



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](#)

工學博士學位論文

二次電池 保護 시스템用 複合素子 및
퓨즈 低融點 金屬可鎔體 鎔斷特性 研究



2019年 2月

釜慶大學校 大學院

金屬工學科

金恩民

工學博士學位論文

二次電池 保護 시스템用 複合素子 및
퓨즈 低融點 金屬可鎔體 鎔斷特性 研究

指導教授 姜 昌 龍

이 論文을 工學博士學位論文으로 提出함.

2019年 2月

釜慶大學校 大學院

金 屬 工 學 科

金 恩 民

김은민의 공학박사 학위논문을 인준함.

2019년 2월 일

위 원 장 공학박사 배 동 수 (인)

위 원 공학박사 남 기 우 (인)

위 원 공학박사 왕 제 필 (인)

위 원 공학박사 김 권 후 (인)

위 원 공학박사 강 창 룡 (인)

목 차

Abstract	iv
제 I 장 서론	1
제 II 장 이론적 배경	7
1 퓨즈(Fuse)	8
1.1 연구 대상(퓨즈) 제품의 안전 기준	8
1) 관련 법률	8
2) (현) 안전 인증 기준 현황	12
3) 이차전지 기반 에너지 저장 시스템 보호소자의 인증 규격	17
1.2 퓨즈의 정의	20
1) 퓨즈의 정의	20
2) 퓨즈의 보호 특성	21
3) 퓨즈 가용체 동작 이론	21
1.3 퓨즈의 보호 방법	24
1) 한계 전류 동작형 퓨즈	24
2) 전류 감지 동작형 퓨즈	34
2 퓨즈 개발의 역사	41
제 III 장 중소용량 이차전지 보호 시스템용 전류감지 동작형 퓨즈의 저용점 금속 가용체 설계	48
1 서론	48

2 본론	54
2.1 전류감지 동작형 보호회로 구성	54
2.2 샘플제작 및 실험 방법	54
3 실험 결과	60
3.1 미세조직 관찰	60
3.2 전기적 특성 시험	60
4 결론	72

제 IV 장 바이메탈을 이용한 이차전지 온도 상승 제어 보호 소자의 I-T 동작 특성 및 동작 안정성 연구 73

1 서론	74
2 본론	77
2.1 바이메탈의 동작 개요	77
2.2 리셋터블 퓨즈의 동작 안정성	77
2.3 실험 방법	78
3 실험 결과	82
3.1 샘플 구조 및 일반 물성	82
3.2 전기적 특성 시험 결과	82
4 결론	94

제 V 장 대용량 이차전지 보호시스템용 전류 감지 동작형 보호소자 저융점 금속 가용체 설계 96

1 서론	97
2 본론	102

2.1 전류 감지 동작형 보호회로 구성	102
2.2 샘플 제작 및 실험 방법	102
3 실험 결과	109
3.1 이상전류 발생경향	109
3.2 미세조직	110
3.3 전기적 특성 시험 결과	118
4 결론	124

제 VI 장 결론	125
-----------------	-----

참고문헌	129
------------	-----



Study on Fusing Characteristics of Low Melting Metal Fuse-element Composite Device for Secondary Battery Protection Systems

Eun Min Kim

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

Abstract

Secondary battery based on energy storage device may cause a fire or an explosion due to micro current change in addition to the situation of short-circuit inrush current, and safety can not be secured with a general passive operation limit current type fuse. Therefore, it is necessary for the protection device to satisfy both the limit current type operation in the full short-circuit inrush current and the current detection operation characteristic in the small current change situation. For this operation, a fuse for the current detection type secondary battery protection circuit can be applied. In addition, the secondary battery may cause a fire and an explosion in a temperature rise condition not accompanied by a change in current, which can be a serious injury due to a danger occurring during use of the portable electronic device. Therefore, a current control protector is required for the temperature rise of the secondary battery during the use of the portable electronic device, and the resettable protection device using the bimetal is superior in operating speed and temperature sensitivity as compared with the general PCT device.

The first purpose of this study is to develop a protection device that can safely operate in a wide range of abnormal current and state by operating in

high risk of large capacity secondary battery through the design of low melting fuse elements alloy of current sensing type fuse design. Second, the material and structure of the Fe-36wt% Ni Invar alloy and the thermal expansion pure metal of the bimetallic resettable fuse are designed so as to secure the safety of the portable electronic device applying the small secondary battery. The experimental results showed that the I-T and V-T operating characteristics were satisfied through the design of the alloy of the current sensing type self-contained low-melting fuse elements and the exothermic resistance. That is, the current sensing operation terminal characteristics to prevent the short circuit over-current and the micro current change of the secondary battery and the fuse protection terminal operation characteristics in the complete short circuit state can be secured and the safety against the abnormal current generation can be ensured. In the case of Sn-Bi alloy and Sn-Ag-Cu alloy with relatively low temperature, it was not possible to apply it due to the temperature problem in the automatic PCB mounting process of small and medium secondary battery. But the safety can be secured in a wide range at the large capacity secondary battery. In case of protection device with temperature sensing operation, it is possible to realize various operating characteristics at a desired temperature by adjusting the thickness of pure silver and pure copper bonded by plating to the invar alloy. Thereby preventing accident of temperature change and micro current change. In addition, the range of operation stability was confirmed by checking the I²T value, and the necessity of the main protection device against the current inflow exceeding the operating speed range was confirmed. The experiments, the design of the protection system to secure the safety of the secondary battery based energy storage system, which is a new power source system, and the direction of the safe circuit and parts design for the protection device application were suggested.



서 론

전 세계적으로 온실가스 배출 억제와 수입 원유 사용 감소를 위하여 신재생 에너지가 각광받으며 실용 보급 되고 있다. 신재생 에너지는 입지 환경이나 자연 조건에 크게 영향을 받으므로 출력 변동이 심하고 에너지 생산 시점과 수요 시점간의 시간차가 발생하게 되기 때문에 신재생 에너지의 실용 보급을 위해서는 에너지 저장 시스템의 발전이 필수 필요 기술로 판단되고 해당 분야의 연구가 진행 중이다. 그리고 IT 기술의 발전으로 인한 네트워크 기반의 휴대용 전자 제품이 큰 시장으로 자리 잡으며, 더불어 휴대용 전자기기의 구동을 위한 이차전지 시장이 함께 성장 하고 있다. 또한 이차전지의 소형 대용량화, 고효율화가 신 성장 산업으로 각광 받으며 관련 부품 시장도 새로운 특성을 요구하고, 최근 이런 이차전지를 적용한 전자기기의 흐름은 반도체 부품과 IC가, 고밀도 실장화가 가능해지며, 소형화 된 여러 전기기기를 급속도로 보급하게 되었다. 이러한 시장 동향을 바탕으로 주변기기뿐만 아니라 내부의 전자부품들도 이차전지 기반의 전기 기기의 요구 특성을 만족하기 위하여 구조적, 특성적 변화를 추진하고 있다. 이 중 이차전지의 대용량화, 고효율화가 신 성장 산업으로 각광받음으로 관련 부품 시장도 새로운 특성이 요구되고 있으며, 이는 기존의 전력 구조에서의 전자 부품이 수행하던 1방향 동작에서 입출력이 반복되는 양방향 동작으로의 전반적 개선이 필요하게 되었음을 의미한다¹⁾⁻²⁾.

이차전지는 에너지 저장시스템이 요구하는 안정적인 구동과 장시간 사용, 급속 충·방전 등과 같은 특성적 요구를 구현하기 적합한 에너지 저장 장치로,

이로 인해 이차전지는 급격한 발전을 이루어 왔고, 최근에는 삶의 질과 안전에 대한 요구로 이어지고 있다. 하지만, 충전과 방전이 반복되는 ESS의 특성과 폭발의 위험이 있는 내부 활물질, 보호소자의 보호 한계 등의 이유로 인하여 최근 국내외의 에너지 저장 장치 화재 및 폭발 사고가 꾸준히 증가하고 있는 추세이고 이에 따른 이차전지의 안전을 확보하기 위한 방법이 연구 중이다. 현재까지 알려진 이차전지에서의 화재 및 폭발 사고는 일반 송배전 전력 체계와 달리 전류, 전압에 의한 소손(화재) 뿐만 아니라, 이차전지의 4대 핵심 소재인 양극 활물질, 음극활물질, 분리막, 전해액의 상호 작용에 의한 폭발 등, 사고 유형이 다양해 1개의 보호소자로 전체 사고를 막을 수 없음이 확인 되었다. 화재 및 폭발에서 가장 불안정한 리튬이온전지의 위험 동작 유형과 각각의 보호 체계는 Table 1.와 같고 이중 배터리 관리 시스템의 동작 제어에 해당하는 과충전과 과방전을 제외한 미소전류변화, 완전단락 돌입전류, 단락 과전류, 셀온도 상승, 낙뢰 과전압 유입은 회로의 이상 동작 상태로 수동의 보호소자가 작동하여 각각의 상황에서 안전을 확보해야 한다³⁾.

일반적으로 에너지 저장 시스템에 사용되는 이차전지는 직류 기반의 전기적 에너지를 화학적 에너지로 변환시켜 저장하고 필요시 전원 회로에 공급 시켜 사용할 수 있는 축전지의 개념으로 정의된다. 때문에 전류를 저장하는 이차전지 내부 셀은 항상 화학적 반응 요소를 가지고 있고, 전기영동에 의한 이차전지 화재 발생 프로세스는 순차적으로 충격 및 전기영동 현상에 의한 분리막 손상, 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. 즉 실질적인 이차전지의 화재 및 폭발 사고 원인은 궁극적으로 전류에 의한 것이 대부

분이며, 상기 이차전지의 화재 및 폭발 사고 과정에서 분리막의 이동 혹은 전류의 유입 두 요소 중 하나의 요소만 조정할 수 있으면 이차전지 사고의 많은 부분을 방지할 수 있다. 이와 같이 정상 전류와 다른 이상 전류의 유입 현상이 발생 할 시 화재로부터 안전을 확보하기 위하여 필요한 것이 과전류 보호 소자 이고, 과전류 보호소자(Over Current Protector)인 퓨즈는 이차전지의 내부 혹은 외부의 요인에서 시작된 과전류를 가용 체의 용단으로 차단해 화재로부터 인명, 재산을 보호하는 소자이다⁴⁾. 전기기구의 이상 전류는 회로내부에서 발생한 short, spark, 부품 고장 등에 의한 것으로, 해당 상황이 발생 할 시 전체 회로의 저항이 변하여 유입되는 전류가 변화하게 된다. 특히 이차전지에서 전체 저항의 하락은 정전압 특성의 전력체계에서 유입 전류의 폭발적인 상승으로 이어지며, 전기영동 현상에 의한 발열 및 화재를 동반하여 인명, 재산, 피해까지 수반하게 된다. 하지만 현재 규격에 정의된 일반적인 한류형 퓨즈의 경우 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. 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. 때문에 이차전지를 보호하기 위한 메인 동작 퓨즈는 돌입전류로 인한 전기영동 현상을 보호하기 위한 퓨즈의 역할과 미소전류 변화에 동작하는 이상 전류 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.

그리고 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, 이상전류 감지형 보호소자 등의 적용으로 화재 및 폭발을 방지하고 있다. 하지만 전류의 변화 및 과전류, 과전압을 수반하지 않고 평시 동작에서 폭발이 가능한, 온도 상승 상황의 경우 휴대 제품을 사용하는 중 이차전지가 폭발 할 수 있음에도 불구하고 보호소자의 적용이 이루어지고 있지 않아 인명의 피해로 직결되고 있다⁵⁾. 그렇기 때문에 이차전지 보호회로의 경우 메인 전류 감지형 보호 퓨즈 이외에도 온도 감지 동작 제어형 리셋터블 퓨즈가 필수적으로 포함되어야 한다.

이와 같이 본 논문에서는 이차전지 기반의 에너지 저장 시스템을 안전하게 사용을 위하여, 전류에 의한 위험과 온도에 의한 위험에서 유입되는 전류를 적절히 차단하여 안전을 확보할 수 있는 이차전지 복합 보호 퓨즈를 저융점 금속과 바이메탈 합금 설계를 통하여 연구 하였다⁶⁾. 즉 정격전류의 20% 이하, 비교적 적은 전류변화를 감지 후 능동적으로 동작하는 보호회로에 적합한 퓨즈와 퓨즈 저융점 가용체와 전류 및 전압의 변화 없이 폭발 및 화재 사고가 발생할 수 있는 이차전지 온도상승 상황에서 안전성을 확보하기 위한 온도 스위치형 퓨즈(Thermal Cut-off) 보호 체계의 필요성 검토와 동작 특성 연구를 통하여 이상전류와 온도에서 기인한 이차전지 기반 에너지 보호 시스템의 위험에서 안전한 설계 방향을 제시하였다.

Table 1. Hazardous operation type and protection system of secondary battery

Abnormal condition	Contents	Protection system
Over-charge	When the voltage of the single cell becomes higher than the specified voltage, charging stops	BMS cell balancing protection operation
Over-discharge	When the voltage of the single cell becomes lower than the specified voltage, charging stops	BMS cell balancing protection operation
Micro current change	Micro change in the amount of inflow current due to partial circuit short circuit (105% ~ 125% of rated current)	Micro current change detection operation breaker
Open short inrush current	Charge and discharge current interruption when the drive circuit is open short-circuited (total resistance 0 Ω)	Secondary battery protection fuse
Short Over current	Current interruption for overcurrent flowing when total resistance drops due to short circuit	Product protection fuse
Cell temperature rise	Charge discharge operation is interrupted due to cell temperature and internal cell temperature rise	Resettable fuse (TCO)thermal detection
Lightning overvoltage inflow	Fire due to overvoltage inflow by outside lightning	lightning arrester or Surge absorber



이론적 배경

1. 퓨즈(Fuse)

1.1 연구 대상(퓨즈) 제품의 안전 기준

1) 관련 법률

전기용품 안전 보호 소자인 퓨즈는 법률 제13153호 전기용품 안전 관리법과 대통령령 제25476호 전기안전용품 안전 관리법 시행령, 산업통상자원부령 제162호 전기용품 안전 관리법 시행규칙을 따른다. 상기 법률 관련 운행 요령은 기술표준원에서 고시한 전기용품 안전 관리 운용요령에 명시되어 있으며 세부 분류(군별) 5항에 전기용품 보호용 부품에 퓨즈 및 퓨즈홀더 그리고 기기 보호용 차단기의 기준이 명시되어 있다. 퓨즈는 운용요령 Table 2에 자율안전 확인대상 전기용품의 세부 범위(제 3조 관련)와 같이 내용에 대상 없음으로 명기되어 있어 자율안전 확인대상이 될 수 없는 필수 안전 부품으로 반드시 적용 되어야 한다. 자율안전 확인대상 전기용품이 아닌 모든 전기 제품은 전기용품 안전 관리법에 의해 안전인증 대상 전기용품으로 분류되며 KOLAS, IECEE 시험소 등 공인된 인증기관에서 인증 시험을 거쳐 인증 획득이 필수적으로 수행되어야 한다. 또한 안전인증 대상 전기용품 제조업자는 규칙 제12조의 규정에 따라 원자재, 공정검사 및 제품검사 등에 대한 자체검사 규정을 마련해야하며, 자체검사 규정은 법령 제3조 제3항 규정에 따른 안전기준 이상으로 규정하여야 한다. 보호소자(퓨즈)의 관련 법령은 Table 3와 같이 시행되어

야 하고 안전을 위한 핵심 부품으로 IEC와 MIL standard 등의 안전 인증을 반드시 따라야 하며, 때문에 안전인증 규격이 핵심 법령으로 사용되고 있다⁷⁾.

Table 2. Detailed scope of electric appliances subject to autonomous safety check (related to Article 3)

Classification (by group)	Item name	Details scope
1. Wires and power cord	No target	
2. Switches for electrical equipment	Control device for electrical equipment	1) Thermostat 2) Thermal overload protection device 3) Automatic pressure switch 4) Timer and Time Position 5) Electric drive motor start relay 6) Energy regulator
3. Power Capacitors and Power Filters	No target	
4. Accessories and fittings for electrical equipment	No target	
5. Parts for protecting electrical appliances (fuses and fuse holder breakers)	<u>No target</u>	
6. Isolation transformer	A. High frequency welder	1) High frequency welder
	B. Electric welding machine	1) Electric welding machine 2) Pistol-type arc sealer
7. Electrical equipment	A. Fruit peeler B. Potato stripper C. Electric grinder . Others	1) Fruit peeler 2) Potato stripper 3) Electric grinder . Others

Table 3. Details of safety management of electric appliances

Related Laws	Main Category	Detailed classification
Safety management of electrical appliances	Chapter 1: General Provisions	Article 1 Purpose Article 2 Definitions Article 3 Detailed scope of electric appliances, etc. subject to safety certification
	Chapter 2: Safety Certification	Article 4 Retest of Safety Certification Article 5 Pre-grant of Safety Certification No. Article 6 Withdrawal of Safety Certification Article 7 Disqualification of Safety Certification Article 8 Factory Inspector Article 9 Factory review omitted Article 10 Confirmation of Safety Standard Conformity Article 11-1 Test exemption of safety standard Article 11-2 authorization of manufacturer test result Article 12 Factory inspection standard, etc. Article 13 Change of Safety Certification Article 14-1 Change of manufacturer safety certification authority Article 14-2 Notification of Safety Certification
	Chapter 3: Autonomous safety report etc.	Article 15 Provision of autonomous safety confirmation report number Article 16 Confirmation of Safety Standard Conformity Article 17-1 Exemption from one-off safety confirmation test Article 17-2 Approval of manufacturer test results Article 17-3 Independent safety report of battery Article 18-1 Confirmation of autonomous safety confirmation report Article 18-2 Notification of notification of autonomous safety confirmation
	Chapter 4: supplier conformity verification etc.	Article 18-3 Confirmation of compliance with safety standards

Chapter 5: Self-inspection	Article 19 Self-inspection regulations Article 20 Self-inspection method
Chapter 6: Exemption from safety certification and declaration of autonomous safety confirmation	Article 21 Object of confirmation for exemption of safety certification and self-safety confirmation report Article 22 Confirmation of implementation of exempt items such as safety certification and self-safety confirmation report
Chapter 7: Follow-up Care	Article 23 Notification of changes in safety standards Article 24 Investigation of Marketed Products Article 25-1 Special Survey Article 25-2 Criteria for evaluating companies with excellent self-inspection results Article 26 Safety management education Article 27 Confirmation of unsuitable products for safety inspection Article 28 Composition of manufacturer council
Chapter 8: Marking of Electrical Appliance Safety Certification	Article 29 Indication of safety certification Autonomous safety confirmation report Indication such as supplier compatibility check Article 30 Display Period Article 31 Display Method Article 32 Electromagnetic Wave Indication
Chapter 9: Detailed Safety Application Criteria and Detailed Scope	Article 33 Standard for detailed safety application Article 34 Detailed scope Article 35 Detailed scope of equivalence Article 36 Detailed scope of multi-type air conditioner
Chapter 10: Administrative Procedure	Article 37 Improvement period of administrative disposition
Chapter 11: Electrical Goods Technical Committee	Article 38 Member of Technical Committee for electric Appliances Article 39 Members of the Expert Committee

2)(현) 안전 인증기준 현황

퓨즈의 규격은 크게 유럽에서 주도하여 설립된 국제전기표준회의 IEC와 미국의 군사 규격인 MIL standard를 기초로 하여 미국 최초의 제품 안전 인증 기관이 된 UL의 기준을 따른다⁸⁾. 이중 IEC의 기준은 북미와 남미 지역을 제외한 대부분의 전자 제품 생산 주요 국가에서 채택하여 각자의 고유 규격체제로 활용하고 있다. 특히 전자 제품의 주요 생산국과 주요 소비 국가의 안전 인증은 메인 퓨즈가 반드시 획득해야 판매가 가능하고 이 주요 국가는 유럽, 북미, 한국, 중국, 일본이다.

