Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2013) 27(6) : 75~81 논문 27-6-11
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2013.27.6.075 ISSN 1229-4691(Print) ISSN 2287-5034(Online)

저압 수용가 설비에서 누전차단기와 서지방호장치 사이의 보호협조

(Protection coordination between residual current device and surge protective devices in low-voltage consumer's installations)

이복희* · 김회구 · 박희열 · 안창환
(Bok-Hee Lee · Hoe-Gu Kim · Hee-Yeoul Park · Chang-Hwan Ahn)

Abstract

In this paper, protection coordination between residual current devices and surge protective devices in low-voltage consumer's distribution systems are presented. In the case that a surge protrctive device(SPD) is located on the load side of an residual current device(RCD), when the surge is injected from the source side of the RCD, most of injected surge currents are split into the RCD and the protection coordination between the SPD and RCD is improper, three of 6 specimens experience unintended operation due to test impulse currents. Also when the surges is injected from the load side, a lot of the surge currents is split into the SPD, but a half of test specimens causes nuisance trip. Coordination between SPD and RCD is not valid. When installing SPD, it is important to select SPD after due consideration of the protection voltage level of metal oxide varistor embedded in RCD. It is expected that the results obtained from this work could be useful to improve the protection effects of SPD in low-voltage distribution systems.

Key Words : Surge Protective Device, Residual Current Device, Protection Coordination, Surge Protection, Protective Effect

1. 서 론

정보통신기술의 보급과 초소형 반도체 소자를 이용한 전자기기의 사용으로 서지에 대한 전기전자설비의 보호가 매우 중요한 이슈로 대두되었다[1-2]. 뇌서지 또는 개폐서지에 대한 전자기기의 보호는 필수적 요소기술이 되었으며, 전기 공급의 신뢰성 확보 또한 긴요한 요건임에 틀림이 없다. 서지에 대한 전기전자시스템의 보호를 위해 설치한 서지방호장치(surge protective device: SPD)의 동작에 기인하여 누전차단기(residual current device: RCD)의 오동작으로 전원공급이 중단되는 것을 방지해야 한다. 따라서 저압 전로에서 기기의 절연파괴 등에 기인된 누전에 의한 인체감전 및 전기화재의 발생을 방지하기 위해 누전차

* 주(교신)저자 : 인하대학교 IT공대 전기공학부 교수
* Main(Corresponding) author : School of Electrical Engineering, Inha University, Professor
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr
접수일자 : 2013년 3월 29일
1차심사 : 2013년 4월 3일
심사완료 : 2013년 4월 23일

Copyright ⓒ 2013 KIIEE All right's reserved

단기를 설치하도록 전기설비기술기준의 판단기준에 규정하고 있다. 특히 충격파 부동작형 누전차단기는 뇌서지 및 개폐서지에 대하여 오동작하지 않아야 하며 이에 대한 연구가 꾸준히 이루어져 왔다[3-5].

또한 서지로부터 누전차단기가 보호되도록 SPD를 설치하는 것이 기본적 요건이므로 누전차단기와 SPD를 병설하는 경우 각각의 고유기능과 역할을 할 수 있도록 설치하여야 한다. 본 논문에서는 저압 수용가의 전원계통에서 전원 측 또는 부하 측에서 입사하는 서지에 대한 누전차단기에 내장된 금속산화물 바리스터(metal oxide varistor: MOV)와 SPD와의 보호협조 및 누전차단기의 의도하지 않은 트립동작 여부를 파악하기 위해서 누전차단기와 SPD의 보호협조에 대한 연구결과를 기술하였다. 누전차단기의 하위에 SPD를 설치한 60Hz, 220V 전원회로에 뇌임펄스전압이 전원 측 또는 부하 측에서 입사하였을 때 누전차단기에 내장된 MOV와 SPD에 분류되는 전류와 제한전압을 측정하고, RCD의 의도하지 않은 트립동작의 여부를 분석하였다. 또한 SPD와 RCD의 보호협조와 기능의 적합성 여부 등을 조사하고 검토하였다.

