

주석 도금 두께에 따른 퓨즈 가용체의 I-T 커브 및 전기적 특성의 영향

진상준¹, 김은민², 윤재서³, 이예지³, 노성여^{4*}

¹스마트전자(주), ²서울대학교 전력연구소, ³부경대학교 기술경영전문대학원, ⁴동명대학교 향만물류시스템학과

Effect the I-T curve and electrical characteristic of fuse elements by plated tin thickness

Sang-Jun Jin¹, Eun-Min Kim², Jae-Seo Youn³, Ye-Ji Lee³, Seong-Yeo Noh^{4*}

¹Development team, SMART Electronics Inc.

²Electric Power Research Institute, Seoul National University

³Graduate School of Management of Technology, Pukyong National University

⁴Department of Port Logistics System, TongMyong University

요약 최근 다양한 신재생 에너지 전력원의 확산과 저전력 고효율화 추구로 인하여 전력산업의 트렌드뿐만 아니라 소모량, 제어 방식과 동작 특성 등도 다변화되고 있다. 하지만 이와 같이 다양화 되고 있는 전력 산업에서 안전을 책임지는 핵심 부품인 퓨즈는 고전적 동작 형태에서 크게 발전하지 못하였고, 이로 인하여 계속해서 화재 및 폭발사고가 발생하고 있다. 이에 본 논문에서는 고전적 퓨즈 제작 방식인 카트리지 퓨즈에서 가용체에 저 용점 금속 도금 및 고 용점 금속 도금이 퓨즈의 동작 특성과 I-T 커브의 이동에 미치는 영향을 확인하고, 퓨즈의 동작 특성을 세분화하는 두께에 따른 도금의 영향을 고찰하여 퓨즈의 다양한 동작 특성을 구현하였다. 이와 함께 저 용점 금속의 도금이 퓨즈의 정격전류 선을 낮은 정격으로 이동시키고 동작 특성을 지연 동작의 특성으로 움직여 이를 활용한 다양한 동작 특성 설계가 가능함을 제시하였다.

Abstract In recent years, due to the spread of various renewable energy power sources and the pursuit of high efficiency and low-power consumption, not only trends in the electric power industry but also the consumption, control methods, and characteristics are diversified. However, in this diversified electric power industry, the fuse (which is the core part responsible for safety) has not developed significantly in classical operation mode, and thus, fires continue to occur. In this paper, the effects of low melting-point metal plating and high melting-point metal plating on operating characteristics and IT curve movement of the fuse are investigated in a cartridge fuse, which is a classic fuse manufacturing method. The effects of plating on the thickness of the fuse are investigated, and various operating characteristics of the fuse are implemented. In addition, it is suggested that the plating of the low melting-point metal moves the rated current line of the fuse to a low rating, and moves operating characteristics to characteristics of delay operation. It is possible to design various operating characteristics using this characteristic.

Keywords : Diffusion, Fuse, I-T curve, Plated wire, Rated current line

1. 서론

최근 전력산업의 패러다임 변화로 인한 저탄소 녹색 성장이라는 기조 아래, 신재생 에너지의 적용을 연구하

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(no.20172220200130)

*Corresponding Author : Seong-Yeo Noh (TongMyong Univ.)

Tel: +82-10-8559-5336 email:nsy@tu.ac.kr

Received April 25, 2018

Revised May 23, 2018

Accepted June 1, 2018

Published June 30, 2018

여 해결책을 제시하는 산업과 기존 제품의 저 전력, 고효율화를 추구하여 소비 효율적으로 접근하는 산업이 동반적으로 발전하고 있다

이는 화석 에너지의 고갈과 원자력 발전의 위험성이 대두되면서, 급속도로 사회 전반에 인식되고 있다[1-2]. 이중 기존에 사용 중인 제품의 저 전력, 고효율화 방향은 전력의 소모량뿐만 아니라 전력의 과형과 제어 방식 등에서 여러 가지 변화를 가져왔고 이에 따라 제품에 유입되는 전류 및 전압의 형태가 다양화되고 있어, 적용 부품의 전반적인 기능과 특성의 변화도 이끌게 되었다. 특히 전기 전자 기기 내 외부에서 발생하는 이상 상태에 따른 과전류 혹은 과전압 유입 시 1차적으로 동작하여 화재 및 폭발을 막는 보호 소자는 다변화하는 전력에 따라 기능의 다양화가 요구된다. 그리고 보호 소자 중 화재 예방과 직접적으로 관련이 있고 다양한 전력 환경에 대응하는 동작 특성이 필요한 퓨즈의 기능적, 특성적 개선이 필요하다.