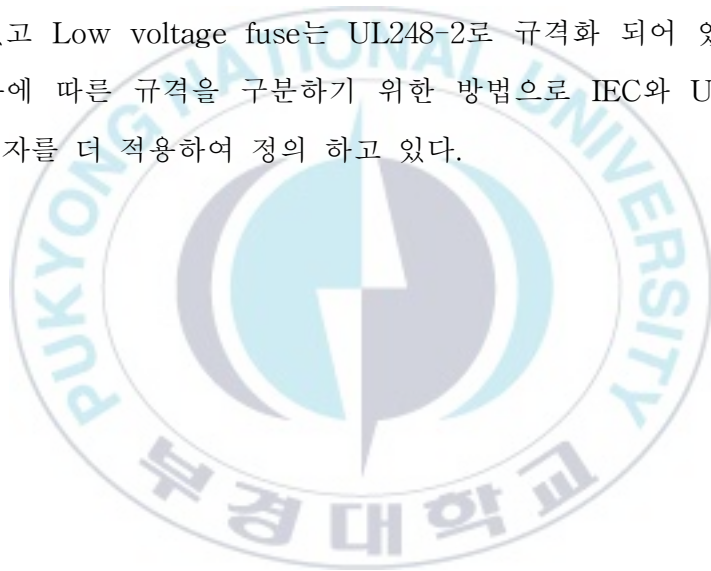
유럽을 대표하는 인증 규격 기관은 독일의 VDE와 TUV 그리고 스웨덴의 SEMKO가 가장 많이 획득하는 규격으로 해당 규격 중 최소 1개의 규격을 획득해야 한다. 북미는 UL 규격을 철저히 따르며, 북미 캐나다까지 적용되는 규격과 미국만 적용되는 규격으로 나누어진다. 아시아의 3개국인 한국, 중국, 일본은 규격의 통일이 이루어 지지 않은 상태로 3개의 규격을 모두 획득해야 하며 각각 한국은 KC, 중국은 CCIC, 일본은 PSE를 획득해야 한다. 이상과 같은 주요 국가의 주요 규격 중 UL만이 MIL standard 기반인 UL 규격을 따르고, 나머지 인증기관은 IEC의 규격을 따른다. 이상과 같은 규격의 지도를 정리하면 Fig. 1와 같다. 전자 제품의 안전 인증 규격은 항상 전기 안전인증을 받은 퓨즈를 사용하고 있는가에서 시작할 만큼, 퓨즈는 전자 제품의 안전을 책임지는 첫 번째 역할을 한다. 퓨즈가 전기안전 인증을 받아야 한다는 것은 IEC 60127-10의 퓨즈 사용자 지침의 규격에 명시된 “적합성은 보통 제3자(안전 검사자)의 인정으로 확인된다.”에 의해서 인증 시험을 실시한다. 즉, 여기서 명시하는 제 3자 안전검사 자의 역할을 전기안전 용품 규격 기관이 수행하고 있으며, 해당 규격 기관의 인증(적합성 검증)을 받은 제품을 사용할 것을 명시한

항목이다. 특히 화재 사고에 일차적 책임이 있는 메인퓨즈의 경우 주요 국가의 적합성 검증에 모두 통과해야 적용이 가능하고, 때문에 5개의 규격을 모두 획득해야한다. 반대로 보조 퓨즈의 경우 요소의 화재 및 사고를 막는 제품으로 보통 1~2개의 규격만을 획득하며, UL과 TUV를 획득하는 것이 효과적이다.

퓨즈의 여러 분류 방법 중 정격 전압에 따른 분류 방법이 가장 정의적으로 용의한 분류 방법인 이유는 규격의 적용에 있다. 정격전압 1000V 이하 400V 이상의 30A~6KA 전류 범위의 Low voltage fuse를 정의한 규격이 IEC 60269이다. 그리고 정격 전압 12V~300V, 정격 전류 32mA~20A까지 전자회로 기판 위의 퓨즈를 정의한 규격이 IEC 60127이다. 해당 두 종류의 퓨즈는 용량적으로도 정확한 역할과 적용 규격을 판단할 수 있지만 보다 쉽게 퓨즈의 적용 위치로도 구분된다. IEC 60127을 따르는 미니어처 퓨즈 군의 경우 제품에 실장되어 집에 발생할 수 있는 화재를 보호하는 퓨즈로 적용되고, 배전반 흔히 두꺼비 집으로 알려진 위치에 적용하는 Low voltage 퓨즈는 가정용 배선에서 생긴 이상을 차단하여 전력원의 화재로 이어지는 것을 막는 역할을 한다⁹⁾⁻¹²⁾. 이런 관계를 Fig. 2에 정리 하였다.

Fig. 2와 같이 미니어처 퓨즈의 적용대상은 가정용 배전반을 거쳐 220V의 공정 정격 전압 정 전압 특성을 가진 전류를 사용하며, 화재 시 궁극적으로 보호 하고자 하는 대상은 집(House)이다. 하지만 low voltage fuse는 외부 전력원에서 가정으로 유입되는 전류를 분배하는 역할을 하는 곳에 적용되며, 해당 퓨즈가 궁극적으로 보호하고자 하는 것은 집안 배선에서 발생하는 이상 동작이 전력 원에 영향을 미치는 것을 막는 역할을 한다. 즉 퓨즈는 실장 된 기기를 보호하기 보다는 전력의 원천을 제공하는 전력 원으로의 고장 영향의 확

대를 막는 방향으로 설계 되어있고, 집에서 발생하는 전기화재 사고의 원인은 전자 제품에 실장 되어 있는 미니어처 퓨즈 군이 책임을 져야한다. 이차전지 등의 새로운 전력 체계가 발전되어 가도 이와 같은 법칙에 따라 규격이 결정 되어야 하고 규격이 결정되면 그에 따른 시험이 이루어 져야 한다. UL 규격의 경우는 퓨즈의 분류가 IEC 만큼 정확하지 않으며, 통칭 UL248 이라는 퓨즈 전체의 규격에서 UL248-1 소형 퓨즈 규격 등과 같이 UL248-X로 새로운 체계의 규격을 확장 규정한다. 현재 미니어처 퓨즈 군의 경우 UL248-1로 규격화 되어있고 Low voltage fuse는 UL248-2로 규격화 되어 있다. 여기에서 퓨즈의 종류에 따른 규격을 구분하기 위한 방법으로 IEC와 UL은 동일하게 한자리의 숫자를 더 적용하여 정의 하고 있다.



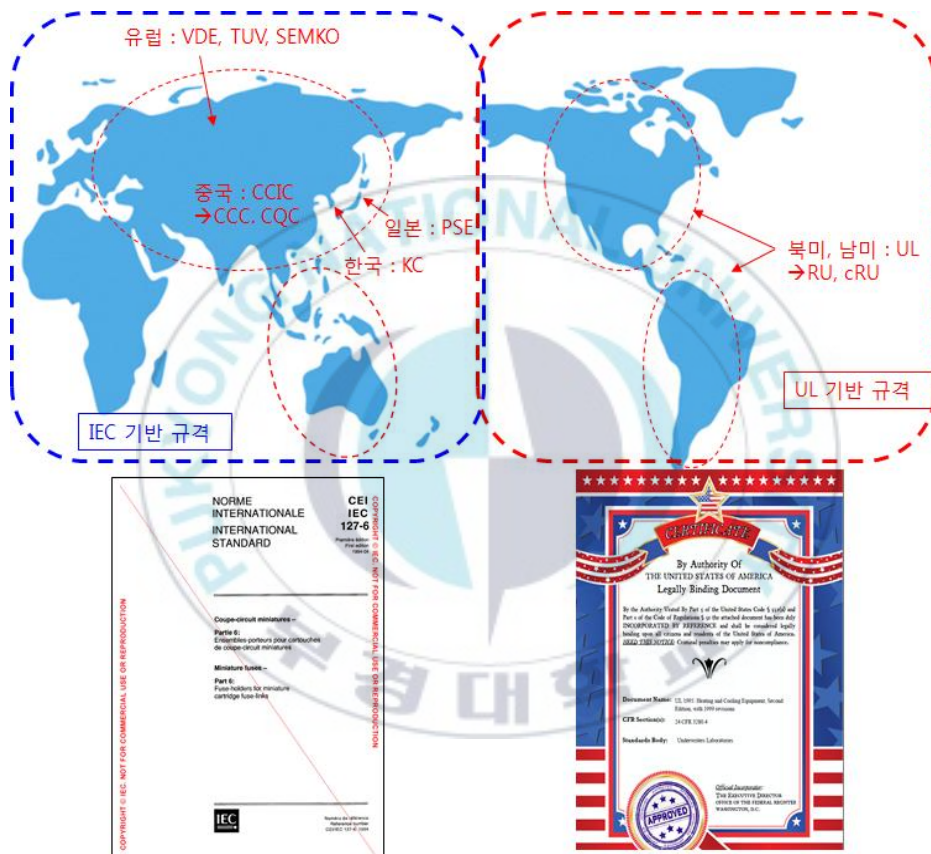


Fig. 1 Safety certification standard map

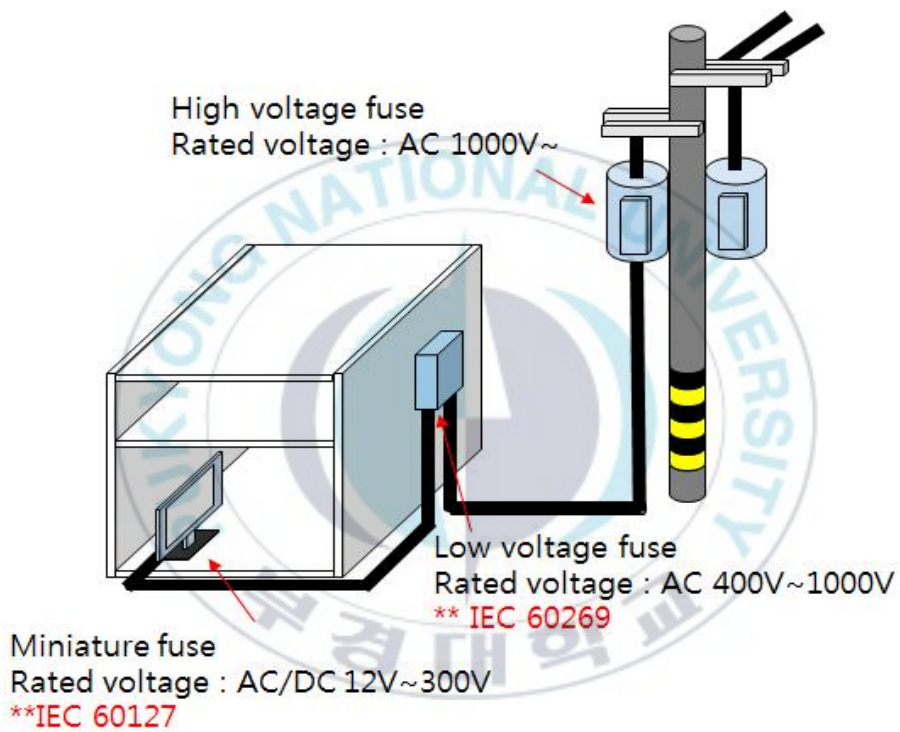


Fig. 2 Application of fuse specification

3)이차전지 기반 에너지 저장 시스템 보호소자의 인증 규격

최근 이슈가 되고 있는 새로운 전력 체계인 이차전지의 보호를 위한 퓨즈는 규격 상 정의와 규격에 의한 분류가 아직 어려운 실정이다. 즉, 현재 이차전지에 적용 중인 능동 동작형 보호 소자의 경우 정격전압은 12V~36V, 정격전류는 50A~400A에 이르는 퓨즈 군으로 IEC적인 일반 정의로 보면 전압은 미니어처 퓨즈 군에 해당하고, 전류는 Low voltage 퓨즈에 해당한다. 현재까지 보호 소자에 적용되는 일반적 구분이 힘든 상태의 정격 전류 정격 전압 용량을 보유하고 있어 앞서 논의한 사용 위치에 따른 정의가 필요한 부품이다¹³⁾.

미니어처 퓨즈와 Low voltage 퓨즈의 쉬운 결정 방법은 정의로 부터, 가정용 220V 콘센트에 해당 제품의 전원을 연결할 수 있는지 없는 지로 판별이 가능하다. 즉, 상용 발전 중인 대용량 이차전지가 집안의 콘센트로 충전이 가능하고 그렇게 사용할 가능성이 있는지 없는지를 판단해야 한다. 만약 가능하다면 적용된 퓨즈는 어떤 전류 체계일지라도 미니어처 퓨즈 군의 규격을 따라야하며, 이유는 미니어처 퓨즈 군은 집안의 화재로 인한 인명피해를 막기 위해 가장 강력하게 규격의 제제를 받고 있는 퓨즈이기 때문이고 가장 필수적인 퓨즈이기 때문이다. 다시 말해 집안의 콘센트에 적용될 모든 전기 기구는 미니어처 퓨즈 군의 안전인증 규격을 통과해야 한다. 이렇게 퓨즈 군이 정해지면 그에 따른 인증 규격을 결정할 수 있고 IEC 60127과 UL 248-1이 해당한다.

미니어처 퓨즈 군에서 메인 퓨즈의 정의는 IEC 60127-2 카트리지 퓨즈(Cartridge fuse)와 IEC 60127-3 초소형 미니어처 퓨즈(Sub-miniature fuse) 두 종류로 구분된다.

Fig. 3와 같이 미니어처 퓨즈 군의 메인 퓨즈는 단자와 퓨즈 바디의 화학적

완전 밀폐 구조를 가지는 밀폐형 카트리지 퓨즈와 플라스틱 케이스 간의 물리적 결합 구조를 가지는 반밀폐형 초소형 미니어처 퓨즈(이하 초소형 퓨즈)로 구분된다. 그리고 밀폐형 카트리지 퓨즈는 다시 250V, 1500A의 높은 차단용량을 가지는 세라믹 퓨즈와 250V, 35A의 낮은 차단용량을 가지는 글라스 퓨즈로 나눌 수 있고, 반밀폐형 초소형 퓨즈는 250V 150A의 높은 차단용량 원통형 초소형 퓨즈와 250V, 35A 낮은 차단용량 각형 초소형 퓨즈로 나눌 수 있다.

일반적으로 상용 출시된 여러 가지 초소형 퓨즈는 현재 규격 상 해당 차단용량인 250V 100A 각형 초소형 퓨즈가 정의 되어 있지 않으며, 이와 같은 경우 메인 퓨즈 외의 퓨즈 인증 규격인 IEC 60127-4 / UL 248-14의 규격이 적용 된다. 해당 규격은 쉽게 업체 사양 규격이라고도 불리며, 업체에서 특별한 제품을 제작하여 퓨즈를 적용하는데 기존의 퓨즈로 해당 제품이 보호가 힘들 경우, 업체에서 필요한 퓨즈를 제작하였으니 궁극 적으로 보호하고자 하는 집(house)에 안전한지 확인하여 받는 규격이다. 업체 사양 퓨즈와 UMF 퓨즈들은 대부분 이런 규격 외품에 대한 규격에 해당하며, 이 규격을 획득한 제품은 대부분 메인퓨즈와 함께 회로 상에 적용 되지만 본 제품은 기타 모든 퓨즈 사항이 IEC 60127-7 특수 퓨즈사양에 해당하여 메인퓨즈로의 적용 및 규격 획득이 가능하다.

IEC60127-2 Ceramic type	IEC60127-2 Glass type	IEC60127-3
 (a) 차단용량 1500A	 (b) 차단용량 35A	(c) 차단용량 150A  (d) 차단용량 35A 

Fig. 3 IEC-60127 Specification Main fuse type

1.2 퓨즈의 정의

1) 퓨즈의 정의

퓨즈란 영어 fuse가 의미하는 것과 같이 전기기구의 회로 이상 시 발생하는 과전류로부터 가용체(fuse element)가 녹아 끊어짐으로써 회로 및 부품들을 안전하게 보호해 주는 보호소자이다. 때문에 일반적으로 퓨즈는 전류가 직접 유입되는 회로의 1차단이나, 가정용 및 전력용 배선 상에 적용 되어, 이상전류에 따라 동작하여야 하지만, 최근 안전에 대한 인식변화와 다양해진 전기기구들로 인하여 여러 위치에서 여러 종류의 퓨즈가 적용되고 있다¹⁴⁾.

이들 퓨즈는 적용 위치와 종류, 정격전압, 정격전류, 동작특성, 동작형태, 조립구조 등에 따라서 여러 가지로 분류 된다. 가장 대표적인 분류 방법으로 적용 위치에 따라 High voltage fuse, Low voltage fuse, Miniature fuse로 분류 되고 각각 전력용, 가정용, 전자 회로 기관용으로 적용 된다. 이중 가장 사용량이 많고, 이상 전류 발생의 직접적 원인이 되는 전자 기기 회로에서, 최초로 보호의 역할을 수행하는 Miniature fuse 군의 경우 퓨즈의 종류와 정격전류, 정격전압의 범위가 다양하고, 보호하는 대상과 적용 위치도 달라 퓨즈 설계의 기준이 된다¹⁵⁾. 퓨즈는 구성상 fuse element(fuse-link), fuse body, fuse terminal로 나눌 수 있으며, 이중 퓨즈의 용단 특성을 결정하는 핵심 소재인 퓨즈 가용 체에 따라 정격전압, 정격전류, 동작특성이 결정된다. 또한 퓨즈 가용 체에 따라 통전 전류와 금속 고유 저항으로 인해 용단하는 한계 전류 형 퓨즈, 혹은 주변 부품의 발열과 환경적 온도 상승에 의하여 용단하는 온도 형 퓨즈 등 동작 방법까지 결정되어진다. 이는 퓨즈의 가용체가 퓨즈의 특성을 결정하고, 퓨즈의 종류를 나누는 대부분의 기준이 된다는 것을 의미 한다¹⁶⁾.

