

차단성능 평가해석기법을 적용한 강자계 구동방식의 460[V]/225[A]/50[kA]급 한류형 MCCB 소호부 개발

(Development of 460[V]/225[A]/50[kA] Contact System in Current Limiting MCCB using an estimation and analysis method for the interrupting capability)

최영길* · 박찬교

(Young - Kil Chol · Chan - Kyo Park)

요 약

배선용 차단기(MCCB)는 신속한 고장전류 차단과 전원시스템의 안정성을 확보하기 위해 배선시스템에 폭넓게 사용되고 있다. 본 논문에서는 MCCB의 소호부 형상에 따른 차단성능을 파악하고 이를 통해 성능향상을 꾀하고자 3차원 자계해석을 이용한 차단성능 평가해석기법을 개발하고, 개발한 평가해석기법을 각 모델 차단기에 적용한 바를 기술하였다. 또한, 소호부내 아크런너의 형상을 불연속 통전경로로 구성하여 차단성능에 미치는 영향을 살펴보았다. 이상의 연구내용을 토대로 새로운 소호부 형상을 고안하여 국내 최초로 460 [V]/225 [A]/50 [kA] 대전력 단락시험에 성공한 결과를 제시하였다.

Abstract

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

Keyword : MCCB, Molded case circuit breaker, Contact system

1. 서 론

정보화의 진전, 산업의 고도화, 도시의 근대화, 생활환경의 다양화에 따라서 빌딩/공장/주택용 기기의 일렉트로닉스화와 시스템의 인텔리전트화가 급속히

발전하고 있으며, 부하에는 전자기기, 전자제어기기가 다양하게 접속되고 있어 이에 동반한 고조파 발생, 써지전압 상승, 차단용량의 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 고도화로

* 주저자 : 한국전기연구원 전력전자연구그룹 선임연구원
Tel : 055-280-1567, Fax : 055-280-1436
E-mail : ykchoi@keri.re.kr
접수일자 : 2003년 8월 18일
1차심사 : 2003년 8월 25일
심사완료 : 2004년 1월 7일

서 나타나고 있다.

또, 분전반 설계/제작의 효율화를 위해 소형치수와 차단성능의 표준화, 공간축소를 위한 차단기의 소형화에 대응가능한 기술개발 요구도 강하게 나타나고 있다. 이러한 시장요구에 부응하기 위하여 본 연구에서는 460[V]/225[A]/50[kA] 배선용 차단기 개발을 목표로 먼저, 배선용 차단기 소호부내 접점형상 설계에 따른 차단성능 평가해석방법을 개발하였으며, 소호부내 아크런너 형상을 불연속 통전경로로 구성하여 차단성능향상에 대한 그 유효성을 살펴보았다. 그리고, 상기 기반연구내용을 바탕으로 새로이 배선용 차단기를 제안하고, 대전류 단락시험을 통해서 그 성능을 입증하였다. 따라서, 관련 연구내용을 소개함으로써 배선용 차단기의 소호부 설계시 차단성능 검증과 향상을 꾀하고 제품의 소형화 및 고성능화를 이끌고자 한다.

2. 배선용 차단기의 평가해석기법[1]

MCCB의 소호부내 두 접점간에 발생하는 아크는 플라즈마 상태를 유지하고 있어, 주위에서 강한 자계를 형성할 경우 아크를 쉽게 소호할 수 있기 때문에 차단성능을 확보하는데 유리하다. 일반적으로, 이러한 자계를 형성하기 위해 지금까지는 자성체인 그리드를 이용하여 MCCB의 차단성능 향상을 도모해 왔다. 그러나, 그리드에 의한 구동자계는 차단용량이 증가함에 따라 그리드의 자기포화현상으로 인해 일정범위에 이르면 더 이상 증가하지 않는다. 이러한 문제로 최근, 강한 구동자계를 형성하기 위한 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 고차단 성능에 오히려 유리하다. 따라서, MCCB의 소호부 설계시 먼저 3차원 자계해석을 통해서 그 형상에 대한 구동자계의 크기를 사전에 파악하고, 이를 바탕으로 구체적으로 평가할 수 있는 평가해석방법을 연구개발하였다. 먼저, 임의의 소호부 형상에 대한 상호비교를 적절히 수행하기 위하여 3차원 자계해석에 대한 해석기준선을 그림 1과 같이

선정하였다. ①선은 아크중심주를 통과하는 기준선이며, ②선은 아크중심에서 Δx만큼 벗어나 있는 기준선이며, ③선은 2배의 Δx만큼 벗어나 있는 기준선이다. 다음으로, 이들에 3차원 자계해석을 통하여 3선상에 나타나는 자속밀도를 계산하고, 이를 통해 소호부 형상으로 부터 형성되는 구동자계의 크기를 비교·분석할 수 있으며, 또한 MCCB 소호부 설계상의 개선점을 보다 쉽게 파악할 수 있다. 이 때, 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.

