

## 진공차단기용 전자식 센서의 선정 및 노이즈 시험에 관한 연구

이기선<sup>1</sup> · 박정철<sup>2</sup> · 추순남<sup>1\*</sup>

### A Study on the selection and noise test of electronic sensor for Vacuum Circuit Breaker

Ki Seon Lee<sup>1</sup> · Jung Cheul Park<sup>2</sup> · Soon Nam Chu<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Department of Electrical Engineering, Gachon University Seongnam 461-701 Korea

<sup>2</sup>Department of Electronic Engineering, Gachon University Seongnam 461-701 Korea

#### 요 약

본 연구는 진공차단기 기계식 보조접점(MOC)의 구조적인 취약성을 해결하기 위해 전자식 센서 기술을 이용한 전자식 보조접점(EOC) 개발에 선행되어야 할 센서의 선정 및 노이즈 시험에 관한 것으로, 기존 기계식 보조접점(MOC)에서 발생하는 반복적인 떨림 및 반동 현상에 의한 접점 오동작을 최소화하는 제품을 개발하는 것을 최종 목표로 하였다. 실험 결과, 차단기 투입 및 개방시 개방시의 써지전압 상승속도가 투입시 보다 4.2배 빠른 것으로 측정되었고, 소음크기는 각각 120dB, 110dB로 측정되었다. 상용주파과전압 60kV를 인가하였을 때 진공차단기 투입 및 개방시 센서에서 출력되는 파형은 일그러짐이 없이 정상적으로 동작됨을 알 수 있었다. 그리고 150kV 1.2×50μs의 충격파를 인가하였을 때 센서의 투입 및 개방측 출력접점의 전압파형이 일그러짐이 없이 정상상태를 유지하였으며, 2500A의 전류를 인가하였을 때 자계 잡음을 측정 한 결과, 전압파형이 일그러짐이 없이 정상적으로 동작하였다.

#### ABSTRACT

This study is about the selection and noise test of electronic sensor which is preceded by electric Operating Cell(EOC) development using electronic sensor technology to solve the structural weakness of Mechanism Operated Cell(MOC) in VCB, and has a final target in product development minimizing contact malfunction of the chattering or rebound states caused by existing MOC. In this test results, when opening and closing VCB, rising velocity of surge voltage in opening time was measured 4.2 times faster than closing time and noise decibel value was measured respectively 120dB and 110dB. When supplying 60kV power frequency overvoltage, we found that sensor output graph in VCB opening and closing times operated stably without distortion. When supplying 150kV 1.2×50μs impulse frequency voltage, we found that voltage graph of output contact in sensor opening and closing sides maintained a normal condition without distortion, and when supplying 2500A current, we found that tested result of electric field noise operated stably without distortion.

**키워드** : 전자식 접점, 기계식 접점, 진공차단기 보조접점, 전자식 센서, 보조접점 오동작

**Key word** : EOC, MOC, VCB Auxiliary contact, Electronic type sensor, Auxiliary contact chattering

접수일자 : 2014. 07. 01 심사완료일자 : 2014. 08. 21 게재확정일자 : 2014. 09. 10

\* **Corresponding Author** Soon-Nam Chu(E-mail: snchu@gachon.ac.kr, Tel+82-31-750-5709

Department of Electrical Engineering, Gachon University Seongnam 461-701 Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.10.2503>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

전기회로에 사용되는 개폐장치인 차단기는 정상전류는 물론 비정상적인 큰 전류의 개폐에도 사용되도록 고안된 장치이다. 차단기의 종류중 하나인 진공차단기는 (Vacuum Circuit Breaker, VCB)진공 중의 높은 절연 내력과 차단 매체로서의 아크 확산을 통한 급격한 소호 및 환경오염물의 배출이 적어 초고압 진공차단기에 이르기까지 널리 사용되고 있다[1].

진공차단기는 진공 인터럽터부와 이를 구동시킬 수 있는 구동 메카니즘부로 구성되어있다. 진공 인터럽터부는 접점의 개폐시에 발생하는 아크를 소호시키는 역할을 하며, 구동 메카니즘부는 높은 가속과 큰 하중의 운동이 진행되는 진공 인터럽터의 가동부에서 요구되는 동역학적 특성을 구현할 수 있도록 한다. 개폐운동과 접점이 개방(opening) 상태로 지속 유지되도록 하는 과정에는 많은 특성들이 연관되어 있어 실제로는 정상 동작 및 유지에 많은 어려움이 존재한다.

