2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2002.7.10-12

배선용 차단기(MCCB) 차단성능 평가해석 기법

최영길° , 정진교, 김인용 * , 박인호 * , 황규찬 * , 이광식**
한국전기연구원° , (주)제일전기공업 * , 영남대학교**

Analytic Estimation of Interrupting capability on contact system in MCCB

Y.K.CHOI° , J.K.CHONG, I.Y.KIM*, I.H,PARK*, G.C.HWANG*, K.S.LEE**
Korea Electrotechnology Research Institute° , Cheil-wiring * , YeungNam University**

Abstract - Low voltage circuit breakers which interrupt rapidly and raise the reliability of power supply are widly used in power distribution systems. In the paper, it was investigated how much Interrupting capability was improved by correcting the shape of the contact system in molded case circuit breaker(below MCCB), especially arc runner. Prior to the interrupting testing, it was necessary for the optimum design to analyze electromagnetic forces on the contact system, generated by current and flux density. This paper presents both our compuational analysis and test results on contact system in MCCB

제 1 장 서 론

정보화의 진전, 산업의 고도화, 도시의 근대화, 생활환경의 다양화에 따라서 빌딩/공장/주택용 기기의 일렉트로닉스화와 시스템의 인텔리젼트화가 현저하게 되고, 부하에는 전자기기, 전자제어기기가 접속되고 있어 이에 동반하여 고조파의 발생, 써지전압의 증대등 전기의 질이 변화하고 있다. 또, OA/FA/장치산업을 시작으로 해서 모든 장소에서 전기에너지에 의존도가 높으며, 정전은 두말할 나위없이 순간의 정전이라도 허용하지 않는 전력안정공급의 신뢰성이 점점 중요해지고 있다.
이러한 시장요구변화는, 배선용 차단기(MCCB)에 대해서도 보호성능의 향상, 신뢰성의 향상, 보호협조의 고도화로서 나타나고 있다. 또, 분전반 설계/제작의 효율화를 위해 소형치수와 차단성능의 표준화, 공간축소를 위한 차단기의 소형화에 대응하는 요망에도 강하게 나타나고 있다. 이러한 시장요구에 대응하기 위하여 본 연구에서는 배선용 차단기 소호부내 접점형상 설계에 대한 평가방법을 개발하므로서, 배선용 차단기의 소호부 설계시 차단성능 검증과 향상을 꾀하고 제품의 소형화 및 고성능화를 이끌고자 한다.

제 2 장 배선용 차단기의 평가기법 개발

2.1 차단성능 평가기법

MCCB의 소호부내 두 접점간에 발생하는 아크는 플라즈마 상태를 유지하고 있어, 주위에서 강한 자계를 형성할 경우 아크를 쉽게 소호할 수 있기 때문에 차단성능을 확보하기에 유리하다. 일반적으로, 이러한 자계를 형성하기 위해 지금까지는 자성체인 그리드를 이용하여 MCCB의 차단성능 향상을 도모해왔다. 그러나, 그리드에 의한 구동자계은 차단용량이 증가함에 따라 그리드의 자기포화현상으로 일정범위에 이르면 더 이상 증가하지 않는다. 최근, 강한 구동자계를 형성하기 위해서 다양한 시도가 이루어지고 있는 가운데, 접점의 형상을 개선하여 접점 자체에서 강한 구동자계를 형성할 수 있는 방안이 제시되고 있다. 접점형상을 통한 구동자계 형성은 차단용량이 증가하더라도, 차단전류에 따라 증가하기 때문에 고차단성능에 오히려 유리하다. 따라서, MCCB의 소호부 설계시 먼저 3차원 자계해석을 통해서 그 형상에 대한 구동자계의 크기를 사전에 파악하고, 이를 바탕으로 하는 평가방법을 구체화할 수 있는 연구개발을 진행하였다.

