

릴레이 접점의 자기적 아크 저감 분석

최순호¹, 허창수² 

¹ 구미대학교 전기에너지과

² 인하대학교 전기공학과

Analysis of Magnetic Arc Reduction of Relay Contacts

Sun-Ho Choi¹ and Chang-Su Huh²

¹ Department of Electricity and Energy, Gumi University, Gumi 39213, Korea

² Department of Electrical Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

(Received January 31, 2019; Accepted February 12, 2019)

Abstract: In this work, the magnetic arc reduction phenomena encountered in AC relay contacts were analyzed. To this end, arc duration, instantaneous voltage, and current changes due to changes in the magnetic field were observed. The arc generated at the contact point was affected by the magnitude of the applied magnetic field; the voltage and current waveforms rapidly intersected, resulting in a decrease in arc duration and arc energy. Furthermore, the orientation of the N pole of the magnetic field was found to play a role in the effectiveness of potential arc prevention.

Keywords: Magnetic arc reduction, AC power relay, Contact degradation, Contact arc energy

1. 서론

전력용 릴레이는 용도에 따라 다양한 소재의 접점을 사용하여 손쉽게 전기 제어를 할 수 있다. 이런 특징 때문에 단순한 기계장치부터 복합적인 제어까지 가능하다. 현재 자동 전력제어가 필수적인 스마트그리드, 전기자동차(DC source), LED 조명제어 등의 수요가 점차 증가하고 있다. 이런 수요 증가와 맞물려 가격이 저렴하고 신뢰성이 높은 전력용 릴레이의 중요성은 점차 높아지고 있다 [1]. 릴레이의 수명은 접점의 열화에 의해 결정되며, 접점의 열화과정에 신뢰성을 떨어뜨리는 문제를 발생시킨다. 릴레이의 열화를 진행하는 다양한 요

인 중 가장 큰 원인은 아크이다. 아크는 릴레이 make/break 상황 모두에서 발생하는 것으로 접점 손상 및 표면물질의 소모를 급격히 일으킨다. 이런 이유로 접점의 장기적 수명과 신뢰성을 확보하기 위해 다양한 방법이 제시되고 있다 [2]. 릴레이 접점부에 절연가스(SF₆, N₂)를 주입하여 아크 소호시간과 절연회복시간을 짧게 하는 방식이 있다. 또한, 자기적 아크 저감 방식으로 아크가 발생하는 부분에 자계를 흐르게 하여 접점의 표면 손상을 줄이는 방식이 있다. 자계를 이용한 방식과 다르게 전자소자를 이용하여 릴레이 접점 작동 시 순간적인 우회회로를 만들어 아크 발생을 최소화하는 방식도 제안되고 있다. 본 논문에서는 자기적 아크 저감 방식을 사용하여 접점에 미치는 자계의 크기(접점과 자석의 배치 간격) 변화와 영구자석의 배치에 따른 아크 지속시간과 아크에너지를 계산하였고, 이를 통해 접점의 아크에 미치는 영향을 알아보았다.

✉ Chang-Su Huh; cshuh@inha.ac.kr

2. 실험 방법

2.1 자기적 아크 저감 방식

자기적 아크 저감 방식은 전력선과 자력선의 역학관계를 이용한 방식이다. 접점에서 전력선 방향으로 아크가 발생하므로 이와 직각방향으로 자력선이 형성된다. 이 방식은 플레밍의 왼손 법칙(Fleming's left hand rule)을 이용한 방식으로 아크전류가 휘어지도록 하여 아크궤적이 길어지도록 유도한다. 이후 아크가 공간으로 분산됨으로써 아크 저항값이 증가하고 아크에너지가 낮아져 점점 소모를 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 이런 자기적 아크 저감 방식은 대전류 분야나 사이클마다 전류가 제로가 되는 교류와 달리 항상 일정한 전류가 흐르는 직류의 아크 저감에 더욱 효과적일 수 있다 [3]. 또한, 이 효과는 사용하는 자석의 자속밀도의 크기에 비례하기 때문에 동일한 자석을 사용할 경우 이격거리를 짧게 할수록 자속밀도를 높여 아크 소호능력을 높일 수 있다. 자석은 소재별 퀴리점 이상의 온도에 노출되면 상자성 상태가 되기 때문에 아크열에 의해 고온이 발생하는 곳에서의 사용은 주의하여야 한다.