2. 저압 수용가 설비에 뇌서지의 침입

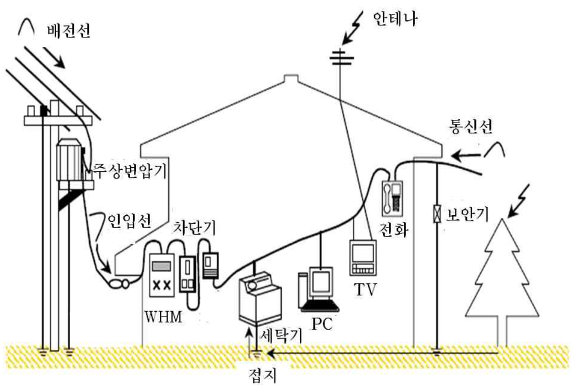


그림 1. 저압 수용가 전기설비에 뇌서지의 침입경로
Fig. 1. Incoming path of lightning surges in low-voltage consumer's electrical installations

주택에서 사용하는 가전기기와 정보화기기는 교류전원에 접속되며, 전자기기의 유형에 따라 접지, 안테나, 통신선/신호선에 접속된다. 저압 수용가의 전기설비에 뇌서지가 침입하는 경로는 다양하며, 그림 1에 나타낸 바와 같이 전원 인입선, 통신/신호선, TV안테나, 접지 등을 통하여 입사한다[2, 6].

누전차단기의 하위에 SPD가 설치된 경우 뇌서지가 전원 인입선으로 입사한 경우와 TV안테나, 접지 등 SPD의 하위에서 입사한 경우 SPD의 서지보호효과 및 누전차단기의 의도하지 않은 트립동작의 여부 등 보호협조에 대하여 실험적으로 조사하였다.

3. 실험장치 및 방법

저압으로 공급받는 일반 수용가에서 누전차단기의 하위에 SPD를 설치하였거나 MOV가 내장된 멀티탭을 사용하는 경우 뇌서지를 보호하는 효과의 평가를 대상으로 하였다. 저압 수용가에서 누전차단기의 하위에 SPD를 설치한 경우 배전용 변압기 2차 측의 인입선을 통하여 뇌서지가 입사하는 것을 상정한 실험회로를 그림 2에 나타내었다. 또한 저압 수용가 설비의 하위에서 뇌서지가 입사한 경우를 모의하는 실험은 그림 2에서 RCD와 SPD의 위치를 교환하여 수행하였다.

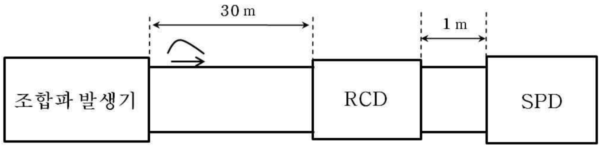


그림 2. 실험회로
Fig. 2. Experimental circuit

IEEE-Std C62.45[7] 서지시험에 요구되는 임펄스발생장치를 이용하여 1~6kV의 임펄스전압을 인가하였으며, 최대 방전전류는 약 3kA이다. 표준은 KS C IEC 60947과 KSC IEC 61009-1을 적용하여 시험하였다[8-9]. 뇌서지가 배전용 변압기를 통하여 입사하는 것을 상정하여 평가대상 시료의 전방 30m에서 임펄스전압을 인가하였다. 임펄스전류는 감도 0.1A/V이고 주파수대역이 15MHz인 전류프로브로 검출하고, 잔류전압은 주파수대역 100MHz인 능동성 차동프로브로 측

정하였다. 검출된 전압과 전류 신호는 주파수대역 400MHz인 오실로스코프로 관측하였다. SPD 시료로는 220V 저압 전원회로의 뇌서지를 방호하는 SPD를 선정하였으며, 상세한 규격은 표 1에 나타내었다. 또한 누전차단기의 시료로는 국내에서 시판되고 있는 정격감도전류 30mA, 정격차단전류 2.5kA, 동작시간은 0.03초 이내의 성능을 갖는 30A 고감도형 인체감전보호용 누전차단기 6종을 선택하였다.

