

2중 한류 구조를 갖는 배선용 차단기의 차단성능 평가 연구

김 용 기, 송 증 천, 서 정 민
LG산전(주) 전력연구소

A Study on Estimation of Interrupting capability on Molded Case Circuit Breaker including Current Limiting Unit

Yong-Gi Kim, Jung-Chun Song, Jung-Min Seo
LGIS Co.,Ltd. Electrotechnology R&D Center

Abstract - The latest development flow of MCCB(Molded Case Circuit Breaker) is largely separated from which are high capability of interrupting, compact of size and multi-ability in functions. As follow of development of industrial system, MCCB which are including communication function and having a ultimate interrupting capability is required in electrical system. to attain an effective limitation of the peak let-through current and the let-through energy, the arc has to move rapidly off the contacts and has to increase the arc voltage which mainly effect to interrupt. In this paper, we made high performance circuit breaker which including current limiting unit which is attached to the main which is simulated by CAE tool that are repulsion force and mechanical dynamics after that we tested and finally selected optimized for circuit breaker.

1. 서 론

최근 배선용 차단기의 개발 흐름은 고차단화, 소형화 그리고 다기능화로 크게 구분 지을 수 있다. 산업사회가 발전하면서 전력계통에도 통신 기능이 부여된 차단기를 선호하는 반면 성능 또한 극한 상황의 차단용량을 요구하는 것이 현실이다. 이에 제품 개발자들은 차단기의 성능뿐만 아니라 다양한 고객의 요구를 만족하는 제품을 개발해야만 하는 상황에 직면하게 되었다. 특히 본 연구에서는 차단용량을 극대화하기 위한 방법과 이를 이용한 전력 계통에 있어서 차단 보호협조를 수행하는 제품을 개발 하는데 목적이 있다. 차단용량을 극대화 하는 방법 중 한 가지가 바로 한류현상을 이용한 방법이다. 한류현상을 이해하기 위해서는 한류에 대한 정의를 정확히 이해하는 것이 중요하다. 한류차단기에 대한 정의로 UL(Underwriter Laboratories)에서는 다음과 같이 정의한다. "한류차단기는 퓨즈를 사용하지 않고, 한류범위 내에서 작동할 때 대칭 예상 전류(Prospective current)의 반 싸이클 내의 I^2t 값보다 적은 실제 순수 통과 전류(Let-through) I^2t 값으로 제한한다." [1] 즉, AC회로에서 단락이 발생했을 때 과도전류의 크기는 저항과 인덕턴스에 의해서 결정된다. 단락전류는 순간적으로 피크 값에 도달하지 않고 제로 값에서 시작하여 피크 값에 도달한다. 만약 단락전류가 차단기의 트립 설정 값보다 크게 나온다면 차단기는 트립부와 기구부에 의해 가동자를 분리시킬 것이다. 일반적으로 차단기는 반 사이클 후에 아크를 냉각시키는 수단에 의해 냉각시키거나 연장시킴으로써 아크를 소멸하거나 다음 순간의 제로 전

류를 통과 할 때 아크를 소멸시키는 것이 일반 표준형 차단기의 특징이다. 반면 단순히 아크의 조작성 다루는 것과는 다르게 한류 차단기는 실제로 단락 조건을 이용하는 차단원리를 이용한다. 그림1은 한류동작에 대한 내용을 나타 낸 것이다. 그림에서 보았듯이 한류 동작이 이루어지면 차단기는 사고전류의 피크 값 이전에 가동자를 분리시켜 단락상황에 보다 안전하게 부하 단을 보호할 수 있는 반면 차단기 자체적으로도 해를 상당히 줄일 수 있게 된다. 만약 차단기 내에 한류 될 수 있는 구조를 추가 적으로 첨부할 수 있다면 차단기는 훨씬 빠르고 안전하게 단락에 대응할 수 있을 것이다. (2)(3)(4)

