



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

에너지 저장 시스템 보호용 능동제어
보호소자 금속 가용체 설계



2018년 2월

부경대학교 대학원

금속공학과

정영훈

공학석사 학위논문

에너지 저장 시스템 보호용 능동제어
보호소자 금속 가용체 설계

지도교수 강 창 룡

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2018년 2월

부경대학교 대학원

금속공학과

정 영 훈

정영훈의 공학석사 학위논문을 인준함.

2018년 2월



위 원 장 공학박사 왕 제 필 (인)

위 원 공학박사 김 권 후 (인)

위 원 공학박사 강 창 룡 (인)

목 차

Abstract	ii
1. 서 론	1
2. 이론적 배경	3
2.1 퓨즈(Fuse)	3
2.1.1 퓨즈의 정의	3
2.1.2 퓨즈의 종류	4
2.1.3 퓨즈의 보호특성 및 동작이론	8
2.1.4 퓨즈 정격전류에 미치는 요인	11
2.3 퓨즈 설계	14
2.3.1 정격 전압 선정	14
2.3.2 퓨즈의 동작특성 선정	17
2.3.3 정격 전류 선정	19
3. 실험방법	22
3.1 복합 동작을 위한 퓨즈 구성	22
3.1.1 완전단락 돌입전류 및 미소전류 변화 감지 동작 구성	22
3.2 퓨즈 가용체 샘플 제작	28
4. 실험결과 및 고찰	34
4.1 합금 가용체 단면적에 따른 특성	34
4.2 미소전류 변화에 따른 동작 특성	35
4.3 I-T/V-T 그래프 복합 동작 특성	36
5. 결 론	46
6. 참고문헌	47

Design of fuse elements for Energy Storage System(ESS) Self-control protector device

Yeong Hoon Jeong

Department of Metallurgical Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

With the rise of portable electronic devices, the market for secondary battery, which is necessary to operate portable electronic devices, has been growing together. As the market for rechargeable (secondary) batteries focuses to minimize its size and to maximize its efficiency, various reasons for fire and explosion emerge. In the case of energy storage systems, the four main(core) materials are stabilized and abnormal currents are blocked in application to prevent fire and explosion. One of methods to prevent an abnormal current from flowing in is usage of fuse.

However, the conventional current type of fuse does not operate at a comparatively low current amount change (105% to 120%).

In the case of electric and electronic circuits in a general electric power system, such situation is not dangerous. However, in the case of ESS, the over-current can lead to fire and explosion, if it continuously flows into the internal active material, the separator, and the internal electrode, even at a relatively low current.

In this study, we propose a protection circuit for the safe use of energy storage system (ESS), which act as a breaker which operates in case of detection of a small current change, We developed an active control fuse element for ESS, which is able to achieve the stability against short-circuit inrush current and short-circuit over-current and safety against micro-current change simultaneously.

1. 서 론

최근 산업이 발전하면서 네트워크 기반의 휴대용 전자 제품이 큰 시장으로 자리 잡았다. 더불어 휴대용 전자기기의 구동을 위한 이차전지 시장이 함께 성장하고 있다. 또한, 이차전지의 소형 대용량화, 고효율화가 신 성장 산업으로 각광 받으며 관련 부품 시장도 새로운 특성을 요구하고 있으며⁷⁾, 최근 이러한 이차전지를 적용한 전자기기의 흐름은 소형화 된 여러 휴대용 전자기기를 보급하고 있다. 전자기기에서 안정적이고 일정한 전류와 전압은 기기의 정상작동에 필수적이지만, short, 돌입전류, 완전단락 등으로 인해 전류와 전압의 이상동작은 언제든지 발생할 수 있다. 특히, 전체 저항이 낮아질 경우 정전압 특성의 전력체계에서 유입 전류의 상승으로 이어지며, 발열 및 화재를 동반하여 인명과 재산 피해까지 수반하게 된다. 전기 화재 예방 및 방지를 위해 다양한 기술이 개발되어 적용되고 있다. 전자기기에 대한 안전장치의 한 가지는 전자기기의 전원 공급부에 필요한 것이 과전류 보호소자이고, 과전류 보호소자인 퓨즈를 설치하는 것으로 전자기기의 내부 혹은 외부의 요인에서 시작된 과전류를 퓨즈 가용체의 용단으로 차단해서 전자기기를 안전하게 사용할 뿐만 아니라 인명과 재산 피해까지 안전하게 보호하는 소자이다.

2015년 4월 글로벌 기후변화 대응을 위하여 에너지 신산업 활성화 및 핵심기술 개발 전략 이행 계획을 정부에서 발표했다. 에너지 신산업이란 기후변화에 대응, 에너지 안보, 수요관리 등 에너지 분야의 주요현안을 효과적으로 해결하기 위한 문제 해결형 산업이다. 에너지 신산업의 주요 사업모델은 수요자원 거래시장, ESS 통합서비스, 에너지 자립성, 전기자동차, 태양광대 대여, 제로에너지 빌딩, 발전소 온배수열, 친환경 에너지타운

으로 총 8개의 사업모델을 제시했다. 8개의 에너지 신산업 중 직·간접적으로 6개의 모델이 ESS 및 에너지 저장 장치와 연계되어 있다. 이렇듯 산업이 발전하면서 ESS에 대한 관심도 높아졌다. 하지만 이러한 ESS가 충전과 방전이 반복되는 이차전지의 특성과 이차전지 내부에 폭발의 위험이 있는 내부 활물질, 보호소자의 보호 한계 등의 이유로 인하여 이차전지의 화재 및 폭발 사고가 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 일반 전력 시스템과 달리 이차전지 기반의 ESS의 화재 및 폭발 사고를 막기 위한 방법으로는 이차전지 내부에 폭발과 관련된 이차전지 4대 핵심 물질을 안정화 하는 방법과 유입되는 이상전류를 차단하는 방법을 적용한다. 이중 유입되는 이상전류를 막는 방법으로 퓨즈를 사용하고 있다.

하지만, 현재 사용하는 일반적인 한류형 퓨즈의 경우 비교적 낮은 전류량 변화에 동작하지 않는다. 한류형 퓨즈 중 민감한 동작에 속하는 빠른 동작형 퓨즈의 경우 정격전류의 125%에서 최초 용단이 시작되고, 지연 동작형 퓨즈는 정격 전류의 160%에서부터 용단이 시작된다. 일반적인 전력 체계에서의 전기 전자 회로라면 해당 상황이 위험하지 않지만 ESS의 경우 내부의 활물질과 분리막, 내부 전극 등에 비교적 낮은 전류량이라도 과전류가 지속적으로 유입이 되면 화재 및 폭발로 이어진다.

이에 본 논문에서는 ESS의 안전한 사용을 위하여, 완전 단락 돌입 전류에 대한 한류형 퓨즈의 역할과, 비교적 적은 미소전류를 감지하여 능동적으로 동작하는 차단기형 보호회로와 이와 같은 동작 형태에 적합한 보호소자 가용체를 개발하여 완전단락 돌입전류 및 단락 과전류에서 안정성과 미소전류변화에 대한 안전성을 동시에 수행할 수 있는 ESS 전용 보호소자를 개발하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 퓨즈(Fuse)

2.1.1 퓨즈의 정의

1) 퓨즈의 정의

퓨즈란 ‘녹다’의 뜻을 가진 Fuse가 의미하는 것과 같이 전자기기의 회로에 순식간에 정격전류의 10배 이상의 전류인 과전류가 발생하여 퓨즈 가용체가 열을 받아 온도가 상승하게 되고 퓨즈 가용체(Fuse element)가 녹아 끊어짐으로써 전자기기 내부의 회로, 각종 부품들 및 더 나아가 사람을 과전류로 인한 화재로부터 안전하게 보호 하는 보호소자를 퓨즈라고 한다. 이렇기 때문에 일반적으로 퓨즈는 전류가 직접 유입되는 전자기기 내의 회로 전원부나 가정용 및 전력용 배선상에 적용되어 발생하는 이상전류에 따라 동작하여 화재로 이어지기 전에 보호하는 역할을 하는 보호소자가 바로 퓨즈이다. 퓨즈는 변압기 보호 및 변압기 회로의 고장전류 차단 등 전력원으로 부터 사용자의 안전을 보호 하는 안전장치이다.^{1,2)}

2.1.2 퓨즈의 종류

1) 퓨즈의 종류

산업이 발달하면서 퓨즈들은 적용 위치나 종류, 정격전압, 정격전류, 동작 특성, 동작형태 등에 따라서 여러 가지로 분류 된다. 퓨즈의 대표적인 분류 방법으로 사용할 위치에 따라서 High voltage fuse, Low voltage fuse, miniature fuse로 분류되고 각각 전력용이나 가정용 그리고 전자기기의 회로 기관용으로 사용 된다. 퓨즈의 분류 방법의 기준이 되는 것은 Fig. 1과 같이 퓨즈의 정격 전압(Rated Voltage)이 AC 1000V 이상인 것은 High voltage, 퓨즈의 정격 전압이 AC 1000V 이하인 것을 Low voltage로 구분 한다. AC 1000V 이하인 Low voltage fuse 중에서 전자 회로 기관에 사용되며 전압이 12V~300V 이하인 정격전류를 나타내는 퓨즈를 Miniature fuse로 구분 한다. High voltage fuse, Low voltage fuse, miniature fuse 이 중에서 가장 사용량이 많고 이상 전류 발생의 직접적인 원인이 되는 전자기기의 회로에서 처음 보호의 역할을 수행하는 Miniature fuse 군의 경우 Fig. 2와 같이 퓨즈의 종류와 정격전류, 정격전압의 범위가 다양하고, 퓨즈가 보호하는 대상과 적용되는 위치도 달라 퓨즈 설계의 기준이 된다.¹⁾

또한, 퓨즈의 구조는 Fuse element(fuse-link), Fuse terminal, Fuse body로 나누어진다. 이 중에서 퓨즈의 가용체는 퓨즈 용단 특성을 결정하는 중요한 소재이다. 퓨즈 가용체에 따라 정격전압, 정격전류, 동작특성이 결정된다. 다시 말해 퓨즈 가용체의 소재를 달리할 경우 같은 크기, 같은 용도라도 적용되는 사용처가 달라질 수 있다는 이야기이다. 그리고 퓨즈 가용체에 따라 통전 전류와 금속 고유 저항으로 인해 용단하는 한류형 퓨즈, 또는 주변 부품의 발열과 환경적 온도 상승에 의해 용단하는 비한류형

퓨즈 등 동작 방법까지 결정되어 진다. 즉, 퓨즈의 가용체가 퓨즈의 특성을 결정하고, 퓨즈의 종류를 나누는 대부분의 기준이 된다는 것을 의미한다.

