

누전차단기의 충격파 부동작 특성과 EMC 성능 비교분석

(Comparison impulse un-tripping characteristic with EMC performance on residual current circuit breaker)

김언석* 한윤탁 김봉성 정중일 정병하 김재철

(Oun-Seok Kim Yoon-Tak Han Bong-Sung Kim Jung-Il Jeong Byung-Ha Jung Jae-Chul Kim)

Abstract

본 논문은 누전차단기의 충격파 부동작 특성과 전자기적합성(EMC) 특성비교에 관한 것이다. 국내 규격에서는 충격파 부동작 성능만 확인하지만 국제규격에서는 많은 EMC 항목이 있다. 누전차단기 17종에 대하여 EMC 4항목을 실시한 결과, IEC 61000-4-5에 따른 조합서지 내성에서 9종이 불량이었다. 다른 항목에서는 불량이 발생하지 않았다. 오동작만 발생한 시료 2종에 대하여 충격파 부동작 성능을 평가한 결과 오동작이 발생하지 않았다. 이것으로 보아 EMC와 충격파 부동작 시험은 상관관계가 적으며 보완이 필요함을 알 수 있다.

1. 서론

가정용 누전차단기는 감전 및 과부하보호용으로 사용하여 감전이나 화재사고를 미연에 방지한다. 최근 가정에서의 컴퓨터 사용, 홈오토메이션, 원격검침 및 정밀 가전제품의 사용 증가로 정전을 유발하는 누전차단기의 오동작은 많은 문제점을 일으킨다. 전력품질의 개선을 위해서는 각종 서지에 오동작하지 않는 누전차단기의 성능개선이 중요하다.

누전차단기의 오동작에 관한 연구는 초기에는 KS C 4613에서 언급한 충격파 부동작 특성을 기준으로 하였다[1,2,6]. 이것은 누전차단기의 영상변류기를 관통하는 낙뢰전류에 의한 오동작 특성에 관한 것이다. 최근에는 전원 단자간의 IEC 61000-4-5에 따른 서지전압에 대한 오동작 특성을 연구하였다[3,4]. 실제 저압계통에는 많은 종류의 전자적합성(Electromagnetic Compatibility, EMC) 현상이 존재한다[5]. 그러므로 누전차단기의 오동작 성능개선을 위해서는 오동작 관련 더 많은 성능평가가 필요하다. 이러한 필요성은 누전차단기의 IEC 국제규격에서 대부분 반영되어 많은 EMC 평가항목을 포함하고 있다. 국제규격으로는 누전전용인 IEC 61008-1, 누전 및 과부하 겸용인 IEC 61009-1 그리고 누전차단장치의 EMC 일반 규격인 IEC 61543이 있다[7-9].

본 논문에서는 전자기적합성(Electromagnetic Compatibility, EMC) 관점에서 누전차단기의 오동작 특성을 검토하였다. 국내에서는 누전차단기에 대하여 충격파 부동작 성능만 포함하고 있다. 반면 국제규격에서는 많은 EMC 관련 항목을 포함하고

있다. 국내에서도 2004년 7월부터는 국제규격에 따른 성능평가를 하여야 하므로 이에 대한 검토가 필요하다. 본 논문에서 누전차단기 17종에 대하여 EMC 4항목을 실시한 결과, IEC 61000-4-5에 따른 서지내성에서 9종이 불량하였고, 다른 항목에서는 불량이 발생하지 않았다. 오동작만 발생한 시료 2종에 대하여 충격파 부동작 성능을 평가한 결과 오동작이 발생하지 않았다. 이것으로 보아 EMC와 충격파 부동작 시험은 상관관계가 적으므로 국내 제품에도 EMC 시험이 필요함을 알 수 있다. 국내 제품에 국제규격을 적용하기 위해서는 주로 조합서지에 대한 보완이 필요함을 알았다.

2. 본론

2.1. 누전차단기와 EMC

누전차단기는 그림 1과 같이 크게 차단장치, 영상변류기 그리고 증폭회로 및 비교회로와 같은 전자회로로 구성되었다. 누전차단기는 영상변류기에서 누설전류를 검출하여 회로를 차단하고, 낙뢰와 같은 충격전류에는 부동작 하여야 한다. 이 성능을 확인하기 위하여 서지전류가 영상변류기를 관통하여 흐르게 한다. IEEE 규격 [5]에 따르면 저압인입구에서의 서지종류는 다양하나 KS 규격에서는 100[kHz] Ring 파형에 대응하는 시험만 실시하며, 국제규격에서는 $8 \times 20[\mu s]$ 서지전류를 추가하고 있다[8,9]. 최근 가정용 전자기기 및 멀티 콘센트 등에 배리스터와 같은 비선형소자가 들어있고, 고조파전류를 발생시키는 인버터 채용 가전기구나 전자레인지 등이 많아 이에 대한 대비책이 필요하다.

