ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 67, No. 12, pp. 1619~1625, 2018
http://doi.org/10.5370/KIEE.2018.67.12.1619

휴대용 이차전지 보호 시스템용 전류 감지 동작형 보호소자의 퓨즈 가용체 설계

Design of Fuse Elements of Current Sensing Type Protection Device for Portable Secondary Battery Protection System

강 창 룡* · 김 은 민†
(Chang-Yong Kang · Eun-Min Kim)

Abstract - Portable electronic devices secondary batteries can cause fire and explosion due to micro-current change in addition to the situation of short-circuit inrush current, safety can not be secured with a general operation limited current fuse. Therefore, in secondary battery, it is necessary for the protector to satisfy both the limit current type operation in the open-short-circuit inrush current and the current detection operation characteristic in the micro current change situation and for this operation, a fuse for the current detection type secondary battery protection circuit can be applied. The purpose of this study is to design a protection device that operates stably in the hazardous situation of small capacity secondary battery for portable electronic devices through the design of low melting fuse elements alloy of sensing type fuse and secures stability in abnormal current state. As a result of the experiment, I-T and V-T operation characteristics are satisfied in a the design of the alloy of the current sensing type self-contained low melting point fuse and the resistance of the heating resistor. It is confirmed that it can prevent accidents of short circuit over-current and micro current change of secondary battery.

Key Words : Current sensing fuse, Low melting point alloy, I-T curve, Secondary battery, V-T curve

1. 서 론

IT기술의 발전과 지식 정보화 추세의 확산으로 다양하고 수많은 정보가 실시간으로 공유되고 생활에 유용하게 접목되는 환경에서, Network 기반의 휴대용 전자제품이 큰 시장으로 자리 잡게 되었다[1]-[2]. 이렇게 휴대 제품이 확산되는 환경에서 동반적으로 가장 중요한 역할을 하고, 성장하고 있는 시장이 휴대용 전자기기의 구동을 위한 소형 이차전지 관련 시장이다. 최근 휴대용 전자 제품에 적용되는 중소형 이차전지는 에너지 저장 시스템이 요구하는 안정적인 구동과 장시간 사용, 급속 충·방전 등과 같은 특성적 요구를 구현하기 적합한 형태로 발전해 왔고, 최근에는 삶의 질과 안전에 대한 요구로 이어지고 있다[3]. 하지만 충전과 방전이 반복되는 이차전지의 특성과 폭발의 위험이 있는 내부 활물질, 보호소자의 보호 한계 등의 이유로 인하여 그림 1과 같이 최근 국내외의 중소형 이차전지 화재 및 폭발 사고가 꾸준히 발생하고 있는 추세이다.

† Corresponding Author : Seoul National University Electric Power Research Institute.
E-mail : mcag9@snu.ac.kr
* Dept. of Metallurgical Engineering, Pukyong National University, Korea.
Received : September 4, 2018; Accepted : November 19, 2018

그림 1 휴대용 전자 제품 사고 사례
Fig. 1 Portable electronic product accident case

리튬이온 저용량 이차전지는 전기 설비용 대용량 이차전지 제품에 비하여 상대적으로 작은 제품 크기와 공간 확보가 부족하여 그림 2와 같이 전기영동 등의 셀간 거리에서 발생하는 사고가 빈번히 발생하는 편이다. 전기영동에 의한 이차전지 화재 발생 프로세스는 순차적으로 충격 및 전기영동 현상에 의한 분리막 손

Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

상, 충전 방전 동작 시 전류의 지속적 이동, 이차전지 전해질이 분해되어 가스 발생, 가스의 압력이 분리막을 이동시켜 전해액 혼합, 전해액이 혼합된 후에도 충전은 계속 유지, 폭발 및 화재 발생의 과정으로 이루어진다. 이와 같은 전기영동에 의한 이차전지의 화재 및 폭발을 방지하기 위해서는 유입전류 상승 시 동작하여 전류 유입을 막아주는 퓨즈의 역할이 중요하다.

