

팽창실과 파퍼 실린더의 배열형태에 따른 복합소호 모델 가스차단부의 열적회복특성 비교

論 文
53B-12-5

Comparison of Thermal Recovery Characteristics of Hybrid Type Model Gas Interrupters According to the Arrangement of Thermal Expansion Chamber and Puffer Cylinder

宋基東[†] · 鄭鎮教^{*} · 朴敬燁^{**}
(Ki-Dong Song · Jin-Kyo Chong · Kyong-Yop Park)

Abstract - In this study, the three type hybrid interrupters according to the arrangement of the thermal expansion chamber and the puffer cylinder(they are called "serial type", "parallel/exchanged type", and "parallel/separated type" respectively in this work) were designed and manufactured. This paper presents the tested results of the thermal recovery characteristics on the interrupters using a simplified synthetic test facility. The "serial type" hybrid interrupter which is to obtain more easily the pressure rise for the thermal recovery compared with the others has the best capability in the thermal recovery characteristics. In order to investigate the stress on the operating mechanism, the distortion of the stroke wave in on-load test was examined to the stroke curve in no-load test. The biggest distortion was occurred in the "parallel/exchanged type" hybrid interrupter. Finally, the small interruption capability on the three type interrupters was estimated by a theoretical form and the "parallel/separated type" hybrid interrupter has the advantage of the others in the view of structure.

Key Words : Hybrid Interrupter, Thermal Recovery, Distortion of Stroke, Thermal Expansion Chamber, Puffer Cylinder

1. 서 론

현재 초고압급에 사용되고 있는 파퍼형(puffer type) 차단부는 큰 조작력이 필요하기 때문에 유압(hydraulic type) 또는 공압 방식(pneumatic type)의 조작기(mechanism)를 사용하고 있다. 하지만 이러한 방식의 조작기는, 누유와 누기에 의한 환경문제, 유지보수, 비용 및 큰 조작력을 얻기 위한 대형화 등의 문제점을 가지고 있기 때문에 전동 스프링(motor-spring) 또는 MDDM(motor direct drive mechanism)방식의 조작기로 대체되도록 요구되고 있다. 이러한 요구에 대응해서 전동 스프링 또는 MDDM형 조작기로 대체하는 과정에서 조작력의 부족으로 인하여 수정 없이 파퍼형 차단부에 직접 적용하는 것이 매우 어렵다는 것이 알려지게 되었다. 따라서 작은 조작력으로도 차단성능을 가질 수 있는 새로운 차단부의 설계기술이 필요하게 되었고, 이러한 필요성에 의해 등장한 것이 복합소호 차단부(hybrid extinction interrupter)이다. 복합소호 차단부의 핵심설계기술은 아크 자체의 에너지를 아크 소호에 다시 활용하는 기술이다. 소호방식을 조합하는 방법에는 여러 가지가 있으나 대표적으로 로타리 아크 소호방식과 열팽창 소호방식을 조합하는 경우와

열팽창 소호방식과 파퍼 소호방식을 조합하는 경우가 있다. 이 중 아크 소호력에 따라 전자는 주로 배전급 계통의 차단기에 적용가능하며, 후자는 초고압급 차단기에 적용할 수 있다. 참고문헌 [1]에 초고압급에 적용될 수 있는 열팽창 소호방식과 파퍼 소호방식을 조합한 복합소호 모델차단부의 차단원리와 파퍼 소호방식 차단부의 차단원리가 하나의 예로서 자세히 설명되어 있으며, 복합소호 차단부가 파퍼 소호방식 차단부에 비해 상대적으로 작은 조작력에서도 충분히 차단성능을 가질 수 있다는 것을 실험적으로 나타내고 있다.

국내에서의 초고압급 복합소호 차단부 개발은 현재 시작단계에 있다. 따라서 복합소호 차단부 개발에 필요한 설계변수는 물론 이거니와, 복합소호 형태에 따라 차단성능이 어떻게 변하는 지 등에 관한 정보가 전혀 알려져 있지 않다. 무엇보다도 초고압급 복합소호 차단부 설계기술 및 실험결과가 시급히 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 열팽창실과 파퍼 실린더의 배열된 형태에 따라 세 가지의 복합소호 차단부 (즉, "직렬형" 복합소호 차단부, "병렬/교류형" 복합소호 차단부 및 "병렬/분리형" 복합소호 차단부라고 본 연구에서는 칭함)를 설계, 제작하였다. 각 차단부에 대해 간이합성시험설비를 이용하여 열적회복특성을 정량적으로 파악하는 한편, 각 차단부의 설계변수에 대한 특성 및 복합소호 형태에 따른 차단특성의 변화를 검토하였다.

2. 복합소호 차단부의 설계 및 제작

초고압급에 사용되는 복합소호 차단부는 열팽창 소호방식

[†] 교신저자, 正會員 : 韓國電氣研究院 責任研究員
E-mail : kdsong@keri.re.kr

^{*} 正會員 : 韓國電氣研究院 先任研究員

^{**} 正會員 : 韓國電氣研究院 責任研究員 Group長
接受日字 : 2004年 10月 5日
最終完了 : 2004年 10月 20日

과 파퍼 소호방식을 결합한 혼합방식을 주로 사용한다. 복합 소호 차단부의 핵심설계 기술은 고장전류 차단과정에서 발생 할 수 있는 기계적인 부담 즉, 조작기에 가해지는 부담을 줄이는 데 초점을 맞춰야 한다. 왜냐하면 조작기에 가해지는 부담이 작을수록 작은 조작력을 가지는 전동 스프링 또는 MDDM 조작기의 채용이 유리해 지기 때문이다.

