

논문 2017-54-3-14

높은 차단용량 특성을 갖는 초소형 미니어처 퓨즈의 가용체 설계

(Design for a Fuse Element of Sub-miniature Fuse with
High Breaking Capacity Characteristics)

안 창 환*

(Chang Hwan Ahn[Ⓢ])

요 약

네트워크 기반의 휴대용 전자 제품의 시장 성장으로 전기기기들은 더욱 소형화 되고 있는 추세이고 내부 부품간의 거리가 가까워져 회로 단락의 위험이 높아지고 있다. 회로의 단락 상황에서 유입되는 높은 과전류로부터 폭발이나 화재 없이 전자기기를 안전하게 보호하기 위해서는 차단용량이 높은 밀폐형 카트리지 퓨즈를 적용해야 하지만 제품의 소형화 추세에 따른 공간의 문제로 해당 퓨즈의 적용이 불가능한 실정이다. 이를 해결하기 위해서 화학적 결합으로 퓨즈 가용체를 보호하는 밀폐형 퓨즈보다 공기의 유입이 자유로울 뿐만 아니라 물리적 결합으로 퓨즈링크를 보호하는 반밀폐형 초소형 퓨즈가 적용되는 것이 적합하지만 높은 차단용량 특성을 구현하는데 한계가 있다. 이에 본 논문에서는 상대적으로 공간을 적게 차지하면서 높은 차단용량을 갖는 반밀폐형 초소형 퓨즈를 위한 퓨즈 가용체 합금과 퓨즈링크의 설계 기술을 통하여 회로의 단락 상황에서 안전성을 확보하였다.

Abstract

In order to safely protect high over current flowing into the main circuit at short-circuit without any explosion or fire, the enclosed cartridge fuse with a high interrupting capacity should be applied. But this fuse is impossible to be applied to an inner electronic circuit because of a limited space problem result from the miniaturization trend of products. Therefore, it is necessary to apply a sub-miniature fuse with a relatively small size. However the semi-enclosed fuse which is more free for an influx of air than the enclosed cartridge fuse and is possible to protect fuse elements with chemical and physical combination can be adoptable. But it has a limit of implementing the characteristic of a high breaking capacity. For these reasons, the Fe-42wt%Ni fuse elements alloy and fuse-link with less space were designed to increase a breaking capacity of sub-miniature fuse and its safety for fire and explosion was confirmed in this paper.

Keywords : Fuse, Interrupt rate, Breaking capacity, Semi-enclosed fuse, Fuse-links

I. 서 론

최근 이차전지의 용량이 상승함에 따라 회로의 단락 상황에서 유입되는 전류도 상승하게 되었고, 이로 인해 폭발 및 화재 등의 2차 피해가 우려 되고 있다. IT 네

* 정회원, 인하공업전문대학 디지털전자과
(Department of Digital Electronics, Inha Technical College)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail : aza@inhac.ac.kr)

Received ; July 30, 2016 Revised ; February 1, 2017

Accepted ; February 20, 2017

트워크 기반의 휴대용 전자 제품의 시장 성장으로 이차 전지 충전기, 제어 시스템 회로 등은 더욱 소형화 되고 있는 추세로 인하여 회로 단락의 우려는 더욱 커지고 있다. 단락 시 이차전지 및 전자기기 시스템의 안전을 책임지는 보호소자인 퓨즈의 전기저항이 0Ω에 가까울 수록 정전압 조건에서 유입 전류는 이론상 무한대의 전류가 전자기기로 유입되게 된다. 그림 1과 같이 일반적인 휴대폰 충전기의 단락 조건을 만든 전류 유입 테스트에서도 회로 입력 부에서 평균 25~35A의 과전류가 충전기에 인가되고, 최대 100A 이상의 과전류가 순간적으로 유입되기도 한다^[1~2].

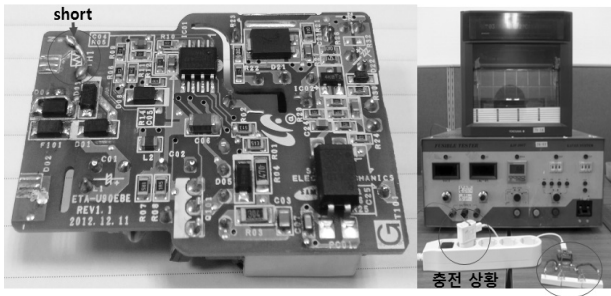


그림 1. 휴대폰 충전기 단락 테스트
Fig. 1. Short-circuit test for a charger of mobile phone.