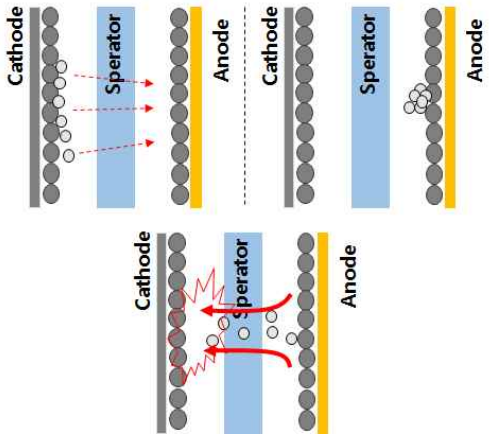


그림 2 이차전지의 전기영동
Fig. 2 Electrophoresis process of Secondary Battery

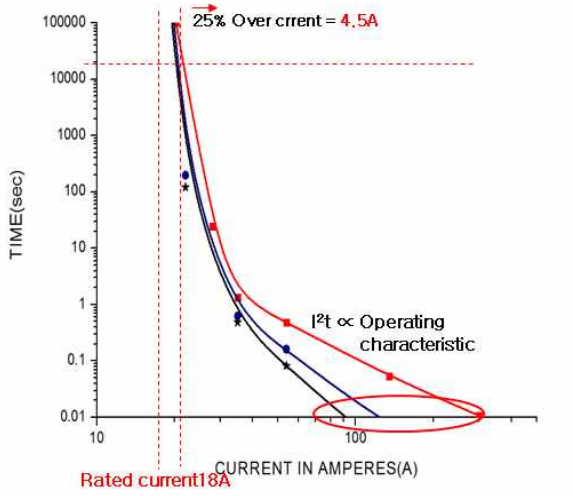


그림 3 한류형 퓨즈의 동작 특성 I-T 커브
Fig. 3 Operating characteristics of the current limited fuse in I-T curve

일반적으로 휴대용 중소형 이차전지의 사고가 가장 많이 발생하는 충전 상황에서의 회로 단락, 케이블 문제, 돌입 전류 등은 이미 이차전지가 도입되는 시점에서부터 위험성이 인지되었고 메인퓨즈, 차단기 동작형 스위치 등의 적용으로 화재 및 폭발을 방지하고 있다. 하지만 현재 규격에 정의된 일반적인 한류형 퓨즈의 경우 그림 3과 같이 모두 유입되는 전류에 의해 수동 동작하는 형태의 퓨즈로, 그 특성상 빠른 동작 특성이 정격 전류의 125% 이상일 때, 지연 동작특성의 퓨즈는 정격 전류의 160%일 때 최초로 용단이 시작 되어야 하며, 이전의 전류에서는 동작하지 않아야 한다[4]. 즉 퓨즈를 통과하여 이차전지로 정격 전류의 150% 의 전류가 계속해서 유입하여도 퓨즈는 동작하지 않는 상태가 되고, 이차전지는 유입되는 높은 전류에 의해 내부 활물질 혹은 분리막 등이 손상을 받는다. 특히 이와 같은 화재 및 폭발 현상은 낮은 통전 전류를 사용하는 휴대폰, 이어폰, 휴대용 선풍기 등에서는 나타나지 않고 저용량 이차전지에서 상대적으로 높은 통전 전류에 해당하는 노트북, 전동드릴, 퀵 보드 등 통전 전류량 8A~20A 영역에서 사고가 지속적으로 발생하는 실정이다.

때문에 이차전지를 보호하기 위한 메인 동작 퓨즈는 돌입전류를 보호하기 위한 퓨즈의 역할과 미소전류변화에 동작하는 이상전류 감지 동작의 특성을 가져야 한다. 즉 이차전지용 전류 감지 동작 퓨즈가 도입됨으로 해서 이차전지로 흐르는 미세한 전류 변화를 감지하여 기존의 수동동작 퓨즈가 동작하지 않던 이상전류의 미세한 변화에 능동적으로 동작할 수 있다[5].

본 논문에서는 중소형 휴대용 이차전지의 안전한 사용을 위하여, 정격전류의 20% 이하, 비교적 적은 전류변화를 감지 후 능동적으로 동작하는 보호회로에 적합한 퓨즈와 퓨즈 가용체를 개발하여 제시하였다.

2. 본 론

2.1 전류 감지 동작형 보호회로 구성

완전단락 돌입전류 및 미소과전류 유입, 2가지의 위험에서 안전한 보호 동작을 만족하기 위한 방법으로 IC-FET 회로를 이용한 전류감지 회로를 구성할 수 있다.

