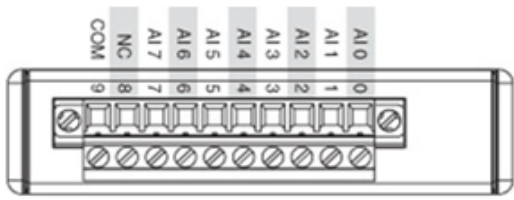


[Fig. 5] Current Setting

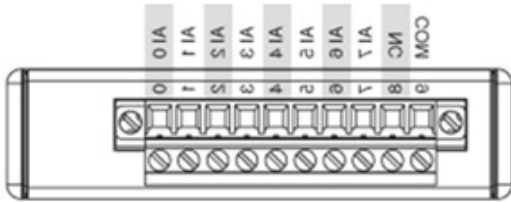


[Fig. 6] Voltage Setting

그림 7은 NI 9201로서 전압을 담당하는 장치이다. 총 8포트를 가지고 있고 사용범위가 $\pm 10[V]$ 이다. 현재 A, B, C상의 입·출력을 확인하기위하여 A0~A5까지 포트를 사용 중이고 그림 8은 NI9203으로서 전류를 담당하는 장치이다. 총 8포트를 가지고 있고 사용범위는 $\pm 20[mA]$ 이다. A, B, C상의 부하측 전류를 측정하기 위하여 A5~A7까지의 포트를 사용 중이다.



[Fig. 7] NI 9201



[Fig. 8] NI 9203

3. 전력품질 계통연계 시험 및 분석

시험결과와 이론식을 비교, 분석하기 위하여 표 1과 같이 전력품질 전압 계산식을 이용한다.

[Table 1] Equation of voltage drop calculation

$V = (\text{전원측 전압})[V]$
$P = (\text{부하} - \text{분산전원})[W]$
$P = I \cdot V [W] \rightarrow I = P/V [A]$
$R = \text{선로임피던스}[\Omega], \Delta V(\text{전압강하}) = I \cdot R$
ΔV 에 의한 변동후 전압 $V = (\text{전원측})V - \Delta V[V]$

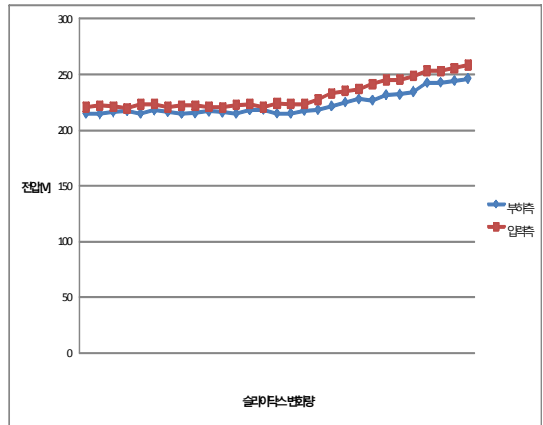
3.1 순시전압상승(Swell) 시험

(1) 전압상승 시험 I(부하=800[W], 선로임피던스=7[Ω], 분산전원=600[W])

표 2와 그림 9는 220[V]부터 253[V]까지 전원측 전압을 조정하여 시험한 결과를 나타낸 것이다. 전원측 전압이 253[V]일 때 부하 측 전압은 242[V]까지 상승하였지만, 출력전압이 253[V]를 초과하지 않았으므로, 인버터는 계통에서 분리되지 않았다.

[Table 2] Theoretical value

전원측 전압	부하측 전류	ΔV 에 의한 변동후 전압
233V	0.86A	226.99V
242V	0.83A	236.21V
250V	0.8A	244.4V



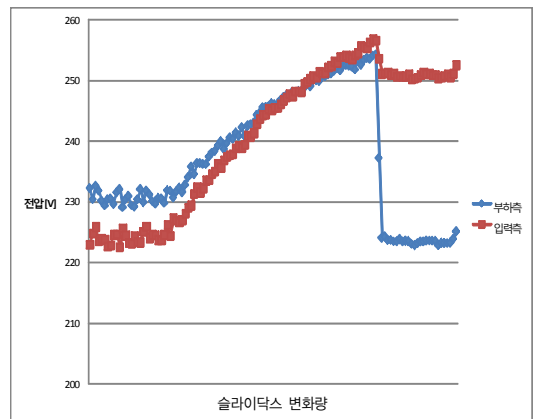
[Fig. 9] Experiment result

(2) 전압상승 시험 II (부하=800[W], 선로임피던스=7[Ω], 분산전원=1,200[W])