한류형 퓨즈의 경우 부분 회로 단락으로 인한 유입 전류량이 작은 변화 정격전류의 105~125% 이하의 작은 전류는 동작 특성 오차가 발생하며, 주로 단락 보호의 백업용으로 사용하도록 권장한다.^{2,3)} 한류형 퓨즈는 이상전류가 발생할 경우 퓨즈의 가용체가 급속하게 과열되어 가용체 전체에 걸쳐 열에너지가 상승하여 용융점까지 이를 경우 용단되어 이상전류를 차단한다.



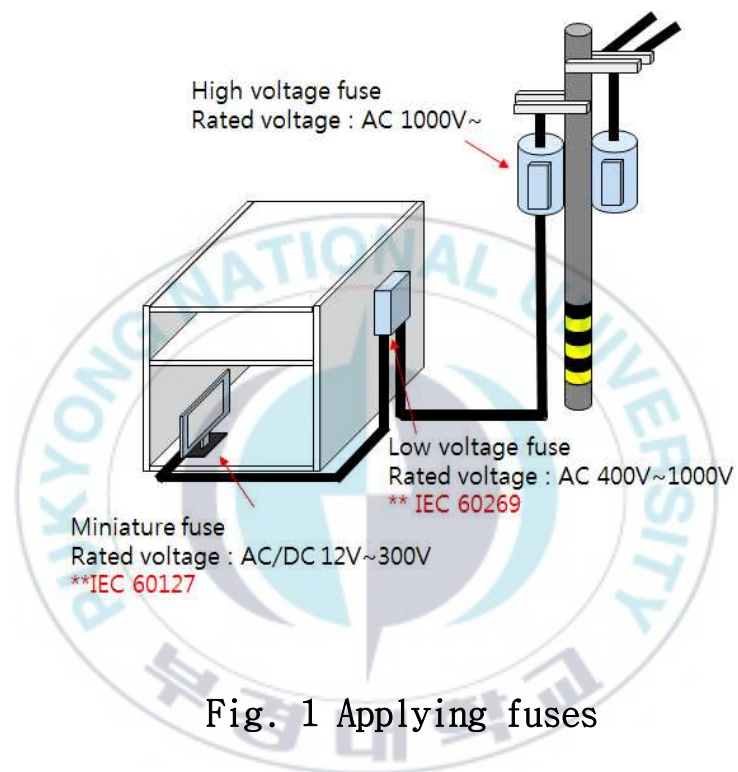


Fig. 1 Applying fuses



Fig. 3 Various types of miniature fuses

1) 퓨즈의 보호특성 및 동작이론

퓨즈 가용체가 용단하는 동작 과정을 Fig. 3과 같이 나타 내었다. 퓨즈의 한계 이상의 전류에서 퓨즈는 용단하게 되고 아크가 사라지면 유입전류가 완전히 차단되어 작동을 중지하게 된다. 이 원리로 인해 전자기기 및 사용자의 안전을 보호 하는 역할을 하는 것이다.⁸⁾

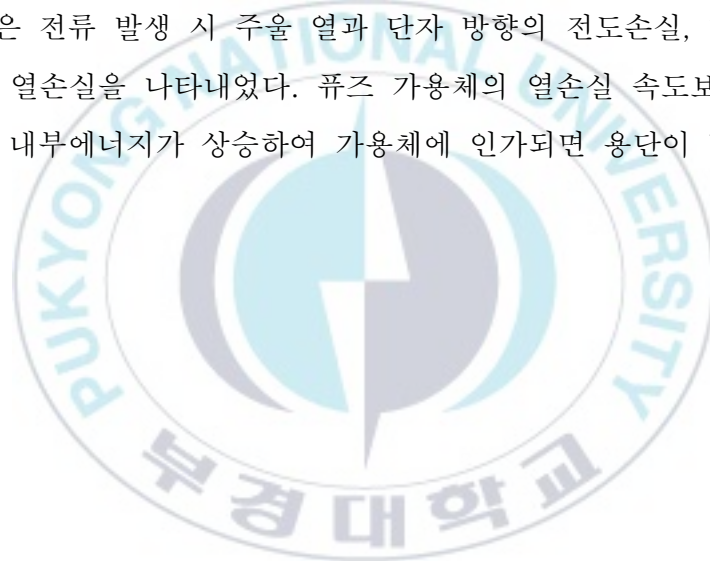
$$W_e = \int RI^2 dt \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

- 8 -

$$mcS \int \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{I^2 \rho_0 (1 + \alpha T)}{S} + kS \frac{\Delta T}{\Delta x^2} - DhT \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

m: 밀도(kg/m²) c : 비열용량(J/kg K) T : 온도(K)
t : 시간(s) k : 열전도율(W/mK) D : 직경(m)
s : 단면적(m²) I : 전류(A) ρ₀ : 비저항율(Ω/m)
α : 저항율의 온도계수(K⁻¹) h : 방사열손실계수(W/m²K)

식 (2)에서 좌측의 값은 퓨즈 가용체의 내부에너지 증가율을 나타내고, 우측은 값은 전류 발생 시 주열 열과 단자 방향의 전도손실, 대류와 방사가 조합된 열손실을 나타내었다. 퓨즈 가용체의 열손실 속도보다 높은 전류로 인해 내부에너지가 상승하여 가용체에 인가되면 용단이 발생하게 된다.^{1,6,9)}



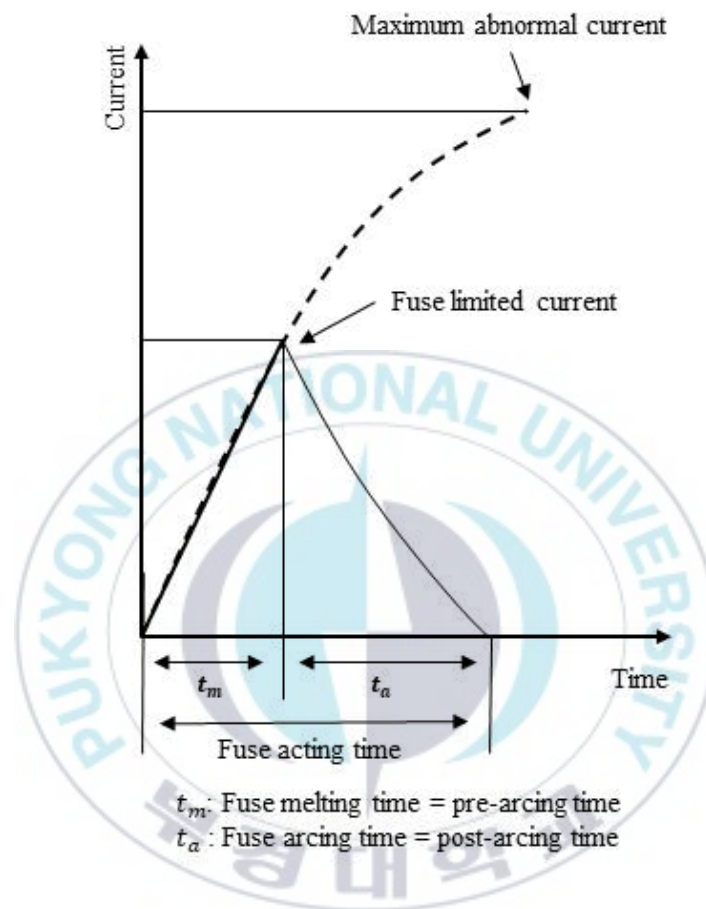


Fig. 4 Relationship between abnormal current and time

2.1.4 퓨즈 정격전류에 미치는 요인

1) 퓨즈 정격전류에 미치는 요인

퓨즈의 정격전류에 영향을 끼치는 요인은 식에 의한 계산을 통해 알 수 있다. 퓨즈의 정격 에너지이며 전류상의 에너지 P 는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$P = V \times I \dots \dots \dots (3)$$

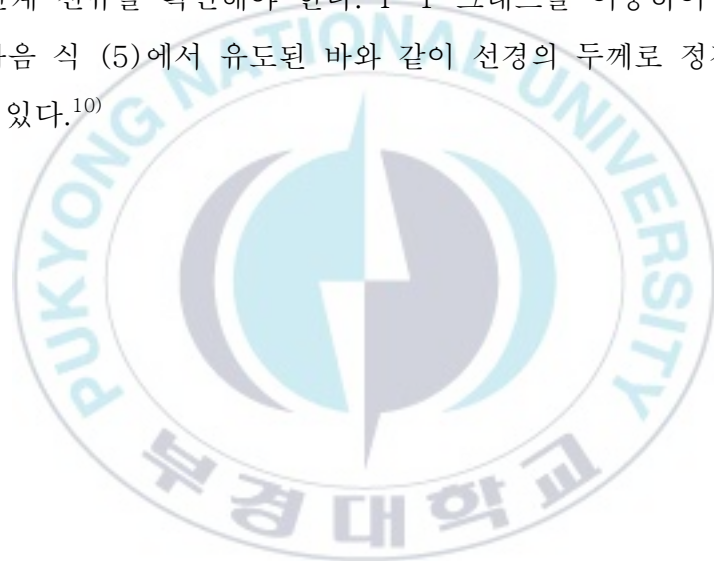
(3)식의 물리적인 해석을 위하여 재료의 고유 물성인 저항의 범주로 식을 유도한다.