표 1. 서지방호장치의 규격
Table 1. Specifications of the SPD

파라미터	규격
최대 방전 전류	15kA
공칭방전전류	5kA
최대 연속사용전압	255V
전압보호레벨	1.5kV
잔류전압	0.9kV

4. 결과 및 고찰

4.1 전원 측에서 입사한 뇌서지에 대한 보호특성

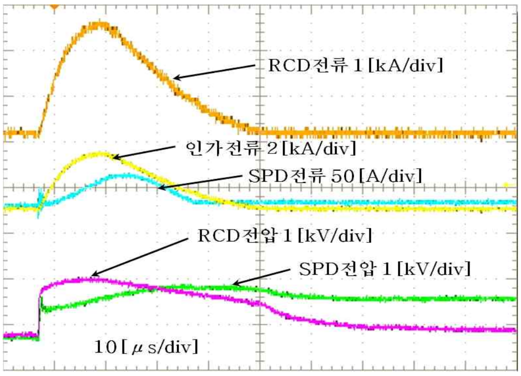


그림 3. 6kV의 임펄스전압을 인가하였을 때 RCD와 SPD로 분류된 전류 및 단자전압 파형
Fig. 3. Waveforms of the voltages present across the RCD and SPD and the currents flowing into the RCD and SPD when the impulse voltage of 6kV is injected

저압 수용가의 전원회로를 모의하기 위하여 누전차단기의 하위 1m의 위치에 SPD를 설치하고 누전차단기의 전방 30m 위치에서 조합파 임펄스발생기를 이용하여 임펄스전압을 입사시켰을 때 입사전류, RCD와 SPD로 분류된 전류 및 RCD와 SPD의 단자전압의 파형을 그림 3에 나타내었다.

누전차단기에 내장된 MOV에 흐른 전류파형은 1.2/50μs의 임펄스전압에 의해 흐르는 전형적인 8/20 μs 임펄스전류의 파형을 나타내었다. 누전차단기로 분류되는 뇌서지전류가 SPD로 흐르는 전류보다 훨씬 크게 나타났으며, SPD의 단자전압은 누전차단기의 단자전압보다 약간 낮게 나타났다. 임펄스전압의 크기에 따른 RCD와 SPD로 분류되는 전류를 그림 4, 그리고 SPD의 단자전압을 그림 5에 나타내었다.

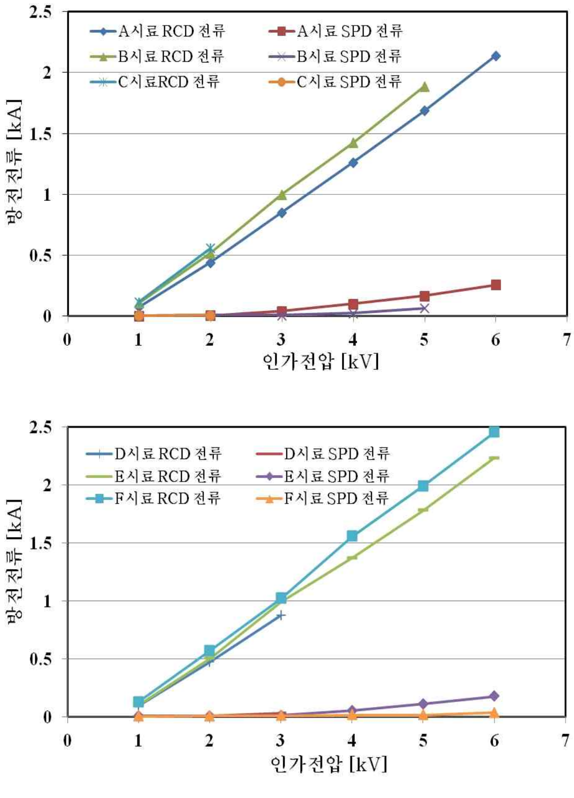


그림 4. 임펄스전압에 따른 RCD와 SPD로 분류된 전류
Fig. 4. Currents flowing into the RCD and SPD as a function of the amplitude of impulse voltages

