

전기화재의 발생원인 및 분석
-누전차단기의 동작특성을 중심으로-

The Causes and Analysis of Electrical Fires
-Focused on Dynamic Characteristics of RCD-

이 상 호[†]

Sang-Ho Lee[†]

삼척대학교 소방방재학부 부교수
(2003. 1. 20. 접수/2003. 5. 20. 채택)

요 약

현재 고감도의 누전차단기(RCD)와 배선용차단기(MCCB) 및 퓨즈(Fuse) 설치를 통하여 누전·단락사고와 과전류 발생시 차단기능을 부여함으로써, 전기화재의 발생을 억제하고 있으나, 매우 미흡한 실정이다. 특히 소손사고와 접속·접촉불량사고 및 순간단락사고 발생시는 구조적으로 차단이 불가능할 것으로 사료되며, 이에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 상기의 상황에 기초해서 가장 일반적으로 사용되고 있는 열동형 누전차단기(단락보호, 과부하 검출)의 동작원리와 시험항목 및 기준분석을 통하여 문제점을 제시하고자 한다. 또한 저압 배선선로의 소손사고와 접속·접촉불량사고 및 순간단락사고 발생시 전등(R)부하 및 전동기(R-L)부하에 따른 누전차단기의 동작특성을 실제 실험을 통하여 검토하고자 한다.

ABSTRACT

Recently, the occurrences of electrical fire have been suppressed by a residual current protective devices(RCD), a molded case circuit breaker(MCCB) and a fuse in case of an earth leakage, a short circuit and an over current. But it is impossible for the RCD to break the circuit in the case of the conductor fractures, the failure of pressure contacts on connecting points and the momentary short circuit of low voltage wiring. Therefore, it is require to study the constructive problem of the RCD. In this paper, we have tested the operation characteristics of the RCD according to the R load and R-L load in the conductor fractures, the failure of pressure contacts on connecting points and the momentary short circuit of low voltage wiring.

Keywords : RCD, MCCB, The momentary short circuit, Low voltage wiring

1. 서 론

오늘날 전기화재 예방을 위한 지속적인 노력에도 불구하고 생활수준 향상으로 가전기기의 대형화를 비롯한 다양한 부하의 증가로 인해 최근 10년(1991년~2000년)간 전체 화재 발생건수(260,298건) 가운데 전기화재 발생건수가 91,640건 발생함으로써, 전기화재 점유율은 약 36%이고, 평균증가율은 8.1%의 높은 비율을 나타내고 있으며, 또한 사망과 부상을 포함한 전체 인명피해는 3,797명이고, 총재산 피해액은 407,808

백만원이 발생하였다. 그리고 전기화재의 주요원인으로 알려지고 있는 단락사고와 접속·접촉불량사고는 전체 전기화재 발생건수(91,640) 가운데 각각 58,362건과 2,243건이 발생함으로써 점유율이 66.1%이고, 평균증가율은 35.2%의 역시 높은 비율을 나타내고 있으며, 특히 2000년도의 전기화재 발생건수 11,796건 가운데 단락사고와 접속·접촉불량사고가 8,910건이 발생함으로써 약 75.5%를 차지하고 있는 실정이다.¹⁾ 여기에 대응하기 위해, 현재 고감도의 다양한 누전차단기(Residual Current protective Devices : RCD)와 배선용차단기(Molded Case Circuit Breaker : MCCB) 및 퓨즈(Fuse) 설치를 통하여 누전·단락사고와 과전류 발생

[†]E-mail: shlee@samcheok.ac.kr

시 차단기능을 부여함으로써, 전기화재의 발생을 억제하고 있으나, 매우 미흡한 실정이다.^{2,3)} 특히 누전차단기는 일반적인 누전사고와 과전류 사고 발생시는 차단기능이 우수하지만 전기화재의 주요원인 즉, 소손사고와 접속·접촉불량사고 및 순간단락사고 발생시는 구조적으로 차단이 불가능할 것으로 기대됨으로써, 이에 대한 정확한 연구가 전기화재의 발생 원인 및 분석을 위해 반드시 필요한 것으로 사료된다.⁴⁻⁸⁾

따라서 본 논문에서는 상기의 상황에 기초해서 가장 일반적으로 사용되고 있는 단락보호, 과부하 겸용열동형 누전차단기(이하 누전차단기이라 함)의 동작원리와 시험항목 및 기준분석을 통하여 문제점을 제시하고자 한다. 또한 저압 배선선로의 인위적인 소손사고와 접속·접촉불량사고 및 순간단락사고 발생시 전등(R)부하 및 전동기(R-L)부하에 따른 누전차단기의 동작특성을 실제 실험을 통하여 검토하고자 한다.