$$\begin{aligned} P &= (I \times R) \times I \Leftarrow R = \frac{\rho L}{A} \dots \dots \dots (4) \\ P &= I^2 \times \frac{\rho L}{A} \Leftarrow A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \\ P &= I^2 \times \frac{4\rho L}{\pi D^2} \end{aligned}$$

식 (4)보는 것과 같이 퓨즈 가용체의 재료가 결정된 이후라고 한다면, 상수로 고정되는 값을 제거할 수 있고, 이후 남는 변수는 식 (5)와 같이 한계전류 I^2 와 선경 D^2 만 비례적으로 남게 된다. 따라서 퓨즈 가용체의 재료가 결정된 이후에는 퓨즈의 I-T curve를 이동하여 특성을 변화하기 위해서는 한계전류와 선경이 비례함으로 퓨즈 가용체의 선경을 원하는 정격전류 방향으로 변화 시켜야 한다.

$$I^2 \simeq D^2 \quad \dots \dots \dots (5)$$

따라서 한류형 퓨즈의 가용체는 선경에 따라 정격전류가 비례, 반비례 한다는 것을 알 수 있다. 이것은 퓨즈 가용체가 같은 재료로 이루어져 있을 때 한류형 퓨즈의 정격전류를 상승시키기 위해서는 퓨즈 가용체의 선경을 상승 시켜야 함을 나타낸다. Fig. 4와 같이 해당 퓨즈의 정격 전류를 확인 하기 위해서는 모든 전류 조건의 시료를 용단 시험하여 I-T 그래프를 구한 다음 한계 전류를 확인해야 한다. I-T 그래프를 이용하여 한계전류를 확인 한 다음 식 (5)에서 유도된 바와 같이 선경의 두께로 정격전류를 이 동시킬 수 있다.¹⁰⁾



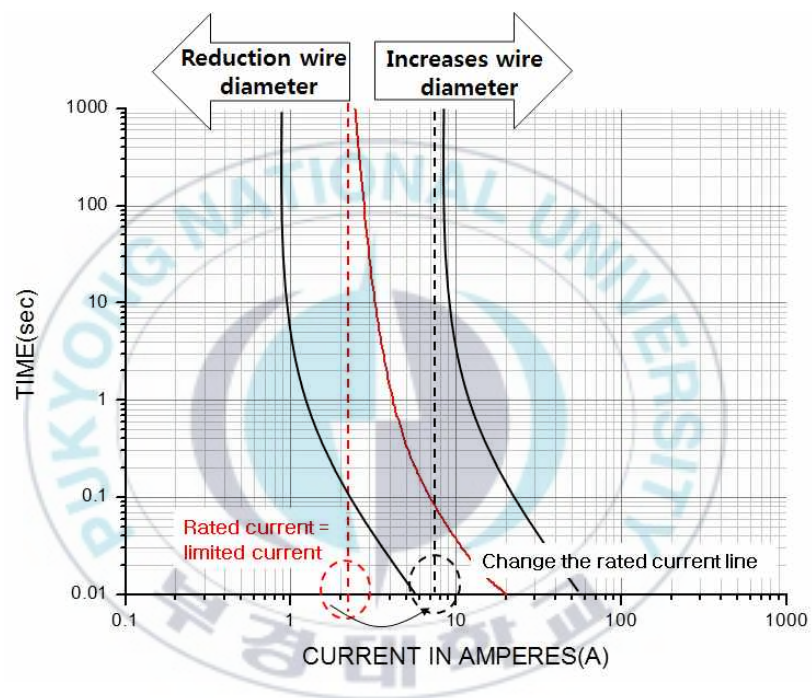


Fig. 4 Change of I-T curve according to the change of the wire diameter

2.2 퓨즈 설계

2.2.1 정격 전압선정

1) 정격 전압선정

퓨즈에서 정의하는 정격전압은 회로 상에서 의미하고 있는 일반적인 통전 전압을 뜻하지 않는다. 퓨즈의 가용체가 용단한 후 전자기기를 안전하게 사용할 수 있게 차단 할 수 있는 최대의 전압을 나타낸다. 다시 말해 110V의 전압이 흐르는 전력에 적용 가능한 퓨즈는 125V 혹은 250V이며, 퓨즈는 통전 전압보다 높은 전압의 퓨즈를 사용하여도 안전상에 문제가 없다. 반면 Fig. 5에와 같이 정격전압 250V 전력을 사용하는 전자기기를 보호하기 위해 정격전압 125V 퓨즈를 사용할 때 퓨즈의 가용체가 용단 후 전류가 차단되지 않고 통전이 지속적으로 발생하여 화재로 이어지는 가능성이 있다. 다시 말해, 정격전압이 250V인 전자기기를 사용할 때에는 정격전압 125V의 퓨즈를 적용하는 것은 불가능하다.

이와 같은 이유로 전자기기의 회로나 배선에 퓨즈가 적용 되는 위치의 전압을 확인하는 것이 퓨즈 선정의 가장 먼저 고려되어야 할 사항이고 안전한 사용법의 시작이다. 회로나 배선에 퓨즈가 적용 될 전압이 결정되고 나면 퓨즈의 종류와 정격 전류가 바뀌더라도 전압이 바뀔 경우 안전을 보장 할 수 없다. 즉, 퓨즈를 선정함에 있어서 정격전압을 최우선적으로 고려해야할 중요한 사항이고 이렇기 때문에 퓨즈를 분류할 때에 퓨즈의 정격 전압에 따라서 Miniature fuse, Low voltage fuse, High voltage fuse등으로 구분한다. 세 가지 중 Miniature fuse의 정격전압에 따라 분류한 것을 Fig.6에 나타내었다.

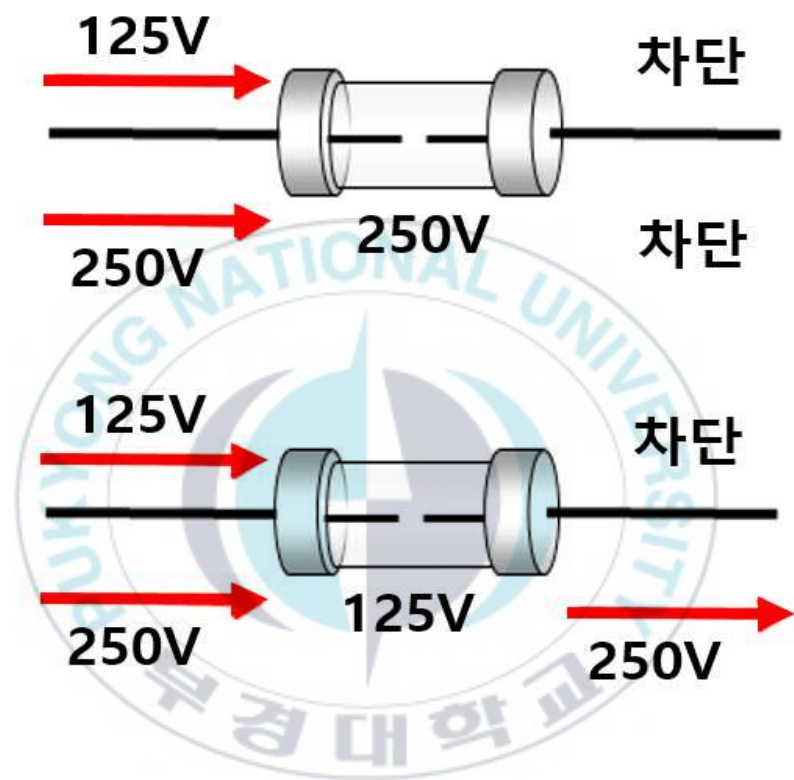


Fig. 6 Example of energizing when using 125V,
250V fuse according to 125V, 250V voltage



Fig. 6 Classification according to the rated voltage of a miniature fuse

2.2.2 퓨즈 동작특성 선정

1) 퓨즈 동작특성 선정

퓨즈의 정격전압을 선정하고 나면 퓨즈가 적용될 위치에 따라서 동작특성을 고려해야 한다. 퓨즈의 동작특성은 크게 2가지 좀 더 세밀하게는 5가지의 동작 특성이 존재한다. 퓨즈가 보호 하고자 하는 성향 적용되는 위치에 따라서 동작특성을 결정 지어야한다. 퓨즈의 5가지 동작특성으로는 매우 빠른 동작(Quick acting), 빠른 동작(Fast acting), 일반 동작(Slow blow), 지연 동작(Time-lag), 매우 느린 동작(Long time-lag)으로 구분된다.

이러한 동작특성은 퓨즈의 민감성을 나타내는 것으로 Fig. 7과 같이 회로를 On 또는 Off 동작할 때 유입되는 돌입전류(Inrush surge)에 대한 퓨즈의 동작 형태를 결정하는데 고려된다. 다시 말해 Inrush 동작이 전자기기 회로 및 부품에 치명적인 손상을 입힐 수 있다고 판단될 경우에는 빠른 동작 퓨즈를 선택하여 회로로 들어오는 Inrush의 유입을 막아야 한다. 반면 해당 동작이 일반적으로 유입되는 전류로 취급할 수 있을 경우에는 지연 동작형 퓨즈를 선택하여 퓨즈가 동작 하지 않게 한다.