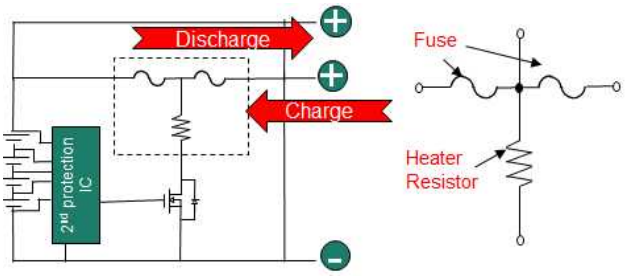


그림 4 자기 제어 보호소자 회로
Fig. 4 Circuit of self-control protection devices

적용 보호회로는 그림 4와 같이 일반으로 전압과 전류가 정상 작동을 할 경우 전류 충전 방향으로 회로가 정상 작동하게 된다. 그리고 완전 단락 돌입전류 및 과전류가 발생할 경우 순간적으로 발생하는 화재 위험에 퓨즈 가용체가 한류형 퓨즈 동작을 하여 용단하게 된다. 또한, 회로 내에 이상상태로 인한 정격전류의 20% 이내 미소전류 상승이 지속적으로 유입될 경우 전류를 센싱하여 전류의 흐름 방향을 FET 소자 방향으로 변경하게 된다. 이

때, 발열저항에 적용된 전압에 의해 발열 저항의 온도가 상승하게 되고 해당 열로 인해 퓨즈의 가용체를 용단하는 동작특성을 함께 구성하였다.

2.2 샘플 제작 및 실험 방법

중소형 이차전지에 적용된 퓨즈는 이차전지의 용량이 상승함에 따라 평시 통전 전류가 8A이상에서 최대 20A까지 통전 된다. 때문에 휴대성과 실장 공간을 고려한 방열 형태의 설계가 필요하고, 전류 분배 구조인 2W 세라믹 SMD형 션트 형태로 퓨즈 형태를 구성하였다. 이에 그림 5와 같은 내부 구조 와 형상 및 그림 6과 같은 크기의 퓨즈를 제작하였다.

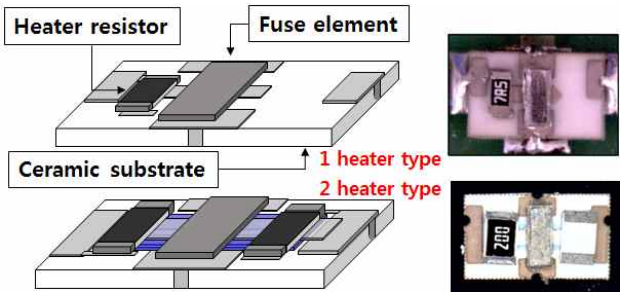


그림 5 실험 샘플 내부 구조
Fig. 5 Inner structure of sample for test

중소형 이차전지 보호 소자에 사용될 금속 가용체는 발열 저항의 열에 의해 용단이 가능한 금속으로 설계가 가능하며, 때문에 표 1와 같이 접합 용가재에서 적용하는 주석(Sn) 계열의 저융점 금속을 적용 하였다. 접합 저 융점 금속이 퓨즈 가용체로 사용되기 위한 조건은 과전류 및 과전압에 의해 퓨즈 가용체가 용단 후 충분한 절연거리를 확보할 것과 전류가 유입되어 퓨즈 가용체를 용단하는 한류형 퓨즈 특성을 만족할 것 등의 특성이 필요하다. 해당 특성을 구현하기 위하여 저 융점 합금의 납 계열 금속을 선택하였고, 상용적용 되어 일반적인 금속을 대상으로 시험 하였다.

표 1 퓨즈 가용체 합금 성분
Table 1 Alloy component of fuse element

Test Alloy	Component(wt%)			Melting point (℃)
	Pb	Ag	Sn	
Pb-Sn-Ag	86	2	12	309

일반적인 중소전력 이차전지 보호 소자는 칩(chip)형태의 부품 구조로, PCB 기판위에 실장을 위해 자동 실장 공정(Surface Mounter Technology 이하: SMT)을 실시해야하며, 때문에 저융점 금속 중 상대적으로 융점이 높은 납 계열 금속의 적용이 허용되는 납 규제(Pb-Free)예외 품목이다. 이는 PCB의 표면실장을 위한 접합 용가재의 온도가 217℃~222℃까지 상승함에 따라 용가재를 녹이기 위한 SMT 공정에서의 온도가 그림 7과 같이 최대 250℃에서 약 40초 유지되는 구간에서 퓨즈가 동작하지 않기 위함이다[6].

