

RCD와 SPD의 접속 위치에 따른 보호협조

(Protection Coordination Associated with Connection Location of Residual Current Devices and Surge Protective Devices)

이복희* · 박희열 · 신건진 · 배관영 · 류춘형 · 이강희

(Bok-Hee Lee · Hee-Yeoul Park · Gun-Jin Shin · Gwan-Young Bae · Chun-Hyoung Ryu · Kang-Hee Lee)

Abstract

In this paper, in order to analyze lightning impulse response characteristics in combined installations of SPDs and RCDs, surge protection coordination between SPDs and RCDs are experimentally investigated by using the combination wave generator. Six different types of single-phase residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses(RCBOs) being present on the domestic market are tested according to KS C IEC 61009-1 standard. As a result, when a class I SPD is located on the source side of an RCBO, all kinds of specimens are able to provide the proper coordination between the SPD and RCBOs without nuisance tripping, unintended operation or damage due to test impulse currents. However, in the case that the class II SPD is located on the load side of RCBOs, a lot of L-N mode injected currents is split into the RCBO, and a few RCBOs are damaged. Coordination between SPDs and RCDs is not valid and a role of SPDs is of no use. When combining SPDs with RCDs, it is necessary to select SPDs and RCDs in consideration of the protection voltage level of metal oxide varistor embedded in RCDs.

Key Words : Residual Current Device(RCD), Surge Protective Device(SPD), Protection Coordination, Combination Wave Generator, Protection Voltage Level

1. 서 론

뇌방전 또는 개폐조작으로 인한 과도전압으로부터

전기설비와 전기전자시스템을 보호하기 위해 서지방호장치 (Surge protective device : SPD)의 설치를 권장하고 있다. 뇌서지에 대한 전기·전자기기를 보호하기 위해 KS 표준 및 전기설비기술기준의 판단기준에서 서지방호장치를 보호등급에 따라 적절하게 설치하여야 한다[1-2]. 1등급 SPD의 경우 직격뢰가 배전선으로 입사되었을 때 뇌서지에 의한 피해를 방지하기 위해 피뢰설비가 있는 경우 건축물 또는 설비의 인입구 가까운 곳에 설치하며, II등급 SPD는 배전선에 유도

* 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 1월 8일
1차심사 : 2013년 1월 10일
심사완료 : 2013년 2월 6일

된 뇌서지로부터 전자기기를 보호하기 위해 부하의 가까운 곳에 설치한다. 분전반에 설치하는 1등급 SPD 또는 2등급 SPD는 누전차단기의 설치위치에 따라 접속 유형이 다르다[2]. 누전차단기와 SPD의 설치는 각각 기능과 역할이 다르며, 상호간의 기능에 영향을 미치면 안 된다. 즉 SPD의 동작에 의해 누전차단기가 오동작하면 안 된다. 누전차단기에는 서지에 대한 자체 회로의 보호를 위해 소형 바리스타가 내장되어 있다. 서지에 대한 누전차단기에 내장된 MOV와 SPD의 동작 특성이 적절한 협조관계를 이루지 못하면 누전차단기가 파손되거나 오동작을 하게 된다. 따라서 SPD가 적절한 역할을 하기 위해서는 누전차단기에 내장된 MOV와의 보호 협조에 대한 특성의 파악이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 저압 전원계통에 입사하는 서지에 대한 누전차단기의 MOV와 SPD의 보호협조 및 누전차단기의 의도하지 않은 트립동작 여부를 파악하기 위하여 수행한 누전차단기와 SPD의 설치위치에 따른 임펄스전압과 전류에 의한 보호협조에 대하여 실험적으로 조사한 결과에 대하여 기술하였다. IEC 61643/IEEE C62.41[3-4] 서지시험에 요구되는 조합파 임펄스발생장치를 이용하여 RCD와 SPD를 설치한 220V, 60Hz의 사용 전원회로에 뇌임펄스전압을 중첩시켜 인가하였을 때 RCD의 오동작 여부를 분석하였다. RCD와 SPD가 설치된 60Hz, 220V 전원회로에 1.2/50 μ s 임펄스전압을 인가하였을 때 누전차단기에 내장된 MOV와 SPD에 분류되는 전류와 잔류전압을 측정하였다. 실험에 사용한 등급 I, II SPD는 시판되고 있는 제품이며, RCD 또한 국내 시판되고 있는 6종의 시료에 대하여 실험하였다. SPD의 설치위치에 따른 RCD와의 보호협조와 기능의 적합성 여부 등을 조사하고 효과적인 SPD의 설치기법의 제안을 위한 기술적 사항을 검토하였다.