퓨즈가 적용되는 위치로 볼 때 1차로 유입되는 주 전원 혹은 주 전력에 근접한 Main fuse의 경우에는 해당 부하기기로부터 순간적이고 미미한 Inrush가 유입되는 것을 인정해야 하는 위치이기 때문에 차단되지 않고, 지속적인 과부하나 단락의 경우 퓨즈를 선택할 때 지연 동작형 퓨즈가 주로 사용된다. 2차로 전자기기의 회로 내부에서 흐르는 안정적인 전류는 보통 Inrush가 수반되지 않기 때문에 2차로 들어가는 보조 퓨즈들의 경우 빠른 동작형 퓨즈를 사용해 사용자의 안전을 최대한 보호 할 수 있도록 설계 시 고려하여야 한다.

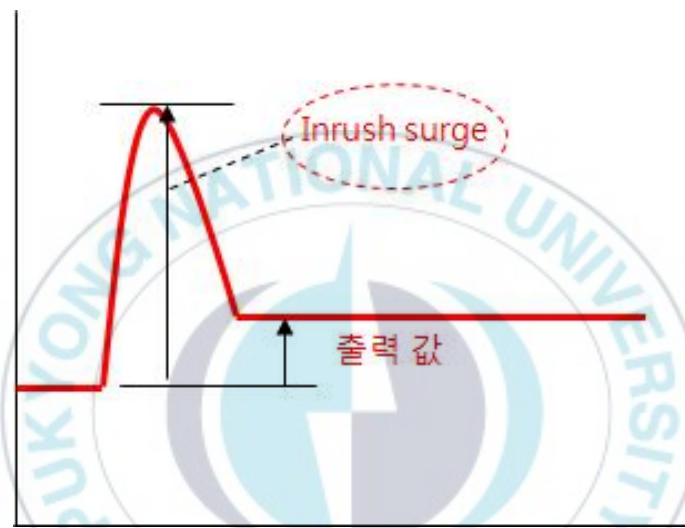


Fig. 7 Inrush current entering ON / OFF operation

2.2.3 정격전류 선정

1) 정격전류 선정

퓨즈의 정격전압과 동작특성을 고려하여 설계가 완료된 후 실제 적용 위치의 통전전류를 확인한 후 퓨즈의 정격전류를 선정해야 한다. 전자기기의 회로 내 퓨즈가 적용되어야 할 위치에 평상시 1A의 전류가 흐른다고 가정하면 회로 내에 1A의 퓨즈를 적용하는 것이 아니라, 1A 이상의 전류가 유입되었을 때 동작할 수 있는 퓨즈를 적용해야 한다.

앞서 말한 정격전류의 설계 방법은 다음과 같다. 회로 내에 빠른 동작형 퓨즈를 적용할 경우 회로상의 정격전류보다 0.5배 보다 높은 전류를 가지는 퓨즈를 사용하고, 지연 동작형 퓨즈를 적용할 경우에는 회로상의 정격전류보다 0.75배 보다 높은 전류를 적용하는 것이 일반적으로 설계하는 방법이다. 빠른 동작형 퓨즈를 선택할 경우 마진을 고려해야 하는데, 보통으로는 정격전류의 50% 정도를 두고 있다. 예를 들면, 4A 정도의 회로에 통전전류의 50%는 2A이며, 3.15A일 경우 통전전류 50%는 1.575A가 되며, 2.5A는 1.25A, 2A는 1A 값을 가진다. Fig. 8은 통전전류에 따라 빠른 동작형 퓨즈를 적용할 수 있는 정격전류를 나타낸 것이다.

회로 내에 지연 동작형 퓨즈를 적용할 경우 마진은 빠른 동작형 퓨즈와 달리 평상시 흐르는 정격의 75%정도를 마진으로 두고 있다. 예를 들면, 4A 정도의 회로에 통전전류의 75%는 3A이며, 3.15A일 경우 통전전류 75%는 2.3625A가 되고, 4.5A는 3.375A가 되며, 5A의 경우 3.75A 값을 가진다. Fig. 9는 통전전류에 따른 지연 동작형 퓨즈의 적용 정격전류를 그림으로 나타낸 것이다. 만약 통전전류가 1.5A가 흐르는 회로의 위치에서 퓨즈를 적용하려면 1.125A 이상을 고려하여 퓨즈를 적용하여야 이상전류로 부터 보호를 할 수 있다.



Fig. 9 Fast-acting type fuse Applies the rated current of the fuse when the current is passed

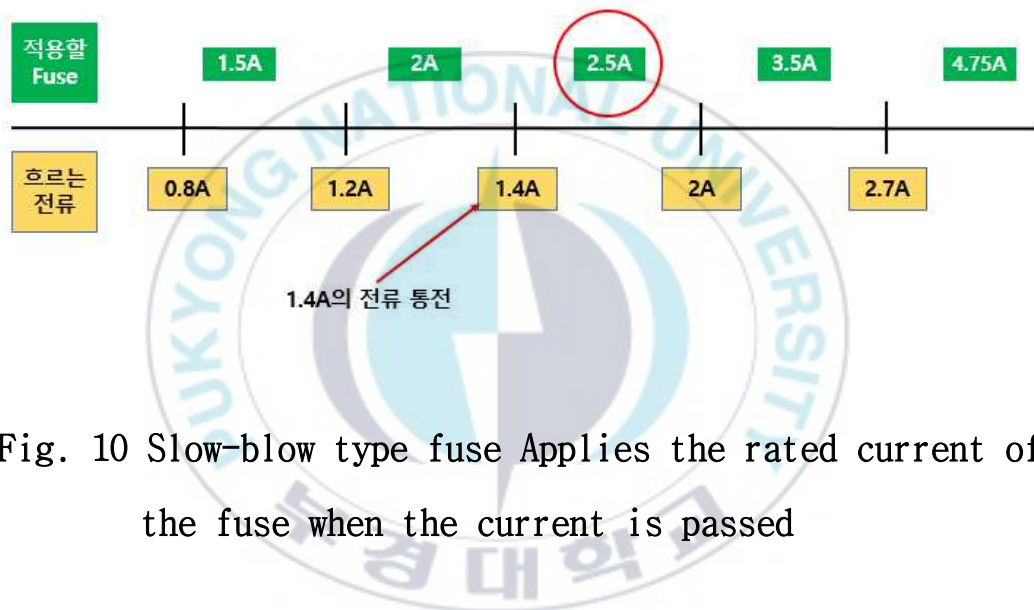


Fig. 10 Slow-blow type fuse Applies the rated current of the fuse when the current is passed

3. 실험방법

3.1 복합 동작을 위한 퓨즈 구성

3.1.1 완전단락 돌입전류 및 미소전류 변화 감지 동작 구성

1) 완전단락 돌입전류 및 미소전류 변화 감지 동작 구성

일반 한류형 퓨즈와 달리 능동 제어형 퓨즈의 경우 퓨즈를 설계할 때 완전단락 돌입전류에 대해서만 고려해야 할 것이 아니라 미소전류변화에 대해서도 고려해야 한다. 돌입전류를 보호하기 위한 퓨즈의 역할과 미소전류변화에 동작하는 차단기의 특성을 가지기 위해 Fig. 10와 같이 2가지의 동작을 만족하기 위한 방법으로 차단기 역할을 하는 회로를 구성하였다. 일반적으로 전압과 전류가 정상작동을 할 경우 전류 충전 방향으로 회로가 작동하게 된다. 하지만, Fig. 11와 같이 과전류가 발생할 경우 순간적인 온도 상승으로 인해 직접적으로 퓨즈 가용체가 열을 받아 용단하게 된다. 또한, 회로내에 이상상태인 미소전류가 지속적으로 유입될 경우 전류를 (1) 센싱 받아 전류의 흐름 방향을 변경하게 된다. 이때, (2)발열저항이 열을 받아 온도가 상승하게 되고 발열저항의 열로 인해 (3)퓨즈의 가용체를 용단하는 동작특성을 함께 구성하였다.

2) 능동제어 퓨즈 동작

앞서 소개한 완전단락 돌입전류 및 미소전류 변화를 감지하여 동작하는 회로의 모식도를 나타낸 것이다. 회로기관 위에 발열저항과 퓨즈의 가용체

를 실장 한 형상은 Fig. 12와 같다. Fig. 12와 같이 회로에 발열저항과 퓨즈 가용체를 실장한 후 정상적인 전류와 전압일 때에는 문제없이 전류가 흐르지만 Fig. 13과 같이 순간적인 과전류가 흐를 경우 퓨즈의 가용체가 용융하여 직접적인 용단이 발생하게 된다.⁵⁾ 또한, Fig. 13의 미소전류가 지속적으로 유입 될 경우 발열저항이 발열하여 퓨즈 가용체를 간접적으로 열을 전달해 용단하게 만든다. 이 원리를 이용하여 퓨즈의 정격과 이차전지의 용량에 따라 발열저항과 퓨즈 가용체의 숫자를 늘려 조절할 수도 있다.



