

릴레이 접점 특성에 미치는 전기적 접속의 영향

진인영, 최순호, 김관식, 허창수^a

인하대학교 전기공학과

Effect on the Relay Contact Characteristics According to the Presence of Electrical Connection

In-Young Jin, Sun-Ho Choi, Kwan-Sik Kim, and Chang-Su Huh^a

Department of Electrical Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

(Received September 6, 2016; Revised September 24, 2016; Accepted September 24, 2016)

Abstract: The power relay can easily control high voltage and high current through metallic contacts. In addition, it has the advantage in reasonable price. So it has been used in many applications. But the power relay has a weak point by mechanical movements. These mechanical movements cause the bouncing phenomenon. Arc and bouncing phenomenon are the main causes of electric abrasion and material erosion. In this study, mechanical repetitive experiments and repetitive experiments in electrically connected state are conducted. Then these two experimental results in terms of bouncing phenomenon and changes in the contact surface are compared. In all number of repetitions, contacts in an electrically connected state cause smaller number of bounce. Also, It has lower contents of silver on eroded surface than the other. The experimental results would be helpful to the further study of contacts life span.

Keywords: Electromagnetic relay, Contact bounce, Contact surface, Bouncing phenomenon

1. 서 론

최근 자동차 제조 회사들은 오염 물질 배출이 적은 친환경 자동차 개발에 집중하고 있다. 하이브리드 자동차(HEV), 전기자동차(EV) 등이 그에 대한 해결책으로서 점차 시장을 차지하고 있다. 릴레이는 제어의 편의성, 유지 보수의 편의성, 가격적인 측면에서의 장점을 가지고 있다. 따라서 전기자동차(EV)에 적용되는 릴레이의 수요는 점차 증가하고 그에 따라 릴레이의 신뢰성에 관한 요구가 커지고 있다 [1].

릴레이의 사용에 있어서 신뢰성과 수명은 가장 중요한 요소이다. 릴레이 접점의 마모와 열화는 릴레이의 신뢰성을 감소시키고 릴레이의 수명에 영향을 미친다. 릴레이 접점 마모의 주요 원인은 Make시 발생하는 바운싱 현상이다. 두 접점이 충돌할 때 바운싱 현상이 나타나게 되고, 전기적으로 접속되어 있을 경우 접점 사이에 아크가 발생한다. 바운싱 시간 동안 접점 사이에 아크가 발생하게 되면, 접점 표면은 열화 되고 금속성분은 녹게 된다 [2]. 이러한 현상은 전기적으로 부하와 접속되지 않은 접점과는 다른 특성을 나타나게 한다.

접점 간 아크가 발생하게 되는 최소 전압과 최소 전류는 접점의 소재에 따라 결정된다 [3]. 아크 발생이 접점의 열화에 어떠한 영향을 미치는지 분석하는 것은 접점 소재의 선정에 있어 중요한 기초 자료로써 활용

a. Corresponding author; emblemdo@kopti.re.kr

될 수 있다. 따라서 본 실험에서는 전기적으로 접촉되어 열화된 접점의 특성과 전기적으로 부하에 접촉되지 않은 채 기계적인 반복운동만을 진행한 접점의 특성간의 차이를 접점의 성분변화와 바운싱 현상을 중심으로 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험 장치 구성

고 반복 실험 환경을 제공하고 안정성을 높이기 위해 그림 1과 같이 본체부와 제어부로 나누어서 실험장치를 구성하였다. 본체부에는 실험에 쓰이는 릴레이가 제어부에서 보내는 신호에 의해 작동하도록 구성되어 있다. 제어부 내부에서는 릴레이의 동작 신호를 시간제어가 용이하고 병렬 실험을 가능하게 하는 PLC를 통해 신호를 인가하였다. 또한 제어부 외함에서 6자리의 카운터를 사용하여 동작 횟수를 카운트 하였다.

실험에 사용된 인가전압과 부하, 동작시간은 표 1과 같다. 릴레이 on/off시 인가되는 전압의 변화를 최소화하기 위해 AVR (automatic voltage regulator)을 사용하였다. 부하의 경우 무유도 저항을 사용한 로드뱅크를 이용하였다.