2. 실험

2.1 실험장치 및 방법

본 실험에는 IEEE C62.41[4] 서지시험에 요구되는 임펄스발생장치를 사용하였으며, 그림 1과 그림 2에

나타낸 바와 같은 KS C IEC 60364-5-53 표준[5]에 따라 1등급 SPD를 RCD의 전원 측에 접속한 경우 및 2등급 SPD를 RCD의 부하 측에 접속한 경우 전원 측에서 서지가 입사한 때 SPD와 RCD로 흐르는 전류 및 부하 측의 단자전압을 측정하고, RCD의 의도하지 않은 트립 여부를 파악하였다. 이때 60Hz, 220V의 상용전원을 인가한 상태에서 90° 위상에 임펄스전압을 중첩시켜 L-N간에 인가하였다. 1kV부터 6kV까지의 임펄스전압을 인가하였으며, 최대 방전전류는 약 3kA이다. 실험방법은 KS C IEC 60947과 KSC IEC 61009-1 표준에 따라 수행하였다[6-7].

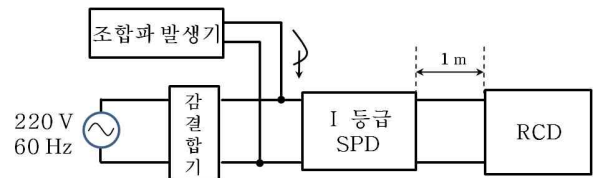


그림 1. RCD의 전원측에 I 등급 SPD를 설치한 실험회로
Fig. 1. Experimental circuit with class I SPD upstream of RCD

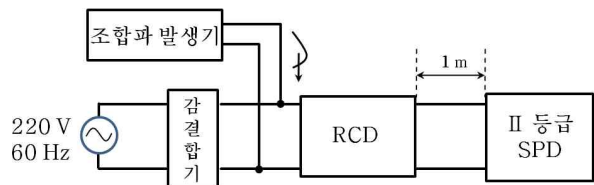


그림 2. RCD의 부하측에 II 등급 SPD를 설치한 실험회로
Fig. 2. Experimental circuit with class II SPD downstream of RCD

임펄스전류는 감도 0.1A/V이고 주파수대역이 15MHz인 전류프로브로 검출하고, 누전차단기의 단자전압은 주파수대역 100MHz인 고전압 차동프로브로 측정하였다. 검출된 전압과 전류 신호는 주파수대역 400MHz인 오실로스코프로 관측하였다.

2.2 시 료

실험대상 SPD 시료로는 220V 저압 전원회로의 뇌서지에 대한 보호용 I등급과 II등급 SPD를 선정하였으며, 상세한 규격을 표 1에 나타내었다. 또한 누전차

RCD와 SPD의 접속 위치에 따른 보호협조

단기의 시료로는 국내에서 시판되고 있는 대표적인 정격감도전류 30mA, 정격차단전류 2.5kA, 동작시간은 0.03초 이내인 성능을 갖는 30A 고감도형 인체감전 보호용 누전차단기 6종을 선택하였으며, 이들의 성능에 대한 상세한 규격을 표 2에 나타내었다.

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

파라미터	I 등급 SPD	II 등급 SPD
최대 방전 전류	I_{imp} 15kA	I_{max} 40kA
공칭방전전류	70kA	20kA
최대 연속사용전압	330V	255V
전압보호레벨	2kV	1.25kV
잔류전압	0.9kV	1.1kV

표 2. 누전차단기의 규격
Table 2. Specifications of the RCDs

파라미터	규격
정격전압	AC 220V
정격감도전류	30mA
정격전류	20A
정격차단전류	2.5kA
내장된 MOV의 제한전압 (1kA일 때)	850~1130V