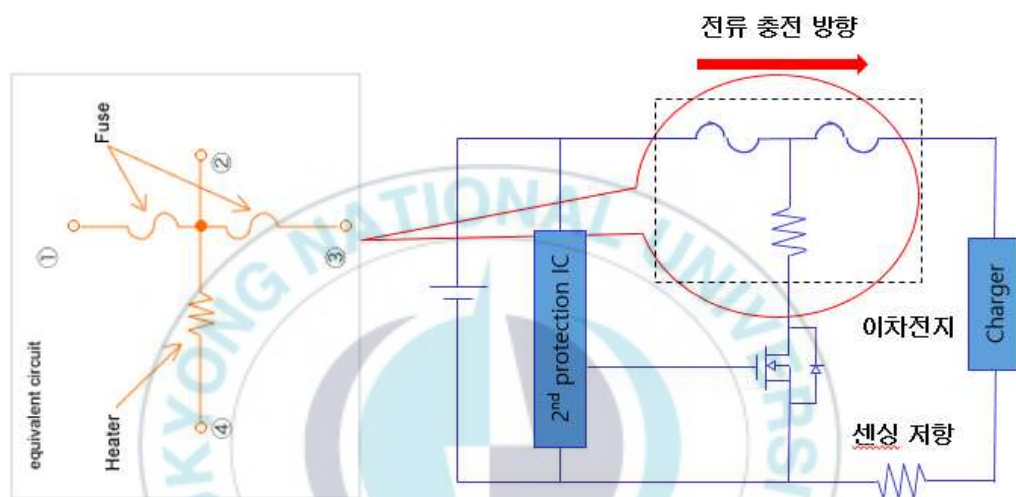


Fig. 11 Circuit of self-control protection devices

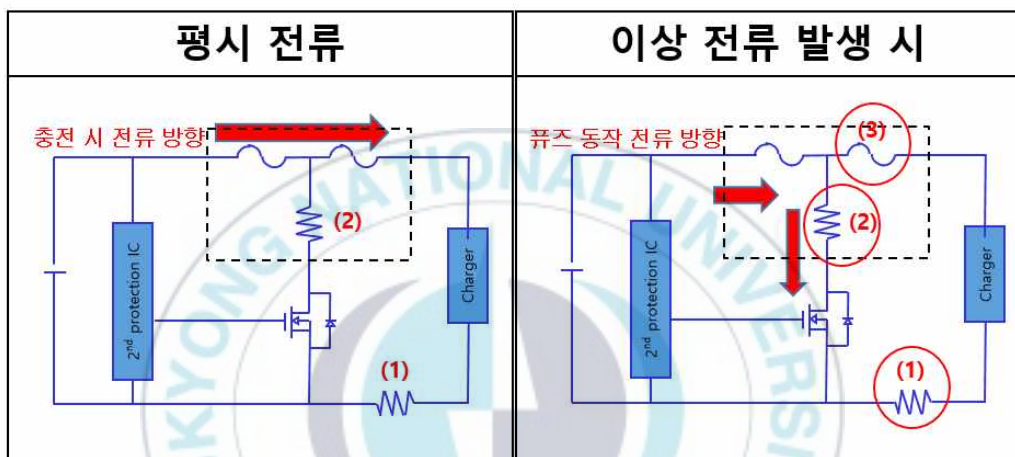


Fig. 12 Circuit operation in case of normal current and abnormal current

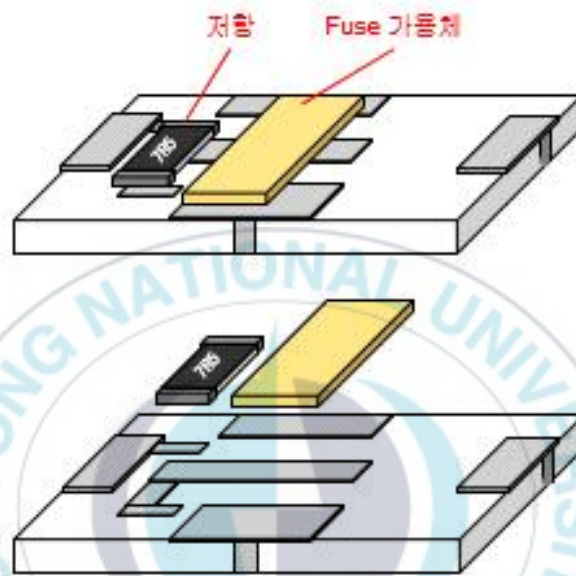


Fig. 13 Fuse diagram for complex operation

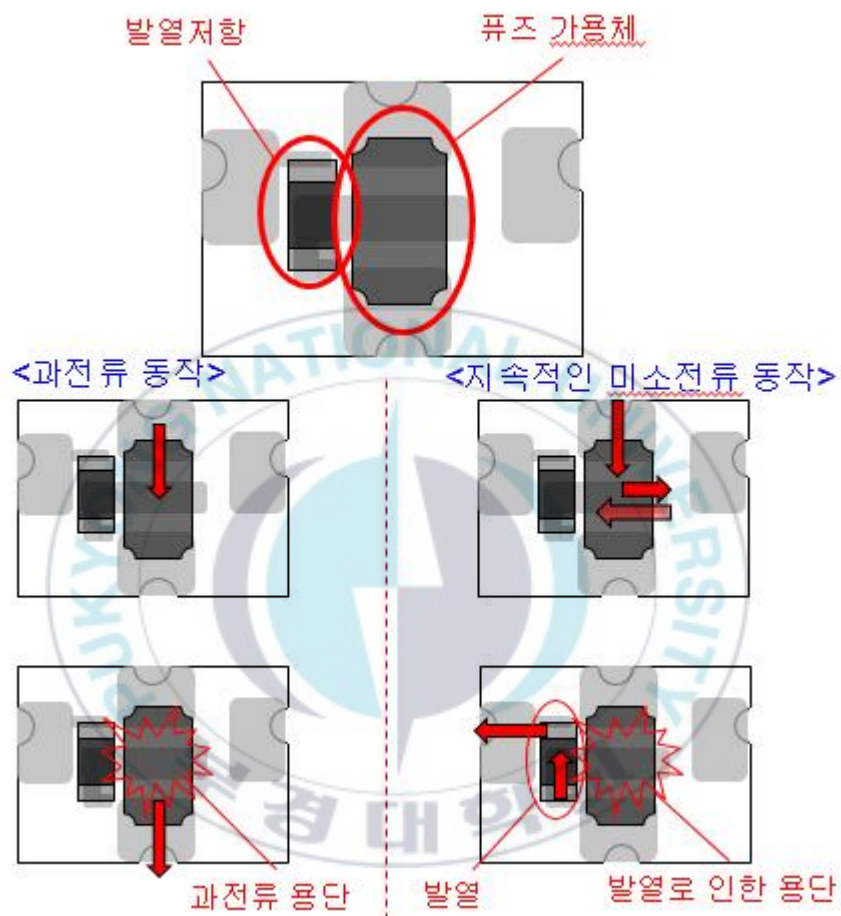


Fig. 14 Example of self-control fuse operation

3.2 퓨즈 가용체 샘플 제작

능동 제어용 퓨즈 가용체를 설계 할 때 고려해야할 사항을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Precautions for design of fuse elements

	유의사항	비고
1	낮은 용점	저용점 금속
2	자동실장(SMT) 공정에서 동작하지 않을 것	260℃ 이상
3	용단 후 충분한 절연거리 확보	공정 조성
4	한류형 동작 특성 구현	Slow-blow type

Table 1에 나타난 것과 같이 발열 저항의 열에 의해 용단이 가능한 금속 (저용점 금속), 자동실장(SMT) 공정에서 동작 및 용융하지 않을 것 (260℃ 이상), 과전류 및 과전압에 의해 퓨즈 가용체가 용단 후 충분한 절연거리를 확보 할 것(공정 조성), 한류형 퓨즈 동작 특성을 구현해야할 것. 이러한 점들을 고려하여 Pb-Sn계 저용점 금속을 선택하였다. Fig. 14은 Pb-Sn 상태도이다. 그림에서 (a)지점의 경우 용점이 낮아 SMT 공정 시 가용체가 열에 의해 용융하여 자동실장이 불가능하다. (b)지점의 경우 공정 조성 이지만 (a)와 마찬가지로 낮은 용점으로 인해 자동실장이 불가능하다는 문제점이 있다. (c)의 경우 약 260℃ 이상의 용점을 가지지만 공정 조성이 아니기 때문에 절연거리 확보가 어렵다. (d)의 경우 온도와 공정 조성, 다시 말해 저용점 금속의 특성을 만족하여 (d)지점의 합금으로 퓨즈 가용체를 설계하였다. 그리고 통전전류 30A 이상의 높은 전류 통전과 퓨즈가 실장 될 기판을 고려하여 SMD 형태의 샘플을 제작하였다.

기판은 알루미늄 함량 96% 세라믹 기판에 퓨즈와 발열 저항의 단자 역

할을 하는 전극을 은(Ag) 혹은 은-팔라듐(Ag-Pd) 페이스트를 이용하여 제작하고 SMT 공정을 이용하여 2012 size 칩 저항과 납-주석-은 합금 (88Pb-10Sn-2Ag Wt%)인 저융점 금속을 기판위에 실장 하였다.(Fig. 15)

Table 2는 Pb-Sn계열의 합금으로 퓨즈 가용체의 조성을 나타내었다.

Table 2 Fuse elements metal alloys

Alloy	성분 (wt%)			Melting point (°C)
	Pb	Sn	Ag	
Pb-10Sn-2Ag	88	10	2	298

퓨즈 가용체의 재료는 납-주석-은 합금으로 결정되었으며 식(4)의 이론에 따라 선径의 변화에 따른 퓨즈의 정격전류 변화를 확인하기 위해 두께를 달리 조정하여 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Fuse elements apply different thickness of material

Alloy	조건		
	길이 (mm)	폭 (mm)	두께 (mm)
Pb-10Sn-2Ag	2.4	1.2	0.5
			0.6
			0.7
			0.8

실험은 IEC 60127-4에 제시된 표준 기판에 실장하여 실험하였고 모든 시료의 불량 단선 여부 등을 저저항 측정기를 사용하여 확인하였다.⁴⁾ 각 시료군의 최소 50개 이상의 예비 시료를 확보한 상태에서 실험을 진행하였다. 이후 모든 시료는 DC전원공급장치를 사용하여 전류에 따른 한류 용단 실험과 온도에 따른 동작 용단 실험을 실시하였고, 각 전류에 따라 용

단되는 시간을 분석하였다. Fig. 16은 퓨즈 가용체 및 발열 저항을 회로에
실장하여 샘플을 제작한 사진이다.