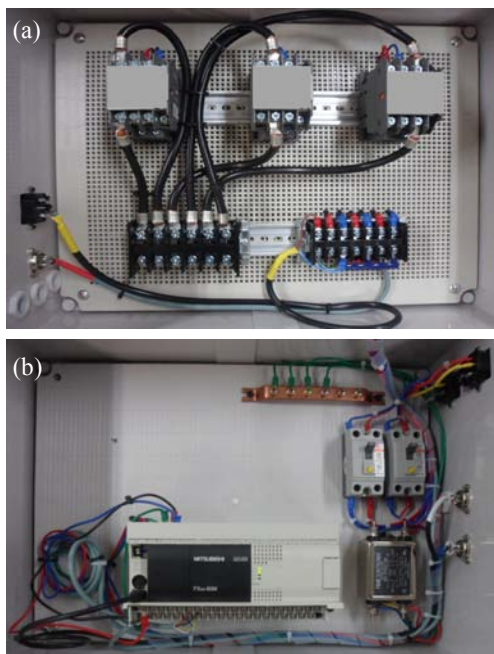


Fig. 1. Repetition test device (a) main parts (b) control parts.

Table 1. Condition of repetitive experiment.

Operating voltage (V)	440 Vac
Operating current (I)	13 A
Power factor	1.0
On/off interval	0.05s/5.95s (1 cycle, 6s)

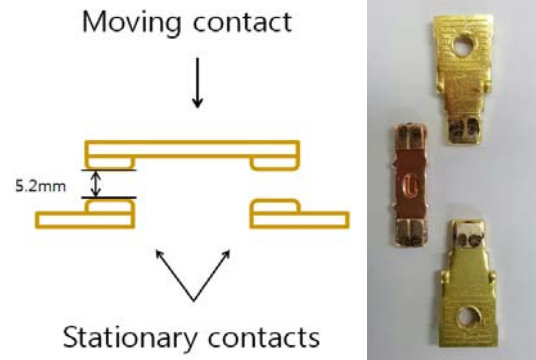


Fig. 2. Double-break, single structure contact.

사용된 릴레이의 경우 R, S, T상을 갖는 3상 릴레이이다. 3개의 상 중 T상에 표 1에 제시된 조건으로 부하에 연결하여 14만 회까지 반복운동을 실시하였다. 동시에 S상은 전기적으로 접촉하지 않고 기계적인 반복만을 수행해 두 접점의 특성 변화 차이를 분석하였다. 접점의 on/off 시간은 KS C IEC 60947-4-1 규격에 따라 0.05s 가동, 5.95s 휴지 시간을 두고 실험을 진행하였다.

사용된 릴레이의 접점 구동 형태는 그림 2와 같은 double-break, single 구조이다. Double-break 구조는 두 개의 single 구조가 직렬로 연결되어 있는 것과 유사하기 때문에 single 구조보다 적은 접점의 용착, 높은 절연 능력과 차단 용량을 가지고 있다. 따라서 수명이 긴 릴레이를 설계하는 것에 있어서 용이하고 실제 산업에서 많이 쓰이고 있는 구조이다.

2.2 접점 표면 분석

릴레이의 접점부분이 고 반복으로 노출된 상황에 의한 열화 전후를 비교하기 위해 접점을 분석하였다. 접점의 성분과 표면의 구조를 분석하기 위하여 SEM (scanning electron microscope)을 사용하였다. 보통 SEM 분석 시 대전 효과를 줄이기 위해 백금(Pt) 코팅 후 관찰하지만, 그럴 경우 열화 부식에 의해 손상된 표면이 백금으로 덮어져 다른 형태를 나타내기 때문에

Element	Wt%	At%
AgL	84.05	84.60
CdL	15.95	15.40
Matrix	Correction	ZAF

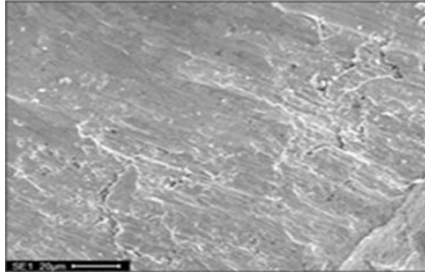


Fig. 3. SEM Analysis of initial fixed contact.