먼저, 임의의 소호부 형상에 대한 상호비교를 적절히 수행하기 위하여 3차원 자계해석에 대한 해석기준선을 그림 1과 같이 선정하였다. ①선은 아크중심주를 통과하는 기준선이며, ②선은 아크중심에서 Δx만큼벗어나 있는 기준선이며, ③선은 2배의 Δx만큼 벗어나 그은 기준선이다. 다음으로, 3차원 자계해석을 통하여 세 선상에 나타나는 자계의 세기를 계산하고, 이를 통해 소호부 형상으로부터 형성되는 구동자계의 크기를 비교·분석할 수 있다. 또한, MCCB 소호부 설계상의 개선점을 보다 쉽게 파악할 수 있다. 이때, 각 기준선은 고정접점에서 일정 높이를 유지하도록 하고, 아크주는 원통형 기둥으로 모의하였다. 이상의 내용을 토대로, 기존제품의 차단성능을 비교하기 위하여 해석조건을 다음과 같이 정하고, 3차원 자계해석을 수행하였다.

1) 3차원 자계해석 조건

- 아크반경 : 2mm
- 차단전류 : 25kA
- 접점개리 : 8mm
- 해석영역 : 아크주를 중심으로 선길이 30mm의 해석영역을 그림 1의 기준선과 같이 3곳 선정

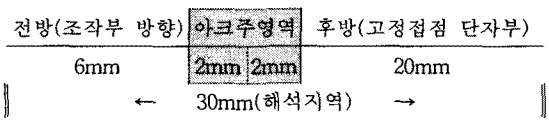


그림 2. 자계해석영역의 기준선 상세도

2) 자계해석을 위한 3차원 모델형상

자계해석 대상모델 차단기로서는 현재 시중에 시판되고 있는 참여기업의 MCCB를 비롯하여 국내 L사의 MCCB, 그리고 선진외국사인 유럽 S-M사 MCCB와 일본 M사 MCCB를 선정하였다. 선정된 모델 차단기의 사양은 225AF의 정격전류 225A로서 모두 동일하며, 단지 정격차단용량은 모델별 서로 상이하다. 그림 3는 각 모델 차단기의 소호부 형상을 보여주고 있는데, 그림 3(a)

는 참여기업의 MCCB로서 접점간에 절연커버없이 구성되어 있으며, 그림 3(b)의 L사 MCCB는 고정접점과 가동접점간의 단락을 방지하기 위하여 절연커버를 설치하고 있다.

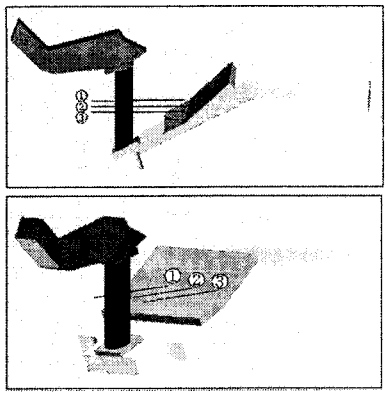
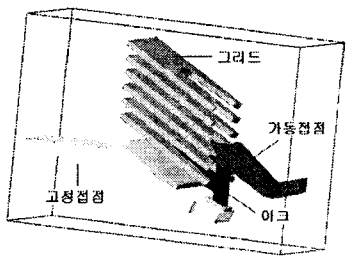
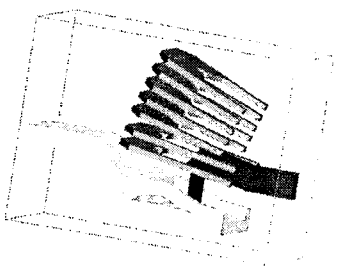


그림 1. 차단성능 평가를 위한 자계해석 기준선

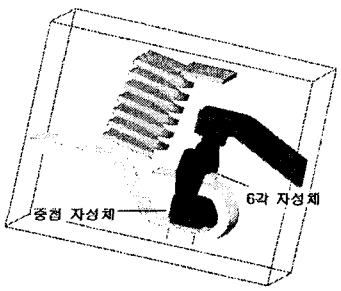
그림 3(c) S-M사 MCCB는 고정접점형상이 'J'자형이며 소호부 좌우로 6각 형태의 자성체가 놓여 있고, 고정접점 아래에도 여러겹으로 중첩한 자성체가 배치되어 있다.