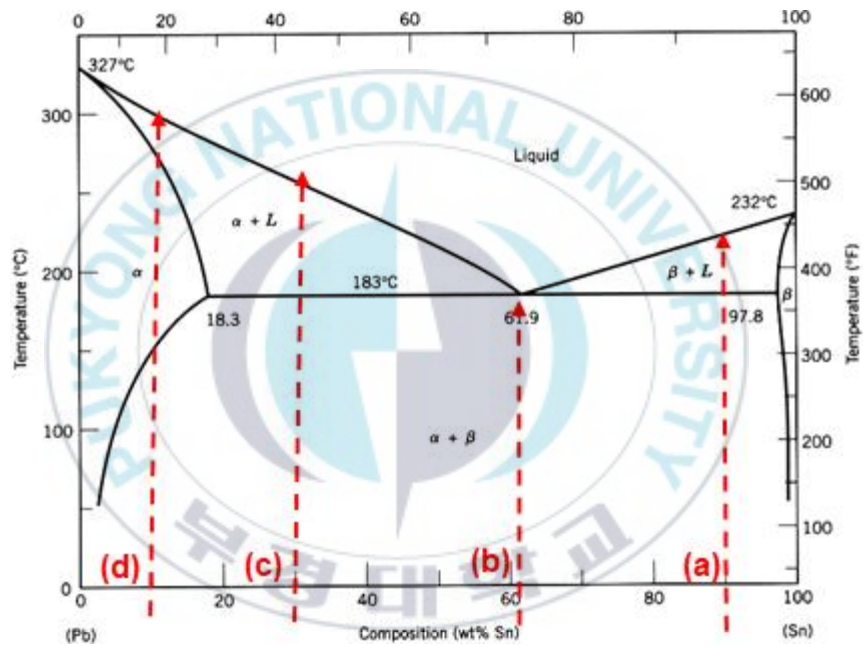


Fig. 15 Pb-Sn phase diagram

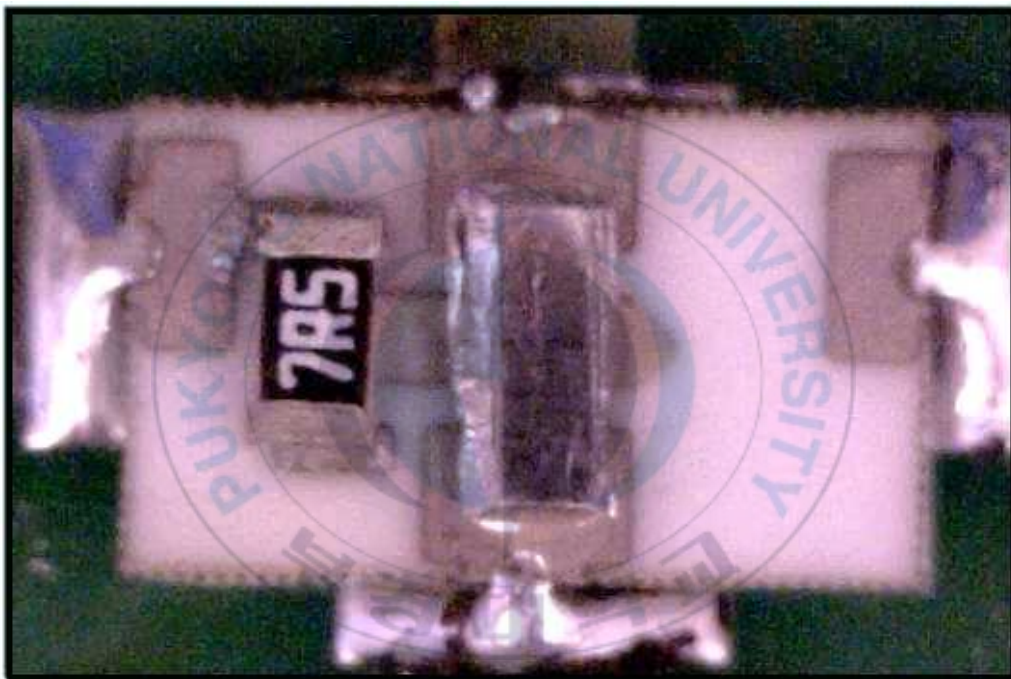


Fig. 16 Heat Resistive Resistance and Fuse elements
substrate on Board

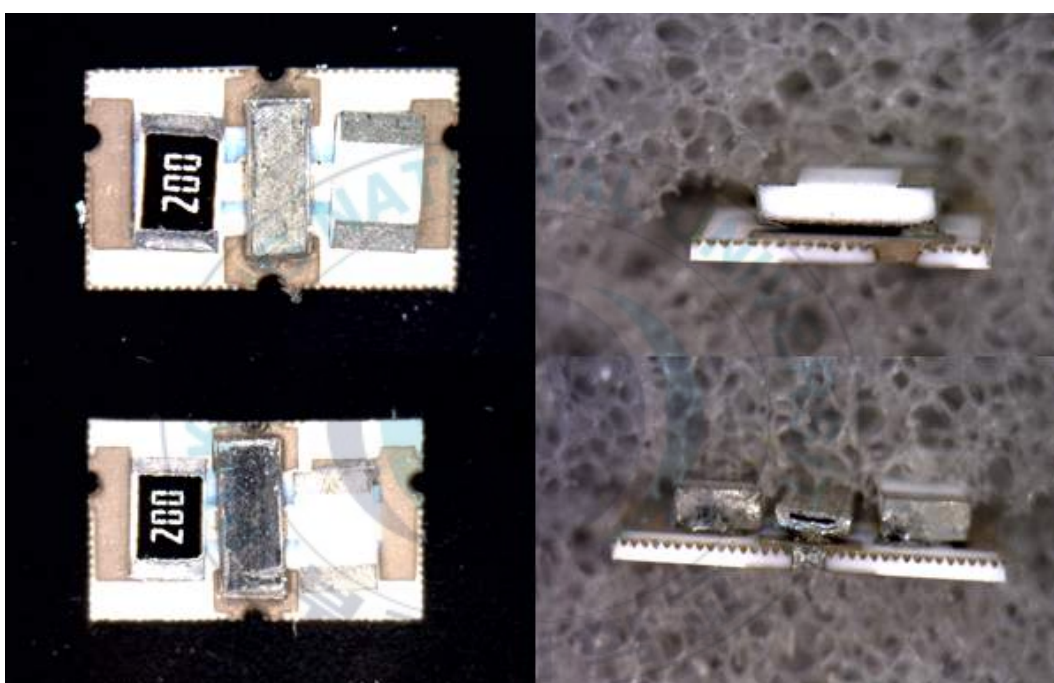


Fig. 17 Fuse samples front, side

4. 실험결과 및 고찰

4.1 합금 가용체 단면적에 따른 특성

1) 합금 가용체 단면적에 따른 정격 이동 I-T 커브

Table 3에 제시한 퓨즈 가용체의 실험 샘플을 용단하여 얻은 데이터를 이용해 I-T 커브를 Fig. 17에 나타내었다. 정격전류 30A를 기준으로 0.5t와 0.6t가 30A 정격 선에 근접 하지만 0.5t는 정격 선과 평행하지 않고 정격 선과 접촉하게 되어 제외하였다. 30A에 가장 근접한 0.6t가 가장 적합했으며, 0.7t와 0.8t를 비교해서 보았을 때 0.6t에 비해 정격전류가 높게 형성된 것을 알 수 있다. 유도된 식 (5)인 $I^2 \approx D^2$ 에 따라 선경과 정격전류를 비례, 반비례함을 알 수 있었다. Fig. 18은 완전단락 돌입 전류 시 퓨즈 가용체가 동작하여 용단된 형태이다.

Fig. 19는 0.6t의 샘플이 단락 돌입 전류에 대해서 Slow-blow 동작특성을 만족하는지 확인하기 위해 실험하였다. 그래프에서 보는 것과 같이 단락 돌입 전류에 대하여 30A 정격 전류를 만족하며 1000% 전류를 인가 시 동작특성이 10ms로 Slow-blow 특성을 보였다.

4.2 미소전류 변화에 따른 동작 특성

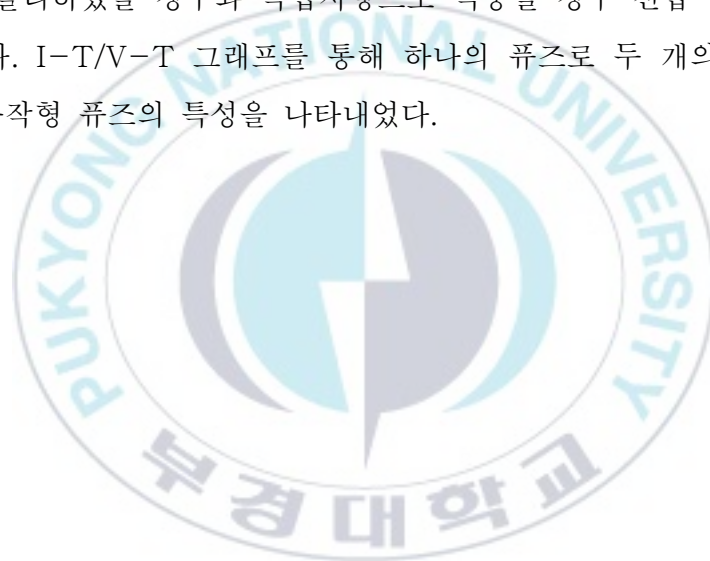
1) 감지 동작 용단 시간(V-T)

Fig. 20은 미소전류 변화에 의해 발열저항의 열을 받아 퓨즈 가용체를 용단한 것이다. 미소전류 변화에 따른 동작 특성은 센싱 IC 및 FET(field effect transistor)로 변환된 전압에 따라 동작 시간이 달라진다. Fig. 21은 전압에 따른 용단시간을 나타낸 것이다. 정격 전류의 110% 이상인 미소전류 발생에 따라 감지 회로가 동작하여 발열 저항에 의해 모든 조건에서 10초 이내에 동작하였고, 이렇듯 능동 동작형 퓨즈를 설계할 때 발열 저항에 따라 인가되는 전압을 조정할 수 있으며, 능동 동작형 퓨즈 제작 시 미소전류에 대한 값을 선택할 수 있다. Fig. 22은 발열 저항의 저항 값을 달리하였을 때 퓨즈의 전압선이 달라짐을 알 수 있다. 또한, Fig. 23과 같이 발열저항의 저항 값이 다른 저항 2개를 병렬로 구성하여 실험하였을 경우 상대적으로 저항 값이 낮은 발열저항부터 발열한 후 용융되었고, 상대적으로 높은 발열저항이 발열하여 작동하였으며 같은 회로에서 복합저항을 병렬로 구성하였을 때 전압 범위가 넓어지는 것을 알 수 있었다. 이처럼 유입 전류에 따라 감지동작이 넓은 전압 범위에서 동작하게 하기 위해서는 병렬 구성이 필요한 것을 알 수 있다.