그림 1과 2, 3은 각각 본 연구에서 설계/제작된 “직렬형”, “병렬/교류형” 및 “병렬/분리형” 복합소호 차단부를 나타낸 것이다. 팽창실과 파퍼 실린더가 배열된 형태를 제외하고는 팽창실 용적, 파퍼 실린더 용적, 노즐 형상 및 재질, 아크접점 형상 및 재질, 조작기의 조작력, 스트로크(stroke) 길이 등 모든 설계변수가 동일하다. 노즐의 재질은 PTFE 95%+BN 5%의 강화 테플론이며, 아크 접점의 전류용량은 차단전류 25 kA_{rms}를 기준으로 설계하였고, 접점 팁(tip)의 성분비는 텅스텐 80%, 구리 20%로 이루어져 있다. 아크 에너지에 대한 압력변화를 측정하기 위해 팽창실에 압력센서(Kistler 601A, piezo type)를 설치하였다.

우선 그림 1의 “직렬형” 복합소호 차단부의 차단동작을 대략적으로 설명하면 다음과 같다. 폐로상태(그림 1a)에 있던 차단기가 개로신호(open signal)을 받게 되면, 조작기는 조작기 연결부를 통해 가동부(즉, 제1노즐, 제2노즐, 가동 아크접점, 팽창실 및 파퍼실린더 등)를 그림 1 기준으로 좌에서 우로 스트로크가 끝날 때까지 잡아당기게 된다. 가동부가 이동하는 중에 아크접점이 분리되면 아크가 발생한다(그림 1 b), c)). 이 때 아크에 의해 팽창된 노즐 상류장의 열가스는 노즐 목이 아크와 고정 아크접점에 의해 막혀 있기 때문에 팽창실로 역류하여 팽창실의 압력을 상승시키게 된다. 만약 팽창실의 압력상승이 파퍼 실린더의 기계적인 압축작용에 의한 압력상승보다 크다면, 그 압력차에 의해 순방향 밸브는 팽창실과 파퍼 실린더 사이 격리 판의 유로 구멍을 막게 된다. 그 반대인 경우는 유로 구멍이 열리게 되어 있어 파퍼 실린더 내의 압축된 가스가 팽창실과 노즐 상류장을 거쳐 아크로 분사된다. 팽창실로 역류했던 열가스는 고정 아크접점이 노즐 목을 빠져 나감으로 해서 다시 노즐 상류장을 통해 아크로 분사되어 아크를 소호한다. 전류차단 직후에는 과도 회복전압이 인가되고 극간의 열회복성능 및 절연회복성능에 따라 차단성공 여부가 결정된다.

그림 2의 “병렬/교류형” 복합소호 차단부의 차단동작도 동일한 과정으로 이루어진다. 다만, 팽창실과 파퍼 실린더가 병렬로 배열되어 있으며, 팽창실과 파퍼 실린더 사이에 가스가 교류할 수 있는 통로(slot)가 설치되어 있다. 따라서 열가스가 파퍼 실린더로 침입할 수 있는 여지가 있다.

그림 3의 “병렬/분리형” 복합소호 차단부는 팽창실과 파퍼 실린더가 병렬로 배열되어 있으나, 팽창실의 열가스와 파퍼 실린더의 냉가스가 서로 교류할 수 없도록 유로를 분리시켜 놓은 것이 특징이다.

이와 같이 복합소호 가스차단기는 아크 에너지에 의해 팽창된 열가스를 다시 아크 소호에 활용하는 방법을 이용하고 있는 것이 특징이다(“자력소호방식”이라고도 함). 그러나 전류가 작은 경우 즉, 아크 에너지가 작은 경우에는 팽창실의 압력상승을 기대 할 수 없다. 이 경우에는 파퍼 실린더에서 기계적으로 압축된 냉가스로 전류를 차단한다. 정리하면, 복합소호 가스차단기는 대전류 차단은 열팽창실의 압력상승을,

소전류 차단은 파퍼 실린더 내의 압력상승을 이용하는 즉, 차단기능을 이원화시킨 차단기라고 할 수 있다. 따라서 복합소호 가스차단기는 소전류 차단에 필요한 압력상승만을 기계적인 동작에 의해 얻기만 하면 되므로 파퍼 실린더를 소형화 할 수 있고, 그만큼 조작기에 가해지는 부담을 감소시킬 수 있다(참고문헌 [1]의 파퍼형 차단부의 차단동작과 비교).

