

## 누전차단기 폭로에 따른 동작 특성 및 재료 분석

한운기, 김항곤, 김형준, 이기연, 최충석  
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

### The Material Analyses and the Behavior Characteristics according to RCD Discloser

Woon-Ki Han, Hyang-Kon Kim, Hyung-Jun Gil, Ki-Hyun Lee, Chung-Seog Choi,  
Electrical Safety Research Institute, subsidiary of Korea Electrical Safety Corporation

**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

전기의 사용이 매년 큰 폭으로 증가하고 있으며 한전에서 출간된 전력통계에 의하면, 최근 10년간 약 2.4배 정도의 전력사용량이 증가한 것으로 나타났다. 이는 매우 고무적인 것이며 향후 더 많은 전기에너지의 이용이 있을 것으로 판단된다. 이런 유용한 전기에너지일지라도 신체의 직접 접촉이나 간접적인 접촉에 의해 감전사고로 이어질 수 있다. 따라서 전기재해를 예방하기 위한 노력이 요구된다. 일반적으로 감전사고 및 설비보호를 위해 접지설비가 갖추어져 있고 저압전로에는 감전사고 예방을 위한 누전차단기가 설치되고 있다. 현재 법적으로 의무화되어 주택이나 빌딩의 부하말단에는 누전차단기를 설치하도록 하고 있다. 따라서 국내의 전기사용 환경은 최근 들어 많은 부분 개선되었으나 기존에 설치되었던 설비에서는 사고의 위험성이 잠재되어 있다. 이는 대부분 노후된 설비와 설치자 및 관리소홀에 의한 경우가 많은 것으로 조사되고 있으며 접지시스템 및 기존 보호 장치에도 불구하고 감전사고가 초래되고 있다.

본 논문은 기존 국내에 사용되고 인체감전보호용 누전차단기의 성능을 평가하고 이에 대한 문제점을 도출시켜 전기안전에 기여할 수 있는 보호 장치를 개발하는데 있다. 그 중 최우선으로 국내 환경에 적합한지의 여부와 문제점을 분석하기 위해 각 제조업체에서 생산된 누전차단기를 선택하여 환경적으로 구분이 되는 지역에 각각 설치하고 주기적으로 측정하여 그 열화원인을 자료로 구축하고 있다. 본 실험을 통해 옥외전기시설물의 전기적 안전성을 확보하기 위한 연구의 활성화와 기존 누전차단기의 경년열화를 통해 성능평가가 가능할 것으로 판단된다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 누전차단기의 특성

누전차단기는 KS C4613에 그 구조 및 사용목적에 대해 정의하고 있으며, 최근 IEC 규격에 맞도록 개정되고 있는 추세이다. 누전차단기의 동작은 크게 전압형과 전류형으로 나누어지며, 국내에 사용되고 있는 누전차단기는 대다수 전류형인 것으로 되어 있다. 전기설비기술기준에 의하면 제36조에 나타난 것과 같이 누전차단기의 시설 및 조건에 대해 기술하고 있다.

그림 1은 누전차단기의 내부회로에 대해 개략도로 나타냈으며, 각각의 위치에서 발생할 수 있는 사고원인을 나타내었다. 전원 측에서 보면 단자의 접촉 불량, 산화부식에 의한 변화 등이 예상되며, 단자사이의 절연저항이 열화되거나 먼지, 습기 등이 누적되면 트래킹이 발생할 소지가 있다. 누전차단기의 경우 외부에 노출되면 자외선, 공해 등에 의한 균열이 진행된다. 내부회로에서는 납땜 부위 또는 시험버튼에 위치한 부분에서 먼지 등에 의한 접촉 불량이 우려되고 산화부식에 의한 오동작 등이 예상된다. 실제 전기화재 사고 사례의 의하면 누전차단기의 전원 측에 트래킹이 발생한다든지 내부회로에 의해 누설전류가 흐르는 경우 원래 목적이었던 차단 동작이 이루어지지 않아 화재나 감전 사고로 이어지는 경우가 조사되었다.