4.3 I-T/V-T 그래프 복합 동작

1) I-T/V-T 그래프 복합 동작

능동제어 보호소자를 만족하기 위해서는 완전단락 돌입전류에 의한 I-T 그래프와 V-T 그래프를 만족해야 한다. Fig. 25의 검은색 선은 돌입 전류에 의해 나타난 그래프이고 붉은색 선은 미소전류변화에 의해 발열저항이 열을 받아 퓨즈 가용체가 용단되는 전압범위를 나타낸 그래프이다. 발열저항을 달리하였을 경우와 복합저항으로 적용할 경우 전압 범위는 달라질 수 있다. I-T/V-T 그래프를 통해 하나의 퓨즈로 두 개의 동작을 하는 복합 동작형 퓨즈의 특성을 나타내었다.



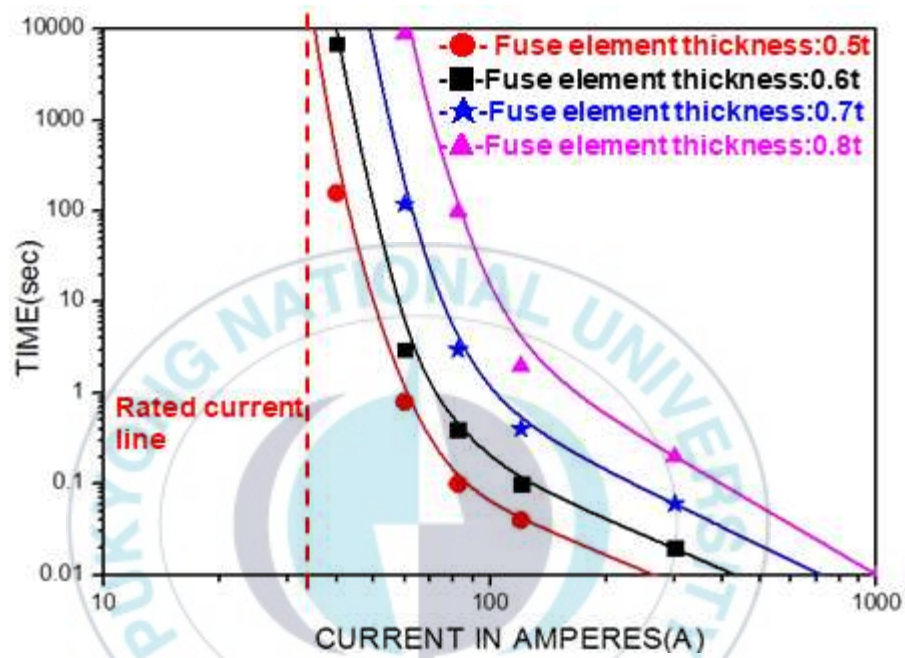


Fig. 18 I-T graph according to cross-sectional area of fuse elements



Fig. 19 Short-Circuit and Inrush Current Type

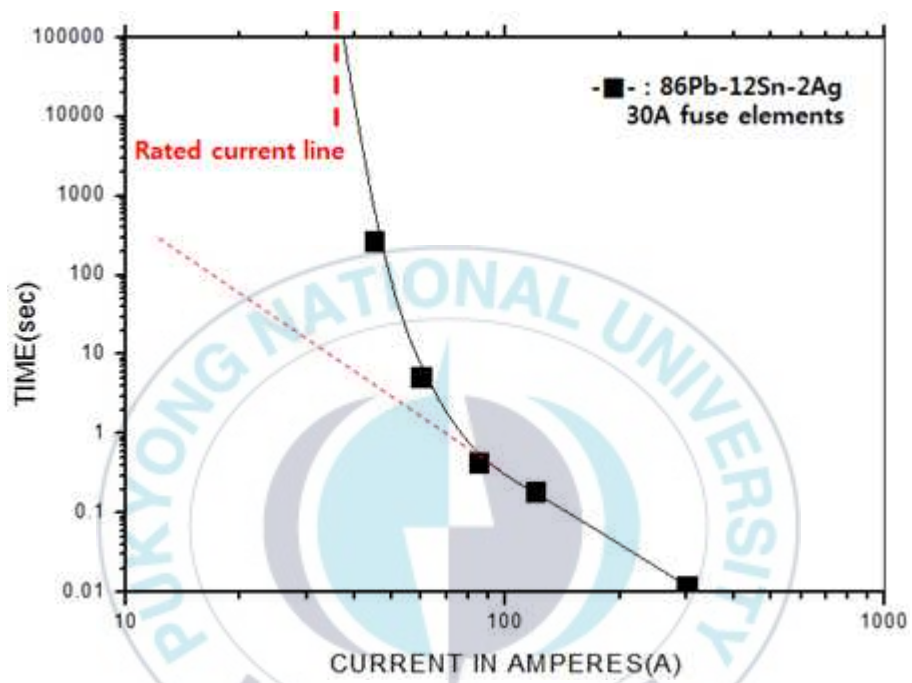


Fig. 20 Check rated current and operating characteristics

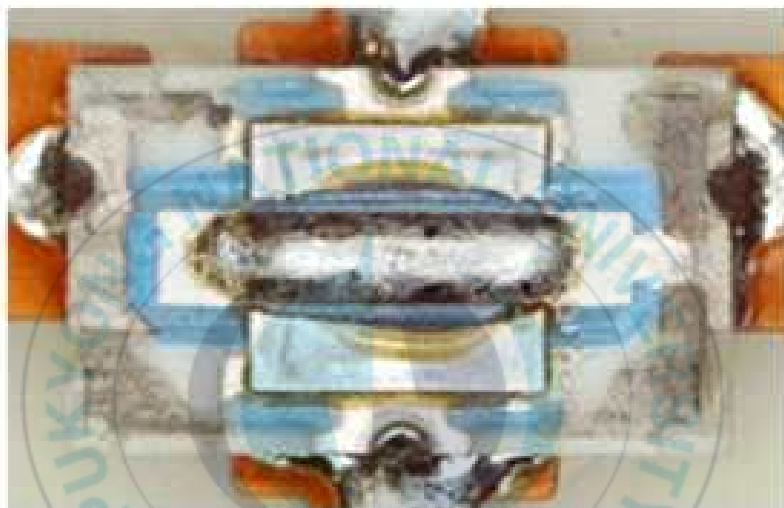


Fig. 21 Micro current sensing

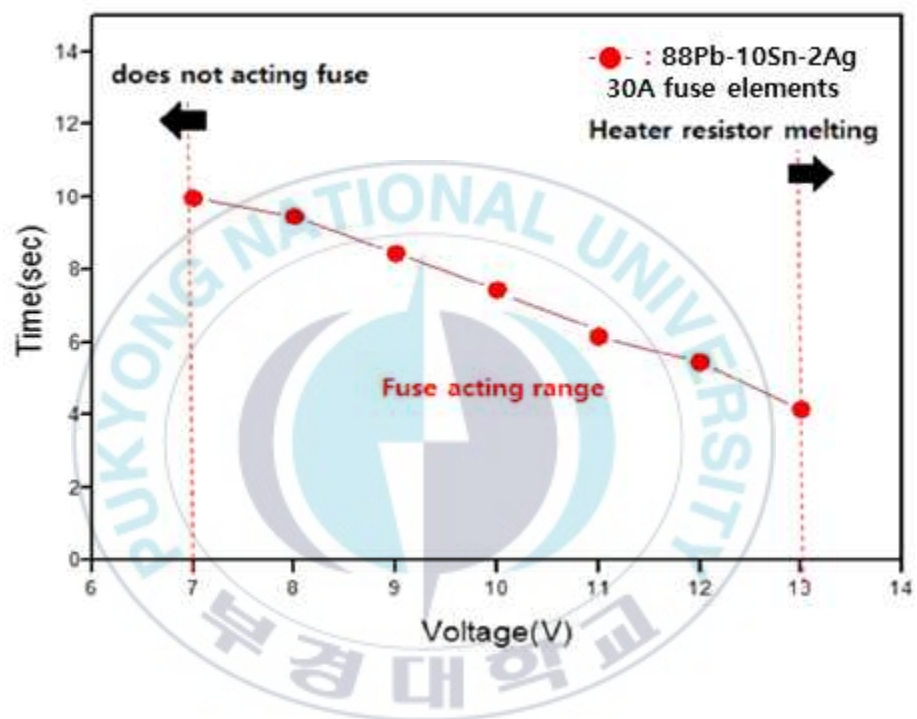


Fig. 22 V-T curve of self-control fuse

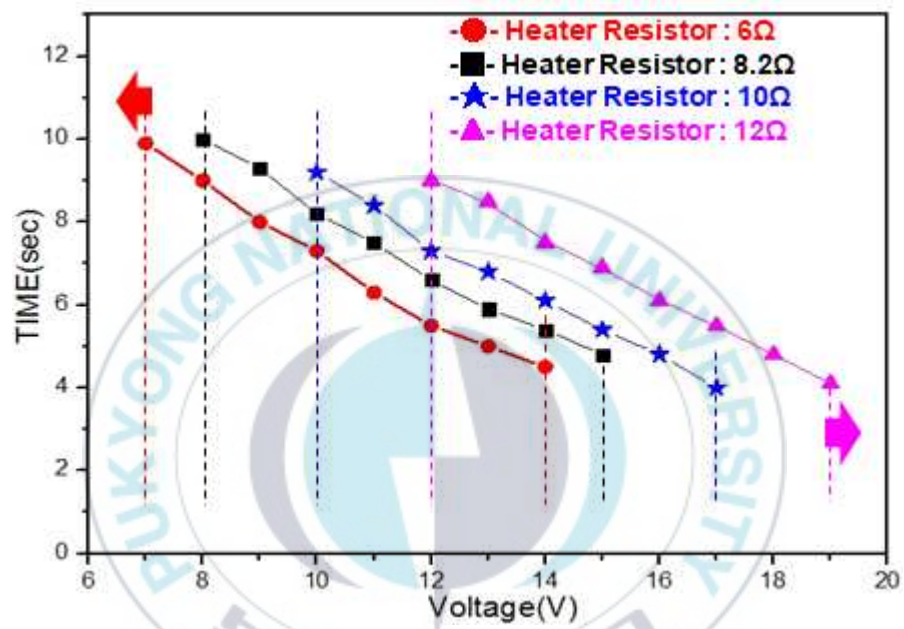


Fig. 23 Voltage change due to heat resistor

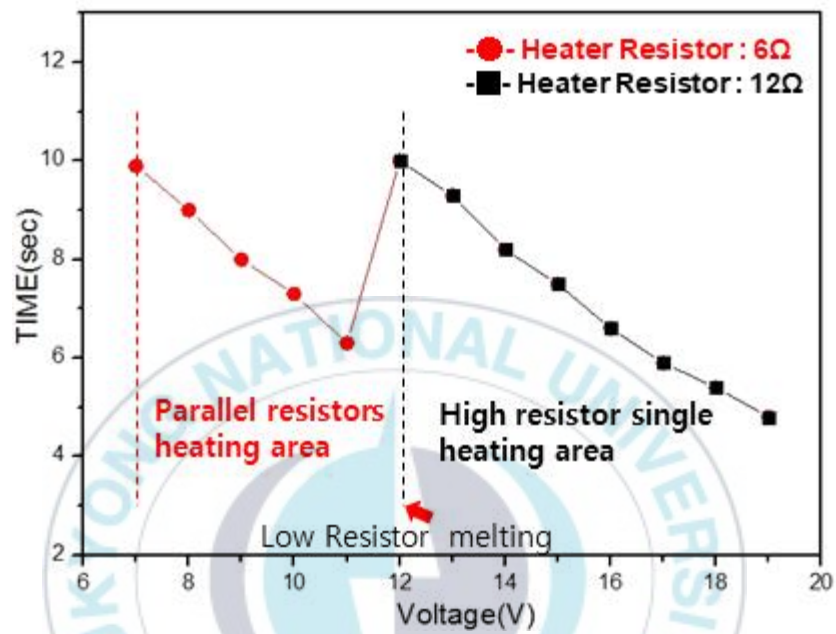


Fig. 24 V-T curve after composite resistor configuration

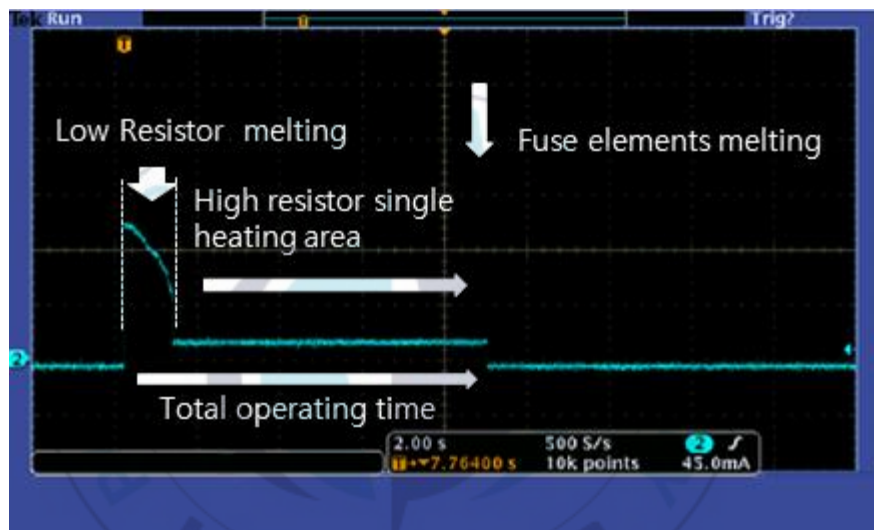


Fig. 25 Measure oscilloscope waveform after composite resistor configuration

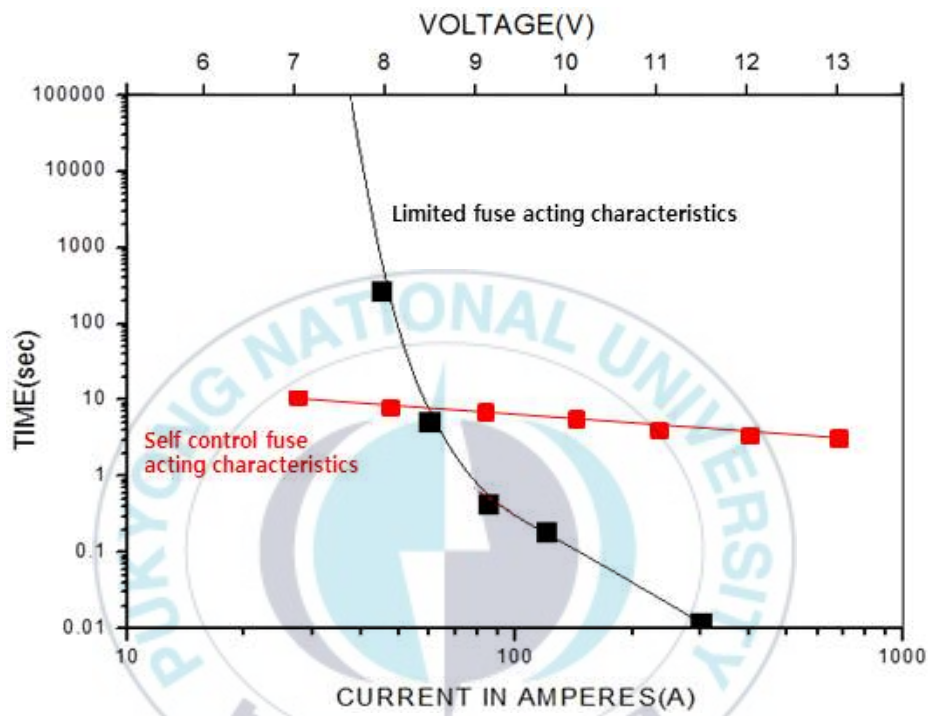


Fig. 26 I-T/V-T curve complex operation

5. 결 론

본 연구에서 저융점 금속을 이용한 퓨즈 가용체를 이용하여 돌입전류뿐만 아니라 비교적 적은 전류인 미소전류 변화에도 동작하는 능동 동작형 퓨즈를 설계한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 정격전류의 110~1000% 이상까지 동작 가능한 에너지 저장 시스템 보호용 능동제어 보호 소자를 설계 하였다.
- 2) 기존 한류형 퓨즈의 동작과 미소전류 변화에 반응하여 차단기의 역할을 동시에 수행하는 퓨즈 가용체 설계를 할 수 있었다.