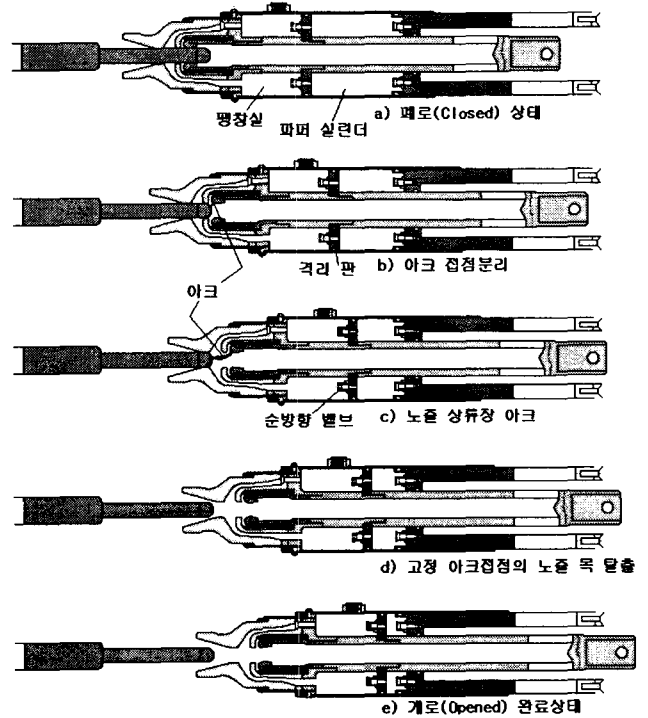


그림 1 “직렬형” 복합소호 차단부의 차단동작
Fig. 1 Current interruption of “serial type” hybrid Interrupter.

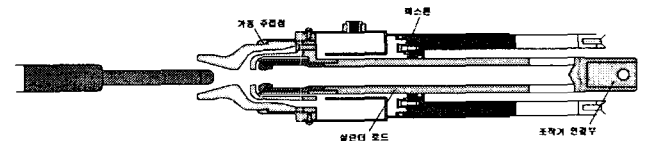


그림 2 “병렬/교류형” 복합소호 가스차단부(완전 개로상태)
Fig. 2 “Parallel/exchanged type” hybrid interrupter (opened state).

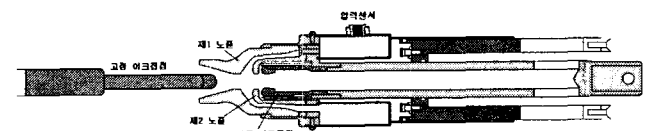


그림 3 “병렬/분리형” 복합소호 가스차단부(완전 개로상태)
Fig. 3 “Parallel/separated” type hybrid interrupter (opened state).

그림 4는 조작기 위에 차단부가 설치된 것을 나타낸다.

탱크 내에는 SF6 가스가 절대기압 6.0 bar로 채워져 있다. 조작기와 차단부가 연결되는 조작 링크(link)에는 차단부의 동작특성을 파악하기 위한 회전 저항형 스트로크 센서가 설치되어 있다.

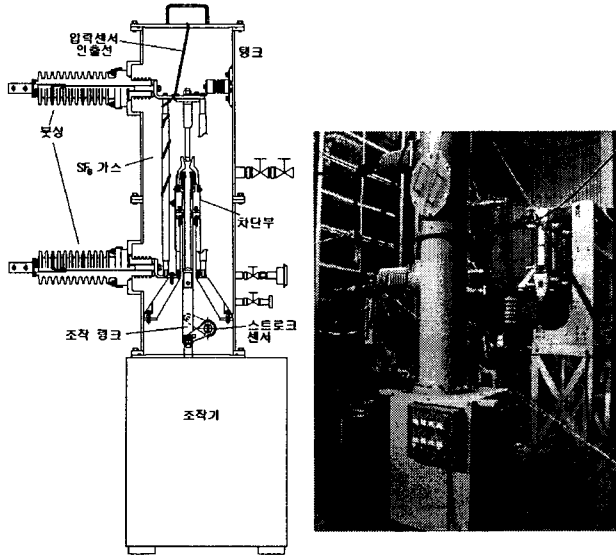


그림 4 모델 가스차단기의 구성도
Fig. 4 Diagram of model gas circuit breaker.

3. 열적회복특성시험

전류차단 직후에 발생하는 차단실패의 형식은 열적회복(thermal recovery)실패와 절연회복(dielectric recovery)실패로 분류할 수 있다. 아크 소멸 후 아크 접점사이에 잔류하는 하전입자 및 고온가스가 냉각되어 도전성을 잃기 전에 상승률이 높은 과도회복전압(transient recovery voltage, TRV)이 가해지기 때문에 전류 차단 후에도 계속하여 미소한 전류가 흐르게 되는데 이것을 아크-후 전류(post arc current)라고 한다. 이 전류에 의해 접점 간의 아크 영역에는 주울 열에 의한 에너지가 주입된다. 동시에 하전입자의 재결합, 고온가스의 확산 그리고 주위의 냉가스 주입으로 인해 냉각작용이 일어난다. 이와 같이 전류차단 후 접점 사이에는 가열과 냉각의 두 가지 현상이 동시에 발생하게 되며, 둘 사이의 속도우열에 따라 열적회복의 성공과 실패가 결정된다.