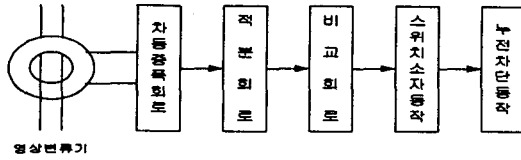


그림 1. 누전차단기의 블록 다이어그램
Fig. 1. Block diagram of circuit breaker

누전차단기는 적분회로나 증폭회로와 같은 전자회로를 포함하고 있다. 전자회로용 제어전원은 전원에서 분기하여 전압분압 방식으로 낮추어 사용하고 있다. 제품 크기가 작은 관계로 전원단자에 유기된 전도성 서지가 전원회로를 따라 전자회로에 영향을 주기 쉽다. 서지의 영향은 오동작, 전자회로 파괴 및 특성변화로 나타날 수 있다. 오동작은 노이즈가 전자회로를 교란시켜 트립시키는 것이다. 고장을 동반하지 않는 오동작은 다시 사용이 가능하다. 오동작을 동반하지 않는 파괴는 치명적이다. 만약 전자회로가 파괴된 상태에서 누전이나 과부하가 발생하면 감전이나 화재가 발생하기 때문이다. 특성변화도 중요하다. 누전차단기 동작시간은 0.03[s] 이내이어야 한다. 특성이 변화되어 동작시간이 길어지면 감전에 따른 사고의 위험이 커지게 된다. IEC 규격에서는 현재 IEC 61000-4-4에 따른 급과도 버스트(fast transient burst) 시험은 실시중이고, IEC 61000-4-5 조합서지(combination surge) 및 IEC 61000-4-6에 따른 무선주파 전도내성(conducted electromagnetic field) 시험은 실시 고려중이며, 새로 개정되는 규격에서는 강제로 전환될 예정이다[9].

또한 겨울철 습도가 낮은 상태에서 인체에 대전된 정전기 방전에 의한 오동작 성능을 확인하기 위하여 IEC 61000-4-2에 따라 시험을 실시하며[9], 핸드폰이나 무선기와 같은 고주파 방사장치에 의한 오동작 여부를 확인하기 위하여 IEC 61000-4-3에 따른 시험은 현재 추가 작업 중이다.

2.2. 국내 및 국제 규격비교

표 1. 시험항목 비교
Table 1. Comparison of test items

EMC 관련 항목	규격		
	KSC 4613	IEC 61008-1	IEC 61009-1
충격파 부동작 (100[kHz] Ring 서지전류)	○	○	○
8×20[μs] 전류 내성	×	○	○
정전기 내성	×	○	○
서지 내성	×	△	△
급과도 버스트	×	○	○
무선주파 전도내성	×	△	△
무선주파 방사내성	×	△	△

○ : 포함 △ : 개정 예정 × : 해당사항 없음

국내 KS 규격과 IEC 국제규격의 EMC 평가항목에 대하여 비교 검토한 결과는 다음과 같다.

(1) 충격파 부동작(100[kHz] Ring 서지전류) 시험은 국내 규격의 명칭이고, 국제규격에서는 200[A]의 100[kHz] Ring 서지전류 부동작 시험에 해당된다. 이 시험은 영상변류기에 서지전류를 흘렸을 때 오동작을 확인하는 것이다. KS 규격에서는 임펄스 파형 발생장치 출력이 병렬로 연결된 100[kΩ] 저항 및 0.033[μF] 커패시터를 통하여 서지전류를 발생한다. 이때 임펄스 발생장치 출력전압은 1.2×50[μs] 7[kV]이지만, 저항 및 커패시터에 의해 Ring 파형의 서지전류로 변환된다. 이때 서지전류의 주파수는 약 150[kHz] 대역이다[1,2]. IEC 국제규격에서는 IEC 61000-4-12 또는 IEEE C62.41의 100[kHz] Ring 파형을 이용한다. 100[kHz] 서지전류는 200[A]가 되도록 전압을 조정한다. 충격파 부동작 시험은 영상변류기에 대한 시험이고, 영상변류기의 오동작은 영상전류 크기와 관계있으므로 전류치로 규정한 IEC 규격이 합리적이라고 할 수 있다. KS 규격에서 임펄스 전압 7[kV]은 전류를 발생하기 위한 전압일 뿐 다른 의미는 없다. KS 규격 및 국내 논문에서 서지전류 크기에 대한 언급이 없는 것은 개선해야할 사항이다[1-4, 6].

