

충격파 부동작형 누전차단기의 뇌씨지 응답 특성

이재복, 명성훈, 조연규, 장석훈, 김정식*, 길경석*
한국전기연구원, 한국해양대학교*

Lightning Surge Response Characteristics of Non-tripping Type Earth Leakage Breakers for Impulse

J.B. Lee, S.H. Myung, Y.G. Cho, S.H. Chang, J.S. Kim*, G.S. Kil*
Korea Electrotechnology Research Institute, Korea Maritime University*

Abstract - The unpredictable threat of lightning surge is ever increasing in today's low-voltage power supplies. Thus Surge protection devices for AC mains are more widely used. The false-tripping of the earth leakage breaker (ELB) can be caused by the installation of surge protection devices with MOV. In order to examine the cause of malfunction, the malfunction characteristics of ELBs applied by lightning surge were investigated experimentally. As a result, all of them brought about malfunctions under 7 kV of the impulse voltage. The suitable position of MOV and use of zener diode were suggested to eliminate the problems.

1. 서 론

저전압회로에서 누전으로 인한 인축의 감전사고 및 화재를 예방하기 위해 누전차단기가 널리 사용되고 있다. 누전차단기의 사용으로 인해 누전에 의한 화재나 감전사고는 감소하였지만 뇌씨지 및 개폐씨지에 의해 오동작되는 사례가 증가하는 추세이다. 이런 오동작은 설비운용시에 정전사고나 순시전압강하와 같은 중대한 문제점을 야기하며 막대한 경제적 손실을 초래할 수 있다.⁽¹⁾ 현재 국내에서는 KS C 4613에 규정되어 있는 충격파 부동작형 누전차단기가 사용되고 있지만 전원선을 통해 전파되는 전도성 씨지뿐만 아니라 원방의 낙뢰시에 발생하는 대기전위의 상승에 의해서도 오동작되는 사고가 종종 보고되고 있다.⁽²⁻⁴⁾ 본 연구에서는 누전차단기의 오동작 현상을 분석하고 이에 대한 개선방안을 제시하기 위해 동일한 감도 특성을 갖는 충격파 부동작형 누전차단기 5종에 대해 씨지 특성시험을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 누전차단기의 동작원리

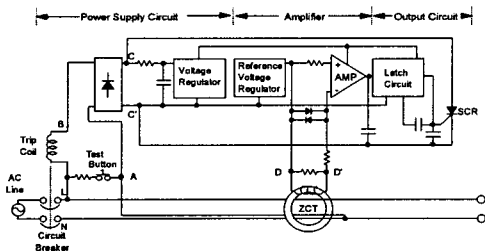


그림 1. 누전차단기의 구성
Fig. 1. Configuration of ELB

누전차단기는 그림 1과 같이 누설전류를 검출하는 영상변류기(ZCT)와 검출된 신호를 증폭하는 증폭부, 증폭기의 바이어스전압을 공급하는 전원부 및 기준 누설전류를 초과하면 출력전압을 크게 하여 SCR의 Gate에 동작전류를 발생시키는 출력부로 구성되어 있다. 정상상태에서는 영상변류기의 유입 및 유출전류가 같기 때문에 영상변류기에 발생하는 자속이 서로 상쇄되어 2차측에 유도전압이 발생하지 않는다. 그러나 지락시에는 누설전류가 흐르게 되어 영상변류기를 관통하는 전류의 차에 해당하는 자속에 의해 변류기의 2차측에 유도전압이 발생한다. 이 전압은 증폭되어 SCR을 도통시키고 트립코일에는 교류전원이 공급되므로 트립코일의 가동부가 차단기를 트립시키게 된다.