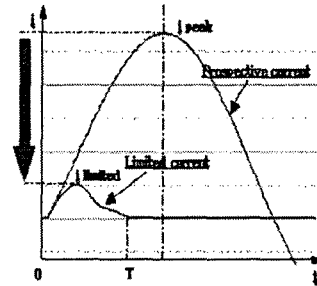


그림 1 한류동작에 대한 일반적인 특성

2. 초 한류형 차단기

본 연구에서는 이런 이점을 응용하여 차단기의 단락성능을 극대화 할 수 있는 차단기를 개발하고자 해석과 성능실험을 통해 그 응용가능성을 판단하고 이를 본 개발에 접목하여 기존의 차단기에서는 구현하기 힘든 조건인 460V 200kA의 성능을 만족하는 차단기를 개발하고자 하였다. 그림2는 본 개발 차단기의 외관을 표현한 것으로 차단기의 개폐동작을 나타낸 것이다. 차단기는 본체와 한류기로 구분 지을 수 있다. 동작원리로는 통상적인 인가전류가 흐를 때에는 한류기 자체적으로는 접촉 스프링에 의해 가동 접촉자는 접촉력을 유지하면서 페로 상태를 유지하다가 이상 상태인 단락사고가 발생하면 순간적으로 대 전류가 전로를 통해 흐르게 되는데 이때 본체의 차단기는 자체적으로 설정된 값에 의해 동작 책무를 수행 하여 차단을 하게 된다. 본체와 마찬가지로 한류기 또한 고정 접촉자와 가동 접촉자 사이에 발생된 높은 전자 반발력에 의해 가동 접촉자는 개로 상태로 위치 변환을 하려고 한다.

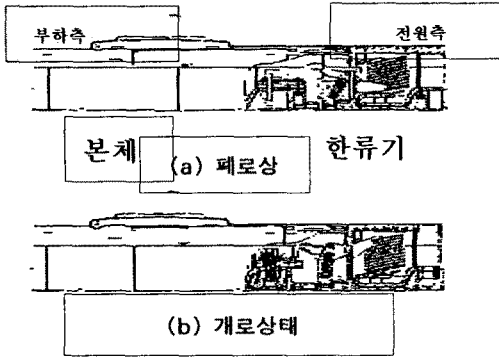


그림 2 초 한류형 차단기의 외관 및 동작 상태

이때 가동 접촉자는 스프링에 의해 이미 설정된 접촉력을 유지하려고 하지만 설정 값 이상의 전자 반발력이 발생하면 페로 상태에서 개로 상태로 위치변환을 하게 된다. 이때 스프링 힘은 점차적으로 증가하지만 가동 접촉자의 접촉면에서 발생하는 접촉력은 회전지점을 기점으로 가동접촉자가 각 변위를 하게 되면서 실제로 접촉력은 각 변위에 따라 감소하게 된다. 이때 가동 접촉자는 전자 반발력에 응답하여 개로 상태로 이동하게 되는데 가동 접촉자가 토글 위치가 되는 시점에 가동 접촉자의 멈춤 구조를 구성하여 가동 접촉자가 구속 상태를 벗어나지 않도록 기구부를 구성 한다. 이상 상태인 단락사고가 종료가 되면 인장 되었던 스프링에 의해 다시 페로 상태로 원상 복귀 될 수 있도록 하여 차단기가 단락사고에 대한 차단 책무를 완성할 수 있도록 하는 것이 초 한류 차단기이다.

3. 해석과 시험을 통한 차단기의 성능 평가

3.1 동특성 해석을 통한 가동자의 기본성능 구현

새로운 초 한류형 차단기를 개발하기 위해서 우선적으로 차단기의 본체 특성을 파악하고 이를 이용한 한류기에 대한 설계를 고려해야만 한다. 본 개발에 적용된 모델인 본체의 접촉력은 6kgf의 값을 가지며 그림 3에 나타난 것과 같은 파형 특성을 갖는다. 이는 가동 접촉자가 개리하면서 초기에는 접촉력이 어느 정도 증가하다가 5°부근에서 감소하기 시작하여 16°지점에서 토글 할 수 있도록 설계되었다.

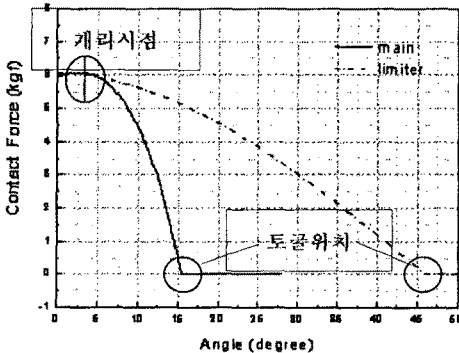


그림 3 본체와 한류기 가동자의 거동 현상

반면 본체와 조화를 이루기 위해 한류기의 가동 접촉자는 초기 접촉력 6kgf의 증가 없이 설정된 접촉력 이상이 되면 즉각적으로 가동 접촉자가 개리 하도록 하는 설계 의도를 가지고 있어 초기 응답속도를 본체보다 빠르

게 설정하여 한류기와 본체간의 아크에너지를 분담하여 전체적으로 차단기에 해를 최소화 하는 것을 목적으로 한류기를 설계하고자 하였다. 가동 접촉자는 토글 지점이 46° 부근임을 알 수 있다. 이는 개리 거리를 최대한 증가시키는 반면 아크를 길게 신장시켜 후에 응답하는 본체와 조화를 이루 고자 하는 목적을 가지고 있다.

