

# 누전차단기 동작시간 및 부동작 전류 특성

(A Study on the Cutoff time and the Malfunction Current Characteristics of RCDs)

한운기\* · 송길목\* · 김영석\* · 김동욱\* · 최충석\* · 이복영\*\* · 박상태\*\*

(Woon-Ki Han · Gil-Mok Shong · Yong-Seok Kim · Dong-Wook Kim · Chung-Seog Choi · Bok-Yong Lee · Sang-Tae Park)

한국전기안전공사 부설 전기안전연구원\* · 방재시험연구원\*\*

(Electrical Safety Research Institute, \*Korea Electrical Safety Corporation, \*\*Fire Insurers Laboratory of Korea)

## Abstract

This paper describes the cut off time and the current characteristics of virgin RCDs and deteriorated ones in the seashore. The RCDs(Residual Current Protective Devices) are used for protecting the human body from electrical shock and for preventing facility accidents. According to the Korean standards, the RCDs are installed in panel boards. When RCDs are installed outside, they must be enclosed inside waterproof cases. In the case that RCDs are employed at temporary power sites and electrical facilities on the road, they are exposed to the external environment. As a result, the RCDs deteriorated in the seashore for 3 months showed high failure rate, while the virgin RCDs all complied with Korean Standard. Considering that the RCDs are used under exposed condition outside, the reliance of RCDs must be ensured by modifying the related regulations and codes and by developing improved models advanced in their performance.

## 1. 서 론

저압 전로에 사용하는 누전차단기(RCD; Residual Current Protective Device)는 영상변류기를 통해 누설되는 전류를 감지하여 차단함으로써 감전, 전기화재 및 전기시설비 사고 등을 방지할 목적으로 사용되고 있다. 전기시설물의 경우 옥외에 노출된 가로등, 보안등, 임시 전력설비, 입간판 등의 경우 충전부가 방치되어 분전함 등의 보호설비에 내장되지 않고 사용함으로써 보호 장치의 성능을 저하시키는 요소로 작용한다.

인체감전보호를 위해 사용되는 누전차단기는 전기용품안전관리법의 적용을 받아 정격감도 전류 30mA 이하, 동작시간이 0.03초 이하의 성능을 유지하여야 한다 [1]. 그러나 최근 자료조사(2001년도 기준)에 의하면 국내 23개 제조사의 제품 중 한국산업규격에 미달되는 누전차단기는 47.8%에 달하는 것으로 나타났다.

설비의 결함에 의한 감전위험성이 노출되었을 때 주요 안전장치가 그 역할을 담당하지 못한다면, 인체에 치명적인 피해를 초래할 수도 있다. 정상 작동되는 누전보호 장치일지라도 장시간 외부에 노출되어 경년열화에 의한 오동작이나 내부 전력소자의 소손 등의 고장이 발생할 수 있어 감전사고로 진행되는 위험성을 내포하고 있다.

본 논문에서는 옥외시설물의 전기적 안전성을 확보하기 위한 연구의 하나로 누전차단기의 옥외 폭로에 의한 동작특성을 분석하였다. 기존 누전차단기의 성능평가는

물론 경년열화에 취약한 부분을 찾아내어 개선함으로써 향상된 제품의 개발에 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 장치구성 및 실험방법

### 2.1 누전차단기의 구성 및 설치조건

누전차단기의 선정방법은 현재 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 제조사의 제품을 우선으로 하여 5개사를 선택하였으며, 범용성이 강한 과부하결용 누전차단기를 중심으로 실험하였다.[2] 누전차단기의 설치조건은 공해가 심한 지역, 염해가 심한 지역, 일반 도심지역, 내륙지역 등으로 구분하여 선정하였다. 각 시료의 일관성을 확보하기 위해 정남향에 위치하도록 설치하였다.

그림 1, 2는 폭로실험장에 설치된 시료의 크기 및 회로구성 방식을 보여준다. 차단기의 안정성확보를 위해 전원 측에 배선용차단기(MCCB)를 설치하였으며, 앵글은 접지를 하였다. 전원공급은 정격전압 1 $\phi$ , 220V를 상시인가 하였고, 누전차단기는 켜짐 상태에서 2차측은 무부하 상태를 유지하였다[3][4]. 사용되지 않는 신품 50개와 열화 실험은 32개를 대상으로 하였으며, 각 5개 제조사를 제품으로 실시하였다.