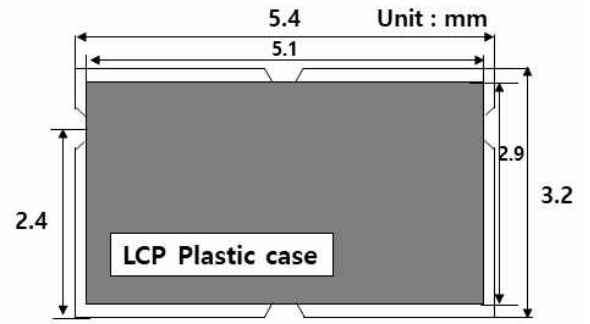


그림 6 샘플의 외부 치수
Fig. 6 External dimension of sample

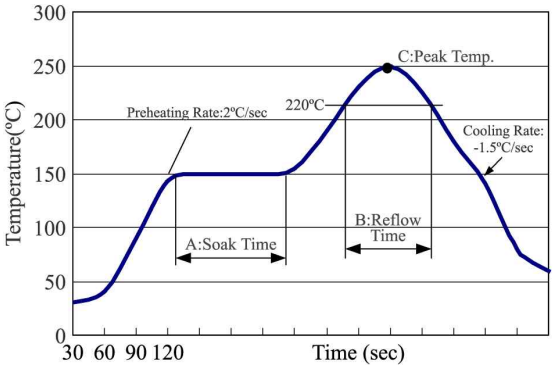


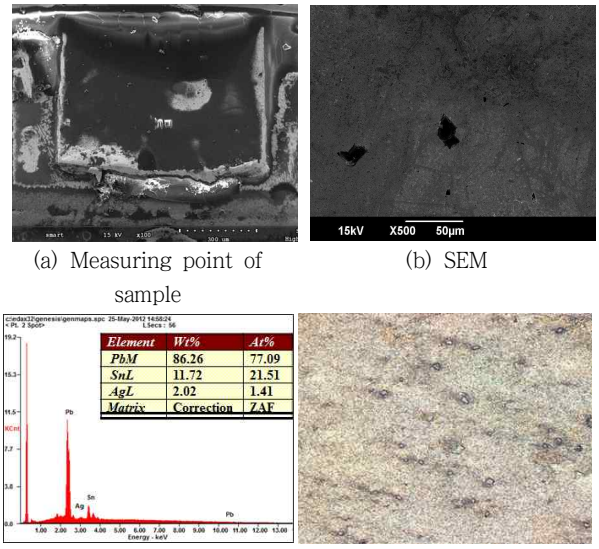
그림 7 PCB 접합 용가재의 표면실장공정 온도 프로파일
Fig. 7 Surface mounting process temperature profile of PCB soldering metal-filler

실험은 각 합금에 따라 제품을 제작하여 모든 시료의 불량 단선 여부 등을 확인하였다. 각 시료군은 최소 50개 이상의 예비 시료를 확보하고 모든 시료의 전기저항을 측정하고 주기하였다. 이후 파워 서플라이를 사용하여 전기적 특성 실험을 실시하였고, 전류에 따라 동작되는 시간을 분석하여 시험 결과를 도출하였다. 동작 실험간 파워 서플라이 전류는 ICE60127-1에 정의된 DC 정 전류에서 변동 전압이 60V 이내가 되도록 유지하였다. 실험은 파워 서플라이 BOB社 SGI 330/150, 오실로스코프 Tektronix社 DPO 3022, 저항계측기 Hiyoki社 3227 mΩ Hitester를 사용하였다.

2.3 실험 결과

그림 8(b), (d)는 86Pb-12Sn-2Ag의 조성을 갖는 공정조성이 아닌 저융점 가용체의 미세조직을 광학현미경과 주사전자 현미경으로 나타낸 것이다. Pb-Sn 합금에서는 183℃에서 38Pb- 62Sn의 조성에서 공정 반응이 일어난다. 또한 이 합금에서는 공정온도에서는 Pb에 Sn이 19% 정도가 고용되지만 상온에서는 약 2%로 감소되어 첨가량이 2%보다 많으면 나머지 Sn은 석출되어,

Pb가 많은 고용체에 입상과 침상 등으로 나타난다. 따라서 해당 합금의 조직은 Sn 이 10% 이상 첨가되어 있기 때문에 Pb기지에 고용되고 남은 Sn이 입자 형상이 존재하고 있는 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다[7]. 그리고 그림 8(c) EDS의 결과로부터 오차 범위 1% 이내로 합금의 성분이 원하는 비율로 제작되었음을 확인할 수 있다. 이상의 금속 미세 조직 사진 결과로부터 합금이 올바르게 제작되었음을 확인할 수 있다.



