Regular Paper
J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.
Vol. 30, No. 8, pp. 520-524 August 2017
DOI: https://doi.org/10.4313/JKEM.2017.30.8.520
ISSN 1226-7945(Print), 2288-3258(Online)

래칭 릴레이의 온도에 따른 동작 특성 변화

류재만, 진인영, 허창수[a]
인하대학교 전기공학과

Change of Operating Characteristics of Latching Relay with Temperature

Jae-Man Ryu, In-Young Jin, and Chang-Su Huh[a]
Department of Electrical Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

(Received May 28, 2017; Revised June 12, 2017; Accepted June 15, 2017)

Abstract: Electrical relay in an essential part of smart grids, electrical vehicles, and LED lightning systems. Therefore, studying relay reliability is important. Relays using permanent magnet actuators (PMAs), which are energy efficient, are also in the spotlight. However, most of the permanent magnets used in PMAs have a characteristic wherein the magnetic flux decreases as the temperature increases. When the magnetic flux is reduced, the force acting on the actuator is reduced. Therefore, in this study, we measured the decrease in the relay operating speed with permanent magnet reduction due to temperature rise. In addition, changes in the bouncing phenomena due to magnetic flux reduction were analyzed. As a result, the operating speed of the relay has decreased and the bouncing phenomenon has not significantly changed.

Keywords: Permanent magnet actuator, PMA, Latch relay, Bouncing phenomenon, Temperature, Zero-crossing

1. 서 론

릴레이에 솔레노이드 타입의 전자석 액추에이터를 사용할 경우 투입 상태를 유지하기 위하여 코일 전류를 지속적으로 인가해 주어야 하므로 에너지 소모가 많고 환경에 부정적인 영향을 미치게 된다 [1]. 이를 보완하기 위해 영구자석형 액추에이터를 사용하게 되면 투입 동작 완료 후 전류의 인가 없이 영구자석에 의한 홀딩력으로 투입 상태를 유지하므로 에너지 소모가 절감된다 [2]. 그러나 액추에이터에 사용되는 대부분의 영구자석은 온도 상승에 따라 자속이 감소하는 특성을 가지고 있다. 따라서 돌입전류, 과전류에 의한 온도 상승과 주변 온도 상승에 의해 영구자석의 자속이 감소하고, 결국 액추에이터에 작용하는 힘이 줄어들게 되어 릴레이 동작 속도가 느려지게 된다. 접점 사이에 고열, 바운싱 현상이 일어나게 되면 접점에 융착(welding) 현상이 발생한다 [3]. 주변 온도에 의해 접점의 동작 속도가 느려지게 되면 접점의 융착 현상은 더 쉽게 나타날 것이고 릴레이의 신뢰성은 떨어지게 될 것이다. 추가적으로 액추에이터에 작용하는 힘이 감소하게 되면 접점의 바운싱 현상에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

본 연구에서는 주변 온도 상승에 따른 영구자석의 표면 자속 감소와 그에 따른 릴레이 동작 속도 감소 정도를 측정하고, 추가적으로 바운싱 현상 변화에 미치는 영향을 분석하였다.

a. Corresponding author; cshuh@inha.ac.kr

Copyright ©2017 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2. 실험 방법

2.1 영구자석형 액추에이터

본 연구에 사용된 릴레이용 영구자석형 액추에이터의 기본 구조는 그림 1과 같이 가동자, 고정자 철심, 코일, 영구자석으로 구성되어 있다. Single coil type의 영구자석형 액추에이터로서 접점의 개폐시 동일한 코일에 전류를 흐르게 하고, 별도의 제어부를 통해 코일 전류의 방향을 제어하여 접점을 개폐한다.

코일에 전류가 인가되지 않은 상태에서는 영구자석으로부터 발생된 자속이 고정자 및 가동자 철심을 통해 흐르며 홀딩력이 발생된다. 접점의 개방 시 외부 신호에 의해 코일에 전류가 흐르게 되면 이로부터 영구자석과 같은 방향의 전자기력이 발생하게 되어 가동자가 움직이게 되고, 릴레이의 가동접점과 연결괴어 접점이 개방된다. 이와 반대로 접점의 투입 시 코일에는 반대 방향의 전류가 흐르게 되고 영구자석과 다른 방향의 전자기력이 발생해 접점이 투입된다. 이때 액추에이터에 작용하는 힘은 식 (2)와 같다 [4].

$$V_s = IR_{coil} + \frac{d\lambda}{dt} \tag{1}$$

$$M(\frac{d^2\vec{x}}{dt^2}) = \overrightarrow{F_{PM}} + \overrightarrow{Fcoil} \tag{2}$$