3. 결과 및 고찰

3.1 RCD의 전원 측에 I등급 SPD를 설치한 회로의 보호협조

KS C IEC 61643-12표준에서는 누전차단기의 전원 측에는 접속유형 CT2의 SPD를 설치하도록 규정하고 있다[8]. 접속유형 CT2 SPD의 경우 통상 L-N모드에는 전압제한형 MOV소자를 그리고 N-G모드에는 스위칭형 소자를 접속한다. KS C IEC 61643-12표준에 따른 설치회로에 대하여 L-N모드에는 MOV를 그리고 N-G모드에는 방전갭으로 구성된 I등급 SPD를 평가대상으로 하였다. 누전차단기의 전원 측에 I등급 SPD를 설치한 그림 1에 나타낸 실험회로의 전원 측에

서 조합과 임펄스발생기로 임펄스전압을 인가하였을 때 입사전류, RCD와 SPD에 흐르는 전류 및 RCD의 단자전압을 측정하여 대표적인 파형을 그림 3에 나타내었다.

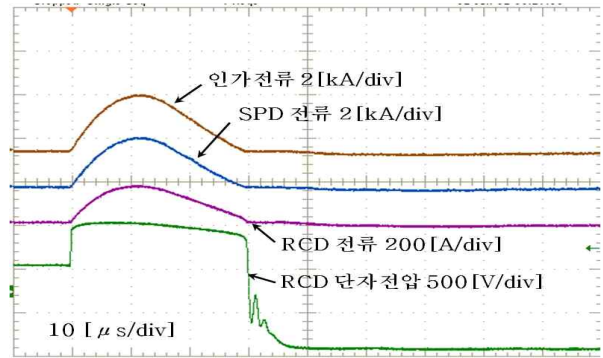


그림 3. 6kV의 임펄스전압을 인가하였을 때 RCD와 SPD에 흐르는 전류 및 RCD의 단자전압 파형
Fig. 3. Typical waveforms of the voltages across the RCD and the currents flowing through RCD and SPD when the impulse voltage of 6kV is injected

SPD를 누전차단기의 상위에 설치한 경우 전원 측에서 서지전압이 입사되면 SPD와 RCD에 내장된 MOV가 모두 작동하여 서지전류가 분류됨을 알 수 있다. 그러나 누전차단기에 내장된 MOV는 서지로부터 내부의 제어회로를 보호하여 기능을 유지시키는 것으로 전류용량이 비교적 작다. 전원회로에 입사된 서지를 차단하여 부하를 보호하는 역할을 하는 것이 SPD이므로 서지의 차단책무는 SPD가 해야 한다. 따라서 서지가 입사되었을 때 SPD와 RCD에 내장된 MOV는 적절히 동작하여 RCD의 의도하지 않는 트립 동작도 방지하고 서지로부터 부하설비를 보호해야 한다. 따라서 서지에 의해 입사되는 에너지의 대부분을 SPD가 분담해야 하며, RCD에 내장된 MOV의 에너지분담이 너무 많아 소손되면 안 되므로 적절한 에너지분담을 기반으로 하는 보호협조가 이루어져야 한다. 특히 SPD와 RCD의 제조사도 다르고, SPD와 RCD를 제조할 때 SPD와 RCD에 내장된 MOV의 동작특성과 시방 등을 고려하여 제작하지 않기 때문에 SPD와 RCD에 내장된 MOV의 서지에 대한 동작특성

과 에너지내량 등을 고려하여 적절하게 선정하여야 적절한 보호협조를 기대할 수 있으므로, SPD의 설치에 있어 가장 중요한 핵심적 사항인 것으로 볼 수 있다[9]. 그러므로 본 연구에서는 이러한 관점에 주목하여 SDP와 RCD의 보호협조에 대하여 중점적으로 검토하였다.

동일한 분전반 또는 근방에 1등급 SPD와 RCD를 설치하는 것을 상정하여 SPD와 RCD 사이의 거리를 1m로 하였으며, 인가전압의 크기에 따라 RCD와 SPD로 분류되는 전류의 측정결과를 그림 4, 그리고 인가전압의 크기에 따른 RCD의 단자전압을 그림 5에 나타내었다. 누전차단기 시료 A와 B의 경우 뇌임펄스전압이 증가함에 따라 대부분의 전류가 상위에 설치된 1등급 SPD로 분류되며, RCD에 내장된 MOV로 분류되는 전류의 비중은 크지 않은 것으로 나타났으며, 보호협조가 적절한 것으로 보인다.