2) 퓨즈의 보호 특성

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. 이런 퓨즈 가용체의 일련의 동작 과정을 Fig. 4와 같이 나타내었다. 퓨즈의 한계전류 이상의 전류에서 퓨즈는 용단하게 되고 아크 소멸이 완료되면 회로는 유입전류가 완전히 차단되어 고장 작동을 중지하게 된다.

Fig. 4와 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. 퓨즈의 동작은 이상전류가 첫 피크지에 이르기 전에 완료 되어야 하며, 퓨즈가 이상 전류를 차단하지 못하였을 경우 발열과 함께 화재를 동반하게 된다. 또한 퓨즈가 동작하여 arc가 발생할 때 높은 전압이 인가되면(정전류 특성) 발생한 아크는 소멸하지 않고 퓨즈 링크를 통과 하여 폭발로 이어진다.

3) 퓨즈 가용체 동작 이론

이상 전류가 발생하는 회로의 저항이 R , 전류가 I 라면, 이상전류가 발생하여 순간 아크가 발생하고 소멸되는 과정까지 회로에 공급되는 에너지는 식 (1)와 같다.

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

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

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

m : 밀도(kg/m³) c : 비열용량(J/kg K) T : 온도(K)

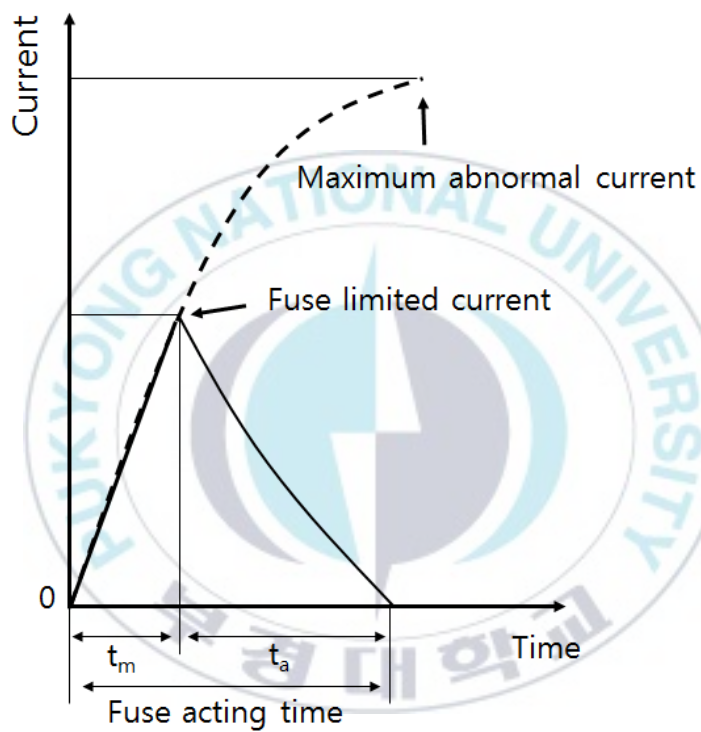
t : 시간(s) k : 열전도율(W/mK) D : 직경(m)

S : 단면적(m²) I : 전류(A) ρ_0 : 비저항율(Ω/m)

α : 저항율의 온도계수(K⁻¹) h : 방사열손실계수(W/m²K)

식 (2)에서 등호 좌측의 항은 내부에너지 증가율을 나타내고, 등호 우측은 전류 발생 시 주울 열과, 단자 방향의 전도 손실, 대류와 방사가 조합된 열손실을 나타 내었다.

해당 식으로 부터 전류 값이 퓨즈의 최소 용단 전류 보다 적은 전류가 퓨즈에 공급되었다면 가용체의 온도는 전류에 의한 상승온도와 열 이동에 의한 열손실이 정확히 균형이 될 때까지 증가한다. 그리고 열손실 속도보다 높은 전류가 가용체에 인가되면 용단이 발생하게 된다¹⁷⁾.



* t_m : Fuse melting time = pre-arcing time

t_a : Fuse arcing time = post-arcing time

Fig. 4 Current with Fault Fuse

1.3 퓨즈의 보호 방법

1) 한계전류 동작형 퓨즈

퓨즈의 정격 전류는 한계전류의 정의로 정의할 수 있으며, 한계 전류는 전류를 인가하였을 때 퓨즈가 용단되지 않고, 반영구적으로 동작하는 전류들 중 최댓값, 정상상태의 전류를 넘어선 과전류들 중 최솟값의 사이 값으로 정의된다. 이 값은 fuse의 정격 전류를 결정하는 값으로, 퓨즈의 용단 특성인 I-T 그래프를 통해 얻을 수 있다¹⁸⁾.

* 한계 전류 $\simeq$ 정격 전류

한계 전류에 영향을 미치는 인자는 식에 의한 계산을 통해 알 수 있다. 퓨즈의 정격은 에너지이며 전류상의 에너지 P 는 다음과 같이 정의 된다.

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

해당식의 물리적 해석을 위하여 재료의 고유 물성인 저항의 범주로 식을 유도 한다.

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

식 (4)에서 가용체의 재료가 결정된 이후라면, 상수로 고정되는 값을 제거할 수 있고, 남은 변수는 식 (5)와 같이 한계전류와 선경만 비례적으로 남게 된다. 즉, 재료가 결정된 후 I-T curve를 이동시키기 위해서는 퓨즈 가용체의 선경을 원하는 정격전류 방향으로 변화 시켜야 한다.

$$I^2 \approx D^2 \quad (5)$$

한류형 퓨즈의 정격 전류는 퓨즈 가용체의 선경에 비례하며, 이는 동종 재료의 정격 전류를 상승시키기 위해서는 선경을 상승 시켜야 함을 보여 준다. 퓨즈의 정격전류를 확인하기 위해서는 모든 전류 조건의 시료를 용단 시험해서 I-T 커브를 작성하여 Fig. 5와 같이 한계 전류를 확인해야 한다.

모든 퓨즈의 정격 전압은 퓨즈가 정상 동작한 후 퓨즈가 안전하게 차단 할 수 있는 전압의 한계를 나타낸다. 예를 들어 220V 가정용 전력에 125V 정격 전압인 퓨즈를 적용하면 해당 퓨즈는 125V까지만 차단할 수 있어, 정상동작하여 퓨즈 가용체가 녹은 후에도 전류가 통전할 가능성이 있다. 반대로 110V 가정용 전력에 250V 퓨즈를 사용하는 것은 퓨즈가 동작한 후 차단 가능한 전압이 250V이기 때문에 110V는 정상 동작 후에 차단 가능하며, 이로 인해 적용이 가능하다.

가정용 전력의 정격전압이 110V / 220V인 반면, 퓨즈의 정격전압이 125V / 250V 인 것은, 전력 공급원의 정전압 특성 유지를 위한 전류의 변경으로 인한 정격 전압의 허용오차가 $\pm 10\%$ 이며, 때문에 전력 공급원에서의 최대 전압은 110V의 경우 121V까지 유입 가능하고, 220V는 242V까지 유입 가능하다. 퓨즈는 보호 소자로 안정성을 가장 우선시하기 때문에 최대 전류 공급원 전압에

서도 안전하게 차단할 수 있도록 가가가 125V / 250V의 정격전압을 기준 전압으로 한다.

산업적으로 가장 많이 사용되는 한류형 미니어처 퓨즈군의 5가지 동작 특성이 매우 느린 동작(TT), 지연 동작(T), 일반 동작(S), 빠른 동작(F), 매우 빠른 동작(FF)은, 전류에 의해 퓨즈 가용체가 용단되는 시간에 따라 결정되며, 때문에 각 동작에 따라 적용되는 가용체의 재료가 다르다. 즉, 정격전류를 기준으로 정격전류의 10배 전류 인가 시 퓨즈의 거동을 확인해야 한다. 퓨즈의 정격전류는 인가 전류에 따른 용단시간을 나타낸 I-T Curve의 해석을 통해 가능하고, Fig. 6와 같이 정격전류가 결정되면 정격전류의 1000% 특성에 해당하는 영역이 동작특성이 된다.

Fig. 6와 같이 정격전류가 결정되면 정격전류의 10배의 전류를 인가하여 퓨즈의 용단 시간인 1ms 이하일 경우 매우 빠른 동작특성, 1ms~4ms 일 경우 빠른 동작 특성, 4ms~20ms의 경우 일반형 동작 특성, 20ms~150ms일 경우 지연형 동작 특성, 150ms 이상일 경우 매우느린 동작 특성이 된다. 이중 실제 IEC 규격에 정의된 퓨즈의 동작 특성은 빠른 동작 특성(Fast acting type)과 지연형 동작 특성(Time-lag type) 만 규격 정리 되어 있으며, 기타 동작 특성의 경우 end user의 요구에 의해 추가 되어 정리 되었다.

퓨즈의 동작 특성이 나타나는 영역은 퓨즈 가용체의 고유 에너지를 나타내는 영역으로 적용된 가용체의 면적 및 재료의 종류가 변하지 않으면 이동시킬 수 없는 영역이다. 즉, 퓨즈의 재료가 선택된 후 동작특성의 설계는 정격전류 선을 이동 시키는 방법으로 접근할 수 있으며, Fig. 7와 같이 동작특성을 조정하기 위하여 fuse elements의 선경을 조정하여 전체 I-T curve를 이동시키고 기울기를 움직이는 방법을 적용한다.

퓨즈 가용체의 재료와 선경이 결정되면, 퓨즈 가용체의 고유 에너지를 확인할 수 있는 I-T curve의 하단 부는 이동이 어렵다. 해당 영역은 인가되는 전류에 의해 퓨즈가 용단하는 시간이, 퓨즈 가용체가 인가 전류와 내부 저항에 의해 상승한 온도를 이동시키는 시간 보다 빠른 영역이기 때문이다. 보통 퓨즈의 I-T 커브에서 나타나는 변곡점은 퓨즈의 용단 시 퓨즈 가용체에서 발생하는 열이 전도 혹은 대류를 통해 이동하면서 퓨즈 가용체가 융점에 이르는 시간을 지연 시키면서 나타나는 점으로, 열의 이동이 전혀 없는 이상적인 계에서는 전류에 의한 직접 발열량은 식 (6)와 같이 전류의 제곱에 비례하여 증가해야 한다.

$$W = I^2 \times R \quad (6)$$

식 (6)에 따르면 전의 상승에 의한 퓨즈의 용단 시간은 Log 스케일 범주의 I-T curve에서 비례적으로 빨라지는 직선의 형태를 나타내야 하지만 실제 I-T curve는 그렇지 않다. 이는 열의 이동이 낮은 전류 영역에서 퓨즈 가용체의 용단 시간을 지연시키기 때문이고 이로 인하여 낮은 전류영역 I-T curve의 기울기가 상승하게 된다.

이런 I-T curve의 열 이동에 의한 그래프 변화를 Fig. 8에 나타내었다.

반면, 전류가 상승함에 따라 퓨즈의 용단 시간은 빨라지고 어느 시점 이후에는 열 이동이 시작되기 이전 시간에 용단이 발생하게 된다. 이 시점을 보통 정격전류의 10배로 대부분의 퓨즈가 규정 짓고 있으며, 해당 영역에서는 식 (6)의 발열이 손실 없이 적용되며, 고유의 가용체 한계 전류 에너지를 확인할 수 있다. 이와 같이 I-T curve를 통해 확인할 수 있는 가용체에서의 열 손실

은 간단히 열 이동에 대한 식 (7)와 동전전류와 재료 저항에 의한 발열을 나타낸 식 (6)을 비교하여 I-T curve 내에서 구분 지을 수 있다.

$$-\kappa A \frac{T_2 - T_1}{\Delta\chi} \quad (7)$$

κ : 매질의 열전도도(W/m·K) A : 단면적(m²)

$\Delta\chi$: 매질의 두께 (m) T1 : 온도(°C) T2 : 온도(°C)

전류와 저항에 의한 발열량이 적어 열 이동 속도에 의해 한계 전류에 미치지 못한다면, 퓨즈는 용단하지 않으며, 해당 영역은 I-T curve의 낮은 정격전류 영역이 된다. 하지만 발열량이 충분하여 열이 이동하는 속도 보다 빠르게 온도가 상승하여 퓨즈의 한계전류에 도달하면 용단이 발생하고 이는 I-T Curve의 상단 부분이 된다. 마지막으로 Inrush성 유입 전류에서 열전달이 발생하기 전 퓨즈 가용체가 용단하게 되는 경우는 I-T curve의 하단 부에 나타나게 된다. 이와 같은 전류 저항 발열과 열 이동의 식 (8)에 나타내었고 이를 Fig. 9와 같이 I-T curve에 나타 내었다¹⁹⁾.

$$\begin{aligned} I^2 \times R &\leq -\kappa A \frac{T_2 - T_1}{\Delta\chi} \\ I^2 \times R &\geq -\kappa A \frac{T_2 - T_1}{\Delta\chi} \\ -\kappa A \frac{T_2 - T_1}{\Delta\chi} &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