하지만, 퓨즈의 동작 형태는 Fig. 1과 같이 크게 빠른 동작과 지연 동작의 2종류로 분류되고, 세분화 하여 매우 빠른 동작, 빠른 동작, 일반 동작, 지연 동작, 매우 느린 동작의 다섯 종류만으로 구분되고 사용 중 이다[3]. 이와 같은 퓨즈의 동작 형태로 기존의 일정한 전력 형태에서는 안전 적용 및 사용에 어려움이 없었지만, 다변화하는 전력 환경에서 세밀한 동작과 전기적 특성이 요구된다. 그러나 전기안전 부품인 퓨즈는 안전 최우선 목적을 위하여 크기와 재료, 제작 방법과 형태 등이 IEC 규격에 규정되어있어 설계의 자유도가 제한되어 있다[4].

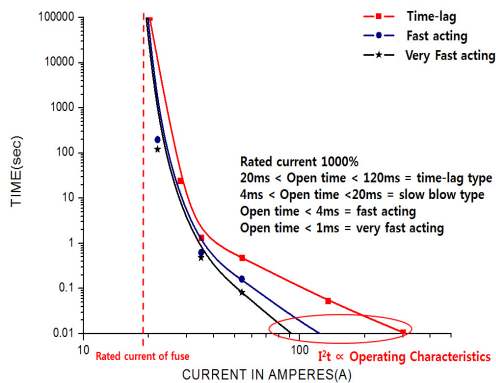


Fig. 1. Operating characteristics of the fuse in I-T curve

때문에 규격에 제시된 두 종류의 동작 특성 외의 새로운 전력체계에서 필요한 보호 소자의 성능을 구현하기 어려운 실정이다[5]. 이에 본 연구에서는 최근 연구 중인 다양한 전력에서 안전을 확보하기 위하여 퓨즈의 세밀한 동작 조정을 복합 도금층을 통해 구현하였다. 특히 퓨즈의 동작 특성을 나타내는 정격전류 선을 저 용점 금속 도금을 이용해 이동시켜 기울기를 조정하는 방법으로 다양한 전력에 대응할 수 있는 퓨즈 가용체 설계 방법을 제시하였다.

2. 본론

2.1 실험

2.1.1 퓨즈 가용체 제작

실험은 퓨즈의 방열에 용이한 가용체 구조로 인한 열 이동의 영향을 최소화하기 위하여 환선 형태의 퓨즈 금속 가용체를 구성하였다. 재료의 영향과 저 용점 금속 도금 두께의 영향을 확인하기 위하여 상용 퓨즈에 많이 적용되는 구리에 니켈 함량을 조정하여 합금을 제작하였고 이 중 순동과 합금 함량이 가장 많은 Cu-45Ni은 도금 두께에 따라 세분화 시험을 실시하였다. 제작 방법은 기준 금속인 Cu 100wt%에 니켈을 각각 5, 10, 20, 45, 65, 85wt%의 합금을 진공 용융로에서 용융하여 잉곳 형태로 제조하였고 조성은 Table 1 합금 조성과 같다.

Table 1. Composition of the metal alloys

Alloy	Composition (wt%)	
	Cu	Ni
Cu100%	100	-
Cu-5Ni	95	5
Cu-10Ni	90	10
Cu-20Ni	80	20
Cu-45Ni	55	45
Cu-65Ni	35	65
Cu-85Ni	15	85

이후에 분산화 열처리와 상하부 편식제거를 통해 농도를 조정하고 인발 신선 공정으로 거쳐 와이어로 제작하였다. 제작된 합금의 조성을 확인하기 위해 EDX (Energy Dispersive X-ray)분석을 수행하였으며, 이후 Fig. 2와 같이 건축된 주석 도금액에 와이어 랙(rack)도금 방식으로 주석 도금을 실시하였다.

