

# 이중 스카치 요크 기구를 이용한 접점 개폐 메커니즘의 설계

양홍익\*(LS산전 전력연구소), 안길영(LS산전 전력연구소), 정광영(공주대 기계공학부)

## Design of Switch Mechanism of Electric Contact Using Double Scotch Yoke Mechanism

H. I. Yang(ElectroTechnology R & D Center, LSIS), K. Y. Ahn(ElectroTechnology R & D Center, LSIS),  
K. Y. Jeong (Mechanical Eng. Dept., Kongju National University)

### ABSTRACT

In this paper, a double scotch yoke mechanism for moving simultaneously the fixed contact and moving contact of a gas circuit breaker is proposed and designed to improve the breaking characteristics of the circuit breaker. Firstly, the design parameters of the scotch yoke are kinematically determined from the desired design condition of the circuit breaker. Next, the stroke curve of the moving contact is designed by considering the design parameter and the specified opening characteristics of electric contacts. Based on the scotch yoke and stroke curve, the dynamics of the electric contacts is analyzed using ADAMS model of switch mechanism.

**Key Words** : Circuit Breaker (차단기), Scotch Yoke Mechanism (스카치 요크 기구), Electric Contact (접점), Switch Mechanism (개폐기구), Polynomial Function (다항식 함수)

### 1. 서론

차단기(circuit breaker)는 전력용 개폐장치의 일종으로 전력계통에서 발생하는 지락, 단락 장소를 신속하게 전기 계통으로부터 분리함으로써 계통에 접속되어 있는 기기들의 대전류에 의한 파괴나 사고를 일으킨 기기의 아크에 의한 손상을 방지하기 위하여 사용된다. 차단기의 역할은 전력계통에 어떠한 고장이 발생하여도 신속히 자동 차단하는 책무를 가지는 중요한 보호장치인 것이다. 차단기는 사용목적에 따라 발전기용, 선로용, 변압기용, 축전기회로용 및 분로 리액터용으로 구별되므로 그 용도별에 따라 각각 적합한 차단기가 선정된다. 일반적으로 차단기는 내부의 접점 사이에서 발생한 아크를 소호하는 매질에 따라 유입차단기(OCB), 자기차단기(MBB), 공기차단기(ACB), SF<sub>6</sub>가스차단기(GCB) 등으로 분류된다<sup>(1)</sup>. 현재 70kV 이상 800kV 이하의 초고압 계통에서는 SF<sub>6</sub>가스차단기가 주로 사용되고 있다. 초고압에 사용되는 파퍼식 가스 차단기(puffer gas circuit breaker)에서 고정접점은 외함에 고정되며 가동접점의 빠른 이동에 의하여 파퍼실에 압축된다. 이러한 압축에 의해 발생한 강한 유동을

극간의 아크 쪽으로 불어서 아크를 소호하는 방식이며, 아크 소호 능력이 자력 소호 방식에 비해 뛰어나기 때문에 대부분 이 방식을 사용하고 있다<sup>(2)</sup>. Fig. 1 은 이러한 파퍼식 가스 차단기의 아크 소호 원리를 보여준다.