2. 누전차단기의 동작원리

누전차단기는 지락검출장치, 트립장치, 개폐기구 등을 절연물 용기 안에 1조로 조립한 것으로 정의한다.⁹⁾

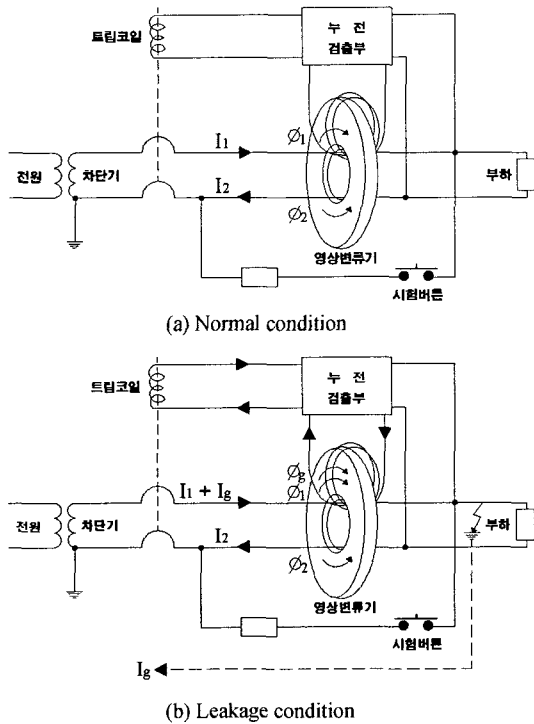


Fig. 1. The constructional figure of RCD.

Fig. 1은 본 논문에서 사용된 단상식 누전차단기의 동작원리를 설명하기 위한 구성도이다. Fig. 1의 (a)는 누전사고 미 발생시(정상상태)의 회로를 보여주고 있으며, 즉 왕로전류 I_1 과 귀로전류 I_2 가 동일하기 때문에 I_1 에 의해 발생하는 자속 ϕ_1 과 I_2 에 의해 발생하는 자속 ϕ_2 가 같으므로 서로 상쇄되어 유기전압이 발생하지 않는다. 그리고 Fig. 1의 (b)는 누전사고 발생시(누전상태)의 회로를 나타내고 있으며, 즉 누전사고 발생으로 인해 왕로전류 I_1 과 귀로전류 I_2 는 누설전류 I_g 만큼 오차가 발생하게된다. 따라서 $I_1 + I_g$ 에 의해 발생하는 자속 $\phi_1 + \phi_g$ 와 I_2 에 의해 발생하는 자속 ϕ_2 가 동일하지 않기 때문에 유기전압이 발생하게되며, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = 4.44 f N \phi_g [V] \tag{1}$$

여기서, ϕ_g 는 누설전류에 의한 자속이며, N은 2차 권선수이고 f는 주파수이다.

3. 누전차단기의 시험항목 및 기준

Table 1은 한국산업규격(Korea Industrial Standards : KS규격)에 따른 누전차단기의 시험항목 및 기준을 나타내고 있다.

Table 1의 누전차단기 시험항목 및 기준을 분석한 결과, 전기화재의 주요 원인으로 평가되고 있는 소손사고와 접속·접촉불량사고 및 순간단락사고에 관한 시험항목과 기준이 제외되어 있음을 알 수 있다. 따라서 저압 배선선로의 소손사고와 접속·접촉불량사고 및 순간단락사고 발생시 누전차단기의 동작특성을 분석할 필요가 있다고 사료된다.

4. 실험 및 분석

본 논문에서는 현재 다양한 전기설비에 일반적으로 사용되고 있는 S사 제품의 누전차단기에 대해 인위적인 소손사고와 접속·접촉불량사고 및 순간단락사고 발생시 누전차단기의 차단동작여부를 전등(R)부하, 전동기(R-L)부하에 따라 실제 실험을 통하여 분석 및 확인하고자 한다. 또한 소손사고와 접속·접촉불량사고 및 순간단락사고 발생시 정확한 파형 측정 및 분석을 위해 메모리 오실로스코프(THS 720P, USA)와 응용소프트웨어(WaveStar ver2.4, USA)를 이용하였다.

