

4P 전자접촉기의 수명 향상

이경구, 류종상, 김건목, 박지홍, 조현길, 서정민
LG산전(주) 전력연구소

Lifetime improvement of 4P Magnetic Contactor

Kyung-Ku Lee, Jong-Sang Ryu, Gyeon-Mook Kim, Ji-Hong Park, Hyun-Kil Jo, Jung-Min Se
LGIS Co.,Ltd. Electrothechnology R&D Center

Abstract - This paper proposes impact vibration theory of magnetic contactor moving mechanism and correlation test the bouncing time with the spring load. Mechanical and electrical lifetime is under the influence of impact vibration of magnetic contactor moving mechanism. In shortage of technique, we have experienced many difficulties in magnetic contactor development. By this research, we analyzed total moving mechanism and applied results to optimum 4p magnetic contactor development.

1. 서 론

전자접촉기는 모터를 기구적으로 개폐하는 전력기기로써 자동화 시스템, 공작기계, 전력 설비등 산업계 전반에 걸쳐서 폭 넓게 사용되고 있다. 3P 전자접촉기가 주로 모터부하용으로 쓰이는 것과 달리 4P 전자접촉기는 주로 가로등, 터널등과 같은 저항부하용 전력기기의 개폐에 사용된다. 4P 전자접촉기가 일반 전자접촉기와 구조상 가장 큰 차이점은 R,S,T 3Pole 외에 N상이 추가되어 4Pole을 구성한다는 것이다.

생산 및 전력 설비가 자동화 되어가는 추세에서 전자접촉기의 동작 불량으로 발생하는 문제는 생산 및 전력 설비의 심각한 손해를 끼치므로 고신뢰성, 장수명의 전자접촉기 개발이 중요한 과제로 떠오르고 있다. 본 연구에서는 이러한 산업환경과 고객의 요구를 반영하여 기계적, 전기적 수명이 기존의 제품보다 탁월한 4P 전자접촉기를 개발하기 위하여 전자접촉기 가동부의 충격 진동에 관한 실험을 수행하였다. 전자접촉기는 기구적으로 빈번한 개폐 동작을 수행하기 때문에 가동부의 충격 진동 현상은 중요한 문제로 대두되어 왔다. 특히 시스템에서의 충격 진동 현상은 피로에 의한 파괴를 유발하고 기계요소들의 마모를 촉진시키며 시스템의 고유진동수(natural frequency)와 가진력의 고유진동수가 일치할 때는 공진(resonance)현상을 유발하여 시스템에 나쁜 영향을 끼칠 수 있다. 전자접촉기에서는 진동 현상이 이러한 기계적 특성만 영향을 미치는 것이 아니라 전기적 특성까지도 심각한 영향을 미친다. 본 연구에서는 진동 응답 시간(bouncing time)을 단축하기 위하여 3P 스프링 보다 반발력이 큰 스프링을 4P 전자접촉기에 적용하여 3P과 4P의 진동 응답 시간을 상호 비교하여 4P 전자접촉기에서 진동 응답 시간의 개선 효과를 실험을 수행하여 확인해 보았다. 전자접촉기 가동부는 스프링 반발력과 코어 흡인력의 상관관계로 구동되는 기구이므로 스프링의 진동 및 하중 특성을 분석하여 가동 메카니즘 현상을 규명하고 고신뢰성, 장수명의 4P 전자접촉기를 개발하고자 하였다.

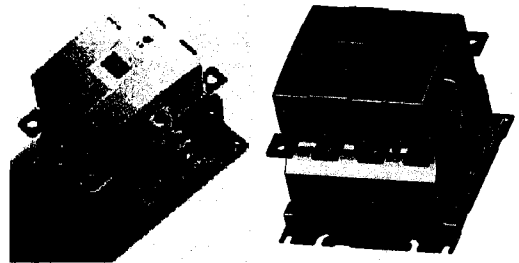


그림 1 3P(좌), 4P(우) 전자접촉기

2. 본 론

2.1 전자접촉기 가동부의 충격 진동

전자접촉기 가동부는 코어 흡인력과 스프링 반발력의 결합으로 운동 메카니즘이 이루어져 있기 때문에 코어와 접점의 주기적인 개폐 동작으로 인해 기계적 수명뿐만 아니라 전기적 수명에도 심각한 영향을 끼친다. 기계적 수명의 미치는 효과로는 코어의 반복 동작으로 인해 고정코어(fixing core), 가동코어(moving core), 핀(pin)등의 피로 파괴 현상을 유발하고 접점대에서는 접점의 처짐 현상을 유발한다. 전기적 수명의 미치는 효과로는 전류를 개폐할 때 가동 접점과 고정 접점 사이에서 전자 반발력이 발생하기 때문에 접점을 개폐할 때 기계적 진동뿐만 아니라 전자 반발력으로 인한 진동 현상을 고려해야 한다. 따라서 접점에서의 진동 응답 시간이 짧으면 짧을수록 접점의 수명은 향상된다.

