

유연한 평판 스프링을 가진 열동형 과부하 릴레이 메커니즘의 동적거동 시뮬레이션

Simulation of Dynamic Behavior of Thermal Overload Relay Mechanism with Flexible Flat Springs

안길영*, 권병희*, 이경구*, 김건목*, 엄위상**
K. Y. Ahn*, B. H. Kwon*, K. K. Lee*, K. M. Kim* and W. S. Eom**

ABSTRACT

A thermal overload relay is a device that transmits the off signal to the magnetic contactor before an electric motor or machine is damaged due to over current. However, except for over current condition, the relay mechanism must not transmit the signal under vibration and external impact. In this paper, firstly, the dynamic behavior of the relay mechanism with a reversal mechanism, which is composed of flexible flat and coil springs, is analyzed using ADAMS. The flexible flat spring is modeled using a beam element and its model is verified through the free vibration experiment of the spring. In order to design robustly under external vibration, the procedure for stability test of the relay mechanism is proposed using the verified dynamic model, and its appropriateness is validated.

Key Words : Thermal Overload Relay(열동형 과부하 릴레이), Flat Spring(평판스프링), Reversal Mechanism(반전 기구), Stability Test(안정성 평가).

1. 서 론

열동형 과부하 릴레이(thermal overload relay: TOR)는 과전류로 인하여 모터 또는 전기기기가 소손 되기 전에 전자 접촉기(magnetic contactor: MC)를 차단시켜 회로를 끊어주는 역할을 하는 전력기기이다. 동작 원리는 과전류에 의해 바이메탈(bimetal)이 만곡하여 기구적으로 구성된 제어 회로의 접점을 차단시켜 전기기기를 과전류로부터 보호한다. 따라서 이러한 릴레이 메커니즘은 외부 진동이나 인접되어 위치된 다른 전자 접촉기의 개폐동작 시에 발생하는 충격에 대해서는 기본적으로 오동작을 하지 않도록 설계되어야 한다.

본 논문에서는 외부 진동에 대하여 강인한 릴레이의 개발을 위해, 먼저 바이메탈의 만곡 특성

을 전달하기 위한 구성된 평판 스프링(flat spring)을 가진 릴레이 메커니즘을 모델링하고 동적거동을 분석한다. 여기에서 가장 중요한 기구 요소인 반전 기구(reversal mechanism)의 유연한 평판 스프링은 ADAMS의 빔 요소(beam element)로 모델링되어 지고, 실험적으로 검증된다. 그리고 이러한 실제 릴레이의 시뮬레이션을 할 수 있는 동역학적 모델을 기반으로, 외부 충격에 대하여 릴레이의 안정성을 평가하는 방법을 제안하고 검토한다.

2. 구조 및 동작원리

TOR 는 Fig. 1 과 같이 MC 에 연결되어 지며, MC 에 흐르는 전류는 바이메탈(bimetal) 부분에도 흐르게 된다. 만일 과전류가 흐르게 된다면, 바이메탈이 만곡하여 TOR 의 기구부(relay mechanism)를 가동시키게 된다. 이러한 릴레이 기구부의 동작은 Fig. 2 와 같은 순서로 진행된다. 과전류에 의해 주 바이메탈(main bimetal)이 만곡하여 이송 장치(shifter)를 우측으로 이동시키면, 이송 장치의 선

* LG 산전(주) 전력연구소

** LG 산전(주) 청주공장 설계 1 팀

단부가 온도 보상 바이메탈(compensation bimetal)의 자유단을 누르게 된다. 이러한 변위는 온도 보상 바이메탈과 연결된 석방 레버(release lever)를 조정 링크(adjust link)의 원형 돌기의 중심점을 중심으로 반시계 방향으로 회전시킨다. 석방 레버의 회전에 의해 석방 레버가 반전 기구의 중앙 부분을 반전하는 위치까지 누르면 반전 기구의 좌측 부분이 시계방향으로 회전하게 되어, 통상 폐쇄 고정 접점과 통상 폐쇄 가동 접점은 개로 하게 되고 개로 상태에 위치한 통상 개방 가동 접점이 폐로 상태로 전환하게 된다.