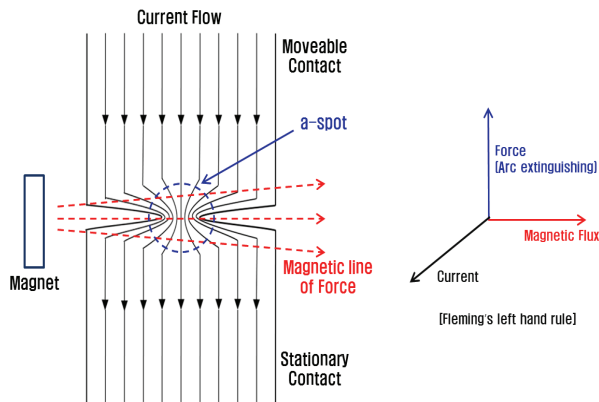


Fig. 1. Magnetic arc reduction method.

2.2 접점의 아크에너지

릴레이 접점에서 발생하는 아크현상은 전극 사이에서 기체 절연이 파괴되어 도통되는 현상이다. 아크는 전극의 재질, 절연기체, 전류, 전압 등 다양한 원인에 의해서 변화한다. 아크기둥(arc column)은 전극물질이 일정할 때, 아크길이에 정비례하며 아크길이와 발열량

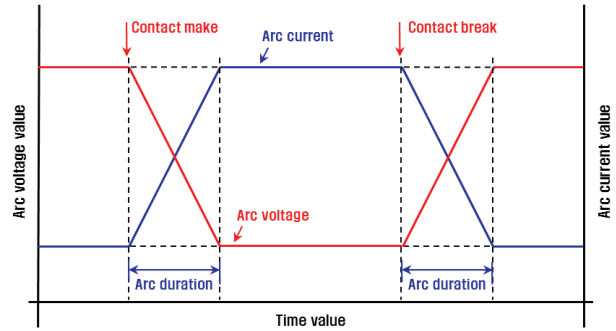


Fig. 2. Example of contact make and break arc waveform.

은 정비례한다. 점점 개폐에 따른 아크의 대략적인 파형은 그림 2와 같이 나타낼 수 있다 [4-6].

아크에너지(arc energy)는 식 (1)과 같이 아크 발생 시간(arc duration)에 따른 전압과 전류의 변화 값을 바탕으로 구할 수 있다. 아래 공식을 통해 아크 발생 시간이 아크에너지 증감에 중요한 요인으로 작용한다는 것을 알 수 있다.

$$E = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} v(t) i(t) dt \quad (1)$$

2.3 실험 장치 및 조건

접점에서 발생하는 아크의 변화를 관찰하기 위해 작동 시 전압과 전류파형을 측정하였다. 전류 측정에는 고정밀 CT (Bergoz, CT-F0.05), 전압측정에는 high-voltage differential probe (Tektronix P5200)를 사용하였다. 측정된 결과는 Tektronix Singnalexpress 프로그램을 사용하여 세부적인 결과를 분석하였다. 실험에 사용된 릴레이는 완제품을 사용하였고, 제어는 전원소스를 바탕으로 일정한 위상에 신호를 줌으로써 결과의 신뢰도를 높였다.

Table 1. Test conditions.

Contact sample	Relay output	AC 347 V/20 A
	Contact material	Ag/SnO ₂
	Shape	Moveable contact = Round type Stationary contact = Flat type
Load	Circuit condition	AC 110 V, 220 V / 5 A, 10 A
	Frequency/PF	60 Hz / 1.0
	Load type	Non-inductive resistance
Test	Operating mode	On/off = 1.5s/1.5s

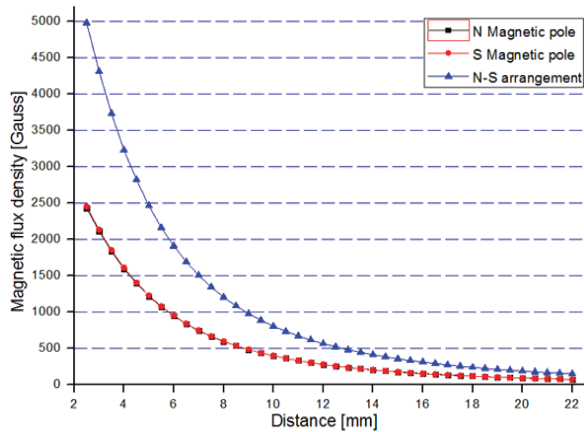


Fig. 3. Flux density of single and double set-up.

