

배선용 차단기 수명평가를 위한 FMECA 적용 방안에 대한 연구

서정열*, 신희상*, 김재철*
 송실대학교*

A Study on FMECA Application to Life Time Test of MCCB

Jung-Youl Seo*, Hee-Sang Shin*, Jae-Chul Kim*
 Soongsil University*

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.

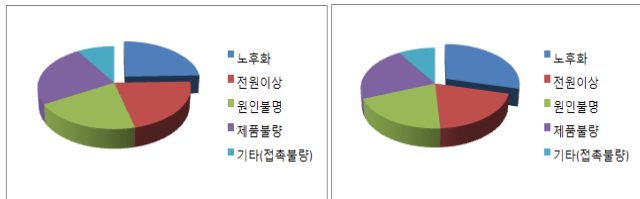
<표 1> FMECA 양식

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					

1. 서 론

수용가의 부하회로 및 설비가 다양해지고 있다. 그에 따라 배선용 및 누전차단기의 오동작 사례는 점점 빈번해지고 있고 한국전기안전공사에서 국내 수용가를 대상으로 조사된 자료를 살펴보면 저압기기의 고장 또는 사고 중 배선용 및 누전차단기가 차지하는 비율은 매년 증가하는 추세에 있다는 것을 알 수 있다.

수용가용 인입구 보호 장치는 장기사용 및 노후로 인한 고장이 증가하고 차단성능, 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

현재 KSC-8321과 KS-4613 등의 규정에서는 차단기의 전기적인 특성만을 규정하고 있을 뿐 수명에 대한 언급이 없으며 수용가용 차단기의 신뢰성평가 및 수명평가를 통한 안전성 확보로 전기재해 최소화를 위한 필요성이 있다. 시스템의 효율적인 운영 및 유지보수 시스템의 구축을 위하여 신뢰도 기반 유지보수(RCM : Reliability Centered Maintenance)를 도입하기 위해 적용되었던 고장모드 및 임계분석(FMECA : Failure Mode, Effects and Criticality Analysis)을 통하여 작은 구성품인 수용가용 차단기의 수명평가를 할 수 있는 방안을 만들고자 한다.

2. 본 론

2.1 FMECA

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

2.1.1 FMECA 개요

고장모드를 중심으로 시스템의 위협요인을 분석하여 치명도의 정량적 할당이 가능한 방법이다. <표 1>은 FMECA를 수행하기 위한 표준적인 모델이 된 MIL-STD-1629의 FMECA 양식을 나타낸 것이고, EN50126 및 IEC62278에서 권고하는 심각도, 발생빈도, 위험도에 대한 각각의 정의는 [3]에 표로써 정의되어 있다.

2.1.2 FMECA 절차 및 접근방법

FMECA는 고장모드를 우선적으로 인지함으로써 시작되고, 고장모드에 따른 파급효과를 인지하는 것이 다음과정이다. 아래 절차에 따라 수행되며 [Step 6]까지는 FMEA와 동일한 방법으로 평가된다.

- [Step 1] 식별기호(Identification Number)
- [Step 2] 항목 또는 기능명
- [Step 3] 기능(Function)
- [Step 4] 고장형태(Failure Mode)
- [Step 5] 고장원인(Failure Cause)
- [Step 6] 심각도(Severity)
- [Step 7] 고장 영향 수준(β)
- [Step 8] 고장 발생 비율(α)
- [Step 9] 고장률(λ_p)
- [Step 10] 운용시간(t)
- [Step 11] 고장 형태 치명도(C_m)
- [Step 12] 아이템 치명도(C_r)
- [Step 13] 정량적인 치명도 행렬(Criticality matrix) 작성

<그림 2> FMECA 분석 절차

[Step 7]의 β 값은 고장 영향의 조건부 확률이며, 조건부 확률에 대한 분석가(평가자) 판단을 나타내는 것이다. [Step 8]의 α 값은 특정 부품 또는 설비 고장률(λ_p)에 대한 특별한 고장모드의 비율을 의미한다. [Step 11]의 고장 형태 치명도 C_m 은

$$C_m = \beta \cdot \alpha \cdot \lambda_p \cdot t \quad (1)$$

[Step 12]의 아이템 치명도 C_r 은 아래와 같이 정의 된다.

$$C_r = \sum_{n=1}^i (\beta \cdot \alpha \cdot \lambda_p \cdot t) n \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

[Step 13]의 정량적인 행렬은 모든 항목을 심각도에 따라서 비교 확인하는 수단이 되며 <그림 3>으로 표현된다.

Criticality Level	높음	A				high
	발생 확률	B				
	C					
	D					
	낮음	E				
			IV	III	II	I
			Severity Level			

<그림 3> 정량적인 치명도 행렬

2.2 배선용차단기(MCCB) FMECA 적용

배선용차단기(MCCB)에 FMECA를 적용하기 위해서는 우선적으로 차단기의 구조와 작동원리를 이해한 뒤 발생 가능한 고장형태, 고장원인 그리고 영향을 검토해야 된다.

2.2.1 배선용차단기 구조

FMECA의 초기 절차는 FMEA와 동일한데 시스템이나 기기를 분해하는 경우 기능별 분해하는 것이 바람직하다[4]. 따라서 배선용차단기를 KS C 8321에서 언급한 기능별 구성요소에 맞게 <표 2>와 같이 분해레벨을 나누어 전개하였다[5].