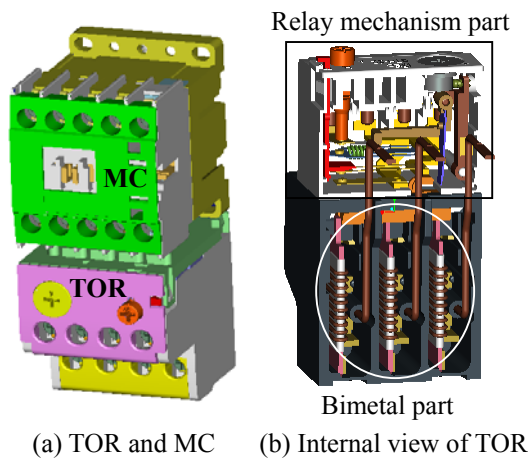
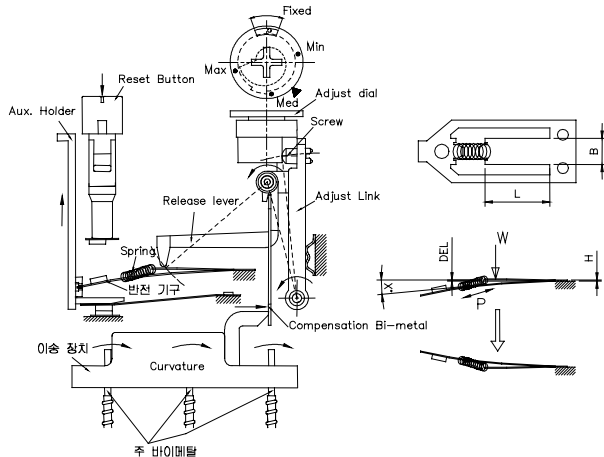


Fig. 1 Structure of thermal overload relay mechanism



(a) Total relay mechanism (b) Reversal mechanism
Fig. 2 Relay mechanism of TOR

동작 전류를 변화시키고자 할 경우에는 동작 전류의 변화에 수반하는 전류의 발열이 변함으로 주 바이메탈의 만곡량이 변하게 되므로 주 바이메탈 만곡량과 상응하는 간격을 조절할 필요성이 있다. 조정 다이얼(adjust dial)이 이러한 역할을 하며, 조정 다이얼을 회전시켜 조정 다이얼의 캠곡선의 형상을 따라 조정 링크는 외형틀(outer case)에 연

결된 회전 조인트를 중심으로 회전함으로써 석방 레버의 고정 위치를 변하게 하고 반전 기구의 반전 위치를 변화시킨다. 이 때 반전 기구의 위치를 원래의 위치로 복귀시키고자 할 때에는 리셋 버튼(reset button)을 사용한다. 리셋 버튼을 누르면 리셋 버튼은 아래로 이동하여 리셋 버튼이 통상 개방 고정 접점을 아래로 밀어내고 반전 기구의 좌측 부분이 아래로 힘을 받아 압축 스프링과 반전 기구의 힘의 반전이 일어나 반전 기구는 다시 보조 홀더(aux. holder)와 함께 아래로 이동하여 보조 홀더가 통상 폐쇄 가동 접점을 아래로 누르게 된다. 따라서 통상 폐쇄 가동 접점이 통상 폐쇄 고정 접점과 접촉시켜 단자와 단자를 통전시킨다. 동작이 기구적으로 원할이 일어나는지를 시험하고자 할 때에는 보조 홀더를 들어올림으로써 반전 기구를 반전시킨다.

3. 모델링

TOR 에서 가장 중요한 부분은 평판 스프링과 코일 스프링의 조합으로 이루어진 반전 기구임을 Fig. 2 에서 알 수 있다. 즉 외부 충격이나 진동에 의해서 반전 기구가 반전되지 않는다면 TOR 은 원래 상태를 유지하게 된다. 따라서 TOR 의 기구부를 전체 모델링에 하기 전에, 먼저 반전 기구가 실제와 같은 유연한(flexible) 효과를 가지도록 ADAMS 의 빔 요소를 사용하여 모델링된다. 다음 반전 기구의 모델은 전체 모델에 병합(merge)된다.

