DBpia

Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2015) 29(8) : 49~54
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2015.29.8.049 ISSN 1229-4691(Print) ISSN 2287-5034(Online)
논문 29-8-7

저압 배선용차단기 절연회복특성 파악을 위한 절연회복전압 측정기법 연구

(Study on Measurement Method of Dielectric Recovery Voltage to analysis Dielectric Recovery Characteristic of Molded Case Circuit Breaker)

송태헌* · 조영만 · 고광철**
(Tae-Hun Song · Young-Maan Cho · Kwang-Cheol Ko)

Abstract

Molded Circucit Breaker(MCCB) is a most widely used device to protect loads from the over-current in low power level distribution system. When the MCCB interrupts the over-current, the arc discharge occurred between fixed contact and moving contact to create hot gas. By the Lorentz force due to arc current, the occurred arc is bent to the grids. The grids extend and cool and divide it for arc extinguish. In the majority cases, the MCCB protects loads by interrupting the over-current successfully but in some cases the re-ignition is occurred by hot-gas created during process of interruption. The re-ignition arises when the recovery voltage(RV) is more higher than the recovery strength between contacts and it leads to interruption fault. Therefore to find out the dielectric recovery characteristics of protecting device has a great importance for preventing interruption fault. In this paper, we studies measurement method of the dielectric recovery characteristics considering inherent attribute of the MCCB. To measure the dielectric recovery characteristic of MCCB, we makes an experiment circuit for applying the over-current and the randomly recovery voltage. The measurement methode to find out the dielectric recovery voltage of the MCCB was established and the result was based on experiment results.

Key Words : Dielectric Recovery Characteristic, Molded Case Circuit Breaker, Measurement Method

1. 서 론

저압 배선용차단기(Molded Case Circuit Breaker, MCCB)는 배전계통에서 주로 사용되는 차단기로써, 과전류 또는 단락전류가 부하로 유입되는 것을 막아 부하를 보호하는 기기이다. MCCB는 크게 과전류를 감지하는 트립부와 전극 및 그리드로 구성된 소호부,

* Main author : Dept. of Electrical Eng., Hanyang Univ., Korea
** Corresponding author : Professor, Dept. of Electrical Eng., Hanyang Univ., Korea
Tel : 02-2220-0348, Fax : 02-2220-1886
E-mail : kwang@hanyang.ac.kr
Received : 2015. 5. 18
Accepted : 2015. 6. 19

Copyright ⓒ 2015 KIIEE All right's reserved
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.

www.dbpia.co.kr

그리고 소호부를 작동하기 위한 구동부로 구분된다. MCCB로 트립전류(Trip current) 이상의 과전류가 유입 시, 트립부에서 이를 감지하고 구동부를 조작하여 소호부의 가동전극을 고정전극으로부터 분리시킨다[1]. 접점이 분리되며 가동전극과 고정전극 사이에서 아크방전이 발생하며, 이때 발생하는 아크전류의 크기에 따라 로렌츠 힘(Lorentz force)이 발생하고 이 힘에 의해 아크는 그리드(Grid)로 유입된다[2]. 그리드에 닿은 아크는 그리드에 의해 신장 및 냉각, 분할되어 소호되며, 이 과정을 통해 MCCB는 과전류를 차단한다.

하지만 차단과정에서 발생한 고온/고압 아크는 접점 및 그리드를 손상시키며 소호부 극간의 공기분자들을 전리시키고 가열하여 열가스(Hot-gas)를 생성한다[3]. 일반적으로 전류영점에서 과전류를 차단한 뒤 소호부 극간에서는 절연회복과정을 거쳐 정상상태의 절연내력(Dielectric strength)을 회복한다. 하지만 소호과정에서 발생한 열가스에 의해 절연내력이 감소하고 절연회복 속도가 느려진 경우에 시스템 전압에 의한 회복전압(Recovery Voltage, RV)이 소호부 극간이 가지는 고유의 절연회복전압(Dielectric Recovery Voltage, DRV)을 넘는 경우 분리된 가동전극과 고정전극 사이에서 아크가 다시 발생하는 재점호(Re-ignition)현상이 발생하여 과전류 차단이 실패하게 된다.