일반적으로 차단용량이 가장 높고 미니어처 퓨즈군 중 가장 안전한 세라믹으로 제작되는 높은 차단용량을 갖는 카트리지 퓨즈의 경우 AC 250V에서 최대 유입전류 1500A에서도 폭발하지 않고 퓨즈 가용체(fuse element)만 용단될 수 있다^[3]. 이러한 현상은 퓨즈 외부 보호 절연체로 사용되는 세라믹의 강도, 금속 단자와 세라믹간의 용가재(soldering filler metal)를 이용한 밀폐형 완전 접합, 이로 인한 외부 공기와의 완전 차단, 퓨즈 가용체와 세라믹간의 거리, 비산 방지용 소화제 등 여러 요인이 있다. 그러나 메인 퓨즈 중 공간을 가장 적게 차지하는 각형 초소형 퓨즈의 경우 최대 유입전류 차단용량이 AC 250V 35A로 낮은 차단용량 특성을 갖는다. 해당 특성은 절연 케이스의 물리적 결합과 상대적으로 강도가 낮은 사출 재료 그리고 공기 출입의 자유로움 등의 원인에 의한 결과이다^[4]. 대표적인 밀폐형 퓨즈인 카트리지 퓨즈와 반밀폐형 퓨즈인 서브미니어처 퓨즈의 구조를 그림 2에 나타내었다.

대용량을 만족하면서 소형화된 전자기기에 밀폐형 카트리지 퓨즈에 비하여 공간을 적게 차지하는 반밀폐형 각형 서브 미니어처 퓨즈가 많이 사용되고 있지만, 공기의 유입이 자유로운 반밀폐형 퓨즈의 차단용량 상승에는 한계가 있어 적용이 어려운 실정이다.

따라서 본 논문에서는 퓨즈 정격전류의 1000% 이상인 높은 전류에서 퓨즈의 동작 시간을 조정하고, 퓨즈 가용체에 대한 폭발 내성의 합금 설계를 적용하여 차단 동작 시 퓨즈 가용체의 비산과 폭발 에너지를 감소시켜 좁은 공간에서도 높은 차단용량을 만족하는 초소형 퓨즈의 가용체를 설계하였다.

II. 본 론

1. 폭발특성 상승을 위한 설계

산업적으로 가장 많이 사용되는 한류형 퓨즈는 매우

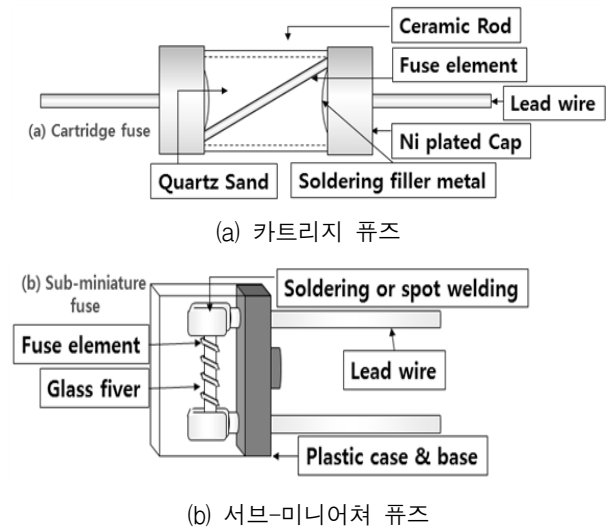
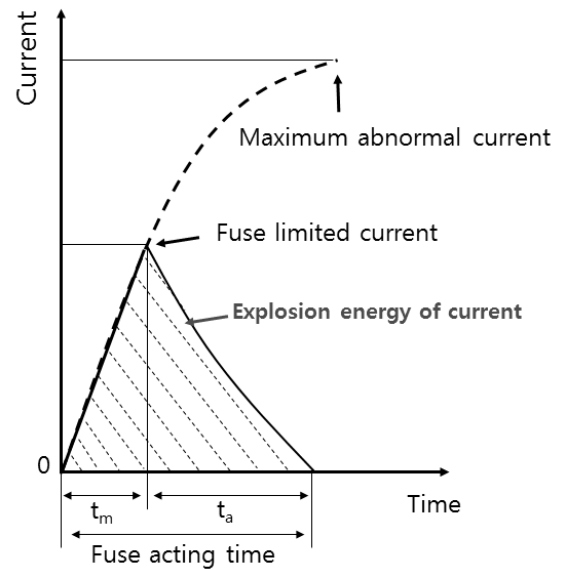


그림 2. 이상전류 시 퓨즈의 동작
Fig. 2. Operation of fuse at abnormal current.