3.1 평판 스프링을 가진 반전 기구의 모델링

반전 기구는 Fig. 3 에서 같이 바깥쪽과 안쪽 판 스프링들과 이들을 연결하는 코일 스프링으로 이루어져 있다. 안쪽의 평판 스프링에 비하여 바깥쪽은 폭과 길이가 더 짧고 길기 때문에 유연한 효과는 더욱 크게 된다. 따라서 먼저 바깥쪽 평판 스프링을 Fig. 4 와 같이 실제 형상보다 단순하게 빔 요소를 사용하여 모델링한다. 여기에서 끝부분의 삼각형은 강체로 모델링하고, 짧고 긴 부분은 빔 요소 10 개를 사용하여 한쪽은 ground 에 연결하고 다른 한쪽은 끝부분의 강체에 연결한다.

ADAMS 의 빔 요소가 실제 평판 스프링의 거동을 잘 시뮬레이션하기 위한 중요한 변수는 감쇠 상수(damping coefficient)이다. 이것은 Fig. 5 와 같이 바깥쪽 평판 스프링의 자유진동을 측정하여, Fig. 4 의 모델에 의한 자유진동과 비교하여 구하였다. Fig. 6 는 평판 스프링의 끝을 2 mm 정도 처지게 한 후의 자유진동으로 인하여 측정된 변위를 나타내고, Fig. 7 는 변위 신호를 주파수 분석한 것으로

실제 고유진동수는 87 Hz 였다.

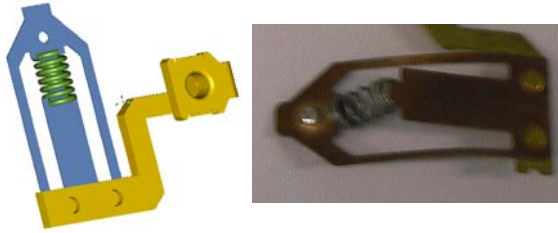


Fig. 3 Reversal mechanism of TOR

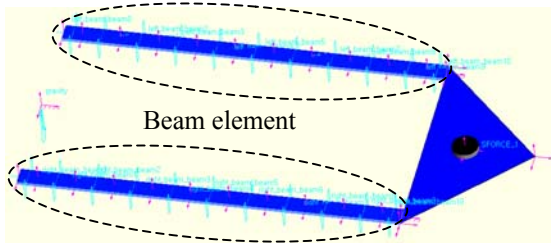


Fig. 4 Outer flat spring model of reversal mechanism

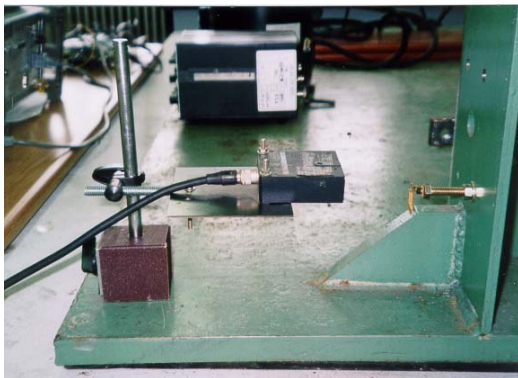


Fig. 5 Experiment setup for free vibration test

Figure 8(a)는 Fig. 4 의 모델에 의한 자유진동과 실험에서 측정된 변위의 진폭을 비교한 것이다. 실험과 시뮬레이션이 거의 유사함으로부터, 바깥쪽 평판 스프링의 모델링은 타당함을 알 수 있다. 이때, 빔 요소의 감쇠 상수는 3×10^{-6} 이다. Figure 8(b)는 모델의 고유진동수로서 거의 85.4 Hz 로 실제 측정된 것과 유사하였다.

이 결과들로부터 릴레이 메커니즘의 반전 기구와 보상 바이메탈의 유연한 요소들은 간단히 ADAMS 의 빔 요소들에 의해 모델링되어 질 수 있음을 알 수 있다. 따라서 판 스프링들과 코일 스프링으로 이루어진 반전 기구는 Fig. 9 와 같이 모델링되어, 전체 릴레이 메커니즘의 모델에 병합된다. 여기에서 안쪽 평판 스프링은 8 개의 빔 요소를 사용하여 모델링 하였다.