그림 4의 결과를 보면 RCD의 전원측에 설치된 동일한 1등급 SPD에 대하여 RCD의 종류에 따라 단자전압이 다르게 나타난 이유는 각 RCD에 내장된 MOV의 임펄스전압에 대한 제한전압이 다르기 때문이다. 시료 C와 D의 누전차단기의 경우 인가전압 1kV에서 임펄스전류는 시료 A, B와 거의 유사하게 분류되었지만, 인가전압 2kV부터 RCD가 트립되었으며, 서지전압에 대한 부동작 기능이 없음을 확인하였다.

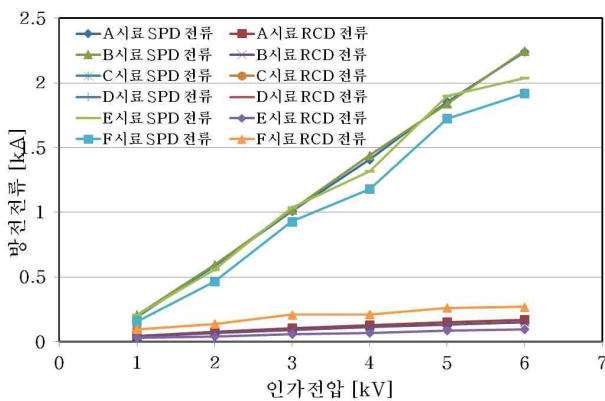


그림 4. 인가전압의 크기에 따른 RCD와 SPD로 분류된 전류

Fig. 4. Currents flowing into RCD and SPD as a function of the amplitude of injected voltage

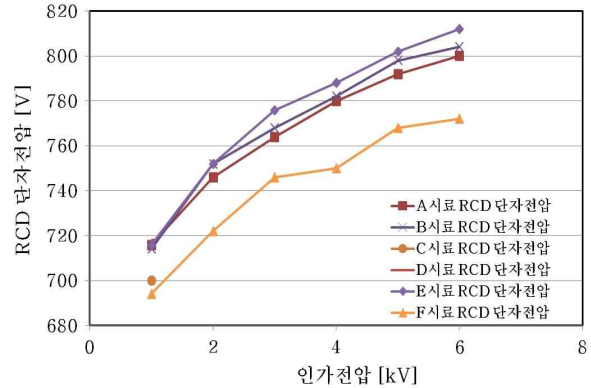


그림 5. 인가전압의 크기에 따른 RCD의 단자전압

Fig. 5. Voltages across the RCDs as a function of the amplitude of injected voltages

시료 E 및 F의 누전차단기도 시료 A와 B의 경우와 마찬가지로 대부분의 임펄스전류가 상위에 설치된 1등급 SPD로 분류되었으며, 전류분담에 대하여 비교적 양호한 협조를 이루는 것으로 판단된다. L-N 양단의 잔류전압은 시료 A, B, E, F의 누전차단기에서 인가전압 6kV일 때 약 900V 이하로 나타났다. 시료 F 누전차단기의 경우 시료 A, B, E에 비하여 누전차단기에 내장된 MOV로 분류되는 전류가 크며 단자(잔류)전압은 가장 낮은 것으로 나타났다. 1.2/50 μ s 임펄스전압 6kV를 인가한 때 누전차단기의 의도하지 않은 트립의 여부를 표 3에 나타내었다. 시료 C와 D의 누전차단기가 임펄스전압에 의해 의도하지 않은 트립을 일으킨 원인은 전원측에 설치한 SPD의 동작으로 흐른 서지전류에 의한 RCD 제어회로의 전자기민감성 즉, 서지내성이 약하기 때문인 것으로 판단된다.