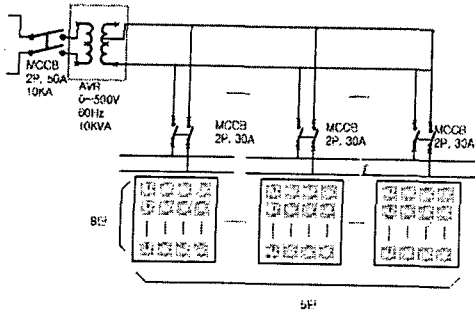


그림 1. 누전차단기 설치 개략도  
Fig. 1. The Schematic diagram of RCD

각 블록의 크기는 2,000×1,600×1600mm(가로×세로×높이)로 제한하였다.

그림 2는 실험장 공간을 나타낸 것으로 안전성 확보를 위해 5,000×3,000×3,000mm로 하였다.

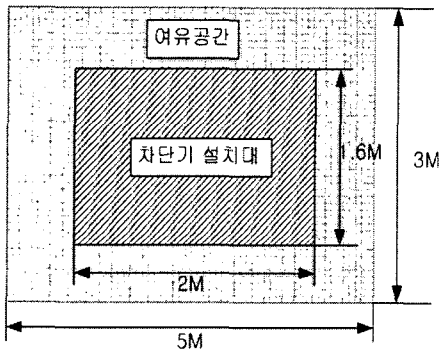


그림 2. 누전차단기 설치 공간  
Fig. 2. The installation space of RCD

공해가 심한 지역은 분진, 공해로 인한 아황산가스의 배출이나 최근 황사 등에 의한 영향 등 다양한 오염원이 존재하는 곳을 선택하였고, 염해가 심한 지역으로는 국내 다수의 지역이 바다와 인접한 곳으로서 해양풍에 의한 염분의 침투와 부식조건이 쉬운 환경에서의 영향을 평가하고자 선택하였다[5]. 일반도심지역으로서는 공해가 심하지는 않으나 내륙지역의 가장 일반적인 도심사향을 선택하였다[6]. 또한 내륙지역 중 도심에서 벗어난 지역의 영향성 평가를 위해 선택하였다. 각 지역의 특성은 표 1과 같이 나타낼 수 있다[7]. 본 논문에서는 그중 염해지역을 대상으로 분석한 결과이다.

## 2.2 실험장치 구성

그림 3은 실험용 누전차단기(30A/30mA/0.03s)의 정격감도 전류 및 부동작 전류, 동작시간 특성 실험을 위한 장치구성도이다. 현장에 설치되기 전에 성능실험을 위해 누전차단기 실험기(LB-5, MUSASHI, JAPAN)를

이용하여 누전차단기의 차단특성을 분석하였다. 누전차단기의 정격 부동작 전류는 정격 감도전류의 50% 이상으로 하고, 정격 감도전류가 10mA 이하인 것은 60% 이상이 적용된다. 동작시간은 인체 감전보호용으로 사용되는 감전보호용 누전차단기의 정격감도 전류의 동작시간인 0.03초 이내인 것이 사용되었다[2].

표 1. 설치장소의 특성

Table 1. The characteristics of installation place

구분	특징	열화조건
공해지역	유해가스, 분진, 자외선 등	부식, 접촉 불량, 오동작
염해지역	염분, 바람 등	
도심지역	분진, 강우 등	
내륙산간지역	강우, 바람 등	

본 실험에서는 누전차단기에 정격전압 220V, 누설전류를 가변시켜 정격감도 전류 및 부동작 전류특성을 실험하였다.

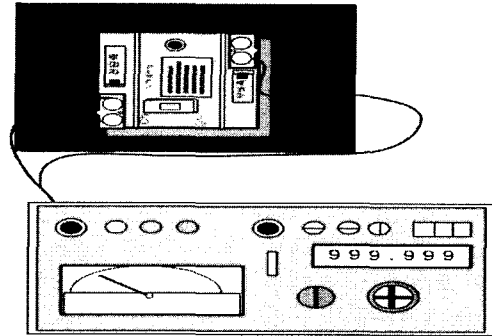


그림 3. 누전차단기의 동작실험 장치구성  
Fig. 3. The operating test apparatus of RCD operating test

## 3. 누전차단기 열화특성 실험

### 3.1 차단전류 특성 분석

그림 4는 5종류의 시료를 현장 설치 전·후의 정격 부동작 전류 특성 실험결과이다. 열화실험은 현장 설치 후 3개월이 지난 시료의 차단전류 실험결과이다.