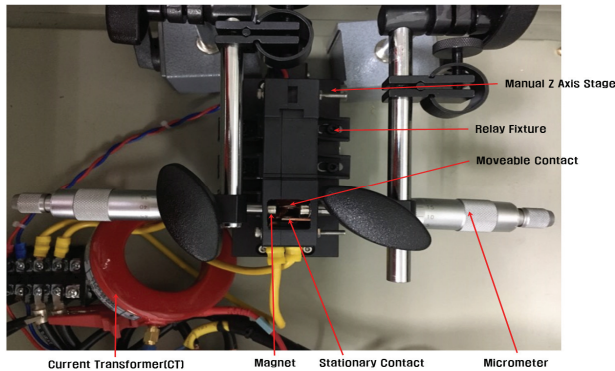


Fig. 4. Relay contact and magnet dimension.

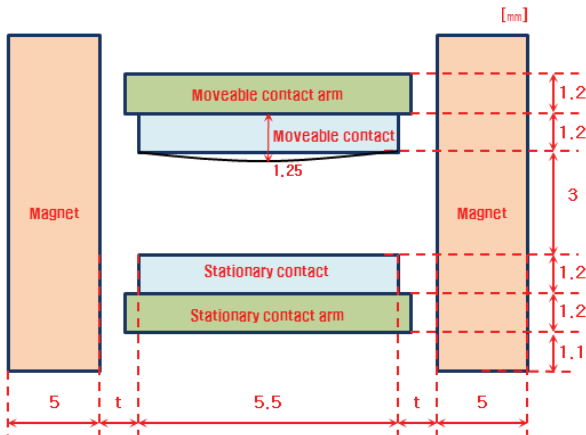


Fig. 5. Relay contact and magnet set-up.

자기적 아크 저감 실험에 사용한 네오디뮴(neodymium) 자석의 거리에 따른 자속밀도는 그림 3과 같다. 자석의 N극과 S극의 거리에 따른 자속밀도의 값은 같고, N-S극을 연속으로 배치하고 같은 거리를 둘 경우 한

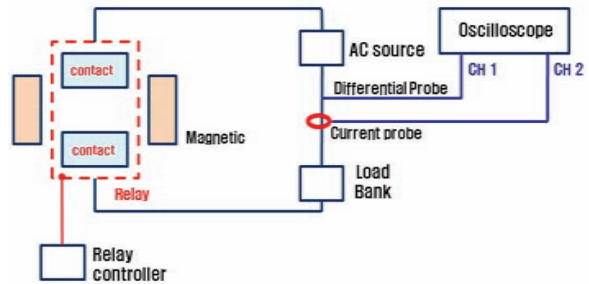


Fig. 6. Arc waveform measurement of contact.

개의 자석을 사용했을 때보다 접점 중심부에서 두 배의 자속밀도 특성을 얻을 수 있다.

릴레이 접점과 자석의 배치, 접점의 크기는 그림 4와 같다. 여기서 사용된 고정접점은 F-type (flat)이고, 가동접점은 R-type (round) 형상을 가지고 있다. 자석은 접점의 움직임에 문제가 되지 않도록 배치하고, 일정한 거리 조절을 위해 마이크로미터를 사용하였다. 자석 표면에서 접점에 작용해야 하는 거리는 7 mm로서 한쪽 면에만 자석을 설치하여도 500 gauss 이상의 자속밀도가 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

2.4 자계에 따른 파형분석

릴레이 접점에 가해지는 자계 유·무에 따른 접점 break 시 측정되는 전압, 전류의 파형 변화는 그림 7(a)~(d)와 같다. 일정한 전압, 전류(AC 220 V/5 A)조건에서 자석의 배치(single, double)와 자계의 방향(double)에 따라 측정되는 아크 지속시간과 순간적인 전압, 전류 교차 파형이 달리 관찰된다. 자석을 사용하지 않았을 경우인 그림 7(a)의 경우에는 일반적인 전압, 전류 교차하는 데이터가 관찰되고 자석을 사용했을 때보다 긴 아크시간을 가진다. 또한, 자석의 배치(single, double) 구조와 관계없이 자석을 배치하면 아크 지속시간이 감소하여 이를 통해 아크에너지의 감소도 예측할 수 있으며, 자석의 자계가 접점에서 발생하는 아크에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그림 7(b), (C)에서 접점 중심부에 같은 자계방향으로 작용할 때, 후반부의 파형특징이 달리 나타나며, 전압과 전류의 변동횟수가 급격히 증가하는 것이 확인된다. 이는 접점에서 발생하는 아크에 더욱 효과적으로 작용하고 아크에너지 측면에서 차이가 발생할 것을 예상할 수 있다.