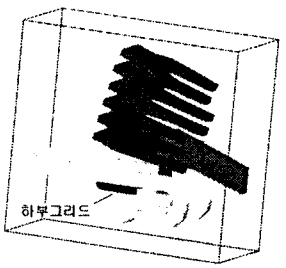
(a) 참여기업의 MCCB



(b) 국내 L사 MCCB



(c) 유럽 S-M사 MCCB



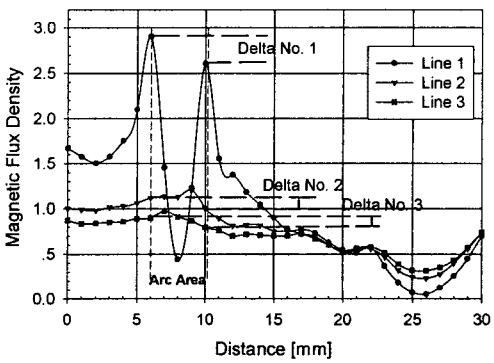
(d) 일본 M사 MCCB

그림 3. 자계해석을 위한 모델 차단기 소호부 형상

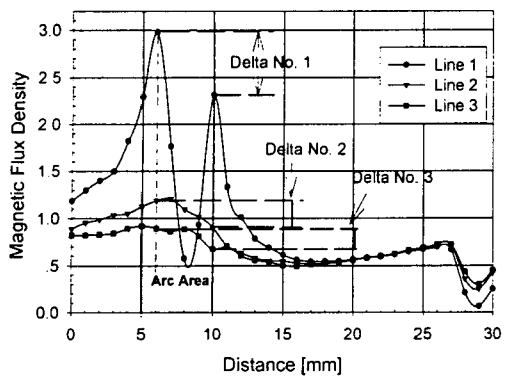
그림 3(d) 일본 M사의 MCCB는 고정접점형상이 반코일형으로 굽혀져 있으며,이 영역내부에 하부그리드 1개를 배치해 놓고 있다.

3) 차단성능 평가를 위한 3차원 자계해석

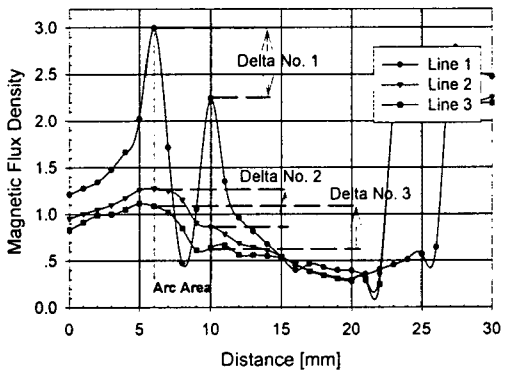
2.1절 1)항의 3차원 자계해석조건을 적용하여 각 모델에 대해서 차단성능평가를 위한 3차원 자계해석을 실시하였다. 그림 4는 4개 모델 차단기에 3차원 자계해석을 통해 얻은 3개의 기준상에 나타나는 해석결과이다. 그림 4의 아크영역인 'Arc Area'는 아크주가 있는 부분이며, 아크주를 중심으로 좌측이 그림 2에서 조작부가 있는 전방을 나타내며, 우측이 고정접점 단자부 방향인 후방이다. 여기서, 아크주의 좌측에 나타나는 자계의 세기(또는 밀도)는 아크주를 전방에서 후방으로 불어내어 아크를 소호하여 고장전류를 차단하는 순방향의 구동자계를 형성한다. 그러나, 아크주의 우측에 나타나는 자계의 세기는 후방에서 전방으로 아크를 이끌어 고정접점과 가동접점간에 아크를 유지하려는 역방향의 구동자계(역구동자계)를 형성한다. 따라서, 아크주를 중심으로 좌·우측에 자계의 세기를 비교하여 구동자계와 역구동자계의 차가 클수록 두 접점간에 발생하는 아크를 소호하여 고장전류를 차단하는 가능성이 높아진다. 다시 말해서, 구동자계간 차이가 크면 차단성능이 높아짐을 이해할 수 있다. 그림 4의 'Delta No.1'은 아크주를 지나는 자계해석 ①기준선에서의 해석결과이며, 아크주 양가(외곽)에서의 구동자계와 역구동자계의 차이를 보여주고 있다. 'Delta No.2'는 자계해석 ②기준선에서의 해석결과이며, 'Delta No.3'은 자계해석 ③기준선에서의 해석결과이다. 'Delta No.1'의 크기를 각 모델별로 비교해 보면, 일본 M사 MCCB >유럽 S-M사 MCCB > 국내 L사 MCCB >참여기업의 MCCB의 순으로 나타나고 있다.