재점호로 인해 과전류 차단이 실패하는 경우, 생활에 밀접한 가정 및 시설 등의 저압배전계통에 설치된 MCCB가 부하를 보호하지 못하여 큰 피해를 유발시킬 수 있다. 따라서 MCCB와 같은 보호기기의 절연회복과정 및 특성을 파악하는 것은 재점호에 따른 사고를 미연에 방지하고, 차단 신뢰성을 확보하기 위해 중요성을 가진다.

기존의 전류영점 이후 열가스에 의한 절연회복특성에 대한 연구는 대부분이 단순한 전극구조에서 이루어져 왔지만[4-5], MCCB의 전극구조는 아크소호를 위한 그리드로 인해 그 특성이 다르다. 따라서 본 논문에서는 MCCB의 동작특성과 차단특성을 고려하여 소호부 극간의 절연회복을 측정하는 회로를 구성하여 실험을 진행하였고, 실험결과에서 전류영점 이후 열가스에 의해 영향을 받는 절연회복전압을 측정하였으며 이를 바탕으로 측정기법을 연구하였다.

2. 절연회복과정 및 특성

단순한 전극구조로 전류영점 이후의 열가스에 의한 절연회복과정은 그림 1의 개략도와 같다.

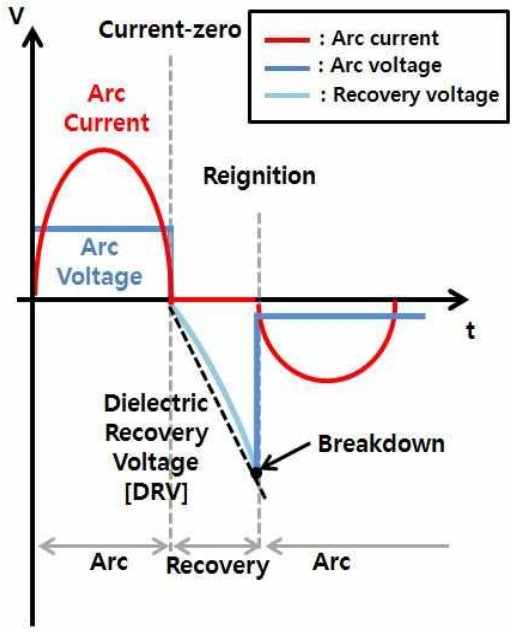


Fig. 1. Schematic of dielectric recovery process

전극 간에 아크가 발생하면 아크전류가 흐르고 낮은 아크전압이 발생한다. 아크전류가 전류영점에서 소호되면 극간에 시스템 전원에 의한 회복전압(RV)이 극간에 인가되고 이 전압이 아크방전 이후 극간에서 회복되고 있는 절연내력(DRV)보다 높아지면 극간에 재점호가 발생하여 다시 아크가 흐르게 된다[6].

3. MCCB의 동작 및 차단특성

그림 2 MCCB 차단부의 개략도에서 보이는 것과 같이 MCCB의 소호부는 고정전극과 가동전극, 그리드로 구성되어 있다. 가동전극과 고정전극은 MCCB가

www.dbpia.co.kr

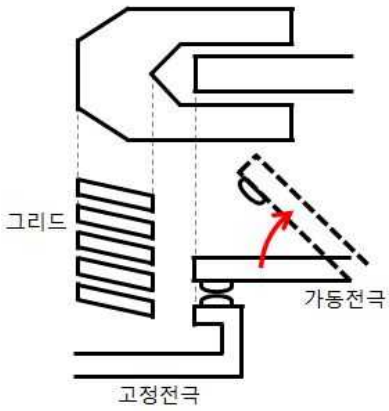


Fig. 2. Schematic for Interrupter of MCCB

ON되어 있을 때 서로 붙어 있는 구조를 취하고 있다가 트립부에서 과전류를 감지하면 가동전극이 떨어진다. 접점이 분리되기 시작하면 동시에 아크가 발생하게 되고, 아크전류에 의해 발생한 로렌츠 힘에 의해 그리드 쪽으로 휘어진다.