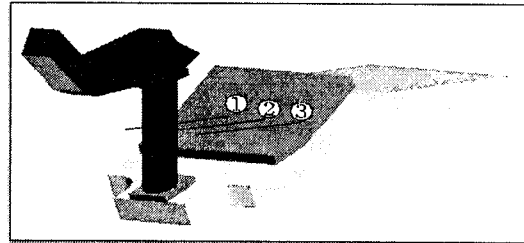
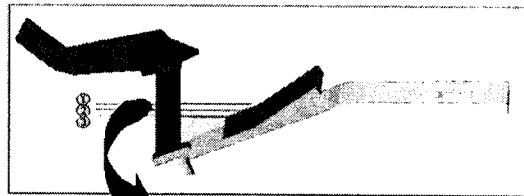


그림 1. 차단성능 평가를 위한 자계해석 기준선
Fig. 1. Analytic lines of magnetic flux for the estimation of the interrupting capability

2.1 3차원 자계해석 조건

- 아크반경 : 2[mm]
- 차단전류 : 25[kA]
- 접점거리 : 8[mm]
- 해석영역 : 아크주



Forward side (Moving contact)	Area of arc column		Backward side (Stationary contact)
6 mm	2 mm	2 mm	20 mm
← 30 mm (analytic area) →			

그림 2. 자계해석영역의 기준선의 구성
Fig. 2. Profile of magnetic analysis area

아크주를 중심으로 선길이 30[mm]의 해석영역을 그림 1의 기준선과 같이 3곳 선정하였고, 그림 2는 자계해석영역의 기준선의 구성을 나타낸다.

2.2 자계해석을 위한 3차원 모델형상

자계해석 대상모델 차단기로서는 현재 시중에 시판되고 있는 국내중소기업의 MCCB를 비롯하여 국내 L사의 MCCB, 그리고 유럽S-M사 MCCB와 일본 M사 MCCB를 선정하였다. 선정된 모델 차단기의 사양은 225[A/F]의 정격전류 225[A]로서 모두 동일하며, 단지 정격차단용량은 모델별 서로 상이하다.

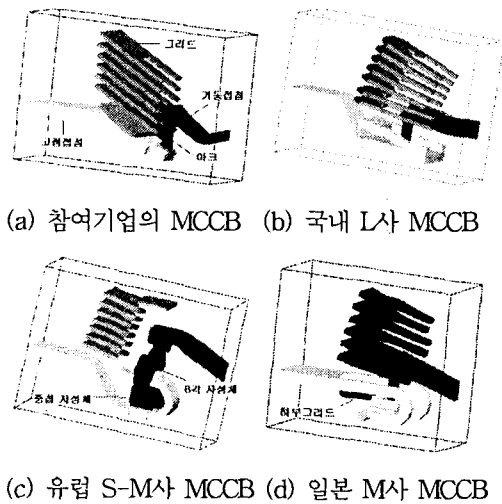


그림 3. 자계해석을 위한 차단기 소호부 형상
Fig. 3. Model shapes of the contact systems for the magnetic flux analysis

그림 3은 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 3(c) S-M사 MCCB는 고정접점형상이 'J'자형이며 소호부 좌우로 6각 형태의 자성체가 놓여 있고, 고정접점 아래에도 여러겹으로 중첩한 자성체가 배치되어 있다. 그림 3(d) 일본 M사의 MCCB는 고정접점형상이 반코일형으로 굽혀져 있으며, 이 영역내부에 하부그리드 1개를 배치해 놓고 있다.

2.3 차단성능 평가를 위한 3차원 자계해석

2.1의 3차원 자계해석조건을 적용하여 각 모델에 대해서 차단성능평가를 위한 3차원 자계해석을 실시하였다. 그림 4는 기준모델 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 붙어내어 아크를 소호할 수 있는, 고장전류를 차단하는 순방향의 구동자계(순구동자계)를 형성한다[2].

