

# 배선용 차단기 수명평가를 위한 기초 연구

(A Basis Study for Life Time Test of MCCB)

서정열\* · 신희상 · 김오환 · 김재철  
 (Jung-Youl Seo-Hee-Sang Shin-Oh-Hwan Kim-Jae-Chul Kim)  
 (송실대학교 · 전기안전공사)

## Abstract

Recently, load circuits and components of customer are various. Therefore failures of ELB(Earth Leakage Breaker) and MCCB(Molded case circuit breakers) are more frequent. Lite time of MCCB even if there is same units differ from environment, condition of operation. FEMCA is a efficiency method of system operation or maintenance for system reliability. We study on FMECA procedures and method. In this paper, we focused on FMECA application to MCCB life time test.

### 1. 서론

정보화 사회가 진전될수록 수용가의 부하회로의 장비와 기계를 포함한 시스템의 복잡성을 증대하고 있고, 그에 따라 배선용 및 누전차단기의 오동작 사례는 점점 빈번해지고 있다.

수용가용 인입구 보호 장치인 저압용 차단기는 장기사용 및 노후로 인한 고장이 증가하고 차단 성능, 오동작 가능성이 검증되지 않은 상태에서 일률적, 영구적으로 사용함에 따라 배선용 차단기 29%, 누전차단기 25%가 노후로 인해 오동작이 발생하고 전기재해의 원인이 되고 있다.[1]

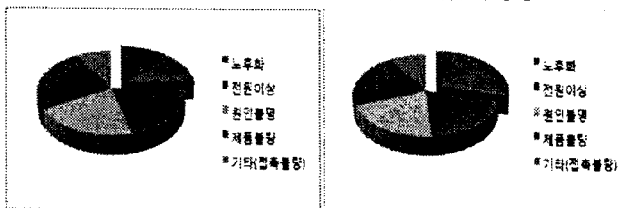


그림 1.수용가용 차단기 고장원인 분석  
 Fig 1.The Cause of MCCB and ELB Failure

2006년도 점검 자료에 따르면 일반주택 부적합 호수 중 저압 차단기 부적합율이 85%로서 대다수를 차지한다.

표 1. 주택에서의 부적합유형 및 점유율  
 Table 1. Inconsistence Case and Share at the Housing Facilities

구분	점검 지항	인입구 배선	누전 차단기	개폐기 차단기	옥내 배선	접지 상태	합계
일반주택[호]	5,081	73	27,642	5,695	273	443	39,207
점유율[%]	13	0.2	70.5	14.5	0.7	1.1	100

차단기의 신뢰성평가 및 수명평가를 통한 안전성 확보로 전기재해 최소화를 위한 필요성이 요구됨

과 동시에 보호 장치의 고장 메커니즘 해석을 통해 성능이 향상된 차단기 개발로 인한 안전성향상 대책이 요구된다.

시스템의 효율적인 운영 및 유지보수, 시스템의 구축을 도입하기 위해 적용되었던 고장모드 및 임계분석(FMECA : Failure Mode, Effects and Criticality Analysis)을 예로 들어 작은 구성품인 수용가용 차단기의 수명평가를 할 수 있는 기초 연구 방안을 만들고자 한다.

### 2. FMECA

#### 2.1. FMECA 개요

시스템에 대한 신뢰성, 수명평가 및 안정성 분석 과정에서 적용되는 방법론은 매우 다양하지만, 시스템 및 하부시스템에 대한 위험요인 규명 및 분석을 보다 용이하게 수행하는 방법이 FMECA다.[2]

고장모드를 중심으로 시스템의 위험요인을 분석하여 시스템 전체에 영향을 미치는 치명도를 정량적으로 표현할 수 있는 방법으로 표 2.는 FMECA를 수행하기 위한 표준적인 모델인 MIL-STD-1629의 FMECA 양식을 나타낸 것이다.

표 2. FMECA 양식  
 Table 2. FMECA Form

일련 번호	대상 항목	기능	고장 유형 및 원인	고장영향		심각도	발생 빈도	치명도 (위험도)	고장 검출 방법	완화 조치 방법
				해당 항목	상위 항목					

#### 2.2. FMECA 절차

FMECA는 FMEA(Failure Mode, Effect Analysis)를 형식을 기본으로 고장모드를 우선적으로 인지하고, 고장모드에 따른 과급효과를 인지

하는 것이다. 표 3.은 FMECA의 절차를 보여주고 있으며 Step 6까지는 FMEA와 동일한 방법으로 진행되며 표 2.의 형식에 맞춰 작성한다.[3]

