

배선용차단기의 신뢰성평가를 위한 고장모드해석

김민규, 이정기, 정주영, 김익수
한국전기연구원

Failure Mode Analysis of Molded Case Circuit Breakers for the Reliability Assessment

Min-Kyu Kim, Jeong-Gi Lee, Ju-Young Jeong, and Ik-Soo Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 본 논문에서는 배전반 또는 분전반에서 널리 이용되고 있는 1000 V 이하의 배선용 차단기, 즉 MCCB(Molded Case Circuit Breakers)의 신뢰성을 평가하기 위한 시험계획 및 시험방법을 검토하기 위한 전단계에서 반드시 필요한 고장모드영향분석(FMEA)의 결과를 서술하고, 또한 고장모드별로 대응되는 스트레스를 이용한 신뢰성평가 방안에 대해서 제시한다.

1. 서 론

전력계통에서 회로의 보호기기로 이용되는 차단기와 개폐기는 용도면에서 차이를 가지고 있다. 차단기는 용어자체의 의미대로 해석하면 전기에너지의 수송을 막아주고 끊어주는 기기로서 계통에서 이상상태를 감지했을 때 회로를 차단하여 후위 전력기에 미치는 사고의 여파를 막아주는 보호기기이다. 이에 반해 개폐기는 회로를 열거나 닫는 기능만 수행하는 기기이다. 차단기와 개폐기는 회로를 On/Off하는 동작은 동일하다고 볼 수 있지만, 중요한 차이점을 갖고 있다.

개폐기는 정상적인 회로에서도 사용자가 필요시 임의로 회로를 열고 닫을 수 있는 기기인데 반해 차단기는 계통에서 지락이나 단락 등의 고장에 의해 이상전류가 발생하여 회로 내부에 심각한 문제가 일어날 것으로 예상되는 시점에서 사전에 이를 감지해 강제로 회로를 차단하는 것이 주 목적이다. 이러한 관점에서 차단기와 개폐기는 그 사용 목적이 다르게 분류가 된다.

송변전 및 배전계통에서 이용되고 있는 고압차단기는 SF6 가스를 절연매질인 가스차단기가 다수를 점하고 있으며, 가스절연 스위치기어(GIS) 형태로 설치되어 운용되고 있다.

한편, 1 kV 이하의 저압계통에서 이용되는 차단기로는 배선용차단기, 저압 전력용차단기, 케이스 절연 차단기 등이 있는데, 이를 통칭해서 저압회로 보호기라 부르며 각각의 차단기는 특별히 적용분야가 정해져 있고 각각의 용도에 적용되는 기준에 따른 시험을 실시하게 된다.

저압차단기중에서 일반 수용가에 가장 가까이 설치됨으로써 제품의 안전성이나 신뢰성이 더욱 강조되어야 할 것이 배선용차단기이다. 배선용차단기는 개폐기구나 트립장치 등이 절연물의 용기 내에 일체형으로 조립된 것으로, 사용중 상태의 회로를 수동 또는 절연물 용기 외부의 전기 조작장치 등에 의해 개폐할 수 있고, 또한 과부하나 단락사고가 발생할 경우 자동적으로 회로를 차단하는 역할을 수행하게 된다. 규격상에서 배선용차단기가 적용되는

범위는 교류 600V 이하 또는 직류 250V 이하의 저압 옥내 선로의 보호에 사용되며 외부가 주형 외함(molded case)로 구성되어 있으며, 자동차단기(Auto Breaker) NFB 등 다양한 용어로 불리우고 있으나 배선용차단기(Molded Case Circuit Breaker ; MCCB)가 표준용어이다.

현재 한국전기연구원은 전기분야 부품·소재 신뢰성평가센터를 운영하고 있으며, 2003년까지 10개 전기분야의 품목에 대한 신뢰성평가 기준을 개발하였고, 가속수명시험을 통한 신뢰성평가를 실시할 수 있도록 많은 신뢰성평가 장비를 구축하여 운용하고 있다. 특히 2004년에는 배선용차단기를 비롯한 GIS용 절연스페이서, 고압 콘덴서 등에 대한 신뢰성평가를 위한 기준의 개발 및 평가 장비의 구축을 준비중에 있다. 본 논문에서는 배선용차단기의 신뢰성평가를 위한 시험방법의 계획에서 반드시 필요한 절차인 고장모드 분석에 대해 서술한다. .

2. 본 론

2.1 고장분석

고장분석은 고장이 발생했을 때 고장의 메커니즘을 밝히기 위해 고장발생 개소에 대해 수행하는 물리적, 화학적인 원인규명을 일컫는데, 보고된 고장을 확인하고 고장모드 또는 메커니즘을 규명하기 위해 전기적특성, 물리·금속·화학적 최신 분석기술에 의하여 고장발생 후에 고장원인을 조사하는 것과 함께 설계, 제조 또는 사용측면의 기술적인 면과 더불어 관리적인 측면까지 고장의 발생 원인을 분석하는 것을 포함하기도 한다.