임펄스전압이 증가함에 따라 대부분의 전류가 RCD에 내장된 MOV로 분류되며, 인가전압 3kV 이상에서

SPD로 약간의 전류가 분류되는 것으로 나타났다. 입사된 서지전류는 우선적으로 SPD에 의해서 처리되어야 하며, 누전차단기에 내장된 MOV는 의도하지 않은 트립의 방지가 주 기능으로 작동하여야 한다[10]. 모든 실험조건에서 입사된 임펄스전류가 SPD보다는 누전차단기에 내장된 MOV를 통하여 훨씬 많은 전류가 분류되었으며, 대단히 부적절한 전류분담의 조건으로 보인다.

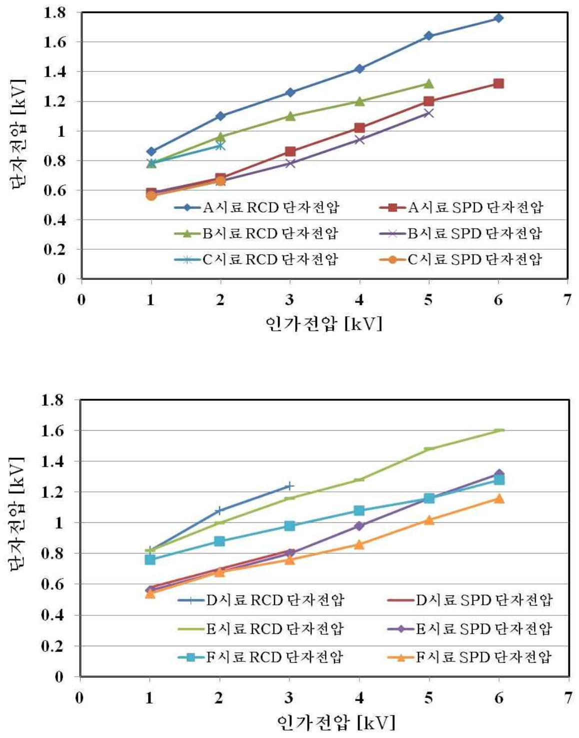


그림 5. 임펄스전압의 크기에 따른 SPD의 단자전압
Fig. 5. Terminal voltages present across the SPD as a function of the amplitude of impulse voltages

본 실험조건은 실제 주택이나 저압 수용가 부하의 전원회로와 유사한 조건으로 기존에 서지방호장치를 설치하였다면 기능과 보호성능에 대한 심층적인 분석이 요망된다. 더불어 저압 전원계통에 접속된 전기전자시스템의 뇌서지에 대한 방호를 위해서는 SPD의 동작개시전압 즉, 전압보호레벨과 누전차단기에 내장된 MOV의 전압보호레벨을 검토하여 적절한 보호협조가 이루어지는 조건이 되도록 설치하여야 함을 시사하고 있다. 입사된 임펄스전압이 SPD 또는 누전차단기에 내장된 MOV에 의해 제한된 SPD와 RCD의 단자전압은 인가전압의 크기가 증가함에 따라 증가하였다. RCD와 SPD 사이의 거리가 약 1m이지만 RCD의 단자전압이 SPD의 단자전압보다 더 높음을 확인할 수 있다.