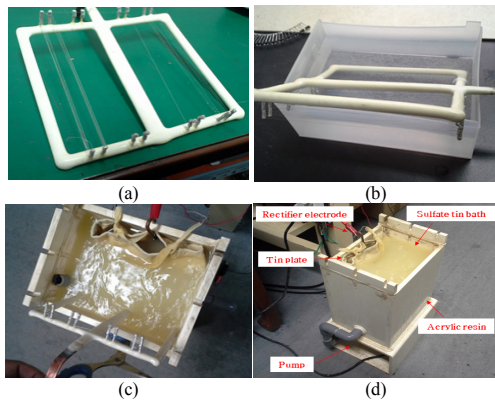


Fig. 2. Fine wire plating procedure, (a) wire raking, (b) wire etching, (c) electrolytic tin plating, (d) pilot plating equipment

황산 주석을 이용한 도금 건속 조성과 도금 조건은 Table 2와 같으며, 도금의 두께는 와이어 선경 체적의 10%, 20%, 30%와 같이 체적에 비례한 두께 변화로 실험을 실시하였다.

2.1.2 실험 샘플 제작

Table 2. Fine wire plating condition

Solution Composition	1 Layer Plating	
	Component	Contents
	SnSO ₄	50g/l
	H ₂ SO ₄	180g/l
	Top-10(additive)	30ml/l
Plating Condition	T-AC(brightener)	30ml/l
	Condition	
	Temperature	25℃
	Current Density	2.5A/dm ²
	pH	4
	barrel speed	40rpm/min

일반적인 환선 와이어 형태의 퓨즈를 포함한 많은 퓨즈는 가용체에 집중되는 열의 분산을 막기 위해서 열 이동이 용이한 단자(terminal) 및 절연 케이스와의 접촉 면적을 최소로 한다[6]. 이와 같은 퓨즈 구조는 재료적 특성만을 실험하기 적합한 구조로 모든 퓨즈 형태 중 열 이동이 가장 적어 퓨즈 가용체의 고유 동작 특성 확인이 용이한 IEC 60127-2 카트리지 퓨즈 중 Fig. 3과 같은 유리관 퓨즈의 형태로 샘플을 제작하였다.

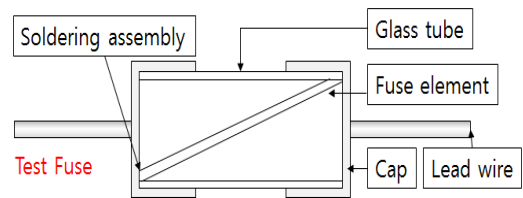


Fig. 3. IEC 60127-2 Cartridge fuse sheet3 glass type Low-breaking

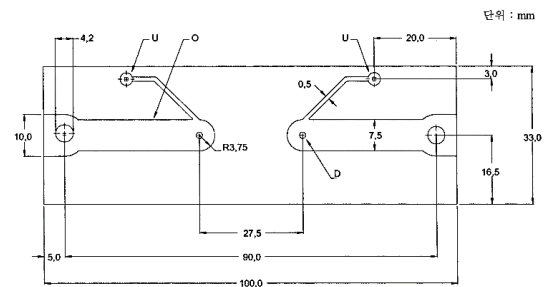


Fig. 4. IEC 60127-2 Cartridge fuse Test PCB

그리고 정확한 측정을 위하여 Fig. 4에 나타낸 IEC 60127-2 카트리지 퓨즈 표준 기판에 지정된 용가재를 사용한 접합 방법으로 퓨즈를 실장 후 특정 시험을 실시하였다. 퓨즈 가용체의 형상은 원통형 환선 와이어로 고정하였고 선경은 정격 전류에 따라 변경하며 대조군을 두었다. 퓨즈 가용체의 길이는 유리관 절연 케이스의 대각 방향에 가용체를 삽입하여 모든 가용체가 $19.7 \pm 0.3\text{mm}$ 이내의 길이를 가지도록 시료를 제작하였다.