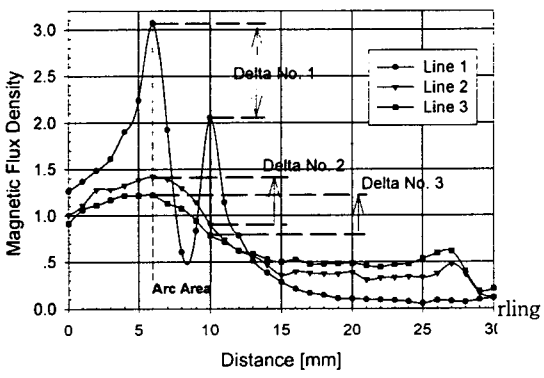
(a) 참여기업의 MCCB



(b) 국내 L사 MCCB



(c) 유럽 S-M사



(d) 일본 M사 MCCB

그림 4. 성능평가를 위한 해석기준선상에서의 3차원 자계해석 결과

또한, 아크주가를 벗어나 후방으로 갈수록 자속밀도의 크기가 일본 M사 MCCB와 유럽 S-M사 MCCB는 기준선의 15mm전후에서 0.5T이하로, 역구동자계가 낮은 값의 분포를 이루고 있다. 이러한 자계의 분포는 고정접점과 가동접점간에 발생하는 아크를 후방으로 길게 늘여 아크저항을 높이고 아크전압을 상승시키므로 해서 고장전류를 용이하게 차단할 수 있다. 'Delta No.2'와 'Delta No.3'의 크기도 각 모델별로 비교할 경우, 'Delta No.1'의 해석결과와 유사한 경향을 가지고 있음을 그림으로부터 알 수 있다. 특히, 일본 M사 MCCB의 경우 각 Delta 값의 차가 가장 크며 후방으로 나타나는 자속밀도가 현저하게 낮아 역구동자계의 영향을 최소화하고 있다.

4) 3차원 자계해석 결과

이상의 내용을 통해 그 결과를 정리하면, 표 1과 같이 정리할 수 있다. 표 1로부터 참여기업의 배선용 차단기 소호부 형상에 있어 개선의 여지가 많음을 파악할 수 있다.

표 1. 해석기준선상에서의 구동자계-역구동자계의 차이

제조업체명	해석결과(자속밀도)		
	Delta No.1	Delta No.2	Delta No.3
참여기업	0.30	0.13	0.12
국내 L사	0.70	0.30	0.20
유럽 S-M사	0.77	0.42	0.48
일본 M사	1.00	0.50	0.45

제 3장 모델소호부 접점설계 및 제작

참여기업의 MCCB를 기준모델로 하여 소호부의 형상을 크게 변화하지 않는 범위에서 고정접점의 아크런너를 형상변경하였다. 기준모델은 그림 5과 같은 고정아크접점의 형상을 가지고 있으며, 아크런너도 평판형 모양으로 고정접점 단자부 방향으로 향하고 있다.

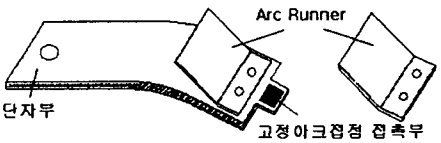
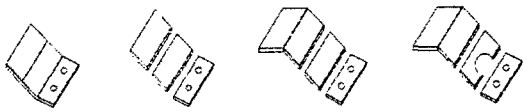


그림 5. 기준 모델차단기의 고정아크접점 및 아크런너

그림 5의 아크런너 형상은 고정접점과 바닥면에서 각을 이루고 서 있어, 가동접점이 조작부의 신호에 의해 개극동작을 수행할 경우, 아크런너는 그리드에 의한 구동자계로 두 접점간에 발생한 아크를 고정아크접점 접촉부에서 아크런너를 따라 이동시키는 길역할을 하도록 한다. 이러한 길역할은 아크를 길게 늘이고 동시에 고정아크접점 접촉부에서 아크를 멀리 내미는 효과를 가지므로 차단성능에 긍정적인 영향을 미친다.