이에 차단기 구동 메카니즘의 신뢰성을 높이는 연구가 중요하게 부각되고 있으며 Heising는 진공차단기에서 발생하는 문제점의 대부분이 기계적인 원인과 관련된 것으로 발표하였다[2].

최근 전력기에 전자식센서를 적용하는 기술은 전력분야 선진기술을 보유한 글로벌 회사에서 일부 상용화하고 있는 단계이므로 우리나라도 이 분야에 대한 기술적 우위를 가질 필요가 있어 기계적 연결구조의 보조 접점(MOC)을 이용하는 기존의 진공차단기에 전자식 센서 기술을 적용한 전자식 접점(EOC) 방식으로의 개발이 필요하다[3].

국내의 대부분의 발전소용 차단기는 기계적 연결 구조의 진공차단기 보조접점(MOC)를 적용하고 있어 보조접점을 구동시키는 레버 동작시 강한 충격으로 보조접점에서 반복적인 떨림 및 반동 현상이 발생하여 접점 오동작이 빈번히 발생할 수 있는 구조적 취약점을 가지고 있다[4,5]. 이에 본 연구진은 이러한 취약점을 개선하기 위하여 진공차단기의 기계식 보조접점을 비접촉식 전자식 센서동작을 입력 받아 릴레이 접점을 출력하는 전자식 보조접점을 개발하는데 최종 목표를 두었으며, 이 목표를 달성하기위해 우선적으로 본 연구에서는 진공차단기에 부착될 최적의 센서를 선정하기 위하여 발전소에 설치된 진공차단기의 현장 환경을 고려한 시

험, 즉 차단기 투입 및 개방시의 써지측정과 소음측정을 시험하였다[6,7].

그 다음으로 이 결과를 토대로 선정된 전자식 근접센서를 실제 현장의 진공차단기에 부착하여 현장에서 발생할 수 있는 가혹한 전기적 조건인 상용주파과전압 등 3가지 시험에 의해 발생하는 노이즈에 대하여 센서의 정상 동작 또는 정상상태 유지 등에 대한 동작 신뢰도를 시험하였다[8].

## II. 본 론

### 2.1. 센서 선정을 위한 차단기 써지 및 소음시험

가혹한 발전소 현장 환경에 가장 적합한 센서를 선정하기 위해 본 시험에서는 차단기 투입 및 개방시 발생하는 써지 크기에 대한 모의시험과 이에 수반되는 소음의 크기에 대한 실제시험을 실시하였다. 먼저, 운전 중인 진공차단기에 설치될 전자식 센서가 차단기 개폐써지에 의해 오동작할 가능성이 있으므로 써지의 영향을 모의실험하기 위하여 그림 1과 같은 시험회로로 검증하였다. 개폐 써지값의 정확한 측정을 위해 측정지점(Measurement Point)을 그림에서 보는바와 같이 차단기의 근접부로 하였다.

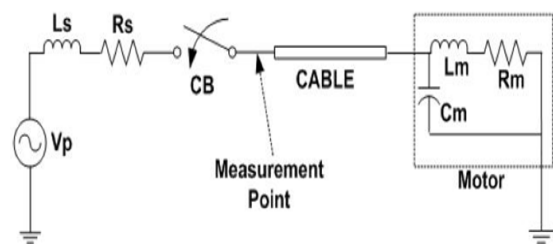


그림 1. 개폐써지 측정 회로도

Fig. 1 Opening and closing surge measurement circuit

그림 1의 시험회로를 토대로 진공차단기 투입시 써지를 측정할 파형은 그림 2와 같으며 오실로스코프에서 측정된 결과치를 표 1에 나타내었는데, 그림 2의 우측 파형은 좌측 파형중 차단기 투입 전후 써지부분(원형 점선)를 확대한 것으로 표 1의 결과치가 그래프로 표현된 것이다. 여기서, 최종 투입상은 B상이며 먼저 동작한 A상 및 C상의 써지 측정값 및 써지전압 상승시간이 정

상적인 정현파 전압에 비해 높게 나타났음을 위 표와 그래프를 통해 확인할 수 있었다.