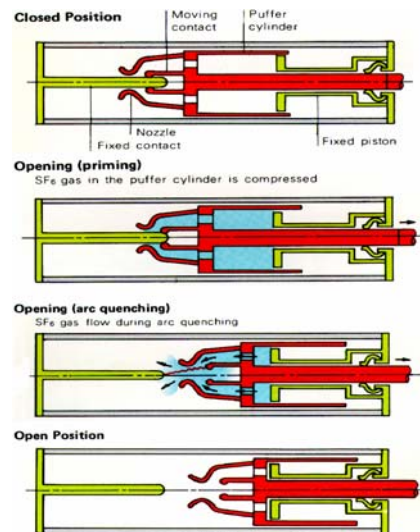


Fig. 1 Interruption principle of puffer gas circuit breaker

현재 대부분의 가스차단기는 순수한 한가지 방식의 소호원리만으로는 우수한 아크 차단능력을 얻는데 어려움이 있을 뿐만 아니라, 대용량화, 소형 및 경량화에도 문제점이 있어 2중 또는 3중의 복합소호방식을 취하고 있다<sup>(3)</sup>. 이것외에도 보편적으로 응용되고 있는 방식은 열과퍼 소호방식의 복합소호방식을 채용한 소호실과 Fig. 1의 고정접점도 가동접점과 함께 이동하는 양방향 조작기구를 동시에 사용하는 것이다. Fig. 2는 고정접점이 가동접점과 링크로 연결되어 동시에 움직이는 양방향 개폐기구를 가진 Alstom사 145kV 가스 차단기이다.

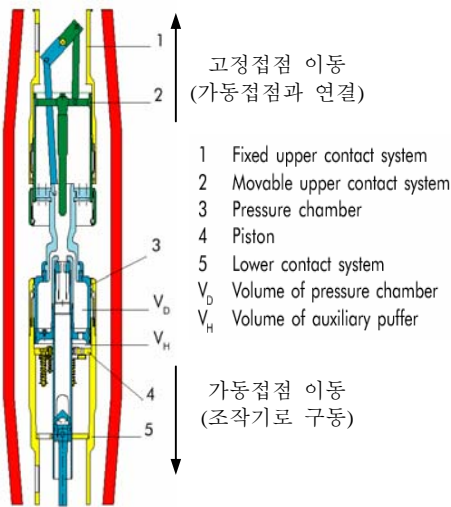


Fig. 2 Gas circuit breaker with dual motion

이러한 양방향 기구의 장점은 차단기의 조작기에 의해 구동되는 가동접점의 스트로크에 따라 고정 접점이 가동접점과 동일한 속도로 반대방향으로 이동됨으로써 개극 속도 및 극간거리를 상대적으로 증가시켜 고장 전류의 차단 및 절연회복 성능을 한층 더 향상시키는 것이다. 또한 기존의 단일방향보다는 차단성능이 우수하고 소요 조작력을 더욱 줄일 수 있다. 따라서 기본적으로 양방향 기구를 구현하는데 있어서 기존의 차단부에서 완전히 고정되어 있는 고정접점을 움직이게 하는 링크구조가 중요함을 알 수 있다. 양방향을 위한 링크구조는 Fig. 2와 같은 직결로써 가동접점에 연결될 수도 있으며, 캠 기구 및 스카치 요크 기구 등으로 연결될 수도 있다.

본 논문에서는 양방향 기구를 가진 개폐 장치로서 이중 스카치 요크 기구를 제안하고 설계하고자 한다. 먼저 접점들의 기구학적 요구조건으로부터 제안된 스카치 요크 기구의 기구학적 변수들을 결정하고, 다음 가스차단기의 소호 특성을 위하여 규정된 접점들 사이의 동적 특성을 만족시키기 위한 입력 스트로크 곡선을 설계한다. 마지막으로 설

계된 함수를 ADAMS 를 이용하여 구성된 개폐 메커니즘의 해석모델에 적용하여 양방향 기구를 상세 설계하고 검증한다.

## 2. 접점 개폐 메커니즘의 설계

### 2.1 스카치 요크 기구

Fig. 3은 Scotch Yoke의 메커니즘 개념도를 보여준다.<sup>(4)</sup> 회전반경  $r$ 은 일정한 회전속도  $\omega_r$ 로 회전한다. 점 P의 x축에 대한 Projection은 단순 Harmonic Motion으로 움직이며  $x$ 는 다음과 같이 표현된다.

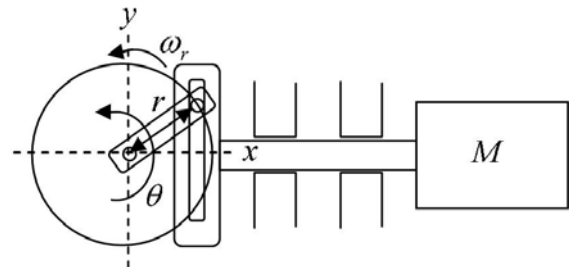


Fig. 3 Configuration of scotch yoke mechanism

$$\begin{aligned} \theta &= \omega_r t \\ x &= r(1 - \cos \omega_r t) \\ v &= \frac{dx}{dt} = r\omega_r \sin \omega_r t \\ a &= \frac{d^2x}{dt^2} = r\omega_r^2 \cos \omega_r t \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $\theta$ 는 스카치 요크의 회전각이고,  $x, v, a$ 는  $x$ 축 상의 변위, 속도, 가속도를 나타낸다.