시료 1에서 열화 실험전의 동작전류 특성은 최소 22mA에서 최대 25mA까지 감도전류특성을 보였고, 평균 대역은 22.5~25mA로 양호한 특성을 보였다. 3개월 열화후의 동작전류 특성은 최소 25mA에서 최대 35.5mA까지 감도전류특성을 보였고, 평균 대역은 25~30mA로 실험 전에 비해 약 5mA 상승하였다. 그리고 차단 되지 않은 시료는 6개이고, 30mA를 초과하는 것은 2개이다.

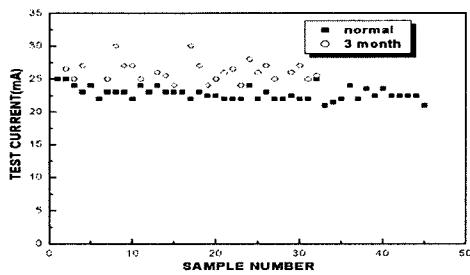
시료 2에서는 열화 전 동작전류 특성은 최소 21mA

에서 최대 23mA까지 감도전류특성을 보였고, 평균 대역은 22~23mA로 감도범위가 가장 양호한 특성을 보였다. 3개월 열화 후에는 최소 22mA에서 최대 27mA까지 감도전류특성을 보였고, 평균 대역은 23~25mA로 양호한 특성을 유지하였다. 그리고 차단이 되지 않는 시료 및 차단전류를 초과하는 것은 없었다.

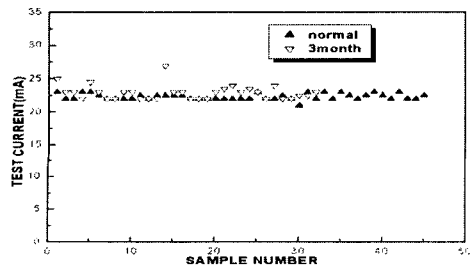
시료 3에서 열화 실험전의 동작전류 특성은 최소 21mA에서 최대 30mA까지 감도전류특성을 보였고, 평균 대역은 23~27mA로 시료 중 두 번째로 오차율이 큰 것으로 나타났다. 3개월 열화 후에는 최소 25mA에서 최대 27.5mA까지 감도전류특성을 보였고, 평균 대역은 25~28mA로 실험 전에 비해 약 5mA 상승하였다. 그리고 차단이 되지 않는 시료 및 30mA를 초과하여 차단된 시료는 없었다.

시료 4에서 열화 실험전의 동작전류 특성은 최소 20mA에서 최대 23mA까지 감도전류특성을 보였고, 평균 대역은 22mA로 시료중 두 번째로 양호한 감도 특성을 보였다. 3개월 열화 후에는 최소 22mA에서 최대 27mA까지 감도전류특성을 보였고, 평균 대역은 22~25mA로 실험 전에 비해 약 3mA 상승하였다. 그리고 차단이 되지 않는 시료는 3개이고, 30mA를 초과 차단된 시료는 없었다.

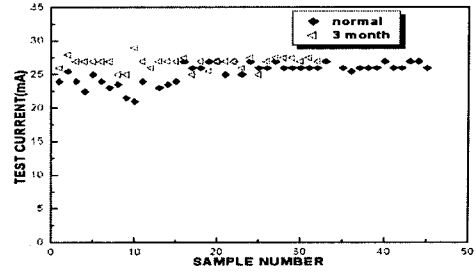
시료 5에서 열화 실험전 동작전류 특성은 최소 21mA에서 최대 28mA까지 감도전류특성을 보였고, 평균 대역은 22~27mA로 가장 넓은 범위를 보였다. 3개월 열화 후에는 최소 24mA에서 최대 30mA까지 감도전류특성을 보였고, 평균 대역은 24~28mA로 실험 전에 비해 약 3mA 상승하였다. 그리고 차단이 되지 않는 시료는 1개이고, 30mA를 초과 차단된 시료는 1개이다.