위 식에서 V_s는 입력전압이며, R는 코일 저항, I는 총 입력 전류, λ는 총 쇄교자속, M는 이동자 총 질량, $\overrightarrow{F_{PM}}$ 는 영구자석에 의해 발생하는 힘, $\overrightarrow{F_{coil}}$는 코일에 의해 발생하는 힘이다. 회로방정식 식 (1)로부터 회로방정식 식 (1)로부터 I와 V_s에 의한 쇄교자속이 주어지고, 운동방정식인 식 (2)에 의해 가동자의 속도와 변위를 계산할 수 있다.

2.2 릴레이 동작 속도와 바운싱 측정

온도에 따른 릴레이의 동작 속도를 분석하기 위해 항온챔버를 사용하여 릴레이 주변의 온도를 제어하였다. 릴레이만 항온챔버 내부에 넣고 나머지 제어부와 부하는 챔버 외부에 두어 온도에 따른 릴레이의 동작 속도를 측정하였다. 래치형 릴레이의 동작 속도를 측정하기 위해 그림 1과 같이 오실로스코프를 사용하여 INPUT 전류와 OUTPUT 전압을 측정 후 비교하였다.

바운싱 현상을 측정할 때 AC전압원을 사용할 경우 1/60초 마다 0 V 지점이 나타나게 되고, 이로 인해 바운싱 횟수와 시간 측정에 영향을 줄 수 있다. 또한 은합금 접점의 최소 아크 발생전압은 12 V이므로 접점 바운싱 현상의 측정을 위해 출력단에 최소 아크발생 전압보다 낮은 6 Vdc 전원과 저항을 연결하여 오실로스코프를 통해 바운싱 현상을 측정하였다 [5]. 바운싱 현상의 측정 결과는 그림 2에 나타나 있다.

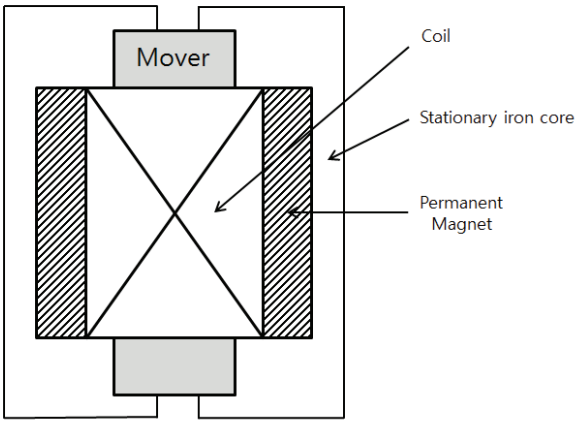

Fig. 1. Permanent magnet actuator.

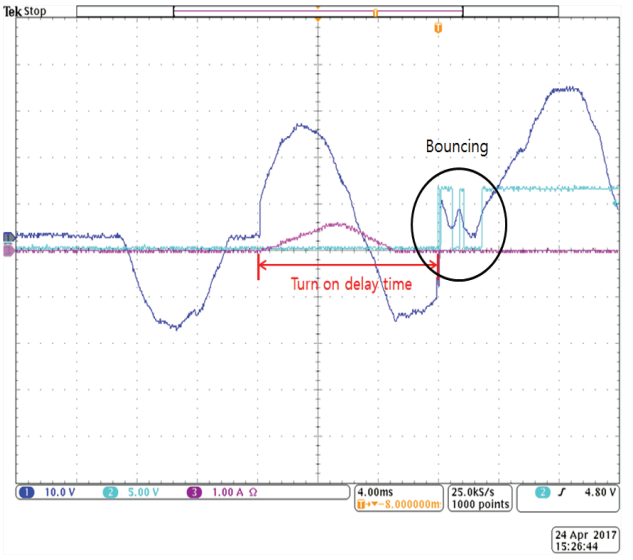

Fig. 2. Relay operating speed measurement.

2.3 온도에 따른 영구자석 표면 자속 밀도 측정

Table 1. Magnetic properties of strontium ferrite magnets.

