

전자반발력을 이용한 차단기의 자동 풀림 메커니즘의 설계 Auto-Release Mechanism Design of Circuit Breaker Using Electromagnetic Repulsion Force

*#양홍익¹, 안길영², 박우진³, 손진우⁴

*#H. I. Yang (hiyang@lsls.biz)¹, K. Y. Ahn², W. J. Park³, J. W. Son⁴
1,2,3,4 LS 산전 전력연구소

Key words : Air Circuit Breaker, Spring-Actuated Mechanism, Electromagnetic Repulsion Force, Auto-Release Mechanism

1. 서론

기중 회로차단기(air circuit breaker: ACB)는 배전 선로의 과전류와 단락사고 등의 선로 이상이 발생하였을 때 기중 소호 방식으로 전류를 차단하여 부하 기기를 보호하는 전기 기기이다. 이러한 차단기는 일반적으로 차단 용량이 크고, 과전류 차단장치가 부착 되어 있으며 필요한 부하의 조건에 따라 조절이 가능하도록 되어 있다. 현재 기중 회로차단기는 정격전압이 500 V, 정격전류가 630 ~ 3200 A, 차단전류는 65 kA 인 범위에 널리 사용되고 있다. 그러나 최근에는 차단 전류가 150 kA, 통전전류가 6300A 까지 될 수 있도록 점점 대용량화되고 있다. 일반적으로 기중 회로차단기는 전기 접점을 수십 ms 내에 고속으로 개폐(opening/closing)하기 위하여, 미리 인장 또는 압축된 스프링에 의해 링크 기구를 구동시키는 메커니즘을 사용한다⁽¹⁾. 이러한 스프링 구동 메커니즘(spring-actuated mechanism)의 장점은 구조가 간단하면서도 큰 질량을 가진 접점들을 수십 ms 동안에 높은 속도로 이동시킬 수 있으며, 스프링과 링크의 변형으로 간단하게 접점의 운동특성을 제어할 수 있다는 것이다⁽²⁾. Fig.1 은 본 연구의 대상 모델인 스프링구동 메커니즘을 가진 기중 회로 차단기의 형상을 나타낸다.

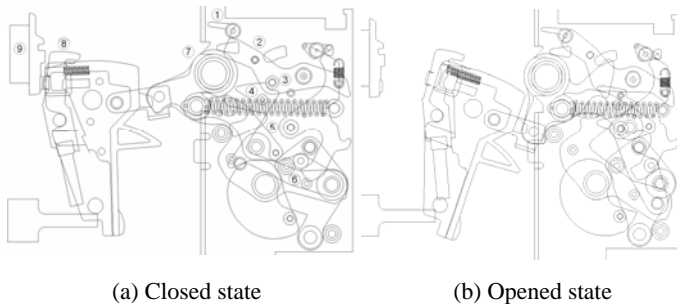


Fig. 1 Structure of air circuit breaker

Fig.1(a)는 주회로부의 가동자 8 이 고정접점 9 에 접촉된 투입상태로서, 주축 7 에 연결되어 있는 메커니즘의 링크절(링크 5, 6)은 토글되어 있는 상태이고 링크절 중 링크 4 는 래치 2 의 롤러 3 에 의해 지지되어 있다. 그리고 래치는 트립레버 1 에 지지되어 투입된 상태를 유지하고 있다. 즉, 트립레버가 해제되기 전에는 링크절은 토글된 상태에 있다. 단락전류가 과전류 트립장치에 의해 감지되면 트립레버를 회전시켜 토글되어 있는 링크절을 해지시키며 트립동작이 이루어진다. 하지만 150kA 와 같은 단락전류가 발생했을 경우에는 과전류 트립장치에 의해 트립레버가 회전하기 전에 주회로부의 전자반발력에 의한 반발 하중으로 인하여 토글되어 있는 링크절에 과도한 하중이 발생되어 가장 취약한 부분이 파손되게 된다.

본 연구에서는 차단 전류 150kA 의 단락상황이 발생하였을 때, 주회로부에 발생하는 전자반발력에 의해 메커니

즘에 전달되는 하중을 분석하고, 과전류 트립 장치에 의해 트립되기 전에 투입되어 있는 상태의 메커니즘 트립레버를 자동으로 해제시킴으로서 메커니즘의 파손을 방지할 수 있는 자동 풀림 기구를 설계한다. 또한 설계된 자동 풀림 기구를 동역학 해석(ADAMS, Pro-E MDO)을 통하여 시뮬레이션을 수행하고 검증하고자 한다.