열적회복의 성공여부를 정량적으로 판단하는 기준으로 위에서 언급한 아크-후 전류의 크기가 이용된다. 차단기가 열적회복에 성공하는 경우, 수 μ s 이내에 아크-후 전류의 크기는 0으로 감소하지만, 반대의 경우에는 급격히 증가하여 수십 kA의 고장전류가 다시 흐르게 된다. 전류차단 후 시간에 대한 아크-후 전류 $I_{post-arc}$ 의 변화는 식(1)과 같이 주어진다[2].

$$I_{post-arc} = \frac{\left(\frac{dV}{dt}\right)}{R_{arc}} t \quad (1)$$

여기서, dV/dt 는 회복전압의 상승률, R_{arc} 는 아크접점사이의 저항, t 는 시간이다.

그림 5는 차단에 성공한 경우의 대표적인 전류, 전압파형을 나타낸 것이다(합성시험 파형[3]). 차단전류의 기울기 di/dt 는 차단기에 가해지는 전류 스트레스의 크기를 나타내며, dV/dt 는 차단기가 감당해야할 전압 스트레스의 크기를 나타낸다. di/dt 의 크기가 증가할수록 아크접점사이의 전도도는 증가하여 식(1)의 R_{arc} 의 값이 감소, 아크-후 전류의 크기가 증가할 것이다[4]. 또한 회복전압의 상승률 dV/dt 가 증가할수록 아크-후 전류의 크기는 증가할 것이다. 열적회복특성시험에 있어서 이 di/dt 와 dV/dt 값을 변화시켜 각 차단부의 열적회복성을 파악하였다. 시험은 참고문헌 [5]에 자세히 설명되어 있는 간이합성시험설비를 이용하였다.

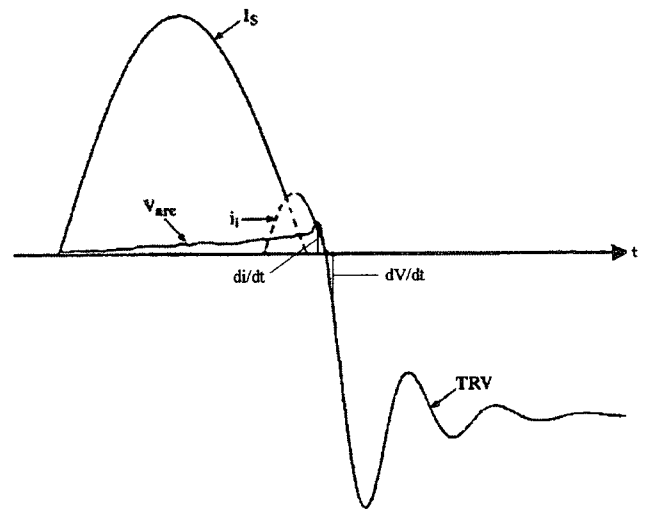


그림 5 차단에 성공한 경우의 대표적인 전압 및 전류 파형
Fig. 5 Typical waves of voltage and current in interruption success.

4. 결과 및 검토

그림 6은 대표적인 측정파형의 예를 나타낸 것으로, “직렬형” 복합소호 차단부가 차단에 성공한 경우를 나타낸 것이다. 스트로크 길이는 80.0mm, 아크 시간(arc time)은 13.0ms, 전류는 차단루프(loop)에서 약 36kA peak, 아크전압(V_{arc})은 평균 약 200V, 팽창실의 최대 압력상승은 약 16.3bar임을 알 수 있다.

각 차단부에 대한 열적회복 특성시험 결과를 표 1과 2, 3에 각각 정리하였다.

무부하 시의 팽창실의 압력상승은 차단부의 형태에 따라 그 차이를 확연히 나타내고 있다. 즉, 파퍼 실린더의 압력상승이 팽창실에 영향을 가장 많이 주는 “직렬형” 복합소호 차단부의 압력상승이 1.1bar로 가장 높고, 영향이 가장 적은 “병렬/분리형” 복합소호 차단부의 압력상승이 0.4bar로 가장 적다.

표 1과 2, 3의 시험결과에서 임계 열적회복성능(critical

capability of thermal recovery)은 각각 “직렬형”이 $di/dt=12.5A/\mu s$, $dV/dt=8.9kV/\mu s$, minimum arcing time=13.0ms, “병렬/교류형”이 $di/dt=9.9A/\mu s$, $dV/dt=5.5kV/\mu s$, minimum arcing time=16.2ms, “병렬/분리형”이 $di/dt=11.2A/\mu s$, $dV/dt=5.9kV/\mu s$, minimum arcing time=13.4ms인 결과를 나타내었다. 따라서 임계 열적회복성능 측면에서 보면, “직렬형” 복합소호방식 차단부의 차단성능이 가장 우수하고, “병렬/분리형”, “병렬/교류형” 순이다.