MCCB와 단순전극과의 차이점은 단순전극구조는 그리드가 없고 이격되어있는 전극 간에 방전개시전압(3kV/mm) 이상의 전압이 인가되었을 때 아크방전이 시작되지만, MCCB에는 아크 소호를 용이하게 하기 위한 그리드가 있고 접점분리 시부터 아크방전이 발생하는 점이다.

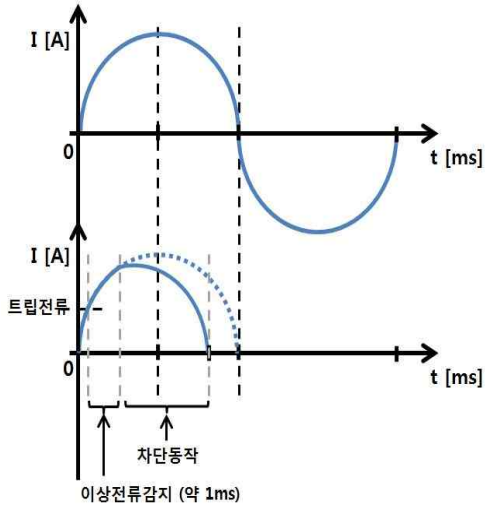


Fig. 3. Current limitation of MCCB

특히 여기서 전극구조와 MCCB의 절연회복특성에 영향을 미치는 요인은 그리드의 존재이다. MCCB의 그리드는 아크 소호를 위해 구성되어 있고, MCCB 고유의 한류효과(Current Limitation)를 가지도록 만든다.

MCCB의 한류효과에 의한 전류차단은 그림 3과 같이 표현된다. 위쪽은 상용 주파수를 가지는 과전류이고 아래쪽은 이러한 과전류 유입 시 한류효과를 나타낸 것이다. 트립전류 이상의 과전류가 유입되면 일정시간(일반적으로 1ms)동안 이상전류임을 감지하게 되고, 이후 고정전극과 가동전극이 분리되는 물리적인 메커니즘이 동작한다.

이 과정에서 유입된 과전류는 한류효과에 의해 감소하고 새로운 전류영점이 생성되어 본래의 주파수 보다 더 빠른 시간에 차단된다.

이러한 한류효과는 그림 4와 같이 전극 간에 발생한 아크가 로렌츠 힘에 의해 그리드에 유입되어 분할하게 되면 그리드에 의해 아크의 전극전압강하 특성이 극대화되어 아크의 전압이 전원전압보다 커지게 되면 발생하게 된다.