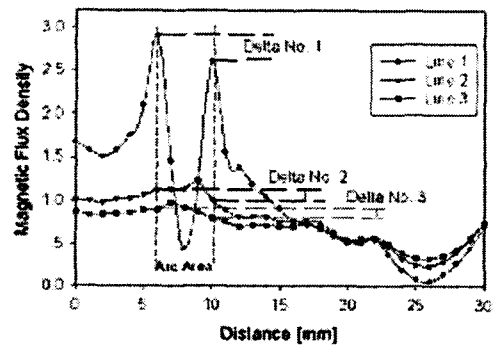


그림 4. 해석기준선상의 3차원 자계해석 결과 (참여기업의 MCCB)

Fig. 4. Results of the 3-D magnetic flux analysis on the analytic line on the analytic lines(MCCB manufactured by the sponsoring company)

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 소호할 수 있는 또는 고장전류를 차단할 수 있는 가능성이 높다.

다시 말해서, 구동자계간 차이가 크면 차단성능이 높은 것으로 이해할 수 있다.

그림 4의 'Delta No.1'은 아크주를 지나는 자계해

석 ①기준선에서의 해석결과이며, 그림 2의 아크주를 중심으로 한 전방(forward side)과 후방(backward side)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, 표 1과 같이 일본 M사 MCCB > 유럽 S-M사 MCCB > 국내 L사 MCCB > 참여기업의 MCCB의 순으로 나타나고 있다. 'Delta No.2'와 'Delta No.3'의 크기도 각 모델별로 비교할 경우, 'Delta No.1'의 해석결과와 유사한 경향을 가지고 있음을 알 수 있다.

이상으로, 차단성능 평가해석기법을 적용한 각 모델별 평가해석결과를 정리하면 아래 표 1과 같으며, 참여기업의 배선용 차단기 소호부 형상에 있어 개선의 여지가 많음을 파악할 수 있다.

표 1. 3차원 자계해석 결과
Table 1. Results of the 3-D magnetic flux analysis

제조업체명	해석결과(자속밀도)			정격 차단 용량
	△ No.1	△ No.2	△ No.3	
참여기업	0.30	0.13	0.12	25kA
국내 L사	0.70	0.30	0.20	35kA
유럽S-M사	0.77	0.42	0.48	65kA
일본 M사	1.00	0.50	0.45	50kA

* 유럽S-M사 MCCB는 2접점/상 구조임.

2.4 신 강자계 아크구동 고정(아크)접점

앞 절의 해석결과로부터, 차단기 소호부내 두접점간에 발생하는 아크에 순구동자계의 밀도를 높게 형성하는 것이 아크를 길게 늘이고, 이로 인한 아크저항이 커져 차단성능에 크게 기여하고 있음을 알 수 있다. 차단용량 증가에 대응하여 아크에 가해지는 순구동자계의 밀도분포를 보다 높이기 위해서는, 그리드에 의한 구동자계 형성방식에서는 그 한계가 있기 때문에, 접점의 형상을 이용하여 순방향 아크구동자계 밀도를 높일 수 있도록 고안하는 것이 중요하다. 접점형상을 효과적으로 이용할 경우, 차단용량이

증가하여 순시차단전류가 높아지더라도, 접점에 흐르는 차단전류에 비례하여 자속밀도도 높게 형성되기 때문에 강한 순방향 자기구동력을 쉽게 얻을 수 있다. 그림 5는 강한 구동자계를 얻도록 고안한 고정아크접점의 형상을 보여주고 있다.

먼저, 고정아크접점 형상을 통해 순방향 구동자계 분포영역을 소호부내에 보다 폭넓게 차지할 수 있도록 2층의 반코일형태로 구성하였으며 또한, 이 영역에 순구동자계를 집중되도록 하여 전류가 전류영역에 이르러 차단되는 순간까지 구동자계에 의한 자기구동력을 유지시켜 아크가 멀리 밀려나갈 수 있도록 설계하였다.

