

서지에 대한 누전차단기의 오동작 특성

송재용* · 한주섭* · 박대원* · 서황동* · 길경석*

Malfunaction Characteristics of Earth Leakage Circuit Breakers against Electrical Surges

Jae-Yong Song* · Joo-Sup Han* · Dae-Won Park* · Hwang-Dong Seo* · Gyung-Suk Kil*

요 약

저전압 전력계통에 사용되는 누전차단기의 서지에 대한 오동작은 심각한 문제이다. 본 논문에서는 누전차단기의 서지에 대한 영향을 분석하기 위하여 IEC 61009-1와 KS C 4613 규격에 따라 누전차단기를 시험하였다. 서지전압 시험은 국내의 규격에 모두 적용되고 있으며, 서지전류 시험에 대해서는 국제규격 IEC 61009-1에만 규정되어 있다.

실험결과로부터 누전차단기는 서지전압에 대해서는 강인하지만 서지전류에 대해서는 오동작을 발생시켰다. 실제로 누전차단기가 설치되어 있는 환경에서는 서지전류의 침입이 빈번하므로, 누전차단기는 서지전류에 의한 오동작 시험이 수행되어야 하며, 국내규격에도 누전차단기 시험에 서지전류에 의한 평가를 포함하여야 할 것이다.

ABSTRACT

Malfunaction by electrical surges is a serious problem on earth leakage current breakers(ELBs) used in a low voltage AC power system. In this paper, we tested ELBs according to IEC 61009-1 and KS C 4613 to analyze surge influence on ELB's malfunaction. The test by application of surge voltage is specified both standards, but the test by application of surge current is specified only in IEC 61009-1.

The experimental results showed that the ELBs used in this test are robust to surge voltage application, but the malfunaction occurred to surge current application. Surge current is more frequent than surge voltage in actual situation. Therefore, ELBs should be tested by the surge current, and the domestic standard, KS C 4613, should includes a test procedure by the surge current application.

키워드

Malfunaction, Electrical Surges, Earth Leakage Current Breakers(ELBs), IEC 61009-1, KS C 4613

1. 서 론

저전압 회로에서는 누전으로 인한 인명 감전사고 및 화재예방을 위하여 누전차단기를 설치하고 있다[1]. 누전차단기의 설치로 감전사고 및 화재사고는 현저히 감소하였지만, 누전차단기의 오동작으로 인한 순간정전 및 전압강하로 전자기기에 전

원을 안정적으로 공급하지 못함으로 인하여 막대한 경제적 손실을 초래하고 있다. 따라서 누전차단기의 오동작을 규명하고, 이에 대한 대책을 마련함으로써 전원공급의 신뢰성을 높이는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다. 최근 오동작에 대한 실태 조사를 비롯하여 원인 규명에 대한 많은 연구가 진행되고 있으나 명확한 오동작의 원인과 대책을 내

놓고 있지 못한 실정이다[2],[3].

특히 현재 저전압 회로에는 반도체 및 집적회로 기술의 발달로 서지 및 노이즈에 대한 내성이 취약한 전자기기들의 적용이 급증하고 있으며, 이들 기기의 보호를 위하여 가스튜브, 바리스터, 제너다이오드 등의 서지 대책소자들을 내장하거나, 선로와 대지간에 설치하는 예가 늘고 있다. 이는 대지로의 누설전류를 증가시키는 요인으로 작용하며, 외부로부터 서지가 침입할 경우 서지 대책소자의 보호 동작에 따른 서지전류로 인하여 오동작의 원인을 제공하기도 한다. 따라서 외부로부터 침입하는 서지에 대하여 오동작하지 않는 충격과 부동작형 누전차단기를 설치해야 한다. 누전차단기의 서지에 대한 부동작 특성은 국내규격인 KS C 4613, 국제규격 IEC 61009-1에 제시된 부동작 특성시험을 만족해야 한다[4],[5].

본 논문에서는 누전차단기의 동작원리 및 오동작 원인을 분석하고, 국내의 규격을 적용하여 서지전압·전류에 대한 누전차단기의 오동작 특성을 평가하였다.