(2) 8×20[μs] 서지전류에 대한 부동작 시험은 IEC 국제규격에만 적용된다. 평가개념은 충격파 부동작 항목과 동일하며, 다만 서지파형과 서지전류가 틀리다. 서지전류크기는 3[kA]이므로 기존의 임펄스 발생장치로는 성능평가가 불가능하다. 왜냐하면 IEC 61000-4-5의 서지 발생장치는 출력 임피던스가 2[Ω]이기 때문에 단락모드에서 큰 전류가 발생되나 기존장치는 출력임피던스가 500[Ω]이기 때문에 큰 전류 발생이 어렵다.

(3) 정전기 내성시험은 IEC 국제규격에만 적용된다. 평가개념은 누전차단기의 금속파트에 6[kV]를 방전시키거나 절연파트에 8[kV] 전압을 방전시켜 오동작이나 전자부품 파괴여부를 확인한다. 국내 제품은 대부분 금속파트가 없으므로 8[kV]의 기중방전 시험만 실시하면 된다. 경험에 의하면 기중방전 위치는 차단부 핸들부분과 테스트 버튼 부분이다.

(4) 조합서지 내성 시험은 IEC 국제규격에만 적용된다. 평가개념은 서지파형을 전원단자 사이 및 접지와 같은 금속파트에 인가한다. 이 시험은 IEC 61000-4-5에 따라 실시하며, 에너지가 큰 관계로 전자부품이나 배리스터와 같은 비선형소자가 파괴되는 경우가 많다. 시험전압은 모든 단자 사이에는 4[kV]를 인가하고 단자와 금속파트 사이에는 5[kV]를 인가한다. 국내 제품은 대부분 금속파트가 없으므로 차동모드 시험만 실시하면 된다.

(5) 급과도 버스트 내성시험은 IEC 국제규격에만 적용된다. 평가개념은 공통모드 시험으로 모든 전원라인과 접지기준판(Ground Reference Plane) 사이에 상승시

간이 매우 빠른 서지를 인가한다. 시험은 IEC 61000-4-4에 따라 실시하며, 주파수가 높은 관계로 주로 디지털 회로를 교란시킨다. 시험전압은 4[kV]이며 1분 이상 인가한다.

(6) 무선주파 전도내성시험은 IEC 국제규격에만 적용된다. 평가개념은 고주파 전압이 전원단자와 접지사이에 인가될 때 오동작 여부를 확인하는 것이다. 시험은 IEC 61000-4-6에 따라 공통모드만 실시하며, 시험주파수는 150[kHz]에서 80[MHz]까지이고 시험전압은 3[V]이다.

(7) 무선주파 방사내성시험은 IEC 국제규격에만 적용된다. 평가개념은 1[m] 높이의 목재 테이블에 누전차단기를 설치하고 고주파 전계를 안테나를 통하여 차단기 전면에 인가하여 오동작 여부를 확인한다. 시험은 IEC 61000-4-3에 따라 실시하며, 시험주파수는 80[MHz]에서 1000[MHz]까지이고 이때 전계강도는 3[V/m]이다.

2.3. 비교시험 및 결과분석

국내 KS 규격의 충격과 부동작 특성과 IEC 국제규격에 의한 EMC 성능을 비교하기 위하여 성능평가를 실시하였다. 시료는 임의로 선정된 17종의 누전 및 과전류 검출 누전차단기를 사용하였다. 누전차단기의 정격은 모두 동일하며, 형상은 크게 2종으로 그림 2와 같다. 시험은 IEC 61009-1에 따른 서지전류 및 서지전압 시험을 실시하였다. 서지전류는 IEC 61000-4-12에 따른 100[kHz] Ring 파형 및 IEC 61000-4-5에 따른 조합서지 파형이다[그림 3]. 그림 4는 국제규격에 의한 실험장면이다. 서지전압은 IEC 61000-4-4에 따른 급파도 버스트 파형 및 IEC 61000-4-5에 따른 조합서지 파형이다[그림 5]. 국내규격의 충격전압 발생기는 IEC 60060에 따른 1.2×50[μs] 임펄스 파형이다. 그림 6은 임펄스 파형 및 실험회로도이다. IEC 규격에 의한 서지전류 실험회로도는 그림 6의 충격과 부동작 실험과 같은 개념이다. 그림 7은 KS 규격에 따른 충격과 부동작 실험장면이다. 실험에 사용한 장치들을 표 2에 정리하였다.

