

## MDDM을 적용한 피스톤 이동형 가스차단기의 차단동작특성

송기동, 정진교, 박경업  
한국전기연구원 신전력기기연구그룹

### Interruption Mechanism of the piston moving type GCB employed MDDM

Song Ki-Dong, Chong Jin-Kyo, and Park Kyeong-Yop  
Korea Electrotechnology Research Institute(KERI)

**Abstract** - 본 논문은 기존의 가스차단기와는 다른 차단을 가지는 새로운 형태의 가스차단기에 대한 특징을 검토한 것이다. 기존의 차단기에서 움직이던 가동부가 고정되고, 반대로 고정부이던 피스톤이 움직인다. 또한 기존 차단기의 고정부였던 고정 아크접점에 MDDM(Motor direct drive mechanism)을 채용하고, 반대편에 피스톤과 연결되는 소형 유압식 조작기를 설치함으로서 양방향 차단기(dual motion circuit breaker)를 구현하였다. 국내에서는 처음으로 MDDM을 실제 차단기에 적용한 사례로 판단되며, 기본 차단동작특성을 분석하여 향후 초고압 차단기에 적용할 수 있는 가능성을 검토하였다.

### 1. 서 론

현재 초고압급에 주로 사용되고 있는 파퍼형 차단기는 유압 또는 공압식의 조작기를 사용한다. 파퍼형 차단기는 차단과정에서 파퍼 실린더내의 가스를 압축해서 고압으로 만들어 주어야 하기 때문에 큰 조작력을 가진 조작기가 필요하다. 하지만, 공압 또는 유압식 조작기는 누유에 의한 환경문제, 동작시의 큰 소음, 유지보수의 어려움, 큰 크기, 경제성 등의 문제로 점차 배척되고 있고, 일부 선진국에서는 수입 및 수출품에 대해서는 사용을 금지하고 있다. 따라서 세계 각 국에서는 저 조작력의 복합소호 차단부를 고안하는 한편, 양방향 차단부를 구현하는 데 주력하고 있다. 현재 전동 스프링(motor-spring) 또는 모터 구동(MDDM)형 조작기를 사용하면서 기존 차단기와 동일한 차단성능을 보유하는 복합소호 차단부의 개발정도가 한 나라의 차단부 개발 및 설계기술 수준으로 평가하고 있다고 해도 과언이 아닐 것이다.

국내에서도 2003년 후반부터 복합소호 차단부 개발에 박차를 가하고 있어, 현재 어느 정도 자체적인 설계기술을 확보하고 있다[1, 2]. 또한 (주)효성에서 MDDM을 이용한 초고압 차단기 개발을 시도하고 있으며, LS산전(주)와 현대중공업(주)에서는 양방향 형태의 초고압 차단기를 상품화하는 단계에 이르고 있다. 하지만, 복합소호 차단부에 대한 다양한 형태, 설계변수에 대한 차단성능의 변화, 저조작력의 조작기 적용 및 구동방식 등에 대한 다각도의 연구가 아직도 부족한 실정이다. 본 연구는 이러한 취지에서 시작된 연구로, 기업체에서는 미처 접근하기 곤란한 새로운 형태의 차단부에 대한 기본적인 특성과 향후 상용화 가능성을 대해 검토한다. 본 연구에서는 기존(현재 사용되고 있는) 차단기와는 다른 동작 메커니즘을 가지는 차단기를 새로이 고안하였으며, 새로 고안된 차단기의 동작특성 및 상용화를 위해 향후 해결해야 할 문제점에 대해 검토하였다.