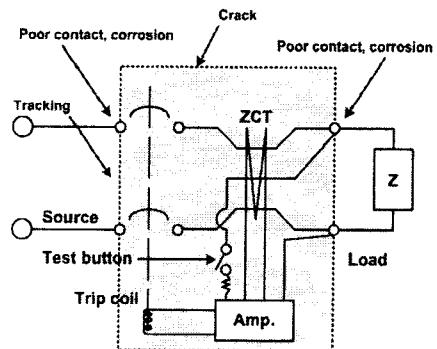


그림 1. 누전차단기의 개략도 및 각 부의 열화 원인

##### 2.2 실험구성 및 방법

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

그림 2는 폭로실험장에 설치된 시료의 크기 및 회로구

성 방식을 보여준다. 차단기의 안정성확보를 위해 전원 측에 배선용차단기(MCCB)를 설치하였으며, 앵글은 접지를 하였다. 전원공급은 정격전압 1φ, 220V를 상시인가 하였고, 누전차단기는 커짐 상태에서 2차 측은 무부하 상태를 유지하였다[3][4]. 사용되지 않는 신품 50개와 열화 실험은 32개를 대상으로 하였으며, 각 5개 제조회사를 제품으로 실시하였다.

각 블록의 크기는 2,000×1,600×1600mm(가로×세로×높이)로 제한하였으며 그리 1에서 보는 바와 같이 동일 제조사 별로 설치 하였고, 앞면은 A, B시료, 뒷면은 C, D, E의 시료를 정 남쪽 방향으로 하였다.

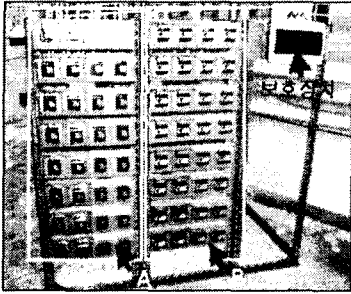


그림 2. 현장에 있는 누전차단기의 설치상태

공해가 심한 지역은 분진, 공해로 인한 아황산가스의 배출이나 최근 황사 등에 의한 영향 등 다양한 오염원이 존재하는 곳을 선택하였고, 염해가 심한 지역으로서는 국내 다수의 지역이 바다와 인접한 곳으로서 해양풍에 의한 염분의 침투와 부식조건이 쉬운 환경에서의 영향을 평가하고자 선택하였다[5]. 일반도시지역으로서는 공해가 심하지는 않으나 내륙지역의 가장 일반적인 도심사항을 선택하였다[6]. 또한 내륙지역 중 도심에서 벗어난 지역의 영향성 평가를 위해 선택하였다[7]. 본 논문에서는 그 중 염해지역을 대상으로 분석한 결과이다.

그림 3은 실험용 누전차단기(30A/30mA/0.03s)의 정격 감도 전류 및 부동작 전류, 동작시간 특성 실험을 위한 장치구성도 이다. 현장에 설치되기 전에 성능실험을 위해 누전차단기 실험기(LB-5, MUSASHI, JAPAN)를 이용하여 누전차단기의 차단특성을 분석하였다. 시료의 실험 횟수는 10회로 하여 평균치를 적용하였다.

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 동작 시간인 0.03초 이내인 것이 사용되었다[2].

본 실험에서는 누전차단기에 정격전압 220V, 누설전류를 가면서 정격감도 전류 및 부동작 전류특성을 실험 하였다.

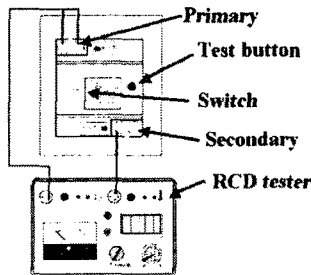


그림 3. 누전차단기의 측정 구성도

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 최소동작시간 측정

그림 4는 5종류의 시료를 현장 설치 전·후의 최소동작 시간 특성을 측정된 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

(a)는 샘플 A의 최소동작시간에 대한 결과를 나타낸 것으로 열화 전 상태에서는 모든 시료가 정상이었으나 3개월 후에는 21.8%가 규정범위를 초과하여 측정된 것으로 나타났다.