표 3과 그림 10은 220[V]부터 253[V]까지 전원전압을 조정하여 시험한 결과를 나타낸 것이다. 전원 측 전압이 240[V]를 초과하면 태양광전원이 연계된 부하 측 전압은 254[V]까지 상승하여, 태양광전원의 인버터가 계통에서 분리되어 버리는 것을 알 수 있었다.

[Table 3] Theoretical value

부하측 변동전 전압	부하측 전류	ΔV 에 의한 변동후 전압
233V	-18,06A	251.03V
242V	-3.0A	259.36V
250V	-3.21A	266.8V



[Fig. 10] Experiment result

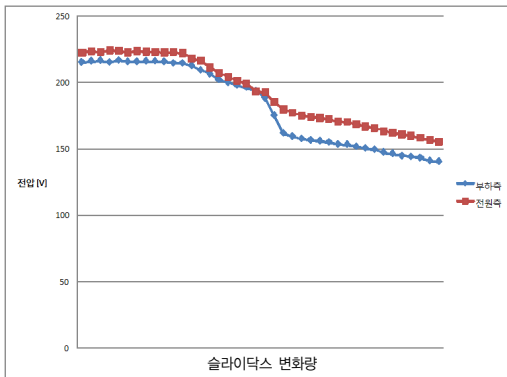
3.2 순시전압강하(Sag) 시험

(1) 전압강하 시험 I (부하=800[W], 선로임피던스=7[Ω], 분산전원=600[W])

표 4와 그림 11은 전원 측 전압을 220[V]부터 187[V]까지 변동하여 시험한 결과이다. 전원 측 전압이 192[V] 이하로 떨어지면서 태양광전원이 연계된 부하 측 전압이 187[V]미만으로 하강하여, 인버터가 계통에서 분리되어 버리는 것을 확인할 수 있었다.

[Table 4] Theoretical value

부하측 변동전 전압	부하측 전류	ΔV에 의한 변동후 전압
207V	6.97A	200.24V
198V	0.97A	190.93V
187V	1.07A	175.61V



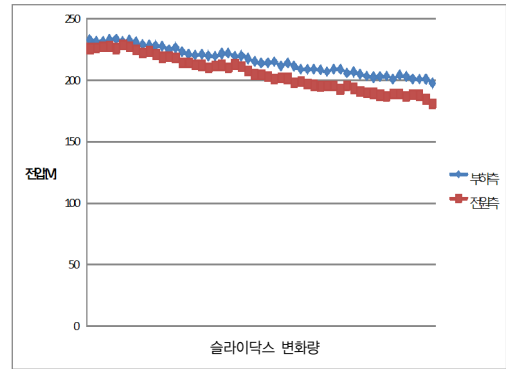
[Fig. 11] Experiment result

(2) 전압강하 시험 II (부하=800[W], 선로임피던스=5[Ω], 분산전원=1,200[W])

표 5와 그림 12는 전원 측 전압을 220[V]부터 187[V]까지 변동하여 시험한 결과이다. 전원 측 전압이 187[V]일 때 태양광전원이 연계된 부하 측 전압이 200[V]까지 하강하였지만, 인버터는 계통에서 분리되지 않았음을 확인할 수 있었다.

[Table 5] Theoretical value

부하측 변동전 전압	부하측 전류	ΔV에 의한 변동후 전압
207V	-2.9A	227.27V
198V	-3.0A	219.21V
187V	-3.21A	209.46V



[Fig. 12] Experiment result

3.3 시험결과 종합분석

동일한 위치의 수용가에 동일한 부하를 사용하더라도 분산전원에 용량에 따라 역전류가 흘러 송전단 전압보다 수전단 전압이 올라가는 현상을 확인하였으면 선로임피던스가 클수록 수전단 전압이 더욱 높아지는 현상과 인버터가 계통분리 되는 현상을 시험을 통해 확인할 수 있었으며 분산전원은 최대한 수용가에 가까운 위치에 설치해야함을 알 수 있었다.