### 2.2 이중 스카치 요크를 이용한 개폐 메커니즘의 모델링

고정접점 및 가동접점의 양방향 구동을 위하여 Fig. 4의 이중 스카치 요크 방식을 적용하였다. 가동부  $M_1$  및 고정부  $M_2$ 는  $R_1$ 과  $R_2$  길이,  $\theta$ 의 회전에 따라 원하는 개폐 시간 및 변위 스트로크를 구현할 수 있다. 실제 접점의 개폐에 있어서 한방향 접점의 구동은 많은 에너지를 소비하고 있다. 특히 접점이 차단될 때의 시간을 고려한다면 많은 영향을 줄 것이다. 반면에 양방향 구동은 동일한 구동 에너지로 가동부와 고정부에 연결된 링크를 통하여 동시에 접점이 열리는 특징을 가지고 있으며 이로 인하여 차단 효과 상승에 큰 장점을 준다. 또한 링크  $R_1$ 과  $R_2$ 의 상대 비와 주어진 초기  $S_1$ 에 따라 가동부의 위치는 크게 달라질 수 있으므로 각 링크의 상대 비를 식 (2)와 같이 원하는 output motion이 나올 수 있도록 구한다.

$$\begin{aligned} \text{Input Motion } (M_1) &= 2R_1 \sin \theta + S_1 \\ \text{Output Motion } (M_2) &= (2R_1 \sin \theta + S_1) \times \frac{R_2}{R_1} \end{aligned} \quad (2)$$

Relative Motion = Input Motion + Output Motion

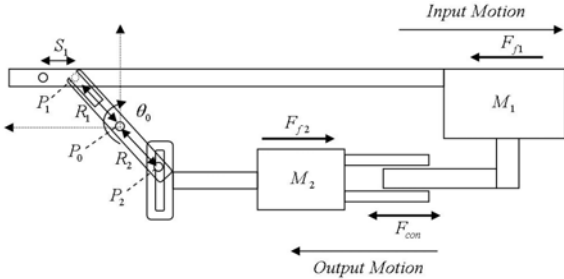


Fig. 4 Double scotch yoke switch mechanism

### 2.3 요구 구동력 계산

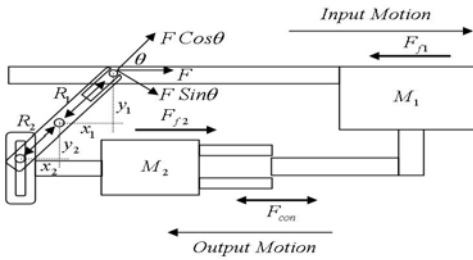


Fig. 5 Driving force of switch mechanism

Fig. 5 에서 보는 것처럼 가동부와 고정부가 차단 될 경우 input stroke 를 얻기 위하여 요구되는 구동력은 식 (3) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} M_1 a_1 &= F - F_{f1} - F_{con} \\ M_2 a_2 &= \alpha F - F_{f2} - F_{con} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3) 을 구동력  $F$  에 대하여 정리하면,

$$F = \beta [(M_2 \alpha - M_1) a_1 - F_{f1} + F_{f2}] \quad (4)$$

여기서,

$$\alpha = R_1 / R_2, \quad \beta = 1 / (\alpha - 1)$$

또한  $M_1$  을  $a$  의 가속도로 운동하게 하기 위한 힘  $F$  는 접선방향의  $F_T$  과 법선 방향의  $F_N$  으로 구분할 수 있고 회전 반경에 따른 토크가 작용하며  $\theta$  에 따라 표현될 수 있다.

$$T = F \sin \theta R_1 + \mu F \cos \theta R_1 \quad (5)$$

여기서  $\mu, R_1, \theta, \omega_r, a_1$  은 마찰계수, 회전 반경, 회전각, 각속도, 그리고  $x$  축 상의 가속도를 나타낸다.