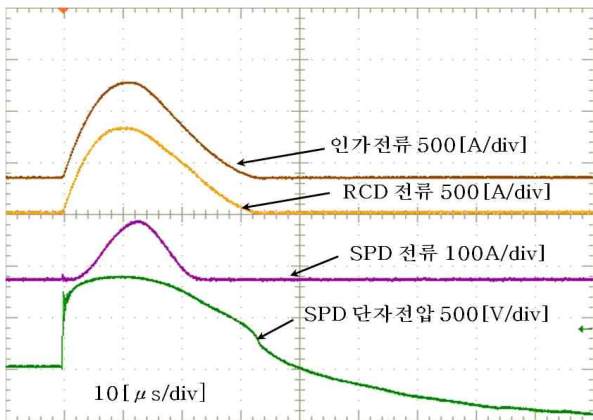
표 3. RCD의 의도하지 않은 트립동작의 여부

Table 3. Yes or no of unintended trip of RCDs

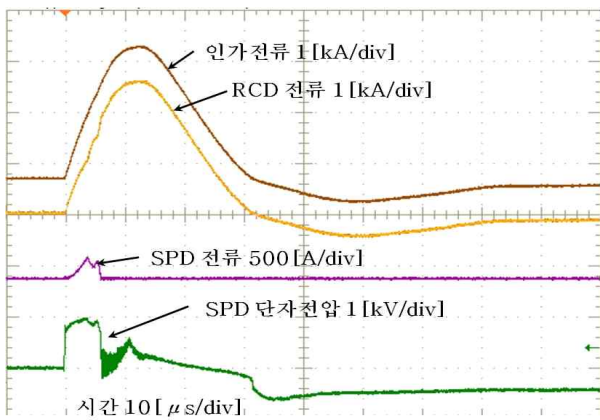
시료 RCD	트립의 여부
A	트립 안됨
B	트립 안됨
C	트립됨
D	트립됨
E	트립 안됨
F	트립 안됨

3.2 RCD의 부하 측에 II등급 SPD를 설치한 회로의 보호협조

KS C IEC 61643-12 표준에서는 누전차단기의 부하 측에는 접속유형 CT1의 SPD를 설치하도록 규정하고 있다. 접속유형 CT1 SPD의 경우 L-N모드와 N-G모드 모두 전압제한형 MOV소자를 접속한 II등급을 대상으로 실험하였다. 누전차단기의 부하 측에 II등급 SPD를 설치한 실험회로에 임펄스전압을 인가하였을 때 입사전류, RCD와 SPD에 흐르는 전류 및 RCD의 단자전압의 대표적인 파형을 그림 6에 나타내었다.



(a) 인가전압 3kV에서 정상 동작한 경우



(b) 인가전압 6kV에서 누전차단기에 내장된 MOV가 파손된 경우

그림 6. 임펄스전압을 인가하였을 때 RCD와 SPD로 분류된 전류 및 SPD의 단자전압 파형의 예

Fig. 6. Typical waveforms of the voltages across SPD and the currents flowing into RCD and SPD when the impulse voltage is injected

그림 6 (a)는 1.2/50 μ s 임펄스전압의 입사에 의해 RCD에 내장된 MOV와 SPD가 작동하여 흐른 8/20 μ s 임펄스전류의 파형이며, 그림 6 (b)는 RCD에 내장된 MOV가 입사된 임펄스전류에 의해 파손되어 입사전류는 RCD로 분류되고 SPD의 전류가 0으로 감소하며, 누전차단기의 트립으로 단자전압도 0으로 수렴되는 것으로 나타났다. RCD와 II등급 SPD 사이의 보호거리 1m로 하였으며, 인가전압의 크기에 따라 RCD와 SPD로 분류되는 전류의 측정결과를 그림 7, 그리고 인가전압의 크기에 따른 SPD의 단자전압을 그림 8에 나타내었다. 임펄스전압이 증가함에 따라 대부분의 전류가 누전차단기에 내장된 MOV로 분류되었으며, 인가전압 2kV 이상에서 II등급 SPD로 비교적 작은 전류가 분류되어 흐르며 인가전압의 증가와 더불어 상승하는 양상을 보였다.

누전차단기에 내장된 MOV의 동작개시전압이 SPD의 동작개시전압보다도 낮아 마치 누전차단기에 내장된 MOV가 서지방호에 대한 주 기능을 하고 SPD가 보조적 역할을 하는 것과 같은 동작모드의 양상으로 나타났다. 서지전류에 대하여 누전차단기에 내장된 MOV가 견디지 못하면 SPD는 설치한 효과를 발휘하지 못하는 결과를 초래하게 된다.