Fig. 2는 저압 배선선로의 소손사고와 접속·접촉불량사고 및 순간단락 사고 발생시 전등(R)부하, 전동기(R-L)부하에 따른 누전차단기의 차단 동작여부를 실험

Table 1. The test items and criterion of RCD

시험번호	시험항목	단위	기준치
1	누전트립 동작성능	감도전류	mA 15 이상 30 이하
		동작시간	초 0.03 이내
2	동작기구 성능	-	이상이 없을 것
3	과전류 트립시험	200%	분 2이내 R T
		125%	60 이내
4	테스트 장치시험	외관	- 이상없고 즉시 동작할 것
		감도전류	mA 15 이상 30 이하
5	과부하 개폐 시험	-	180A에서 시험하였을 때 전기적, 기계적 지장이 없을 것
6	개폐내구 성능 시험	-	정격부하전류로 6000회 무통전 4000회 시험하였을 때 전기적, 기계적 지장이 없을 것
7	개폐 후 시험	감도전류	mA 15 이상 30 이하
		과전류 트립시험	분 200%-2이내 R T 125%-60 이내
8	단락차단 시험	성능	- 각 부에 이상이 없을 것
		절연저항	MΩ 0.5 이상
		내전압	- 차단전압의 2배에 견딜 것
		과전류	분 2 이내 R T
9	절연저항	성능	MΩ 5 이상
		감도전류	mA 15 이상 30 이하
10	내전압	성능	V 1500에서 1분간 견딜 것
		감도전류	mA 15 이상 30 이하

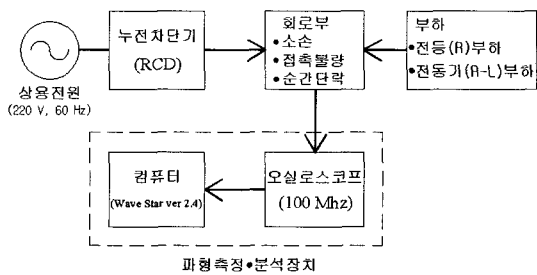


Fig. 2. The block diagram of experiment apparatus.

을 통하여 분석하기 위한 블록다이어그램을 나타내고 있다.

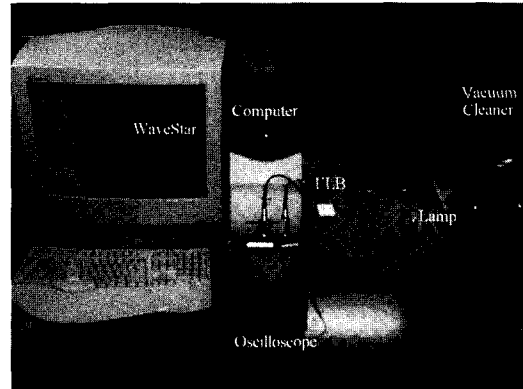
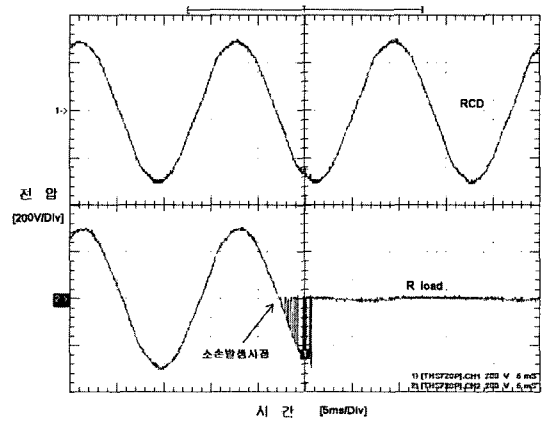
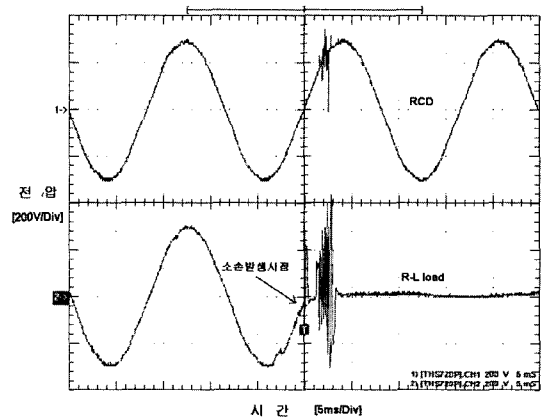


Fig. 3. Experiment apparatus.