고장은 외부의 응력(stress) 및 사용·환경조건 변화에 따라 제품 내부의 물리적·화학적 변화로 인하여 발생하며, 제품 외부의 전기적인 특성변화로 주로 관측된다. 고장분석을 위한 수단으로는 전기적, 물리적, 화학적 분석기술이 이용되기도 한다.

고장모드영향분석(FMEA : Failure Mode and Effect Analysis)은 1950년대 초 프로펠러 추진항공기가 제트엔진 항공기로 전환되면서 유압장치나 전기장치로 구성되는 복잡한 조종시스템을 가진 제트기의 신뢰성 설계를 위해 사용된 것이 효시이며, 현재 시스템을 구성하고 있는 부품들의 고장모드가 타 부품과 시스템 및 사용자에게 미치는 영향과 고장의 원인을 상향식으로 조사하는 정성적 신뢰성예측 기법 또는 고장해석기법으로 제품 및 공정설계 단계에서 사용되는 도구로 활용되고 있다.

2.2 고장메커니즘 및 고장모드분석

일반적으로 차단기가 운전 중에 받게 되는 스트레스에 의해 일어날 수 있는 고장메커니즘을 분류하면 표 1과 같다.

표 1. 차단기의 고장메커니즘

고장메커니즘	과열	개폐 조작 이상	통전 불량	오동작	Casc 균열·피로	단락
조립불량	○					
접점 마모			○			
개폐 스프링 소손/피로		○				
접점용착		○				
기동전류에 따른 발열	○			○		
과도전류				○		
이물질						○
과부하		○			○	

차단기나 개폐기와 같은 선로의 개폐를 주목적으로 하는 기기는 빈번한 개폐동작에 의해 접점의 마모나 개폐 스프링 등의 소손이 개폐기구부의 조작불량이나 통전불량을 가져오는 주요 원인이 된다. 배선용 차단기를 구성하고 있는 부품의 부위를 분류하면 절연부, 즉 외합과 단자부, 접점이 있는 도전부, 스프링 등에 의한 기계적인 조작력으로 실제 개폐동작을 행하는 개폐부, 그리고 인출부로 나누어진다. 각 부위별 열화현상 및 원인을 살펴보면 표 2와 같이 정리된다.

표 2 배선용차단기의 열화현상 및 원인

부위	현상	원인
절연부	절연저항 저하	<ul style="list-style-type: none"> 경년열화 과전류차단의 그을음, 금속 입자의 부착 먼지티끌 등의 퇴적
	변색	<ul style="list-style-type: none"> 접촉자의 발열 도체체결부의 헐거움에 의한 발열
단자부	발열	<ul style="list-style-type: none"> 체결부의 헐거움에 의한 접촉 저항 증대 과전류차단 등에 의한 접촉자의 발열
	변색	<ul style="list-style-type: none"> 체결부의 헐거움에 의한 이상 온도 상승 부식성 가스에 의한 손상
도전부	발열	<ul style="list-style-type: none"> 과전류개폐 조립부의 헐거움 부식 단선에 의한 전류밀도 증대
개폐부	조작력, 조작각도의 이상	<ul style="list-style-type: none"> 고빈도 개폐에 의한 마모 윤활제 열화 늑 등의 이상부식
인출부	과도한인출	<ul style="list-style-type: none"> 고빈도 인출에 의한 마모

배선용차단기의 열화를 일으키는 주요원인을 살펴보면 환경 스트레스 즉, 수분침투에 의한 부식, 먼지나 티끌에 의한 절연부의 열화가 발생하거나 과전류 차단시 발생되는 금속입자의 부착 등에 의해서도 절연열화가 진전해간다.

각 부위별 스트레스에 의한 열화요인별 영향도를 조사한 결과는 다음 표 3과 같다.

표 3. 배선용차단기의 열화요인의 영향도 분석

	부위	절연부	단자부	도전부	개폐부	인출부
환경 스트레스	고온	◎	△	○	◎	○
	저온	△	△	△	◎	○
	고습도	○	△	○	△	○
	부식성 가스	△	◎	◎	○	○
	진애	△	○	△	△	△
	염해	○	○	○	△	△
	이상 진동	○	○	△	-	○
	충격	△	△	△	-	○
	자외선 오존	△	-	△	-	-
	수분	△	○	○	○	-
기능 스트레스	기계적 스트레스	○	△	△	○	△
	발열	○	○	○	○	○
	과전류	◎	○	○	○	◎
	서어지	-	-	-	-	-
	전원변동	-	-	-	-	-
사용빈도	△	△	△	◎	△	

◎: 크게 영향을 받음, ○: 영향을 받음, △: 영향이 적음, -: 영향이 없음.