### 2. 피스톤 이동형 가스차단기의 개발 및 특징

#### 2.1 파퍼형 가스차단기의 차단동작

현재 주로 초고압 계통에 사용되고 있는 파퍼형 가스 차단기의 차단동작은 다음과 같다. 폐로상태(그림 1 a))에 있던 차단기가 개로신호(open signal)를 받게 되면, 조작기는 조작기 연결부를 통해 가동부(즉, 제1 노즐, 제2 노즐, 가동 아크접점, 퍼퍼 실린더 등)를 그림 1 기준으로 좌에서 우로 스트로크가 끝날 때까지 잡아당기게 된다(그림 3 참조). 이 과정에서 퍼퍼 실린더 내의 SF<sub>6</sub> 가스는 압축되고, 아크 접점이 분리되면서 아크가 발생하게 된다(그림 1의 b), c)). 이렇게 발생된 아크는 퍼퍼 실린더에서 압축된 가스가 제1 노즐로 분사되면서 소호되고(그림 1의 d)), 전류 차단 직후 극간에는 과도회복전압(TRV: transient recovery voltage)이 인가되고, 차단기 가 잘 설계되어 극간의 절연성능이 우수하여 전압에 견디게 되면 차단에 성공하게 되고, 그렇지 않은 경우는 차단에 실패하게 된다. 폐로상태에서 개로완료 상태(그림 1의 e))까지의 과정은 일반적으로 30 ms이내의 짧은 시간에 이루어진다[3].

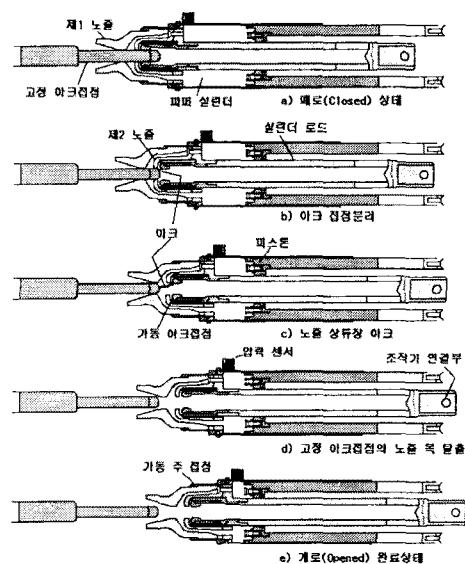


그림 1. 파퍼형 가스차단기의 차단동작

이처럼 퍼퍼형 가스차단기의 차단성능은 차단과정에서 기계적으로 이루어지는 퍼퍼 실린더 내의 가스 압력상승에 따라 결정된다. 따라서 차단성능을 확보 또는 향상시키기 위해서는 큰 조작력으로 매우 빠른 속도로 퍼퍼 실린더를 압축해야 한다. 또한 조작기는 압축과정에서 발생하는 퍼퍼 실린더내의 압력상승에 의한 반발력뿐만 아니라, 노즐 상류장에서 팽창된 SF<sub>6</sub> 열가스(그림 1의 c))가 퍼퍼 실린더 내로 역류하여 일으키는 반발력도 부담

해야 한다. 이러한 이유로 퍼퍼형 가스차단기에 있어서, 조작기의 조작력이 반발력보다 작을 경우에는 차단기가 역진행할 수 있어 차단성능에 매우 치명적인 영향을 초래할 수 있다. 이러한 요구조건 때문에 퍼퍼형 가스차단기는 조작력이 큰 조작기가 필요하다.

## 2.2 피스톤 이동형 가스차단기의 설계 및 제작

기본적으로 가동부의 무게를 축소하기 위해 기존 차단기에서는 고정되어 있던 피스톤을 소형 유압조작기와 연결시켰다. 또한 기존에 가동부였던 노즐과 실린더부를 움직이지 않도록 해서 고정부로 변경시켰다. 접점의 계폐(switching)동작을 위해 기존의 고정 아크접점을 MDDM으로 구동시켰다. 이러한 개념을 바탕으로 설계된 차단부를 그림 2에 나타내고 있다. 본 연구에서는 이 차단기를 “피스톤 이동형” 차단부라 부르기로 한다.