(a) Measuring point of sample (b) SEM

(c) EDS (d) Optical microscope

그림 8 저융점 금속 가용체 조직 및 성분 분석

Fig. 8 Analysis of metal structure and EDS contents with low melting point fuse elements

그림 9에서 각 통전 점에서의 퓨즈의 저항 값을 측정 하였다. 넓은 범위의 I-T 동작 특성을 확보하기 위하여 정격전류 12A를 기준으로 퓨즈 가용체의 두께를 0.5mm, 0.6mm, 0.7mm, 0.8mm로 나누어 전기적 특성의 변화를 확인하였다.

$$P_c = P_t - P_r \tag{1}$$
$$P_c = I^2 \times R$$
$$P_t = m \times c \times \Delta t$$
$$P_r = \alpha \frac{\delta^2 T}{\delta x^2} = \frac{\delta T}{\delta t}$$

P_c : Heating power according to current

P_t : Converted into heat by heating power and stored= Rising temperature

P_r : Heat transfer equation

그림 9의 결과로부터 미소 전류에 대한 감지 동작 후 히터 발열 동작을 하는 방향의 저항은 평균 6.3 Ω~4 Ω까지로 가용체의 두께에 따라 변하고, 퓨즈 가용체의 한류 동작을 위한 통전 방향으로의 저항은 약 3.85m Ω~1.98m Ω까지 나타남을 확인할 수 있다. 이에 따라 퓨즈 가용체의 전압 강하 값이 정격전류 10A~15A

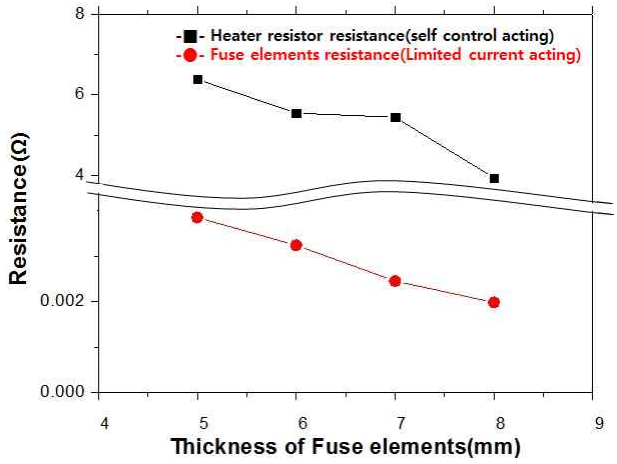


그림 9 가용체 두께에 따른 퓨즈의 저항 값 측정 결과

Fig. 9 Result measurement of resistance for fuse according to elements thickness

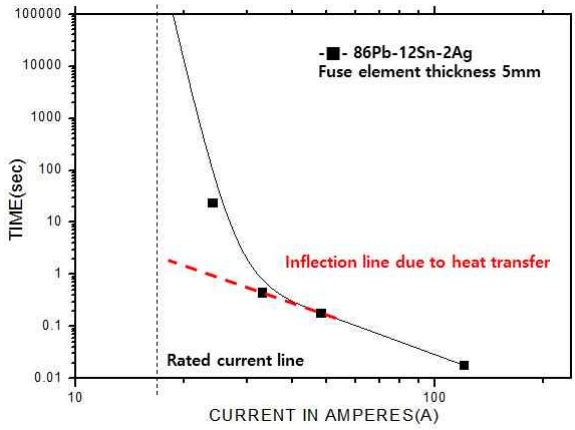


그림 10 전류 감지 동작형 퓨즈의 전류 동작 특성 I-T 커브

Fig. 10 Current operation characteristics I-T curve of a current sensing type fuse

일 때 100mV를 넘지 않아 IEC 60127-4의 정격전류 조건을 만족함을 알 수 있다[8]. 그리고 전류 감지형 동작을 위한 히터 저항의 발열량을 충분히 상승시키기 위하여 식 (1)로부터 퓨즈 가용체의 용단을 위한 간접 발열 임계온도 PT 값을 전류에서 계산할 수 있고 이는 다시 전압으로 산정 가능하다.

그림 10에 전류감지 동작형 퓨즈의 한계전류 동작 특성 즉 I-T 동작 특성을 나타내었다. 결과로부터 Pb-Sn 합금 두께 0.5mm 샘플은 정격 전류가 약 12A이고 정격전류의 1000% 인가 전류에서 0.014초의 동작 시간을 가지는 일반 동작형 퓨즈 특성을 가지는 것을 확인할 수 있다.

일반적인 IEC 60127 규격에 정의된 퓨즈의 동작 특성은 정격전류의 1000% 인가 전류에 대한 동작시간이 4ms~20ms 구간일 경우 일반 동작특성으로 분류 된다. 그림 10의 I-T 커브 결과로부터 기존의 한류형 퓨즈에서 와이어 형태의 가용체와 달리 플레

이트 형태의 가용체 구조가 I-T 커브의 변화율을 크게 하여 정격 전류 선을 높은 전류 방향으로 이동시킨 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 퓨즈의 동작 특성은 빠른 동작 특성의 방향으로 이동하며, 해당 특성은 퓨즈 가용체의 재료 및 형상에 따라 결정되는 인자로 퓨즈 가용체의 두께 상승은 그림 11와 같이 I-T 커브 전체를 이동시킨다.