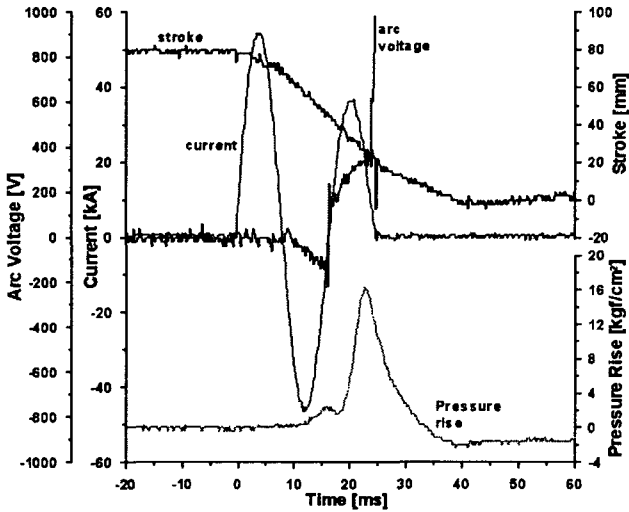


그림 6 측정결과에 대한 예(“직렬형” 복합소호 차단부, $di/dt=13.5A/\mu s$, $dV/dt=9.9kV/\mu s$, 아크시간=13.0ms, 평균 아크전압=200V, 팽창실 최대 압력상승=16.2bar).

Fig. 6 An example of measured (“serial type” hybrid interrupter, $di/dt=13.5A/\mu s$, $dV/dt=9.9kV/\mu s$, arcing time=13.0ms, mean arc voltage=200V, maximum pressure rise of thermal expansion chamber=16.2bar).

임계 열적회복성능(critical RRRVc)과 아크소호에 필요한 압력상승과의 관계는 다음과 같이 주어진다[6, 7].

$$RRRV_c = kP^\alpha \left(\frac{di}{dt} \right)^{-\beta} \quad (2)$$

여기서, k, α , β 는 실험상수이다.

식(2)에서 알 수 있듯이, 임계 열적회복성능은 압력상승 P에 비례한다. 즉, 차단에 필요한 압력상승이 높을수록 임계 열적회복성능이 증가하며, 따라서 압력상승에 가장 유리한 형태를 가진 차단부가 “직렬형 복합소호 차단부”라고 해석하는 것이 가능하다. 불행히도, 표 1과 2, 3에 나타낸 바와 같이, 세 가지 차단부에 대한 압력상승 측정에 있어서 동일한 시험조건 즉, 동일한 di/dt (또는 차단전류 크기 I_s)와 동일한 아크시간(팽창실의 압력상승 크기는 아크에너지

$E_{arc} = \int_{t_1}^{t_2} I_s V_{arc} dt$ 에 따라 결정됨. 여기서 (t_2-t_1) =아크 시간)에서 이루어진 결과를 얻지 못해 직접적인 비교가 불

가능하다. 다만, 표2의 ③의 경우와 표3의 ④의 경우는 비스한 시험조건으로 직접적인 압력상승을 비교할 수 있다.

표 1 “직렬형” 복합소호 차단부의 시험결과

Table 1 Test results of “serial type” hybrid interrupter.

Test No.	di/dt [A/ μs]	dV/dt [kV/ μs]	Arcing Time[ms]	Pressure Rise[bar]	Results
①	무부하	무부하	-	1.1	-
②	13.8	10.0	13.0	13.6	×(실패)
③	13.1	9.5	16.6	12.4	×(실패)
④	12.5	9.0	13.4	12.0	×(실패)
⑤	12.5	9.0	15.0	11.2	×(실패)
⑥	12.5	8.9	12.0	12.4	×(실패)
⑦	12.5	8.9	13.0	16.2	○(성공)
⑧	12.5	8.9	12.0	14.0	×(실패)

표 2 “병렬/교류형” 복합소호 차단부의 시험결과

Table 2 Test results of “parallel/exchanged” type hybrid interrupter.

Test No.	di/dt [A/ μs]	dV/dt [kV/ μs]	Arcing Time[ms]	Pressure Rise[bar]	Results
①	무부하	무부하	-	0.9	-
②	12.5	7.1	17.1	18.0	×(실패)
③	12.5	7.1	16.0	16.0	×(실패)
④	11.2	5.9	13.1	11.2	×(실패)
⑤	9.9	5.5	11.3	6.3	×(실패)
⑥	9.9	5.5	16.2	9.5	○(성공)
⑦	9.9	5.5	16.3	10.6	○(성공)

표 3 “병렬/분리형” 복합소호 차단부의 시험결과

Table 3 Test results of “parallel/separated” type hybrid interrupter.

Test No.	di/dt [A/ μs]	dV/dt [kV/ μs]	Arcing Time[ms]	Pressure Rise[bar]	Results
①	무부하	무부하	-	0.4	-
②	12.5	7.0	10.2	6.6	×(실패)
③	12.5	6.5	12.0	6.6	×(실패)
④	11.2	5.9	9.1	3.6	×(실패)
⑤	11.2	5.9	13.4	10.2	○(성공)
⑥	9.9	5.3	12.6	8.9	○(성공)

동일한 시험조건에서 “병렬/교류형” 차단부가 “병렬/분리형” 차단부보다 팽창실의 압력상승이 높게 나타나고 있다. 이것은 차단부의 구조상 팽창실의 압력상승에 파피 실린더의 압축작용이 영향을 준 것으로 쉽게 이해할 수 있다. 따라서 식(2)가 성립하기 위해서는 “병렬/교류형” 차단부의 열적회복 성능이 더 좋아야 한다. 하지만 시험결과는 정 반대로 나타나고 있다. 이것은 아크에 의해 팽창되어 팽창실로 역류한 열가스와 파피 실린더에서 압축된 냉가스가 팽창실에서 혼합되어 압력상승의 효과를 얻었지만, 아크소호를 위

해 분사될 때 분사경로가 두 군데(그림 2 참조)로 나누어졌기 때문인 것으로 판단된다. 이와는 반대로 “병렬/분리형” 차단부의 경우, 아크에 의한 팽창실의 압력상승이 보다 낮지만, 아크로 분사될 때 보다 집중적으로 분사되며, 파퍼 실린더에서 나온 냉가스는 열가스와 혼합되지 않기 때문에 가스 자체의 온도상승 없이 아크를 보다 유리하게 냉각시킬 수 있는 것으로 판단된다.

