

유한요소법을 이용한 배선용 차단기의 아크소호 성능향상에 관한 연구

A Study on Improving Arc Quenching Performance of MCCB by FEM

김길수*, 임기조**, 강성화***, 조현길*, 이강원*, 박정남**

(Kil-Sou Kim*, Kee-Joe Lim**, Seong-Hwa Kang***, Hyun-Kil Cho*, Gang-won Lee**,
Jung-nam Park**)

Abstract

This Paper is described basic principles of arc quenching in Molded Case Circuit Breaker. We analyzed magnetic blowout forces acting on the arc in contact system when circuit breakers interrupt fault currents in different three models by 3-D FEM(Finite Element Method). The interrupting time simulated is compared with that of short circuit tests. The results of this study derive valid of the simulation method and present the techniques to improve arc quenching performance.

Key Words : MCCB, Arc Quenching, Magnetic Blowout Force, Interrupting Current.

1. 서론

배선용 차단기는 통상 사용 상태의 전로를 수동 또는 절연물 용기 외부의 전기 조작 장치 등에 의하여 개폐할 수 있고, 과전류(부하)사고 및 단락사고가 발생할 경우 자동적으로 전로를 차단하는 보호기기이다.[1] 저압배전 계통에서 변압기의 대용량화에 따라 회로 단락 임피던스가 작아져 단락사고 발생 시 고장 전류가 종래에 비하여 증대하고 있다. 이에 계통에서는 차단용량이 증대된 배선용 차단기가 요구된다.

배선용 차단기의 차단용량 증대를 위해서는 고장전류를 차단하면서 발생하는 아크를 소호실 안쪽으로

신속히 유도하여 고정 접촉자와 가동접촉자 사이의 아크 정유시간을 짧게하므로서 전류 차단 시간을 짧게 하여야 한다. 그러므로 본 논문에서는 배선용 차단기의 하단에서 단락사고 시 고장 전류를 차단할 때 고정 접촉자와 가동접촉자 사이의 아크를 소호실 안으로 유도하는 아크 구동력을 산출하는 방법을 이론적으로 정립하고, 아크 소호실의 구조에 따라 유한요소법을 이용하여 아크주 내부의 자속밀도와 전자력 해석에 의한 아크 구동력과 실제 단락 차단 시험 결과를 비교하므로서 아크 구동력과 전류 차단시간의 관계규명하고, 차단성능 향상 방법을 제시한다.

* LG산전 설계1팀
(청주시 흥덕구 송정동 1번지
FAX: 043) 261-6618

E-mail : kilskim@lgis.com)

** 충북대학교

*** 충청대학

2. 아크 소호 원리 및 해석 모델

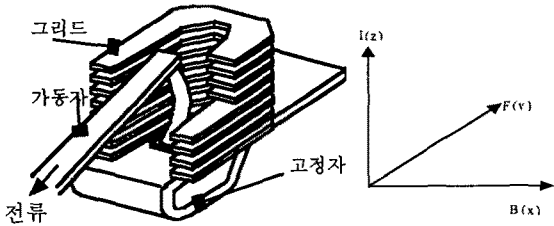
2.1 소호 그리드에 의한 아크 구동력

기중에서 아크를 차단하는 차단기의 소호실은 금속 그리드를 일정한 간격으로 적층시켜 아크를 그리드

안쪽으로 흡인하여 여러 개의 직렬 아크로 분할시키고, 동시에 아크를 냉각시켜 빨리 차단되도록 한다.[2]

아크 소호실의 아크 영역 V_a 에서 유한요소법 해석으로 전류밀도(\overline{J}_a)와 자속밀도(\overline{B}_a) 분포를 구하면 아크에 작용하는 전자력 F 는 다음과 같다.[3]

$$F = \int_{V_a} (\overline{J}_a \times \overline{B}_a) dV_a \quad (1)$$



(a) 아크 소호실 구조 (b) 電磁벡터와 좌표축
그림 1 아크 해석용 그리드

2.2 해석 모델

아크 소호부품인 가동접촉자 및 고정접촉자 형상과 그리드의 두께, 형상과 매수를 달리 설계하여 Table 1과 같이 모델1, 2, 3으로 조합하였다.