Classification	Unit	Value
Residual flux density	G	3,900±100
Coercive force (bHc)	Oe	3,350±150
Coerciveforce (iHc)	Oe	3,450±150
Max.energy product	MGOe	3.8±0.2
Temperature coefficient	%/°C	-0.2

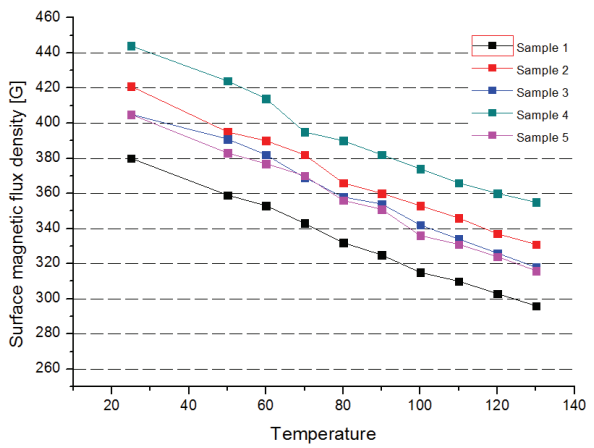

Fig. 3. Reduction of magnetic flux with temperature.

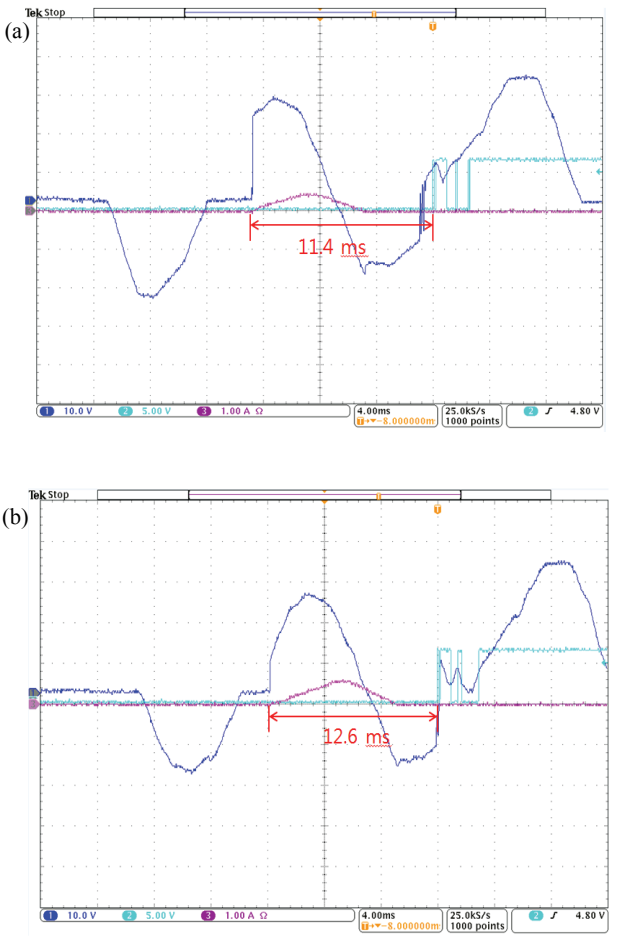

Fig. 4. (a) Relay operating time at 25℃ and (b) relay operating time at 125℃.

래치형 릴레이에 사용된 영구자석은 이방성 스트론튬 페라이트로, 자기적 특성은 표 1과 같다.

온도에 따른 영구자석의 표면 자속 밀도 변화는 가우스미터를 사용하여 측정하였다. 각 시료마다 N극과 S극의 표면 자속 밀도가 다르기 때문에 N극을 기준으로 측정하였다. 측정 결과는 그림 3과 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 온도에 따른 릴레이 동작 속도

실온(25℃) 상태에서 릴레이 접점의 동작 시간은 그림 4(a)와 같다. 코일에 전류가 흐르기 시작하는 시점부터 접점이 최초로 닫히는 시점까지 11.4 ms의 시간이 소요되었다. 영구자석형 액추에이터의 동작 속도는 영구자석의 자속, 코일에 의한 자속에 비례하고 가동자의 무게에 반비례한다. 다른 모든 조건은 동일한 상태에서 항온챔버를 사용해 릴레이 주변 온도를 상승시키게 되면 영구자속의 자속밀도는 감소하게 된다. 그에 따라 가동자와 고정자 철심 사이에 작용하는 흡인력이 감소하게 되고 접점의 동작 속도가 느려지게 된다.

그림 4(b)는 주변 온도가 125℃인 상태에서의 릴레이 접점의 동작 시간의 측정 결과이다. 동작 시간은 12.6 ms로 측정되었다. 영구자석 온도 상승에 의해 실온(25℃)에서의 동작 시간보다 0.8 ms가 늘어난 것을 알 수 있다.