유사한 시험조건인 표2의 ③의 경우와 표3의 ④의 경우의 유부하시의 스트로크 곡선을 무부하시의 경우와 비교하여 그림 7과 8에 각각 나타내었다. 유부하시의 스트로크의 변형은 조작기에 가해지는 부담을 직접적으로 나타낸다. 또한 시험조건은 다르지만 에너지가 훨씬 큰 즉, 차단전류 di/dt와 아크시간이 긴 표1의 ③의 경우(“직렬형” 복합소호 차단부의 경우)에 대한 스트로크 변형을 그림 9에 나타내었다.

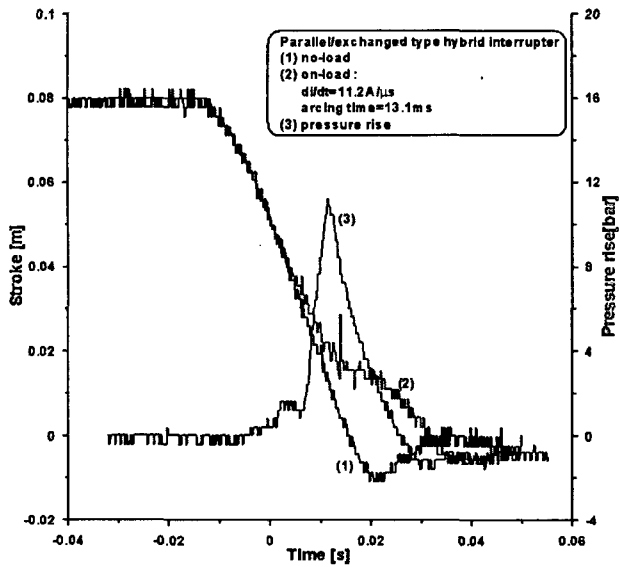


그림 7 “병렬/교류형” 복합소호 차단부의 스트로크 변형
Fig. 7 Distortion of stroke wave in “parallel/exchanged type” hybrid interrupter.

그림 7에서 아크가 존재하는 유부하시의 스트로크 곡선은 무부하시와 비교하여, 팽창실의 압력상승이 최대에 이르는 시점부터 변형이 일어나고 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 아크에 의해 팽창된 열가스가 팽창실로 역류함과 동시에 파퍼 실린더 내로 침입하여 조작기에 의한 압축작용에 반발력으로 작용한 것이며, 그 반발력이 조작기에 가해지는 부담으로 작용한 것이다. 이러한 반발력은 “병렬/교류형” 복합소호 차단부에서 아크 에너지가 크면 클수록 조작기에는 큰 부담으로 작용할 것이다.

그림 8의 “병렬/분리형” 차단부의 경우, “병렬/교류형”과 유사한 시험조건 즉, 비슷한 아크 에너지인데도 불구하고 유부하시의 스트로크 변형은 거의 일어나지 않고 있다. 이것은 차단부의 구조상 아크에 의해 팽창된 열가스가 조작기에 가해지는 부담으로 작용하는 것이 거의 없다는 것을 의미한다.

그림 9는 “병렬/교류형”과 “병렬/분리형”보다도 아크 에너

지가 훨씬 큼에도 불구하고 거의 변형이 일어나지 않는 “직렬형” 차단부의 유부하시의 스트로크 곡선을 보여준다. 아크에 의해 팽창된 열가스가 조작기에 부담으로 작용하기 전에 격리 판 사이의 유로구멍을 순방향 벨브가 폐쇄시키기 때문인 것으로 판단할 수 있다.

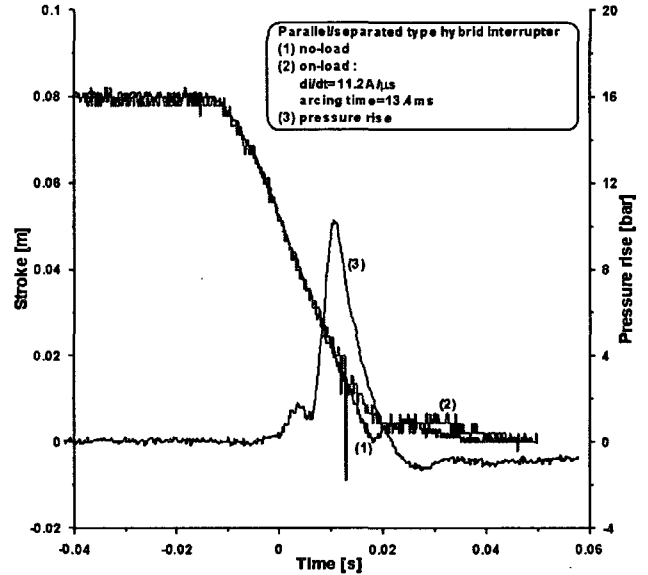


그림 8 “병렬/분리형” 복합소호 차단부의 스트로크 변형
Fig. 8 Distortion of stroke wave in “parallel/separated type” hybrid interrupter.