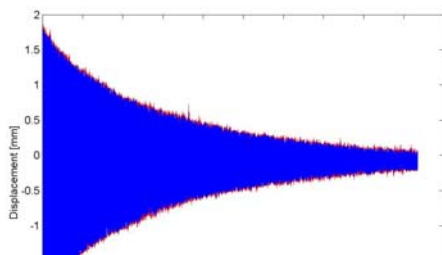


Fig. 6 Displacement at end point of outer flat spring

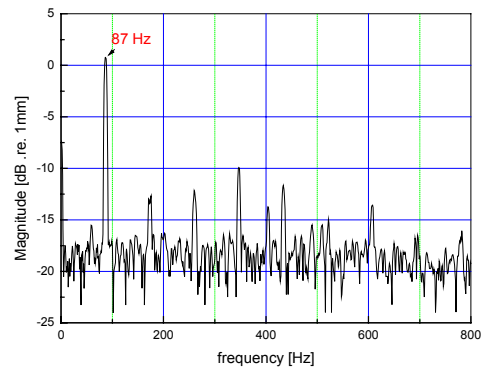
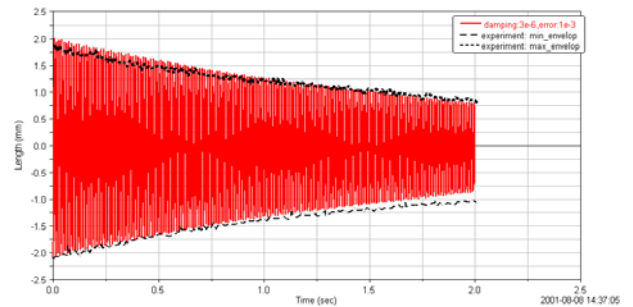
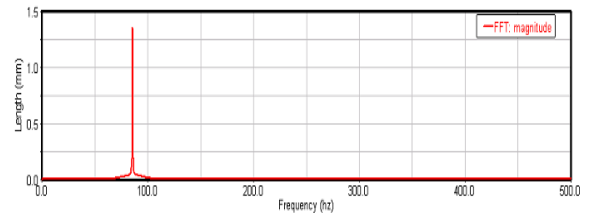


Fig. 7 Natural frequency of outer flat spring



(a) Displacement



(b) Natural frequency of model

Fig. 8 Comparison between simulation and experiment

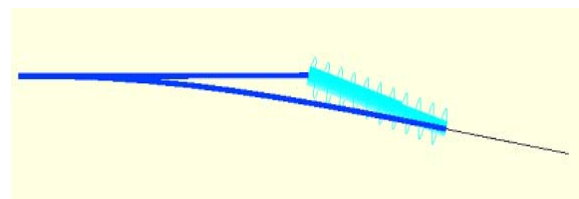


Fig. 9 ADAMS model of reversal mechanism

3.2 TOR 기구부의 모델링

TOR의 릴레이 메커니즘 전체에 대한 ADAMS 모델은 Fig. 10과 같다. 여기에서 외형틀(outer case)은 지면(ground)과 고정 조인트로, 석방 레버는 외형틀과 회전 조인트로, 이송 장치는 지면과 병진 조인트로, 보조 홀더(auxiliary holder)는 외형틀과 병진 조인트로 연결되어 있다. 릴레이 메커니즘의 동적 거동에서 가장 중요한 역할을 하는 반전 기구와 보상 바이메탈은 Fig. 9와 같이 각각 모델링되어 전체 ADAMS 모델에 병합(merge)되었다. 반전 기구에 사용된 평판 스프링이 가동과 고정 접점 단자에도 사용되지만, 전체 모델을 단순화시키기 위하여 강체로 모델링 하였다.