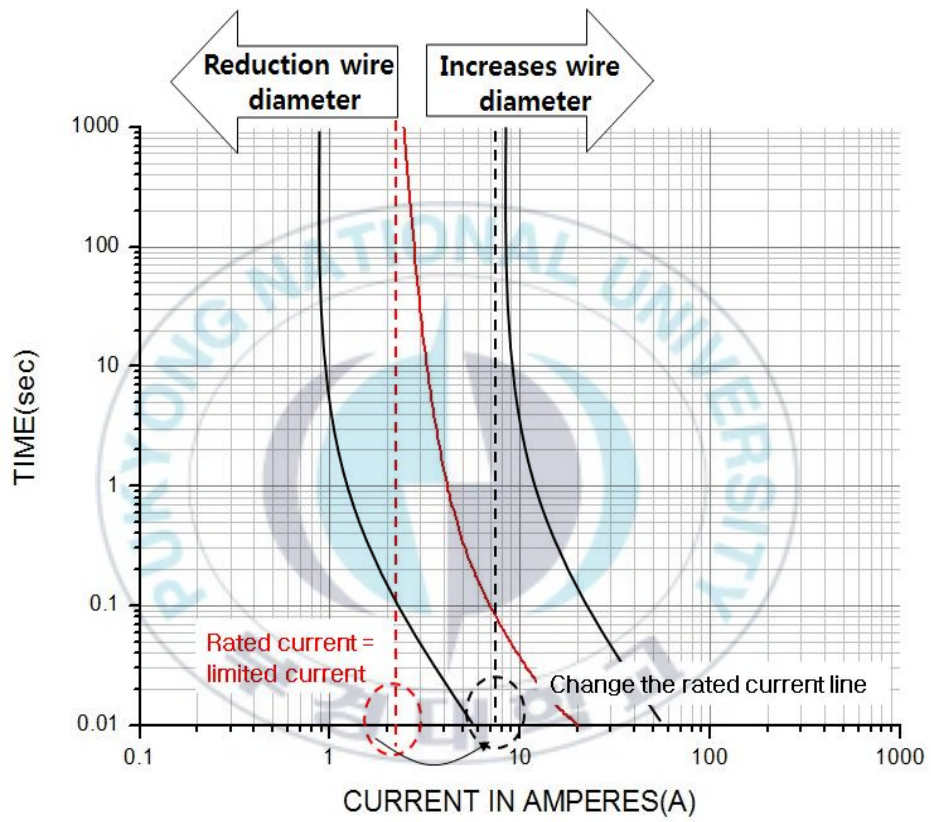


Fig. 5 Change the rated current line

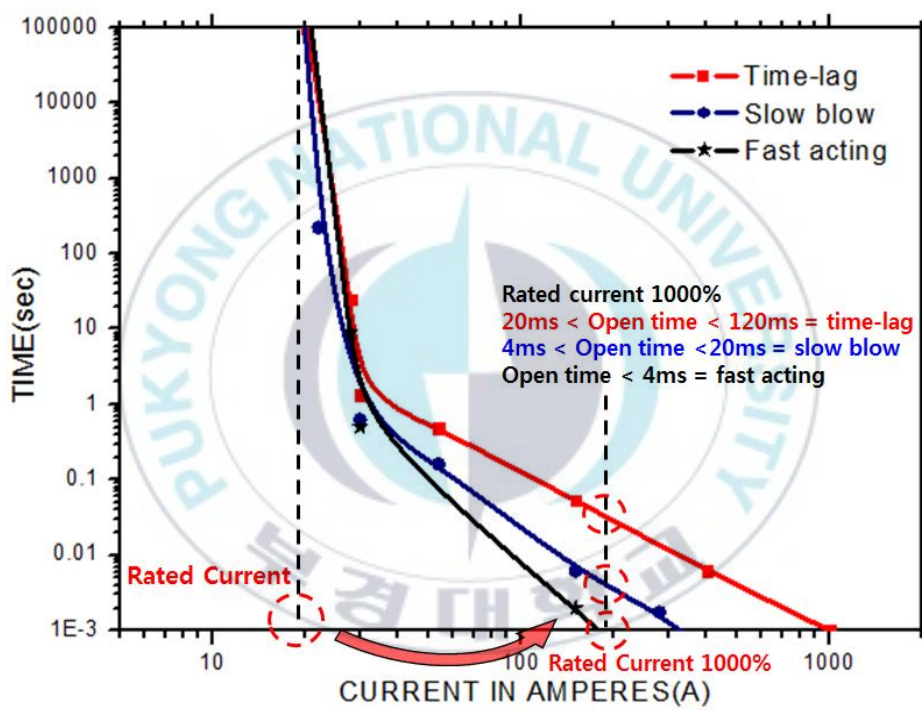


Fig. 6 Acting characteristics type of fuse

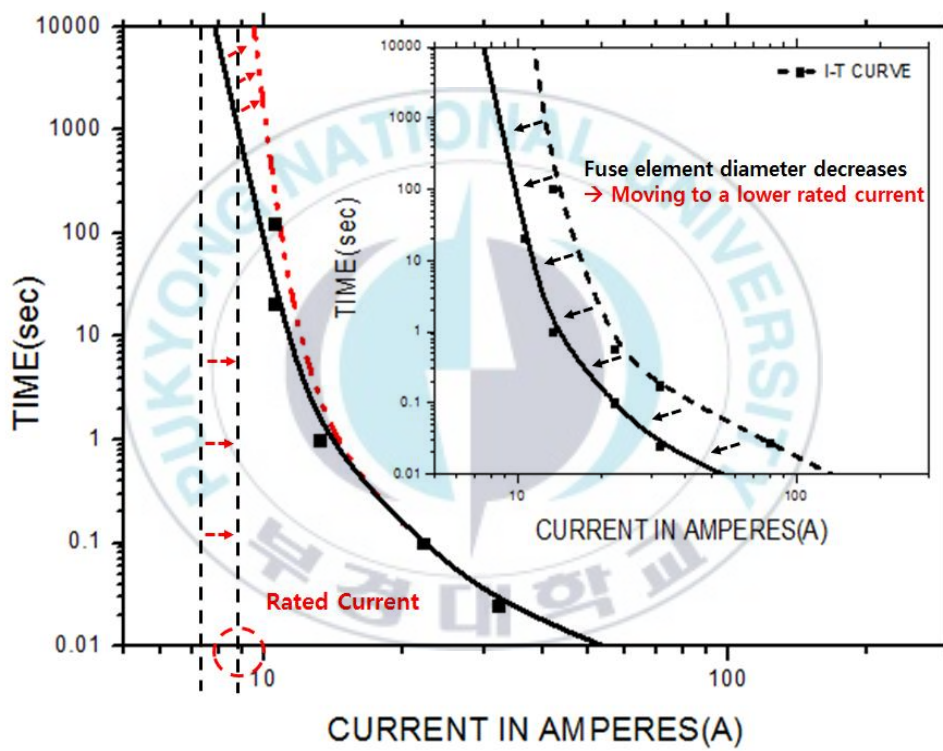


Fig. 7 The method design acting characteristics type

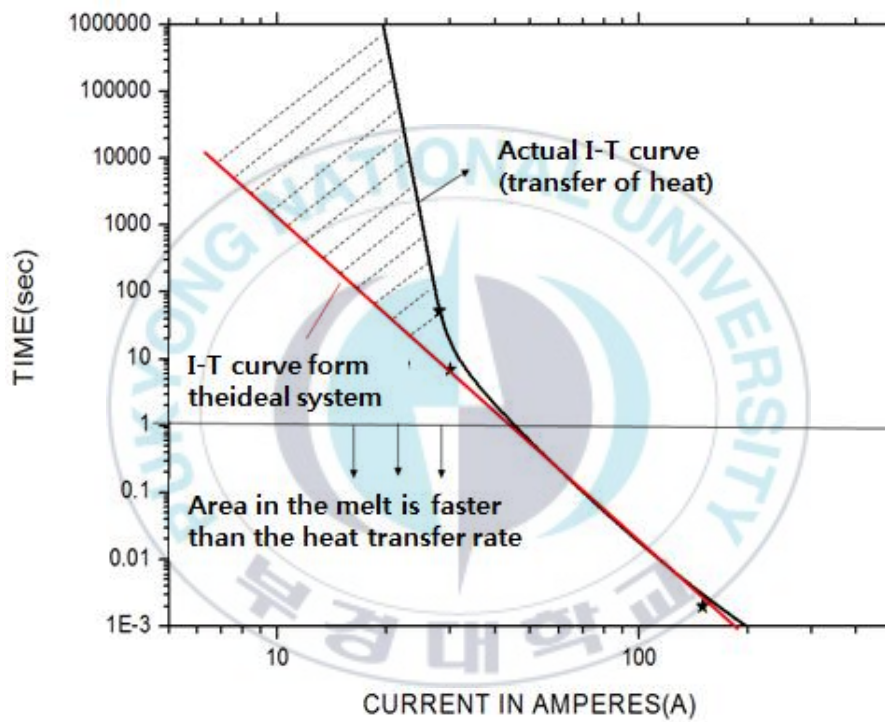


Fig. 8 Analysis of heat transfer at the I-T curve

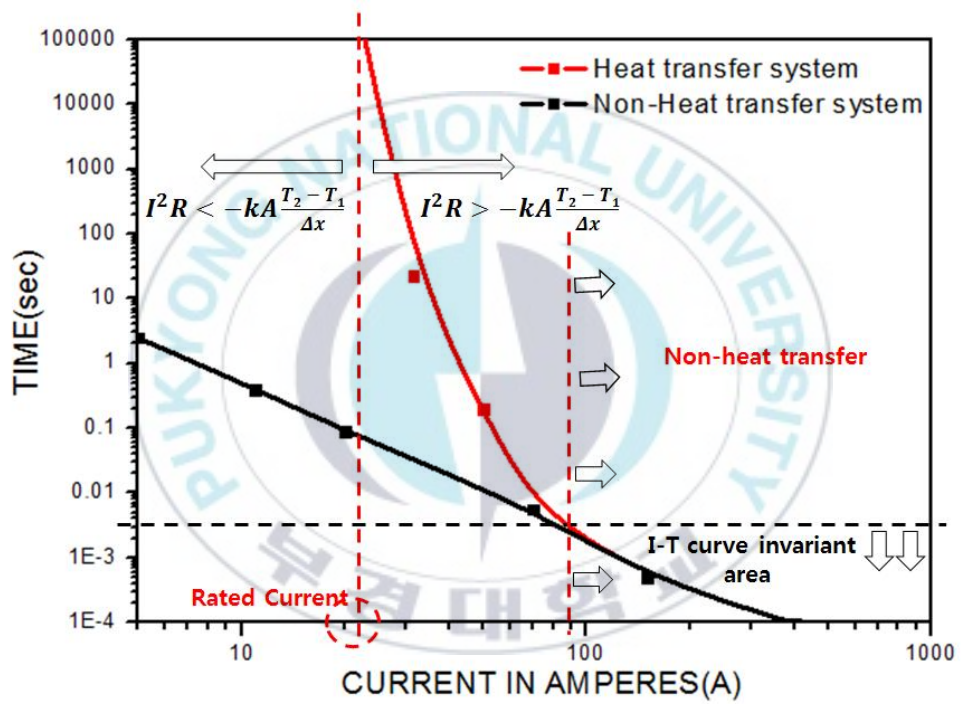


Fig. 9 Change of I-T curve by heat transfer

2) 전류 감지형 퓨즈

전류 감지 동작 이차전지용 퓨즈의 규격 인증은 안전을 위하여 규격에서 요구하는 사항과 적용될 제품의 특수성이 포함된 시험을 실시해야 하며, 이중 실제 규격 획득에는 안전인증 규격 사항만 해당한다. 능동동작 퓨즈의 특성상 미소하게 변화된 이상전류에 대한 동작이 필요하지만 안전인증 규격에는 해당 동작은 포함 되어 있지 않다. 때문에 규격에만 만족하는 제품을 제작하여 적용하면, 발생 가능한 모든 위험 요소에 대응하기 힘들고 때문에 업체 사양이라는 새로운 특성 지표가 포함된다.

현재 규격에 정의된 일반적인 한류형 퓨즈의 경우 모두 유입되는 전류에 의해 동작하는 형태의 퓨즈로 그 특성상 빠른 동작 특성이 정격 전류의 125% 이상일 때, 지연형 동작특성의 퓨즈는 정격 전류의 160%일 때 최초로 용단이 시작 되어야 하며, 이전의 전류에서는 동작하지 않아야 한다. 다시 말해 퓨즈를 지나 이차전지로 정격 전류의 160%의 전류가 계속해서 유입하여도 퓨즈는 동작하지 않는 상태가 되고, 이차전지는 유입되는 높은 전압에 의해 분리막 등의 손상을 받는다. 그래도 현재까지 넓게 쓰이던 소형 이차전지의 경우 통전 전류가 약 10~15A인 것이 가장 높은 전류였지만, 이차전지가 대용량화에 따라 현재의 자동차용 선박용의 경우 200A~400A까지 정격 전류가 상승하였다. 이에 따라 이제까지 수동 동작형 한류 퓨즈가 허용하던 125% 혹은 160%의 전류가 작은 전류가 아니게 되었고 이로 인하여 능동 동작형 퓨즈가 도입되었다. 즉 이차전지용 능동동작 퓨즈가 도입됨으로 해서 이차전지로 흐르는 미세한 전류 변화를 감지하여 기존의 수동동작 퓨즈가 동작하지 않던 이상전류의 미세한 변화에 능동적으로 동작 하게 된다.

전류 감지 동작 퓨즈의 구동 방법은 크게 2가지의 구동 방법이 있다. 일반

적으로 전류가 유입되어 수동적으로 퓨즈 가용체가 동작하여 용단하는 구동과 미세하게 변한 전류를 감지하여 위험 수준이라 판단할 시 온도 히터(발열 저항)를 작동하여 동작시키는 구동이다. 해당 동작을 Fig. 10에 나타내었다. 회로 중 유입되는 전류에 퓨즈가 수동으로 동작하는 구동은 IEC 60127과 UL 248-1에 명시된 규격에 따라야 하며, 해당 동작은 인증 규격 획득 대상이 된다. 반면 전류 변화를 감지하여 발열 저항에 의해 퓨즈 가용체가 용단하는 동작은 앞서 거론 하였듯이 퓨즈의 수동 동작에서 만족 할 수 없는 정격전류의 110%, 120% 등 미세 변화에 대응하기 위한 것이다. 때문에 해당 동작에 대해서는 규격 상에 정의 되어있지 않고, 업체 사양이 되며, 인증 규격을 획득 할 필요도 없게 된다. 하지만 새로운 동작 형태가 추가되었기 때문에 이에 따른 여러 가지 업체 사양이 특성 시험이 생기게 된다. 대표적인 이차전지 제작 기업인 L社의 시험 만족 조건은 Table 4.와 같다. Table 4에서 명시된 것과 같이 규격 인증 항목에 포함되는 것은 100% 통전용량, 200% 용단 특성, 1000% 차단 용량, 내구성 시험이다. 즉, 능동동작 퓨즈의 수동동작 특성만이 규격에 정의 되어있고 해당 규격은 반드시 획득해야 한다. 반면 가장 중요한 동작 특성인 전류 감지 후 발열에 의해 퓨즈를 능동적으로 동작 시키는 발열 동작 (Heater operation)의 경우 규격 상에 어떠한 정의도 되어 있지 않는 현행 수동 동작 퓨즈의 이차전지 적용시 단점을 보완해 주는 특성으로 End user의 요구 조건을 철저히 수용해야 한다. 이런 특성이 대표적으로 업체 사양으로 분류할 수 있다. 때문에 인증 규격 획득 시험시 필요한 사항은 Miniature fuse 규격 외품 규격인 IEC60127-4 혹은 UL 248-14의 규격을 획득해야 하고 해당되는 시험은 Table 4에서 표준이 정의된 항목만 해당한다.

고객의 특성 항목에도 명시되어있는 발열 동작이 대용량 이차전지용 능동동

작 보호소자의 핵심 기능으로 이차전지가 대용량화 되어 감에 따라 반드시 능동 동작형 퓨즈가 필요한 이유이기도 하다. 휴대용 전자 제품 중 저용량(적용 전류 7A 이하)의 이차전지를 사용하는 경우인 모바일 휴대폰, 야외조명 기구 등은 이차전지와 셀 자체의 용량이 크지 않기 때문에 폭발 사고에 대한 위험이 크지 않은 반면 고용량의 경우, 이차전지의 폭발 및 화재 사고 시 반드시 인명사고를 수반하게 된다. 때문에 현재 통전 전류 8A 이상의 이차전지를 사용하는 제품들은 모두 능동 동작형 퓨즈를 적용하고 있으며, 대표적인 제품이 노트북, 전동 드릴 등이 있다.

전류 감지 동작 퓨즈의 가장 큰 특징이자 높은 전류량이 흐르는 퓨즈에 사용이 반드시 필요한 이유는 수동동작 퓨즈의 미세전류 변화에 대한 반응에 있다. 수동동작 퓨즈의 경우 빠른 동작의 경우 정격전류의 125%, 지연동작의 경우 정격전류의 160%에서 최초 용단이 발생하고 그 이전의 전류에서는 용단이 발생 시간이 상당히 느리다. 해당 특성은 수동동작 퓨즈의 I-T 커브를 통해 확인이 가능하며, 이를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11와 같이 정격전류의 10% 혹은 20%의 이상 전류가 유입될 시 매우 빠른 동작 특성의 퓨즈 할지라도 약 3시간 이상의 동작 시간이 필요하다. 낮은 전류에서는 이 20%가 적은 값이고 이차전지에 영향을 주지 못하니 무시하여도 상관없지만, 높은 전류 만약 300A 통전량의 20%라 한다면 60A의 이상전류가 이차전지로 3시간 유입된다는 것을 뜻한다. 이럴 경우 이차전지의 분리막은 이동하고 전해질이 교환하며 폭발이 수반된다. 즉, 대용량 이차전지는 높은 이상 전류의 유입이 차단되어야 하며 수동동작 퓨즈가 작동하지 않는 미세전류 변화에도 용단동작을 해야 한다. 그렇기 때문에 현재의 10A 이상의 용량을 가지는 이차전지에는 전류 감지형 능동동작 보호소자가 적용 되어 있으며, 50A 이상의 대용량 이차전지에도 필요

한 프로세스 이지만 아직 상용중인 제품이 없다. 이에 본 과제에서 능동동작 이차전지 퓨즈를 대용량화 하였고 현재 소개된 보호의 프로세스 중 가장 안전한 프로세스로 판단한다.

현재 이차전지 보호에 사용되고 있는 퓨즈는 대부분 이차전지의 전류가 자동차 혹은 세부 구종을 책임지는 PCB로 유입되는 배선에 사용되는 수동동작형 한계전류 퓨즈를 사용하고 있다. 이는 이차전지의 충 방전 전류와 전압이 12V~36V, 50A~400A인 것이 완전히 일치하는 퓨즈이기 때문에 적용되고 있다. 하지만 해당 퓨즈는 이차전지에서 부터 세트로 유입 되는 과전류를 막기 위한 수동 동작의 퓨즈로 에너지 저장장치와 같은 충전 동작의 중요성이 없던 시절부터 사용되어진 퓨즈이다. 즉 해당 퓨즈를 적용하면 에너지 저장장치로 유입되는 전류는 막는 것이 가능하나 이차전지로 충전 될 때의 이상전류를 막지 못해 이차전지 폭발사고의 원인이 된다. 에너지 저장 장치용 퓨즈는 동작 특성 상 slow blow에 가까우며 전류 감지 동작의 기능은 없는 퓨즈이다. 때문에 미세 전류 변화가 발생할 시 해당 퓨즈는 전혀 작동하지 않고 충전 동작 간에 이차전지의 폭발을 막아 줄 어떠한 장치도 없기 때문에 많은 문제를 야기하고 있다. 이에 일부 업체에서는 해당 퓨즈와 함께 온도 감지형 차단기 혹은 릴레이식 차단기를 함께 사용하여 특성을 구현 하고자 하지만 Resettable 부품의 경우 사용 간 동작의 형태가 변하고 자동차의 진동 습기 등에 민감하여 올바른 적용으로 볼 수 없다. 또한 다른 방법으로 각 셀마다 소형 전류 감지 동작 퓨즈를 설치하는 방법과 온도 형 퓨즈를 근접 적용하여 미세전류 변화 시 온도 변화를 감지하여 동작 하게 하려는 시도가 계속되고 있다²⁰⁾⁻²¹⁾.

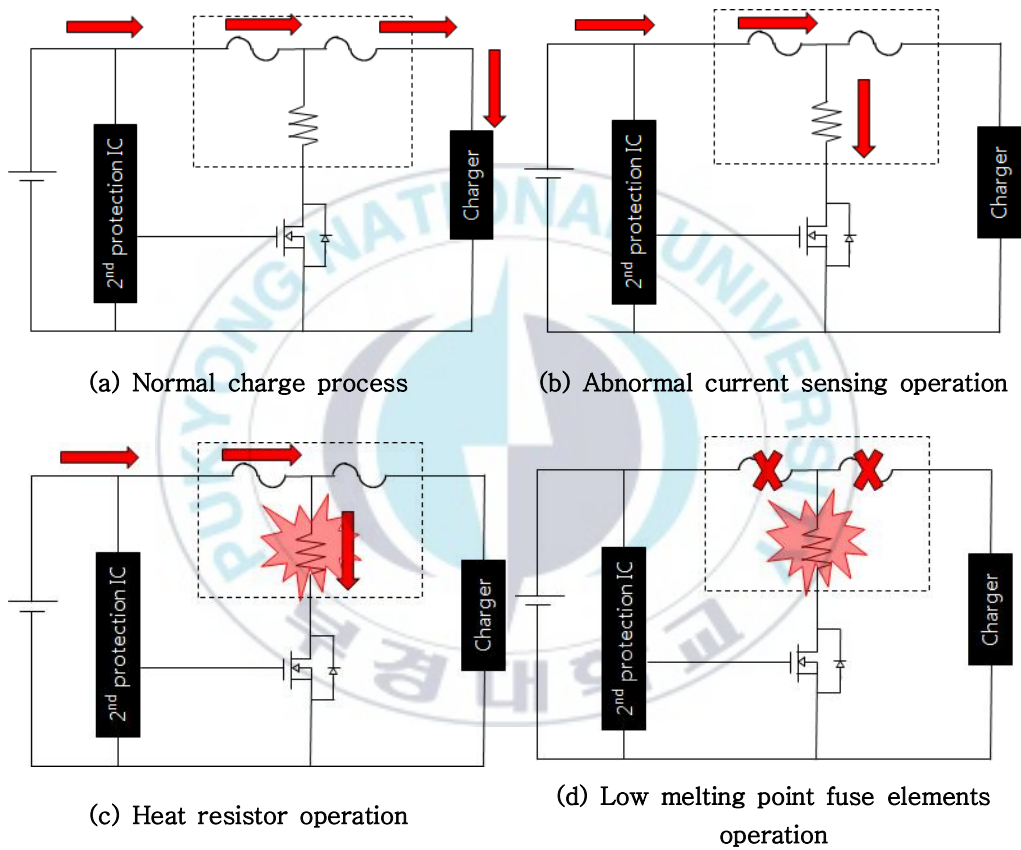


Fig. 10 Current sensing operation fuse melting process

Table 4 L社 test condition of Rechargeable battery fuse

TEST	Condition	Standard
100% Rated current	100% Over 4hr	IEC 60127-4/ UL248-14
200% Rated current	200% under 1min	EC 60127-4/ UL248-14
Breaking capacity	1000% no mechanical damage	EC 60127-4/ UL248-14
Turbo boost	120% Rated current 10ms on / 101ms off	EC 60127-4/ UL248-14
Low temp storage	100% Rated current 100s on / 100s off	EC 60127-4/ UL248-14
Low voltage heater operation	Melt within 1min	X
High voltage heater operation	Melt within 1min	X
Low temperature operation	-10℃ low/high power melt within 1min	X
High temperature operation	85℃ low/high power melt within 1min	X
Heater Resistance	Different on rated current	X
Fuse Resistance	Different on rated current	X
Tensile strength	Minimum 3N	X
High Temp Storage	100℃ 6hr rest 1hr	X
Low Temp Storage	-20℃ 500hr rest 1hr	X