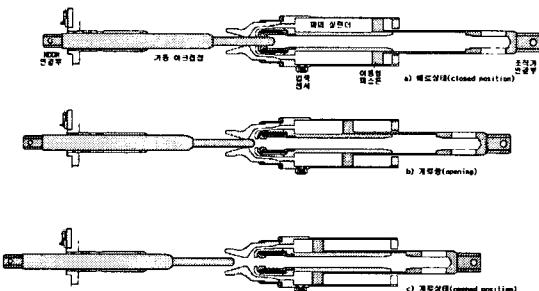


그림 2. 피스톤 이동형 가스차단기의 차단동작

차단과정은 퍼퍼형 가스차단기와 반대로 움직인다는 것 외에는 거의 동일하다. MDDM에 의해 가동 아크접점이 움직이고 접점이 분리되면서 아크가 발생하며(그림 2의 b)), 아크는 피스톤에 의해 압축된 퍼퍼 실린더내의 고압가스로 소호한다.

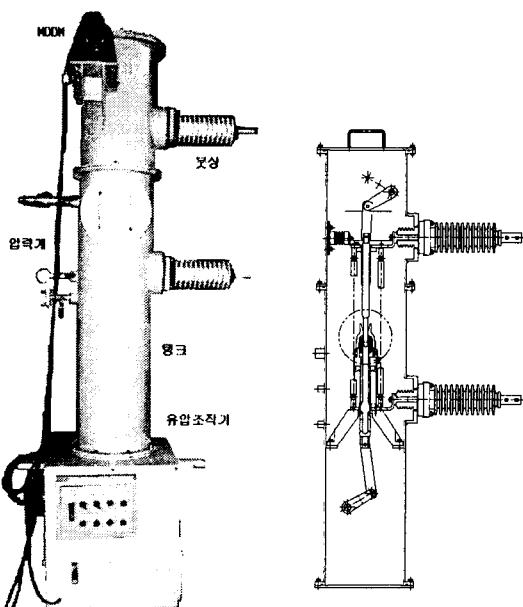


그림 3. 피스톤 이동형 가스차단기의 외관.

그림 3은 실제 제작된 피스톤 이동형 가스차단기의 외관이다. 피스톤을 움직이기 위한 소형 유압조작기와 하부에 설치되어 있고, 가동 아크접점을 이동시키기 위한

MDDM은 상부에 설치되어 있다. MDDM의 회전각도를 조정하기 위한 별도의 조정기(control box)가 준비되어 있고, 맨 위 상단 플랜지(flange) 중심에는 퍼퍼실린더의 압력을 측정하기 위한 센서 인출 BNC연결부가 설치되어 있다. 탱크 내부에는 약 6bar의 SF<sub>6</sub>가스가 채워져 있으며, 충진 가스압력을 확인하기 위해 탱크의 옆면에 압력계를 설치하였다.

## 2.3 동작시험 및 무부하 압력상승 시험

그림 4는 MDDM 회전각도 60도(이 경우 아크접점의 스트로크는 120mm), 유압 조작기의 조작압력 100kgf/cm<sup>2</sup>, 퍼스톤의 스트로크 120mm인 경우의 스트로크와 퍼퍼 실린더 압력상승의 측정파형이다.

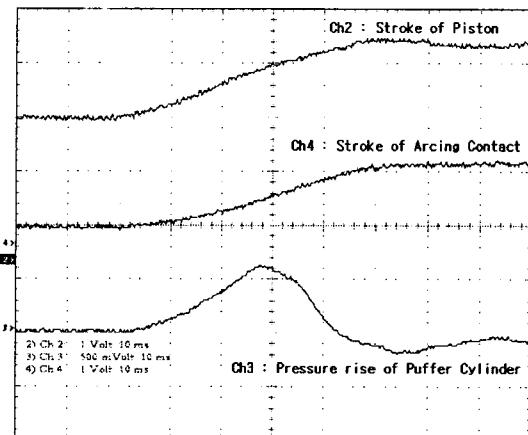


그림 4. 스트로크 및 퍼퍼 실린더 압력상승

그림 5는 MDDM의 회전각도 20도, 40도, 60도인 경우의 아크접점의 스트로크 측정파형을 중첩시켜 나타낸 것으로, 회전각도에 따라 스트로크가 각각 40mm, 82mm, 120mm이다.