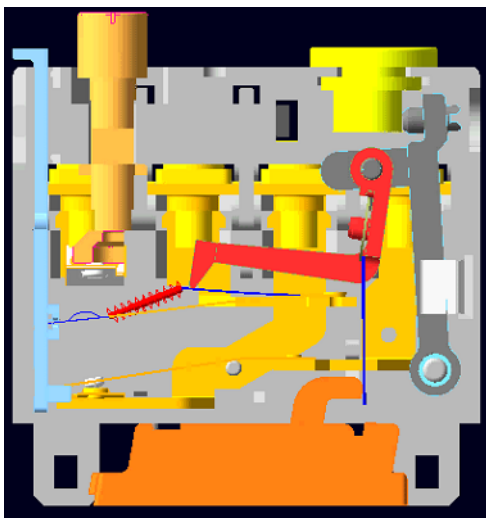


Fig. 10 ADAMS model of relay mechanism

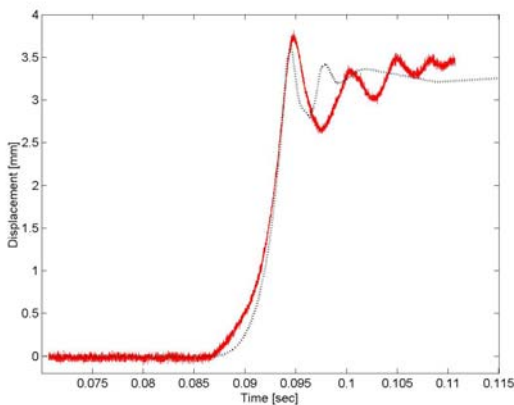


Fig. 11 Displacement of auxiliary holder

Fig. 11은 모델에서 이송장치의 이송에 따른 반전 기구의 반전에 의한 보조 홀더의 변위 특성과 레이저 센서로 측정된 보조 홀더의 변위를 비교한 것이다. 여기에서 보조 홀더가 움직이는 첫 부분과 최대 변위에 도달 후 진동하는 부분을 제외한 변위 특성은 유사함을 알 수 있다. 처음과 끝부분에서 차이가 발생하는 이유는 반전기구 상하 부분

의 단자에 연결된 평판 스프링이 강체로 모델링되었기 때문이다. 이러한 결과로부터 주 바이메탈이 만곡할 때, 반전기구가 반전되어 MC에 차단 신호를 주는 TOR의 메인 동작은 Fig. 10과 같은 모델에 의해서 충분히 시뮬레이션 할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 다음 절에서는 Fig. 10의 ADAMS 모델을 이용하여 외부 충격에 의한 안정성을 평가하고자 한다.

4. 외부 충격에 의한 안정성 평가

일반적으로 설계자들은 충격에 민감한 요소들 가진 메커니즘이 어느 정도의 충격에 의해 오동작이 일어나는지 알고 싶어하며, 충격에 덜 민감한 메커니즘을 만들기를 원한다. 본 논문에서도 이러한 요구를 충족하기 위해, 그리고 충격에 덜 민감한 TOR 메커니즘의 개발을 위하여 Fig. 12와 같은 안정성 평가방법을 제안하였다. 이 방법은 Fig. 10과 같은 실제 릴레이 메커니즘을 잘 시뮬레이션 할 수 있는 모델을 기반으로 행하여 진다. 왜냐하면 어느 정도의 정량적인 평가는 모델이 얼마나 실제와 유사한가에 달려 있기 때문이다. 여기에서 TOR 모델은 임의의 가속도로 가진되기 위하여 외형틀이 지면과 병진조인트로 연결되어 진다.

외부 충격에 대한 기준을 정하기 위하여, TOR과 연결된 전자접촉기가 개폐할 때 TOR 외형이 받는 가속도를 측정한다. 그리고 측정된 가속도 신호의 크기를 몇 배 증가시킨 신호를 가진 신호로 입력하여 TOR 메커니즘의 안정성을 검토한다.