시료 D와 E의 누전차단기의 경우 인가전압의 증가에 따라 누전차단기에 내장된 MOV로 분류되는 전류의 비중이 급격히 증가하였으며, 인가전압 6kV에서 RCD에 내장된 MOV가 파손되었다. 이 경우 서지전류에 의한 누전차단기의 의도하지 않는 트립의 정도를 넘어 누전차단기가 파손되는 장애를 초래하였다. 또한 누전차단기에 내장된 MOV는 KS C IEC 61009-1 표준[6]에 규정된 S형 누전차단기에 의도하지 않는 트립동작을 하지 않도록 요구되는 최소값인 8/20 μ s, 3kA 임펄스전류보다도 훨씬 작은 전류에서 파손되었다. 이것은 SPD가 입사한 서지전압을 제한하여 누전차단기를 보호해야 하지만 전혀 본래의 기능을 발휘하지 못하고 협조가 이루어지지 않은 전형적인 누전차단기와 SPD의 조합으로 설치하는 형태인 것으로 판단된다. 1.2/50 μ s 임펄스전압 6kV를 인가한 때 각 시료 RCD의 의도하지 않는 트립동작 및 파손 여부를 표 4에 나타내었다.

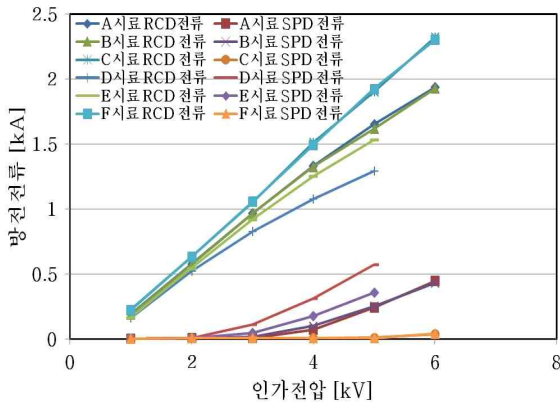


그림 7. 임펄스전압의 크기에 따른 RCD와 SPD로 분류된 전류

Fig. 7. Currents flowing into RCD and SPD as a function of the amplitude of impulse voltages

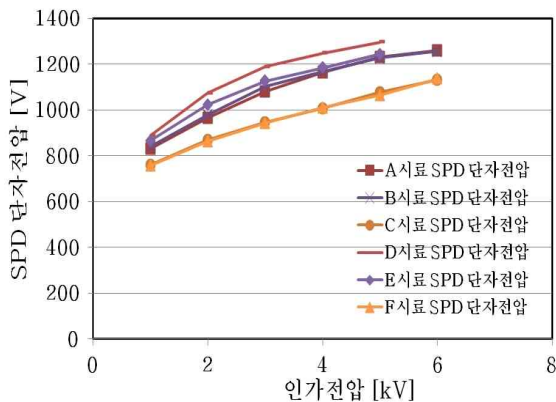


그림 8. 임펄스전압의 크기에 따른 SPD의 단자전압

Fig. 8. Terminal voltages across SPDs as a function of the amplitude of impulse voltages

표 4. RCD의 의도하지 않은 트립동작의 여부
Table 4. Yes or no of unintended trip of RCDs

시료 RCD	트립의 여부
A	트립 안됨
B	트립 안됨
C	트립 안됨
D	트립됨(파손)
E	트립됨(파손)
F	트립 안됨

모든 누전차단기에서 입사된 임펄스전류가 SPD보다는 누전차단기의 MOV를 통하여 훨씬 많은 전류가 분류되었으며, 대단히 부적절한 전류분담의 설치조건이다. 시료 D와 E 누전차단기에 내장된 MOV의 전류용량이 작아 임펄스전류에 의해 파손된 것으로 판단된다. 특히 시료 C의 누전차단기의 제어회로는 서지에 대한 전자기내성은 없지만 MOV의 전류용량이 크고, 시료 E 누전차단기의 제어회로는 서지에 대한 내성은 있지만 MOV의 전류용량은 낮은 것으로 볼 수 있다.