실험은 일급 종류의 합금을 선경과 도금 두께에 따라 제품을 제작하여 모든 시료의 불량 단선 여부 등을 확인하였다. 각 시료 군은 최소 50개 이상의 예비 시료를 확보하고 기판 실장 후 모든 시료의 전기저항을 측정하고 주기하였다. 이후 모든 파워 서플라이를 사용하여 전기적 특성 실험을 실시하였고, 전류에 따라 용단되는 시간을 분석하여 시험 결과를 도출하였다. 용단 실험간 파워 서플라이 전류는 ICE 60127-1에 정의된 DC 정 전류에서 변동 전압이 30V 이내 있도록 유지하였다. 실험은 파워 서플라이 Sorensen社 SGI 330/150, 오실로스코프 Tektronix社 DPO 3022, 저항계측기 Hiyoki社 3227 mΩ Hitester를 사용하였다.

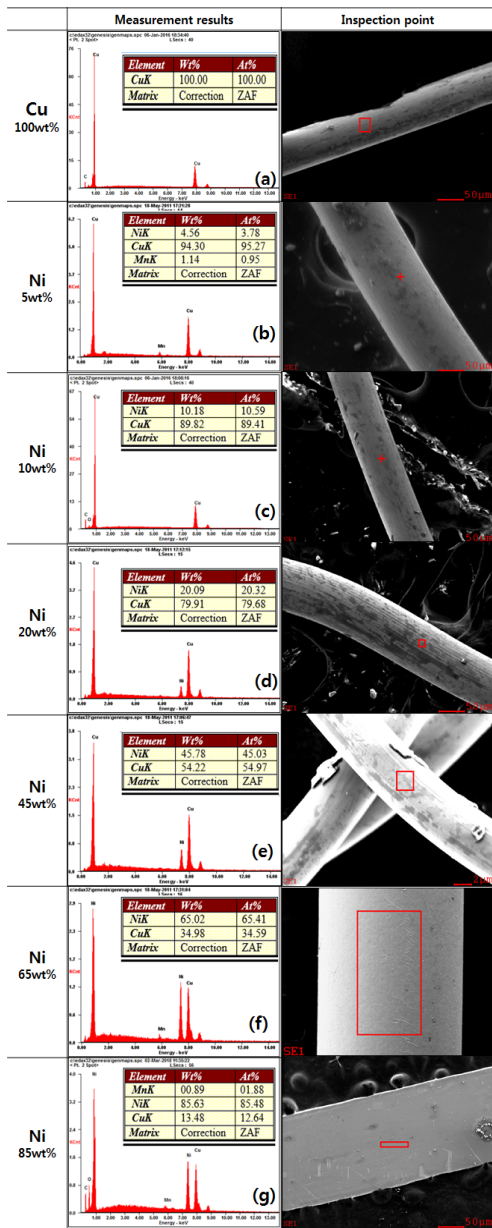


Fig. 5. EDX analysis for metal alloy fuse elements; (a)99.95wt%Cu (b)Cu-5wt%Ni alloy (c)Cu-10wt%Ni alloy (d)Cu-20wt%Ni alloy (e)Cu-45wt%Ni alloy (f)Cu-65wt%Ni alloy (g)Cu-85wt%Ni alloy

2.2 실험 결과

2.2.1 전기적 특성 변화

Fig. 5에 제작된 합금 저항의 조성을 확인하기 위해

측정한 EDX 결과를 나타낸다. Fig. 5(a)로부터 퓨즈 가용체에 적용된 공업용 순동 99.95% 이상의 Cu와 기타 합금의 측정 결과로부터 설계한 합금의 합량 조성이 양호하게 제작되었음을 알 수 있다.