## 3. 설계분석 및 고찰

### 3.1 기구학적 설계

Fig. 5 의 기구학적 설계 변수들에서 초기 가동부가 움직인 후 고정부를 움직이게 하기까지의 지연 거리  $S_1$ , 스카치 요크의 회전 중심  $P_0$ ,  $x_1$  은 차단기 소호부의 설계사양으로부터 미리 결정된다. 다음 기구학적 요구 조건인 가동접점과 고정접점의 이동 거리로부터  $y_1, \theta_0, R_2$  가 설계된다.  $R_1$  과  $R_2$  의 가설계를 통하여  $\theta$  의 변함에 따른  $y_1$  과  $y_2$  의 변화량을 알 수 있다.  $y_1$  이 마지막 위치에 왔을 때 상대비에 따른  $y_2$  의 위치를 알 수 있고 그 값을 통하여 원하는 스트로크를 얻을 수 있다. Fig. 6 는  $y_1$  의 변화에 따른  $R_2$  와  $R_1$  의 길이 비를 나타낸다.

$$\begin{aligned} R_1 &= \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \\ \theta &= \tan^{-1}(y_1 / x_1) \\ x_2 &= R_2 \cos \theta, \quad y_2 = R_2 \sin \theta \end{aligned} \quad (6)$$

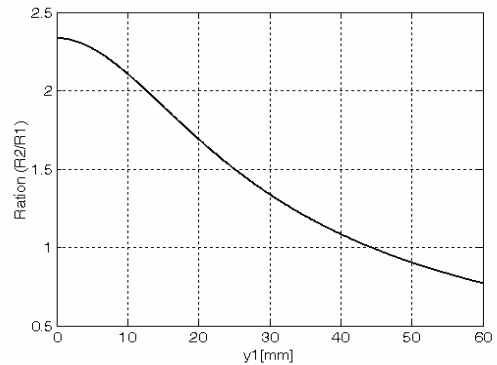


Fig. 6 Ration ( $R_2 / R_1$ ) according to  $y_1$

### 3.2 입력 스트로크 설계

양방향 기구를 가진 차단기에서 가동접점과 고정접점 분리되어 차단될 때 가동접점의 stroke 는 Fig. 7 과 식 (7)과 같은 조건들을 만족해야 한다.

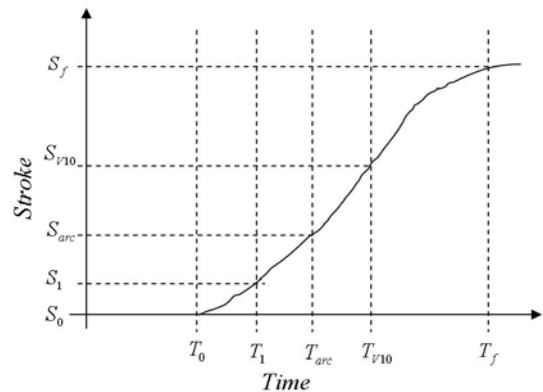


Fig. 7 Stroke curve for opening operation

$$\begin{aligned}
S(t_0) &= S_0 \text{ mm}, \quad S(t_1) = S_1 \text{ mm}, \\
S(t_{arc}) &= S_{arc} \text{ mm}, \\
S(t_{v10}) &= S_{arc} + V(t_{v10} - t_{arc}), \\
&\quad \text{at } t_{v10} = t_{arc} + 10\text{ms} \\
S(t_f) &= S_f \text{ mm}
\end{aligned} \tag{7}$$