추가 작업 없이 관찰하였다. 반복 실험 이전 초기 고정 접점의 SEM 분석 결과는 그림 3과 같다.

2.3 바운싱 측정

반복실험에 사용한 회로를 그대로 사용하여 바운싱 현상을 측정할 경우 AC 전압원이기 때문에 0 V 지점이 1/60초 마다 나타나게 되고, 이로 인해 바운싱 횟수, 시간 측정에 영향을 미칠 수 있다. 또한 은 합금 접점의 최소 아크발생 전압은 12 V이다 [3]. 아크의 영향을 제외한 순수한 바운싱 현상의 측정을 위해 최소 아크발생 전압보다 낮은 9 Vdc와 저항을 연결하여 회로를 구성하였고, 바운싱 시 발생하는 on/off 현상을 오실로스코프(500 MHz, 5 GS/s)를 사용해 측정하였다. DC 전압원이며, 아크가 발생하지 않는 전압이기 때문에 물리적인 on/off 현상을 명확하게 구분할 수 있다. 바운싱 측정은 한 실험 당 5번 측정하였고 평균 값을 사용하였다. 초기 접점의 바운싱 현상 측정 결과는 그림 4와 같다.

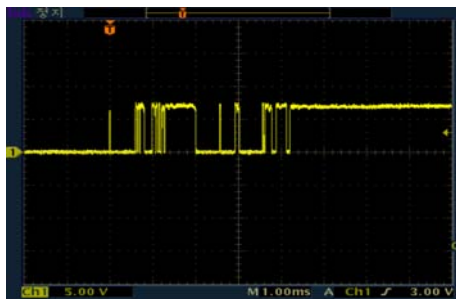


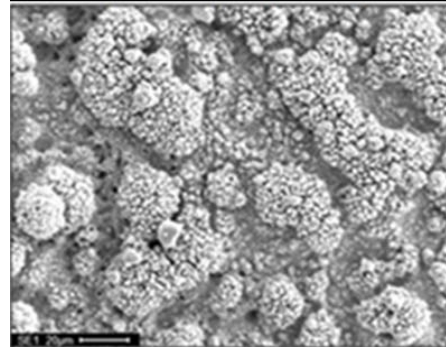
Fig. 4. Bounce measurement results in the initial state.

3. 결과 및 고찰

3.1 접점 표면 변화

각각 전기적 접속, 비접속 상태에서 14만 회 반복 동작 이후 고정접점의 성분 분석, 표면 관찰 결과는 그림 5와 같다. 전기적으로 접속이 돼 아크가 발생한 접점에서는 표면이 포자 형태로 열화가 된 것을 관찰할 수 있다. 또한 접점 성분 중 은 함유량이 작게 측정된 것을 확인할 수 있다.

Element	Wt%	At%
CK	03.71	18.68
OK	08.57	32.38
AgL	77.46	43.42
CdL	10.26	05.52
Matrix	Correction	ZAF



Element	Wt%	At%
CK	07.03	35.19
OK	04.07	15.29
AgL	85.97	47.94
CdL	02.94	01.57
Matrix	Correction	ZAF

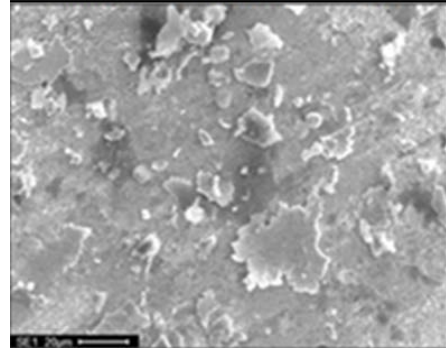


Fig. 5. SEM Analysis of fixed contact after repeated 140,000 times. (a) Electrically connected and (b) unconnected.