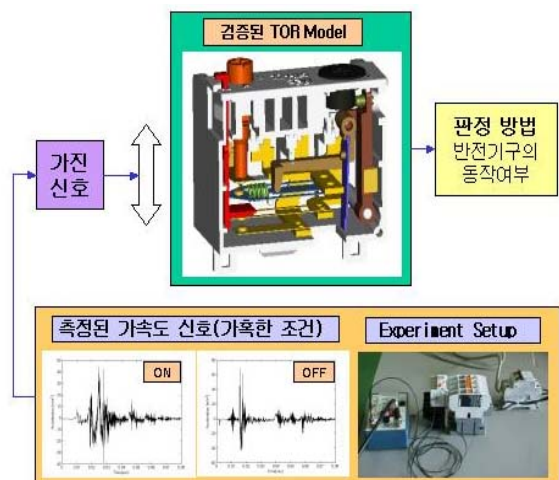


Fig. 12 Stability test procedure of relay mechanism

MC가 닫힐 때 TOR의 상부에서 측정된 가속도는 Fig. 13와 같으며, 이 신호를 가진 신호로 TOR 모델을 가진할 경우 릴레이 메커니즘은 오동

작을 일으키지 않는다. 그러나 Fig. 13 의 가속도 크기의 60 배 이상을 가진 신호로 입력하면, Fig. 14 와 같이 릴레이 메커니즘의 반전기구는 오동작을 하기 시작함을 알 수 있다. Fig. 14 에서의 변위는 반전기구에서 안쪽 판 스프링의 끝점과 가까운 바깥쪽 판 스프링 부분 사이의 거리를 나타낸다.

참고문헌

- (1) ADAMS(Automated Dynamic Analysis of Mechanical System) Reference Manual., Mechanical Dynamics incorporated, U.S.A.
- (2) Rao, S. S., 1990, Mechanical Vibrations, Addison & Wiley, New York.

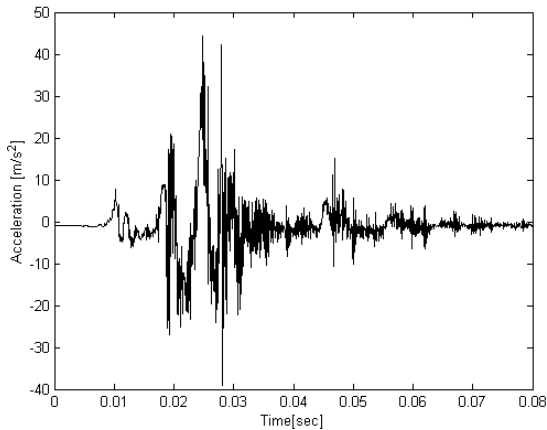


Fig. 13 Vertical acceleration at outcase of TOR mechanism when magnetic contact is closed

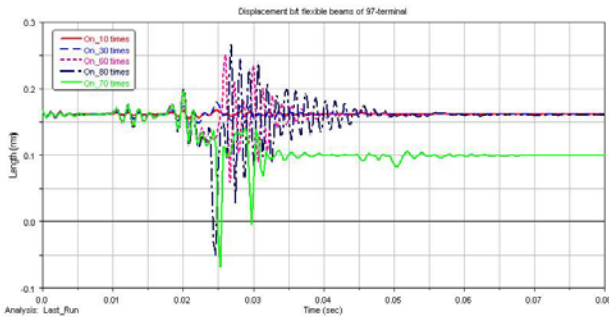


Fig. 14 Displacement between outer and inner flat springs

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 외부 진동에 대한 열동형 과부하 릴레이의 강인 설계를 위해, 바이메탈의 만곡 특성을 전달하기 위한 구성된 평판 스프링을 가진 릴레이 메커니즘을 모델링하고 동적거동을 분석하였다. 여기에서 유연한 평판 스프링은 ADAMS의 빔 요소와 실험적인 검증을 통하여 모델링 되었다. 이 때 실제와 모델의 고유진동수는 87 Hz 와 85.4 Hz 로서 거의 일치하였다. 또한 빔 요소를 사용하여 모델링된 반전 기구와 보상 바이메탈은 전체 모델에 잘 병합되었다.

마지막으로 외부 충격에 대한 안정성을 검토하기 위한 방법을 제안하고, 전자접촉기가 닫힐 때 릴레이 메커니즘이 받는 가속도의 60 배 정도에서는 반전 기구가 오동작함을 확인하였다.