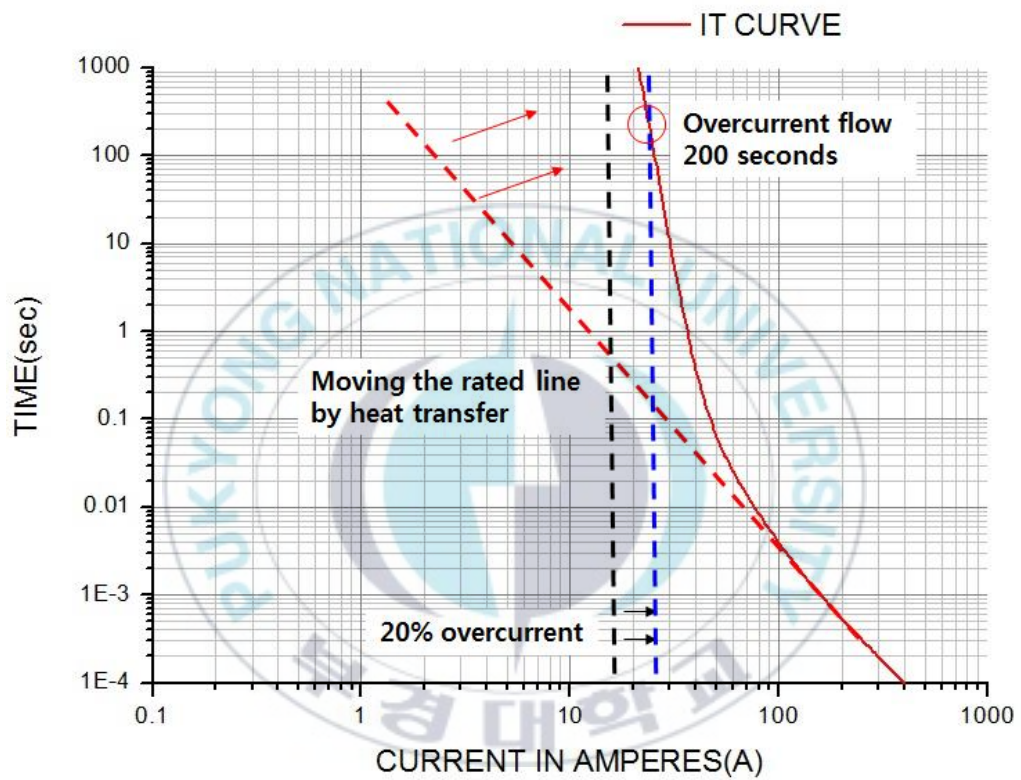


Fig. 11 Fuse I-T curve and fine over current

2. 퓨즈 개발의 역사

퓨즈는 1774년 영국의 Edward Nairne에 의해 최초로 실험되었다. 당시 Nairne은 지금의 캐패시터가 된, Fig. 12과 같은 레이든 병(Leyden bottle)의 안정한 충전, 방전을 위해 실험을 진행하였고 이를 위해 긴 금속 와이어를 사용하여 충, 방전 시 와이어가 고정저항기와 같이 완충작용을 해줄 것을 기대하였다. 하지만 유입전류가 와이어의 한계 전류 이상으로 강했고, 과전류에 의해 레이든 병이 깨어질 위기였지만 결과 적으로 와이어가 용단되어 퓨즈의 역할을 하게 되었다. Nairne의 해당 실험은 비록 와이어가 고정 저항기의 역할을 해줄 것을 기대한 시험이었지만 퓨즈의 동작을 하여 레이든 병을 보호하였던 것과 안전을 위한 시험이었다는 점에서 최초의 퓨즈 실험으로 인정을 받고 있다²²⁾.

이후 1879년 영국의 실바누스 톰슨(Silvanus Phillips Thompson)이 최초로 퓨즈를 간단한 물리 법칙으로 설계하여 제작하였고, 같은 시기 토머스 에디슨(Tomas Alva Edison)이 후버 대통령 앞에서 백열전구의 시연을 성공하고 미국 내 모든 관공서와 민간 빌딩에 전기 공사를 실시하였을 때 안전을 위한 퓨즈를 적용 하였다. 톰슨에 의해 제작된 퓨즈는 당시에 단일 와이어 구조로 사용되던 퓨즈의 문제점을 해결하기 위하여 Fig. 13와 같이 2개의 커넥터 사이를 철선(Fe wire)으로 연장하고 끝단에 납을 이용한 금속 구슬로 연결하여 과전류 발생 시 온도가 상승에 의한 저융점 금속 구슬이 녹아 퓨즈가 용단하는 구조를 고안하였다. 하지만 저융점 금속 부분이 서서히 녹는 단점과 녹은 후 절연성, 차단용량의 문제로 동작이 불안정 하였고, 이때부터 전기기기 안전을 위한 본격적인 퓨즈 설계가 시작 되었다. 같은 시기 에디슨은 관공서 전기공

사에 사용한 안전 부품을 Safety-guard라고 명명하고 1881년 4월 최초의 안전 부품 특허를 등록하였다.

에디슨이 Safety-Guard로 특허를 획득한 1881년 4월 이전에 “에디슨&스완 전기조명회사”를 공동 창업한 조셉 윌슨 스완(Joseph Wilson Swan)의 퓨즈가 우선 개발 되었다는 기록이 있다. 1880년 스완은 크랙사이드(Craggside) 정원의 조명을 설치하며 자신이 개발한 보호소자를 설치한다. 당시 사용했던 퓨즈는 도면이 남아 있지 않고 글로 “Swan used tin foil for fuse, and a strip of this was jammed between two brass blocks”라 기록되어 있으며 기록에 따르면 Fig. 14와 같은 구조로 판단할 수 있다. 해당 보호소자는 여러 가지 변경을 거친 후 1883년 스완 전기조명회사(Swan United Electric Light Co.)의 카탈로그에 등록 판매되었고 이 기록이 최초의 퓨즈 판매로 확인된다. 당시 제품의 이름은 “Safety-fusing bridges”였고 1882년 3월 미국 학회지 “엔지니어링”에 “Fusible Safety shunts”로 발표 되었다.

1879년 영국의 톰슨에 의해 설계된 퓨즈는 1883년에 이르러 절연성, 차단용량, 동작속도 등의 문제를 해결하기 위하여 Charles Vernon Boys와 Henry Harding Cunynghame에 의해서 디자인이 변경 된다. 구조는 Fig. 14와 같이 스프링과 저융점 금속의 결합을 이용한 온도 퓨즈를 고안하였고 이는 현재까지 사용되고 있는 스프링 구조의 온도퓨즈의 최초 모델이었다. 스프링으로 인하여 저융점 금속이 녹기 시작하면 스프링에 의해 빠르게 단자의 거리가 이격되었고, 때문에 동작속도, 절연성, 차단용량 등이 상승할 수 있어 상당한 안정성이 확보 되었다. 하지만 당시에 해당 부품의 명칭이 없어 아직 부품으로서의 퓨즈가 정의되지 못하였다.

퓨즈라는 명칭은 1887년 영국의 아서 콕번(Arthur C. Cockburn)에 의해 당

시 통신전선공학회(Society of Telegraph Engineers)에서 발표된 논문에서 처음 사용되었고, 이후 퓨즈로 통일해서 사용된다. Cockburn은 퓨즈의 이름을 도입하기 이전부터 지속적으로 퓨즈를 연구하였고 그 결과 “Cockburn fuse”라는 최초의 한계 전류형 퓨즈가 개발되어 정격전류의 50%이상 과전류에서 용단 되도록 설계 되었다²³⁾⁻²⁴⁾.

당시까지 개발 사용된 퓨즈는 모두 온도 퓨즈로 환경 혹은 주변 부품의 발열에 의한 동작을 기본으로 하는 퓨즈였지만 “Cockburn fuse”에서 최초의 한류형 퓨즈가 개발되고 1890년 영국의 윌리엄 모데이(William Morris Mordey)에 의해 Fig. 15와 같은 한계 전류형 퓨즈가 개발되어, 이때부터 현재 사용하고 있는 모든 퓨즈 이론들이 정립 되었다.

이후 1902년 지금까지 회로 기판에서 전기기구에 적용되던 Miniature fuse 구조에서 벗어나 가정의 전력을 안전하게 보호하는 Low voltage fuse와 전력 공급원을 보호하는 High voltage fuse가 개발 되었다.

1912년, 최초의 퓨즈 전문 제작 판매 회사인 지멘스(Siemens Brother Great Britain)가 영국에서 설립하였고 이때부터 적용위치와 회로에 따라 다양하게 적용 가능한 여러 퓨즈들이 본격적으로 연구 된다.

1927년 현재까지 가장 높은 기술력과 가장 많은 세계 판매량을 자랑하는 Littelfuse가 미국에서 창립하게 되었으며, 이때부터 퓨즈관련 기술 및 연구는 학계가 아닌 산업계에서 대부분 이루어지게 되었다. 아래 Table 5는 퓨즈의 개발 역사를 정리하여 나타낸 것이다.

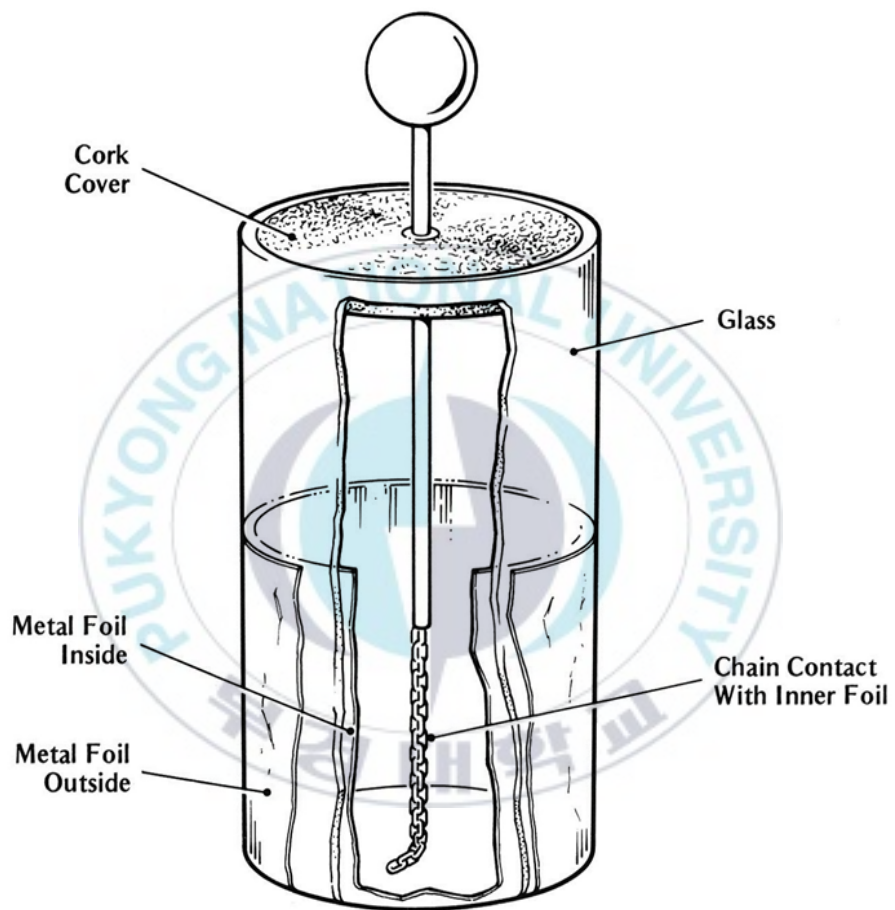


Fig. 12 Structure of Leyden bottle Capacitor

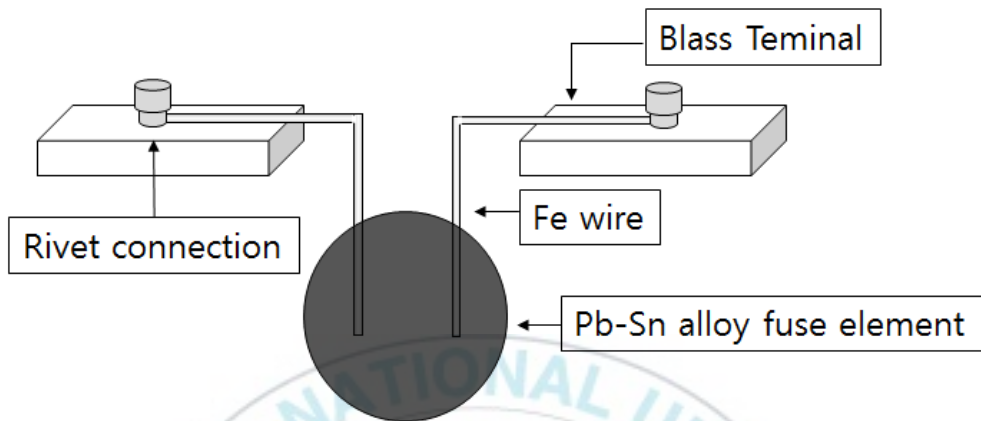


Fig. 13 Structure of Thompson's fuse

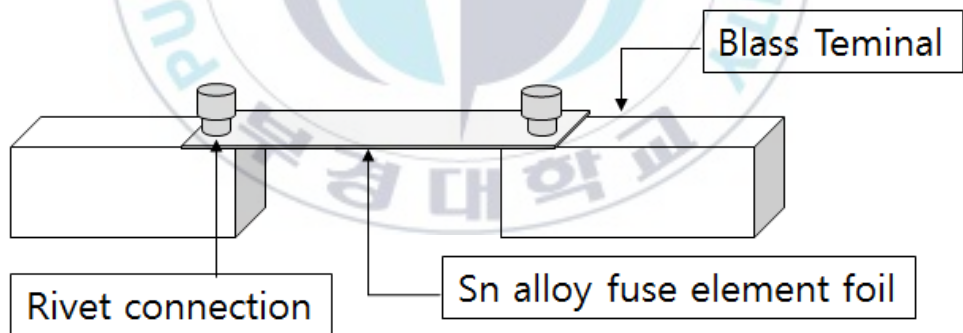


Fig. 14 Structure of Swan's "Safety-fusing bridges"

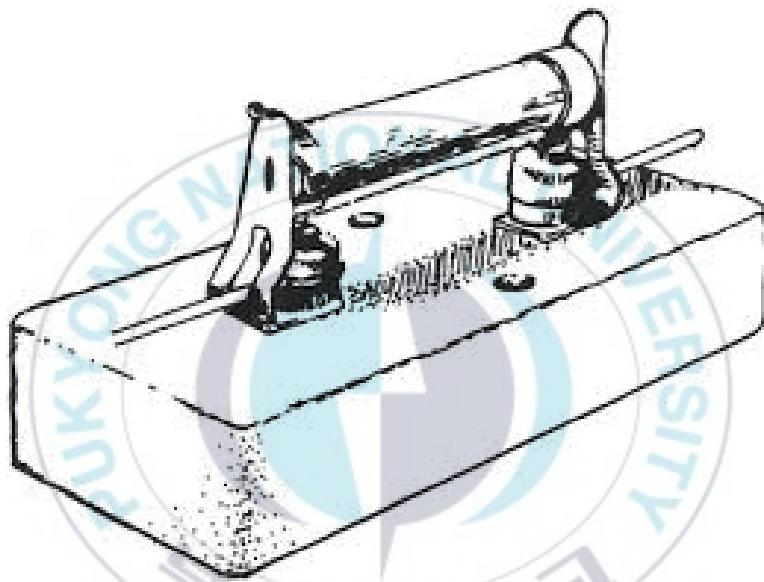


Fig. 15 Structure of Mordey`s “Cartridge fuse”

Table 5 History of fuse development

Years	Fuse development
1774	“Edward Nairne” First test of fuse
1879	“Silvanus Phillips Thompson” First design of fuse
1879	“Tomas Alva Edison” Safety-guard
1880	“Swan” used tin foil for fuse and a strip of this was jammed between two brass blocks.
1881	patent of safety-guard
1887	Using a “fuse” official name
1890	Development of limited fuse “cartridge fuse”
1902	Development of low voltage fuse
1912	Founded of Siemens Brother Great Britain
1927	Founded of Littelfuse

The logo of Pukyong National University is a circular emblem. It features a stylized blue and grey design in the center, resembling a compass or a stylized 'P'. The outer ring of the logo contains the text 'PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY' in blue capital letters at the top and '부경대학교' in Korean at the bottom.

제 III 장

중소용량 이차전지 보호 시스템용 전류감지
동작형 퓨즈의 저융점 금속 가용체 설계

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 되었다²⁵⁾. 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. 하지만 충전과 방전이 반복되는 이차전지의 특성과 폭발의 위험이 있는 내부 활물질, 보호소자의 보호 한계 등의 이유로 인하여 Fig. 16과 같이 최근 국내외의 중소형 이차전지 화재 및 폭발 사고가 꾸준히 발생하고 있는 추세이다²⁶⁾⁻²⁷⁾.

리튬이온 저용량 이차전지는 전기 설비용 대용량 이차전지 제품에 비하여 상대적으로 작은 제품 크기와 공간 확보가 부족하여 Fig. 17와 같이 전기영동 등의 셀간 거리에서 발생하는 사고가 빈번히 발생하는 편이다. 전기영동에 의한 이차전지 화재 발생 프로세스는 순차적으로 충격 및 전기영동 현상에 의한 분리막 손상, 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 유입 전류 상승 시 동작하여 전류 유입을 막아주는 퓨즈의 역할이 중요하다.

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 Fig. 18와 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 한다²⁸⁾. 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, 킥 보드 등 통전 전류량 8A~20A 영역에서 사고가 지속적으로 발생하는 실정이다. 때문에 이차전지를 보호하기 위한 메인 동작 퓨즈는 돌입전류를 보호하기 위한 퓨즈의 역할과 미소전류 변화에 동작하는 이상전류 감지동작의 특성을 가져야 한다. 즉, 이차전지용 전류감지 동작 퓨즈가 도입됨으로 해서 이차전지로 흐르는 미세한 전류 변화를 감지하여 기존의 수동동작 퓨즈가 동작하지 않던 이상전류의 미세한 변화에 능동적으로 동작할 수 있다.