서지에 대한 오동작 특성을 평가하기 위하여 국제규격의 조합형 서지발생장치(1.2 / 50 μ s 10 kV, 8 / 20 μ s 5 kA)를 이용하였으며, 진동성 서지(0.5 μ s / 100 kHz) 및 1.2 / 50 μ s 서지전압(유효 임피던스 500 Ω) 인가를 위하여 3가지 타입의 서지발생장치를 제작하였다.

오동작 특성평가에 사용된 누전차단기는 현재 시중에 사용되고 있는 30 A급으로 3개사 제품을 각각 3개씩 사용하여 서지에 대한 오동작 특성을 평가하였다.

II. 누전차단기의 원리 및 오동작 원인

1. 누전차단기의 원리

누전차단기의 기본 구성은 자동차단기에 누전검출기가 추가되어, 감전사고 방지, 과전류와 단락사고를 동시에 보호할 수 있는 것이다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 전류 구동형 누전차단기의 기본 구성을 그림 1에 나타내었다.

전류 구동형 누전차단기는 ① 각상에 흐르는 전류의 불평형 검출을 위한 영상변류기(ZCT : Zero Phase Current Transformer)로 구성되는 검출부, ② 누전 여부를 판단하고 구동부에 구동 신호를 주는 신호처리 및 판별부, ③ 릴레이, 트랜지스터 등으로 구성되는 구동부, ④ 회로차단을 위한 스위치로 구성되는 동작부, ⑤ 전원공급을 위한 직류전원 공급부로 구성된다.

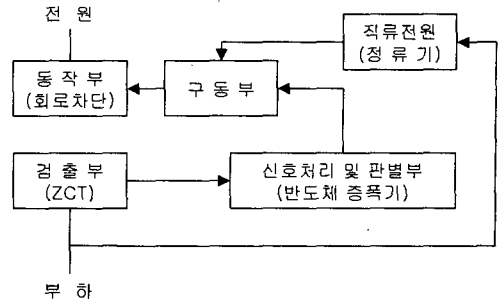


그림 1. 누전차단기의 구성
Fig 1. Configuration of an ELBs.

누전차단기의 동작원리는 영상변류기를 통하여 각상에 흐르는 불평형 전류를 검출하고, 차동증폭회로, 적분회로, 비교회로를 거쳐 감도전류 이상의 값인지 여부를 판단하고, 감도전류 이상의 값일 경우 비교회로에서 스위칭 소자에 트리거 펄스 신호를 주어 스위칭 소자를 구동시킨다. 스위칭 소자에 구동전류가 흐르면 소형 릴레이 또는 트랜지스터와 같은 스위칭 소자를 동작시켜 회로를 차단하게 된다. 일련의 과정에 걸리는 시간은 0.03초 이내로 차단되어야 하며, 일반적으로 감전보호 및 화재 방지용으로 설치되는 고감도 누전차단기의 경우에는 감도전류를 30 mA로 규정하고 있다.

2. 누전차단기의 오동작 원인

일반적으로 알려진 누전차단기의 오동작 원인은 내부적인 요인과 외부적인 요인으로 구분할 수 있다. 내부적인 요인으로는 내부 구조의 불량, 구동부의 불량 등 제조상의 결함이 대부분이다. 외부적인 요인으로는 외부로부터 침입하는 서지에 의한 것, 전력선 모뎀에서 이용하는 고주파 신호원이나 필터에 의해 생성되는 고주파 노이즈, 배선과정에서 발생하는 케이블 상호간의 표류 정전용량에 의한 것, 인버터 회로가 내장된 가전기기의 사용에 의한 것, 각종기기에 설치된 서지 대책소자의 보호동작에 의한 것, 누전차단기를 병렬로 설치하는 것에 의해 순환전류가 발생하여 오동작시키는 것 등으로 알려져 있다. 내부적 요인으로 인한 오동작은 기술력 제고 등의 노력으로 대부분 우수한 특성을 가지므로 오동작의 원인 중 대부분은 외부적 요인에서 찾을 수 있다. 특히 오동작의 많은 부분을 차지하는 것은 외부로부터 침입하는 서지에 의한 것이 대부분이다. 오동작을 유발하는 서지의 침입 경로는 영상변류기를 매개로 한 2차측으로의 침입, 차단을 위한 구동회로용 전원회로를 통한 침입, 서지전압 또는 전류에 의한 정전적, 전자적 결

합에 의한 검출회로에의 침입 등을 생각할 수 있다⁶⁾.
 누전차단기와 관련된 국내의 규격에서는 상기의 오동작 원인 특히, 서지의 침입에 의한 오동작이 발생하지 않아야 하는 충격과 부동작형으로 정의하고 있다^{4),15)}.