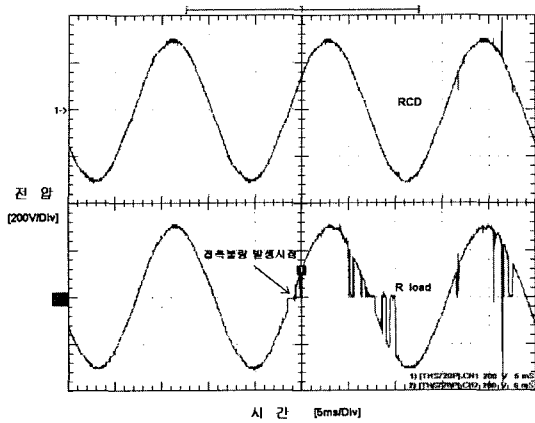
(a) Voltage waveform in R load



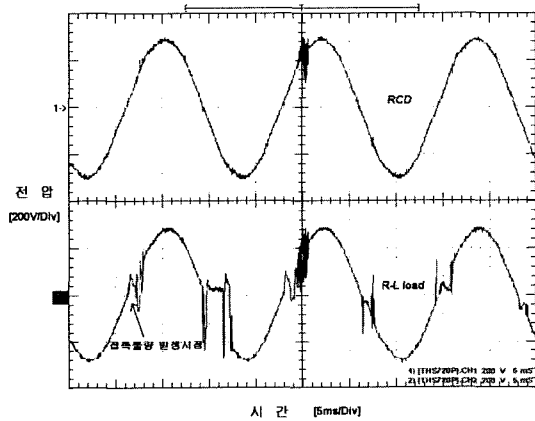
(b) Voltage waveform in R-L load

Fig. 4. The voltage waveform for conductor fractures.

Fig. 3은 누전차단기의 소손사고와 접촉·접촉불량 사고 및 순간단락사고 발생시 누전차단기의 차단동작



(a) Voltage waveform in R load



(b) Voltage waveform in R-L load

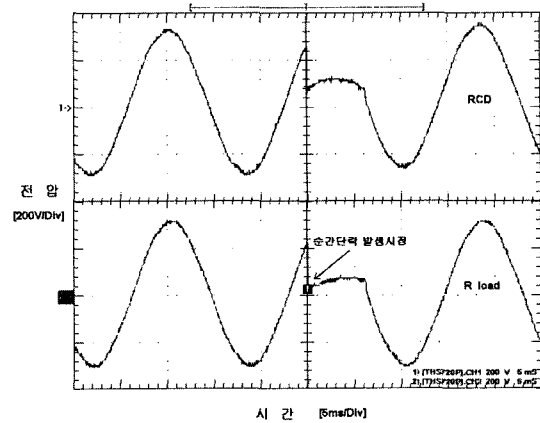
Fig. 5. The voltage waveform for the failures of pressure contacts.

여부를 실제 실험하기 위한 장치도이다.

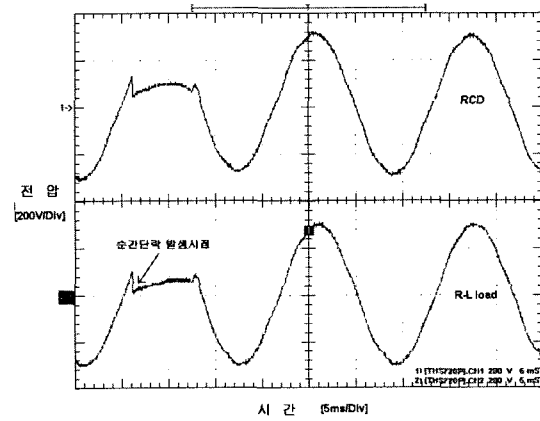
Fig. 4와 Fig. 5 및 Fig. 6는 부하에 따른 배선선로의 소손사고와 접속점의 접속·접촉불량사고 및 순간 단락사고 발생시 누전차단기와 부하양단 전압파형을 각각 나타내고 있다.

Fig. 4의 (a)와 (b)는 소손사고시 전등(R)부하와 전동기(R-L)부하에 따른 누전차단기와 부하양단 전압파형을 각각 나타내고 있다. 분석결과, 누전차단기는 소손 사고발생시 전등(R)부하와 전동기(R-L)부하 각각에 대하여 약 4[ms] 동안의 스파크(Spark)가 발생하였으나, 차단이 불가능함을 알 수 있었다.