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



Fig. 16 Portable electronic product accident case

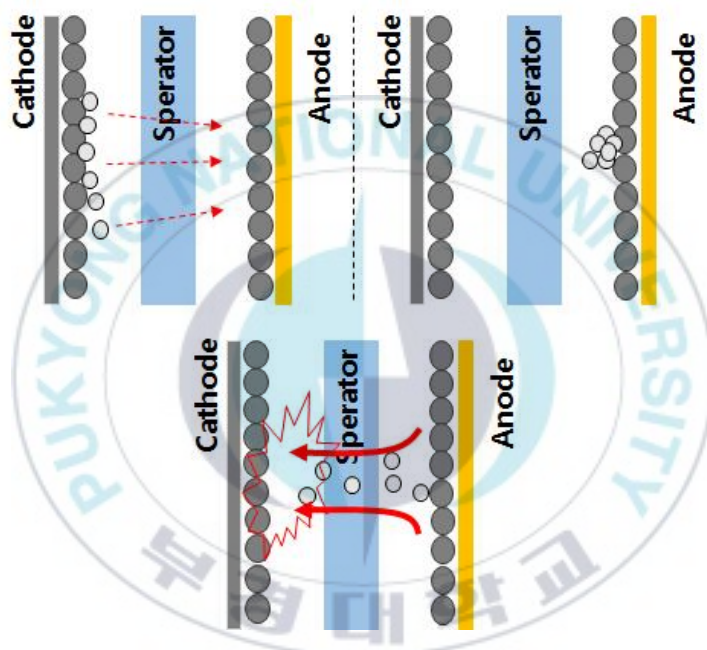


Fig. 17 Electrophoresis process of Secondary Battery

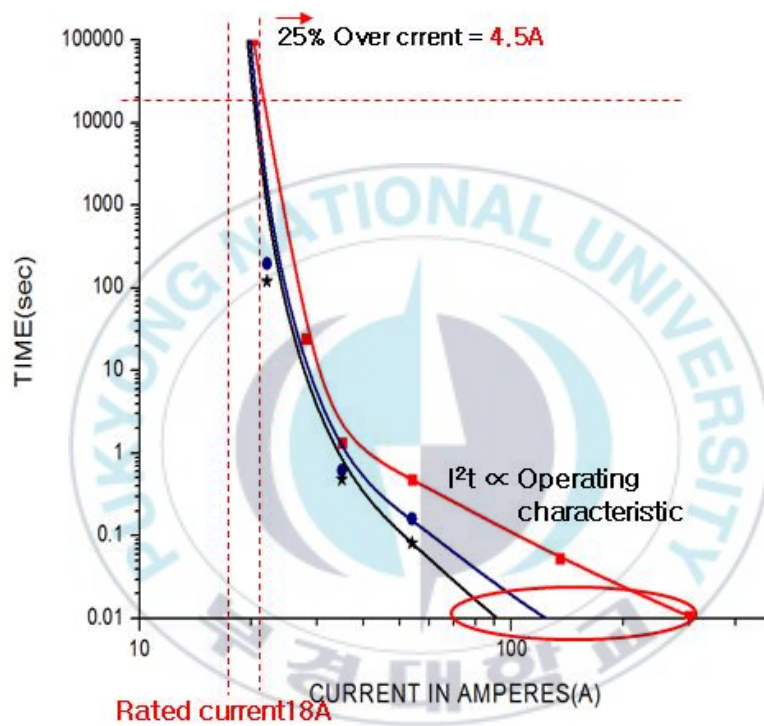


Fig. 18 Operating characteristics of the current limited fuse in I-T curve

2. 본론

2.1. 전류 감지 동작형 보호회로 구성

완전단락 돌입전류 및 미소 과전류 유입, 2가지의 위험에서 안전한 보호 동작을 만족하기 위한 방법으로 IC-FET 회로를 이용한 전류감지 회로를 구성할 수 있다. 적용 보호회로는 Fig. 19와 같이 일반적으로 전압과 전류가 정상작동을 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 센싱 하여 전류의 흐름 방향을 FET 소자 방향으로 변경하게 된다. 이때, 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 전류감지 동작형 퓨즈는 이차전지의 용량이 상승함에 따라 평시 통전 전류가 8A 이상에서 최대 20A까지 제품에 적용된다. 때문에 휴대성과 실장 공간을 고려한 방열 형태의 설계가 필요하고, 전류 분배 구조인 2W세라믹 SMD형 셉트 형태로, 퓨즈 형태를 구성하였다. 이에 Fig. 20와 같은 내부 구조와 형상 및 Fig. 21와 같은 크기의 퓨즈를 제작 하였다.

중소형 이차전지 보호 소자에 사용될 금속 가용체는 발열 저항의 열에 의해 용단이 가능한 금속으로 설계가 가능하며, 때문에 Table 6와 같이 접합 용가재에서 적용하는 주석(Sn) 계열의 저융점 금속을 적용 하였다. 접합 저융점

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 저융점 합금의 납 계열 금속을 선택하였고, 상용적용되어 일반적인 금속을 대상으로 시험 하였다.

일반적인 중소전력 이차전지 보호 소자는 칩(chip)형태의 부품 구조로, PCB 기판위에 실장을 위해 자동실장공정(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 Fig 22와 같이 최대 250℃에서 약 40초유지 되는 구간에서 퓨즈가 동작하지 않기 위함이다²⁹⁾.

실험은 각 합금에 따라 제품을 제작하여 모든 시료의 불량단선 여부 등을 확인하였다. 각 시료군은 최소 50개 이상의 예비시료를 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 정전류에서 변동 전압이 60V 이내가 되도록 유지하였다. 실험은 파워 서플라이 BOB社 SGI 330/150, 오실로스코프 Tektronix社 DPO 3022, 저항계측기 Hiyoiki社 3227 mΩ Hitester를 사용하였다.

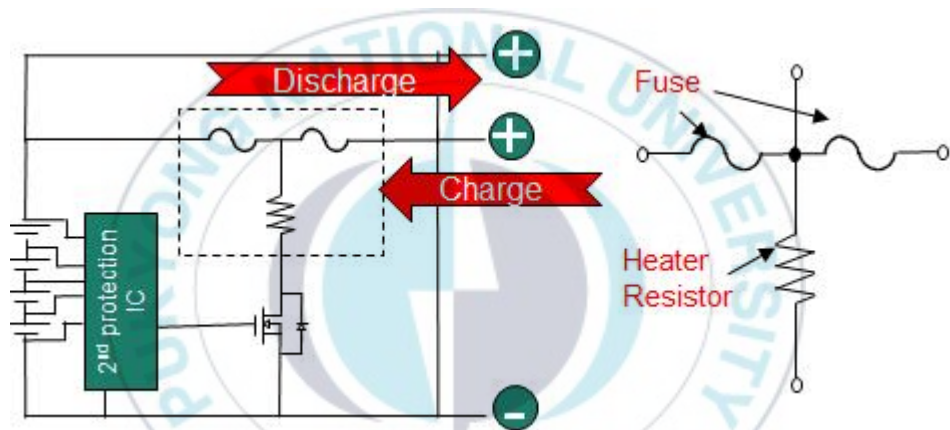


Fig. 19 Circuit of self-control protection devices

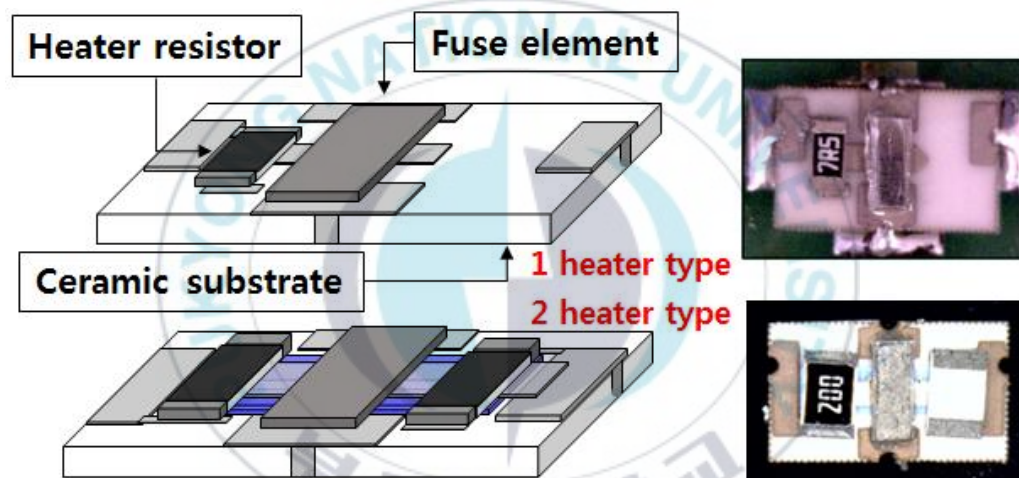


Fig. 20 Inner structure of sample for test

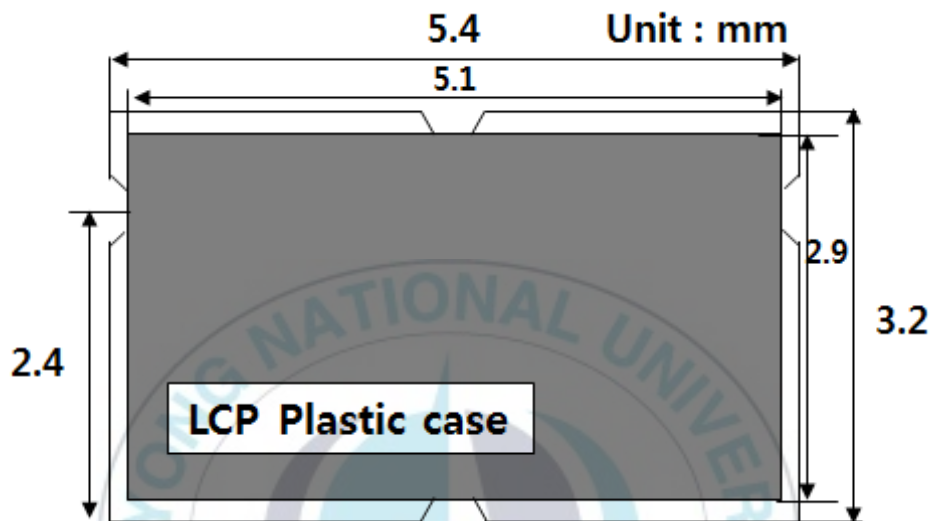


Fig. 21 External dimension of sample

Table 6. Alloy component of fuse element

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

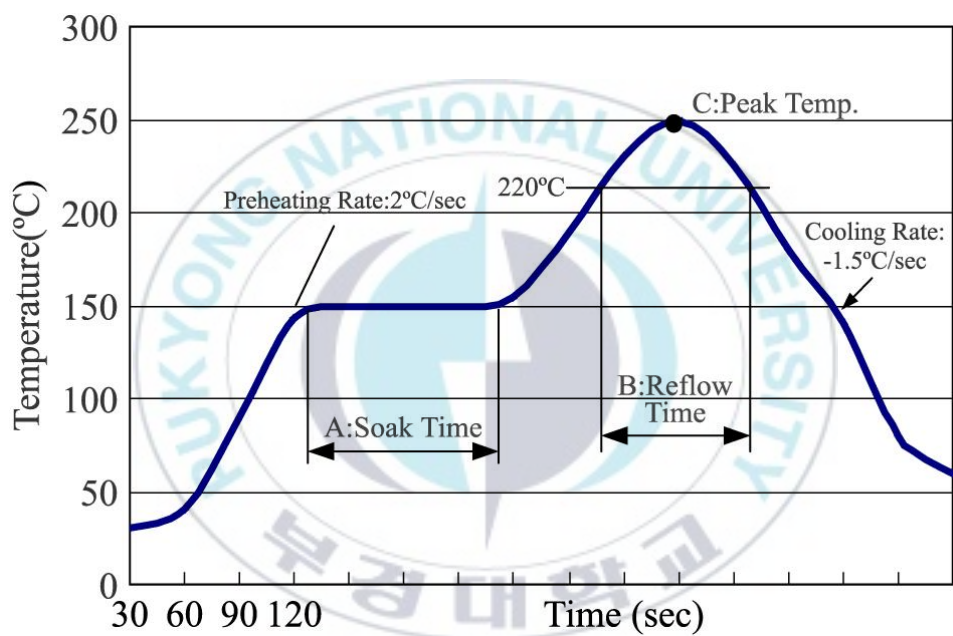


Fig. 22 Surface mounting process temperature profile of PCB soldering metal-filler

3. 실험결과

3.1. 미세조직 관찰

Fig. 23 (b), (d)는 86Pb- 12Sn-2Ag 의 조성을 갖는 공정조성이 아닌 저용점 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. 그리고 Fig. 23(c) EDS의 결과로부터 오차 범위 1% 이내로 합금의 성분이 원하는 비율로 제작되었음을 확인 할 수 있다. 이상의 금속 미세조직사진 결과로부터 합금이 올바르게 제작되었음을 확인할 수 있다³⁰⁾.

3.2. 전기적 특성 시험

Fig. 24에서 각 통전 점에서의 퓨즈의 저항 값을 측정 하였다. 넓은 범위의 I-T동작 특성을 확보하기 위하여 정격전류 12A를 기준으로 퓨즈 가용체의 두께를 0.5mm, 0.6mm, 0.7mm, 0.8mm로 나누어 전기적 특성의 변화를 확인하였다.

$$\begin{aligned}
P_c &= P_t - P_r \\
P_c &= I^2 \times R \\
P_t &= m \times c \times \Delta t \\
P_r &= \alpha \frac{\delta^2 T}{\delta x^2} = \frac{\delta T}{\delta t}
\end{aligned} \tag{9}$$

P_c : Heating power according to current

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

P_r : Heat transfer equation

Fig. 24의 결과로부터 미소 전류에 대한 감지 동작 후 히터 발열 동작을 하는 방향의 저항은 평균 $6.3\Omega \sim 4\Omega$ 까지로 가용체의 두께에 따라 변하고, 퓨즈 가용체의 한류 동작을 위한 통전 방향으로의 저항은 약 $3.85m\Omega \sim 1.98m\Omega$ 까지 나타남을 확인할 수 있다. 이에 따라 퓨즈 가용체의 전압강하 값이 정격전류 10A~15A일 때 100mV를 넘지 않아 IEC 60127-4의 정격전류 조건을 만족함을 알 수 있다. 그리고 전류 감지형 동작을 위한 히터 저항의 발열량을 충분히 상승시키기 위하여 식(9)로부터 퓨즈 가용체의 용단을 위한 간접 발열 임계온도 PT 값을 전류에서 계산할 수 있고 이는 다시 전압으로 산정 가능하다.

Fig. 25에 전류감지 동작형 퓨즈의 한계전류 동작 특성 즉 I-T 동작 특성을 나타내었다. 결과로부터 Pb-Sn 합금 두께 0.5mm 샘플은 정격 전류가 약 12A 이고 정격전류의 1000% 인가전류에서 0.014초의 동작 시간을 가지는 일반 동작형 퓨즈 특성을 가지는 것을 확인 할 수 있다. 일반적인 IEC 60127 규격에 정의된 퓨즈의 동작 특성은 정격전류의 1000% 인가 전류에 대한 동작시간이 4ms~20ms 구간일 경우 일반 동작특성으로 분류 된다³¹⁾.

Fig. 25의 I-T 커브 결과로부터 기존의 한류형 퓨즈에서 와이어 형태의 가

용체와 달리 플레이트 형태의 가용체 구조가 I-T 커브의 변화율을 크게 하여 정격전류 선을 높은 전류 방향으로 이동 시킨 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 퓨즈의 동작 특성은 빠른 동작특성의 방향으로 이동하며, 해당 특성은 퓨즈 가용체의 재료 및 형상에 따라 결정되는 인자로 퓨즈 가용체의 두께 상승은 Fig. 26와 같이 I-T 커브 전체를 이동시킨다.

Fig. 27의 결과로부터 미소전류 변화에 대한 감지동작은 IC에 의한 변경 전압이 상대적으로 높은 용점의 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 저항값의 변경과 히터 저항의 적용 개수 등을 변경 하여야 한다.

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. 용점이 상대적으로 낮아 히터 금속의 발열에 용단하는 저용점 금속의 경우 상대적으로 높은 안전을 보장할 수 있는 동작형태로, 동작 시간 또한 가장 빠른 시간에 용단하여 이차전지로 유입하는 과전류를 최소화 할 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. Fig. 28에 Pb-Sn-Ag 합금 가용체로 제작된 전류감지 동작형 퓨즈의 발열 히터 저항의 변경에 따른 용단 범위

의 이동을 나타 내었다. 결과로부터 기존 6V에서 10V까지 동작하던 가용체 조건을 최대 19V까지 동작 가능함을 저항 변경을 통해 확인 하였고 결과를 이용하여 전류 감지 동작의 안정성을 확보할 수 있음을 확인 하였다. 또한 기존에 한 개의 발열 저항 히터를 구성하는 전류 감지 동작 구조에서 히터를 2개, 혹은 3개를 구성한 동작 구성 시 Fig. 29과 같이 한쪽 히터의 용단 후 나머지 히터의 발열을 이용한 발열 범위를 넓힐 수 있다. 이와 같은 설계는 퓨즈 가용체를 용단 시키는 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. Fig. 28, Fig. 29의 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 Fig. 30와 같이 넓은 이상상태 범위에서 안전을 확보할 수 있다.