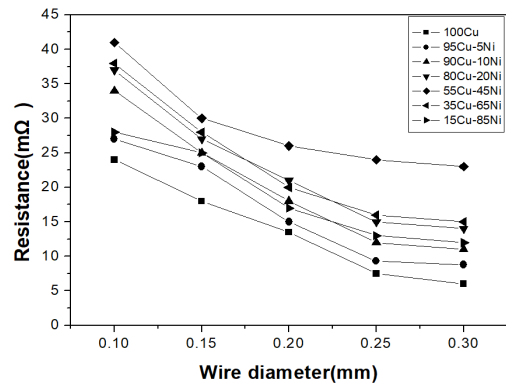


Fig. 6. Change in resistance according to the wire diameter and the composition of Ni-Cu alloy

그리고 동일 유리관 절연 케이스에서 대각 방향으로 연결된 일정한 길이에 따른 합금 와이어의 저항 변화 확인을 통해 합금의 발열 특성을 판단할 수 있다. 퓨즈의 저항 증가는 전류 통전 시 발열량과 비례하기 때문에 퓨즈의 정격과 밀접한 관련이 있다[7]. 즉 퓨즈의 저항이 증가할수록 동일한 전류에서 퓨즈가 용단 되는 시간이 빨라지고 정격은 하락한다. 실험 결과 Fig. 6과 같이 순 금속(순동)일 때 가장 전기 전도도가 우수했으며, 합금의 함유량이 증가할수록 저항치가 상승하는 경향을 보였다.

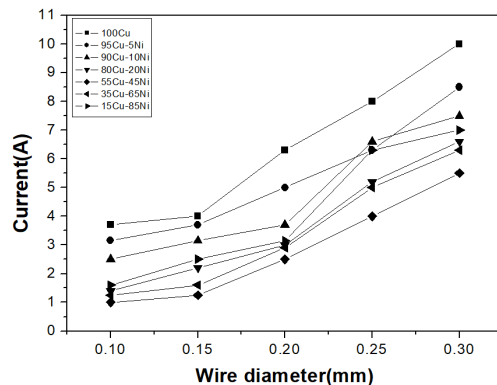


Fig. 7. Change in rated current according to the wire diameter and the composition of Cu-Ni alloy

저항치의 상승에 따라 Fig. 7과 같이 니켈 함량이 증가할수록 열 이동 속도가 하락하기 때문에 정격 전류의 선이 낮은 정격전류 방향으로 이동한다. 즉 Cu-45wt%Ni의 전기전도도와 열전도도가 가장 낮기 때문에 상대적으로 가용체 중심에 열 집중이 우수하고 이로 인해 낮은 온도에서도 용단이 가능하게 된다. Fig. 7의 결과로부터 가용체 합금 Cu-45wt%Ni는 일반 동작 특성(slow-blow type), Cu 100는 매우 느린 동작 특성, 그리고 나머지 합금은 지연 동작 특성(Time-lag type)임을 확인할 수 있다.

2.2.2 전기적 특성 변화

확인된 합금의 동작 특성에서 저 용점 금속에 의한 동작 특성의 변화는 Fig. 8에 나타난 Cu 100 금속 와이어 선경 0.22mm 가용체로 제작한 7A 퓨즈로 도금에 의한 동작 특성 변화를 확인하는 대표 실험을 실시하였다.

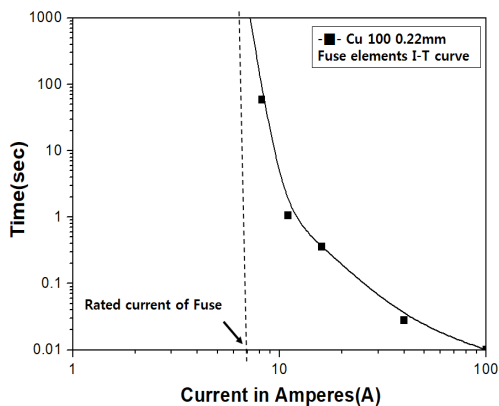


Fig. 8. Sample test of rated current test 7 amperes

실험은 대표 정격 7A 특성 퓨즈에 저 용점 금속인 주석을 선경의 10%, 20%, 30% 도금하는 방식으로 샘플을 제작하였고 대표 정격 7A 퓨즈와 특성을 비교하기 위하여 용단시험을 실시하였다. 그리고 특성의 대조를 위해 전기전도성이 높고 용점이 상대적으로 높은 은(Ag)의 도금을 각 10%, 20% 추가하여 동작 특성을 비교하였다.