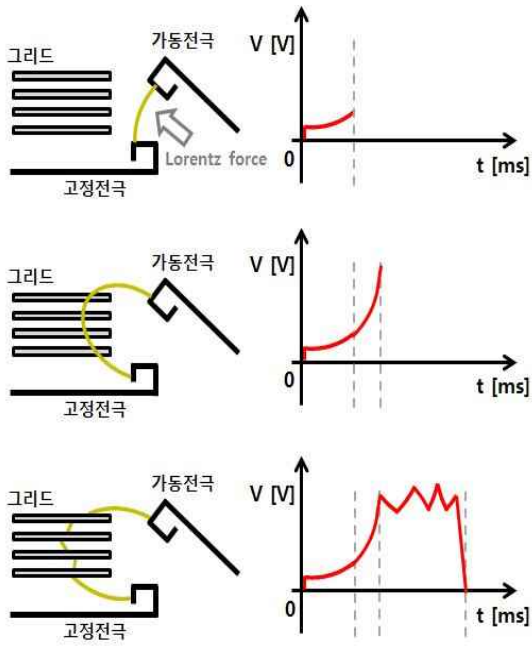


Fig. 4. Applied arc voltage to grid

www.dbpia.co.kr

4. 측정방법 및 실험결과

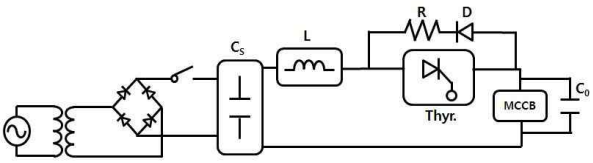


Fig. 5. Measurement circuit

그림 5는 절연회복전압을 측정하기 위한 측정 회로도를 나타낸다. 기존 전극구조의 절연회복전압을 측정하기위한 많은 회로들이 연구되어 있다. 그 중 해당 회로의 경우 MCCB의 한류효과를 고려하더라도, 구성이 단순하며 임의의 회복전압 인가가 용이하여 본 연구에 적용하였다[4]. 임의의 이상전류를 MCCB에 인가하기 위해 변압기를 통해 전원을 원하는 전압으로 승압 시킨 이후, 정류회로를 통해 전원 커패시터(C_S)에 충전하고 전원 인덕터(L)을 조절하여 원하는 주파수를 만든다. Thyristor(Thyr.)는 Gate신호를 주어 방전을 시작하는 역할 및 음주기에 전류흐름을 막기 위해 구성하였고, 저항(R)은 음주기의 전류 값 제한과 C_0의 충전 속도를 조절하기 위해 구성하였다. C_0는 임의의 전원 RV를 인가하기 위해 충전 속도를 변경하도록 구성하였고, Diode(D)는 음주기에 흐르는 전류가 저항으로만 흐르도록 하기 위해 구성하였다.

Thyr.로 방전시키면 전류의 경로는 양(+)주기에서 C_S에서 L, Thyr, MCCB로 흐르며 MCCB의 차단동작이 작동한다. MCCB의 한류효과로 새로운 전류영점이 생긴 이후 음(-)주기에는 C_S에서 C_0, D, R로 흐르며 C_0가 충전될 때 까지 유지된다. C_0에 충전된 전압이 MCCB 소호부 극간의 절연내력보다 높아지게 되면, 재점호가 발생하고 이러한 과정을 통해 발생된 절연파괴는 결과적으로 소호부 극간의 절연회복전압을 의미한다.

전원 인덕터는 그림 6과 같은 방법으로 Cylindrical air-core coil을 감아 제작하여[7] 주파수를 맞추었고, 60Hz의 이상전류를 발생시키기 위한 전원커패시터(C_S)의 용량과 전원 인덕터(L)의 용량은 각각 27266.27μF과 0.258mH이다.

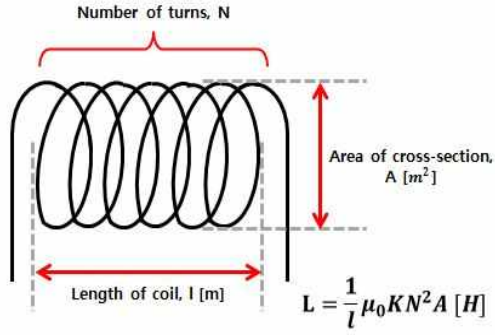


Fig. 6. Manufacture method of cylindrical air-core coil

측정에 사용된 MCCB는 국내 제조사의 A제품(125AF/정격전류 50A)와 국외 제조사의 B제품(100AF/정격전류 50A)으로 두 제품의 절연회복특성을 측정하였다.

Fig. 7. Measurement equipment formations

그림 7은 측정을 위한 장비 구성이며, 측정된 파형은 그림 8과 같이 나타난다. 전류영점은 MCCB가 전류를 차단해 새로운 전류영점이 생긴 후에 C_0가 충전되므로 C_0에 전압이 음으로 충전되기 시작하는 시점을 관측하였고, 재점호는 C_0에 충전되는 전압이 MCCB 소호부 극간의 절연내력보다 높아질 때 방전되며 발생하므로 C_0의 전압이 빠지면서 전류가 음으로 다시 흐르는 시점을 관측하였다.

따라서 일정 저항(R)값에서 C_0의 용량을 변화시키면 C_0의 충전 속도가 변화하여 임의로 MCCB에 인가하는 RV의 기울기가 조절가능하다. 그림 9는 이러한 C_0 용량 변경에 따른 DRV의 측정과정을 나타낸다.