(b)는 샘플 B의 경우 정상상태에서 모두 정상범위 내에서 동작하였으나, 3개월 후에는 53%의 고장률이 높은 것으로 나타났다.

(c)는 샘플 C의 최소동작시간을 측정된 것으로 옥외 설치되기 전후에 모두 정상적인 범위 내에서 동작하여 가장 우수한 특성을 보여 주었다.

(d)는 샘플 D로서 열화 전에는 모두 정상범위 내에 동작하였으나, 3개월 열화 후에는 78%의 고장률이 나타났다.

(e)는 샘플 E의 최소동작시간을 비교한 것으로 열화 전후 상태에서 모두 양호한 동작특성을 보였다.

따라서 그림 4에서 보면 샘플 D에서 고장률이 가장 높았으며, 샘플 C와 E에서 우수한 동작특성이 확인되어 향후 보호 장치 개발에 중요한 자료가 될 것으로 판단된다.

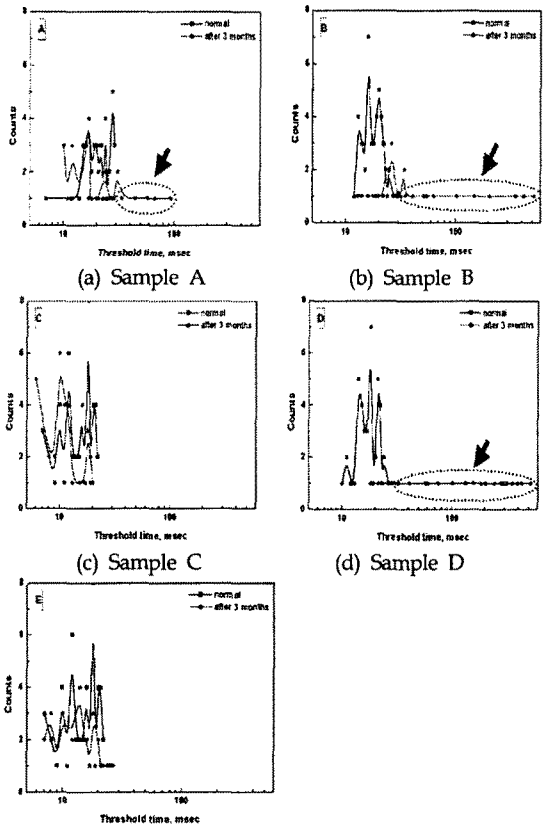


그림 4. 각 제조사별 최소동작 시간특성

#### 3.2 최소차단전류 측정

그림 5는 5종류의 시료를 현장 설치 전·후의 최소동작 전류 측정결과를 비교한 그래프이다. 옥외에 설치되기 전의 정상상태(normal)와 옥외 설치되어 3개월 지난 시료(after 3 months)에 입력전원 220V, 누설전류(leakage

current) 1mA/sec로 상승하였을 때 최소차단전류 특성 결과이다.

(a)는 샘플 A의 최소차단전류를 측정 비교한 것으로 열화 전 상태와 후에서 모두 양호한 것으로 나타났다.

(b)는 샘플 B의 경우로서 열화 전 상태에서 모두 정상 범위 내에 동작하였으나, 3개월 열화 후 에서는 9.3%의 고장률을 나타냈다.

(c)는 샘플 C의 최소동작전류를 측정 비교한 것으로 열화 전 후에서 모두 양호한 측정결과를 나타냈다.

(d)는 샘플 D의 경우로서 열화 전 상태에서는 모두 양호하였으나, 3개월 열화 후에는 25%의 고장률을 나타냈다.

(e)는 샘플 E로서 열화 전 상태에서는 모두 양호한 것으로 나타났으나, 3개월 열화 후 에는 6.2%의 고장률을 보였다.

샘플 A와 C에서 양호한 상태를 확인할 수 있으며, 샘플 D에서 고장률이 가장 높은 것으로 나타났다.