- 3) 돌입 전류에 대한 직접 발열 용단과 발열저항에 의한 간접 발열 동작의 특성을 만족하는 금속을 설계하였다.
- 4) 퓨즈 가용체의 합금이 선정되었을 때 두께를 달리하여 정격전류 선을 변화할 수 있는 특성을 구현하였다.

6. 참고문헌

1. E.M. Kim, “Design of fast acting fuse characteristics using a precision multi-layer thine film plating”, Master's thesis, 2015, pp. 4-15.
2. Lee Dung So Gill, Won Gu Cha(1977), “Thermal Aging and Thermal Fatigue of Power Fuses”, Vol. 50, No. 12, Bu Sa Si Bo.
3. “Power fuse renewal guide”, Japanese Industrial Standard, 2004.
4. C.K. Ji, K.O. Kim, “Standards KS C IEC60127-4, 2005.
5. E.M. Kim, S.C. Cho, T.K. Hahn, H.S. Han, (2016), “Development of Self-control protector fuse for small ESS protection system”, Vol. 2016, No. 5, The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers.
6. H.K. Ji, J.P. Kim, J.Y. Song, Y.W. Choi, C.S. Park, N.K. Park, G.S. Kil, (2013) “An Experimental Study on Melting Characteristics of Low-voltage Miniature Cartridge Fuse” , Vol. 28, No. 5, Journal of the korean society of safety.
7. M.H. Oh, J.M. Baek, (2006), “The Korean Institute of Electrical Engineers Power Engineering Society”
8. S.h. Lee, E.B. Shim, (1996)“Proc Korea-Japan symposium on electrical discharge and high voltage engineering”.
9. P.O. Leistad, H. Kongsjorden, (1984) “INt. Conf. on Electrical fuses and their Applications”, 1984.
10. E.M. Kim, S.H. Kim, (2014) “The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers”, Vol. 63, No. 11.