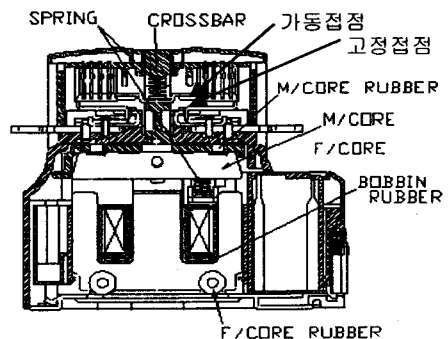


그림 2 전자접촉기 단면도

전자접촉기 가동부의 진동 현상은 1차 진동 현상과 2차 진동 현상으로 분류될 수 있다. 1차 진동 현상은 코아 흡인력으로 인해 가동부의 가동 접점이 고정부의 고정 접점에 충돌하여 발생하며, 2차 진동 현상은 가동 코아가 고정 코아에 충돌하여 발생하게 된다. 1차 진동 현상에서 문제가 되는 경우는 고정 접점과 가동 접점의 충돌로 인해 전자접촉기의 핵심 부품인 접점이 진동 효과로 심하게 소손 된다. 이것은 또한 기계적 충돌 현상 외에 접점이 순간적으로 석방되면서 발생하는 전자 반발력의 효과로 인하여 진동 현상이 더욱더 심해지게 된다. 전자접촉기의 2차 진동 현상인 가동, 고정 코아의 충돌은 고정 코아의 셰딩코일(shading coil)이 피로 하중을 받아 단선의 원인을 제공하며, 또한 고정 코아의 마모 및 변형을 촉진시켜 공극(air gab)이 줄어들어 석방 불량을 일으킨다.

2.2 전자접촉기 가동부의 충격 진동 이론

2.2.1 충격 진동 이론

전자접촉기의 고정부가 흡인력 $F(t)$ 를 받을 때 이 힘은 크기가 변화하는 일련의 충격량으로 이루어져 있다고 간주할 수 있다. 시간 τ 에서 힘 $F(\tau)$ 가 $\Delta\tau$ 의 짧은 순간 동안 계에 작용한다고 가정하면 $t = \tau$ 에서 작용하는 충격량은 $F(\tau)\Delta\tau$ 가 된다. 임의의 시점 t 에서 충격량이 가해진 후 경과한 시간은 $t - \tau$ 이므로 시간 t 에서 이 충격량의 응답은 식(2-1)로 표현할 수 있다.^{[2],[4]}

$$x(t) = \frac{1}{m\omega_d} \int_0^t F(\tau) e^{-\zeta\omega_n(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau \quad (2-1)$$

$F(t) = F_0$ 로 가정하면 식(2-2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \right) \quad (2-2)$$

$$x(t) = \frac{F_0}{k} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cdot e^{-\zeta\omega_n t} \cos(\omega_d t - \phi) \right] \quad (2-3)$$

여기서 $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$, $\omega_d = \sqrt{1-\zeta^2} \omega_n$, $\zeta = \frac{c}{2m\omega_n}$ 이다.

식(2-3)을 이용하여 가동부의 충격 응답 곡선을 구할 수 있고 전자접촉기 가동부의 질량(m), 강성도(k), 감쇠(c) 등의 인자가 상호 작용하여 가동부의 충격 진동 메카니즘을 형성한다.

2.2.2 스프링의 진동 이론

전자 접촉기 진동 현상에서 또하나 중요하게 고려해야 할 것은 스프링의 진동 현상을 고려해야 한다. 3P 전자접촉기에는 2a2b 보조 접점을 기준으로 할 때 총 11개의 압축 코일 스프링이 사용되며 4P 전자접촉기에는 12개의 압축 코일 스프링이 사용되기 때문에 스프링의 진동으로 인한 공진 현상이 초래되어 시스템에 심각한 영향을 줄 수도 있다. 그러므로 설계자는 스프링의 공진 현상인 sagging을 피하기 위해 스프링의 고유진동수를 가진원의 모든 주파수와 공진하는 것을 피하도록 설계해야 한다. 감쇠장치가 없는 자유도계인 경우 스프링의 고유진동수 f 는 식(2-4)로 표현할 수 있다.^{[3],[4]}

$$f = \frac{n}{2} \sqrt{\frac{k}{m_s}} \quad (2-4)$$

여기서 k 는 스프링정수이고 m_s 는 스프링 질량, m 은 가동부 질량, n 은 스프링의 유효권수, f 는 고유진동수이다.