2. 전자 반발력에 의한 메커니즘 전달하중 분석

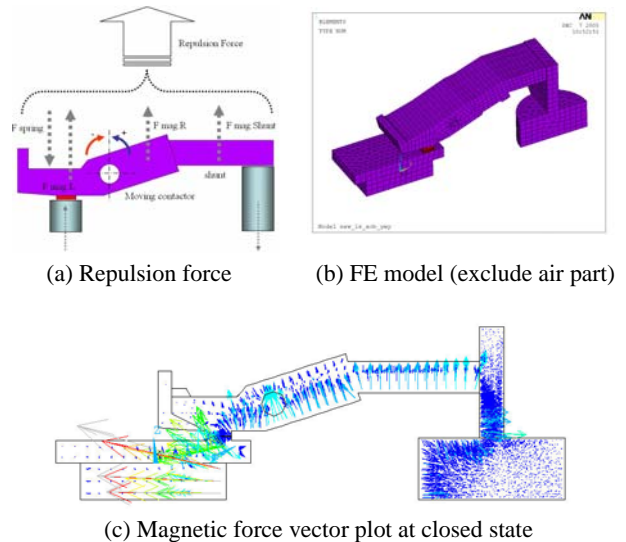


Fig. 2 Electromagnetic repulsion force of main circuit

Fig.2 는 차단 전류가 통전부인 회로차단기의 주회로부를 따라 흐를 때 발생하게 되는 전자반발력(electromagnetic repulsion force)의 구조와 반발력을 분석하기 위한 유한요소 모델을 보여준다. 그리고 주회로부에 발생하는 전자반발력은 ANSYS 의 EMAG-3D 을 이용하여 계산하였다⁽³⁾. Fig. 2(c) 는 130kA 의 차단전류가 흐를 때 주회로부 R 상의 가동부에 작용하는 전자반발력의 분포이며, 이때 반발력은 743kgf 이다. 이러한 힘이 기중 차단기의 3 상(R, S, T)에서 발생한다고 가정하면, 주회로의 반발력은 2230kgf 가 된다.

이 반발력을 Fig.3 과 같이 메커니즘의 주축 7 에 전달되는 힘으로 계산하면 2936kgf 가 되며, 메커니즘 토글 링크인 링크 5 와 링크 6 에 전달되는 힘은 각각 1158kgf 와 1123kgf 가 된다. 이러한 힘이 토글 링크에 일정시간 계속적으로 작용한다면, 토글 링크는 변형하거나 파손되어 기중 회로차단기의 동작을 불가능하게 만든다. 따라서 130kA 이상의 차단전류가 통전되는 시점에서 기중 회로차단기의 메커니즘이 해제가 될 수 있다면, 토글 링크의 변형과 파손을 방지할 수 있게 된다. 또한 전자반발력 해석을 통하여 특정 범위의 사고전류에서 발생하는 전자반발력으로 인해 메커니즘에 전달되는 하중을 얻어낼 수 있게 됨으로써 자동 풀림 메커니즘의 동작하중을 결정 할 수 있게 된다.

3. 자동 풀림 메커니즘의 설계

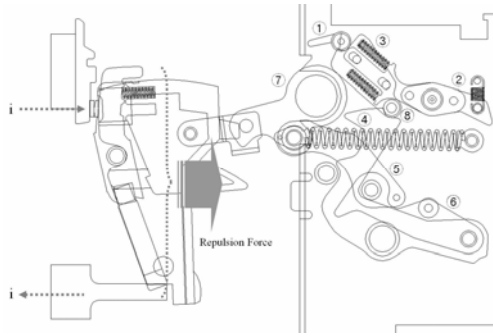


Fig. 3 Structure of ACB by using auto-release mechanism

본 설계에서 구현하고자 하는 자동 풀림 메커니즘의 가장 중요한 설계변수는 차단시 발생하는 전자반발력에 의해 주회로부에 연결되어 있는 메커니즘 구성링크에 전달되는 하중이다. 즉, 단락시 링크 4에 의해 래치 링크 3의 롤러 8에 가해지는 하중일 것이다. 또한 차단 전류 150kA의 전자반발력이 링크절(링크 4, 5)에 모두 전해질 경우 링크절의 파손이 있기 때문에 150kA에 도달하기 전인 130kA 정도의 차단전류일 때 자동 풀림 메커니즘이 동작해야 한다. 따라서 본 연구의 메커니즘의 설계에서는 단시간 전류인 100kA의 반발력에서는 구동되지 않고 약 130kA의 차단전류가 인가되었을 때 자동 풀림 장치(Auto-Release Mechanism)를 동작시키는 기구 설계와 그에 맞는 스프링 설계를 수행하였다.

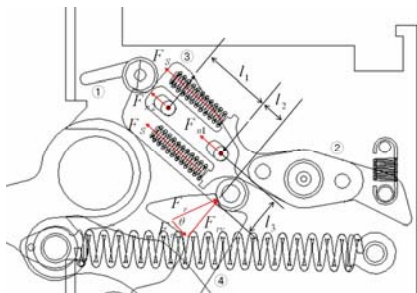


Fig. 4 Design of auto-release mechanism

Fig.4는 자동 풀림 래치의 링크절 구성 및 동작 시점을 결정하는 압축스프링의 설계를 나타내고 있다. 링크절의 설계 구성은 단락시 롤러에 가해지는 하중을 F_r 로 정하면, F_r 의 x 방향 분력을 이용하여 자동 풀림 래치의 링크 3을 슬라이딩 시켜 트립레버 1에서 벗어나게 하는 구조이다. 따라서 130kA의 차단전류에 의한 래치의 동작은 장착된 스프링 하중과 슬라이딩 되는 핀의 마찰력에 의해 정해질 수 있다. 여기서 슬라이딩 되는 핀의 마찰력은 움직이기 전의 정지마찰력으로 가정한다. 그리고 F_r 의 x, y 방향에 대한 분력은 수식(1)과 같이 표현된다.