그림 12의 결과로부터 미소 전류 변화에 대한 감지 동작은 IC에 의한 변경 전압이 상대적으로 높은 융점의 합금인 Pb-Sn-Ag은 7V~13V까지 동작이 결정됨을 확인할 수 있다. 전체적인 동작에 대한 시간이 3초~15초 이내로 일반 동작형의 기준인 60초 이내에 동작을 만족 하며, 더 높은 전압에 대해서는 퓨즈 가용체가 동작하기 전에 히터 금속이 용단된다. 때문에 안전 확보에 대한 전압 범위를 상승시키기 위하여 히터 저항 값의 변경과 히터 저항의 적용 개수 등을 변경하여야 한다.

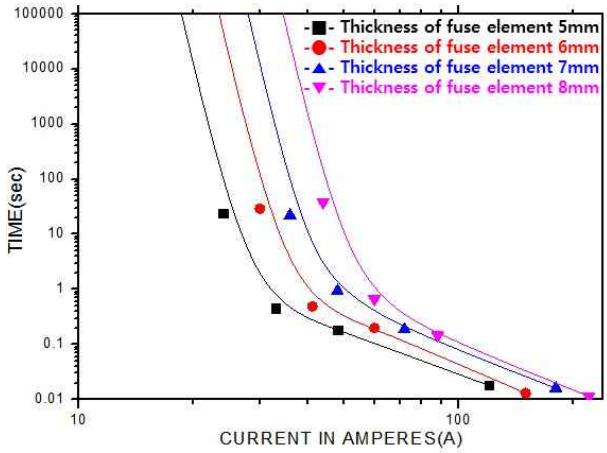


그림 11 가용체 두께에 따른 전류 감지 동작형 퓨즈의 전류 동작 특성 I-T 커브

Fig. 11 Current operation characteristics I-T curve of a current sensing type fuse according to fuse element thickness

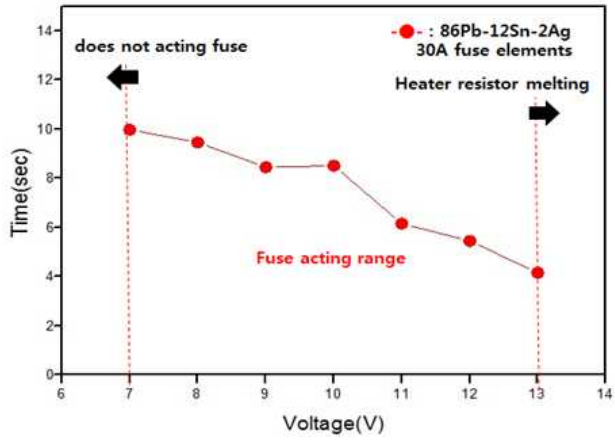


그림 12 전류 감지 동작형 퓨즈의 감지 동작 특성 V-T 커브

Fig. 12 Sensing operation characteristics V-T curve of a current sensing type fuse

이상 전류의 감지 동작은 발열 저항의 전압에 의한 발열이 동작의 원리로 온도 상승에 대한 가용체의 동작 속도 또한 관리가 필요하다. 이는 높은 온도에서 발열 유지 시간이 적을 경우 간접 발열에 의한 동작인 전압에 의한 감지 동작이 작동하지 않을 수 있어, 때문에 온도에 따른 동작특성 정의가 필요하다. 융점이 상대적으로 낮아 히터 금속의 발열에 용단하는 저융점 금속의 경우 상대적으로 높은 안전을 보장할 수 있는 동작형태로, 동작 시간 또한 가장 빠른 시간에 용단하여 이차전지로 유입하는 과전류를 최소화할 수 있어 안정적으로 동작할 수 있다.