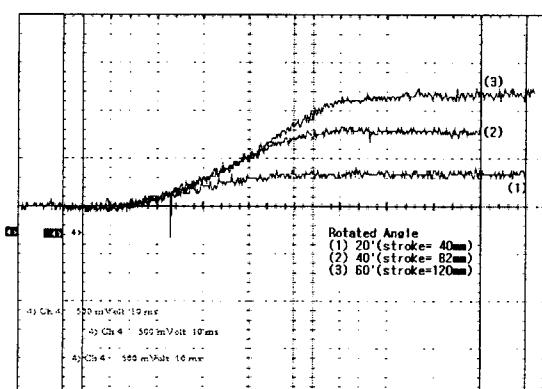


그림 5. MDDM의 회전각도에 따른 아크접점의 스트로크 변화

조작기의 조작압력과 MDDM의 회전각도에 따른 퍼퍼 실린더의 압력상승을 그림 6에 나타내었다. 조작압력이 증가하는데 비례하여 퍼퍼 실린더의 압력상승이 증가하고 있는 것을 알 수 있으며, 회전각도가 작을수록 압력상승은 크게 나타나고 있다. 이것은 회전각도가 작을수록 아크접점의 스트로크는 짧아지고, 이로 인해 노즐 하류장과 실린더 로드쪽으로 가스가 빠져 나가는 유로 단면적이 아크접점에 의해 감소되기 때문이다.

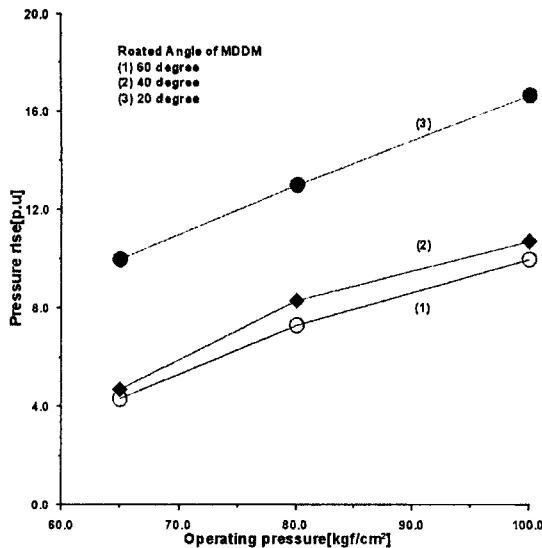


그림 6. 조작압력 및 MDDM의 회전각도에 따른 파퍼 실린더 압력상승의 변화

#### 2.4 피스톤 이동형 가스차단기의 특징

본 연구에서 제시된 피스톤 이동형 가스차단기의 특징을 파퍼형 차단기와 비교하여 살펴보기로 한다.