접점 표면이 고르지 않기 때문에 on state에서 전류는 몇 개의 국부적인 접촉점을 통해 전류가 흐르게 된다. 그에 따라 전류가 흐르는 접촉점 부근의 경우 열이 발생하게 되고 접점을 녹이게 된다. 이 상태에서 접점이 분리되면 접촉점에서 molten metal bridge가 생성되게 되고 접점간의 거리가 멀어짐에 따라 molten metal bridge의 반경이 작아지게 된다. 접촉점에서 가장 높은 온도의 지점이 접점 금속의 끓는점 이상이 되면 molten metal bridge는 완전히 파열되게 된다. 파열된 metal bridge는 금속 증기가 되어 접점 사이의 gap을 메우게 되고, 이는 아크를 지속시키는 역할을 한다 [4]. 이 과정에서 접점의 금속은 일정 부분 증기가 되어 감소하게 된다. 이러한 원리에 따라 전기적으로 연결되어 열화된 지점의 은 함유량이 감소한 것으로 분석된다. 전기적 비접속 상태 접점의 경우 표면의 형태가 초기 상태보다 거칠어 진 것 외에는 큰 변화가 없는 것으로 판단된다.

3.2 바운싱 횟수와 지속 시간 비교

바운싱으로 인한 전체 on/off 횟수를 측정하여 비교하였다. 또한 바운싱의 지속 시간이 짧을 경우 접점에 미치는 영향이 작다고 알려져 있다. 따라서 바운싱의 지속시간을 0.2ms 기준으로 long bounce, short bounce로 분류하여 분석하였다 [5].

14만 회 까지 동작하는 과정에서의 바운싱 횟수 변화는 그림 6과 같다. 반복동작이 진행됨에 따라 모든 구간에서 전기적으로 접속된 접점의 바운싱 횟수가 더 적게 나타남을 확인할 수 있다. 바운싱 현상을 감소시키는 원인에는 다음과 같은 요인이 있다 [6].

1. 접점 가동 속도 감소
2. 가동 접점 관성의 감소를 통한 운동에너지 감소
3. 접점 구조를 통한 충격에너지 흡수

전기적으로 접속된 접점과 접속되지 않은 접점의 열화에 미치는 요소의 차이에는 회로에 흐르는 전류, on/off시 발생하는 아크 두 가지가 있다. 은 합금 접점의 경우 최소 아크발생전압 12 V, 최소 아크발생전류 0.4 A 이상의 조건에서 아크가 발생하게 된다. AC 전류로 인한 아크가 접점 사이에 발생하게 되면, 양극과 음극마모가 고정 접점과 가동 접점 모두에 나타나기 때문에 pip과 crater가 공존하는 형태로 접점이 마모된다.

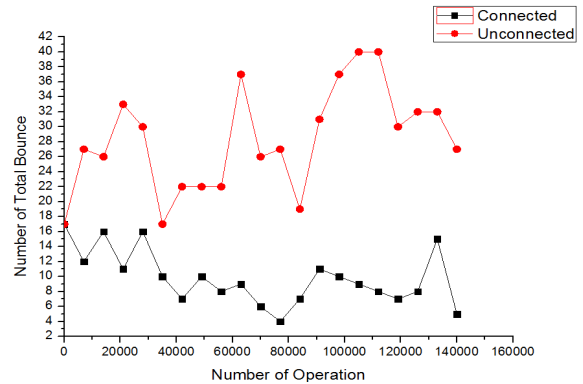


Fig. 6. Number of total bounce.

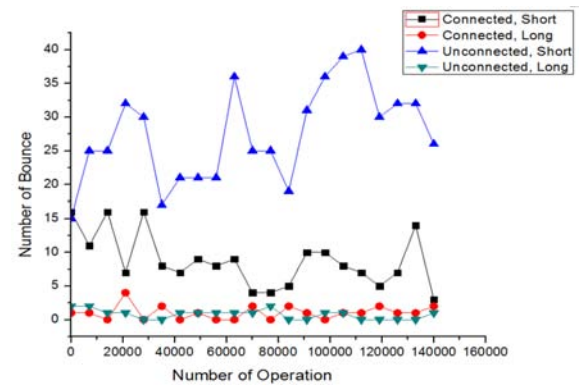


Fig. 7. Number of long bounce and short bounce.