그림 2는 해석 모델 1로써 고정자의 형태는 단락 차단 시 가동자의 회전 방향과 반대 방향으로 움직일 수 있는 가동형 고정자로 되어 있다.

그림 3은 해석 모델 2로써 고정자의 형태는 판(plate)형 고정자에 홈을 파서 전자 반발구조를 갖게 한 것이다. 판형 고정자의 이점은 고정자의 높이를 낮추어 그리드의 매수를 증가시킨다. 그리드 배치는 초기각도 5° 로 시작해서 2.3° 씩 증가하여 배치하였다.

그림 4는 해석 모델 3으로써 두 개의 대향하는 고정 접점과 가동 접점 사이에서 발생하는 아크를 효과적인 소호를 할 수 있도록 하는 이중 소호 구조이다.

그리드 냉각효과 증대를 위하여 날개부를 없애고 홈 부분의 곡선을 일반 형태의 그리드와 반대 방향으로 곡선을 주었다. 그리드의 두께는 1.6mm이며 한 쪽 소호실의 그리드 매수는 7매로 합계 14매 이다. 배치 각도는 10° 로 일정 각도 배치하였다.

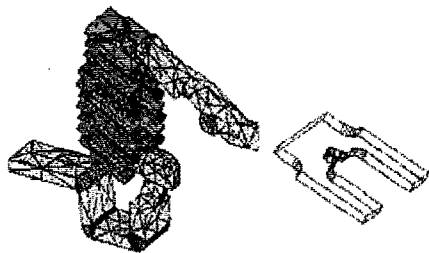
3. 해석 및 실험 결과

3.1 해석 결과

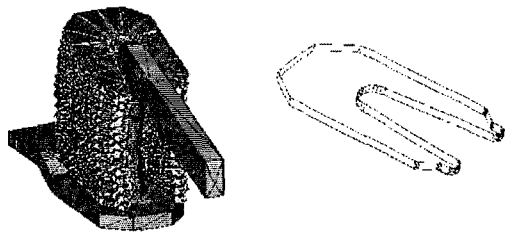
그림 5(a)는 해석 모델 1의 아크 중심 Y-Z 단면 자속 밀도이다. 아크 주 안쪽에서 자속밀도가 높게 되어 아크 주는 y방향으로 힘을 받고 활 모양으로 휘면서 그리드 안쪽으로 구동 된다. 그리드의 자속 밀도

Table.1 해석모델

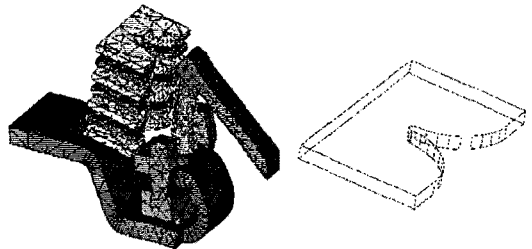
모델	가동 접촉자	고정 접촉자	그리드		
			두께 [mm]	경사각 [°]	매수
1	단일 구조	이동형	2	25	11
2	단일 구조	plate형	1.6	$5+\Delta 2.3$	13
3	이중 소호 구조	口자 개방형	1.6	10	7



(a) 아크 소호 구조 (b) 그리드 형상
그림 2 해석 모델 1



(a) 아크 소호 구조 (b) 그리드 형상
그림 3 해석 모델 2



(a) 아크 소호 구조 (b) 그리드 형상

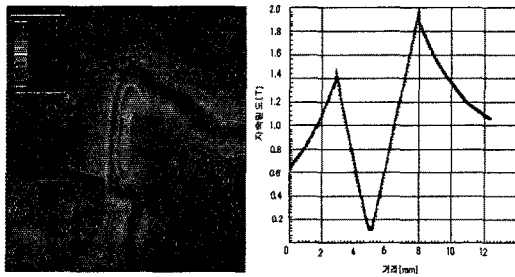
그림 4 해석 모델 3
가 매우 높고 아크 주의 중심을 기준으로 양쪽 자속밀

도의 차이가 존재함을 그림 5(b)에서 알 수 있다.