그림 7(c), (d)와 같이 자석의 배치에 따른 내부의 자속밀도가 다르게 배치하면 아크 지속시간과 전압, 전류의 후반부 파형이 달라진다. 이런 이유로 실험조건에

따라 아크 지속시간 관찰과 더불어 식 (1)을 통해 아크 에너지를 계산하여야 한다.

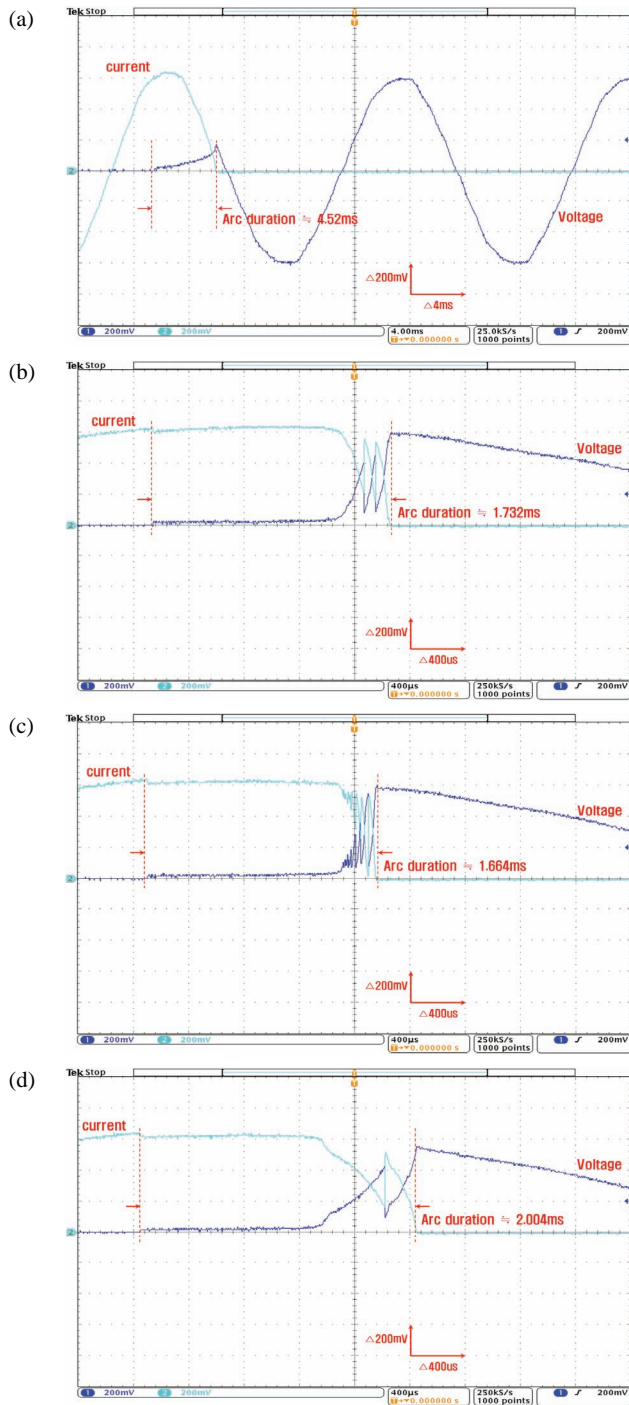


Fig. 7. Waveform of break condition at AC 220/5 A (a) without magnet, (b) single magnet N-pole, (c) double magnet N-N pole, and (d) double magnet N-S pole.

3. 결과 및 고찰

3.1 자계에 따른 아크 지속시간 변화

자계의 유·무와 작용 방향(single N, double S-N/S-N, S-N/N-S)의 변화에 따른 아크 지속시간에 대한 결과는 그림 8(a)~(d)와 같다. 실험 변화에 따라 5회