3.2 가동 접촉자의 전자 반발력을 이용한 거동 해석

가동자의 접촉력을 기본 요소로 하여 가동자의 전자 반발력 해석을 실시하여 본체와 한류기 간의 반발력 거동을 분석하여 실제 개발품에 해석을 통해 검증된 값을 적용하여 설계에 접목시켰다. 그림 4는 본체와 한류기의 전자 반발력을 나타낸 그림이다. 본체의 아크에 대한 부담을 줄이고 차단성능을 높이기 위해 본체와 한류기 사이의 반발력이 발생하는 시점을 동일하게 하기 위해 본 해석을 실시하였다. 해석에 사용된 모델링은 기구적인 특성을 고려하여 동특성 해석과 병행하여 실행하였고, 이를 기반으로 반발력 해석을 시행하여 한류기의 가동 접촉자 설계 및 개폐 기구부를 설계하는데 기초하였다. 결과적으로 본체와 한류기의 전자 반발력은 최대한 동일 조건으로 하여 최적화 조건을 찾아 이를 실험을 통해 검증하고자 하였다.

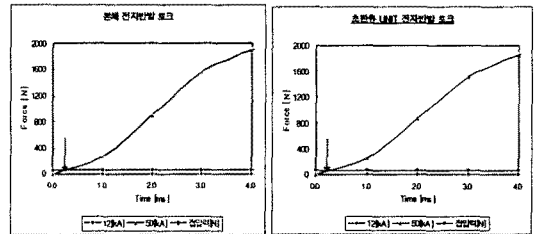


그림 4 본체와 한류기의 전자 반발력

3.3 시험을 통한 초 한류형 차단기의 성능 평가

본 제품을 개발하기 위해 적용된 규격은 국제 표준 규격인 IEC60947-2를 기준으로 시험이 진행되었다. [5] 시험에 적용된 시료는 앞서 분석되었던 인자를 적용한 샘플을 제작하여 국제 규격에 준한 시험을 통해 성능 평가를 실시하였다. 실제 시험에 적용된 인자들로는 스프링 특성에 따른 차단기의 차단성능 평가와 한류기 취부 위치에 따른 단락 성능 평가를 동일한 조건중 위의 인자들을 변수로 하여 시험을 통해 얻어진 값들을 비교 분석 하였다. 표1은 시험에 사용된 시료에 대한 결과를 시료 별로 분석하여 나타낸 표이다.

[표 1] 3상 정격전류 630A에 대한 단락 시험결과 분석
시험조건: 3상 O시험에서 Peak값을 측정된 데이터이고, 시험변수를 적용 차단전류 및 통과에너지를 측정하였다.

No.	시험회로 조건		차단 전류 및 통과에너지			비고 (O test 기준)
	전류(kA)	전압(V)	I _p (kA)	t(ms)	I ² t×10 ⁶	
1	65	600	58.2	6.92	9.87	attached load
2	85	600	61.6	6.61	10.15	attached load
3	150	460	65.9	5.26	6.36	attached load
4	200	460	74.5	3.87	6.57	attached load
5	85	600	59.4	4.15	7.01	attached line
6	85	600	58.3	4.21	7.13	attached line
7	200	460	74.5	4.14	7.54	attached line
8	200	460	73.4	3.67	6.53	attached line