표 2. 실험장치 사양
Table 2. Specification of test equipments

장비 명칭	주요 정격	모델명
조합파형 발생장치	1.2×50[μs] 6.6[kV], 8×20[μs] 3.3[kA]	Schaffner NSG 2050 PNW 2050
Ring 파형 발생장치	6[kV] 100[kHz] 12[Ω]	Schaffner NSG 2050 PNW 2052
충격전압 발생기	1.2×50[μs] 15[kV] 500[Ω]	Sanki LSG-10K-S

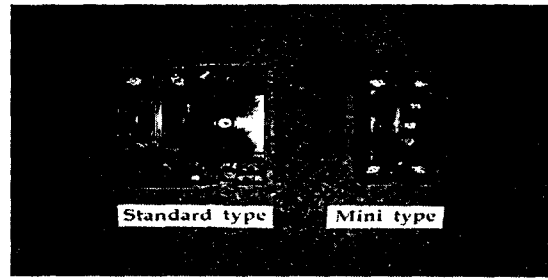
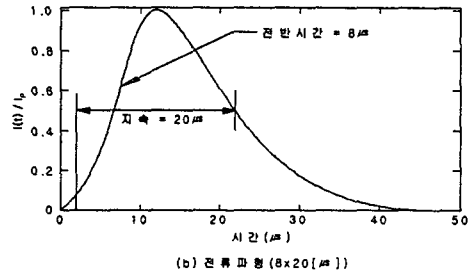
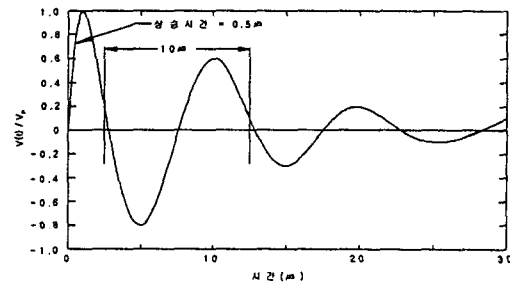


그림 2. 누전차단기 형상
Fig. 2. Type of circuit breaker



(a) 8 x 20[μs] combination surge current



(b) 100[kHz] ring surge current

그림 3. 서지전류 시험용 파형
Fig. 3. Waveform for surge current test

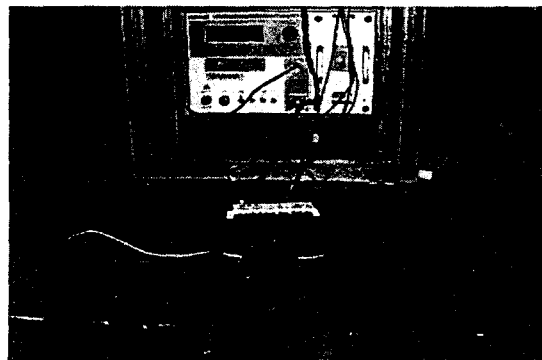
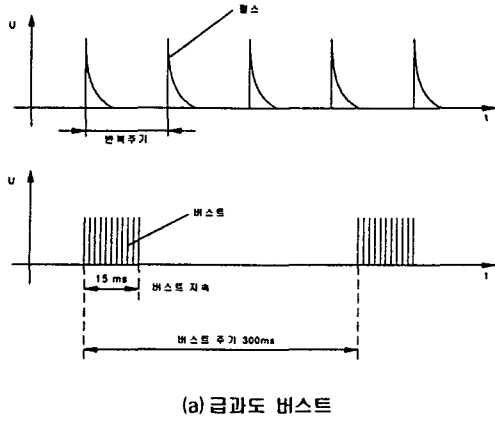