그러나, 본 연구에서는 아크런너를 그림 5와 같은 형상에서 3부분으로 나누어 그림 6과 같은 다양한 아크런너를 구성하였다. 그림 6(a)는 기준 아크런너이며, 그림 6(a)의 기준 아크런너에서 3등분을 한 아크런너(그림 6(b))와 3등분중 상위 등분을 크게하고 각을 주어 굽힌 수정 아크런너(그림 6(c)) 그리고, 수정 아크런너에 중간부분을 그리드 모양으로 구성한 수정 아크런너(그림 6(d))를 제작하였다. 정현파의 고장전류가 시간에 따라 진행하면서 두 접점간에 아크가 발생하고, 발생한 아크는 전류의 크기에 따라 그리드의 구동자계에 의해 고정아크접점 접촉부에서 길게 늘어져 아크런너를 따라 바깥방향(단자부)으로 불려나가게 되는데, 고장전류가 대전류영역이후 전류영점을 향해 진행할 경우에는 그리드의 구동자계도 줄어들어 아크를 불어내는 힘이 약해지고, 소호부에 잔류아크가 일부 형성되어진다. 전류영점시 잔류

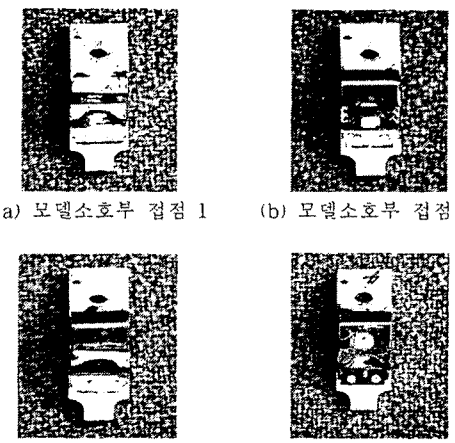
아크에 의한 전기적 통전경로는 아크런너에 의해 보다 쉽게 두 접점간에 형성될 수 있다. 이러한 통전경로의 형성은 결국 고장전류에 대한 차단실패로 이어지기 때문에 아크런너를 3등분하여 제작함으로서, 전류가 대전류 영역에 있을 경우에는 아크런너가 불연속적으로 이어져 있지만 강한 구동자계에 의해 아크가 바깥으로 불려나가게 되고, 이후 소전류영역에서는 구동자계의 약화로 잔류아크가 소호부에 존재하더라도 불연속의 아크런너에 의해 통전경로를 단전할 수 있어 두 접점간의 절연회복을 유지할 수 있게 된다.



(a) 기준 아크런너 (b) 3등분 아크런너
(c) 수정 아크런너(1) (d) 수정 아크런너(2)

그림 6. 고정아크접점의 다양한 아크런너 형상

그림 6(d)의 수정 아크런너는 중간부분의 아크런너를 U자형으로 일부를 깍아내어 그리드의 모양을 가지도록 하였다. 이것은 두 접점간에 발생하는 아크가 보다 강하게 불려나갈 수 있도록 Deion효과를 꾀하였다.
그림 7은 이상의 아크런너를 실제 제작하여 고정접점에 설치한 접점형상들이다. 고정접점의 실제작은 그림 7(a) 모델소호부 접점 1에서 중간부분을 U자형으로 홈을 내었으며, 그림 7(b)의 모델소호부 접점 2는 3등분 아크런너 형상에서 상단부분을 크게하여 각을주어 굽힌 형상으로 하였으며, 그림 7(c)는 그림 6(d)의 수정 아크런너 형상 그대로를 유지하고 있으며, 그림 7(d)는 그림 6(d)의 수정 아크런너 형상에서 상단부분도 U자형으로 홈을 내어 제작하였다. 여기서, 그림 7의 모델 소호부 1, 2, 4는 고정접점 바닥면과 아크런너사이를 에폭시로 접착하였으며, 접착면을 제외하면 고정접점 바닥면과 아크런너는 공기절연으로 이루어진 상태이다. 그러나, 그림 7(c)의 모델 소호부 접점 3은 고정접점 바닥면과 아크런너사이를 에폭시 접착제로 완전 절연되어 있는 것이 특징이다.