표 3. FMECA 절차  
Table 3. Process of FMECA

STEP	절차
1	식별기호 (Identification Number)
2	항목 또는 기능 명
3	기능 (Function)
4	고장형태 (Failure Mode)
5	고장원인 (Failure Cause)
6	심각도 (Severity)
7	고장 영향 수준( $\beta$ )
8	고장 발생 비율( $\alpha$ )
9	고장률( $\lambda_p$ )
10	운용시간(t)
11	고장 형태 치명도( $C_m$ )
12	아이템 치명도( $C_i$ )
13	정량적인 치명도 행렬(Criticality matrix) 작성

고장 영향 수준은 고장 영향의 조건부 확률로 분석가(평가자) 판단을 나타내는 것이며, 고장 발생 비율은 특정 부품 또는 설비 고장률에 대한 특별한 고장모드의 비율을 의미한다. 고장형태 치명도는 고장 영향 수준, 발생비율, 고장률 그리고 운용시간의 곱으로 표현되며, 아이템 치명도는 시스템의 특정한 고장 형태와 특정한 치명도 등급에 해당되는 고장 형태별 치명도의 합으로 정의된다.

### 3. 배선용 차단기의 FMECA 적용

#### 3.1. 배선용 차단기 구조

배선용 차단기(MCCB)를 FMECA에 적용하기 위해서는 우선적으로 차단기의 구조와 작동원리를 이해하고 발생 가능한 고장형태와 원인 그리고 영향을 검토해야 된다. 배선용 차단기 구조를 FMECA 절차에 맞게 분해하기 위해서는 기능별 분해를 하는 것이 바람직하다. KS C 8321과 IEEE Blue Book (Applying Low Voltage Circuit Breakers Used in Industrial and Commercial Power System)을 기본 바탕으로 표 4.와 같이 배선용 차단기를 분해 레벨에 맞게 간략하게 정리해 보았다.[5][6]

표 4. FMECA 위한 배선용 차단기 분해레벨  
Table 4. Disassemble the MCCB for FMECA

구성요소	기능
주 접점	차단기의 주 회로에 붙여진 접점
아크 접점	차단 또는 투입에 따라 아크를 유인하고 주접점이 발호하는 것을 경감하기위해 추가적으로 설치된 접점
도전부	차단기의 전로 부분
충전부	차단기에 전압을 인가한 경우 직접 대전하는 부분
단자	외부 배선을 차단기에 전기적으로 접속
과전류 트립 장치	과부하 또는 단락 전류에 대해서 트립 동작을 하게 하는 트립 장치
가조 정식	트립 동작 시간 또는 동작 전류가 소정의 범위 내에서 사용자에 따라 사용 조건에 맞게 조절할 수 있는 것
핸들	On-Trip-Off 조작부

전류에 비례하는 열을 감지하는 바이메탈을 이용하는 열동전자식과 기준치 이상의 전류가 흐르면 전자식의 원리에 의해 자속이 생성되는 Oil Dash Pot(ODP) 내부의 Plunger가 이동하여 Armature를 흡입하는 완전 전자식, 바이메탈 대신에 CT를 이용하여 과전류 여부를 판별하는 전자식으로 과전류 트립장치는 나누어지는데 차후 이루어지게 될 가속수명시험에서는 트립장치에 따라서 가속 스트레스 인자가 틀려지게 되므로 구분을 해서 고장데이터를 분석할 필요가 있다.

#### 3.2. 고장형태 및 고장원인

전기안전공사의 수명향상 저압차단기 개발 및 최적 교체 주기 선정을 위해서 2008년부터 수거된 1008개의 차단기 데이터를 분석하면 표 5.와 같다. 수거된 차단기는 누전차단기와 배선용차단기를 모두 포함하여 주택용 30A가 가장 많았다. 표 5.를 기반으로 고장데이터를 분석하기 위한 변수로는 염해에 의한 영향을 알 수 있는 장소별 구분, 고장 원인으로 나사 풀림과 도전로

표 5. 수거된 저압차단기 형태별 분류  
Table 5. Classification of Low Voltage Circuit Breaker

장소별	수용가별	사용기간별		나사풀림		도전로 정도							
		주목	농사용	상가	사무실	기타1	기타2	주목	약간	도형성	단락	파손	기타
농어촌	540	796	128	1~5년	110	정상	662	정상	751				
				6~10년	266	약간	214			214			
도심지	439	57	9	11~15년	279	분실	113						
				16년 이상	343	노후	1						
해안	26	12	6	20년 이상	7	고착	2						
				모름	3	기타	16						
기타	3												

상태를 볼 수 있겠다.

배선용 차단기에서 자주 발생할 수 있는 성능 저하로는 먼지의 쌓임, 나사의 풀림, 내구성능 회수를 넘는 개폐에 의한 기구부의 마모, 점점의 소모 등이 있다. 위에 수거된 차단기에서 고장이 정확히 명시된 수량은 21개에 불과하지만 형태와 원인은 동작불가, 단자파손, 핸들파손 등 이었고 표 6.에서 알 수 있듯이 나사 풀림과 도전로 상태도 잠재적 고장 원인이라고 분석할 수 있다. 트립 장치의 동작 불량에는 정격전류 이하의 통전 중에 트립이 되는 현상, 규정의 동작전류 이상에서의 부동작 등의 현상을 포함한다.