본 시험의 시퀀스를 살펴보면 O-CO-CO의 순서로 진행되었다. O는 차단기가 닫혀 있던 상태에서 가동접촉자가 단락신호에 의해 열리는 시험이고, CO시험은 가동접촉자가 열려있는 상태에서 외부적인 힘에 의해 가동접촉자를 닫는 시험이다. 또 CO시험을 한번 더 실시하는 이유는 사용자의 안전성을 위해서 차단기의 신뢰성을 확보하기 위한 하나의 서비스 단락이다. 본 시험에서는 많은 시험을 통하여 검증된 시료 중 일부 시험결과를 토대로 그 결과를 분석하고자 한다. 그림 5와 그림 6은 한류기를 본체의 전원 측과 부하 측에 취부 했을 때의 현상을 나타낸 그래프로 샘플(No.4.8)을 선택한 것이다. 그림에서 보듯이 한류기의 취부위치에 따라서 차단기의 특성이 차이가 있는 것을 알 수 있다. 차단기의 통과 전류 값의 차이는 거의 동일하나 아크전압의 크기는 취부 위치에 따라 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 한류기를 부하 측에 취부 하였을 때의 아크전압은 본체의 아크 전압이 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한 한류기를 전원 측에 취부 하였을 때는 한류기의 아크전압이 높게 나오고 반면 아크전압의 상승 값이 부하 측에 취부 하였을 때 보다 13 V/msec 정도 빠르게 상승하는 것을 알 수 있었다. 이는 차단기의 아크전압 상승으로 인하여 빠른 속도로 차단을 실행할 수 있고 차단기의 파손 정도도 훨씬 양호하게 나타난다는 결과를 얻을 수가 있었다.

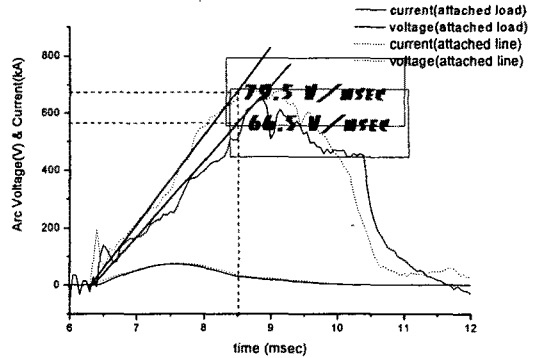


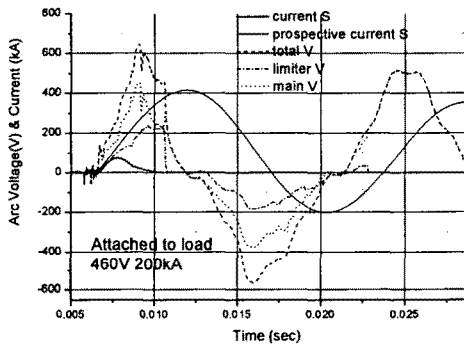
그림 6 한류기의 취부위치에 따른 아크전압 측정

4. 결 론

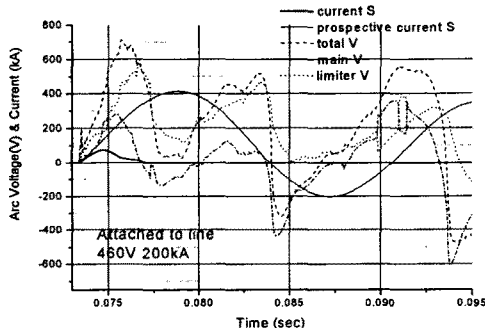
본 연구에서는 차단기가 요구하는 조건 중 차단용량을 극대화하는 방법으로 한류 차단기법을 이용한 한류기를 개발하는데 목적이 있다. 이를 위해 표준 차단기와 한류기 설계인자를 고려하여 전하반발력 해석과 동특성 해석을 동시에 진행하여 최적화 설계를 진행하였고 이를 증명하기 위해 아크 전압 Divider를 사용하여 본체와 한류기 간의 아크 전압을 측정하여 아크의 특성을 분석하고 단락발생시 전하량과 아크에너지 등을 측정하여 차단 성능 평가를 실시하였다. 그 결과 한류기의 부착위치를 본체의 전원 측에 부착하는 것을 결론지었고 정격전류 630A에 460V, 200kA의 차단성능을 얻는 초 한류형 차단기를 개발하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] Underwriters' Laboratories Inc., UL489
- [2] Elia M.Belbel, Michel Lauraire, "Behavior of Switching Arc in Low-Voltage Limiter Circuit Breakers" IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, Vol.Chmt-8, NO.1, p3-12, March 1985
- [3] Dr.-Ing. H.Weichert, "Shock Waves in Arc Chambers of Miniature Circuit Breakers" Sprecher+Schuh AG Aarau, Switzerland, p580-585
- [4] J.M. Khalid, "Development of A Current Limiting Circuit Breaker" p27-35, 1974
- [5] International Standard, "Low-voltage Switchgear and Controlgear Part2 : Circuit-Breakers" IEC60947-2, Edition 2.1, 1998-03



(a) 한류기를 부하 측에 취부



(a) 한류기를 전원 측에 취부

그림 5 한류기의 취부위치에 따른 차단기의 특성 곡선