2.2 시험회로의 구성

시험에 사용된 시료는 정격 감도전류 30 mA, 동작시간 0.03초 이내, 충격파 부동작형으로 30 A용 누전차단기 5종에 대해 뇌씨지에 대한 부동작 시험을 수행하였다. 각각의 누전차단기는 씨지로부터 내부회로를 보호하기 위해 씨지 보호소자(MOV, Metal Oxide Varistor)를 내장하고 있으며 이를 보호소자는 방전개시전압 470 V, 전류내량 2.5 kA 이하이다. 현재 우리나라(KS C 4613) 및 일본(JIS C 8371)의 충격파 부동작 시험은 누전차단기에 교류전압을 인가한 상태에서 부하측에 RC 병렬 모의 부하회로(R=0.1 MΩ, C=0.03 μF)를 연결하고 입력단에 7kV의 1.2/50 μs의 뇌임펄스를 인가하도록 명시되어 있다.⁽⁵⁻⁶⁾ 또 IEC에서는 무부하상태에서 8/20 μs, 3 kA의 임펄스 전류를 인가하도록 규정되어 있다.⁽⁷⁾ 두 시험 방법은 모두 임의의 한 선에 임펄스 전압 또는 전류를 인가했을 때의 오동작 여부를 검사하는 시험으로 실제 누전차단기가 설치되어 있는 현장의 배선구조나 접지구조와 차이가 있다. 2차측의 중성점이 접지된 전원측의 변압기 구조에서 선-중성선(Hot-Neutral) 전압원을 이용하는 전원공급 방식이나, 단상변압기 2차측을 접지한 중성선과 비접지선(Hot Line)을 전압원으로 이용하는 전원공급방식에 사용되는 누전차단기는 이들 두 선에 직렬로 접속된다. 뇌씨지는 접지와 선간에 발생하는 대표적인 공통모드 씨지이기 때문에 뇌임펄스 시험에서는 접지된 중성선과 선간에 임펄스시험을 하는 것이 보다 현실적이다. 비접지계통의 전원공급선에 접속된 누전차단기의 경우에는 임펄스 발생기의 접지와 전원 공급선에 동시에 임펄스를 가하는 것이 타당할 것이다. 본 연구에서는 이와 같은 현실적인 상황을 고려하여 그림 2와 같이 누전차단기 시험회로를 구성하였으며, 모든 시험은 교류전압의 위상 90°에 임펄스를 중첩시켜 부동작 특성 시험을 수행하였다. 또한 무부하 상태에 대한 시험과 더불어 현재 저압회로에 사용되고 있는 많은 전자, 통신 설비 등은 이상 과전압으로 부터 내부회로를 보호하기 위해 씨지 보호소자를 내장하고 있는 경우가 많으므로 이를 모의하여 MOV를 부하로 연결한 경우에 대해 시험하였다.

써지 발생기는 ANSI/IEEE 62.45에 규정되어 있는 복합파 뇌 임펄스 발생기(KeyTek ECAT 522 개방회로 전압 1.2/50 μ s, 단락회로전류 8/20 μ s, 전원임피던스 2 Ω)를 사용하였으며, 시료별 최소 오동작 전압과 전류 및 ZCT 2차측 유도전압과 SCR Gate 신호전압을 측정하였다.^[8]

- 시험에 사용된 계측장비는 다음과 같다.
- 써지 발생기: KeyTek ECAT 522 (20 kV / 10 kA)
 - 오실로스코프 : LeCroy LC574AL, 1 GHz
 - 전압/전류 : 써지 발생기 전압/전류 모니터링 단자.
 - ZCT 2차측 유도전압, SCR Gate 신호전압 : LeCroy ADP305 100 MHz 차동 전압 프로브

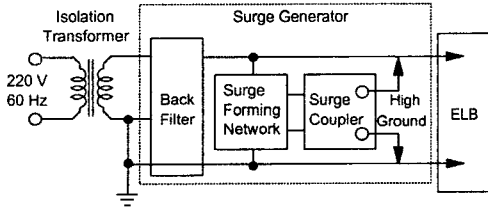
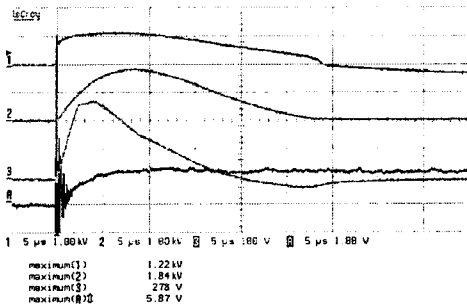


그림 2. 누전차단기의 충격과 시험 회로
Fig 2. Test circuit for the impulse test at ELB

2.3 시험결과 및 분석

2.3.1 써지에 대한 오동작 특성

5종의 시료에 대해 무부하시 오동작 발생전압은 1 kV에서 6 kV 내외로 규정된 시험전압 7 kV 이하에서 모두 오동작이 발생하였다. 그림 3에 무부하 상태에서 5.5 kV의 뇌 임펄스 과전압을 인가시 차단기의 각 부분에 발생하는 전압파형을 나타내었다. 차단기에 내장되어 있는 MOV에 의해 인가전압이 채널 1과 같이 제한되었고 채널 2는 이 때 흐르는 방전전류를 나타낸다. ZCT의 2차측에는 278 V의 유도 전압이 발생하였으며 이 전압에 의해 SCR이 도통됨으로써 트립이 발생함을 알 수 있다.



Ch.1 : 제한전압 Ch.2 : 방전전류
Ch.3 : ZCT 2차 유도전압 Ch.A : SCR gate 신호전압

그림 3. 누전차단기 오동작시의 각 부 써지 측정파형
Fig. 3. Measured surge waveform of various ELB ports at the applied voltage of 5.5 kV during false trip

써지보호소자를 부하로 사용한 경우에도 마찬가지로 7kV 이하에서 모두 오동작이 발생하였으며 무부하시 보다 더 낮은 임펄스인 1 kV, 63 A의 에서 트립이 발

생하는 경우도 있었다.