III. 실험장치의 구성

누전차단기 오동작과 관련하여 서지에 의한 부동작 특성은 국제규격 IEC 61009-1 및 국내규격 KS C 4613에서 규정하고 있다. 국내 규격에서는 표준 뇌서지 전압 파형인 1.2 / 50 μ s 7 kV의 전압을 인가하여 오동작을 발생하지 않아야 한다.

IEC 61009-1에서는 인가되는 서지 파형을 표준 뇌서지 전압 파형 1.2 / 50 μ s 6 kV 및 8 kV(유효 임피던스 500 Ω), 서지전류 파형 8 / 20 μ s 3 kA, 진동성 서지전류 0.5 μ s / 100 kHz 200 A로 규정하고 있다.

따라서 본 연구에서는 IEC 61009-1 및 KS C 4613의 규격을 적용하여 30 A급 누전차단기를 대상으로 서지에 대한 누전차단기의 부동작 특성을

시험하였다.

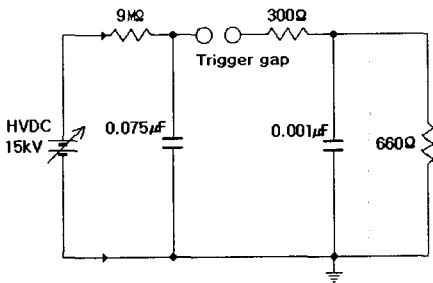
1. 서지발생장치의 제작

누전차단기의 부동작 특성평가를 위해서는 국내의 규격에 정의된 서지 파형을 정확히 인가하여야 한다. 따라서 규격에 적합한 서지전압·전류 인가를 위하여 3종의 서지발생장치를 설계·제작하였다.

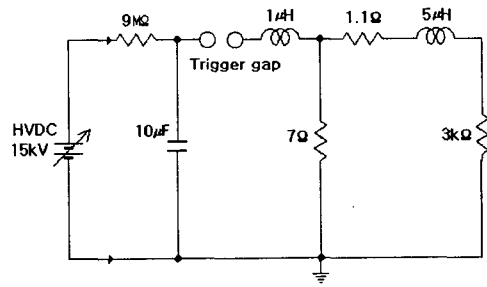
먼저 표준 뇌서지 전압 인가를 위하여 1.2 / 50 μ s 8 kV를 인가할 수 있는 서지전압 발생장치를 그림 2와 같이 구성하였다.

IEC 규격에서는 1.2 / 50 μ s의 서지전압 발생장치의 유효임피던스를 500 Ω 로 정의하고 있으며, KS C 규격에서는 단순히 전압의 크기만을 규정하고 있기 때문에 유효 임피던스 500 Ω 을 갖도록 제작하였다. 이 때 발생하는 서지전류는 약 12 ~ 16 A로 대단히 적은 전류가 발생한다.

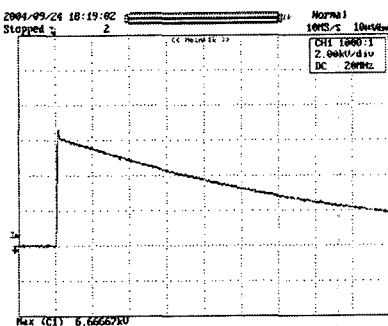
8 / 20 μ s 서지전류 발생장치는 IEC 61000-4-5에 규정된 조합형 서지발생장치의 형태로 제작하였다¹⁷⁾. 서지발생장치의 구성은 그림 3과 같으며, 출력은 전압 1.2 / 50 μ s 10 kV, 전류 8 / 20 μ s 5 kA의 값을 갖는다. 3 kA의 서지전류를 인가하기 위해서



(a) 회로도

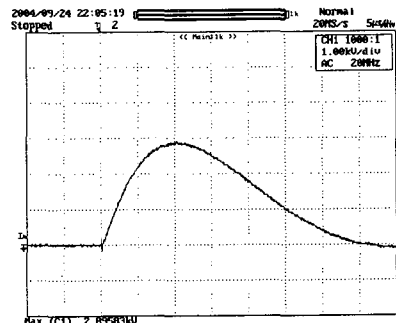


(a) 회로도



(b) 출력파형

그림 2. 1.2/50 μ s 서지전압 발생장치의 구성
 Fig 2. Schematic diagram of the 1.2/50 μ s surge voltage generator.