표 1. 차단기 투입시 써지측정

Table. 1 Surge measurement in CB closing

구분	측정전압	써지전압 상승시간	비고
A상	2.03 pu	195 $\mu$ s	최종 투입상
B상	$\approx$ 1. pu	-	
C상	2.01 pu	215 $\mu$ s	

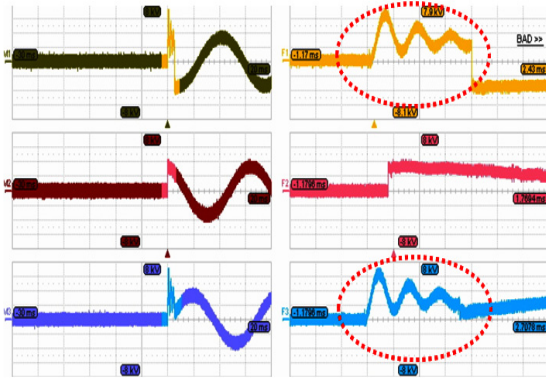


그림 2. 차단기 투입시 써지 측정 파형  
Fig. 2 Surge measurement graph in CB closing

동일한 그림 1의 시험회로를 이용하여 진공차단기 개방시 써지를 측정하였으며 오실로스코프에서 측정된 결과치를 표 2에 나타내었다. 이때 측정된 파형값은 그림 3의 우측파형에서 보는 바와 같이 A상 및 B상 측정 전압은 1pu 이하이고, C상의 측정전압은 1.38pu 이고 써지전압 상승시간은 30 $\mu$ s임을 위 표와 그래프를 통해 확인할 수 있었다.

표 2. 차단기 개방시 써지측정

Table. 2 Surge measurement in CB opening

구분	측정전압	surge 전압 상승시간	비고
A상	< 1 pu	-	
B상	< 1 pu	-	
C상	1.38 pu	30 $\mu$ s	

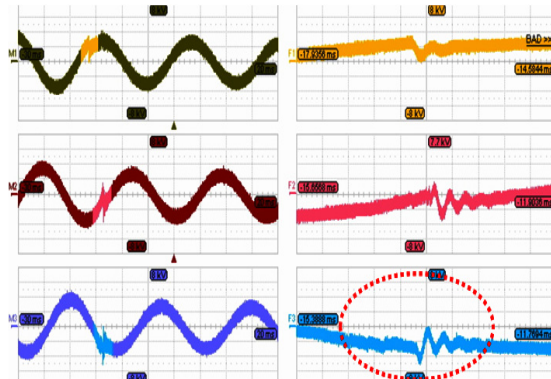


그림 3. 차단기 개방시 써지 측정 파형  
Fig. 3 Surge measurement graph in CB opening

위 두가지의 측정결과를 분석해보면, 개방시 써지 크기는 투입시와 비교하여 70% 정도이나 써지전압 상승속도는 4.2배( $v_{pu(close)} = \frac{195}{2.03} = 96.06$ ,  $v_{pu(open)} = \frac{30}{1.38} = 21.7$ ) 정도 빠른 것을 알 수 있다. 이 시험을 통해 투입시 보다 개방시 발생하는 써지가 진공차단기 전자식 보조접점에 더 많은 영향을 끼친다는 것이 확인 되었다.



그림 4. 차단기반 내부 소음 측정  
Fig. 4 VCB cubicle inside noise measurement

마지막으로, 진공차단기 투입 및 개방시에 발생하는 소음크기가 전자식 센서에 미치는 영향을 검증하기 위하여 그림 4와 같이 시험용 판넬에서 진공차단기 투입 및 개방시의 소음을 측정하였다. 측정결과, 진공차단기 투입시는 120dB, 개방시는 110dB정도의 소음이 측정 되었다. 상기 3가지 시험을 토대로 본 연구에서는 동작 신뢰성, 소음에 대한 간섭, 신호의 직진성, 외부환경에

의한 신호의 간섭, 센서 가격 등을 고려하여 초음파, 적외선, 근접 센서중 발전소 진공차단기 내부에 적용할 센서로 근접센서를 선정하였으며, 근접센서의 활용사례를 고려하여 아래 표 3과 같이 제조사를 SICK로 최종 선정하였다.