여기에서  $t_0$  가동접점이 움직이기 시작하는 시간을,  $t_1$ 는 가동접점의 이동으로 고정 아크 접점이 움직이는 시간을,  $S_1$ 은 가동접점과 고정 아크 접점이 함께 이동하기 이전의 초기 떨어진 거리를,  $t_{arc}$ 는 고정 아크 접점이 분리되는 시간을,  $t_{v10}$ 은 고정 아크 접점이 분리된 후의 10ms가 경과한 시간을,  $t_f$ 는 접점들이 완전히 이동되어 차단된 시간을 나타낸다. 그리고  $v$ 는 아크 접점들의 분리 후 10ms 동안의 평균속도를 나타낸다. 또한  $t_0$ ,  $t_f$ 와  $S_0$ ,  $S_f$ 는 차단기에 의해 미리 결정되며,  $t_{v10}$ 과  $S_{v10}$ 도 만족해야 되는 차단속도에 의해 결정된다.

위의 조건을 만족하는 접점의 스트로크 곡선을 다항식 함수(polynomial function)를 이용하여 구하면 식 (8)과 같다<sup>(4)</sup>. 이러한 식으로부터 시간에 대한 변위와 속도를 얻을 수 있다.

$$S(t) = 1.9t + 2.4 \times 10^2 t^2 - 9.2 \times 10^3 t^3 + 1.2 \times 10^5 t^4 \tag{8}$$

### 3.3 개폐 메커니즘 특성

실제 아크접점이 분리되는 시점으로부터 10 ms 동안의 평균속도가 아크를 소호하는데 있어 많은 영향을 주고 있고 그 부분을 고려하여 설계된 스트로크 곡선과 링크의 상대비를 이용하여 설계된 변수를 input motion에 적용하였다. 차단시에 발생하는 가동부 및 고정부의 동적 특성을 확인하고 상세 설계를 위하여 ADAMS를 이용하여 개폐 메커니즘의 해석모델을 구성하였다. 이 모델을 이용하여 가동접점과 고정접점의 이동 특성을 Fig. 8과 같이 분석하였다.

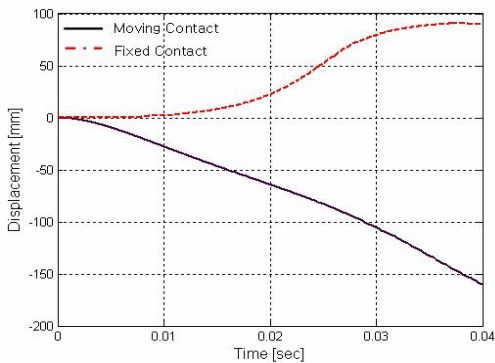


Fig. 8 Displacement for contact part

## 4. 결론

본 논문에서는 접점들 간의 속도 및 거리를 상대적으로 증가시켜 고장전류의 차단 및 절연회복 성능에 있어서 큰 장점을 가지는 가스차단기의 양방향 개폐 기구를 설계하였다. 이를 기반으로 양방향 개폐 방법 중 스카치 요크 기구를 이용하였으며 설계 변수 및 스트로크 곡선을 설계하였다. 먼저 양방향 기구로서 이중 스카치 요크 기구를 제안하고 설계 요구 조건으로부터 기하학적인 설계 변수들과 입력 스트로크를 설계하였다. 또한 개폐 메커니즘의 ADAMS 모델을 이용하여 설계를 검증하고 상세 설계를 수행하였다. 결론적으로 설계에 들어가 앞서 원하는 가동부 구동 곡선을 설계하고 해석을 통하여 검증을 하는 설계 프로세스를 구성함으로써 설계 효율성을 높게 되었다.

## 참고문헌

1. Flurscheim, C. H., "Power Circuit Breaker Theory and Design", Short Run Press Ltd., 1975.
2. 김홍규, 신승록, 정현고, 김두성, 권기영, "Puffer식 차단기 내의 냉가스 유동 해석," 대한전기학회 논문지, Vol. 48B, No. 7, pp233-239, 2000.
3. 한국전기연구원 "신차단방식 신기술 개발" 1단계 최종보고서, 과학기술부, 2001.
4. Erdman, A. G. and Sandor, G. N., 1984, Mechanism Design, Analysis and Synthesis Vol. 1, Prentice-Hall.