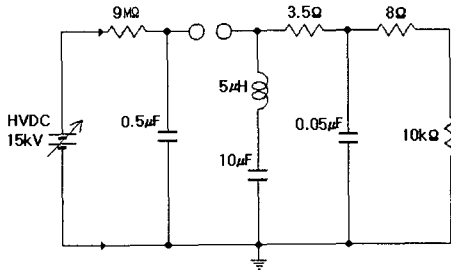


(b) 출력 파형

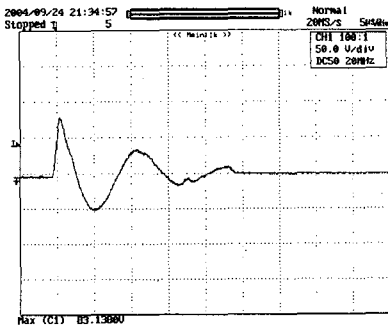
그림 3. 조합형 서지발생장치의 구성
 Fig 3. Schematic diagram of the combination type surge generator.

는 먼저 1.2 / 50 μ s 6 kV의 전압을 인가하고, 이후 절연파괴 또는 서지 대책소자의 동작으로 8 / 20 μ s 3 kA의 전류가 흐르게 된다. 이 파형은 주로 에너지 내량에 대한 시험에 적용되는 파형으로 국내 규격에서는 전류에 대한 언급은 없으며, 국제규격인 IEC 규격에만 정의되어 있는 시험항목이다.

진동성 서지전류에 대한 부동작 특성평가를 위하여 그림 4와 같이 0.5 μ s / 100 kHz 200 A를 발생시킬 수 있는 서지발생장치를 설계·제작하였다. 특히, 서지전압 및 전류의 형태가 앞서 기술한 단극성으로만 나타나는 것이 아니기 때문에 진동성 서지전류에 대한 평가가 꼭 필요하다. 진동성 서지전류에 대한 시험 규정도 IEC 61009-1 규격에만 정의되어 있다.



(a) 회로도



(b) 출력 파형

그림 4. 진동성 서지발생장치의 구성

Fig 4. Schematic diagram of the ring wave surge generator.

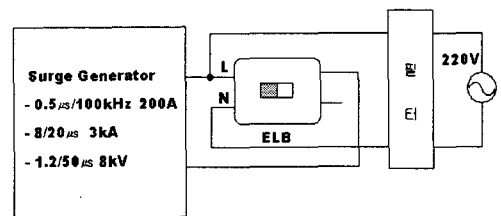
2. 시험회로의 구성

시험에 사용된 누전차단기는 동일한 동작 특성을 갖는 3개 제조사의 제품을 각각 3개씩 총 9개를 대상으로 하였으며, 특성을 표 1에 나타내었다. 시험에 사용된 시료는 충격파 부동작형 고감도 누전차단기로 내부회로 보호를 위한 서지 대책소자를 내장하고 있다.

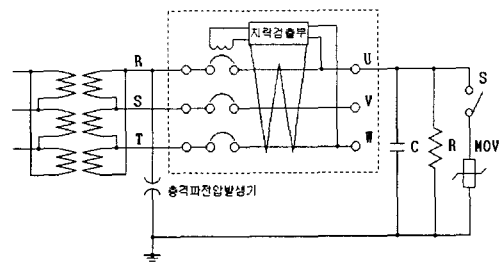
3가지 형태의 서지발생장치를 구성하고 IEC 61009-1 및 KS C 4613에 명시된 시험회로를 그림 5와 같이 구성하여 누전차단기의 오동작 특성을 평가하였다. 시험방법으로는 누전차단기의 동작을 위한 전원을 공급한 상태에서 서지전압·전류를 인가하였다. IEC 규격에서는 별도의 부가회로 없이 부동작 특성 시험을 수행하였으며, KS C 규격에서는 부하회로에 대한 특성을 모의하는 것으로 정전용량 및 부하저항을 설치하고 부동작 특성을 평가하였다.