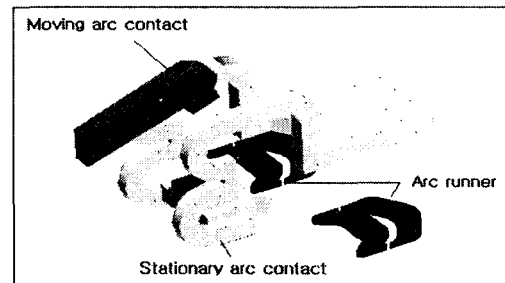


그림 5. 신 강자계 아크구동 고정(아크)접점
Fig. 5. The shape of stationary arc contact for the newly developed strong arc driving magnetic flux

다음으로, 소호부내에서 차단전류의 통전경로를 그림 6과 같이 ①→②→③→④→⑤를 거쳐 가동접점으로 유도하여 두 접점간에 상호 전기적 흡인력과 반발력이 작용되도록 구상하였다. 차단동작시행 시작시점인 두 접점이 단현상태(ON)일 경우, 전류 ④와 가동아크접점을 지나는 전류가 서로 반대방향을 이루고 있어 상호 반발력이 작용하고, 이 힘은 가동아크접점의 개동동작에 더해진다. 또한, 이 때의 가동아크접점의 전류는 전류 ①와는 서로 흡인력이 작용하여 가동접점을 당기는 역할을 한다. 결국, 이러한 2가지 힘이 가동접점의 순간 고속개극을 유발한다.

2.1절에서 언급한 바와 같이, 신 강자계 구동 아크접점을 토대로 3차원 자계해석을 통해 차단성능 평가해석을 하였으며, 그림 7이 아크구동 자계특성의 해석결과를 보여주고 있다.

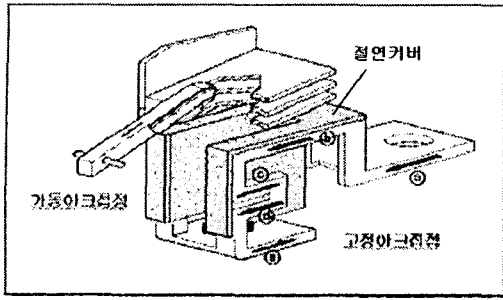


그림 6. 소호부내 차단전류의 흐름
Fig. 6. Flow of the interrupting current in the contact system

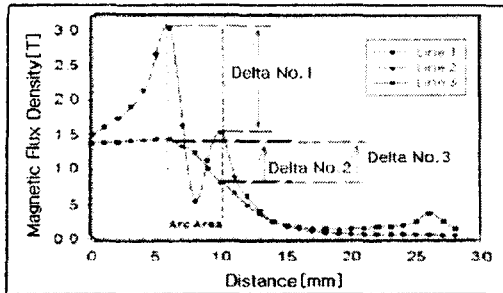


그림 7. 신모델의 아크구동 자계특성 결과
Fig. 7. Results of the magnetic flux density test on the newly developed model's arc driving magnetic flux

표 1의 결과와 그림 7로부터, 현재 시판되고있는 차단성능이 우수한 M사의 모델 소호부에 비해서 새로이 제안한 모델이 140%이상의 차단성능 개선효과를 나타내고 있어 보다 높은 차단성능을 가지는 것으로 판단되었다. 여기서, 신 모델은 그림 5와 같이 소호부내에서 그리드를 채용하지 않았으며, 그림 3(d)와 같이 하부그리드 1개를 불연속 아크러너 형상으로 수정하여 구성하였다.

3. 차단특성시험

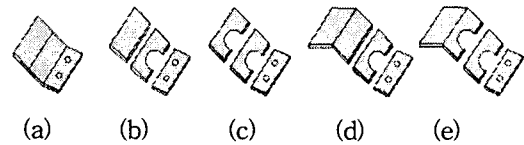
3.1 전압회복특성 개선

3.1.1 아크러너 형상변경

참여기업의 MCCB를 기준모델로 하여, 전압회복 특성을 향상시키기 위해 소호부의 형상을 크게 변화하지 않는 범위에서 고정접점의 아크러너를 형상변

경하였다.

그림 8(a)의 아크러너 형상은 고정접점과 바닥면에서 각을 이루고 서 있어, 가동접점이 조작부의 신호에 의해 개극동작을 수행할 경우, 아크러너는 그리드에 의한 구동자계로 두 접점간에 발생한 아크를 고정아크접점 접촉부에서 아크러너를 따라 이동시키는 길역할을 하도록 한다. 이러한 길역할은 아크를 길게 늘이고 동시에 고정아크접점 접촉부에서 아크를 멀리 내미는 효과를 가지므로 차단성능에 긍정적인 영향을 미친다.