2.3 흡인력과 반발력의 상관 관계

전자접촉기는 가동부의 스프링 반발력과 코아 흡인력의 상관관계에 의해 구동되고 스프링 반발력과 코아 흡인력이 전자접촉기의 충격 진동을 발생시킨다. 따라서 스프링 반발력과 코아 흡인력의 운동 메카니즘을 해석해야 이로 말미암은 코아의 충격 진동을 제어할 수 있다. 코아 흡인력은 식(2-1), (2-3)에서 충격력으로 작용하며 흡인력이 작을수록 진동 억제 효과가 있으나 이것은 스프링의 반발력에 의해 제어된다. 또한 스프링 반발력은 가동부의 진동 응답 시간을 결정하는 인자로 작용하여 반발력이 클수록 진동 응답 시간 감소 효과가 있으나 이것은 흡인력을 억제 하므로 전자접촉기를 가동하기 위해서는 이 관계를 명확히 규명해야 한다. 또한 식(2-4)에 의해 흡인력과 더불어 전자접촉기 가동시스템의 진동 특성을 결정하게 된다. (그림 3)를 볼 때 사용 전압이 낮을수록 흡인력이 작아짐을 알 수 있다. 전자접촉기 가동부의 load curve에서 스프링 하중은 항상 코아 흡인력 곡선보다 아래에 위치해야 한다. 왜냐하면 코아 흡인력이 스프링 하중보다 커야 스프링의 반발력을 이기고 코아가동부가 흡인되기 때문이다. 전자접촉기의 가동부가 흡인되기 위한 최저 전압은 보통 사용 전압 흡인력의 80% 이하로 설계하므로 전자접촉기 개발시 이 조건을 만족하도록 코아 흡인력과 스프링 하중을 조절하여 최적 설계를 해야 한다. 만약 스프링 하중이 코아 흡인력의 100% 이상일 경우에는 전자접촉기의 가동부가 흡인되지 않는다. 또한 스프링 하중이 코아 흡인력 보다 지나치게 낮다면 전자접촉기 가동부가 석방되지 않거나 개방 시간의 증가를 가져와 전자접촉기의 심각한 수명 단축을 가져온다. 따라서 전자접촉기의 가동 메카니즘을 설계시 스프링 하중과 코아 흡인력이 상호 균형을 이루어 동작하도록 설계해야 한다.

(그림 3)에서 백 스프링이 최초 동작하는 지점부터 콘택트 스프링이 최초 동작하는 지점이 가동 접점이 가동하여 고정 접점에 충돌하여 1차 진동 현상이 발생하는 시점이다. 그리고 콘택트 스프링이 최초 동작하는 지점부터 모든 스프링의 압축 동작이 완료되는 지점까지가 가동 코아가 고정 코아에 충돌하여 2차 진동 현상이 발생하는 시점이다. (그림 3)에서 초기 흡인력을 결정하는 인자는 백 스프링의 하중임을 알 수 있고 가동 접점과 고정 접점의 접촉 하중을 유지시켜주는 콘택트 스프링의 하중이 높을수록 가동 접점이 빨리 석방된다. 즉 진동 응답 시간이 짧을수록 arc 발생을 억제하여 접점 소모를 막을 수 있으므로 전자접촉기의 전기적 수명 향상을 가져온다. 따라서 백 스프링의 하중을 높게 콘택트 스프링의 초하중을 낮게 중하중을 높게 하중 기울기를 크게 설계하는 것이 스프링 최적 설계의 관건임을 알 수 있다.

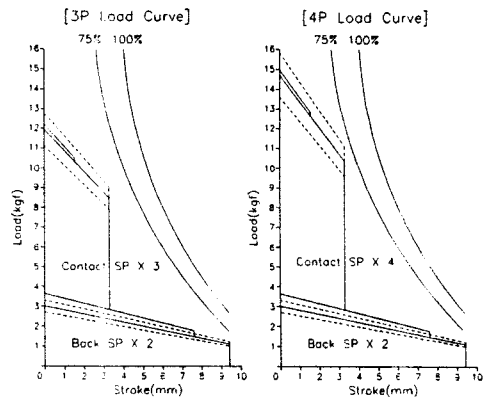


그림 3 Load Curve

2.4 진동 응답 시간(bouncing time)