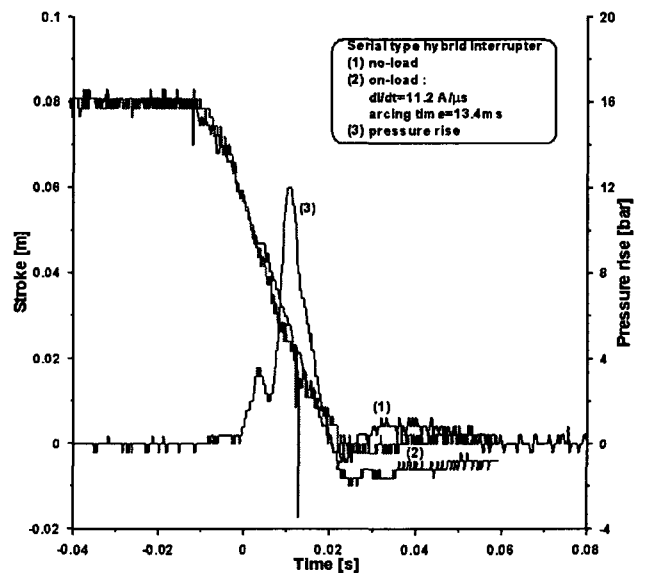


그림 9 “직렬형” 복합소호 차단부의 스트로크 변형
Fig. 9 Distortion of stroke wave in “serial type hybrid” interrupter.

따라서 복합소호 차단부의 설계에서 가장 중요한 설계변수인 “조작기에 가해지는 부담을 감소시킨다”는 측면에서 “병렬/교류형” 복합소호 차단부는 가장 불리한 구조를 가지

고 있다.

차단기는 수kA 이상의 대전류도 잘 차단해야 하지만 수백A이하의 소전류도 차단할 수 있는 능력을 보유하여야 한다. 일반적으로 소전류의 차단성능은 다음 식(3)으로 판단한다. 즉, 전류 차단 후 극간의 가스밀도와 전계 값을 계산하여 식(3)으로 절연성능을 평가한다. 절연과피 전압이 높을수록 차단성능이 우수한 것이다[8].

$$V_{bd} = a \frac{\rho^b}{E} \quad (3)$$

여기서, a, b는 상수, ρ는 가스밀도, 그리고 E는 전계강도이다.

식(3)에서 알 수 있듯이 소전류 차단성능은 가스밀도에 비례한다. 소전류 차단에 있어서는 전류크기가 작기 때문에 아크에 의한 가스의 팽창을 기대할 수 없고, 자연히 팽창실의 압력상승도 기대하기 어렵다. 따라서 소전류 차단에 있어서는 피스톤의 압축작용에 의한 압력상승만으로 전류차단에 성공해야 한다. 그런데 차단부 구조상 “병렬/교류형”과 “직렬형” 차단부는 피스톤이 압축해야할 체적이 팽창실과 파피 실린더를 합한 체적인 반면에, “병렬/분리형” 차단부의 경우는 파피 실린더의 체적만 압축하여 압력상승을 얻을 수 있다. 따라서 “병렬/교류형”과 “직렬형” 차단부는 소전류 차단에 필요한 압력상승을 얻는 데 불리한 구조를 가지고 있으며, 소전류 차단성능에 문제점이 발생할 경우 차단부 개선 설계에 큰 어려움이 있을 요인이 존재한다.

최종적으로 주의해야 할 것은, 본 연구에서 세 가지 형태의 복합소호 차단부 중에서 “직렬형” 복합소호 차단부가 가장 좋은 열적회복성능을 가진다는 것을 실험 또는 정량적으로 검증하였다. 하지만, 아크에 의한 영향을 직접적으로 받아 압력상승 효과를 쉽게 얻을 수 있다고 해서 열적회복성능 뿐만 아니라 절연회복성능도 우수하다고는 결코 말할 수 없다. 오히려 “직렬형” 복합소호 차단부의 경우 다른 복합소호 차단부보다 절연회복성능에 불리할 수도 있다. 즉, “병렬/교류형” 또는 “병렬/분리형 복합소호 차단부”의 경우 아크에 의해 팽창된 열가스가 팽창실로 역류하는 과정에 있더라도 아크 영역은 파피 실린더의 냉가스에 의해 다소나마 냉각이 이루어지고 있다. 하지만 “직렬형” 복합소호 차단부의 경우 아크에 의한 열가스가 팽창실로 역류하면, 팽창실의 압력이 상승하고 파피 실린더 보다 압력이 높아짐에 따라 격리 판이 유로구멍을 막게 되어, 파피 실린더내의 냉가스의 냉각효과를 받을 수 없게 된다. 결국 팽창된 열가스가 아크로 분사된 뒤에야 유로구멍이 열려 냉가스가 아크로 분사된다. 따라서 다른 복합소호 차단부에 비해 열가스의 온도가 고온인 상태에서 아크 영역으로 분사될 수 있다. 이것은 아크 에너지가 대단히 큰, 차단기의 시험책무 BTF(bus terminal fault, 단자단락교장) duty 4a 또는 4b와 duty 5의 major loop차단시험[9]에서 과도하게 팽창된 열가스가 절연회복에 문제를 일으킬 수 있다. 이처럼 직렬 복합소호 차단부에서 열적회복성능을 고려하여 팽창실 용적을 결정할 경우 BTF차단에서 과도한 열가스 발생으로 절연회복성능을 확보하기 어려울 수도 있으며, 반대로 절연회복성능을 고려하여 팽창실 용적을 결정할 경우, 열적회복에 필요한 압력상