www.dbpia.co.kr

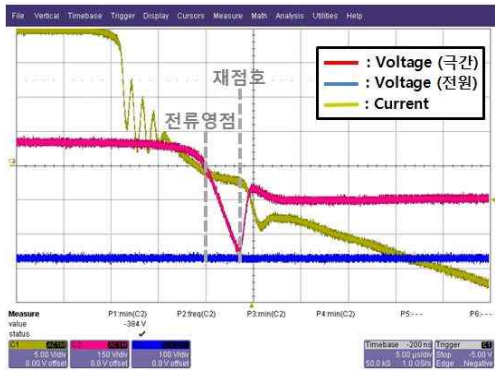


Fig. 8. Waveform of experiment

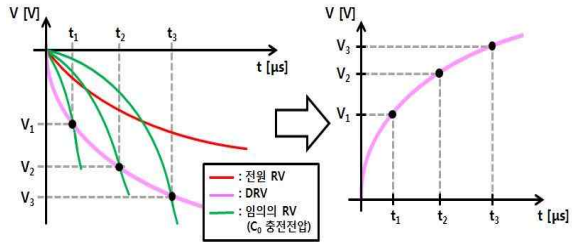


Fig. 9. Measurement process of DRV

그림 10은 상기 언급한 국내제조사의 A제품과 국외제조사의 B제품의 절연회복전압 V-t곡선을 나타낸다. 실험결과를 분석해보면 B제품이 초기에 빠른 절연내력의 회복을 보이지만, 시간이 흐른 뒤에는 A제품의 절연내력이 더 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 그림 11과 같은 각 MCCB의 특징에 따른 결과로 생각된다.

그림 11 (a)의 A제품의 경우 외부에 배기구가 있으며, 그리드와 소호부 전극 사이에 별도의 구조물이 없어 아크에 의해 과전류 차단 시 발생하는 열가스 배출이 지속적으로 원활하게 이루어지기 때문에 절연내력이 일정하게 증가한다.

그림 11 (b)의 B제품의 경우에는 마찬가지로 배기구가 있지만 그리드와 소호부 전극 사이에 절연물 부품이 추가로 구성되어 있어 초기 아크 발생 시 절연물에 의한 아크냉각에 유리해 열가스 생성을 억제하기 때문에 초기 절연내력 회복이 빠른 것으로 보인다. 하지만, 절연물 부품으로 인해 열가스 배출이 다소 느려져 시간이 지나면 절연내력 회복속도가 느려지는 것으로 판단된다.

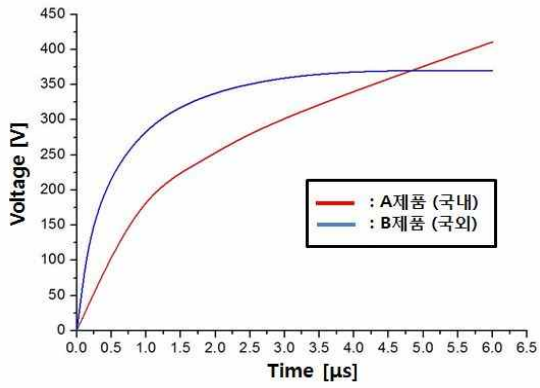
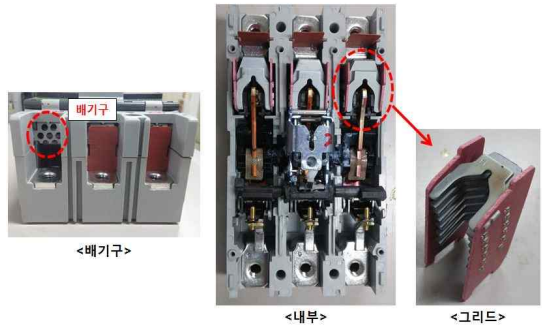
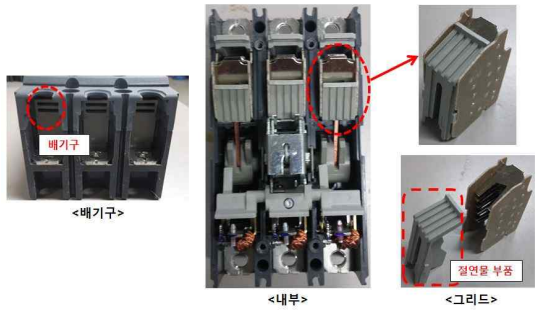


Fig. 10. Result waveform of DRV measurement for MCCB



(a) A제품 (국내)