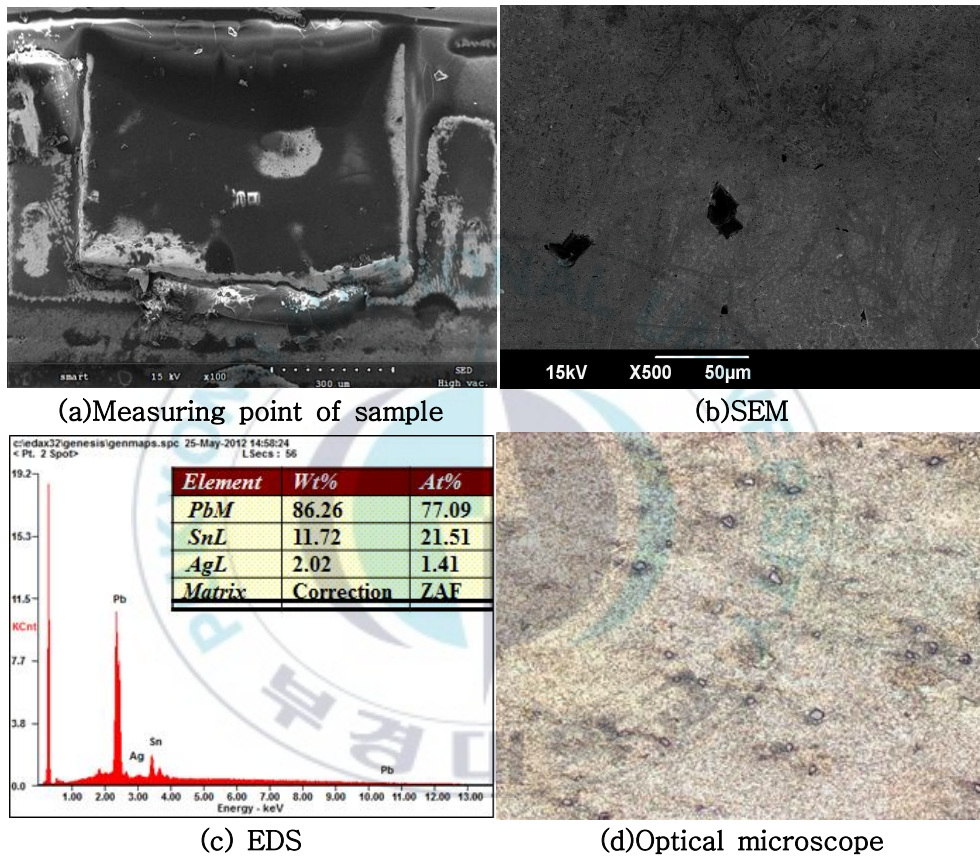


Fig. 23 Analysis of metal structure and EDS contents with low melting point fuse elements

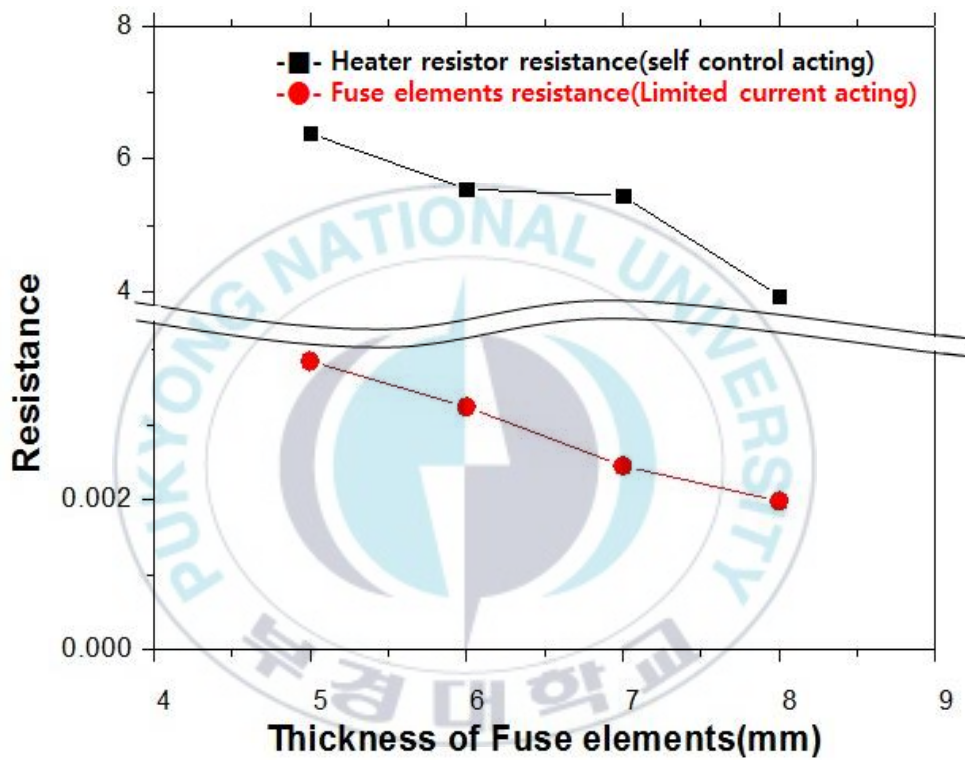


Fig. 24 Result measurement of resistance for fuse according to elements thickness

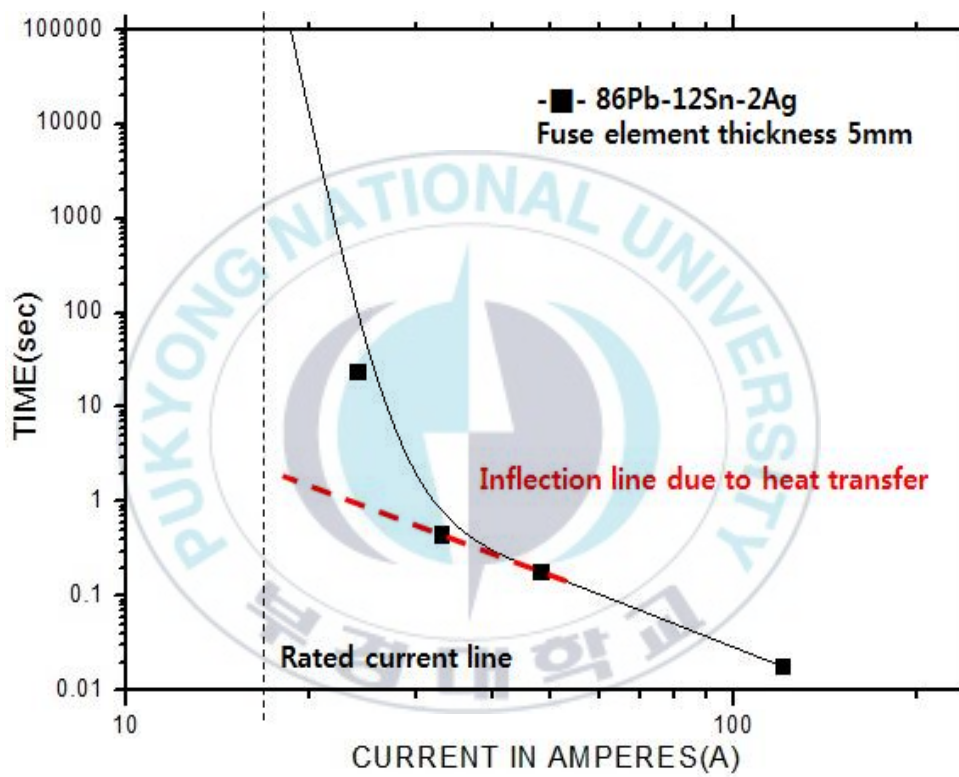


Fig. 25 Current operation characteristics I-T curve of a current sensing type fuse

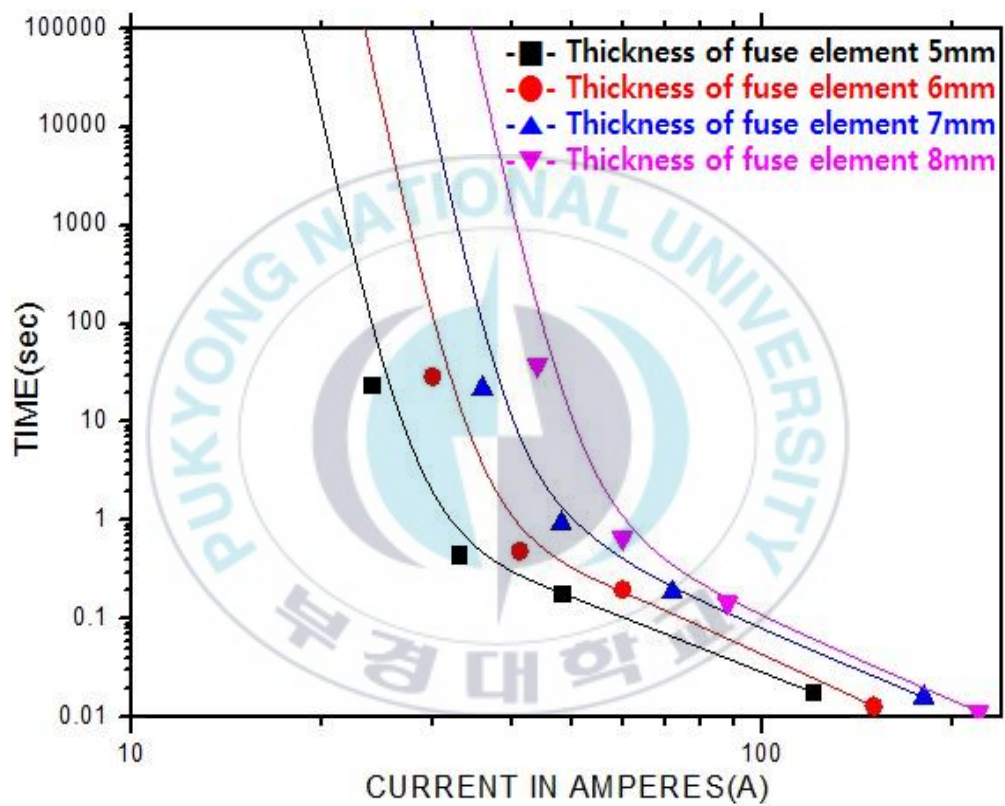


Fig. 26 Current operation characteristics I-T curve of a current sensing type fuse according to fuse element thickness

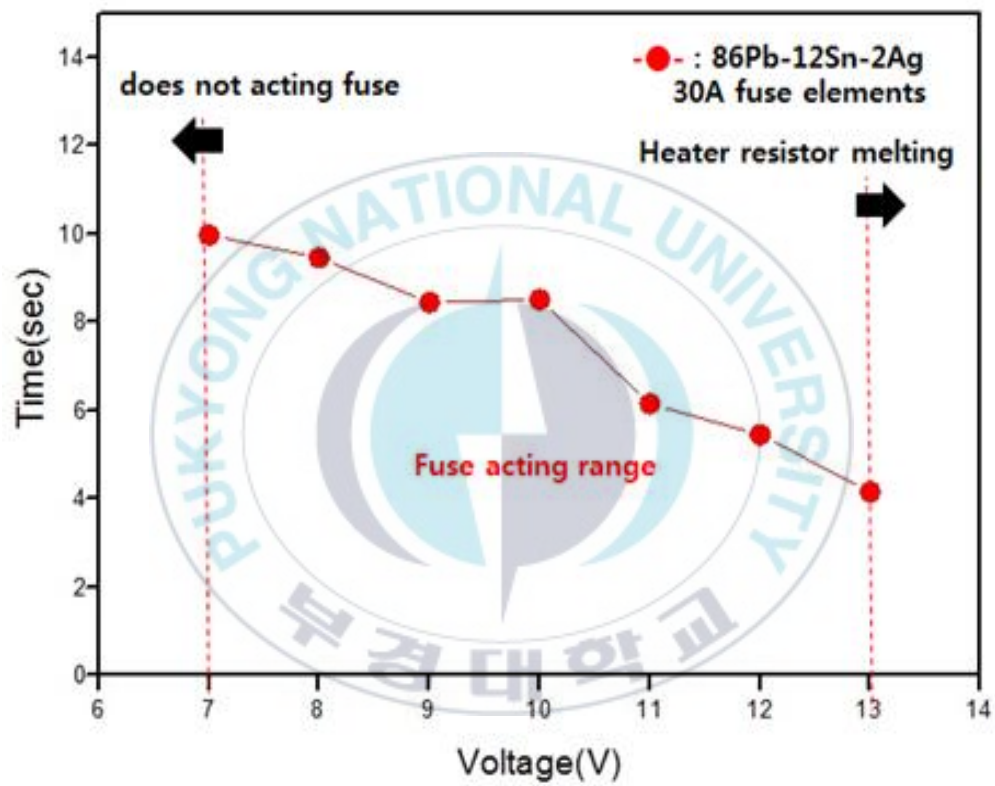


Fig. 27 Sensing operation characteristics V-T curve of a current sensing type fuse

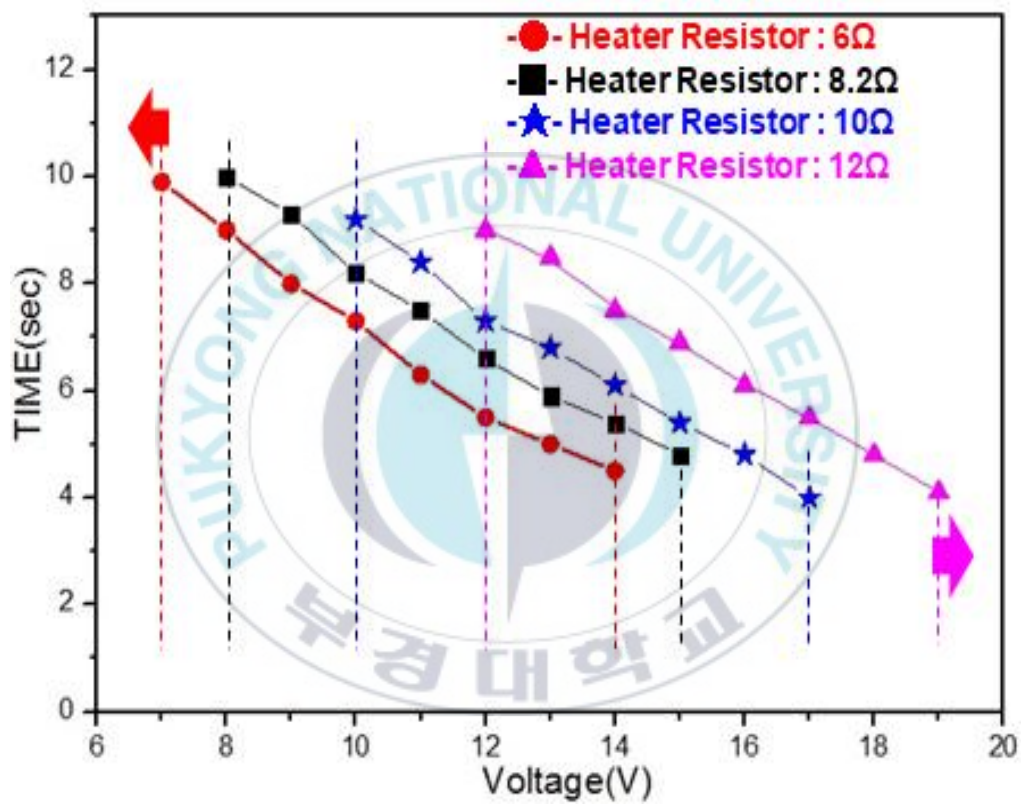


Fig. 28 Movement of V-T curve by changing the heating resistor

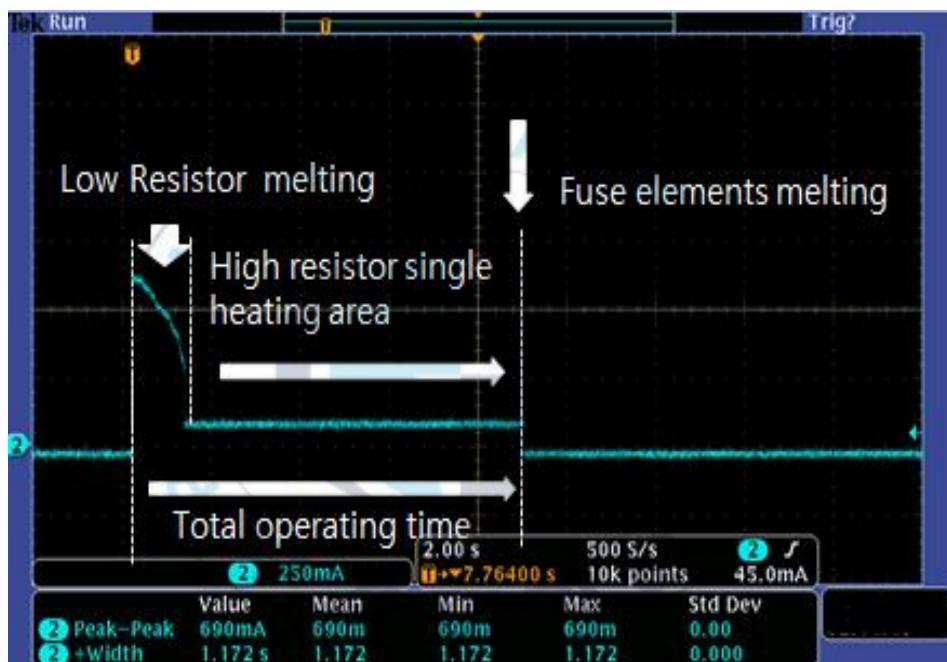


Fig. 29 Movement of V-T Curve by parallel connection of heating resistor

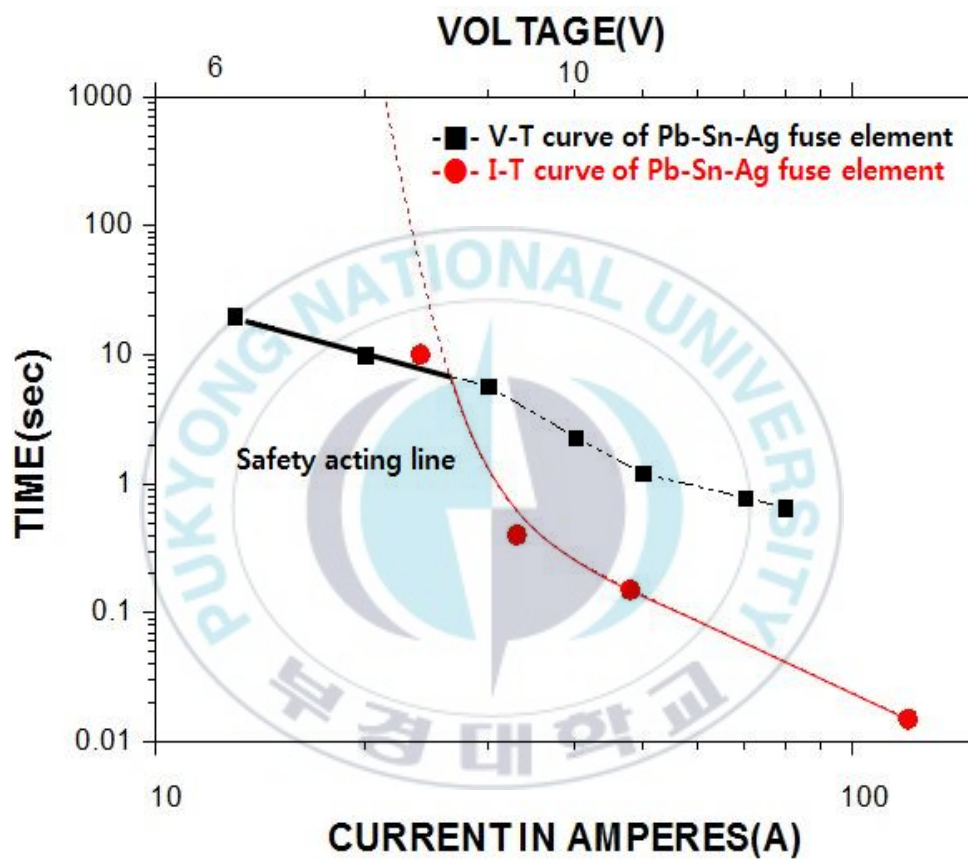


Fig. 30 Fuse acting line of current sensing type fuse(Pb-Sn)

4. 결 론

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

휴대용 이차전지는 단락 돌입 전류의 상황 외에도 미소전류변화에 대한 화재 및 폭발이 발생할 수 있으며, 일반적인 수동 동작 한계 전류형 퓨즈로는 안전을 확보할

실험 결과로부터 제작된 가용체 합금 금속의 조성을 확인하기 위해 미세조직 분석을 수행하였으며, 설계한 합금의 조성이 양호하게 제작되었음을 알 수 있었다. 각 저용점 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 저용점 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, 미소전류 변화 상황에 대응할 수 있는 적절한 보호소자 설계가 이루어졌다고 판단할 수 있다.