* t_m : Fuse melting time = pre-arcing time
* t_a : Fuse arcing time = post-arcing time

그림 3. 이상전류에 대한 퓨즈의 특성 곡선
Fig. 3. Characteristic curve of a fuse for an abnormal current.

느린 동작 특성부터 매우 빠른 동작 특성까지 5가지 동작 특성으로 분류되며, 동작 특성은 정격전류 이상의 과전류에서 퓨즈가 동작하는 시간에 따라 결정 된다^[5]. 이 중 국제 규격으로 정의되어 메인 퓨즈의 특성으로 채용되는 빠른 동작 특성과 지연 동작 특성은 퓨즈 정격전류의 1000%에 해당하는 이상 전류에 대해서 각각 4ms 이내, 20ms~150ms 사이에 용단되어야 한다^[6]. 한류형 퓨즈의 동작 원리를 살펴보면 회로의 전체 저항

변화로 인하여 유입 전류가 증가하면 온도가 급격히 상승하고 퓨즈의 가용체 부분이 용융되어 증발하면서, 아크가 퓨즈 링크 양단에 발생한다. 그리고 발생한 아크로 인하여 퓨즈의 임피던스는 증가하게 되고 이에 따라 전류 감소와 함께 발생한 아크는 소멸하게 된다. 이와 같은 퓨즈 가용체의 일련의 동작 과정을 그림 3에 나타내었다. 퓨즈의 한계전류 이상 과전류에서 퓨즈는 용단하게 되고 아크 소멸이 완료되면 회로는 유입전류가 완전히 차단되어 고장 작동을 중지하게 된다^[7].

그림 3과 같이 퓨즈의 동작 완료 시간은 pre-arcing 시간과 post-arcing 시간의 합을 의미하며, 이때 pre-arcing 시간은 부하전류(이상전류)에 좌우되고, post-arcing 시간은 전력원의 역률 혹은 사고 회로의 파라미터에 좌우된다. 그리고 폭발에 발생하는 에너지는 한계 전류의 최대값과 총 용단 시간에 비례하며, 이는 그림 3의 퓨즈 한계 전류의 면적과 같다. 즉, 퓨즈 동작에 따른 폭발의 힘을 감소시키기 위해서는 해당 면적을 줄게 만드는 것이 중요하며, 인가되는 높은 전류에서의 동작 시간을 조정하는 것이 핵심 기술이다. 따라서 1000% 동작 시간을 조정하여 폭발의 에너지를 낮출 수 있다. 통상적으로 지연 동작형 퓨즈의 경우 1000% 동작 시간이 20ms~150ms이며, 폭발 특성을 위한 퓨즈 링크의 설계 방법으로 퓨즈 정격전류의 1000% 동작 시간을 20ms로 근접하게 하여 유지하는 것이 필요하다.

2. 퓨즈 동작 특성 향상을 위한 열 이동 설계

이상 전류가 발생하는 회로의 저항이 R , 전류가 I 라고 하면, 이상전류가 발생하여 순간 아크가 발생하고 소멸되는 과정까지 회로에 공급되는 에너지는 식 (1)과 같다. 식 (1)에서 저항이 일정하다면 회로에 공급되는 에너지와 I^2t 의 값은 비례한다. 따라서 I^2t 는 통과 에너지로써 퓨즈를 용융되게 하는 에너지의 크기를 나타내며, 용융되는 퓨즈 가용체의 용단 고유에너지와 같다. 퓨즈의 동작은 가용체의 주울 열과 전도, 대류, 복사에 의한 열손실 사이의 에너지 균형 방정식으로 해석할 수 있다. 이때 에너지의 균형 방정식은 식 (2)와 같다.