그림 5는 온도에 따른 접점 동작 시간과 평균동작 속도를 그래프로 나타낸 것이다. 온도에 따른 접점의

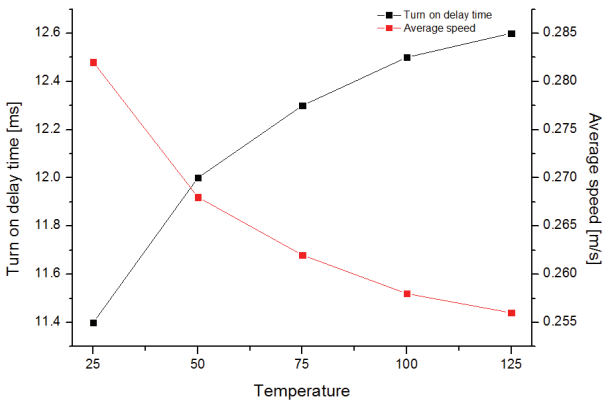

Fig. 5. Relay operating speed and time.

동작 속도 감소가 초반부분에 두드러지게 나타나고 온도가 상승할수록 동작 속도 감소의 폭이 작아지는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과가 도출되는 이유는 영구자석의 온도 상승 시 전체 흡인력에서 영구자석 자속에 의한 흡인력이 차지하는 비율이 점차 작아지고 그에 따라 액추에이터 전체 흡인력 감소에 미치는 영향이 점차 작아지기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 바운싱 현상 변화

릴레이의 바운싱 현상은 바운싱 횟수와 지속 시간으로 분류하여 분석하였다. 바운싱 지속 시간은 최초로 접점이 닫힌 시점부터 모든 바운싱이 끝나고 안정화되기 시작한 시점까지를 의미한다. 온도에 따른 바운싱

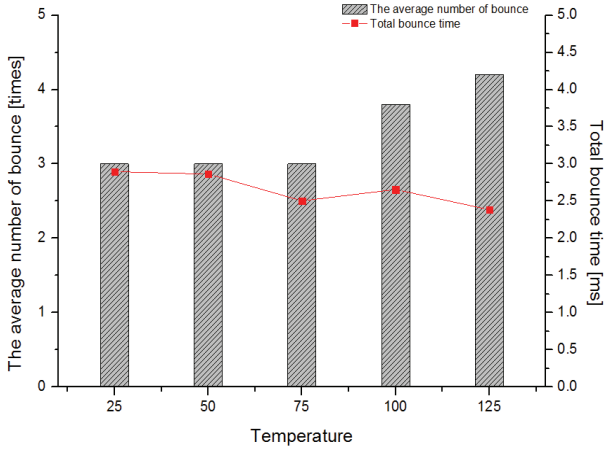

Fig. 6. Number of bounce and total bounce time.

현상 측정 결과는 그림 6과 같다. 측정시 접점에 작용하는 기계적 힘이 항상 동일하게 작용하지 않고 같은 온도에서도 바운싱 현상이 다르게 나타나기 때문에 수차례 실험 후 평균값으로 구하였다.

접점에서 발생하는 바운싱 현상은 접점이 접촉하는 운동에너지, 접점의 소재, 접촉부의 형상에 따라 다르게 나타난다 [6]. 실험 결과 총 바운싱 시간은 온도와는 무관한 결과가 나타났고, 바운싱 횟수의 경우 온도가 상승할수록 미세하게 증가함을 확인할 수 있다. 그러나 바운싱 횟수의 증가 정도가 작고 측정 시 마다 다르게 측정되는 경우가 많기 때문에 온도가 바운싱 현상에 미치는 영향은 거의 없다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 온도에 의한 접점 속도의 감소보다 접점 소재의 기계적 특성, 접촉부의 형상이 바운싱 현상에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

3.3 Zero-cross 스위칭

Zero-cross 스위칭은 아크에 의한 접점 소손을 방지하기 위한 제어방법으로 실시간 전류위상 센싱을 통해 전류의 영점에서 스위칭 하여 아크의 발생을 최소화 시킨다. 그림 7은 각각 접점의 초기 상태, zero-cross 스위칭을 적용한 후 돌입전류 개폐시험과 적용하지 않은 상태에서의 돌입전류 개폐시험을 한 이후의 접점을 나타낸다.

Zero-cross 스위칭을 사용한 접점의 경우 접점의 소손이 거의 나타나지 않았다. Zero-cross 스위칭을 하기 위해서는 전류위상의 센싱 이외에도 릴레이의 기계적인 부분의 지연시간 즉, 동작 시간을 고려하여야 한다. 미세한 동작 시간 변화에도 전류의 위상은 크게 변하게 된다. 따라서 래치형 릴레이에 zero-cross 스위칭이 적용되기 위해서는 온도에 따른 동작 시간의 변화에 관한 함수가 추가적으로 계산되어야 할 것이다.