표 1. 시험 누전차단기의 사양
Table 1. Specifications of the ELBs

항 목	정 격
전압/전류	AC 220 V, 30 A
감도 전류	30 mA
부동작전류	15 mA
동작 시간	0.03초 이내
차단 전류	1.5 kA
동작 형태	전류 구동형



(a) IEC 61009-1



(b) KS C 4613

그림 5. 시험회로의 구성

Fig 5. Configuration of the test circuit.

그림 5(a)와 같이 구성된 시험회로에서는 1.2 / 50 μ s 6 kV 및 8 kV의 서지전압, 8 / 20 μ s 3 kA의 서지전류 및 0.5 μ s / 100 kHz의 진동성 서지전류를

인가하여 오동작 특성을 평가하였다.

그림 5(b)와 같이 KS C 4613에 정의된 시험회로에는 1.2 / 50 μ s 7kV의 서지전압만을 인가하여 특성을 평가하였다.

IV. 시험결과 및 분석

외부로부터 침입하는 서지전압 및 전류에 대한 누전차단기 오동작 특성평가를 위하여 3종의 서지발생장치를 제작하고, 국내의 시험규격에 의거 누전차단기의 오동작 특성을 평가하였다.

실험결과로부터 비교적 낮은 서지전류가 인가되는 0.5 μ s / 100 kHz 진동성 서지전류에 대해서는 시험대상인 3개사 9개 제품 모두 오동작을 발생시키지 않아 IEC 61009-1의 시험규격을 만족하였다. 이는 서지전류의 크기가 200 A로 비교적 낮은 전류값을 가지기 때문으로 판단된다.

1.2 / 50 μ s 서지전압 인가시험은 IEC 규격에서는 각각 6 kV 및 8 kV의 전압을 인가하도록 정의되어 있으며, KS C 규격에서는 7 kV의 전압을 인가하는 것으로 규정되어 있다. 국내의 규격을 시험조건을 고려하여 6~8 kV의 서지전압을 인가한 결과 모든 시료에서 오동작을 일으키지 않는 우수한 특성을 나타내었다. 이는 IEC 61009-1 규격에 의거하여 서지임피던스 500 Ω 을 갖는 서지발생장치를 이용하였기 때문에 전류값이 최대 16 A로 극히 낮기 때문으로 판단된다.

8 / 20 μ s 서지전류에 대한 오동작 특성평가를 위하여 국제규격의 조합형 서지발생장치를 이용하여 3 kA의 서지전류를 인가하였다. 8 / 20 μ s 서지전류를 인가하였을 때 시험결과는 표 2와 같이 나타났다. 시험 대상 중 C사의 제품만 오동작이 발생하지 않았다. A사와 B사의 제품은 시험 대상 3종의 제품에서 모두 오동작이 발생하였고, 오동작을 일으키는 전류의 크기도 1 kA 이하의 비교적 낮은 범위에서 관측되었다. 실험결과로부터 절연 파괴가 일어나지 않는 전압 범위에서는 서지전류의 크기가 작은 경우 누전차단기는 오동작을 일으키지 않았으며, 전류의 크기가 대단히 큰 8 / 20 μ s 서지전류를 인가하는 경우에는 1개사 3개 제품을 제외한 6개의 시료에서 오동작이 발생하여 국내 KS C 규격은 만족하지만, 국외 IEC 규격은 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

이러한 실험결과로 볼 때 누전차단기의 오동작에 직접적인 영향을 주는 것은 서지전류의 크기가 중요한 요소로 판단되며, 국내규격에도 서지전류에 대한 부동작 특성시험 항목을 추가할 필요가 있

표 2. 8/20 μ s 서지전류 시험결과
Table 2. Test results for the ELBs to the 8/20 μ s surge current.

시 료	오동작여부	오동작 발생 전류	
A사	1	○	1.5 kV / 700 A
	2	○	2 kV / 950 A
	3	○	1 kV / 500 A
B사	1	○	2 kV / 960 A
	2	○	3 kV / 1.5 kA
	3	○	2 kV / 960 A
C사	1	×	-
	2	×	-
	3	×	-

○ : 오동작 발생, × : 오동작 발생하지 않음

을 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 논문에서는 각종 서지전압 및 전류에 대한 누전차단기의 오동작 특성평가를 수행하였다.