식 (2)로부터 퓨즈의 동작 특성이 결정되는 영역은 퓨즈 가용체의 고유 에너지를 나타내는 영역으로 적용된 가용체의 단면적 및 재료의 종류가 변하지 않으면

$$We = \int RI^2 dt \quad (1)$$

$$mcS \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{I^2 \rho_0 (1 + \alpha T)}{S} + \kappa S \frac{\Delta T}{\Delta \chi^2} - DhT \quad (2)$$

m : 밀도(kg/m³) c : 비열용량(J/kg K) T : 온도(K)
 t : 시간(s) k : 열전도율(W/mK) D : 직경(m)
 S : 단면적(m²) I : 전류(A) ρ_0 : 비저항율(Ω/m)
 h : 방사열손실계수(W/m²K) χ : 길이(m)
 α : 저항율의 온도계수(K-1)

이동시킬 수 없는 영역이다. 즉, 식 (3)과 같이 열의 이동이 없는 이상적인 계나 열이 이동하기 전 퓨즈의 동작이 발생하는 높은 전류 영역에서의 동작 시간은 가용체 재료의 고유 능력으로 판단할 수 있다.

$$W = I^2 \times R \quad (3)$$

퓨즈의 재료가 선택된 후 동작특성의 설계는 선경을 조정하여 정격전류의 1000%에서 동작 특성이 일치하게 조정 한 후, 열의 이동을 조정하여 정격전류 선을 이동시키는 방법으로 접근 할 수 있으며, 이는 $I-T$ 커브의 전체 이동과 정격전류 선의 이동으로 결정된다. 이와 같은 $I-T$ 커브 상에서 퓨즈의 동작 특성 설계 방법은 그림 4와 같다^[8].

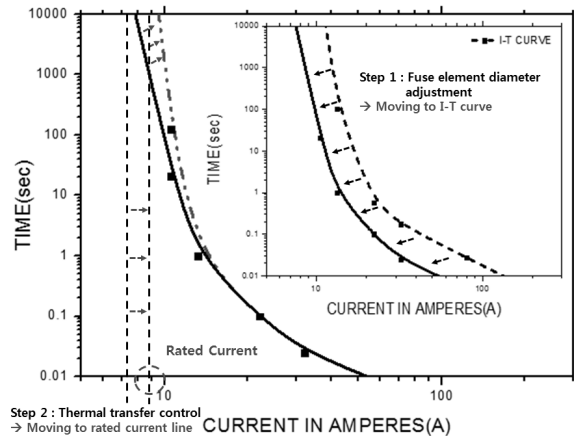


그림 4. 퓨즈의 동작 특성에 대한 I-T 곡선
Fig. 4. I-T curve for operating characteristics of a fuse.

일반적으로 퓨즈 정격전류의 1000% 전류에 대한 동작 시간을 빠르게 조정하기 위한 방법으로 퓨즈 가용체의 열전도도를 높이는 방법을 사용한다. 가용체의 열전도도 상승은 실제 용단이 발생하는 퓨즈 가용체 중심부의 온도 상승을 지연시켜 용단에 이르기까지 더 높은 전류를 요구하도록 한다. 때문에 한류형 퓨즈의 정격전

류를 상승시키게 되고, 이에 따라 정격전류의 1000% 인가 전류도 더욱 증가시킨다.

3. 설계 방법

퓨즈의 전기적인 폭발 특성을 결정하는 요인으로 재료의 급격한 산화, 비산하는 금속 재료의 양, 급격한 온도 상승에 대한 원자의 비산 속도 등이 있으며, 폭발 내성 향상을 위하여 상기 요인들을 고려한 합금 설계가 요구된다. 이에 본 연구에서는 산화도가 높은 순금속보다는 산화에 의한 폭발적인 반응을 줄일 수 있는 합금을 적용하였다. 특히, 저항온도계수(T.C.R)가 하락하지 않는 특성을 구현하기 위하여 Fe-Ni 계열 합금을 선정하였다. Fe-Ni합금은 니켈 함량이 36%~43%일 때 원자간 선팅창 계수가 낮아 내열 합금으로 많이 쓰이며, 온도 상승에 따른 체적 상승률이 가장 낮은 특성을 보여서 퓨즈 가용체에 적합한 합금이다. 퓨즈 동작특성 향상을 위한 가용체 설계를 위하여 철과 니켈의 조성비를 다르게 한 합금을 설계하였으며 최적의 조성비를 찾고자 표 1과 같은 조성비로 구성하였다.

표 1. 설계된 합금 조성

Table1. Designed alloy composition.