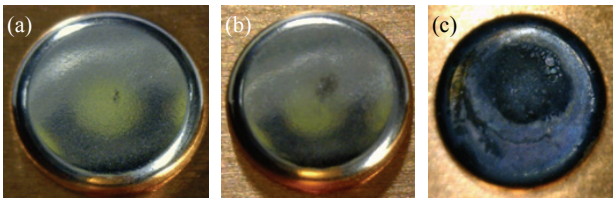

Fig. 7. (a) Initial state, (b) using zero-cross switching, and (c) zero-cross switching unused.

4. 결 론

영구자석이 사용된 래치형 릴레이의 주변 온도에 따른 동작 시간은 실온(25℃)에서 11.4 ms, 고온(125℃)에서 12.6 ms로 측정되어, 실온(25℃)일 때에 비하여 고온(125℃)에서는 1.2 ms만큼 느리게 동작하였다. 온도 상승에 따른 영구자속의 자속 감소로 인해 흡인력이 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 온도가 상승함에 따라 동작 시간의 감소량이 점점 줄어드는 것을 확인하였다. 이 현상은 코일에 흐르는 전류가 일정하기 때문에 코일에 의해 발생하는 자속이 일정하다고 한다면 전체 액추에이터에 작용하는 힘에서 영구자석으로부터 발생한 자속에 의한 흡인력이 차지하는 비율이 점점 작아지기 때문에 발생하는 것이라고 분석된다.

바운싱 현상에 영향을 미치는 중요한 요소로는 접촉시 접점의 운동에너지, 접점의 소재, 접촉부의 형상이 있다. 동작 속도의 감소는 접점의 운동에너지를 감소시키고 그로 인해 바운싱 현상에 영향을 미치게 된다. 총 바운싱 시간은 주변 온도에 영향을 받지 않고 거의 일정한 것을 확인할 수 있다. 바운싱 횟수의 경우 온도 상승에 따라 미세하게 증가하는 경향을 보이나 큰 변화는 없는 것으로 나타났다. 이 결과를 바탕으로 온도에 의한 접점 속도의 감소에 비해 접점 소재의 기계적 특성, 접촉부의 형상 등 다른 요인들이 바운싱 현상에 미치는 영향이 더 크다는 것을 알 수 있다.

추가적으로 온도 상승에 의해 영구자석의 자속이 감소되면 액추에이터의 홀딩력이 감소할 것으로 예상된다. 따라서 온도 상승에 의한 홀딩력 감소에 관한 연구도 추가적으로 진행되어야 한다. 또한 네오디움 같은 희토류계 영구자석을 사용한 릴레이, 차단기의 경우 온도 상승에 의한 자속 감소가 크기 때문에 더 큰 영향이 있을 것으로 판단되며 이에 관한 연구도 진행되어야 한다.

Zero-cross 스위칭은 아크에 의한 접점의 소손을 줄이기 위한 제어 방법이다. 이를 위해서는 전류위상 이외에 추가적으로 액추에이터의 동작 시간을 고려해 주어야 한다. 본 연구를 통한 주변 온도에 따른 래치형 릴레이의 동작 시간 변화는 zero-cross 스위칭에 적용되어야 하고 그에 따른 추가적인 연구가 진행되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제임 (No.20161015201550).

REFERENCES

[1] C. T. Chi, *WSEAS Transactions on Electronics*, **5**, 313 (2008).
[2] S. Fang, H. Lin, C. Yang, X. Liu, and J. Guo, *Proc. 2007 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)* (IEEE, Seoul, Korea, 2007) p. 939.
[3] Y. K. Ko, S. S. Cho, H. Huh, S. Y. Lee, H. T. Park, and I. S. Oh, *Proc. 2009 IEEE International Symposium on Industrial Electronics* (IEEE, Seoul, Korea, 2009) p. 169.
[4] J. H. Kang, C. Y. Bae, and H. Jung, *Proc. ICEMS 2003* (IEEE, Beijing, China, 2003) p. 100.
[5] P. G. Slade, *Electric Contacts: Principles and Application* (CRC Press, New York, 1999) p. 464.
[6] P. Barkan, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, **PAS-86**, 231 (1967). [DOI: https://doi.org/10.1109/TPAS.1967.291840]