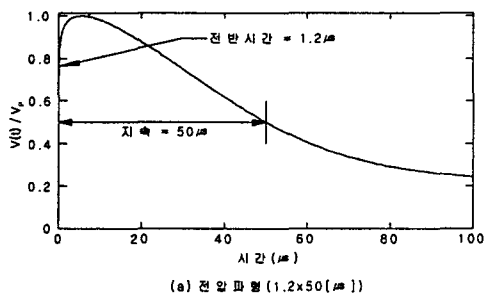
그림 4. 서지내성 및 서지전류 실험장면
Fig. 4. Photograph of surge immunity and surge current test



(a) 급과도 버스트

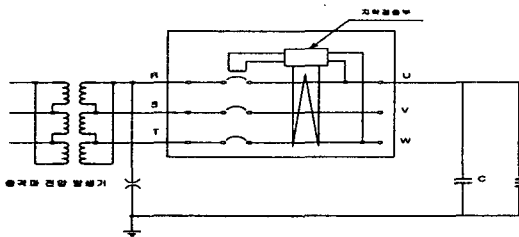
(b) 1.2x50[μs]-8x20[μs] combination surge waveform

그림 5. 서지내성 시험용 파형
Fig. 5. Waveform for Surge immunity test



(a) 전압 파형 (1.2x50[μs])

(a) 충격파 전압



(a) 충격파 전압 실험 회로도

그림 6. 임펄스 파형 및 실험 회로도
Fig. 6. Impulse waveform and test diagram

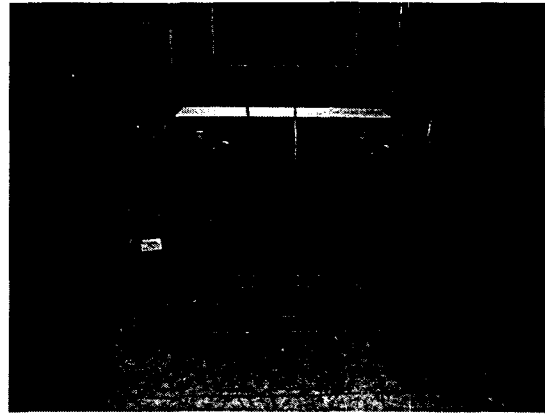


그림 7. 충격파 부동작 실험장면
Fig. 7. Photograph of un-tripping impulse test

실험결과는 표 3에 정리하였다. 실험결과, 누전차단기 17종 중에서 IEC 규격에 따른 조합서지전압 실험에서 9종이 고장 또는 오동작 하였다. 나머지 4종 실험에서는 어떠한 고장이나 오동작도 발생하지 않았다. 고장 나거나 오동작한 9종 차단기 중 7종은 사용 불가능한 완전고장이고 2종은 오동작만 발생하였다. 고장모드는 다양하게 나타났다. 첫 번째 고장모드는 트립만 발생하고 동작시간 특성은 정상인 경우이다. 두 번째 고장모드는 아크가 발생하면서 트립 된 경우이며 대부분 완전고장이 되어 차단부 핸들이 동작하지 않는 경우가 많았다.

표 3. 성능평가 결과
Table 3. Results of Performance Test

시료구분	IEC				KS
	①	②	③	④	⑤
30A 30 mA(#1) 大	○	○	○	○	○
30A 30 mA(#2) 大	○	○	○	○	○
30A 30 mA(#3) 大	○	○	○	△	○
30A 30 mA(#4) 大	○	○	○	×	-
30A 30 mA(#5) 大	○	○	○	○	○
30A 30 mA(#6) 大	○	○	○	×	-
30A 30 mA(#7) 大	○	○	○	×	-
30A 30 mA(#8) 大	○	○	○	○	○
30A 30 mA(#9) 小	○	○	○	○	○
30A 30 mA(#10) 小	○	○	○	×	-
30A 30 mA(#11) 大	○	○	○	○	○
30A 30 mA(#12) 大	○	○	○	○	○
30A 30 mA(#13) 大	○	○	○	×	-
30A 30 mA(#14) 大	○	○	○	×	-
30A 30 mA(#15) 大	○	○	○	○	○
30A 30 mA(#16) 小	○	○	○	△	○
30A 30 mA(#17) 小	○	○	○	×	-

① : 100[kHz] Ring 서지 부동작 실험 : IEC 61009-1
 ② : 8x20[μs] 서지전류 부동작 실험 : IEC 61009-1
 ③ : 급과도 버스트 내성 실험 : IEC 61543
 ④ : 조합서지 내성 실험 : IEC 61543
 ⑤ : 충격파 부동작 실험 : KSC 4613
 ○ : 정상 △ : 오동작 × : 시료파괴 - : 미실험
 大 : 표준형 小 : Mini형