조성	성분(wt%)		저항률 ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)
	Fe	Ni	
Fe-90Ni	10	90	0.13
Fe-64Ni	36	64	0.32
Fe-42Ni	58	42	0.60
Fe-35Ni	65	35	0.40
Fe-15Ni	85	15	0.16

또한 합금에 의한 단점 중에 하나인 열전도도의 하락에 대한 문제점은 퓨즈 링크간의 거리를 짧게 유지하여 비산하는 재료의 양을 감소시킬 수 있도록 하였다. 기존에 사용하는 퓨즈의 경우 그림 5(a)와 같이 편조방식으로 적용되는데 이와 같은 설계는 높은 차단용량을 구현하기 어렵다. 따라서 그림 5(b)와 같이 퓨즈 링크 간 가용체를 직선형태로 설계하였다.

III. 실험

1. 실험 방법

실험은 250V 각형 미니어처 퓨즈의 대표 정격으로 3.15A를 제작하여 실험하였고, 이 때 금속 와이어의 선경은 0.22 mm, 표면의 주석 도금 두께는 35 μm 로 제작

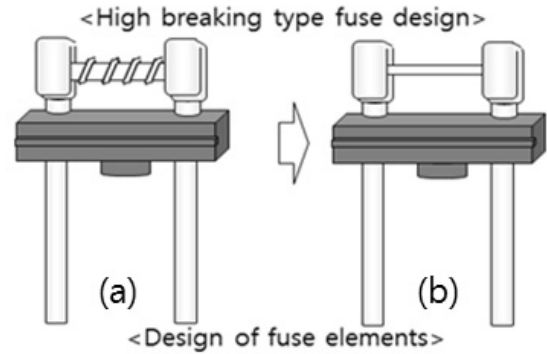


그림 5. 퓨즈 가용체의 설계
Fig. 5. Design of fuse elements.

작되었다. 실험 방법은 IEC 60127-3에 제시된 표준을 따랐으며 기관에 실장하여 모든 시료의 불량 단선 여부 등을 저저항 측정기를 사용하여 확인하였다. 각 시료군은 최소 50개 이상의 예비 시료를 확보하고 모든 시료의 전기저항을 측정하고 기록하였다. 이후 모든 시료는 DC전원공급기를 사용하여 전류에 따른 용단 실험을 실시하였고, 각 전류에 따라 용단되는 시간을 분석하였다. 용단 실험간 전류는 ICE 60127-1에 정의된 DC 정전류에서 변동 전압이 30V 이내가 되도록 유지하였다. 실험은 전원공급기 BOB社 SGI 330/150, 오실로스코프 Tektronix社 DPO 3022, 저저항계측기 HIOKI社 3227 m Ω hi-tester를 사용하였다.

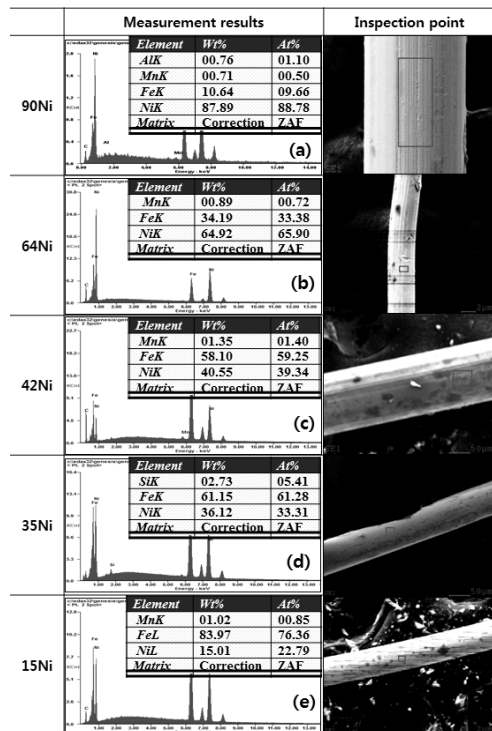


그림 6. 퓨즈 가용체 합금 EDS 성분분석
Fig. 6. EDS analysis for fuse elements of metal alloy.

2. 실험 결과

제작된 가용체 합금의 조성을 확인하기 위해 측정된 EDS 결과를 그림 6에 나타내었다.

그림 6(a)로부터 90wt%의 Ni함유량과 그림 6(b)로부터 64wt%의 Ni, 그림 6(c)로부터 42wt% Ni. 그림 6(d)로부터 35wt% Ni, 그림 6(e)로부터 15wt% Ni를 확인할 수 있다. 이러한 결과로부터 설계한 함량의 합금 와이어가 양호하게 제작되었음을 알 수 있다. 미니어처 퓨즈 제작 시 접합 가용체와 유리섬유의 열 이동 영향을 최소화하기 위하여 퓨즈링크에 퓨즈 가용체를 직접 용접하는 방법으로 샘플을 구성하였고 링크간의 거리는 4.0mm~4.1mm로 유지하여 제작 하였다.