(a) 모델소호부 접점 1 (b) 모델소호부 접점 2
(c) 모델소호부 접점 3 (d) 모델소호부 접점 4

그림 7. 고정접점 아크런너 형상변경 및 제작

4장 LC간이합성시험설비를 이용한 차단성능시험

MCCB의 차단시험에서, 차단시점인 전류영점이후 두 접점간에 걸리는 회복전압은 전류원 충전장치의 충전전압으로 충분하여 별도의 전압원 회로를 사용하지 않았으며, 전류원회로만을 이용하여 시험을 실시하였다. 전류원 충전장치로부터 인가되는 차단전류의 크기는 10kArms로 설정하고, 이때의 차단전류를 공급하기 위한 전류원 충전장치의 콘덴서에는 1kV로 충전되어진다. 전류원 콘덴서의 1kV가 두 접점간에 발생되는 차단시점에서 전류영점직후의 회복전압이다. LC간이합성시험설비를 이용한 차단성능시험을 위해 기준 모델차단기(참여기업) 1개와 모델소호부 4개, 그리고 국내 L사의 MCCB를 가지고 LC간이합성시험설비를 이용하여 차단성능을 평가하였다. 그림 8(a)는 기준 모델차단기의 시험결과이며, 그림 8(b), (c), (d), (e)는 제 3장에서 언급했듯이, 아크런너를 수정하여 고정접점을 새로이 제작한 모델차단기에 대한 차단시험 결과이다. 그림 8(f)는 모델차단기의 차단성능을 비교분석하기 위하여 국내 L사의 차단기를 가지고 그 성능을 살펴보았다. 선정된 기준 모델차단기와 고정접점의 아크런너를 형상변경한 모델차단기 그리고 L사의 차단기 모두 주어진 시험조건에서 고장전류를 차단하였다. 그러나, 그림 8(a)의 기준 모델차단기는 아크전압 최고치가 155V정도로 나타났으며, 그림 8(b)의 모델소호부 1은 200V, 그림 8(c)의 모델소호부 2은 200V, 그림 9(d)의 모델소호부 3은 225V, 그림 8(e)의 모델소호부 4은 190V, 그리고 그림 8(f)의 L사 모델소호부는 190V의 아크전압 최대치를 보였다. 이상의 시험결과를 차단성능별로 정리하면 다음과 같은 순서이다.

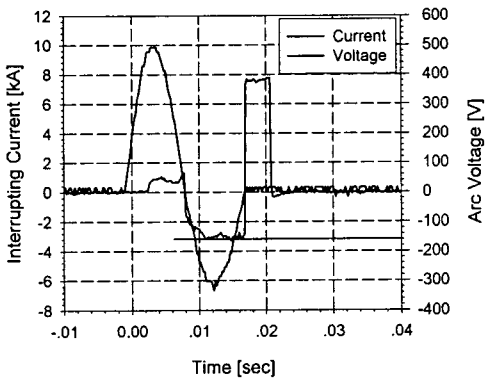
모델소호부 3 > 모델소호부 1, 모델소호부 2 >
모델소호부 4, 국내 L사 > 기준 모델차단기

이러한 결과로부터, 고정접점은 아크런너 형상의 불연속적 배치로 고장전류차단시점인 전류영점직후 잔류아크에 의해 두 접점간에 전기적 통전이 형성될 수 있는 통전경로를 단절하므로서 차단성능에 보다 유리한 작용을 하는 것을 알 수 있다. 한편, 그림 8(f)의 L사 모델소호부는 고정전류의 초기 반파에서 아크전압이 145V정도로 다른 모델차단기의 40V에 비해 상당히 높게 나타나고 있다. 비록 차단은 실패했지만 이것은 초기차단을 시도했다는 점에서 향후 모델차단기의 설계·제작에 반영되어야 할 부분으로 여겨진다. 그리고, 그림 8(d)의 모델소호부 3은 아크전압 최대치가 가장 높은데, 이것은 고정접점의 바닥면과 아크런너사이를 에폭시로 완전절연한 영향이 큰 것으로 판단된다.