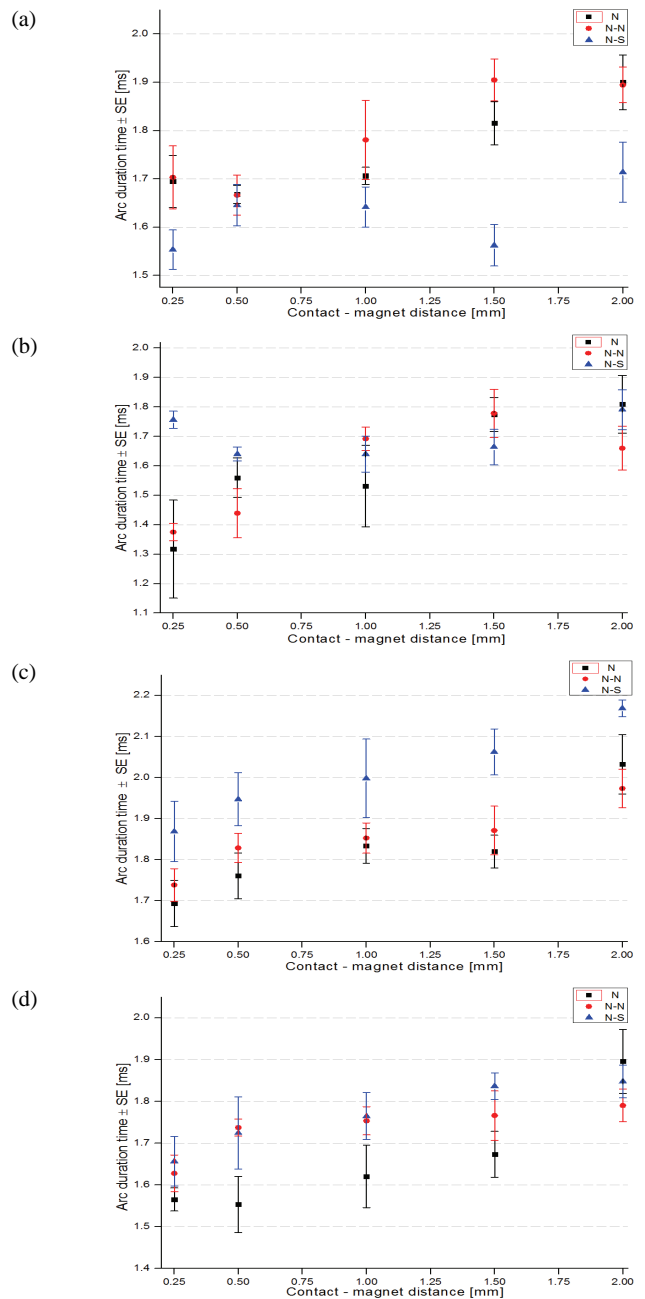


Fig. 8. Arc duration time of break condition during magnet (a) 110 V/5 A, (b) 110 V/10 A, (c) 220 V/5 A, and (d) 220 V/10 A.

측정된 결과를 바탕으로 지속시간과 아크에너지의 평균값, 표준오차(standard error, SE)를 계산하여 변화 추이를 관찰하였다. 4종류의 부하조건(AC 110 V/5 A, 10 A, AC 220 V/5 A, 10 A)에서 접점에 작용하는 에너지에 따라 아크 지속시간이 달리 나타났으며, 에너지 조건이 높아지면 single N과 double S-N/N-S 조합이 double S-N/S-N보다 상대적으로 낮은 아크 지속시간을 가진다. 표 2는 4종류의 부하 조건의 자석 유·무에 따른 평균값이다. 이때, 접점과 자석의 거리에 따라 자계의 방향과 개수에 상관없이 자석의 배치에 따른 각 5회의 결과를 합친 15번 실험 결과의 평균값으로 분석하였다. 분석 결과 접점과의 거리가 짧아질

수록 접점에서 발생하는 아크에 자계의 영향이 커짐으로써 효과적인 아크 저감이 이루어지고 이 과정에서 아크 지속시간이 짧아진다는 것을 예상할 수 있다.

표 2 결과를 바탕으로 자석의 배치 간격과 부하조건에 따른 아크 지속시간의 결과를 최소자승법으로 분석한 결과는 그림 9와 같다. 각각의 부하 조건별 결정계수(R^2)는 110 V/5 A (0.976), 110 V/10 A (0.923), 220 V/5 A (0.907), 220 V/10 A (0.977)로 높은 결정계수를 가지고 연관성이 크다고 할 수 있다.