[Table 6] analysis sheet of the assortment results

전력품질	문산전원	600W		1200W	
		송전 단	수전 단	송전 단	수전 단
Swell		233[V]	226.99[V]	233[V]	251.03[V]
		242[V]	236.21[V]	242[V]	259.36[V]
		250[V]	244.40[V]	250[V]	266.80[V]
Sag		207[V]	200.24[V]	207[V]	227.27[V]
		198[V]	190.93[V]	198[V]	219.21[V]
		187[V]	179.51[V]	187[V]	209.46[V]

4. 결론

본 논문에서는 분산전원(태양광)이 연계된 배전계통에서의 전압품질을 해석하기 위하여, 실 계통을 축소 모의한 시험장치와 감시제어장치(LabVIEW)를 이용하였다. 각종 파라메타에 대하여 상세한 해석을 수행하여, 분산전원을 설치하고 운용하는데 있어서 필수적인 품질에 대한 기술적인 연계 지침을 제시하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 태양광전원의 연계용량이 증가할수록 수용가 측 전압이 비례적으로 증가하여 배전계통의 송전단 전압보다 수전단 전압이 상승함을 확인할 수 있었다. 태양광 전원이 연계된 배전계통에 Sag 발생시 부하(수전단)측의 전압은 태양광 전원용량이 클수록 송전단 보다 커져서 전압강하를 보상하는 긍정적인 효과가 있음을 확인할 수 있었다.
- (2) 태양광전원이 연계된 배전계통에 Swell 발생시 부하(수전단)측의 전압은 태양광 전원용량이 클수록 역조류에 의해서 송전단보다 수전단 전압이 더 큰 값으로 상승 하였으며, 이러한 경우 태양광전원과 부하(수전단) 위치가 상호간 멀수록 배전선로 임피던스가 커짐에 따라 수전단 전압이 상승함을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

- [1] Distribution network use policy, the Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2005.
- [2] Times the exclusive use of electrical equipment regulations, the Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2004.
- [3] Based on distributed power distribution grid-connected technology, the Korea Electric Power Corporation, 2005.
- [4] Described a distributed grid-connected power distribution commentary, Korea Electric Power Corporation, 2006.
- [5] Introduced a distributed power system operation on the compound annual distribution District, Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2004.
- [6] Council Japan power, distributed power corresponding data sheet, 2007.
- [7] Distributed power system interconnection technical guidelines in Japan Nippon Electric narrow, 2001.
- [8] Technical requirements for grid-connected electricity in Japan guidelines, 1998.
- [9] Distributed power supply connection Hokkaido, Japan-based procedures and work, 2002.
- [10] Hadi Saadat, "Power System Analysis "McGraw-Hill,

Printed in Singapore, 1999.

- [11] IEEE 1547 "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System", 2003.
- [12] IEEE 1547.1 "IEEE Standard conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System", 2005.

저자소개

김 병 목(Byung-Mok Kim)

[학생회원]



- 2011.2 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 석사과정 재학중

<관심분야> : 배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드

김 병 기(Byung-Ki Kim)

[학생회원]

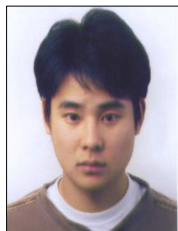


- 2008.2 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 석사과정 재학중

<관심분야> : 배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드

박 재 범(Jea-Bum Park)

[학생회원]



- 2011.2 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 석사과정 재학중

<관심분야> : 배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[정회원]



· 1985.2 : 고려대학교 전기공학과
(공학사)

· 1987.2 : 동대학원 전기공학과 (공
학석사)

· 1997.3 : 일본 북해도대학교대학원
전기공학과(공학박사)

· 1987.3 ~ 1998.8 : 한국전기연구소 연구원/선임연구원

· 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공
학부 교수

<관심분야> : 전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질
해석