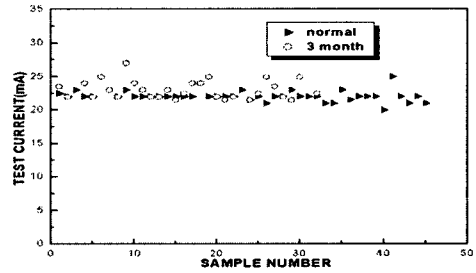
(a) 시료 1



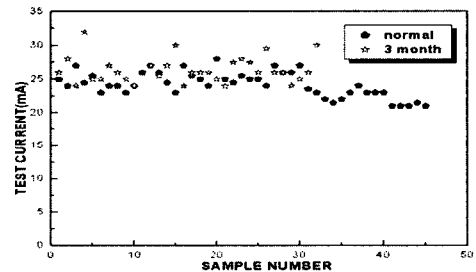
(b) 시료 2



(c) 시료 3



(d) 시료 4



(e) 시료 5

그림 5. 누전차단기 차단전류 특성

Fig. 5. The characteristics of RCD breaking-current

표 2는 현장 설치 전과 설치 후 3개월 지나 열화된 시료의 차단전류 평균대역, 범위이탈 및 고장 분석결과이다. 표 2에서 알 수 있듯이 열화 전의 시료는 모두 정상범위 내에서 동작하였고, 동작범위가 가장 정밀한 시료는 2, 4번으로 나타났다. 열화 후의 최소, 최대, 평균 대역은 모두 상승하였고, 차단범위 이탈 및 고장난 시료는 1번 시료에서 8개(25%), 4번 시료에서 3개(9.3%)인 것으로 나타났다.

### 3.2 차단기 동작 시간 특성 분석

그 5림은 5종류의 시료를 현장 설치 전과 설치 후 3개월 경과된 시료의 차단시간 특성 실험결과이다. 옥외 폭로 열화실험은 현장 설치한 후 3개월이 지난 시료의 차단시간실험결과이다. 시료에 30mA 인가한 후 차단기의 동작시간 특성 결과를 알아보았다.

시료 1에서 현장 설치 전의 동작시간 특성은 최소 10ms에서 최대 27ms까지 동작시간특성을 보였고, 평균 대역은 13~22ms로 동작시간 대역에서 우수한 특성을 보였다. 3개월 열화 후에는 최소 18ms에서 최대 527ms

까지 동작시간특성을 보였고, 평균 대역은 18~500ms까지 폭이 넓게 나타났다. 그리고 차단이 되지 않는 시료는 7개이고, 정상적 차단(30ms 이내) 범위를 18개 초과하였다.

표 2. 누전차단기 차단전류 분석  
Table 2. The analysis of RCD breaking-current

시료	구분	최소 [mA]	최대 [mA]	평균대역 [mA]	범위 이탈	
					빈도	고장
시료 1	normal	22.5	25	22.5~25	0	0
	3 month	25	35.5	25~30	8	25
시료 2	normal	21	23	22~23	0	0
	3 month	22	27	23~25	0	0
시료 3	normal	21	30	23~27	0	0
	3 month	25	30	25~28	0	0
시료 4	normal	20	23	22~23	0	0
	3 month	22	27	22~25	3	9.3
시료 5	normal	21	28	22~27	0	0
	3 month	24	30	24~30	2	6.2

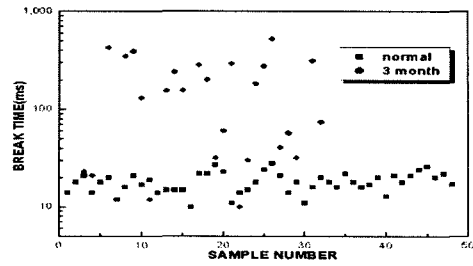
시료 2에서 현장 설치 전의 동작시간 특성은 최소 8ms에서 최대 47ms까지 동작시간특성을 보였고, 평균 대역은 13~42ms로 가장 넓은 대역의 동작시간 차단특성을 보였다. 3개월 열화 후에는 최소 11ms에서 최대 94ms까지 동작시간특성을 보였고, 평균 대역은 20~50ms까지 나타났다. 그리고 차단이 되지 않는 시료는 없었고, 정상적 차단(30ms 이내) 범위를 7개 초과하였다.