그림 7에는 제작된 퓨즈에 동일 선경 적용 시 합금 조성에 따른 저항 값을, 그리고 그림 8에는 저항온도 계수 값을 나타내었다.

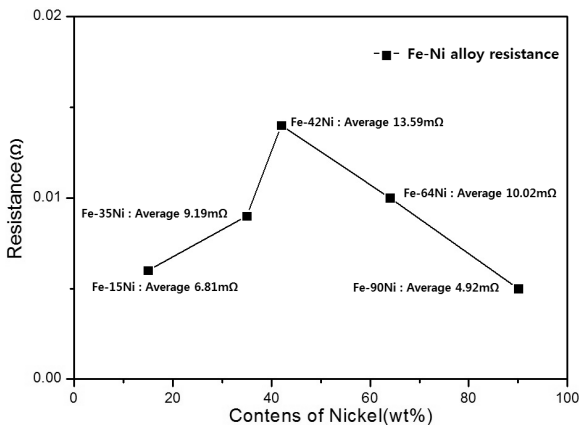


그림 7. 합금 함량에 따른 저항 변화
Fig. 7. Resistance for each metal alloy fuse.

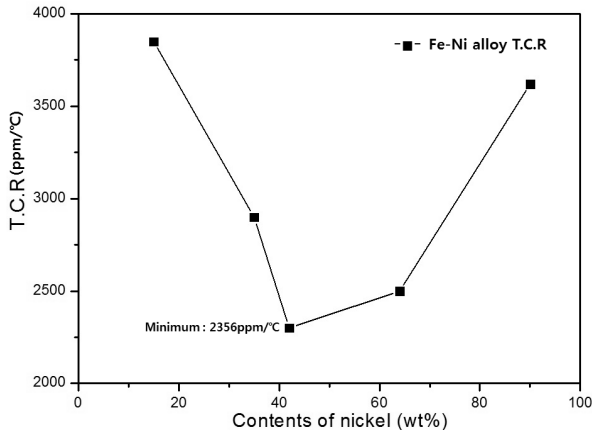


그림 8. 합금 함량에 따른 T.C.R 변화
Fig. 8. Trend of changes in the T.C.R due to a change in composition.

실험 결과 Fe-42wt%Ni의 저항은 13.59mΩ으로 가장 높았고, T.C.R은 2376ppm/°C로 가장 낮았다. 그리고 모든 합금이 2000ppm이상의 높은 T.C.R을 유지하여 퓨즈 가용체로의 특성 구현에 적합한 특성을 보였으며, 지연 동작 특성을 만족하기 위한 저항값은 합금 함량이 높은 35wt%Ni, 42wt%Ni, 64wt%Ni 합금에서 나타났다.

이와 같은 결과로부터 전기전도성은 열전도성과 비례하기 때문에 상대적으로 짧은 퓨즈링크의 길이에 대하여 퓨즈 가용체의 저항이 높을수록 가용체 중심에서의 열 집중이 효율적임을 확인할 수 있다^[9]. 이로 인해 퓨즈의 정격전류 선이 낮은 전류 방향으로 이동하게 된다. 한정된 퓨즈링크 거리에서 회로 1차 측 메인 퓨즈로 적용되기 위한 지연동작 특성은 정격 전류의 1000%에서 20ms~150ms의 동작 시간을 가져야 하며, 폭발의 에너지를 최소화하기 위해서 20ms 이상이며 최대한 근접한 동작 시간 조정이 필요하다.

각 합금을 적용한 퓨즈의 정격전류를 3.15A로 제작하여 전류에 따른 용단 시간을 측정하였고, 결과로부터 각각의 I-T 커브를 그림 9에 나타내었다.