표 3. 전자식 근접 센서 제조사 비교

Table. 3 Maker comparison of electronic proximity sensor

제조국	독일	이탈리아	미국	한국
업체명	SICK	CONTRINEX	SENSOLUTION	KOINO
성능	상	상	상	중
기술력	상	상	상	중
가격 경쟁력	상	하	하	상
인증	CE, UL, IEC	CE, UL, IEC	CE, UL, IEC	CE, UL, IEC

2.2. 근접센서의 동작 신뢰성 모의시험

본 시험에서는 상기 시험을 통해 최종 선정된 근접센서를 발전소 현장에 설치할 경우 발생할 수 있는 전기적인 가장 가혹한 조건인 상용주파 과전압, 충격파 전압, 전류에 의한 자계 등의 3가지에 대하여 센서가 정상 동작하는지를 모의시험 하였다.

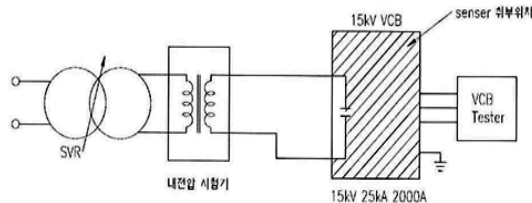


그림 5. 60kV 상용주파과전압 전계 잡음 시험 회로도  
Fig. 5 circuit diagram of electric field noise test in 60kV power frequency overvoltage

먼저, 센서를 설치 현장과 동일한 조건에서 시험하기 위해 그림 5의 시험 회로도 와 같이 진공차단기 프레임에 부착한 후 시험전압인 상용주파 과전압 60kV를 인가함으로써 발생하는 전계 노이즈에 대하여 센서가 오동작없이 정상 동작하는지를 측정하였다. 시험전압은 각 상마다 인가하여 측정하였으며, 만일 1(2)차 A(a) 상에 시험전압을 인가하는 경우 B(b),C(c)상 및 접지(F)상은 서로 접지한 후 시험하였다. 시험결과는 그림 6에서 보는 바와 같이 상용주파과전압이 인가된 상황

에서 진공차단기를 투입 및 개방한 경우 센서가 전압파형의 일그러짐이 전혀없이 정상적으로 동작함을 확인할 수 있었으며, 이 시험결과를 정리하여 표 4에 나타내었다.

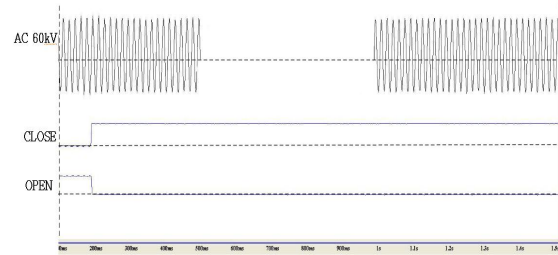


그림 6. 60kV 상용주파과전압 전계 잡음 시험파  
Fig. 6 electric field noise test wave in 60kV power frequency overvoltage

표 4. 60kV 상용주파과전압 전계 잡음 시험

Table. 4 electric field noise test in 60kV power frequency overvoltage

인가-접지	시험 전압	센서 취부위치	시험결과
Aa-BCbcF	60(kV)	진공차단기 프레임	상용주파과전압 전계 잡음에 영향 없음
Bb-AaCcF	60(kV)		
Cc-AaBb	60(kV)		

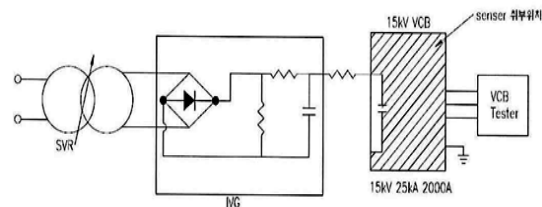


그림 7. 충격파 전압 잡음 영향에 대한 시험 회로도  
Fig. 7 test circuit diagram of impulse voltage noise effect

다음으로, 진공차단기가 투입 또는 개방된 상태를 유지한 상황에서 진공차단기에 충격파 이상전압을 인가할 경우 발생하는 전계 잡음에 대하여 센서의 투입 및 개방측 출력접점이 어떠한 변화를 일으키는지를 측정하기 위하여 센서를 진공차단기 프레임에 부착한 후 그림 7의 시험회로도와 같이 15kV 1.2x50µs의 충격파 전압을 인가하였다. 시험결과, 그림 8에서 보는 바와 같이 충격파 전압이 인가된 상태에서 센서의 투입 및 개

방측 출력접점이 전압파형의 일그러짐이 전혀없이 정상상태를 유지되고 있음을 확인할 수 있었으며, 그 시험결과를 정리하여 표 5에 나타내었다. 이때, 전압인가 방법은 앞의 시험방법과 동일하게 하였으며 정극성(+) 및 부극성(-)을 구분하여 모두 측정하였다.