시료 B의 누전차단기에 내장된 MOV는 인가전압 5kV에서 파손되었으며, 시료 C의 누전차단기는 인가전압 2kV에서 그리고 시료 D의 누전차단기는 3kV에서 의도하지 않는 트립동작을 하였으나 MOV가 파손되지는 않았다. 시료 F 누전차단기 또한 서지전류의 분류에 의한 보호협조가 부적절하였으나 누전차단기에 내장된 MOV의 전류용량이 크기 때문에 파손되지 않은 것으로 보인다. 8/20μs 임펄스전류의 크기가 약 3kA에 상응하는 1.2/50μs 임펄스전압 6kV를 인가한 때 RCD와 SPD에 분류된 전류 및 RCD의 의도하지 않은 트립동작의 여부를 표 2에 나타내었다.

표 2. 1.2/50μs 임펄스전압 6kV를 인가한 때 RCD와 SPD에 분류된 전류 및 RCD의 의도하지 않은 트립동작의 여부
Table 2. Currents flowing into the RCD and SPD and yes or no of unintended trip of RCDs when 1.2/50μs impulse voltage of 6kV is applied

시료	트립여부	RCD의 전류 (A)	SPD의 전류 (A)
A	no	2,140	260
B	yes	-	-
C	yes	-	-
D	yes	-	-
E	no	2,232	176
F	no	2,452	36

4.2 부하 측에서 입사한 뇌서지에 대한 보호특성

뇌서지가 SPD의 하위에서 입사하여 SPD와 RCD를 향하여 역류하는 경우를 모의한 경우로 SPD의 후방 30 m 위치에서 조합파 임펄스발생기를 이용하여 임펄

스전압을 입사시켰을 때 입사전류, RCD와 SPD로 분류되는 전류 및 RCD와 SPD의 단자전압을 측정한 대표적인 파형의 예를 그림 6에 나타내었다. 누전차단기에 내장된 MOV와 SPD에 분류되는 전류 및 RCD와 SPD의 단자전압 파형으로부터 누전차단기에 내장된 MOV의 동작개시전압이 SPD의 동작개시전압보다 낮아 입사된 임펄스전압에 대해 RCD에 내장된 MOV가 먼저 작동하여 서지전압을 제한하고 이어 SPD가 동작한 것으로 볼 수 있다.

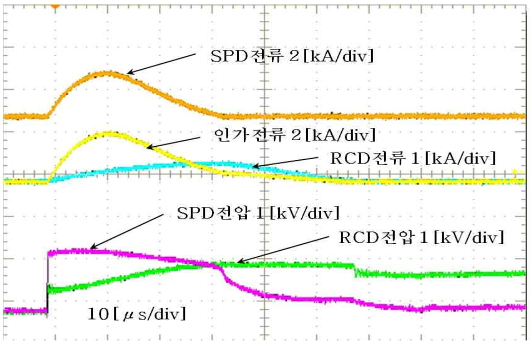


그림 6. 6kV의 임펄스전압이 SPD의 하위에서 입사된 때 RCD와 SPD로 분류된 전류 및 단자전압 파형
Fig. 6. Waveforms of the voltages present across the RCD and SPD and the currents flowing into the RCD and SPD when the impulse voltage of 6kV is injected at downstream of the SPD

RCD의 단자전압이 SPD의 단자전압보다 낮으며, 임펄스전압에 대하여 동작하는 통전시간도 길게 나타났다. 즉 SPD의 동작개시전압이 높으므로 도통상태가 중지되어도 RCD에 내장된 MOV는 계속 도통되어 전압을 제한하고 전류를 방류하는 것으로 나타났다. 또한 누전차단기에 내장된 MOV의 도통시간이 길기 때문에 통전전류의 상승시간과 변동이 완만하게 된 것이다. 임펄스전압의 크기에 따라 RCD와 SPD로 분류된 전류의 측정결과를 그림 7, 그리고 인가전압의 크기에 따른 SPD의 단자전압을 그림 8에 나타내었다.