$$F_{rx} = F_r \cos \theta, F_{ry} = F_r \sin \theta \quad (1)$$

Fig.4의 구조에서 슬라이딩을 구동시킬 수 있는 하중은 F_r 의 x 방향 분력인 F_{rx} 이다. 또한 슬라이딩 되는 각 핀에서 전달되는 하중을 F_{n1} 과 F_{n2} 로 정하고 그 때의 정지 마찰력을 μ 로 정하면, 원하는 압축 스프링 F_s 의 하중 설계는 다음 식으로 얻어질 수 있다. 우선, F_{n1} 과 F_{n2} 의 슬라이딩 되는 핀에 전달되는 하중은 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$F_{n1}l_1 = F_{ry}(l_1 + l_2) + F_{rx}l_3, \quad (2)$$

$$F_{n2} = (F_{ry}(l_1 + l_2) + F_{rx}l_3) / l_1 \quad (3)$$

$$F_{n2}l_1 = F_{ry}l_2 + F_{rx}l_3, \quad (4)$$

$$F_{n2} = (F_{ry}l_2 + F_{rx}l_3) / l_1 \quad (5)$$

위의 식에 따라 래치를 구동시킬 수 있는 스프링 설계 하중은 다음 수식으로 얻을 수 있다.

$$F_{rx} = 2F_s + \mu(F_{n1} + F_{n2}) \quad (6)$$

$$F_s = 0.5(F_{rx} - \mu(F_{n1} + F_{n2})) \quad (7)$$

앞 절에서 언급한 것처럼 주축에 2936kgf의 하중이 전달될 경우 래치 롤러에 전달되는 하중은 360kgf이므로 위의 설계 식에 넣어 자동 풀림 메커니즘에 적용할 수 있다. 그리고 설계된 변수와 모델을 동역학 해석에 적용하여 하중 분석을 수행하였고 시뮬레이션을 통하여 동적 움직임을 확인하였다. 또한 LS 산전이 보유한 기중 회로차단기의 단락시험설비(PT&T)를 이용하여 500V, 150kA에 대한 차단시험을 실시하였다. 여기서 자동 풀림 래치가 장착되지 않는 차단기는 과전류 트립 장치를 통하여 동작하기 때문에 차단 시간이 30ms였다. 이때 차단은 성공되었지만 차단전류 150kA의 전자반발력이 작용되어 메커니즘 토글 링크의 변형 및 파손이 발생되었다. 그러나 자동 풀림 기구가 장착된 차단기는 Fig. 5와 같이 차단시간이 11ms로서 130kA의 전류 시점에서 자동 풀림 래치에 의한 동작이 이루어져 메커니즘에 어떠한 변형도 발생시키지 않으면서 차단을 할 수 있다는 것을 검증하였다.

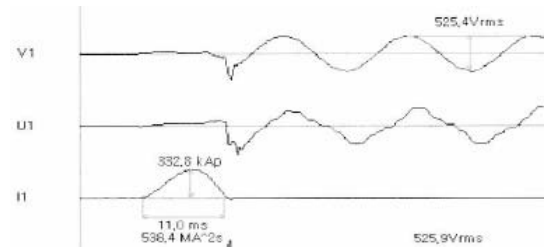


Fig. 5 Short circuit test of ACB with auto-release mechanism

4. 결론

본 논문에서는 과전류 트립 장치에 의해 차단전류를 감지하여 트립을 시키는 기존의 기중 회로차단기와는 달리 높은 차단전류에 의해 발생하는 전자반발력을 이용하여 자체의 기구적인 특성으로 트립을 할 수 있는 자동 풀림 메커니즘을 설계하였다. 전자반발력의 하중 전달을 기반으로 모멘트 암의 특성을 이용한 자동 풀림 래치의 링크를 설계하였고, 일정한 범위내의 사고전류에서 차단기의 트립이 이루어질 수 있도록 설계하였다. 또한 설계된 자동 풀림 래치를 동역학 해석 모델에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 차단기의 단락 시험시에도 적용하여 자동 풀림 기구의 성능을 확인하였다.

참고문헌

1. Flurscheim, C. H., Power Circuit Breaker Theory and Design, Short Run Press Ltd., 1975.
2. Van Sickle, R. C. and Goodman, T. P., "Spring Actuated Linkage Analysis to Increase Speed," Product Engineering, Vol. 24, pp. 152-157, July, 1953.
3. 박우진, 김기환, 안길영, 오일성, "ANSYS를 이용한 전기 접촉 기구의 전자 반발력 분석 및 온도 상승 예측," 한국 정밀공학회 춘계 학술대회, 2005.