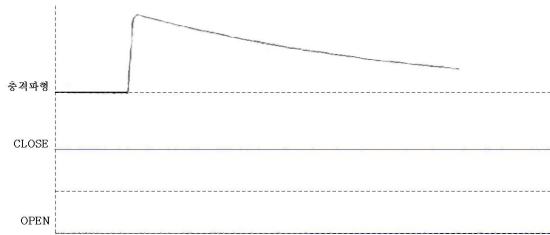


그림 8. 충격파 전압 잡음 영향에 대한 시험파  
Fig. 8 test wave of impulse voltage noise effect

표 5. 150kV 충격주파 전계 잡음 시험  
Table. 5 electric field noise test in 150kV impulse frequency

인가-접지	극성	파형 (us)	시험 전압	시험결과	비고
Aa-BCbcF	정극성	1.2 x 50	150 (kV)	충격파 전계 잡음에 영향 없음	센서는 진공차단기 프레임에 취부하였음
	부극성				
Bb-AaCcF	정극성				
	부극성				
Cc-AaBb	정극성				
	부극성				

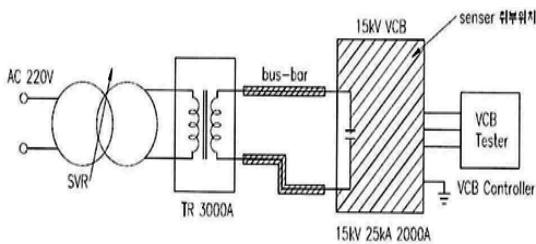


그림 9. 2500A 전류에 의한 자계 잡음 test 회로도  
Fig. 9 electric field test circuit diagram by 2500A current

마지막으로, 진공차단기에 인가되는 정상전류를 초과하는 크기의 전류에 의하여 발생하는 자계 노이즈의 영향을 측정하기 위하여 그림 9의 회로도 와 같이 센서를 진공차단기 프레임 및 부스바에 부착한 후 2500[A] 시험전류를 인가한 상태에서 진공차단기를 투입 및 개방하였을 경우에 발생하는 자계 노이즈에 대한 센서의

영향을 측정하였다. 시험결과, 그림 10에서 보는 바와 같이 2500A의 연속전류(좌측) 및 돌입전류(우측)에 대하여 진공차단기의 투입 및 개방시의 전압파형이 전혀 일그러짐 없이 센서가 정상 동작함을 확인할 수 있었으며, 그 시험결과를 정리하여 표 6에 나타내었다.

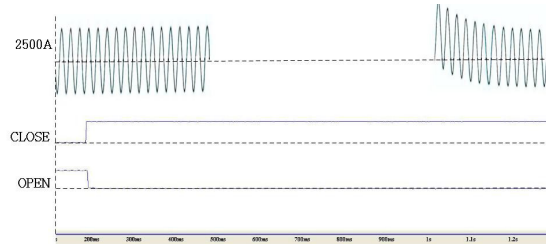


그림 10. 2500A 전류에 의한 자계 잡음 시험파  
Fig. 10 electric field noise test wave by 2500A current

표 6. 2500A 전류에 의한 자계 잡음 시험  
Table. 6 electric field noise test by 2500A current

인가-접지	시험전류	센서 취부위치	시험결과
Aa-BCbcF	2500(A)	진공차단기 프레임 & 부스바 표면	전류에 의한 자계 잡음에 영향 없음
Bb-AaCcF	2500(A)		
Cc-AaBb	2500(A)		

### III. 결 론

현재 발전소에서 운영중인 진공차단기의 기계식 접점은 차단기 개폐동작시 강한 충격에 의해 오동작하는 구조적인 취약점 갖고 있다. 본 연구는 이를 개선하기 위해 일부 글로벌 기업에서만 상용화하고 있는 전자식 센서 기술을 전력기기에 적용하는 최신의 기술을 토대로 전자식 접점을 진공차단기에 부착하여 발전소 현장의 운전상황을 고려한 전기적 시험을 시행함으로써 센서의 동작 신뢰성을 확인하고자 하였다.