먼저, 피스톤만 이동하므로 기존 차단기에 비해 조작력을 줄일 수 있어 전동스프링 조작기나 MDDM 조작기 취부가 보다 용이해 질 것이다. 특히, 만약 소호부를 파퍼방식이 아니라 복합소호방식[1]을 취할 경우 조작력을 더욱 감소시킬 수 있을 것이다. 두 번째, 그림 6과 같이 차단성능이 부족한 경우 스트로크에 영향을 주지 않고 피스톤의 이동속도만을 증가시켜 차단성능의 개선이 가능하다. 즉, 차단기의 차단성능은 아크를 소호하고 절연강도를 높이기 위한 압력상승 P에 대해 P<sup>0</sup>의 관계( $\alpha$ 는 실험상수로 약 1.4)로 비례한다[4, 5]. 따라서 차단성능이 임계치(critical)에 머물러 있는 경우 이 기능은 대단히 유용한 수단이 될 수 있으며, 특히 소전류 차단성능 개선에 큰 효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다[6]. 세 번째, 그림 5의 결과처럼 MDDM의 회전각도를 조정하여 극간의 거리 및 스트로크를 자유자재로 변화시켜 차단기의 절연성능을 개선할 수 있는 장점이 있다. 네 번째, 차단기의 설계변수를 파악하는 데 보다 유연성 있게 대처할 수 있을 것이다. 하나님의 예를 들면, 기존 파퍼형 차단기로는 압력상승의 변화에 대한 아크-후 전류(post-arc current)의 크기변화를 관측하는 것이 불가능하다[7]. 왜냐하면 변화된 파퍼 실린더의 압력상승을 얻기 위해 차단동작속도를 변화시키면 동일한 시점에서 아크접점이 위치하지 않는다. 따라서 아크접점의 위치는 일정하게 하면서 그림 6과 같이 피스톤의 속도를 변화시켜 압력값의 변화를 쉽게 얻을 수 있다.

그러나, 이상의 장점을 가진 차단기를 실현하기 위해서는 MDDM 드라이버(driver)의 개선 및 개발이 시급히 요구되고 있다. 즉, 현재보다 개극시간(opening time)이 축소되어야 하며, 차단기의 조작기가 갖추어야 할 필수 조건인 O-0.3초-CO-3초-CO(C: close, O: open)의 연속동작개체가 가능해야 할 것이다. 또한 고전압 및 단락시험과 함께 차단부 설계변수에 대한 추가적인 연구도 지속적으로 추진되어야 할 것이다.

#### 3. 결 론

현재의 파퍼형 차단기와는 차단동작이 다른 차단기를 고안하여, 기본적인 동작특성시험을 수행한 결과 다음과

같은 결론을 얻을 수 있었다. 첫째, 기존의 차단기보다 조작기가 구동시켜야 할 가동부의 무게를 줄일 수 있고, 특히 소호방식으로 복합소호 방식을 채택할 경우 조작력은 크게 감소할 것으로 판단된다. 둘째, 스트로크의 길이 즉, 극간의 길이를 MDDM의 회전각도를 조정하여 자유자재로 설정할 수 있는 특징을 가진다. 셋째, 스트로크 및 차단부의 어떠한 다른 설계변수도 수정하지 않고 단지 피스톤의 이동속도만을 변화시켜 차단성능을 개선할 수 있다. 넷째, 차단기의 설계변수를 연구하는 모델 차단기로서 기존에 나와 있는 어떠한 차단기보다도 최적의 차단기라고 판단된다. MDDM의 드라이버에 대한 보다 정밀한 개선과 차단부 설계변수에 대한 추가적인 연구가 수행된다면, 초고압급의 차단기에도 적용가능 할 것으로 판단된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 송기봉, 정진교, 박경엽, "차렬-복합소호형 모델 가스차단기의 차단성능평가", Trans. KIEE, Vol. 53B, No. 9, Sep., 2004.
- [2] 송기봉, 정진교, 박경엽, "팽창시로가 파퍼 실린더의 배열형태에 따른 복합소호 모델 가스차단기의 열적회복특성 비교", Trans. KIEE, Vol. 53B, No. 12, Dec., 2004.
- [3] Thomas E. B., Circuit Interruption, Marcel Dekker, Inc. New York, 1984.
- [4] E. Ilaginomori 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.
- [5] 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.
- [6] Ki-Dong Song, Byeong-Yoon Lee et al., "Comparison of Evaluation of the Small Current Breaking Performance for SF<sub>6</sub> Gas Circuit Breakers," KIEE International Trans. on EM ECS, 11B-4, pp129-136, 2001.
- [7] Ki Dong Song, Byeong Yoon Lee and Kyong Yop Park, "Analysis of Thermal Recovery for SF<sub>6</sub> Gas- Blast Arc within Laval Nozzle," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, pp. 7073-7079, 2003.