3.2 아크에너지 변화

접점에서 발생하는 아크에너지는 식 (1)을 통해 전압, 전류, 아크 지속시간을 결과값을 이용해 아크에너지를 구할 수 있고 4종류의 부하 실험조건에 의한 아크에너지의 변화는 그림 10(a)~(d)와 같다. 앞서 아크 지속시간 결과의 경향성을 아크에너지로 그대로 따라가는 것을 아님을 확인할 수 있으며, 아크 지속시간이 짧더라도 그 시간 동안 아크의 전압과 전류값이 클 경우 아크에너지가 커지기 때문에 이러한 결과가 나왔음을 예측할 수 있다. 또한, 접점의 직경은 5.5 mm이고 자석의 자속밀도가 가장 크게 영향을 미치는 부분에서 아크가 일정하게 발생하는 것이 아니고 불규칙한 위치에 발생한다. 자석의 거리에 따른 자속밀도의 변화는 접점의 직경을 기준으로 했을 때, 자속밀도가 큰 차이가 나는 것이기 때문에 이러한 결과가 도출된 것으로 예상된다.

실험조건 double (S-N/S-N)는 접점 중심부에 가장 높은 값의 자속밀도(single 배치의 2배)가 작용하기 때문에 아크에너지가 효과적으로 감소할 것으로 판단되었다. 하지만 실험 결과에서는 double (S-N/N-S)의 배치가 간격과 관계없이 비교적 낮은 아크에너지를 가지고 효과적으로 아크 저감 과정에 관여한다는 것을 알 수 있다.

접점에서 발생하는 아크에너지를 아크 지속시간의 분석과 같은 방식으로 모든 자석 실험조건의 결과를 평균으로 분석한 결과는 표 3과 같다. 접점에 자계를 인가하여 아크 지속시간이 감소한 결과와 같이 아크에너지도 자석 사용 유·무에 따라 감소하는 특징을 보인다. 또한, 자석의 거리가 증가하면 접점에 미치는 자계가 감소하는데, 접점과 자석의 거리가 증가할수록 아크에너지는 증가한다. 아크에너지는 접점과 자석이 가장 근접했을 때(distance=0.25 mm) 약 39~50% 가장 많이 감소하고 이를 통해 직접적인 자기적 아크 저감 효과

Table 2. Arc duration according to test content.

Contents	110 V/5 A	110 V/10 A	220 V/5 A	220 V/10 A
Initial condition	3.888 ms	3.808 ms	4.208 ms	4.5 ms
Magnet (d-0.25 mm)	1.650 ms (-57.6%)	1.483 ms (-61.1%)	1.767 ms (-58.0%)	1.617 ms (-64.1%)
Magnet (d-0.5 mm)	1.660 ms (-57.3%)	1.546 ms (-59.4%)	1.846 ms (-56.1%)	1.672 ms (-62.8%)
Magnet (d-1 mm)	1.710 ms (-56.0%)	1.621 ms (-57.4%)	1.895 ms (-55.0%)	1.713 ms (-61.9%)
Magnet (d-1.5 mm)	1.761 ms (-54.7%)	1.739 ms (-54.3%)	1.918 ms (-54.4%)	1.759 ms (-60.9%)
Magnet (d-2 mm)	1.836 ms (-52.8%)	1.754 ms (-53.9%)	2.058 ms (-51.1%)	1.845 ms (-59.0%)

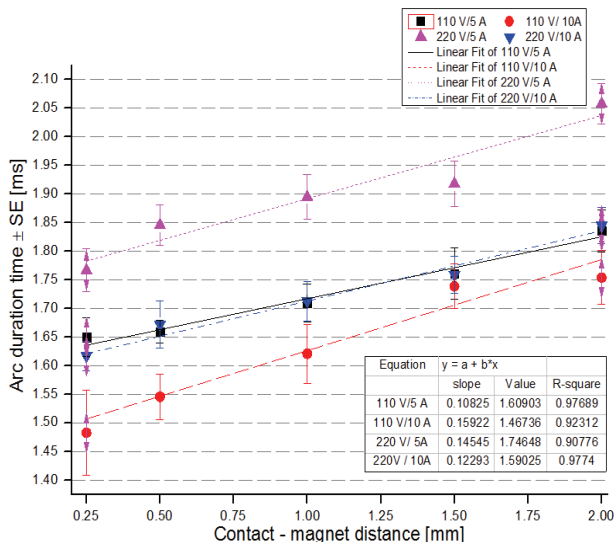


Fig. 9. Arc duration according to magnet distance.