시료 3에서 현장설치 전의 동작시간 특성은 최소 6ms에서 최대 25ms까지 동작시간특성을 보였고, 평균 대역은 7~22ms로 양호한 특성을 보였다. 3개월 열화 후에는 최소 6ms에서 최대 19ms까지 동작시간특성을 보였고, 평균 대역은 6~19ms까지 모두 정상범위 내에서 동작하였다. 그리고 차단이 되지 않는 시료는 없었고, 정상적 차단(30ms 이내) 범위를 초과한 시료도 없었다.

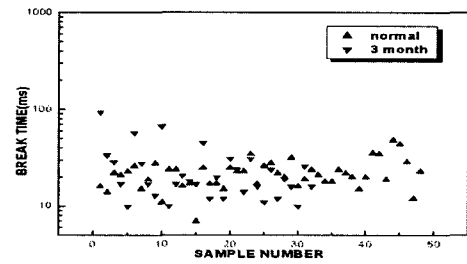
시료 4에서 현장설치 전의 동작시간 특성은 최소 6ms에서 최대 30ms까지 동작시간특성을 보였고, 평균 대역은 12~25ms차단시간의 우수한 대역 특성을 보였다. 3개월 열화 후에는 최소 22ms에서 최대 424ms까지 동작시간특성을 보였고, 평균 대역은 20~200ms범위 내에서 동작하였다. 그리고 차단이 되지 않는 시료는 4개이고, 정상적 차단(30ms 이내) 범위를 초과 한 시료도 13개이다.

시료 5에서는 최소 7ms에서 최대 22ms까지 동작시간특성을 보였고, 평균 대역은 7~22ms로 양호한 특성을 보였다. 3개월 열화 후에는 최소 12ms에서 최대 27ms까지 동작시간특성을 보였고, 평균 대역은 12~25ms까지 나타났다. 그리고 차단이 되지 않는 시료는 1

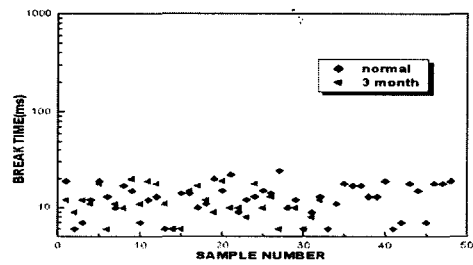
개이고, 정상적 차단(30ms 이내) 범위를 초과한 것은 없었다.



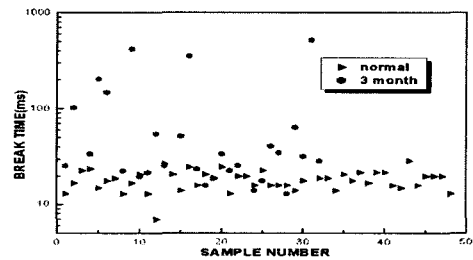
(a) 시료 1



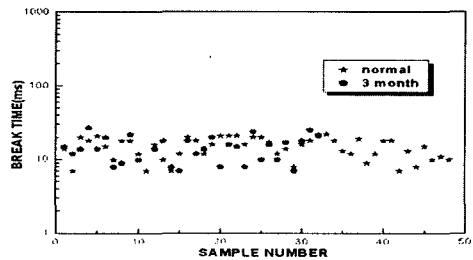
(b) 시료 2



(c) 시료 3



(d) 시료 4



(e) 시료 5

그림 4. 누전차단기 동작시간 특성  
Fig. 4. The characteristics of RCD operating time

표 3은 현장 설치 전과 설치 후 3개월 지나 열화 된 시료의 동작시간 평균대역, 범위가탈 및 고장 분석결과이다. 표 3에서 알 수 있듯이 열화 전의 시료는 모두 정상범위 내에서 동작하였고, 동작범위가 가장 정밀한 시료는 1, 4번으로 나타났다. 열화 후의 최소, 최대, 평균 대역은 모두 상승하였고, 동작시간 초과 및 고장난 시료는 1번 시료에서 25개(78%), 2번 시료에서 7개(21.8%), 4번 시료에서 17개(53%)로 시료 3번을 제외하고 모든 시료에서 높은 퍼센트의 고장률을 나타내었다.