Fig. 5의 (a)와 (b)는 접속점의 접속·접촉불량사고시 전등(R)부하와 전동기(R-L)부하에 따른 누전차단기와 부하양단 전압파형을 각각 나타내고 있다. 분석결과, 누전차단기는 접속·접촉불량사고시 전등(R)부하



(a) Voltage waveform in R load



(b) Voltage waveform in R-L load

Fig. 6. The voltage waveform for momentary short circuit.

와 전동기(R-L)부하 각각에 대하여 연속적인 스파크(Spark)가 발생하였으나, 차단이 불가능함을 알 수 있었다.

Fig. 6의 (a)와 (b)는 순간단락사고시 전등(R)부하와 전동기(R-L)부하에 따른 누전차단기와 부하양단 전압 파형을 각각 나타내고 있다. 분석결과, 누전차단기는 순간단락사고발생시 전등(R)부하와 전동기(R-L)부하 각각에 대하여 약 7[ms] 동안 매우 큰 스파크(Spark)가 발생하였으나, 차단이 불가능함을 알 수 있었다.

상기의 실험 결과를 종합적으로 분석한 결과, 현재의 누전차단기는 전등(R)부하와 전동기(R-L)부하에 따른 배선선로의 소손사고, 접속점의 접속·접촉불량사고, 순간단락사고 발생시 차단이 불가능함을 알 수 있었다. 따라서 이에 대한 다양한 연구가 반드시 필요한 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 논문에서는 가장 일반적으로 사용되고 있는 누전 차단기의 동작원리와 시험항목 및 기준분석을 통하여 문제점을 제시하였으며, 또한 저압 배선선로의 인위적인 소손사고와 접속·접촉불량사고 및 순간단락사고 발생시 전등(R)부하와 전동기(R-L)부하에 따른 누전 차단기의 동작특성을 실제 실험을 통하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전기화재의 주요 원인으로 평가되고 있는 소손사고와 접속·접촉불량사고 및 순간단락사고에 관한 시험항목과 기준이 제외되어 있음을 알 수 있었다.

2. 누전차단기는 소손사고발생시 전등(R)부하와 전동기(R-L)부하 각각에 대하여 약 4[ms] 동안의 스파크(Spark)가 발생하였으나, 차단이 불가능함을 알 수 있었다.

3. 누전차단기는 접속·접촉불량사고시 전등(R)부하와 전동기(R-L)부하 각각에 대하여 연속적인 스파크(Spark)가 발생하였으나, 차단이 불가능함을 알 수 있었다.

4. 누전차단기는 순간단락사고발생시 전등(R)부하와 전동기(R-L)부하 각각에 대하여 약 7[ms] 동안 매우 큰 스파크(Spark)가 발생하였으나, 차단이 불가능함을 알 수 있었다.

따라서 현재의 누전차단기는 전등(R)부하와 전동기(R-L)부하에 따른 저압 배선선로 순간단락사고와 접

속·접촉불량사고 및 소손사고 발생시 차단이 불가능함으로써, 이에 대한 다양한 연구가 전기화재예방 차원에서 반드시 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 행정자치부, 소방행정자료 및 통계(2001).
2. 박용환, 양승용, “단면결합 전선에서의 화재발생메카니즘 연구”, 한국화재소방학회 춘계학술 대회 논문집, pp.61-67(2001).
3. 육유경, “최신 디지털 누전 경보기(ELD) 소개와 누전으로 인한 재해 예방대책”, 한국화재소방학회지, 제2권, 제1·2호(2001. 6).
4. 이상호, 김풍래, “전기화재 예방에 관한 연구”, 한국화재소방학회 춘계학술대회, pp.133-137(2002).
5. 문 식, 김응식, 이춘하, 오규형, “누전차단기의 특성분석”, 한국화재소방학회 춘계학술대회 논문집, pp.62-66(2002).
6. 이상호, “저압 배선선로의 과부하 및 단락사고 발생시 전선의 열해석에 관한 연구”, 한국화재소방학회논문지, 제16권, 제3호(2002. 9).
7. John E. Traister, Terry Kennedy, “Low Voltage Wiring : Security/Fire Alarm Systems”, McGraw-Hill, pp.199-212(2002).
8. ROBERT A. YEREANCE, “ELECTRICAL FIRE ANALYSIS”, THOMAS, pp.17-31(1995).
9. KS C4613 : 누전차단기(1994).