기존의 3P 전자접촉기보다 고신뢰성, 장수명의 4P 전자접촉기를 개발하기 위해 3P 전자접촉기보다 진동 응답 시간이 단축된 4P 전자접촉기를 개발하고자 하였다. 전자접촉기는 빈번한 개폐로 말미암아 기계적, 전기적 수명이 전자접촉기의 특성을 결정한다. 전자접촉기의 수명을 좌우하는 중요한 요인중의 하나가 전자접촉기의 진동 응답 시간이다. 진동 응답 시간이 짧을수록 가동접점과 고정접점의 개폐로 발생하는 arc의 양을 감소시켜 접점의 손상을 지연시켜 전자접촉기의 수명을 연장시킨다. 본 연구에서는 이러한 전자접촉기의 진동 응답 시간을 감소시키기 위해 스프링의 반발력을 이용하였다. 스프링의 반발력을 3P 스프링 반발력 보다 1.5배 증가시켜 상대적으로 전자접촉기의 가동부가 고정부에 충돌할 때 발생하는 충격량을 감소시키는 것이다. 또한 3P 전자접촉기에서 발생하는 코아 흡인력이 동일하다면 4P 전자접촉기에서의 스프링 반발력이 3P 보다 크기 때문에 충격량 감소 효과를 발생시켜 진동 응답 시간이 줄어 드는 효과를 얻을 수 있다. 다음 그림과 표는 3P와 4P의 진동 응답 시간을 상호 비교한 것이다.

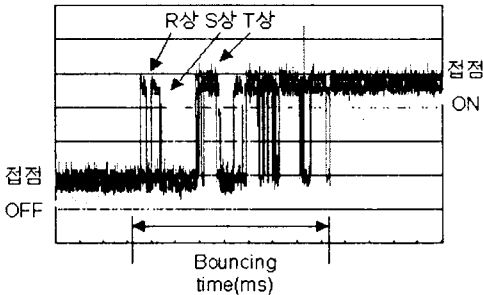


그림 4 3P 전자접촉기 bouncing time

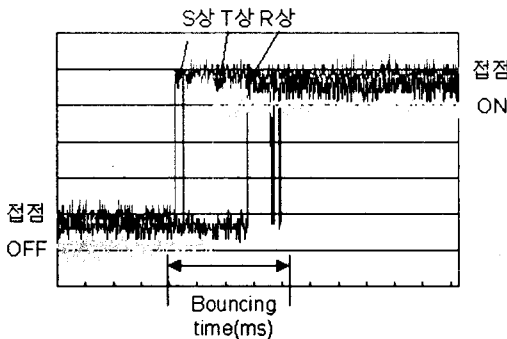


그림 5 4P 전자접촉기 bouncing time

흡인시 Bouncing time		단위:ms			
Pole	회수	1차	2차	3차	평균
R상		1.96	3.12	3.28	2.73
S상		3.08	3.56	2.92	3.40
T상		3.2	4.28	3.48	3.92

표 1 3P 전자접촉기 bouncing time

흡인시 Bouncing time 단위:ms

회수		단위:ms			
Pole	회수	1차	2차	3차	평균
R상		1.84	1.1	1.78	1.35
S상		0.7	0.9	0.78	0.83
T상		1.28	1.24	1.24	1.25

표 2 4P 전자접촉기 bouncing time

그래프와 표에서 알 수 있듯이 3P 전자접촉기의 진동 응답 시간 보다 4P 전자접촉기의 진동 응답 시간이 현저하게 단축된 것을 알 수 있다. 상기의 그림과 표는 가속도 변위계를 이용해 실측한 측정값이다. 변위계의 센서를 고정접점에 설치하여 가동부의 충격 진동으로 인한 진동 응답 시간을 측정하였다. 측정값을 통해 진동 응답 시간의 개선 효과를 분명히 알 수 있다. 스프링 반발력을 크게 하면 기계적, 전기적 수명 향상은 물론 전자접촉기가 통전될 때 온도 상승을 낮추어 전자접촉기 전체의 내열성에도 개선 효과를 얻을 수 있다. 그러나 무한정 스프링 반발력을 크게 하면 안되고 상기에서 진술된 바와 같이 코아 흡인력과 가동 메카니즘을 고려하여 스프링 반발력을 설정해야 한다.

3. 결 론

본 연구를 통해 전자접촉기의 수명 향상의 주요 인자인 진동 응답 시간 단축을 위해서는 스프링 반발력을 크게 하는 것임을 알 수 있었다. 그리고 본 연구 결과를 실제 4P 전자접촉기 개발에 적용하여 고신뢰성, 장수명의 전자접촉기를 개발하게 되었다.

(참 고 문 헌)

- [1] G. M. Hieber et al., Understanding and measure shock response spectrum, Part I, Sound and Vibration, 8, March 1974, pp. 42-49
- [2] R. E. D. Bishop, A. G. Parkinson, and J. W. P. Linear analysis of transient vibration, Journal of and Vibration, Vol. 9, 1969, pp. 313-337
- [3] Y. Matsuzaki and S. Kibe, Shock and seismic response spectra in design problems, Shock and Vibration, Vol. 15, October 1983, pp. 3-10
- [4] Singiresu S. Rao, Mechanical Vibration, Addison, pp. 1-486
- [5] 石敏郎, 坪島茂彦, 交直マグネットの設計と應用, オーム株, 1971, pp. 43-107-