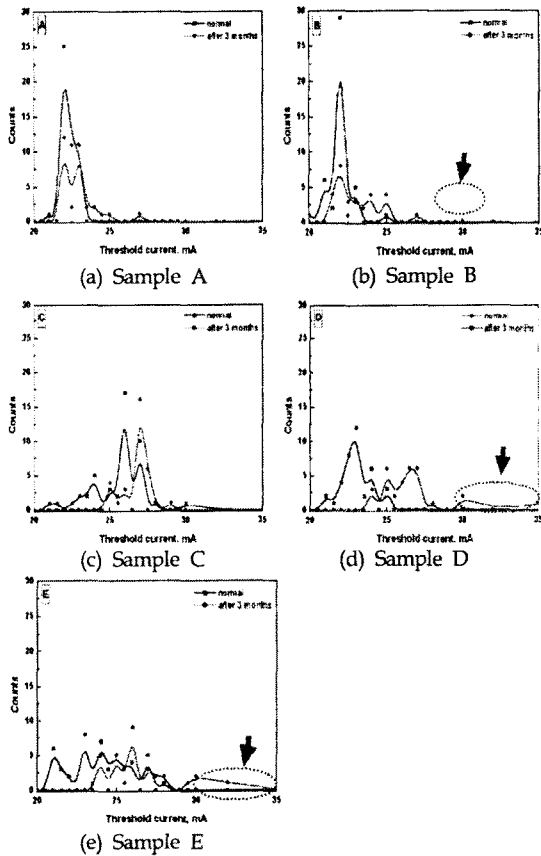


그림 5. 각 제조사별 최소동작 전류특성

### 3.3 누전차단기 외함의 표면 분석

누전차단기의 외함재료에 대한 특성을 분석하기 위해 적외선분광기를 이용하여 외함 표면의 화학 분석을 실시하였다.

그림 6은 그 중 샘플 A의 화학적 표면구조를 비교분석한 것이다. 표면의 화학적 표면구조 변화는 거의 없는 것으로 나타났으나 외부 산소 또는 수분과 결합하였을 때 나타나는 약 3000cm<sup>-1</sup>에서 3400cm<sup>-1</sup>에서 신축진동이 나타나는 것을 확인하였다. 이는 외부의 자외선, 수분 등과 같은 요인에 의해 결합구조가 일부 변하고 있음을 확인하였다.

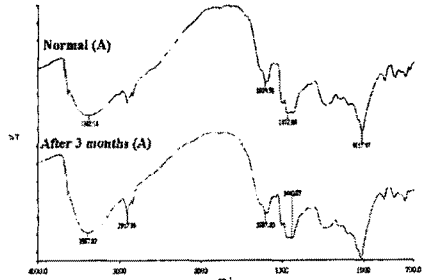


그림 6. 샘플 A의 적외선 흡광 피크 비교

## 4. 결 론

본 논문에서 인체감전보호를 위해 사용하는 누전차단기(RCD)의 동작특성을 분석하였다. 누전차단기를 해안가(인천)에 3개월 동안 설치하여 시료를 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 최소차단전류의 열화특성 분석결과 3개월 열화 후에는 샘플 B 9.3%, 샘플 D 25%, 샘플 E 6.2%에서 고장률을 보였다.
- (2) 최소동작시간을 측정한 결과 3개월 열화 후에는 샘플 A에서 21.8%, 샘플 B에서 53%, 샘플 D에서 78%로 샘플 C, E를 제외하고는 모두 규정범위를 초과한 것으로 나타났다.
- (3) 최소동작전류 및 최소차단시간은 3개월 열화가 진행되었을 때 기준치(30mA/30msec)를 초과하는 대역으로 열화가 진행되고 있음을 확인하였다.

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 것으로 나타났다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 산업자원부 “전기설비기술기준 제36조2항”, 2004.
- [2] 한국산업규격, “KS C 4613”, 2001.
- [3] 최충식 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] 최충식 외 2, “주요간선 도로에 설치된 가로등의 현장실태 조사를 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