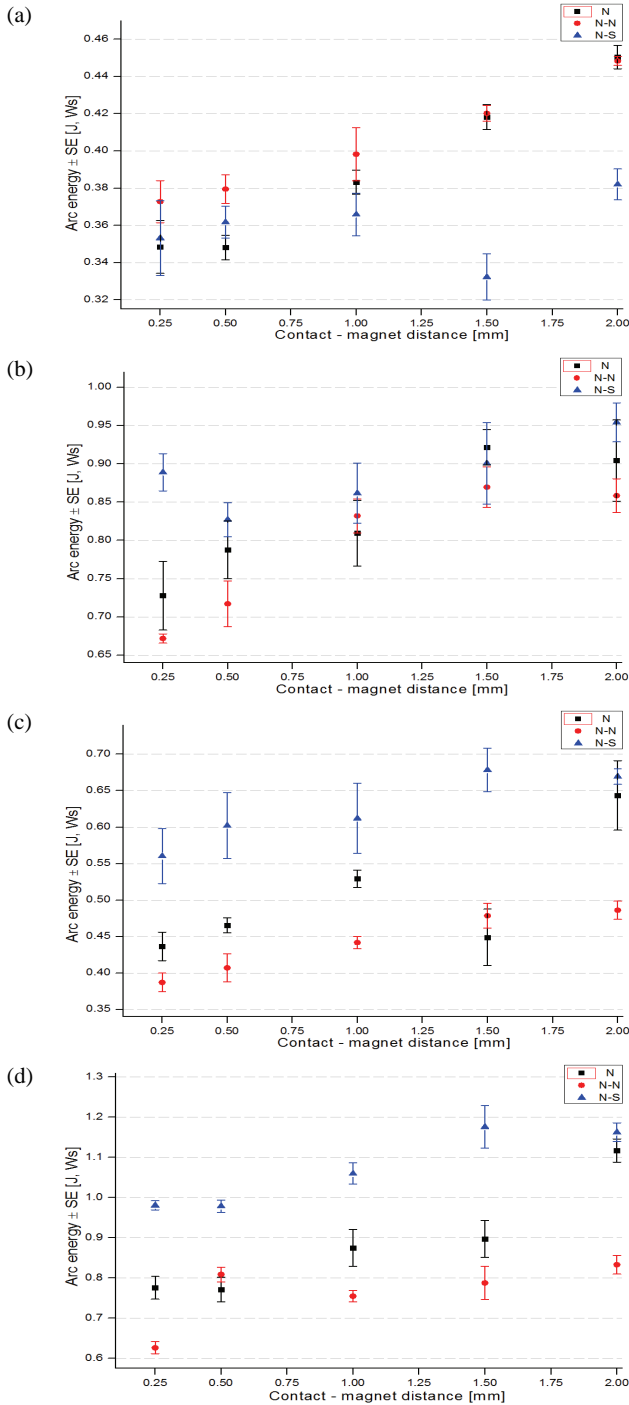


Fig. 10. Arc energy of break condition during magnet (a) 110 V/5 A, (b) 110 V/10 A, (c) 220 V/5 A, and (d) 220 V/10 A.

를 확인할 수 있다.

표 3의 결과인 자석 배치의 거리 변화에 따른 아크 에너지 상관관계 그래프는 그림 11과 같다. 분석 결과

Table 3. Arc energy according to test contents.

Contents	110 V/5 A	110 V/10 A	220 V/5 A	220 V/10 A
Initial condition	0.716 J	1.259 J	0.845 J	1.479 J
Magnet (d-0.25 mm)	0.358 J (-50.0%)	0.763 J (-39.4%)	0.461 J (-45.4%)	0.794 J (-46.3%)
Magnet (d-0.5 mm)	0.363 J (-49.3%)	0.777 J (-38.3%)	0.492 J (-41.8%)	0.853 J (-42.3%)
Magnet (d-1 mm)	0.382 J (-46.6%)	0.834 J (-33.7%)	0.528 J (-37.5%)	0.897 J (-39.4%)
Magnet (d-1.5 mm)	0.390 J (-45.5%)	0.897 J (-28.7%)	0.535 J (-36.6%)	0.954 J (-35.5%)
Magnet (d-2 mm)	0.427 J (-40.4%)	0.906 J (-28.1%)	0.600 J (-29.0%)	1.038 J (-29.8%)