(a)기준아크러너, (b)~(e)변경아크러너①~④

그림 8. 고정아크접점상의 아크러너 형상
Fig. 8. The shapes of arc runner on the stationary arc contact

그러나, 본 연구에서는 아크러너를 그림 8(a)와 같은 형상에서 3부분으로 나누어 그림 8(b)~(e)와 같은 다양한 아크러너를 구성하였다. 정현과의 고장전류가 시간에 따라 진행하면서 두 접점간에 아크가 발생하고, 발생한 아크는 전류의 크기에 따라 그리드의 구동자계에 의해 고정아크접점 접촉부에서 길게 늘어져 아크러너를 따라 바깥방향(단자부)으로 불려나가게 되는데, 고장전류가 대전류영역이후 전류영점을 향해 진행할 경우에는 그리드의 구동자계도 줄어들어 아크를 불어내는 힘이 약해지고, 소호부에 잔류아크가 일부 형성되어진다. 전류영점시 잔류아크에 의한 전기적 통전경로는 아크러너에 의해 보다 쉽게 두 접점간에 형성될 수 있다. 이러한 통전경로의 형성은 결국 고장전류에 대한 차단실패로 이어지기 때문에 아크러너를 3등분하여 제작함으로써, 전류가 대전류영역에 있을 경우에는 아크러너가 불연속적으로 이어져 있지만 대전류와강한 구동자계에 의해 아크가 바깥으로 불려나가게 되고, 이후 소전류영역에서는 구동자계의 약화로 잔류아크가 소호부에 존재 하더라도 밀려나간 아크는 불연속의 아크러너에 의

해 통전경로가 단전되고 있어 두 접점간의 전압회복 특성이 향상될 수 있다. 한편, 변경 아크런너는 그림 8(b)~(e)과 같이 중간부분의 아크런너를 U자형으로 일부를 깎아내어 그리드의 모양을 가지도록 하였다. 이것은 두 접점간에 발생하는 아크가 보다 강하게 불려나갈 수 있도록 Deion효과를 꾀하였다.

3.1.2 간이 전압회복특성 시험[3]

LC간이합성시험설비를 이용하여 MCCB의 절연회복특성시험을 실시하였다. 전류원 충전장치로부터 인가되는 차단전류의 크기는 10[kA]로 설정하고, 이때의 차단전류를 공급하기 위한 전류원 충전장치의 콘덴서에는 1[kV]로 충전되어진다. 이 전류원 콘덴서의 충전전압 1[kV]가 두 접점간에 발생하는 차단시점에서 전류영점직후의 극간 절연회복전압이 된다.

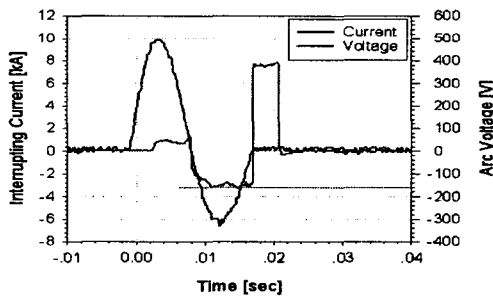


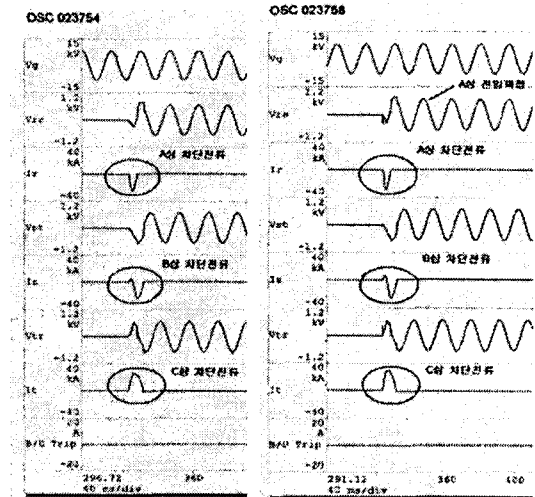
그림 9. 모델소호부의 차단성능 평가시험 결과
Fig. 9. Results of the current interrupting test on the model contact system

그림 9는 기준 모델소호부의 시험결과이며, 다양한 시험결과로부터 각 소호부 아크전압 크기별로 정리하면,

- 모델소호부3(225V) > 모델소호부1, 모델소호부2(200V)
- > 모델소호부4, 국내1사(190V) > 기준모델 (155V)