Fig. 9의 결과로부터 주석 도금으로 인하여 퓨즈의 고유 동작 특성이 나타나는 정격전류의 10배 인가 영역은 거의 변화 없이 정격전류 선만 낮은 정격 전류 선으로 이동이 나타남을 확인할 수 있었다. 그리고 선경의 30% 이상 높은 도금 두께에는 I-T 커브 전체가 높은 쪽으로

이동하였고, 이는 퓨즈 가용체의 선경을 증 시킨 것과 같은 거동으로 판단할 수 있다.

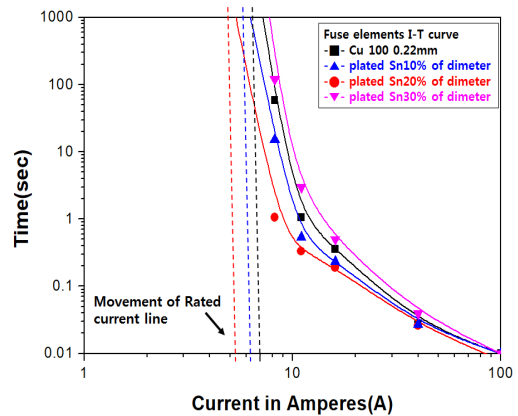


Fig. 9. Movement of rated current lines by tin plating

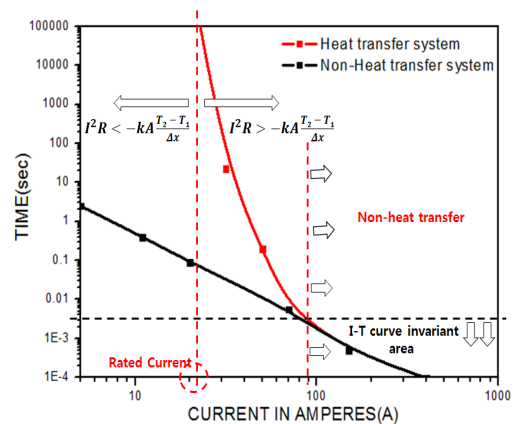


Fig. 10. Change of rated current of fuse by heat transfer

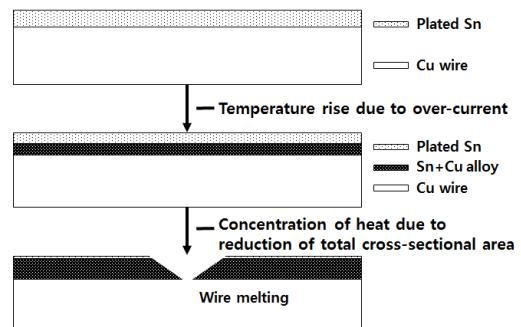


Fig. 11. Melting process of copper plated tin for fuse elements

이와 같은 퓨즈 가용체의 저 용점 도금 영향 해석은 Fig. 10과 같이 열 이동이 없는 이상적인 계에서 전류와 용단 시간이 비례적인 관계를 보이지만, 열 이동이 있는 계에서는 동일한 전류에서 열 이동이 없는 계보다 용단 시간이 지연된다.

이는 퓨즈 가용체에 인가되는 전류와 내부 저항에 의한 발열량과 전도, 대류, 복사 등으로 손실되는 열량에 기인하며, 열의 이동량이 증가하여 열 손실이 커짐에 따라 퓨즈의 정격전류 선은 높은 정격전류 방향으로 이동한다[8]. 이와 같은 방법이 빠른 동작 특성 퓨즈를 제작하는 방법으로 열전도도가 높은 금속의 도금, 필름, 플레이트 구조의 가용체, 단자의 열 이동량 상승 등이다. 반대로 퓨즈의 용단이 용이하도록 가용체 중심부 온도를 상승시키고, 열의 이동을 최소화하며, 재료의 용점을 낮추는 가용체 설계는 퓨즈의 동작 특성을 지연 동작 특성으로 만드는 방법으로 적용한 저 용점 금속의 도금은 Fig. 11과 같이 저 용점 금속의 확산을 통해 가용체의 용단 온도를 낮추는 것으로 판단할 수 있다[9].