1. 차단기 투입 및 개방시 개방시의 써지전압 상승속도가 투입시보다 4.2배 빠른 것으로 측정되었다. 그러므로 투입시 보다 개방일 때 써지가 진공차단기 전자식 보조접점에 더 많은 영향을 끼친다는 것을 알 수 있었다.
2. 진공차단기 투입 및 개방시 소음측정은 각각 120dB, 110dB로 측정되었다.
3. 상용주파과전압 60kV를 인가하였을 때 진공차단기

- 투입 및 개방시 센서에서 출력되는 파형은 일그러짐이 없이 정상적으로 동작하였다.
4. 150kV 1.2×50μs의 충격파를 인가하였을 때 센서의 투입 및 개방측 출력접점은 전압파형이 일그러짐이 없이 정상상태를 유지하였다.
  5. 진공차단기에 2500A의 대전류를 인가하였을 때의 자계 잡음을 측정된 결과, 전압파형이 일그러짐이 없이 센서가 정상적으로 동작하였다.

위 실험을 통해 검증된 센서를 활용하여 진공차단기 전자식 접점을 개발함으로써 외국제품에 비하여 고성능의 저원가설비를 사용하게 됨은 물론 원가절감 및 국내 원천기술의 개발로 신뢰성있는 제품을 확보 할 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] J.H.Hwang, J.C.Lee, Y.J.Kim,"Effects of Electrode Configurations on the Characteristics of Axial magnetic Fields in Vacuum Interrupter", *Transactions of the Korean Society of mechanical engineers* P7-P8, 2008.
- [2] H.Y. Cho,L.Yu,"Optimal Design of Vacuum Circuit Breaker with Permanent Magnetic Actuator", *J.of Industrial Science Technology and Institute*, Vol.20,No.2, pp.69-78, 2006.
- [3] I.M.Kim, J.H.Kim, S.H.Lee,"Switching Surge Analysis of Vacuum Circuit Breaker at Power Plant distribution lines", *International Conference on Electrical Engineering* pp. 2179-2182, 2002.
- [4] Flurschein, Charles. H, *Power circuit breaker theory and design, IEE Power Engineering Series1*, Chapter8, pp.356-P389.
- [5] D.C. Bacvaro et al., "Risk of winding Insulation Breakdown in Large AC Motors Caused by Steep Switching Surge; Part 1, Computed Switching Surges", *IEEE Trans. EC*, Vol. 1, No. 1, pp. 130-137, March 1986.
- [6] "Testing Turn-to-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating Current Rotating Electric Machines", *IEEE Standard 522-1992*.
- [7] J.G.Kim,"Surge Characteristics Analysis and Reduction Method of Vacuum Circuit Breaker", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers* pp.190-191, 2013.
- [8] Munir, B.S. Kadir, S.A. , "Application of Surge Arrester on Vacuum Circuit Breaker ", *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 2012 Asia-Pacific pp.1-4, 2012.



**이기선(Ki-Seon Lee)**

2002년 8월 인천대학교 전자공학과(학사)  
 2011년 8월 한양대학교 전기공학과(석사)  
 2013년 3월 ~ 현재 가천대학교 전기공학과(박사과정)  
 1995년 12월 ~ 현재 한국남부발전(주) 신인천발전본부 근무  
 ※관심분야 : 반도체, 광전소자



**박정철(Jung-Cheul Park)**

1983년 명지대학교 전자공학과 학사  
 1892년 명지대학교 전자공학과 석사  
 2000년 명지대학교 전자공학과 공학박사  
 2007년 ~ 현재 : 가천대학교 전자공학과 교수  
 ※관심분야 : 반도체, 광전소자



**추순남(Soon-Nam Chu)**

1980년 명지대학교 전자공학과 학사  
 1984년 명지대학교 전자공학과 석사  
 2000년 경원대학교 전기전자공학부 (공학박사)  
 2007년 ~ 현재 : 가천대학교 전기공학과 교수  
 ※관심분야 : 반도체, 광전소자