인가전압 2kV이하에서 입사된 서지전류는 SPD와 누전차단기에 내장된 MOV로 분류되었으며, 누전차단기에 내장된 MOV로 분류된 전류가 SPD로 분류된 전류에 비하여 약간 큰 것으로 관측되었다. 인가전압의 크기가 3kV 이상에서 입사된 서지전류가 SPD로 분류된 비중이 누전차단기에 내장된 MOV로 흐른 전류보다 큰 것으로 나타났으며, 이러한 추세는 인가전압이 높아짐에 따라 보다 현저하게 나타났다. 즉 이 조건의 동작모드는 입사된 서지전압에 대하여 우선적으로 누전차단기에 내장된 MOV가 작동하여 차단하였으며, 이어 SPD가 동작하여 서지전류를 처리하는 방식으로 이루어졌다.

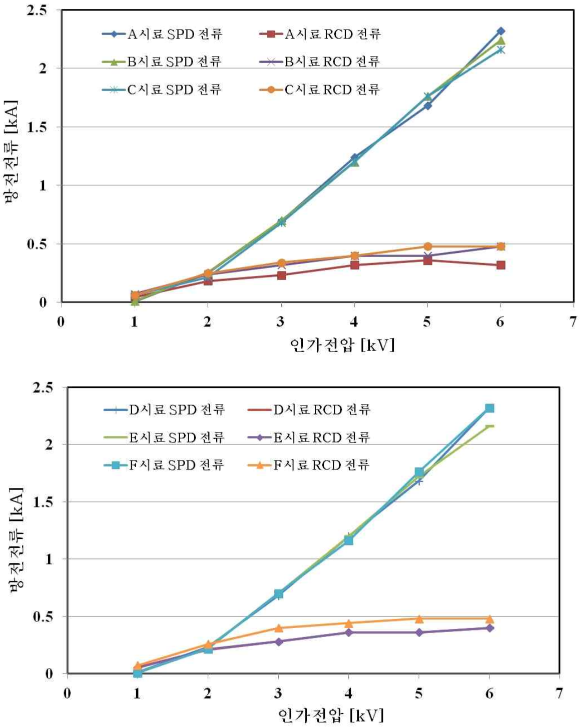
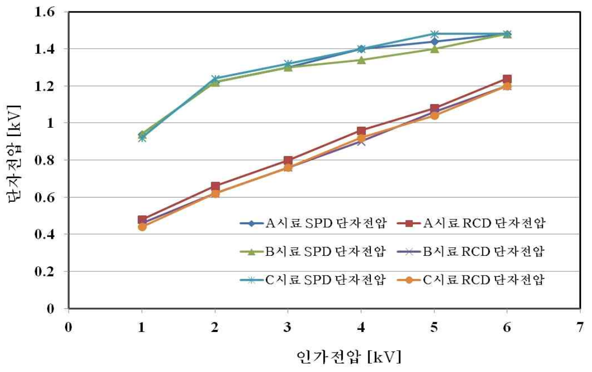


그림 7. 임펄스전압의 크기에 따른 RCD와 SPD로 분류된 전류
Fig. 7. Currents flowing into the RCD and SPD as a function of the amplitude of impulse voltages

누전차단기와 SPD가 최적인 보호협조를 이루기 위해서는 SPD의 동작개시전압이 누전차단기에 내장된 MOV의 동작개시전압보다 낮거나 같은 정도의 상태가 적절할 것이다. 이러한 조건에서는 서지전압이 입사되었을 때 우선적으로 SPD가 작동하여 차단하며 잔류전압이 누전차단기에 입사되면 누전차단기에 내장된 MOV가 작동하여 제한하는 특성으로 이루어져

야 한다. 또한 입사된 임펄스전압에 대해 SPD와 누전차단기에 내장된 MOV에 의해 제한된 SPD와 RCD의 단자전압은 인가전압의 크기가 증가함에 따라 증가하였고, SPD의 단자전압이 RCD의 단자전압보다 더 높음을 확인할 수 있다. SPD와 MOV가 입사된 서지전압에 대하여 모두 동작상태일 때의 단자전압으로 제한전압과 배선의 전압강하의 합이기 때문이다[11].