<표 2> FMECA를 위한 배선용차단기 분해레벨

구성요소	기능
주 접점	차단기의 주 회로에 붙여진 접점
아크 접점	차단 또는 투입에 따라 아크를 유인하고 주접점이 발호하는 것을 경감하기위해 부가적으로 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
소자	과전류 트립 장치에서 각 크마다 과전류 검출 기능을 가진 요소의 단위
가조 정식	트립 동작 시간 또는 동작 전류가 소정의 범위 내에서 사용자에게 따라 사용 조건에 맞게 조절할 수 있는 것
보조 스위치	차단기의 주회로 개폐 기구에 연동하여 동작하는 스위치
경보 스위치	트립 장치가 동작하여 차단하였을 때만 동작하는 스위치

배선용차단기의 핵심부분인 과전류 트립 장치는 전류에 비례하는 열을 감지하는 바이메탈을 이용하여 일정 전류치를 초과하면 전자접촉기를 차단시키는 열동전자식(TM), 기준치 이상의 전류가 흐르면 전자식의 원리에 의해 자속이 생성되어 Oil Dash Pot(ODP) 내부의 Plunger가 이동하여 Armature를 흡입하는 완전전자식(ODP, HM), 바이메탈 대신에 CT를 이용하여 과전류 여부를 판별하는 전자식으로 나누어진다.

2.2.2 배선용차단기(MCCB) 고장형태 및 고장원인

배선용차단기에서 자주 발생할 수 있는 성능 저하로는 먼지의 쌓임, Screw의 풀림, 내구성능 회수를 넘는 개폐에 의한 기구부의 마모, 접점의 소모 등이 있다. 배선용차단기의 고장형태와 고장원인을 <표 2>의 분해레벨과 과전류 트립 방식에 맞추어 <표 3>에 정리 했다.

<표 3> 배선용차단기 고장형태 및 고장원인

구성요소	고장형태	고장원인
접점 및 도전부	이상 발열	- Screw 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
완전전자식 트립 장치		- plunger, armature 흡입 동작 불량
전자식 트립 장치		- CT 동작 불량
보조, 경보 접점	스위치 동작 불량	- Micro switch 정격치 초과로 접점 동작 및 소손 - Micro switch 조정불량에 의한 부동작

트립 장치의 동작 불량에는 정격전류 이하의 통전 중에 트립이 되는 현상, 규정의 동작전류 이상에서 부동작 등의 현상을 포함한다.

2.2.3 배선용차단기(MCCB) 고장률 산출

배선용차단기는 특히 시간적 내구성능이 정해져 있지 않다. 이는 사용하는 환경, 사용 부하 및 개폐빈도, 정기점검, 보수에의 정도에 따라 내구성능이 현저히 달라지기 때문이다. 식(2)에서 고장률 λ_p 는 운영조건을 조정하기 위한 정보로부터 얻어진 기본 고장률(π_b)에 운영 시 고장률 조정계수(π_A)와 운영 시 환경조건 계수를 곱해 고장률(π_E)을 곱해 산출한다.

$$\lambda_p = \pi_b \times \pi_A \times \pi_E \quad (3)$$

각 분해레벨에 따른 고장률 데이터를 얻기 위해서 가속수명시험이 이루어져야하며 차후 이를 실시한 데이터와 전문가들로부터 얻어진 고장 발생 비율(α)값과 고장 영향 수준(β)을 적용하여 배선용차단기의 각 분해레벨에 대한 치명도를 얻어내야 한다.

3. 결 론

누전차단기, 배선용 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 있는 데 문제점이 있다.

배선용차단기의 수명은 사용 환경, 사용 조건 등에 따라 동일한 차단기라 할지라도 달라진다. 일본 전기공업협회에서 발간한 자료에 의하면 배선용차단기의 교체 추천 시기는 약 10~15년으로 말하고 있지만 국내에선 정확하게 정의하고 있는 곳이 없다.

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

차후 이루어질 가속수명시험을 통해 고장데이터를 얻어내고, 전문가들의 의견을 반영한 값을 논의된 절차에 맞게 적용함으로써 배선용차단기의 유지보수 및 수명을 평가하여 적절한 시기에 새로운 배선용차단기로 교체하여 전기안전사고 예방할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 유재근, 이상익, 전정채, “자가용 수용가에서 배선용 및 누전차단기 오동작에 대한 조사 연구”, 조명·전기설비학회논문지, 제19권 제2호, pp 87~93, 2005.
- [2] 김진오, 김동진, 권기량, 이윤성, 광형근, “철도변전소 고장모드 분석 연구”, 한국 철도기술 연구원, 2008.
- [3] 신석균, 김수명, 이덕규, 이경학, 이기서, “철도시스템 RCM 적용을 위한 신뢰성 및 안전성 분석 활동에 관한 연구”, 한국철도학회논문집, 제9권 제6호, pp.739~745, 2006.
- [4] 이상용, “신뢰성공학”, 형설출판사, 3판, 2005
- [5] 산업자원부 기술표준원, “KS C 8321 배선용 차단기”, 2002