여기서, 높은 아크전압 상승은 전극간에 발생하는 아크를 길게 늘이는 작용이 소호부내에서 보다 효과적으로 일어나, 아크저항이 상대적으로증가되어 나타나는 현상으로, 전류에 대한 차단능력이 한층 양호함을 시사한다. 이러한 아크전압 상승의 시험결과로

부터, 고정접점은 아크런너 형상의 불연속적 배치로 고장전류차단시점인 전류영점직후 잔류아크에 의해 두 접점간에 전기적 통전이 형성될 수 있는 통전경로를 단절하므로써 전압회복특성이 개선되어 차단성능에 보다 유리한 작용을 하는 것을 알 수 있었다.



(a) 460[V]/35[kA] (b) 460[V]/50[kA]

그림 10. 460(V)/35(kA)/50(kA) 대전류 차단시험
Fig. 10. Results of the current interrupting test at 460(V)/35(kA) and 460(V)/50(kA)

3.2 대전류 차단시험[4]

이상의 차단성능 평가해석기법을 이용한 해석결과와 절연회복특성 시험결과를 토대로, 차단성능을 검증하기 위하여 그림5의 신호호부를 가지고 대전력 차단시험중 가장 가혹한 항목인 'O-t-CO'의 순대로 460[V]/35[kA]와 460[V]/50[kA]에 대한 차단채무를 시험실시하였다.

그림 10(a)는 460[V]/35[kA]조건에서의 대전력 차단시험 결과이며, 그림 10(b)는 460[V]/50[kA]조건에 대한 대전력 차단시험 결과이다.

4. 결론

본 연구에서는 1) 배선용 차단기의 차단성능 평가해석기법을 개발하고, 이 기법을 이용하여 다양한 모델 차단기에 대한 성능평가를 실시하였다. 이 때, 3차

원 자체해석을 토대로 해석영역인 3개의 기준선상 자체특성을 분석하고 이를 통해 모델 차단기의 차단 성능을 평가할 수 있었다. 2) 모델 소호부의 고정접점 형상중 아크런너는 불연속 통전경로를 유지하도록 그 모양을 3분할하여 제작하고 차단성능에 대한 그 개선효과를 검증하기 위하여 LC간이합성시험설비를 이용, 차단시험을 실시하였다. 그 결과, 아크런너 형상의 불연속적 배치로 전류영점직후 두 접점간의 통전경로를 단절하므로써 차단성능에 보다 유리한 작용을 하는 것을 알 수 있었다. 또한, 이상의 연구내용을 토대로 제안된 신소호부에 대한 460[V]/225[A]/50[kA]의 대전력 차단시험을 통해 양호한 결과를 얻었다.

따라서, 향후에도 배선용 차단기에 대한 차단성능 평가해석기법은 시제품의 제작이전에 개발 차단기에 대한 충분한 성능을 파악할 수 있어 최적형상 구현에 크게 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 3분할한 다단형 아크런너는 개발 모델차단기에 적용할 경우, 차단성능을 보다 향상시킬 수 있는 가능성을 확인하였으며, 이러한 내용을 기반으로 해서 460[V]/225[A]/50[kA] 한류형 배선용 차단기를 국내 최초로 개발하였다.

References

- (1) 최영길 외, "배선용 차단기(MCCB) 차단성능평가 해석기법", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp628-632, 2002.
- (1) 특집"신형 노퓨즈차단기·누전차단기", 三菱電機 技報 Vol.69, No.4, pp1-55, 1995.
- (3) 최영길, "강자계 구동형 460V/225A/50kA배선용 차단기 대전력 차단성능평가", 대한전기학회 추계학술대회 논문집,, pp36-38, 2002.
- (4) 최영길, 조기언, "460V/225A/50kA 한류형 배선용 차단기 소호부 개발", 조명전기설비학회 논문지, 16권 6호(11월호), pp137-144, 2002.

◇ 저자소개 ◇

최영길 (崔榮吉)

1969년 2월 5일생. 1991년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 9월~2001년 5월 한국전기연구원 스위치기어연구그룹 선임연구원. 2001년 6월~현대 동 연구원 전력전자연구그룹 선임연구원.

박찬교 (朴贊校)

1964년 1월 3일생. 1991년 영남대학교 전기공학과 졸업. 2003년 창원대학교 대학원 전기공학과 수학. 1991년 9월~현재 한국전기연구원 대전력시험 1실 선임연구원.