각 접점에 존재하는 pip과 crater는 각각 마주보는 접점의 crater와 pip에 끼워 맞춰지게 된다. 이로 인해 전기적으로 열화 된 접점에서는 pip과 crater 구조를 통해 충격에너지가 줄어들게 되고 결과적으로 바운싱 횟수가 더 적게 나타나는 것으로 판단된다.

바운싱 지속시간 0.2ms 기준으로 분류한 결과는 그림 7과 같다. 0.2ms 이상일 경우 long bounce, 0.2ms 미만일 경우 short bounce로 표현하였다.

Long bounce 횟수는 두 경우 서로 비슷한 결과를 나타내었고 전체 on/off 횟수 차이의 대부분은 short bounce로 인해 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 전기적 열화로 인해 전체 on/off 횟수는 감소하였지만 아크의 발생에 영향을 크게 미치는 long bounce의 횟수에는 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 그러므로 전기적인 열화로 인한 바운싱 횟수 감소는 릴레이의 수명에 긍정적인 영향을 미치는 요소는 될 수 없다고 판단된다.

4. 결 론

전기적 접촉 유무에 따른 접점의 열화가 접점 표면, 바운싱 현상에 미치는 영향을 알아보기 위해 14만 회 까지 반복 실험을 진행하였다.

SEM 측정을 통한 그림 5와 같이 전기적인 접촉을 하지 않았을 경우에는 접점 표면이 거칠어지고, 불균일하게 된 것 이외에는 큰 변화가 나타나지 않았다. 반면 전기적인 접촉을 했을 경우 접점 표면이 포자 형태로 열화 된 것을 관찰할 수 있다. 또한 아크에 의해 금속층기가 발생되어 은의 함유량이 작게 측정된 것을 확인하였다. 이 두 가지 접점 샘플의 비교를 통해 접점의 표면 변화에 미치는 영향은 기계적인 영향보다는 아크에 의한 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

그림 6, 7은 각각 총 바운싱 횟수와 long bounce, short bounce 횟수 측정 결과이다. 총 바운싱 횟수 측정 결과를 보면 전기적으로 접촉되었을 경우 모든 구간에서 총 바운싱 횟수가 적게 측정되었다. 이는 아크로 인해 생성되는 pip과 crater 구조를 통한 충격에너지 감소에 기인한다고 판단된다. 그러나 실질적으로 아크에 미치는 영향이 크다고 알려져 있는 지속시간이 긴 바운싱 횟수의 경우 전기적 접촉 유무에 상관없이 비슷하게 측정되었다. 따라서 총 바운싱 횟수의 차이는 아크에 미치는 영향이 작은 짧은 바운싱 횟수의 차이로 인해 나타난다. 결과적으로 전기적 열화로 생긴 바운싱 횟수 감소는 릴레이의 수명에 긍정적인 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20158540000010)

REFERENCES

- [1] Y. K. Ko, S. S. Cho, H. Huh, S. Y. Lee, H. T. Park, and I. S. Oh, *Proc. ISIE* (2009) p. 169.
- [2] J. M. Ryu, S. H. Choi, K. H. Park, and C. S. Huh, *Proc. KIIEE*, **27**, 383 (2014).
- [3] P. G. Slade, *Electric Contacts: Principles and Application* (Marcel Dekkerm, 1999) p. 464.
- [4] Z. K. Chen and K. Sawa, *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology: Part A*, **21**, 311 (1998). [DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/TCPMC.1998.7102529>]
- [5] S. H. Choi, K. S. Kim, J. M. Ryu, and C. S. Huh, *Proc. KIIEE*, **28**, 117 (2015).
- [6] P. G. Slade, *Electric Contacts: Principles and Application*, (Marcel Dekkerm, 1999) p. 591.