2.3.2 누전차단기의 내부결선상태

시료로 사용된 누전차단기의 내부 결선상태의 개략도를 그림 4에 나타내었다. 시료마다 동작 테스트를 위한 스위치의 결선 상태가 다소 차이를 보이며 특히 써지 보호소자인 MOV의 위치에 따라 써지 방전전류를 누설전류로 검출하여 오동작을 유발할 수 있음을 보여준다. 그림 4의 (a)와 (b)의 경우에는 임펄스전압의 침입시 MOV가 동작하게 되면 이때 발생한 방전전류가 ZCT를 관통하여 흐르도록 결선이 되어있다. 이 경우 써지에 대해 오동작을 유발하는 요인으로 볼 수 있으며 1 kV 이하의 써지 전압에 대해서도 오동작하는 특성이 나타났다. (c)의 경우에는 ZCT를 관통하여 유입된 전류가 다시 돌아감으로써 ZCT에 발생하는 자속이 서로 상쇄되어 2차측에는 유도전압이 발생하지 않음을 알 수 있다. 또한 최근에는 스위치 소자인 SCR을 보호하기 위해 SCR과 병렬로 소용량의 MOV를 추가 설치한 차단기가 사용되고 있다. 그러나 이 MOV의 동작에 의해서 트립 코일에 전류가 흐르게 되면 오동작이 발생할 수 있으므로 MOV의 선정에 세심한 주의가 필요하다.

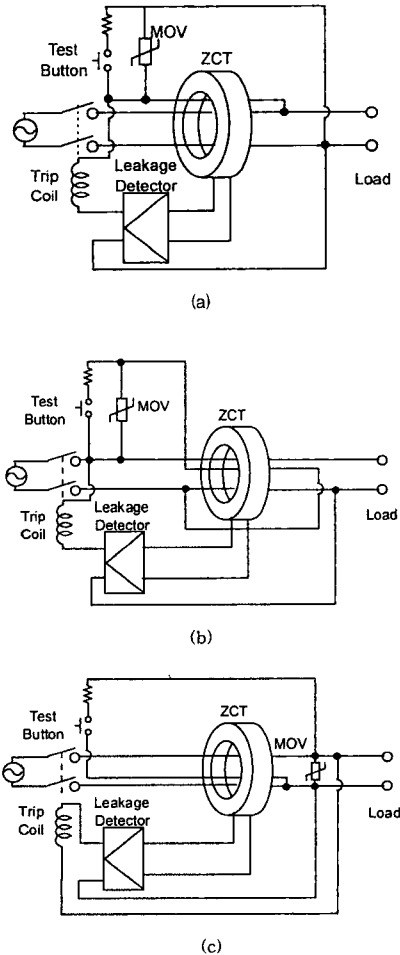
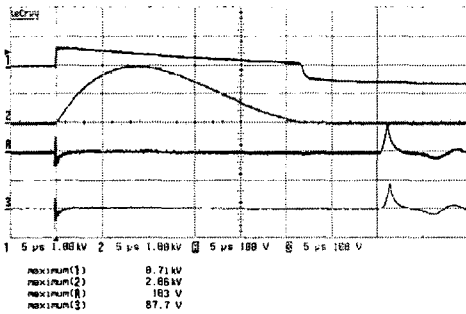


그림 4. 누전차단기의 내부결선도
Fig. 4. Circuit diagrams of ELB

2.4 오동작 방지를 위한 개선책

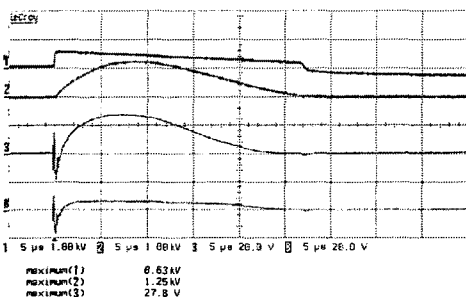
위에서 언급했듯이 각 시료마다 내부회로를 보호하기 위해 써지 보호소자를 내장하고 있다. 그림 1의 예에서 L-A 단자간, B-A 단자간 및 C-C' 단자간에 MOV를 설치하거나 ZCT의 2차측 D-D' 단자간에 제너 다이오드를 연결하는 방법이 고려될 수 있다. 이중 현재 L-A 단자간에 MOV를 삽입한 경우가 다수이나 이들 소자는 내량이 3 kA이하로 작아 수 차례의 써지에 의해 파손되기 쉬우며 파손시 단락사고를 유발할 가능성이 있다. 또한 MOV의 동작시 흐르는 전류의 일부가 ZCT를 경유하므로 누설전류로 감지되어 오동작이 발생할 수도 있다. 이를 방지하기 위해 가급적 차단기의 구동부 바로 후단인 L-N 단자에 3 kA 이상의 내량을 가진 보호소자를 설치하는 것이 바람직하다. L-N 단자간에 MOV를 적용한 후 써지시험 파형을 그림 5에 나타내었다. 5.5 kV의 써지전압 인가시 ZCT의 2차측의 유도전압과 SCR의 Gate 신호전압이 급격히 감소하였음을 알 수 있으며 오동작 또한 발생하지 않았다.