2.3 고장메커니즘에 대응하는 시험계획

현재 배선용차단기에 적용되는 시험규격으로는 KS C 8321, IEC-60947, IEEEC37.20.1, ANSI C37. 51, UL1558 등이 있으며, 이들 규격에서 적용하고 있는 시험의 내용은 다음과 같다.

- 구조시험
- 조작시험 ; 수동 조작, 전기 조작, 투입, 개방, 전압 트립, 부족전압 트립, 트립자유
- 외부 동 도체용 나사형 단자 신뢰성
- 과전류 트립 시험 ; 200 %, 125 %, 100 % 전류트립
- 순시 트립
- 단한시 트립
- 과부하 개폐

이러한 시험들은 일적으로 정격전류가 300 A 이하인 배선용차단기의 성능을 평가하기 위해 실시되는 것으로 신뢰성을 평가하는 시험으로는 이 이외에 환경이나 기능에 관련된 스트레스를 모의한 수명시험을 실시하는 것이 필요하다.

배선용차단기의 고장모드영향분석 결과를 살펴보면 온도나 수분 등의 환경스트레스가 절연부나 단자부 등 주요 부품들에 열화에 의한 영향을 크게 미치므로, 온도와 습도, 그리고 전기적인 스트레스를 복합적으로 모의한 가속수명시험을 실시하는 방안이 실질적으로 배선용차단기의 수명을 정확하게 예측할 수 있는 시험계획으로 생각된다.

그림 1에 고장모드 중에서 가장 중요한 모드를 나타낼 수 있는 가속수명시험계획을 도식화해서 나타낸다.

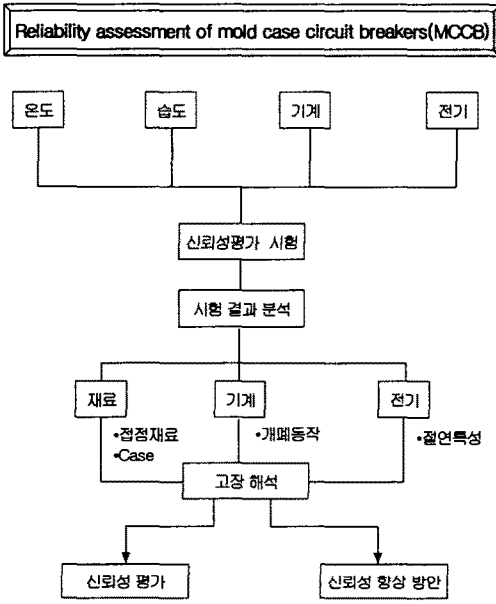


그림 1 가속수명시험 계획

3. 결 론

오늘날 첨단산업 및 고도 정보화 사회에서 저압배선 계통의 핵심부품인 배선용차단기(MCCB)는 안전성과 신뢰성이 고도로 요구되는 제품으로 인식되고 있지만, 국내에서는 배선차단기의 신뢰성 평가기술의 부족으로 국산제품의 신뢰성이 취약한 실정이다. 개별적으로 볼 때 배선차단기의 핵심 요소기술인 접점부의 제작기술이 미비한 것이 첫째로 지적할 사항이다. 배선용차단기에 대한 신뢰성평가 기술을 개발하기 위한 방안으로 접점부의 내열·내마모성, Molded case의 절연수명, 개폐부의 기계적 동작 등 신뢰성 요소를 모두 파악할 수 있는 가속수명시험계획을 수립하여 고장모드에 대한 영향도를 정확하게 평가하고, 이러한 평가 결과를 제작기업에 지원하여 제품의 설계에 직접 반영이 되도록 하는 것 전기 분야의 부품 소재 신뢰성을 향상시키는 올바른 방향이라고 생각된다.

[참 고 문 헌]

[1] "Survey Results of Low Voltage Circuit Breakers as Found During Maintenance Testing", IEEE Industry

Applications Society Working Group Report, 1996
 [2] A. Norris, "Report of Circuit Breaker Reliability Survey of Industrial and Commercial Installations", IEEE Industry Applications Society Working Group Report, 1989
 [3] John J. Shea, John A. Bindas, "Measuring Molded Case Circuit Breaker Resistance", IEEE, 1992
 [4] M. J. Sprague, "Service-Life Evaluations of Low-Voltage Power Circuit Breakers and Molded Case Circuit Breakers", IEEE Trans. Industry Appl., Vol. 37, No. 1, 2001
 [5] "배선용차단기 한국공업규격 KS C 8321(2002)", 산업자원부 기술표준원