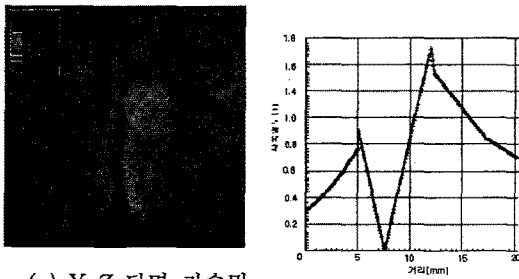
그림 5(b)는 아크 전류 내부 자속밀도와 아크 전류 주위의 자속 밀도를 그래프로 나타낸 것이다. 아크 주 양끝의 자속 밀도의 차가 0.5 T이다.

그림 6(a)는 해석 모델 2의 아크 중심에서 Y-Z 단면의 자속 밀도이다. 판형 고정자 위에 그리드가 가깝게 놓여 있기 때문에 고정자 전류에 의해서 하부 그리드의 자속밀도가 매우 높게 나타나는데, 하부 그리드가 포화되면 아크 구동력은 더 이상 증가하지 않는다.

그림 6(b)는 아크 주 내부의 자속 밀도 변화이며, 아크 주 양단의 자속 밀도 차는 0.55 T이다

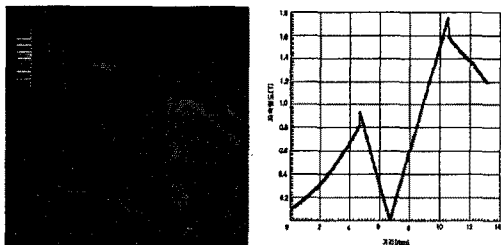


(a) Y-Z 단면 자속밀도 (b) 아크柱內 자속밀도
그림 5 해석 모델1의 자속밀도



(a) Y-Z 단면 자속밀도 (b) 아크柱內 자속밀도

그림 6 해석모델2의 자속밀도



(a) Y-Z 단면 자속밀도 (b) 아크柱內 자속밀도
그림 7 해석모델3의 자속밀도

그림 7 (a)은 해석 모델3의 아크 중심에서 Y-Z

단면 자속 밀도이다. 고정 접점하부에 자성체를 삽입함으로써 자기저항을 작게 함과 동시에 아크 주 양끝의 자속밀도가 높게되어 아크 구동력이 증가되었다.

그림 7(b)는 해석 모델 3의 아크 주내부의 자속 밀도를 그래프로 나타낸 것으로 모델 1, 2보다 자속 밀도 차가 크게 나타났다. 자속밀도차이는 0.75 T이다.

Table 2에 각 모델의 자속 밀도차와 아크 구동력 산출 결과를 나타내었다.

Table. 2 자속 밀도 차와 아크 구동력

	모델 1	모델 2	모델 3
아크 구동력[N]	193	211	290
자속 밀도차이[T]	0.5	0.55	0.75

3.2 실험 결과

해석 모델의 차단 성능을 비교하기 위해서 AC 600 V, 20 kA의 시험 조건에서 단락 차단용량시험 (short-circuit breaking capacity)중 "O" test(open test)를 실시하였다.

그림 8은 해석 모델 1의 open test시 아크 전압과 전류의 파형이다. 전 차단 시간은 9.4 ms로 길게 나타났다으며, 아크 전압의 상승률이 둔함을 알 수 있다. 피크 전류는 8.42 kA로 전차단 시간이 길기 때문에 차단기가 부담하는 아크 전류가 높음을 알 수 있다.

그림 9는 해석 모델 2의 open test시 아크 전압과 전류의 파형이다. 전 차단 시간은 8.6 ms로 약간 길게 나타났다으며, 아크 전압의 상승률은 초기에는 둔하나 시간이 지남에 따라 해석 모델 1보다는 빠르게 나타남을 알 수 있다. 피크 전류는 8.84 kA로 해석 모델 1보다 약간 크게 나타났다.

그림 10은 해석 모델 3의 open test시 아크 전압과 전류의 파형이다. 전 차단 시간은 6.3 ms로 다른 모델에 비해서 매우 짧게 나타났으며, 아크 전압의 상승률도 매우 빠름을 알 수 있다. 해석 모델 3은 이중 소호 구조이므로 단일 소호 구조인 모델 1과 모델 2보다 아크 전압의 상승률이 매우 빠르므로 한류 작용이 우수하여 차단기가 부담하는 아크 전류의 피크 치는 6.73 kA로 작게 나타났다.