Ch.1 : 제한전압 Ch.2 : 방전전류
Ch.A : ZCT 2차 유도전압 Ch.3 : SCR Gate 신호전압

그림 5. MOV 보호대책시의 써지 인가 시험파형

Fig. 5. Measured surge waveform of various ELB ports with MOV protection



Ch.1 : 제한전압 Ch.2 : 방전전류
Ch.3 : 보호대책 전의 ZCT 2차 유도전압
Ch.B : 제너다이오드 적용후의 ZCT 2차 유도전압

그림 6. 제너다이오드를 적용한 보호대책 전후의 응답특성

Fig. 6. Response characteristic with Zener diode protection

또한 MOV의 적용과 더불어 제너 다이오드를 사용하여 ZCT의 2차 유도전압을 제한하는 방법을 병행하였다.⁽⁹⁾ 트립발생시 ZCT의 유도전압은 그림 6의 채널 3과 같이 MOV에 흐르는 방전전류와 동일한 파형이 관측된다. 이를 ZCT의 2차측 단자에 제너 다이오드를 병렬로 연결하여 채널 B와 같이 10 V 이하로 제한할 수 있었다.

이상의 방법을 통해 대부분의 시료들은 기준 시험 전압인 7 kV에서 오동작이 발생하지 않았으며 제시된 방법이 써지에 대한 누전차단기의 오동작 방지에 효과가 있음이 증명되었다.

3. 결 론

충격과 부동작형 누전차단기의 뇌써지의 침입에 대한 오동작 원인을 규명하기 위해 현장설치 조건과 유사한 조건을 모의하여 뇌써지에 대한 부동작 특성을 시험하였다. 또한 현재 사용되고 있는 누전차단기의 내부 회로의 분석을 통해 오동작의 원인을 규명하고 개선안을 제시하였다. 실험을 통해 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 현장 설치조건을 고려한 개선된 누전차단기의 충격과 부동작 시험방법을 제시하였다.
- 2) 내부회로의 보호를 위해 설치된 MOV의 결선 상태에 따라 MOV의 동작시 방전전류를 영상변류기가 누설전류로 검출함으로써 누전차단기의 오동작을 유발할 수 있다.
- 3) 누전차단기의 써지 보호를 위해 적정 정격전압과 전류내량을 가진 보호소자의 선정이 요구되며 차단기의 구동부 바로 후단에 설치함으로써 보호소자 동작시 영상변류기에 동작전류가 검출되지 않도록 하는 것이 바람직하다.
- 4) 부하기기에 기 설치된 보호소자의 동작으로 인해 누전 차단기가 오동작 할 수 있음이 확인되었으며, 이를 방지하기 위해 MOV와 제너다이오드를 이용한 보호대책이 요구된다.

(참 고 문 헌)

- [1] M. Capelli-Schellpfeffer, M. Toner, "Advances in the Evaluation and Treatment of Electrical and Thermal Injury Emergencies", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol.31, No.5, pp.1147~52, 1995
- [2] 渡邊信公, "雷サージによる漏電遮断器の誤動作についての實驗と考察", 電氣設備學會誌, Vol.9, No.4, pp.303~308, 1989. 4
- [3] 이복희, 이승철, "서지전압에 대한 50 [A] 용 누전 차단기의 부동작 특성", 조명·전기설비학회지, Vol.11, No.5, pp.44~52, 1997
- [4] 이복희, 이승철, "뇌임펄스전압에 대한 30[A]용 고감도형 누전 차단기의 오동작에 대한 특성", 조명·전기설비학회지, Vol.11, No.6, pp.96~103, 1997
- [5] KS C 4613 : 누전차단기, 한국표준협회, pp.5~22, 1994
- [6] JIS C 8371 : 漏電遮断器, 日本規格協會, pp.33~38, 1992
- [7] IEC 1008-1 : Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses(RCCBs), pp.127~135, 1996
- [8] ANSI/IEEE Std. C62.41-1991, IEEE Guide for Surge Voltage in Low-Voltage AC Power Circuits, pp.22~58, 1991
- [9] Ronald B. Standler, Protection of Electric Circuits from Overvoltages, John Wiley & Sons, Inc., pp.146~155, 1989