(b) B제품 (국외)

Fig. 11. Characteristics of each MCCB

5. 결론 및 고찰

MCCB는 저압 배전계통에서 널리 사용되어지는 기기로 과전류를 차단하여 부하를 보호하는 역할을 한다. 그러므로 전류영점 이전의 효과적인 아크소호능력 뿐만이 아니라 전류영점 이후 재점호 방지를 위한

www.dbpia.co.kr

절연회복성능 역시 요구된다. 따라서 이러한 전류영점 이후 절연회복특성을 파악하여 차단 신뢰도를 확보하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 MCCB의 절연회복특성을 파악하기 위하여, 과전류 유입과 임의의 회복전압(RV)을 인가하는 실험회로를 통해 절연회복전압(DRV)의 측정기법을 다루었다. 또한 기존의 단순전극 구조를 이용한 연구들과는 다르게 그리드의 존재로 인한 MCCB의 한류특성을 고려하였고, 국내·외 시제품의 DRV를 측정하여 비교 및 분석하였다.

이러한 전류영점 이후 MCCB의 절연회복전압 측정기법 및 절연회복특성에 관한 연구를 통하여, 향후 기타 차단기의 절연회복특성 연구에 적용이 가능할 것으로 예상되며 또한 제품의 설계 시에도 차단신뢰도 평가의 지표로 사용 가능하다고 사료된다.

References

[1] Jong-Sung Kang, Il-Chul Ahn, Dong-Kyu Shin, Byung-San Baek, Duck-Jung Kim, "Study on Blow Open Force of MCCB", Proceedings of the Korean Institute of Electrical Enginerrs Annual Summer Conference, pp.1137-1138, 2012.

[2] D. J. Griffiths, "Introduction to Electrodynamics", Prentice Hall of India, 1994.

[3] Hauer, Wolfgang, and Xin Zhou. "Re-ignition and Post Arc Current Phenomena in Low Voltage Circuit Breaker." ICEC 2014; The 27th International Conference on Electrical Contacts; Proceedings of. VDE, 2014.

[4] Degui C., Xingwen L., Ruicheng D., "Measyrement of the Dielectric Recovery Strength and Reignition of AC Contactors", IEICE Transactions on Electronics, Vol.E88-C, No.8, pp.1641-1646, 2005.

[5] Shea, J. "Gassing arc chamber wall material effect on post current-zero recovery voltage breakdown." Electrical Contacts, 2002. Proceedings of the Forty-Eighth IEEE Holm Conference on. IEEE, 2002.

[6] Shea, J. "Dielectric recovery characteristics of a high current arcing gap." Electrical Contacts, 2001. Proceedings of the Forty-Seventh IEEE Holm Conference on. IEEE, 2001.

[7] Nagaoka, H. "The inductance coefficients of solenoids." Journal of the College of Science 27.3 (1909): 31.

[8] P. F. Hettwer, "Arc-interruption and gas-evolution characteristics of common polymeric materials" IEEE Transactions on, Power application system, Vol. PAS-101, No. 6, pp.1689-1696, 1982.

[9] Ju-Chul Kim, Jeong-Kyun Lim, Sang-Joong Lee, "A Safety Improvement of Low Voltage Circuit-breakers through Analysis of Instantaneous Trip Characteristics of 30AF Circuit-Breakers", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 24(12), 2010.

[10] Young-Kil Chol, Tae-Geun Koo, Kwang-Sik Lee "Development of Contact System in 460V/225A/50kA Molded Case Circuit Breaker", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 16(6), 2002.

◇ 저자소개 ◇

송태헌 (宋泰憲)
1971년 12월 7일생. 1996년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 1998년 한양대 일반대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 1998년 ~현재 (주)현대중공업 수석연구원.

조영만 (趙英滿)
1985년 12월 28일생. 2012년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 2014년 한양대 일반대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

고광철 (高光哲)
1959년 1월 31일생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동경공업대학 대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(박사). 1990~1995년 가천대 전기공학과 조교수. 1995~2005년 한양대 전기공학과 조교수/부교수. 2005년~현재 한양대 전기·생체공학부 교수.

www.dbpia.co.kr