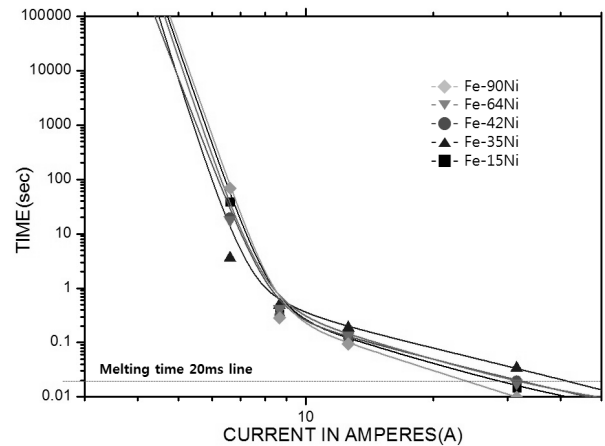


그림 9. 합금 함량에 따른 3.15A 퓨즈의 I-T 커브
Fig. 9. I-T curve of 3.15A fuse due to composition ratio.

실험결과 Fe-42wt%Ni과 Fe-35wt%Ni이 퓨즈 지연 동작 특성의 합격 기준인 정격전류의 1000% 인가전류에 대한 용단 시간 20ms~150ms를 만족하였고, 이중 Fe-42wt%Ni는 정격전류의 1000% 인가 전류에 21ms~26ms로 20ms 이상으로 근접하여 설계 특성과 일치하였다.

이와 같은 Fe-Ni합금의 동작 특성을 현재 상용화 되어있는 퓨즈 가용체 금속과 용단 시간을 비교하여 그림 10에 나타내었다. 동일한 3.15A를 제작함에 있어 가용

체 사용량을 최소화하기 위해 짧아진 퓨즈링크 거리로 인하여 그림 10과 같이 Cu-Ni 합금, Cu-Ag 합금 그리고 순 Fe 금속이 정격전류의 1000% 동작 특성이 빨라져 20ms 이내로 떨어진 반면, 열전도도와 전기전도도가 가장 낮은 Fe-Ni합금은 20ms 이상으로 지연 동작 특성을 유지하고 있다. 그리고 정격전류 3.15A 선에서 낮은 이상전류 동작특성도 근접 유지 되는 것을 확인 할 수 있고 이와 같은 결과로부터 설계 특성과 일치함을 확인 할 수 있다.

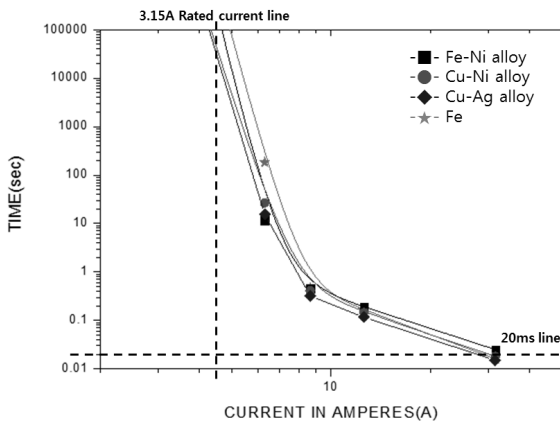


그림 10. 합금 종류에 따른 3.15A 퓨즈의 I-T 커브
Fig. 10. I-T curve of 3.15A fuse according to alloy type.

그림 11은 합금 함량에 따른 최대 차단용량 전류와 폭음(dB)측정 결과이다. 결과와 같이 모든 합금에서 반 밀폐형 퓨즈 낮은 차단용량 제품의 특성인 AC 250V, 35A 이상의 폭발 특성을 확인하였으며, Fe-35wt%Ni의 경우 최대 AC 250V, 109A의 돌입 전류에도 퓨즈의 외관이 손상되거나 표기 및 인식에 문제가 없었다.

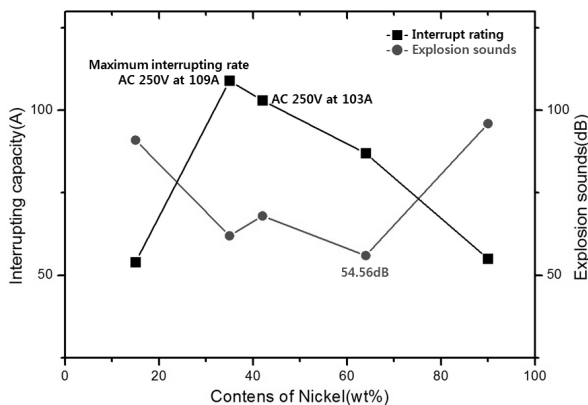


그림 11. 합금 함량에 따른 차단용량 및 폭음 변화
Fig. 11. Change of an explosion sound and interrupt capacity due to composition ratio.