승이 부족하여 열적회복성능을 확보하기 어려울 수도 있다. 위의 사항은 추후 반드시 수행되어야 할 연구내용이다.

5. 결 론

동일한 설계변수를 가진 세 가지 형태 즉, “직렬형”, “병렬/교류형” 및 “병렬/분리형”의 복합소호 가스차단부를 설계, 제작하여 동일한 조작력에서 열적회복 성능시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. “직렬형” 복합소호 차단기의 임계 차단성능은 di/dt=12.5A/μs, dV/dt=8.9kV/μs, minimum arcing time=13.0ms 이었고, “병렬/교류형”이 di/dt= 9.9A/μs, dV/dt=5.5kV/μs, minimum arcing time=16.2ms이었으며, “병렬/분리형”이 di/dt=11.2A/μs, dV/dt=5.9kV/μs, minimum arcing time=13.4ms인 결과를 나타내었다. 따라서 열적회복성능 측면에서, “직렬형” 복합소호방식 차단부의 차단성능이 가장 우수하고, “병렬/분리형”, “병렬/교류형” 순 이었다.
2. 유부하시 스트로크 파형의 변형을 검토한 결과, “직렬형”과 “병렬/분리형” 복합소호 차단부가 거의 변형이 일어나지 않는 반면에 “병렬/교류형” 복합소호 차단부에서는 유부하시에 압력상승의 반발력이 조작기에 큰 부담으로 작용한다는 것을 확인하였다.
3. 소전류 차단성능 측면에서 이론식(3)을 이용하여 검토한 결과, “병렬/분리형” 복합소호 차단부가 가장 유리한 구조를 가진 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

- [1] 송기동, 정진교, 박경엽, “직렬-복합소호형 모델 가스 차단기의 차단성능평가”, Trans. KIEE. Vol. 53B, No. 9, pp 538-544, Sept. 2004.
- [2] Kunio Nakanishi, Switching Phenomena in high-Voltage Circuit Breakers, Marcel Dekker, Inc., 1991.
- [3] J. G. P. Anderson et al, “Synthetic testing of A.C. circuit breakers,” IEE Proc., Vol. 113, No. 4, 1966.
- [4] Ki Dong Song, Byeong Yoon Lee and Kyong Yop Park, “Analysis of Thermal Recovery for SF6 Gas-Blast Arc within Laval Nozzle,” Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, pp. 7073-7079, 2003.
- [5] 이우영, 박경엽, 송기동 외, 간이차단성능 평가기술 및 시스템 개발, 1997-EL02-E-41, 산업자원부, 2000.8.
- [6] E. Haginomori et al., “Performance of circuit breakers related to high rate of rise of TRV in high-power high-density network,” IEEE, PAS-104, No. 8, Aug. 1985.
- [7] Masao Hosokawa et al., “Breaking ability and interrupting phenomena of circuit breaker equipped with parallel resistor or capacitor,” IEEE, PDRD-2, No.2, April 1987.

- [8] Ki-Dong Song, Byeong-Yoon Lee et al., "Comparison of Evaluation of the Small Current Breaking Performance for SF6 Gas Circuit Breakers." KIEE International Trans. on EMECS, 11B-4, pp. 129-136, 2001.
- [9] IEC 62271-100, High-Voltage Alternating-Current Circuit-Breakers, 2001.

저 자 소 개



송기동(宋基東)

1963년 7월 5일생. 1988년 인하대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1990년 3월~현재 한국전기연구원 전력연구단 신전력기기연구그룹 책임연구원.

Tel : 055-280-1563, Fax : 055-280-1569
E-mail : kdsong@keri.re.kr



박경엽(朴敬燁)

1957년 1월 3일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 영국 Liverpool 대학 전기공학과 졸업(공학박). 1978년 12월~1981년 5월 효성중공업(주) 전장설계부. 1981년 6월~현재 한국전기연구소 전력연구단 신전력기기연구그룹 그룹장(책임연구원)

Tel : 055-280-1561, Fax : 055-280-1589
E-mail : kypark@keri.re.kr



정진교(鄭鎭敎)

1967년생. 1991년 강원대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1994년 강원대 공대 전기공학과 대학원 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 전력연구단 신전력기기연구그룹 선임연구원.

Tel : 055-280-1564, Fax : 055-280-1589
E-mail : jkchong@keri.re.kr