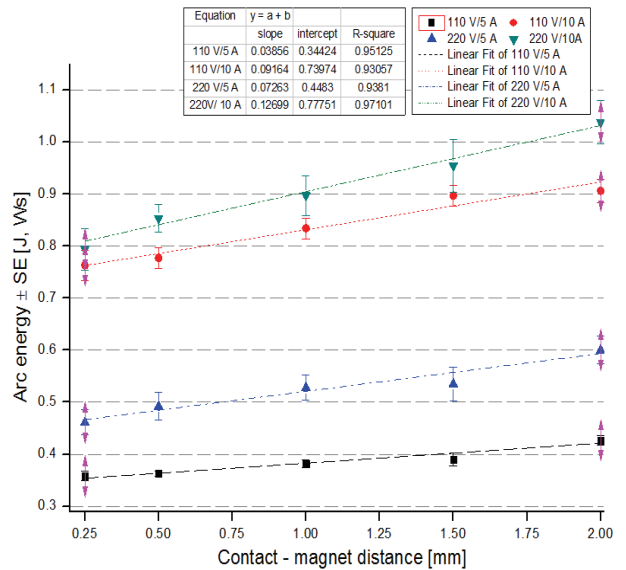


Fig. 11. Arc energy according to magnet distance.

에서 결정계수(R^2)는 110 V/5 A (0.951), 110 V/10 A (0.930), 220 V/5 A (0.938), 220 V/10 A (0.971) 로 아크 지속시간과 같이 1에 가까운 높은 경향성을 확인할 수 있다.

4. 결론

릴레이 개폐 동작 시 발생하는 아크를 저감하기 위해 영구자석을 사용한 방법으로 아크에너지가 감소한 것을 실험적으로 확인하였다. AC, DC 부하조건에서

모두 릴레이가 make 상태에서는 전압은 0 V로 떨어지고 전류는 상승하기 때문에 교차하는 파형이 관찰된다. 반대로 break 상태에서도 전압이 상승하고 전류가 0 A가 되기 때문에 교차하는 파형에서 지속시간과 그 시간 동안의 전압과 전류를 알 수 있다. 이를 통해 값을 계산하면 아크에너지를 계산할 수 있고 이를 바탕으로 자기적 아크 저감효과가 있는지를 판단하였다.

- 1) 자기적 아크 저감실험에서 비교할 수 있는 데이터는 아크 지속시간과 아크에너지이다. 아크 지속시간과 아크에너지의 경향성이 완전히 똑같이 나타나지는 않으며, 아크 지속시간이 짧더라도 아크 에너지가 높게 나올 수 있다. 이런 이유는 지속시간 중의 전압, 전류값이 아크에너지 값을 결정하는데 영향을 미치기 때문이다. 두 결과 중 아크 에너지를 비교·분석할 필요성이 있다.
- 2) 자석 배치에 따른 아크에너지의 변화의 경향성을 구하기는 쉽지 않다. 이유는 릴레이 접점 내부에서의 아크 발생 위치가 일정하지 않고 불규칙한 지점에서 발생하며 그에 따른 자속밀도가 어느 정도 미쳤는지 알 수 없기 때문이다. 하지만 자석 배치에 대한 모든 결과를 평균한 결과에서 아크 에너지는 4종류의 부하조건 모두 자석의 간격을 0.25 mm 떨어뜨려 놓았을 때, 약 39~50% 감소함을 알 수 있다. 이를 통해 자석 배치에 이용한 아크 저감은 효과가 있는 것을 알 수 있다.

ORCID

Chang-Su Huh

<https://orcid.org/0000-0002-4566-3823>

REFERENCES

- [1] Y. Kayano and H. Inoue, *Proc. 27th International Conference on Electrical Contacts* (Akita University, Akita, 2014) p. 635.
- [2] S. H. Choi, K. S. Kim, J. M. Ryu, and C. S. Huh, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **28**, 115 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2015.28.2.115>]
- [3] A. Vassa, E. Carvou, S. Rivoirard, L. Doublet, C. Bourda, D. Jeannot, P. Ramoni, N. Ben Jemaa, and D. Givord, *Proc. 2010 Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts* (IEEE, Charleston, 2010) p. 1.
- [4] J. Sekikawa and T. Kubono, *Proc. 2008 Proceedings of the 54th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts* (IEEE, Orlando, 2008) p. 21.
- [5] J. Sekikawa, N. Ban, and T. Kubono, *Proc. 2010 Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts* (IEEE, Charleston, 2010) p. 1.
- [6] K. Yoshida, K. Sawa, K. Suzuki, M. Watanabe, and H. Daijima, *Proc. 2011 IEEE 57th Holm Conference on Electrical Contacts (Holm)* (IEEE, Minneapolis, 2011) p. 1.