이와 같은 결과는 서론에 언급한 것과 같이 정격전류의 1000% 인가전류에 대한 용단시간 조정을 통한 폭발 에너지 감소와 퓨즈 가용체의 급격한 산화를 막기 위한 최소량의 가용체 적용, 반응성 감소를 위한 합금화, 비산을 최소화하기 위한 금속 팽창계수 조정 등 퓨즈 폭발에 영향을 미치는 여러 요인에 대한 내폭발성 설계를 한 결과이다. Fe-42wt%Ni과 Fe-35wt%Ni은 모두 차단 용량 100A 이상의 높은 차단 용량 특성을 만족 하였으며, 폭음 특성도 약 60dB 이하로 특성을 만족하였다. 하지만 정격전류의 1000%인가 전류에서 동작시간이 Fe-42wt%Ni가 약 20ms로 설계에 부합하였고, 돌입전류에 대한 폭발 비산 에너지가 더 적어 최적의 합금 설계라 할 수 있다.

IV. 결 론

전자 기기의 회로가 완전 단락하여 높은 돌입 전류가 유입될 때, 안전 부품인 퓨즈는 폭발 없이 가용체만 용단하여 전류를 차단 할 수 있어야 하며, 이런 특성을 판단하는 기준이 차단용량 특성이다. 퓨즈의 차단용량을 상승시키기 위한 방법은 실험의 결과로부터 다음과 같다. 첫째, 퓨즈에 이상 전류가 유입하여 용단에 이르기 까지 유입되는 전류 에너지양을 최소화하기 위하여 정격전류의 10배 이상에 해당하는 돌입전류 유입 시 퓨즈의 동작 시간을 조정하는 퓨즈링크를 설계하였으며, Fe-42wt%Ni이 지연동작 특성구현에 최적의 설계로 나타났다. 둘째, 퓨즈 가용체의 전기적인 폭발 특성을 결정하는 재료적 요인은 재료의 급격한 산화, 비산하는 금속 재료의 양, 급격한 온도 상승에 대한 원자의 비산 속도 등으로 판단할 수 있으며, 폭발 내성을 위하여 이상의 요인들에 대한 특성을 만족하는 합금이 Fe-Ni 계열 합금 설계라는 점을 확인하였다.

Fe-Ni 합금은 T.C.R 하락이 적은 합금이고, 니켈 함량이 36%~43%일 때 원자간 선폽창 계수가 낮아 내열 합금으로 많이 쓰이며, 온도 상승에 따른 체적 상승률이 가장 낮은 합금으로 알려져 있어 차단용량 상승이 필요한 가용체 재료 특성을 가지는 것으로 나타났다. 특히 Fe-42wt%Ni을 적용한 퓨즈는 최대 차단용량이 AC 250V, 100A 이상으로 반밀폐형 미니어처 퓨즈의 일반적 차단용량인 AC 250V, 35A보다 3배 이상의 성능이 향상 되었다.

REFERENCES

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] A. Wright, P. G. Newbery "Electric fuses" London, United Kingdom, The Institution of Engineering and Technology(IET), 3th ed. pp 14-15, 2004.
- [5] C. K. Ji and K. O. Kim, "Definitions for miniature fuses and general requirements for miniature fuse-links" Korea, Standards, KS C IEC- 60127, 02. 07, pp. 1-18, 2005.
- [6] Kook-Hee Cho, Moon-Soo Cho "Reliability test technology of current limiting fuse." Seoul, Korea, Journal of Korea electrotechnology research institute, pp. 2232-2234, 2005.
- [7] Sei-hyun Lee, Eung-bo Shim and Sang-Ok Han, "Interrupting Model of Current Limiting Fuse using EMTP", Proc Korea-Japan symposium on electrical discharge and high voltage engineering, pp. 55-58, 1996.
- [8] 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.
- [9] David. R. Gaskell "An introduction to transport phenomena in materials engineering" Englewood cliffs, New Jersey, USA, Prentice-Hall, Inc. 1th ed, pp. 298-300. 1997.

저 자 소 개



안 창 환(정회원)

1983년 원광대학교 공과대학 전기공학과 학사 졸업.
1991년 인하대학교 대학원 전기공학과 석사 졸업.
1999년 인하대학교 대학원 전기공학과 박사 졸업.
2005년~현재 인하공업전문대학 디지털전자과 교수.
<주관심분야 : EMI/EMC, 산업전자, 서지보호>