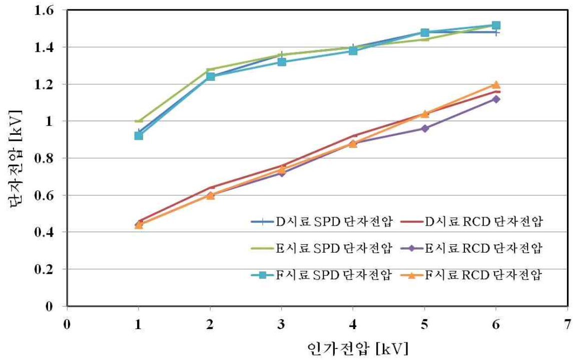


그림 8. 임펄스전압에 따른 SPD의 단자전압
Fig. 8. Terminal voltages present across the SPD as a function of the amplitude of impulse voltages

누전차단기에 내장된 MOV에 흐르는 전류는 모든 실험조건에서 0.5kA이하이었으며, 인가전압에 따라 거의 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 따라서 SPD와 RCD의 단자전압의 차 즉, 인가전압이 증가함에 따라 SPD로 분류되는 전류의 비중이 많아지므로 배선에서의 전압강하는 작아지는 것으로 나타난 것이다. 1.2/50μs 임펄스전압 6kV를 인가한 때 RCD와 SPD에 분류되어 흐르는 전류 및 RCD의 의도하지 않은 트립동작의 여부를 표 3에 나타내었다. 시료 B, C, D의 누전차단기는 파손되지는 않았지만 의도하지 않은 트립동작을 하였으므로 SPD와 병설하여 시설하는 것이 부적절한 것으로 판단된다.

표 3. 6 kV의 임펄스전압을 인가한 때 RCD와 SPD에 분류된 전류 및 RCD의 의도하지 않은 트립동작의 여부
Table 3. Currents flowing into the RCD and SPD, and yes or no of unintended trip of the RCD when the impulse voltage of 6 kV is applied

시료	트립의 여부	SPD의 전류 (A)	RCD의 전류 (A)
A	no	2,320	320
B	yes	2,240	480
C	yes	2,160	480
D	yes	2,320	400
E	no	2,160	400
F	no	2,320	480

서지전압과 전류로 인한 누전차단기의 불필요한 동작에 의한 전원공급의 중단은 정보기술 기반시스템의 기능마비와 막대한 경제적 손실을 가져올 수 있으므로 서지환경에서 누전차단기는 작동하지 말아야 하지만 대부분의 시료가 KS C IEC 61009-1의 규정을 충족하지 못하는 것으로 밝혀졌다. 따라서 정보통신설비의 보급에 따라 SPD의 설치가 권장되고 있으므로 서지에 대한 의도하지 않은 트립특성을 충족하는 누전차단기의 성능개선이 시급히 필요한 것으로 사료된다. 즉 누전차단기의 성능도 전기설비의 발전과 기술표준 등의 환경변화에 신속히 부합하는 진전이 요망된다.

5. 결 론

저압 수용가 설비에서 뇌서지가 전원 측 또는 부하측에서 입사한 경우 SPD와 RCD의 보호협조특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 저압 수용가의 전원회로에서 누전차단기의 부하측에 SPD를 설치된 경우 전원 측에서 입사한 서

지전류의 대부분이 SPD보다 누전차단기에 내장된 MOV로 분류되어 보호협조가 적합하지 않은 것으로 밝혀졌다.