표 6. 배선용차단기 고장형태 및 고장원인  
Table 6. Failure Case and Cause of MCCB

구성요소	고장형태	고장원인
점점 및 도전부	이상 발열	- 나사 풀림
	절연물 소손	- 접촉 저항 증대에 의한 발열
case	단락	- 단자 case 깨짐, 절연 배리어 소손
열동전자식 트립 장치	동작 불량	- Bi-metal 변형 및 회손 - heater 및 trip cross var 회손 - 가동철심 변형
원전전자식 트립 장치		- plunger, armature 흡입 동작 불량
전자식 트립 장치		- CT 동작 불량
보조, 경보 접점	스위치 동작 불량	- Micro switch 정격치 초과로 점점 용착 및 소손 - Micro switch 조정불량에 의한 부동작

### 3.3. 고장률 산출

배선용 차단기는 시간적 내구 성능이 정해져 있지 않으며 이는 사용하는 환경, 부하 및 개폐빈도, 정기점검, 보수의 정도에 따라 내구성능이 달라지기 때문이다. FMECA에서의 고장률은 운영 조건을 조정하기 위한 정보로부터 얻어진 기본 고장률에 운영 시 고장률 조정계수와 운영 시 환경조건 계수를 곱해 고장률을 산술적으로 산출해 낼 수 있다. 또한 수거된 차단기의 고장시간 데이터를 정확하게 판단다면 Minitab 을 이용하여 차단기에 대한 확률밀도함수, 위험함수 등으로 수명 평가를 할 수 있는 데이터를 얻어낼 수 있다.

## 4. 결론

현재 우리나라는 KS 규격은 IEC 규격의 주택용 차단기를 인용하고 있으나 산업용, 주택용 구분 없이 규정되어 있는 실정이다. 그러나 국내에서 안전기준에 근거해 안전인증을 받은 저압차단기의 대부분은 산업용 차단기(IEC60947-2)로 인체 감전이나 비숙련자를 대상으로 하는 주택용

차단기 또는 기기 보호용 차단기는 거의 사용되지 않고 있는 실정이고, 차단기는 배전방식 및 보호 대상에 따라 안전 및 특성기준이 다를 수 밖에 없으므로 적용개소에 따라 사용해야 할 차단기를 규정할 필요성이 대두되고 있다. 규정에서도 알 수 있듯이 수용가용 저압 차단기는 전기에 관한 전문가가 아닌 일반인의 안전을 확보해주는 가장 일반적이고 보편적인 기구이므로 제품의 중요성이 매우 높다. 이러한 장치가 장기사용 및 노후로 인해 차단성능, 오동작 가능성이 검증되지 않은 상태에서 일률적, 영구적으로 사용하고 있는데 문제점이 있다.

FMECA를 통해 차단기 각각의 구성품을 적절한 레벨로 분해하여 고장원인과 고장모드를 분석함으로써 특정 부품이나 특정고장모드의 중요성을 인식하고 우선순위를 결정할 수 있다.

배선용차단기의 수명은 사용 환경, 조건 등에 따라 동일한 차단기라 할지라도 달라진다. 현재 한국전자재시험연구원에서 실시하고 있는 내후성능 평가 진행에 따라 나오는 데이터를 통해 고장 데이터를 얻어내고, 전문가들의 의견을 반영한 값을 논의된 절차에 맞게 적용함으로써 배선용차단기 교체 추천 시기라고 알고 있는 10~15년을 정확하게 정의할 수 있고 적절한 시기에 교체하여 전기안전 사고를 예방할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] 유재근, 이상익, 전정채, "자가용 수용가에서 배선용 및 누전차단기 오동작에 대한 조사 연구", 조명·전기설비학회논문지, 제19권 제2호, p87~93, 2005.
- [2] 김진오, 김동진, 권기량, 이윤성, 곽형근, "철도 변전소 고장모드 분석 연구", 한국철도기술연구원, 2008.
- [3] 신석균, 김수명, 이덕규, 이경학, 이기서, "철도시스템 RCM 적용을 위한 신뢰성 및 안전성 분석 활동에 관한 연구", 한국철도학회논문집, 제9권 제6호, p739~745, 2006.
- [4] 이상용, "신뢰성공학", 형설출판사, 3판, 2005.
- [5] 산업자원부 기술표준원, "KS C 8321 배선용 차단기", 2002.
- [6] IEEE Blue Book Std 1015-2006 : Applying Low Voltage Circuit Breakers Used in Industrial and Commercial Power Systems