세 번째 고장모드는 트립은 되지 않았으나 실제로는 고장이 발생하여 누전이나 과전류가 되어도 동작하지 않았다. 세 번째 모드가 가장 위험한 상황이다. 실제로 이런 고장모드에서는 감전사고나 화재가 발생할 수 있기 때문이다. 영구고장으로 판별된 7종 시료 중에서 세 번째 모드가 5종에서 발생되었다. 누전차단기 형상을 기준으로 구분할 때 Mini형은 4종 중 3종에서 불량 발생하였다. 부품 설치공간이 협소하여 발생한 문제라고 판단된다. 주요 고장원인은 전자회로 및 배리스터 파괴였다. 충격과 부동작 실험은 서지전압 실험에서 고장 나지 않은 8종과 오동작만 발생한 2종을 더하여 총 10종에 대하여 실시하였다. 10종 모두 오동작이 발생하지 않았다. 심지어 서지전압 실험에서 오동작이 발생한 시료 2종도 정상으로 판정되었다. 이것으로 보아 서지전압 실험과 충격과 부동작 실험은 서로 상관관계가 없음을 알 수 있다. 전체적인 실험결과로 보아, 국내 누전차단기는 조합서지전압 성능만 보장하면 국제규격에 따른 성능평가를 실시하여도 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

3. 결론

국내 감전 및 과부하 보호 겸용 누전차단기에 대한 충격과 부동작 특성 및 EMC 특성에 대하여 고찰하였다. 먼저 국내 KS 규격과 IEC 국제규격의 EMC 항목을 비교하여 보았다. 그리고 17종의 누전차단기에 대하여 EMC 성능평가를 실시하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 국제규격에 따른 조합서지 내성 실험에서 17종의 누전차단기 중 9종이 불량이었다. 나머지 다른 시험항목에서는 불량발생이 없었다. IEC 국제규격에 따른 성능평가를 위해서는 조합서지 시험에 대한 대책이 필요함을 알았다.

(2) 9종의 고장모드를 분석한 결과 오동작만 발생한 경우는 2종이고, 나머지 7종은 사용이 불가능한 완전 고장이었다. 누전차단기의 완전고장을 예방하기 위한 대책이 필요함을 알 수 있다.

(3) 7종의 영구고장 제품 중에서 5종은 트립 되지 않으면서 영구고장이 발생되었다. 이런 종류의 고장은 누전이나 과전류 발생시 감전사고나 화재가 발생할 수 있기 때문에 대책이 필요하다고 판단된다.

(4) Mini 타입 4종 중에서 3종이 불량이었다. 원인은 부품가의 간격이 협소하기 때문이라고 생각되며 최적의 설계가 필요함을 알았다.

추후 연구과제로 이번 평가에서 제외된 3종의 추가적인 EMC 실험실시하고, 이번 실험에서 고장

또는 오동작이 발생한 시료에 대한 개선대책을 마련하고 이를 입증하는 것이다.

참 고 문 헌

- (1) 이승철, 장석훈, 이복희, "서지전압에 대한 50(A)용 누전차단기의 부동작 특성", 조명.전기설비학회지, vol.11, No.5, pp.44~52, 1997.
- (2) 이복희, 이승철, 김찬오, "뇌임펄스전압에 대한 30(A)용 고감도형 누전차단기의 오동작에 대한 특성의 해석", 조명.전기설비학회지, vol.11, No.6, pp.96~103, 1997.
- (3) 이재복, 명성호 외 4인, "충격과 부동작형 누전차단기의 뇌서지 응답 특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1688~1690, 2002. 7.
- (4) 길경석, 송재용 외 3인, "전자파 대응 단위세대 분전반의 설계 및 제작", 조명.전기설비학회지, vol.14, No.6, pp.18~25, 2000.
- (5) IEEE Std. C62.41-1991, IEEE Guide for Surge Voltage in Low-Voltage AC Power Circuits, 1991.
- (6) KSC 4613 : 누전차단기, 한국표준협회, 1994.
- (7) IEC 61008-1 : Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses(RCCBs), 2002.
- (8) IEC 61009-1 : Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses(RCBOs), 2003.
- (9) IEC 61543 : Residual current operated protective devices (RCDs) for household and similar use - Electromagnetic compatibility, 1995.