표 3. 누전차단기 동작시간 분석  
Table 3. The analysis of RCD operating time

시료	구분	최소 [ms]	최대 [ms]	평균대역 [ms]	범위가탈 및 고장	
					갯수	%
시료 1	normal	10	27	13~22	0	0
	3 month	18	527	19~500	25	78
시료 2	normal	8	47	13~42	0	0
	3 month	11	94	20~50	7	21.8
시료 3	normal	6	25	7~22	0	0
	3 month	6	25	7~25	0	0
시료 4	normal	6	30	12~25	0	0
	3 month	22	424	20~200	17	53
시료 5	normal	7	22	7~22	0	0
	3 month	12	27	12~25	1	3.1

### 3.3 동작버튼 및 개방(off) 상태 분석

표 4는 누전차단기 현장 설치 후 3개월 열화 된 시료의 개방(off)상태 및 동작시험버튼 실험결과이다. 표 4에서 알 수 있는 바와 같이 시료 3번에서 외부 충격(비, 분진, 염분 등)에 의해 자동 개방상태가 15개(46.8%)로 가장 높게 나타났다. 그리고 동작버튼 실험결과 시료 1에서 3개(9.3%) 고장났고, 나머지 시료의 동작버튼 실험결과 정상이었다.

표 4. 누전차단기 고장 분석  
Table 4. The fault analysis of RCD

시료	항목		버튼고장[개]		
	off 상태[개]	갯수	%	갯수	%
시료 1	4	4	12.5	3	9.3
시료 2	3	3	9.3	0	0
시료 3	15	15	46.8	0	0
시료 4	16	16	50	0	0
시료 5	0	0	0	0	0

## 4. 결론

본 논문에서 인체감전보호를 위해 사용하는 누전차단기(RCD)의 동작특성을 분석하였다. 시료선정은 5개회사를 선정하였고, 현장설치 전의 제품과 옥외 환경에 의해 열화 된 특성을 분석하였다. 경년열화 시료는 해안가에 3개월 동안 설치하여 시료를 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 차단전류의 열화특성 분석결과 시료 1과 4에서 각각 25%, 9.3%의 높은 고장률을 보였으며 모든 시료에서 동작전류 범위가 상승하였다.
- 2) 동작시간의 열화특성 분석결과 시료 1번에서 (78%), 2번 시료에서 21.8%, 4번 시료에서 53%로 시료 3번을 제외하고 모든 시료에서 고장이 발생하였으며, 동작시간 대역도 상승하였다.
- 3) 열화 된 시료의 개방(off)상태 및 동작시험버튼 실험결과 3번 시료에서 자동 개방상태가 46.8%로 가장 높게 발생했고, 동작버튼 실험결과 시료 1번이 9.3% 고장났고, 나머지 시료의 동작버튼 실험결과 정상이었다.

이와 같은 결과로 누전차단기(RCD)가 옥외 노출된 채로 사용될 경우 동작 특성이 현저하게 저하되는 것을 알 수 있었다. 따라서 환경적 열화로부터 안전성을 확보할 수 있는 관련규정의 개정과 제품개선이 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- [1] 산업자원부 “전기설비기술기준 제36조2항”, 2004.
- [2] 한국산업규격, “KS C 4613”, 2001.
- [3] 최충석 외 5, “전기화재공학”, 동화기술, pp86~97, 2001.
- [4] IEC 61008-1 'Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses - Part 1: General rules', 2002.
- [5] S.G. Choi, "The Statistical Analysis of Electrical Shock Accidents and Factors in Temporary Power Installations" International Journal of Safety, Vol. 2, No 2, pp 22~28, 2003
- [6] 최충석 외 2, “주요간선 도로에 설치된 가로등의 현상실태조사를 통한 정성적 분석” 한국조명전기설비학회, Vol. 19, No. 1, 101~108, 2005.
- [7] IEC 60721-2-1, "Classification of environment conditions part 2: environmental conditions appearing in nature. Temperature and humidity", 1982