특성평가를 위하여 3종의 서지발생장치를 설계·제작하고, 시중에 사용되는 3개사의 제품을 시료로 IEC 61009-1 및 KS C 4613에 규정된 충격과 부동작 특성시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 서지전압 인가시험에서는 IEC 61009-1과 KS C 4613에 명시된 전압의 크기가 각각 다르므로 두 가지에 대한 시험을 수행하였다. 시험 결과 1.2 / 50 μ s 6 kV, 7 kV, 8 kV에서 모두 오동작이 발생하지 않아 국내외 시험 규격을 만족하였다.
2. 0.5 μ s / 100 kHz 진동성 서지전류 시험 결과, 시험에 사용된 모든 시료에서 오동작이 발생하지 않았다.
3. 8 / 20 μ s 3 kA 서지전류 인가시험에서는 C사의 제품만이 오동작을 발생시키지 않았으며, A사와 B사의 제품은 낮은 전류인 1 kA 이하에서 오동작하는 경향을 나타내었다.

결론적으로 국내에서 판매되는 누전차단기는 국내 시험규격은 만족하나, 실제 누전차단기가 설치되어 있는 전원계통에서 많이 발생하는 서지전류(8 / 20 μ s)에 대하여는 오동작을 나타내므로 국제시험규격을 만족하지 않음은 물론 실적용에 있어서도 많은 오동작이 예측되므로 이에 대한 대책이 수

립되어야 한다.

참고문헌

- [1] 대한전기협회, "전기관계법령집", 대한전기협회 출판부 2003. pp.197-198.
- [2] 日本電氣學會, "漏電しゃ斷器の動作信頼度とその向上策", 電氣學會技術報告Ⅱ部, No. 116, 1981, pp.11-95.
- [3] R. Odenberg and B. J. Braskich, "Measurements of Voltage and Current Surges on the AC Power Line in Computer and Industrial Environments", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 10. pp.2681-2688, 1985. 10.
- [4] KSC4613 : 누전차단기, 1994.
- [5] IEC 61009-1 Residual current operated circuit - breakers with integral over current protection for household and similar uses - Part 1 : General rules, 1999.
- [6] 渡遠 信公, "漏電遮斷器のサージ誤動作に影響を及ぼす各種要因の實驗的検討", 電氣學會 妨電・高電壓研究會 研究資料, ED-89-116, pp.107-116, 1989.
- [7] IEC 61000-4-5 Testing and measurement techniques - Section5 : Surge immunity test 1999.

저자소개



송재용(Jae-Yong Song)

1997년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학사
 1999년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학석사
 1999년 3월 - 현재 한국해양대학교 전기전자공학과 박사과정
 ※ 관심분야 : 서지방호기술, 전력설비 열화진단기술

비 열화진단기술



한주섭(Joo-Sep Han)

1997년 2월 부경대학교 제어계측공학과 공학사
 1999년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학석사
 2003년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학박사

※ 관심분야 : 고전압 발생 및 계측, 파괴기 열화진단기술



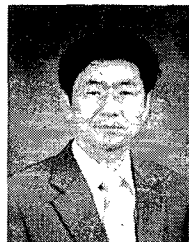
박대원(Dae-won Park)

2003년 8월 한국해양대학교 전기공학과 공학사
 2003년 9월 - 현재 한국해양대학교 전기전자공학과 석사과정
 ※ 관심분야 : 서지 방호기술



서황동(Hwang-Dong Seo)

2002년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학사
 2004년 3월 - 현재 한국해양대학교 전기전자공학과 석사과정
 ※ 관심분야 : 전력설비 열화진단기술



길경석(Gyeong-Suk Kil)

1984년 2월 인하대학교 전기공학과 공학사
 1987년 8월 인하대학교 전기공학과 공학석사
 1996년 2월 인하대학교 전기공학과 공학박사
 1996년 4월 - 현재 : 한국해양대학교 전기전자공학부 부교수
 ※ 관심분야 : 서지방호기술, 전력설비 열화진단기술