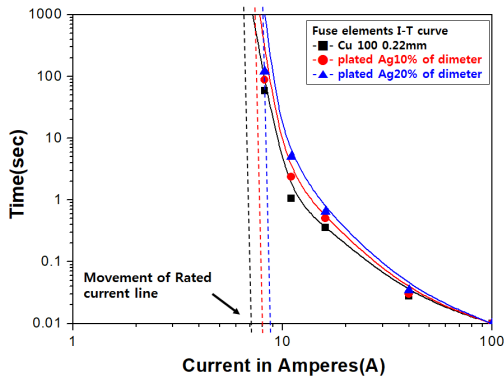


Fig. 12. Movement of rated current lines by silver plating

동일한 조건에서 은(Ag)으로 도금한 Cu 가용체는 Fig. 12의 결과와 같이 열의 이동량이 증가하여 열 손실이 많아짐에 따라 퓨즈의 정격전류 선은 높은 정격전류 방향으로 이동한다. 때문에 퓨즈는 빠른 동작 특성을 나타내고 은(Ag) 도금을 20% 실시한 와이어의 경우 매우 빠른 동작 특성을 나타내어 Cu 금속에 도금 공정만을 활용하여 매우 느린 동작 특성부터 매우 빠른 동작 특성까지 모든 특성을 설계할 수 있음을 확인하였다.

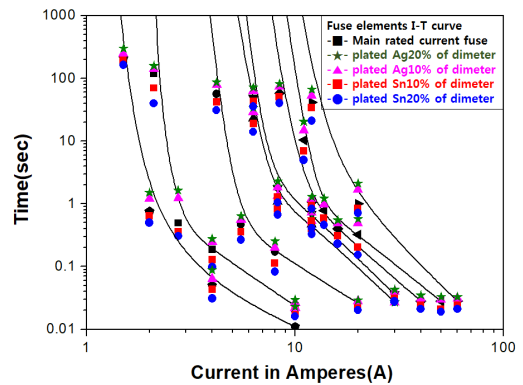


Fig. 13. Movement of rated current lines by silver plating

Fig. 7에서 설계 실험한 Cu-Ni 합금과 선경에 따른 정격전류를 적용하여 현재 상용화되는 모든 카트리리지 퓨즈의 5가지 동작 특성을 모두 구현할 수 있고, Fig. 13의 결과와 같이 특성의 반대에 해당하는 Cu-45Ni 합금과 Cu 100% 금속만을 이용하여 카트리리지 퓨즈의 모든 정격전류와 5가지 동작 특성을 구현할 수 있었다.

결과로부터 Cu-45Ni 합금의 직경 0.11mm 와이어를 사용하여 1A를 제작하였고 선경을 상승시키며, 1.25A, 1.6A, 2A, 2.5A, 3.15A 퓨즈를 제작하였다. 그리고 Cu 100% 금속을 사용하여 4A 이상 정격전류를 제작하였다.

3. 결론

본 연구에서 Cu-Ni 합금 혹은 구리(Cu)에 은, 주석의 순차적 적층 도금을 이용하여, 퓨즈의 정격전류 선을 이동, 5가지 동작 특성의 퓨즈 가용체를 설계한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 빠른 동작 특성의 퓨즈 가용체는 발생하는 열의 손실을 이용하여 퓨즈의 정격 전류 선을 높은 정격 전류 방향으로 이동시켜야 하며, 재료적으로는 열 이동이 가장 빠른 은(Ag)의 도금 적용이 특성에 부합하고 구조적으로는 판재, 필름 구조의 설계 조건이 특성을 만족한다 [10].

둘째, 반대로 지연 동작 특성의 퓨즈 가용체는 열의 집중이 용이해야 하며, 열 집중이 용이한 구조에서 주석 도금은 원자 확산에 의한 재료의 용점을 낮추는 방법으로 퓨즈 가용체의 정격전류 선을 낮은 정격전류 쪽으로

이동시켜 지연 동작을 구현한다.