이와 같이 퓨즈 가용체의 온도에 대한 동작 한계는 발열 금속의 저항 변화로 안정 적인 동작 범위를 확보할 수 있다. 그림 12에 Pb-Sn-Ag 합금 가용체로 제작된 전류 감지 동작형 퓨즈의 발열 히터 저항의 변경에 따른 용단 범위의 이동을 나타내었다. 결과로부터 기존 6V에서 10V까지 동작하던 가용체 조건을 최대 19V까지 동작 가능함을 저항 변경을 통해 확인하였고 결과를 이용하여 전류 감지 동작의 안정성을 확보할 수 있음을 확인하였

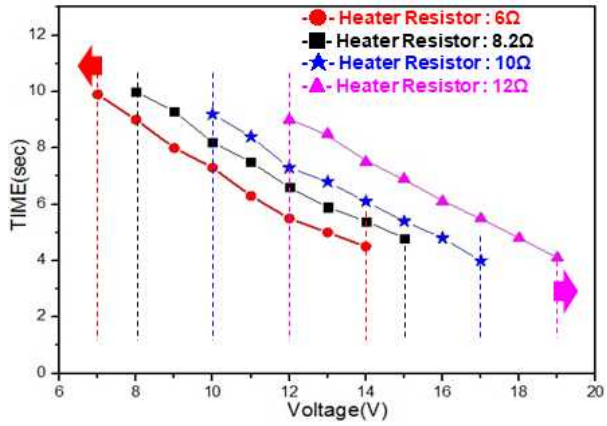


그림 13 발열 저항 변경을 통한 V-T 커브의 이동

Fig. 13 Movement of V-T curve by changing the heating resistor

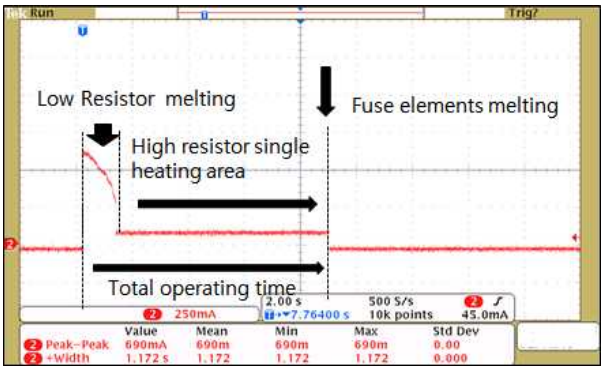


그림 14 발열 저항의 병렬연결에 의한 V-T 커브의 이동

Fig. 14 Movement of V-T Curve by parallel connection of heating resistor

다. 또한 기존에 한 개의 발열 저항 히터를 구성하는 전류 감지 동작 구조에서 히터를 2개, 혹은 3개를 구성한 동작 구성 시 그림 13과 같이 한쪽 히터의 용단 후 나머지 히터의 발열을 이용한 발열 범위를 넓힐 수 있다.

이와 같은 설계는 퓨즈 가용체를 용단시키는 상하부 발열 히터 금속을 각각 다른 저항으로 구성해야 하며, 낮은 저항의 용단 후 높은 저항의 용단이 순차적으로 나타난다. 즉 최초 낮은 전압에서는 2개의 고정 저항 중 낮은 저항에 해당하는 히터 저항에 의해 퓨즈 가용체가 동작하지만, 높은 전압에서는 유입되는 높은 전압에 의해 낮은 저항은 용단되고 남은 높은 저항의 발열에 의해 용단이 나타난다. 그림 13, 14의 결과로부터 휴대용 이차전지의 용량과 통전전류에 따라 저항의 변경만을 통해서 안전을 확보할 수 있고, 히터 저항의 개수에 따라 넓은 범위의 동작 안정성도 확보할 수 있다.

이상의 결과로부터 제작된 퓨즈의 동작은 휴대용 이차전지에서 정격 전류의 105% 이상 낮은 과전류의 발생에 따라 감지 회로가 동작하여 발열 저항에 의해 모든 조건에서 10초 이내에 동작하였고, 단락 돌입 과전류는 10ms~20초 이내에 모두 동작하여 휴대용 이차전지를 안전하게 보호함을 확인할 수 있다. 일반적인 수동 동작형 한계전류형 퓨즈의 적용 위치와 달리 전력 원의 안전, 즉 이차전지로 충방전 시 유입되는 전력 이상상태에서 화재 및 폭발을 방지하기 위해서는 전류감지 형태의 보호소자가 필요하고, 제작된 전류 감지 동작형 보호 회로용 퓨즈의 실제 동작 특성은 전류 특성과 전압 특성이 중첩되는 그림 15와 같이 넓은 이상상태 범위에서 안전을 확보할 수 있다.