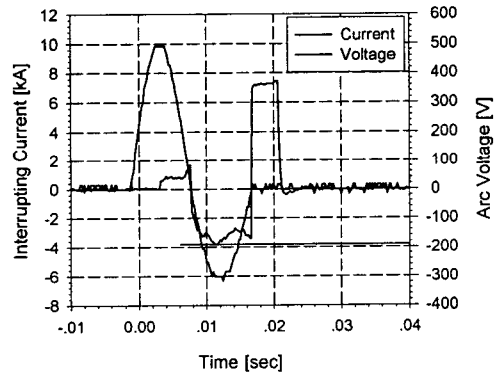
제 5장 결 론

본 연구에서는 1) 배선용 차단기의 차단성능 평가기법을 개발하고, 이 기법을 이용하여 다양한 모델 차단기에 대한 성능평가를 실시하였다. 이 때, 평가기법은 3차원 자계해석을 실시하고, 해석영역인 3개의 기준선에 대해 계산된 자계값을 분석함으로서 모델 차단기의 차단성능을 평가할 수 있었다. 2) 모델 소호부의 고정접점형상 중 아크런너를 불연속 통전경로를 유지할 수 있도록 그 모양을 3분할하여 제작하고 그 차단성능을 검증하기 의하여 LC간이합성시험설비를 이용한 차단시험을 실행하였다. 그 결과, 아크런너 형상의 불연속적 배치로 전류영점직후 두 접점간의 통전경로를 단절하므로서 차단성능

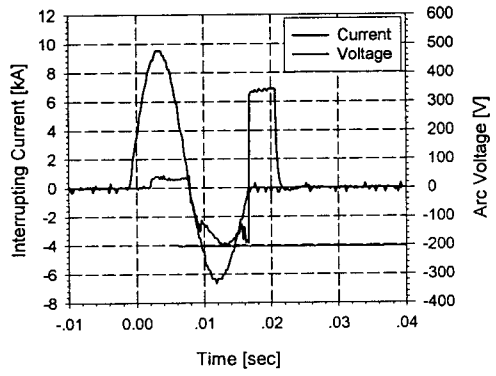
에 보다 유리한 작용을 하는 것을 알 수 있었다. 이상으로, 향후 차단성능 평가기법은 시제품의 제작이전에 개발 차단기에 대해 충분한 성능을 파악할 수 있어 최적형상 구현에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 3분할한 다단형 아크런너는 개발 모델차단기에 적용할 경우, 차단성능을 보다 향상시킬 것으로 여겨진다.



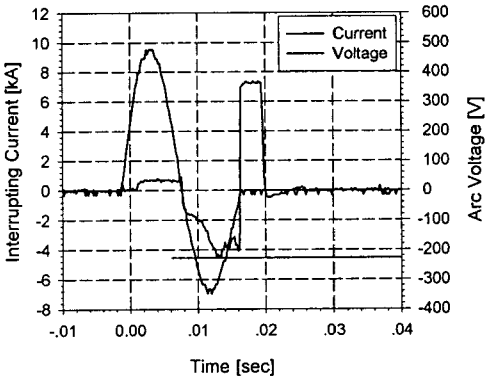
(a) 기준모델 소호부



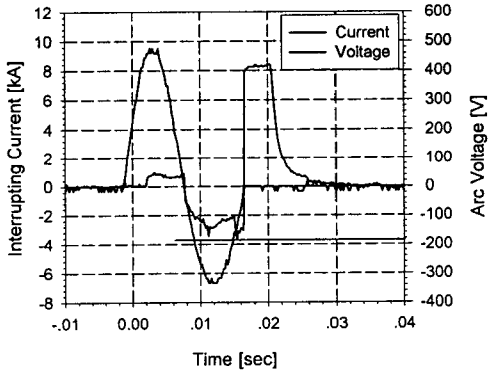
(b) 모델소호부 1



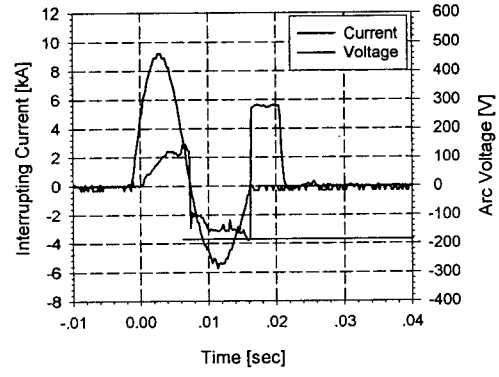
(c) 모델소호부 2



(d) 모델소호부 3



(e) 모델소호부 4



(f) 국내 L사 소호부

그림 8. 모델소호부의 차단성능 평가시험 결과