SPD는 서지전류를 우선적으로 처리하는 것이 본래의 기능이며, 누전차단기에 내장된 MOV는 의도하지 않은 트립에 대한 내성을 주 기능으로 하여야 한다. KS C IEC 60364-5-53 : 2007에는 서지방호장치를 누전차단기의 부하 측에 설치하는 경우 시간지연 여부에 상관없이 최소 3kA, 8/20 μ s의 서지전류에 대한 내성을 가지는 누전차단기를 사용하도록 규정되어 있다[5]. 서지방호장치를 누전차단기와 함께 사용하는 경우 누전차단기와 서지방호장치는 기능적으로 독립되어야 한다. 즉 서지가 침입하였을 때 서지방호장치가 먼저 동작하여 누전차단기를 서지로부터 보호해야 한다.

4. 결 론

누전차단기와 SPD의 설치위치에 따른 서지전류의 분담 및 누전차단기의 의도하지 않는 트립동작 등을 기반으로 하는 누전차단기와 SPD의 보호협조의 분석을 위해 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 1등급 SPD를 누전차단기의 앞단에 설치한 경우 전원 측에 입사한 서지전류의 대부분을 SPD가 분담하는 것으로 나타났으며, RCD에 흐르는 방전전류량은 비교적 작았다. 6종의 시료 누전차단기 중 4종은 임펄스전압에 대한 의도하지 않는 트립에 대한 내성을 충족하였으나 2종의 누전차단기는 임펄스전압에서 전자기내성이 낮아 의도하지 않는 트립동작을 하였다. 누전차단기의 부하 측에 II등급 SPD를 설치하는 조건의 실험에서 서지전류의 대부분은 RCD의 MOV로 분류되고, SPD로는 일부만 분류되었으며, 모든 조합의 설치조건에서 서지전압에 대한 보호협조가 이루어지지 않아

RCD에 내장된 MOV의 전류용량이 작은 것은 파손되었다. SPD와 RCD에 내장된 MOV의 보호협조가 적절히 이루어지지 못하면 누전차단기의 파손으로 전원공급이 중단되어 전력공급의 신뢰성이 저하될 수 있다.

References

- [1] KS C IEC 62305-4; Protection against lightning - Part 4 : Electrical and electronic systems within structures, pp. 83~84, 2007.
- [2] 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.
- [3] KS C IEC 61643-1; Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Part 1: Requirements and tests, pp. 22~24, 2010.
- [4] IEEE C62.41, IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits, pp.47~57, 1991.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] KS C IEC 60947-2;2009, Low-voltage switchgear and controlgear - Part 2 : Circuit-breakers, pp. 79-92, 2009.
- [8] 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.
- [9] B. H. Lee and S. C. Lee, Protection of Information and Communication Facilities against Lightning, The Publishing Department of Inha University, pp.26-29, 2004.

◆ 저자소개 ◆



이복희 (李福熙)

1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 객원연구원. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 2010년 1월~2011년 12월 본 학회 회장. 현재 인하대 IT공대 전기공학부 교수.
Tel : (032)860-7398
Fax : (032)863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr



박희열 (朴熙烈)

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



신건진 (辛建鎭)

2013년 2월 인하대학교 공학대학원 정보전기공학과 졸업(석사). 현재 (주)한양이앤씨 대표이사.
Tel : (031)355-5454
Fax : (031)629-5560
E-mail : hy-enc@hanmail.net



배관영 (裴官榮)

2013년 2월 인하대학교 공학대학원 정보전기학과 졸업(석사). 현재 (주)진성 대표이사
Tel : (032)234-6500
Fax : (032)234-6565
E-mail : plc6565@nate.com



류춘형 (柳椿馨)

2013년 2월 인하대학교 공학대학원 정보전기공학과 졸업(석사). 현재 (주)포스코건설 차장(발송배전기술사).
Tel : (02)388-2333
Fax : (02)388-2331
E-mail : ch-ryu@poscoenc.com



이강희 (李罔熙)

2013년 2월 인하대학교 공학대학원 정보전기공학과 졸업(석사). 현재 대한전기협회 기술기준처 과장.
Tel : (02)3393-7675
Fax : (02)3393-7689
E-mail : mk0621@electricity.or.kr