(2) 부하 측에서 뇌서지가 침입하는 경우 누전차단기와 SPD로 서지전류에 대한 전류분담은 적절하게 이루어졌으나 SPD와 누전차단기에 내장된 MOV의 동작개시전압의 차이 때문에 정상적인 보호협조는 이루어지지 않았으며, 시료 6개 중에서 3개의 누전차단기는 의도하지 않은 트립 동작을 일으켰다.

(3) 서지에 대한 RCD와 SPD 성능의 협조가 부합하지 않는 경우 SPD를 설치할 때 누전차단기의 서지에 대한 특성과 성능을 정확하게 검토하여야 적절한 보호협조가 이루어질 것으로 확인되었다.

References

〔1〕 B. H. Lee, D. M. Lee, D. C. Cheong, S. B. Lee, and S. C. Lee, " Protection Effects According to the Conditions of Installations of SPDs for Information-Oriented Equipments", J. KIIEE, Vol.21, No.1, pp.35∼41, 2007.

〔2〕 B. H. Lee and S. C. Lee, Protection of Information and Communication Facilities against Lightning, The Publishing Department of Inha University, pp.42-47, 62-75, 2004.

〔3〕 S. C. Lee, S. H. Chang and B. H. Lee, "Dead operation characteristics of earth leakage circuit breaker for 50 〔A〕 against surge voltages", J. KIIEE, Vol.11, No.5, pp.44-52, 1997.

〔4〕 B. H. Lee, S. C. Lee and C. O. Kim, "Analysis of malfunction characteristics of high sensitivity type earth leakage circuit breaker for 30 〔A〕 due to lightning impulse voltage", J. KIIEE, Vol.11, No.6, pp.99-103, 1997.

〔5〕 B. H. Lee, S. H. Kim and Y. H. Kim, "Reliability on the Unintended Trips of Residual Current Operated Circuit Breakers due to Surge Currents", J. KIIEE, Vol.26, No.5, pp.79∼84, 2012.

〔6〕 Korea Electric Association ; Korea Electro-technical Commission Guidance - Technical Guide for selection and application of surge protective devices in low-voltage power systems, pp.10∼12, 81, 2011.

〔7〕 IEEE C62.45, IEEE Recommended Practice on Surge Test for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits, pp.27∼36, 2002.

〔8〕 KS C IEC 61009-1; 2009, Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses(RCBOs) - Part 1 : Genral rules, pp.19-24, 73-75, 2009.

〔9〕 KS C IEC 60947-2:2009, Low-voltage switchgear and controlgear - Part 2 : Circuit-breakers, pp. 79-92, 2009.

〔10〕 KS C IEC 60364-5-53; 2007, Electrical installations of buildings - Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment - Isolation, switching and control, pp.4-11, 2007.

〔11〕 KS C IEC 61643-12; Low-voltage surge protective devices - Part 12 : Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Selection and Application principles, pp. 27∼38, 76-81,104-111, 2007.

◇ 저자소개 ◇

이복희 (李福熙)
1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 2010~2011년 본 학회 회장. 현재 인하대 IT공대 전기공학부 교수.
Tel : (032)860-7398
Fax : (032)863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr

김회구 (金會九)
1983년 7월 27일생. 2007년 2월 한국교육개발원 졸업. 2009년 2월 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정. (주)옴니엘피에스 선임연구원.
Tel : (032) 860-7398
Fax : (032)863-5822
E-mail : jackals7@naver.com

박희열 (朴喜烈)
2013년 2월 인하대학교 공학대학원 정보전기공학과 졸업(석사). 현재 (주)이앤피 대표이사.
Tel : (032)421-8204
Fax : (032)424-8204
E-mail : sin8204@unitel.co.kr

안창환 (安昌煥)
1959년 11월 4일생. 1983년 원광대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1991년 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 8월 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 인하공업전문대학 디지털전자과 교수. 현재 본 학회 총무이사.
Tel : (032) 870-2218
Fax : (032)870-2507
E-mail : aza@inhatc.ac.kr