이상의 연구 결과로부터 제작된 퓨즈 가용체는 고전적인 카트리지 퓨즈에 사용하는 두 가지 동작 특성과 함께 매우 빠른 동작, 일반 동작, 매우 느린 동작까지 복합 도급 층에 의해 구현됨을 확인하였다. 또한 일반적으로 적용하는 퓨즈 가용체에 비하여 제작비용이 60% 감소하여 경쟁력 있는 제조 공법을 완성하였다.

References

- [1] Man Jo, Do-beak Na, Sang-woo Kim "Trends in lithium-ion battery technology for electric cars" *Energy Engineering*, Vol. 20, no. 2, pp 109-122, 2011.
- [2] Jung-hwan Park, Ham-ju Cha "Insulation design of battery management system for safety of electric vehicle" *The Korean institute of power electronics*, Vol. 7, No. 1, pp. 131-132, 2015.
- [3] Eun-Min Kim, Seung-Hwan Lee, Dea-Kweon Cho, Shin-Hyo Kim "Design of very fast acting fuse element using the Ag-Cu alloy" *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 63, no. 8, pp. 1070-1074, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2014.63.8.1070>
- [4] C. K. Ji and K. O. Kim, "Miniature fuses-Part2 : Cartridge fuse-links", Korea, Standards, KS C IEC-60127, 02. 07, pp. 16-26, 2005.
- [5] Lee Chun-Ha, Kim Shi-Kuk, Ok Kyung-Jae "A Study on the causal analysis of electrical fire by using fuse," Seoul, Korea, *Journal of Korean institute of fire science & engineering*, vol. 22, no. 1, pp. 24-28, 2008.
- [6] Young-gun Ko, Chul-won Lee, Soong Namkung, Dong-heon Lee, Dong-hyeok Sin, "Mechanical and electrical responses of submicrocrystalline Cu-3%Ag alloy" *The Korean Society For Technology of Plasticity*, Vol. 18, no 6, pp. 476-481, 2009.
- [7] A.Wright, P. G. Newbery "Electric fuses" London, United Kingdom, The Institution of Engineering and Technology(IET), 3th ed. pp. 11-15, 2004.
- [8] Nak-su Kim, Yong-taek Lim, Jong-taek Jin "Manufacturing Processes for Engineering Materials" Seoul, Korea, Pearson Education Korea, 3th ed. pp 769-772 2007.
- [9] David Gaskell "An introduction to transport phenomena in materials engineering" New Jersey, USA, Prentice-Hall, INC 1th ed. pp. 298-300 1997
- [10] Eun-Min Kim, Chang-Yong Kang, "Design of fast acting fuse characteristics using a precision multi-layer thin film plating" *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 65, no. 3, pp. 445-451, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.3.445>

진 상 준(Sang-Jun Jin)

[정회원]



- 2003년 2월 : 동아대학교 전자공학과 (학사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 스마트전자(주) 연구소 책임연구원
- 2017년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 재료공학과 (석사 과정)

<관심분야>

전기/전자, 재료/공학

김 은 민(Eun-Min Kim)

[정회원]



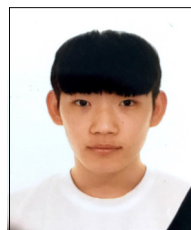
- 2009년 2월 : 부경대학교 소재프로세스 공학과 (학사)
- 2015년 2월 : 부경대학교 금속공학과 (석사)
- 2017년 9월 : 부경대학교 금속공학과 (박사 수료)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 서울대학교 전력연구소 전기에너지변환연구팀 연구원

<관심분야>

전기/전자, 금속/소재

윤 재 서(Jae-Seo Youn)

[준회원]



- 2018년 2월 : 동명대학교 경영학과 (학사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 기술경영전문대학원 (석사과정)

<관심분야>

환경/에너지, 기술경영/공학

이 예 지(Ye-Ji Lee)

[준회원]



- 2018년 2월 : 동명대학교 항만물류시스템학과 (학사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 기술경영전문대학원 (석사과정)

<관심분야>

환경/에너지, 기술경영/공학

노 성 여(Seong-Yeo Noh)

[종신회원]



- 2014년 1월 ~ 현재 : 동명대학교 항만물류시스템학과 교수

<관심분야>

환경/에너지, 기술경영/공학