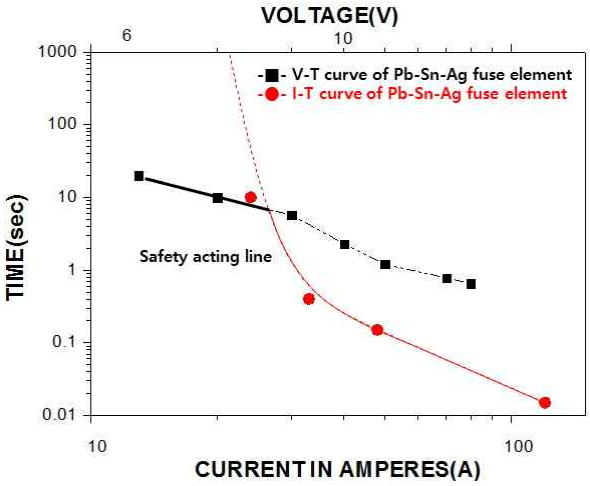


그림 15 전류 감지 동작 퓨즈의 동작 선(Pb-Sn)

Fig. 15 Fuse acting line of current sensing type fuse(Pb-Sn)

3. 결 론

본 연구는 휴대용 이차전지의 이상전류 발생에 따른 폭발 및 화재를 방지하기 위하여 정격전류의 125% 이하 미소전류 변화와 완전 단락 전류에 동시에 동작하는 전류 감지 동작형 보호회로의 퓨즈를 제작하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

휴대용 이차전지는 단락 돌입 전류의 상황 외에도 미소 전류 변화에 대한 화재 및 폭발이 발생할 수 있으며, 일반적인 수동 동작 한계 전류형 퓨즈로는 안전을 확보할 수 없다. 때문에 완전 단락돌입 전류에서의 한계 전류형 동작과 미소 전류 변화 상황에서의 전류 감지 동작의 특성을 모두 만족하는 보호소자가 이차전지에서 필요하고 전류 감지형 이차전지 보호회로용 퓨즈가 연구의 결과로 부터 적용이 적합함을 확인하였다.

실험결과로부터 제작된 가용체 합금 금속의 조성을 확인하기 위해 미세 조직 분석을 수행하였으며, 설계한 합금의 조성이 양호하게 제작되었음을 알 수 있었다. 각 저융점 가용체를 적용한 전류 감지형 이차전지 보호 회로용 퓨즈의 I-T, V-T 커브의 한계를 확인 하였고, 실험 결과로부터 제작 퓨즈는 통전 전류의 미소전류 변화와 돌입 모두에 동작하며, 가용체의 합금과 발열 저항의 사용에 따라 동작 범위와 시간의 이동이 가능하였다. 이와 같은 특성으로 인해 전류 감지형 보호 회로용 저융점 금속 가용체 적용 퓨즈는 이차전지의 메인 퓨즈로의 적용에 적합함을 확인하였다.

이상과 같은 본 연구의 결과로부터 휴대용 이차전지의 화재 및 폭발에 대한 안전을 확보하기 위하여 적용한 전류 감지형 퓨즈는 기본 보호 특성을 만족하며, 미소전류변화 상황에 대응할 수 있는 적절한 보호소자 설계가 이루어졌다고 판단할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 전력연구소의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

References

[1] Seame, Lee, Sang-Woog Ryu, “Influence of Heat Treatment on Separators for Lithium Secondary Batteries”, *Seoul, Korea, Polymer*, Vol . 36, No. 1, pp 93-97, 2011.

[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] Eun-Min Kim, Shin-Hyo Kim, Dea-Kweon Cho, “The design of fuse in high efficient inverter control system using ceramic radiant heat and metal film laminated plating”, *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 63, No. 11, pp 1538-1544, 2014

[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] E. M Kim, S. H. Kim, D. K. Cho, “The design of fuse in

high efficient inverter control system using ceramic radiant heat and metal film laminated plating," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 63, No. 11, pp 1538-1544, 2014.

[6] Young-Min Kim, Hyun-Jong Kim, Sun-Chon Um, Heon-Tag Kong, "The surface mounting technology to prevent improper fine chip insertions by using fiber sensors," *Seoul, Korea, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 12, No. 9, pp 4138-4146, 2011

[7] N. S Kim, Y. T. Lim, J. T. Jin, "Manufacturing Processes for Engineering Materials," *Seoul, Korea, Pearson Education Korea*, 3th. ed., pp. 769-772, 2007.

[8] 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.

저 자 소 개

강 창 룡 (Chang-Yong Kang)

1954년 6월 29일생
1983년 동아대학교 금속과 학사졸업
1985년 동아대학교 금속과 석사졸업
1991년 동아대학교 금속과 박사졸업
(現) 부경대학교 금속공학과 교수

김 은 민(Eun-Min Kim)

2009년 부경대학교 소재프로세스 공학과 (학사)
2015년 부경대학교 금속공학과 (석사)
2017년 부경대학교 금속공학과 (박사 수료)
2015년~현재 서울대학교 전력연구소 (가칭) 전기안전 보호소자 시험인증 연구센터