Table.3은 차단시험 결과이다. 결과를 비교하면 아크 구동력이 클수록 차단시간이 짧아짐을 알 수 있다.

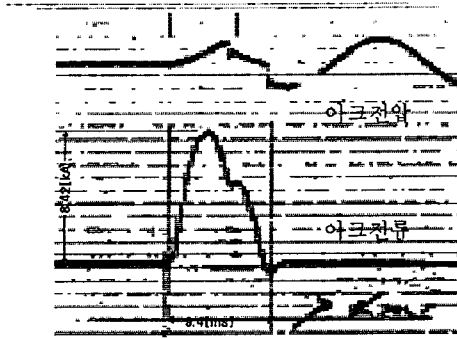


그림 8 모델1의 단락 차단시 전압, 전류 파형

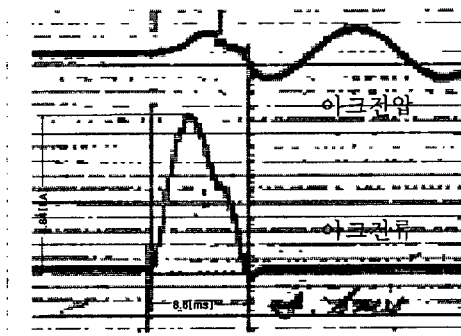


그림 9 모델2의 단락 차단시 전압, 전류 파형

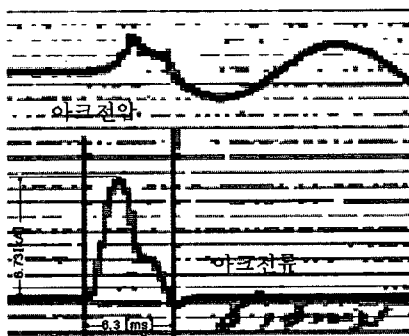


그림 10 모델3의 단락 차단시 전압, 전류 파형

Table 3 단락 차단성능 시험 결과

구분	모델1	모델2	모델3
차단시간[ms]	9.4	8.6	6.3
아크 전류[kA]	8.42	8.84	6.73

3.3 해석 결과와 실험 결과 비교

동일한 단락 전류에서 아크 구동력이 증가하면 차단 시간은 짧아져서 차단기의 단락 차단 성능은 향상된다. 차단 시간을 T로하여 그 역수 $1/T$ 과 아크 구동력을 그림 11에 나타내었다. 그림 11에서 아크 구동력의 증가 추이와 단락 차단 시간의 역수 $[1/T]$ 비례 추이가 일치하는 결과를 보인다.

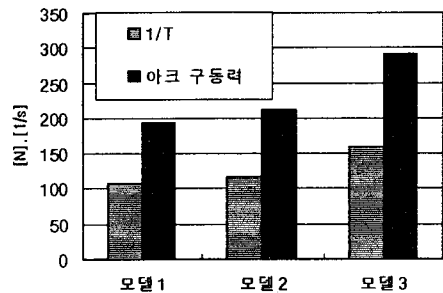


그림 11 해석 결과와 시험 결과 비교

4. 결론

본 논문에서는 배선용 차단기의 아크 소호 성능에 영향을 주는 아크 주에 아크 구동력을 이론적으로 정립하고, 유한 요소법을 이용하여 아크주 내부의 자속 밀도와 전자력을 해석하여 단락시험 결과를 비교하였다. 동일한 단락 전류에서 아크 구동력과 전류 차단 시간의 역수는 일치하므로 배선용 차단기의 차단성능 향상을 위하여는 아크 구동력을 증대시켜야 한다.

향후 차단 성능을 향상하기 위한 기법으로 아크 소호실 구조별로 아크 구동력을 해석하여 결과를 비교하면 좋은 결과를 얻을 수 있으리라 기대된다.

참고 문헌

- [1] 국립기술품질원, "KSC 8321", 한국표준협회 1996
- [2] LG산전 기술센터, "Arc 소호" PP.3-46, 1993.
- [3] 조현길, 김길수 외 3명, "직류전자접촉기의 아크 소호 성능에 향상에 관한 연구", KIEE 전기기기 및 에너지변환시스템부문 춘계학술대회 논문집, 2001