제 IV 장

바이메탈 합금 두께에 따른 이차전지 온도
상승 제어 보호소자의 I-T 동작특성 및 동작
안전성 연구

1. 서 론

일반적으로 휴대용 중소형 이차전지의 사고가 가장 많이 발생하는 충전 상황에서 회로 단락, 케이블 문제, 돌입 전류 등은 이미 이차전지가 도입되는 시점에서부터 위험성이 인지되었고 메인퓨즈, 차단기, 이상전류 감지형 보호소자 등의 적용으로 화재 및 폭발을 방지하고 있다. 하지만 전류의 변화 및 과전류, 과전압을 수반하지 않고 평시 동작에서 폭발이 가능한, 온도 상승 상황의 경우 휴대 제품을 사용하는 중 이차전지가 폭발할 수 있음에도 불구하고 보호소자의 적용이 이루어지고 있지 않아 인명의 피해로 직결되고 있다. 그렇기 때문에 이차전지 보호회로의 경우 Fig. 31와 같이 메인 전류 감지형 보호퓨즈 이외에도 온도감지 동작 제어형 리셋터블 퓨즈가 필수적으로 포함되어야 한다.

이차전지에서의 화재 및 폭발 사고는 일반 송배전 전력체계와 달리 전류, 전압에 의한 소손(화재)뿐만 아니라, 이차전지의 4대 핵심소재인 양극 활물질, 음극활물질, 분리막, 전해액의 상호 작용에 의한 폭발 등 다양한 원인이 있고, 발생 가능한 요인과 보호 체계를 Table 1의 사고 동작과 같이 정리할 수 있다. 여러 이차전지 위험 상황에서 보호의 체계가 각각 다르지만 특히 셀의 온도 상승의 경우 전류량의 변화를 수반하지 않기 때문에 보호소자인 퓨즈와 차단기가 동작하지 않는다.

이로 인해 셀의 온도 상승에서 이차전지가 충전 혹은 방전을 지속할 경우 이차전지 내부 활물질과 전해액의 상호작용에 의한 폭발 및 화재 사고가 발생하게 되고 이를 이상전류 발생이 없는 화재 및 폭발로 규정할 수 있다. 하지만, 일반적으로 온도 퓨즈의 적용은 완전한 회로의 단락으로 고장 상태를 유

지하게 되어 온도가 하락한 후에 사용이 불가능하기 때문에 리셋터블 퓨즈를 적용하고 이차전지의 온도가 설정한 온도 이상이 되면 충전 혹은 방전을 수행 하던 이차전지의 회로를 열어 전류의 통전을 막아 폭발을 방지하고 온도가 하락하면 다시 회로를 연결하여 정상적인 통전을 수행하게 한다. 이와 같은 복귀형 퓨즈의 동작 안전성을 확보하기 위해서는 특정 온도에서의 응답속도, 재현성, 스위칭 속도 등이 안정되어야 하며, 통전 중인 회로를 분리시킬 때 포스트 아크에 의한 화재를 방지하기 위해서 절연성과 단락 이격거리가 중요하다. 이에 본 연구에서는 전류 및 전압의 변화 없이 폭발 및 화재 사고가 발생할 수 있는 이차전지 온도 상승 상황에서 안전성을 확보하기 위한 온도 스위치형 퓨즈 (Thermal Cut-off) 보호 체계의 필요성 검토와 동작특성 연구를 통하여 휴대용 전자기기용 이차전지의 안전한 설계 방향을 제시하였다.

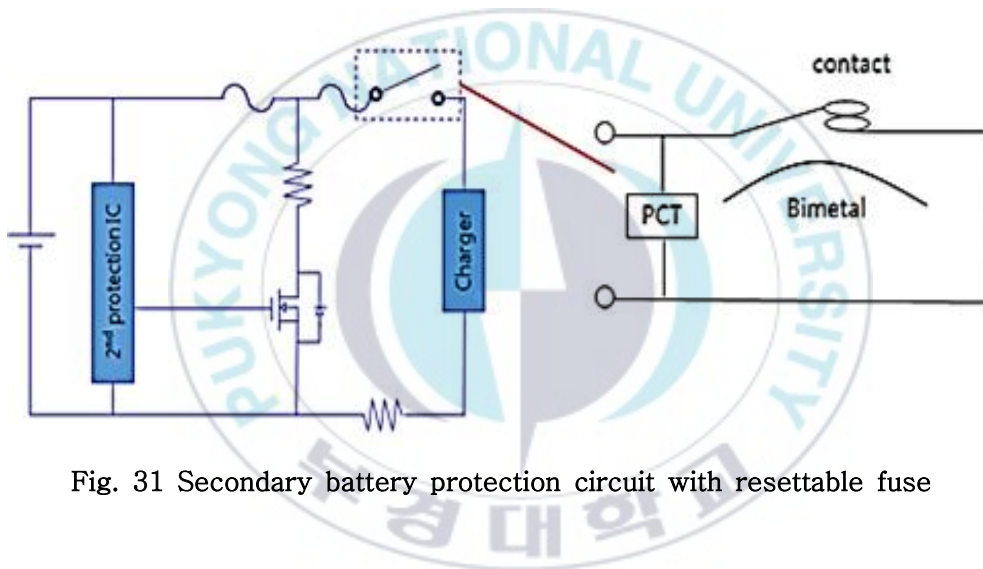


Fig. 31 Secondary battery protection circuit with resettable fuse

2. 본론

2.1. 바이메탈의 동작 개요

온도 감지 리셋터블 보호소자의 동작은 Fig. 32와 같이 열팽창 계수가 다른 두 금속 면을 분리가 되지 않도록 접합하여 온도 상승에 따라 열팽창률이 작은 금속 쪽으로 금속이 휘어지는 특성을 이용한 것으로 온도와 동작속도는 접합된 두 재료의 열팽창계수 차이, 두께 등에 따라 다르다.

일반적으로 바이메탈의 열팽창계수가 낮은 금속은 인바 합금(Invar alloy)으로 명명된 Fe-36%Ni를 기본으로 스테인리스 인바, 슈퍼 인바 등 열팽창 계수가 적어 고온용 재료로 사용하는 금속이 적용된다. 온도가 상승하면 인바 합금 쪽으로 휘어지는 바이메탈의 특성상 스위치를 들어올리기 위하여 인바합금을 스위치 쪽으로 향하게 하고 온도를 상승시키면 회로가 오픈 상태가 된다. 이와 같은 원리를 이용하여 인바합금에 접착될 열팽창 계수가 큰 금속의 합금 종류와 두께를 조정하면, 원하는 온도에서 일정한 속도로 동작하도록 제작할 수 있고, 바이메탈을 이용하여 온도의 상승에 대하여 충전 방전 동작만 제어해 주는 방법은 기존의 온도 용단형 퓨즈와 달리 퓨즈의 교체가 필요 없고 또한 이차전지의 주변온도에 민감하게 반응해 안전하게 이차전지를 사용할 수 있다.

2.2. 리셋터블 퓨즈의 동작 안전성

일반적인 한류형 퓨즈와 바이메탈을 이용한 리셋터블 퓨즈의 가장 큰 동작 특성적 차이는 한계 전류형 퓨즈 동작의 가능여부이다. 한류형 퓨즈 가용체의 재료와 선경이 결정되면, 퓨즈 가용체의 고유 에너지를 확인할 수 있는 I-T

curve의 하단 부는 이동이 어렵다. 해당 영역은 인가되는 전류에 의해 퓨즈가 용단하는 시간이 퓨즈 가용체가 인가 전류와 내부 저항에 의해 상승한 온도를 이동시키는 시간보다 빠른 영역이기 때문이다. 그리고 로그 스케일의 I-T 커브에서 해당 불변 영역은 정격전류의 10배 이상 높은 이상전류 유입에도 퓨즈의 용단 시간이 비례적으로 더 빨라지고, 절연거리가 커지는 것을 나타낸다³²⁾.

이는 유입되는 전류 혹은 온도가 아무리 빨리 상승하더라도 바이메탈이 동작하는 속도는 변하지 않는 리셋터블 퓨즈의 특성과 반대되는 동작으로 높은 돌입전류나 온도 변화에 대한 안전성이 한류형 퓨즈가 더 우수함을 보여준다. 반대로 낮은 전류 저온의 온도변화에 대한 한류형 퓨즈는 I-T 커브와 같이 정격전류의 125% 이하에서 전혀 동작하지 않아 미소변화에 대한 안전성은 온도 감지 리셋터블 퓨즈가 우수함을 알 수 있다. 이와 함께 리셋터블 퓨즈의 퓨즈 동작 안전성을 확인하기 위해 차단용량과 절연저항, 그리고 정격전압 확정 시험 후 바이메탈형 리셋터블 퓨즈의 안전한 이차전지 사용 한계를 결정할 수 있다.

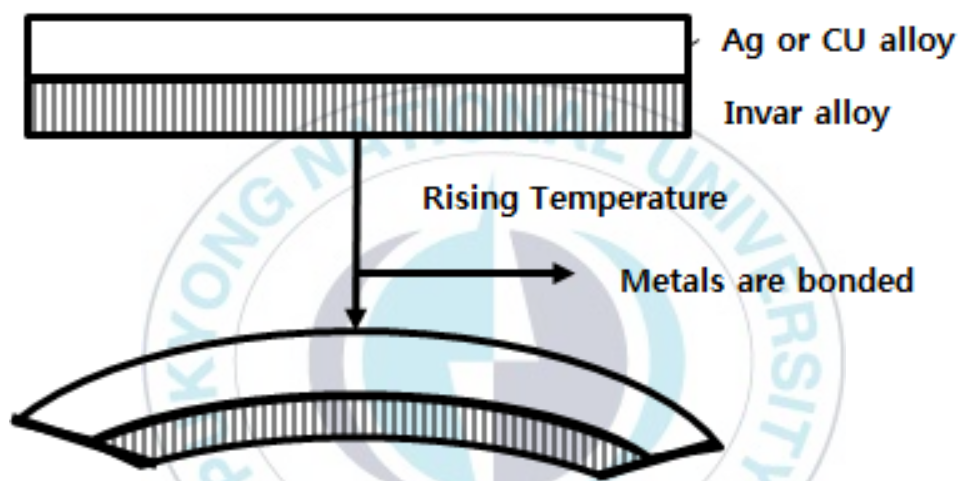
2.3. 실험 방법

실험은 바이메탈의 변형에 용이한 소재 구조로, 열 흡수의 면적을 최대화하기 위하여 박막 플레이트 형태의 바이메탈 금속 적층 구조를 구성하였다. 재료의 영향과 바이메탈 두께의 영향을 확인하기 위하여 제작된 Fe-36wt%Ni 합금에 열팽창이 우수한 은(Ag), 구리(Cu) 금속을 도금 시간을 조정하여 바이메탈을 제작하였고 이 중 순동과 순은 도금 두께에 따라 세분화 시험을 실시하였다. 샘플의 제작 방법은 휴대용 전자기기 적용을 위한 제품의 사이즈인 2.0×8.9×1.05mm에서 Fig. 33와 같이 내부 구조 형상을 구성하고, 제품 크기의

상승 없이 정격 용량을 상승할 시에도 기존의 제품을 기본으로 넓이의 자유도를 가지도록 설계하였다.

실험은 인바합금에 도금 두께에 따라 제품을 제작하여 모든 시료의 불량 단선 여부 등을 확인하였다. 각 시료군은 최소 20개 이상의 예비 시료를 확보하고 기판 실장 후 모든 시료의 전기저항을 측정하고 주기하였다. 이후 DC 파워서플라이를 사용하여 전기적 특성 실험을 실시하였고, 전류에 따라 동작되는 시간을 분석하여 시험 결과를 도출하였다.





Bimetal : Bent to lower thermal expansion metal

Fig. 32 Fundamentals of bi-metal motion



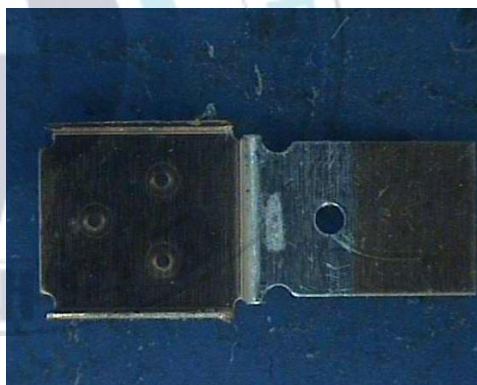
(a) Bi-metal



(b) Assistant plate



(c) Switch plate



(d) Bottom plate

Fig. 33 Inner structure of a sample

3. 실험결과

3.1. 샘플 구조 및 일반 물성

Fig. 34에 제작된 샘플의 구조적 동작 방법을 나타낸다. 그리고 인바 합금과 은, 구리 도금 실험 샘플의 저항을 확인하기 위해 측정한 저항 결정 시험의 결과를 Fig. 35에 나타낸다. Fig. 34으로 부터 퓨즈가 동작하는 상부 스위치를 움직이기 위하여 인바 합금을 위로 향하게 위치시키고 다른 금속 층은 순은과 순동을 두께에 따라 도금하여 샘플을 제작하였다.

Fig. 35로부터 Fe-36wt%Ni 인바합금과 동일한 두께의 순동 및 순은을 도금한 시료의 저항은 구리 도금 바이메탈이 $5\text{m}\Omega \pm 10\%$, 은도금 바이메탈이 $2.1\text{m}\Omega \pm 5\%$ 으로 측정된다. 이는 제작된 두 종류의 리셋터블 퓨즈가 낮은 저항을 유지하여 회로의 설계에 영향 없이 단지 보호의 역할만 수행하는 보호소자의 기본 조건을 만족한 것으로 판단할 수 있다. 그리고 이와 같은 전도도와 저항의 차이로 인해 전기에 대한 퓨즈의 동작속도인 I-T 동작 특성의 차이를 확인 가능하다.

일반적인 전기적 발열에 의한 한류형 퓨즈의 용단 과 마찬가지로 바이메탈 동작에 의한 리셋터블 퓨즈의 동작도 금속소재 내부에 흐르는 전류에 의해 저항 발열이 특정 임계 온도를 초과하면 발생하는 현상으로 판단 가능하다.

3.2. 전기적 특성 시험결과

Fig. 36의 결과로부터 도금 금속의 전기 전도성의 차이에 의해 리셋터블 퓨즈의 동작 시간이 지연되고 이는 선택된 바이메탈의 재료에 의해 퓨즈의 동작 특성이 조정 가능함을 알 수 있다.

리셋터블 퓨즈에서도 퓨즈의 저항 증가는 전류 통전 시 발열량과 비례하기 때문에 퓨즈의 정격과 밀접한 관련이 있음을 확인할 수 있다³³⁾. 하지만 리셋터블 퓨즈의 정격 전류의 경계는 한류형 퓨즈 보다 더욱 명확하며, 열의 이동에 의해 재료 고유의 I-T 커브가 이동하며 한류형 퓨즈의 정격선을 만들어 내는 것과 달리 리셋터블 퓨즈는 Fig. 37와 같이 최초 동작 전류 이전의 전류에서는 동작을 하지 않아 명확히 정격전류 점이 나타난다.

I-T 커브에서 퓨즈가 동작하기까지 보호소자에 유입되는 에너지는 I^2T 값을 계산하여 확인 가능하며 Fig. 38에 일반적인 한류형 퓨즈 1A와 제작한 리셋터블 퓨즈의 결과를 나타내었다.

Fig. 38의 결과로부터 한류형 퓨즈의 경우 유입되는 전류의 양이 증가하여도 이에 따라 동작속도와 절연거리가 비례적으로 증가하기 때문에 돌입전류에 대한 안전성이 우수함을 확인할 수 있고, 반대로 리셋터블 퓨즈의 경우 최초 동작 미소전류변화 및 온도변화에 대한 동작속도가 충분히 빠르기 때문에 미소 과전류 발생 상황이나 온도상승 상황에서 안전을 확보할 수 있다.

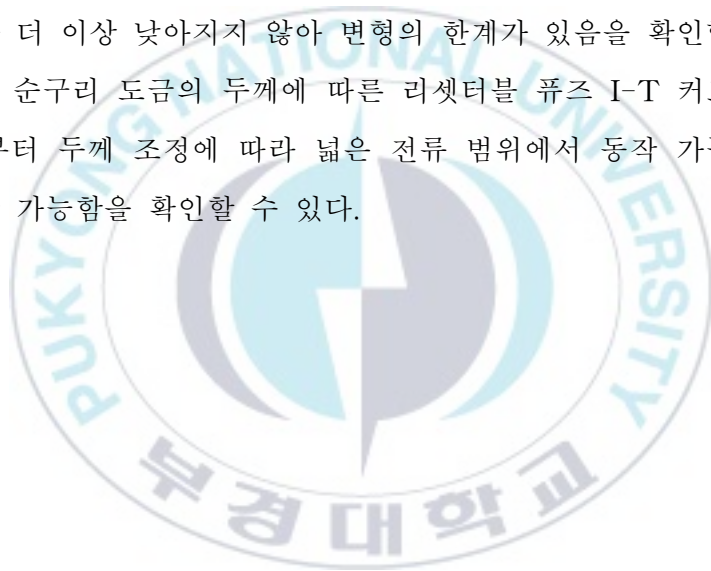
Fig. 39의 결과로부터 상온에서 2A의 유입 전류에 작동하던 리셋터블 퓨즈는 온도가 상승함에 따라 동작 전류가 낮아지기 때문에 온도 상승과 비례하여 더욱 안전을 확보할 수 있고, 위험 설정 온도에서는 전기기기의 동작시작을 차단하여 안전을 확보할 수 있다.

동작 온도를 설정하기 위한 방법으로 안바 합금 혹은 도금으로 구성된 열팽창 금속의 종류를 변경하는 방법과 바이메탈의 두께를 조정하는 방법으로 동작 온도를 설정할 수 있다³⁴⁾. 바이메탈은 일반적으로 인바 합금과 동일한 두께의 열팽창 금속을 사용하여 동작의 안정성을 추구하지만 최근 이차전지 등 온도에 민감한 제품의 동작을 제어하기 위해 동작 온도가 낮아지고 있는 추세

에서 Fig. 40의 조직 사진과 같이 바이메탈 두 금속의 두께를 달리하여 안전성을 확보하는 방법이 사용되고 있다.

Fig. 41에 인바 합금에 도금한 구리와 은의 두께에 따른 동작온도를 나타내었다. Fig. 41의 결과로부터 열팽창을 담당하는 금속의 두께가 증가할수록 낮은 온도에서 동작하였고, 순은을 4 μ m 도금한 시료는 100℃이내에서 동작하지 않았다. 이는 바이메탈의 변형을 위한 힘을 충족하기 위해서는 접합된 금속의 일정 이상 두께가 필요함을 보여주고 Fig. 41과 같이 특정 두께 이상에서는 동작 온도가 더 이상 낮아지지 않아 변형의 한계가 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 42에 순구리 도금의 두께에 따른 리셋터블 퓨즈 I-T 커브를 나타내었다. 결과로부터 두께 조정에 따라 넓은 전류 범위에서 동작 가능한 리셋터블 퓨즈를 제작 가능함을 확인할 수 있다.



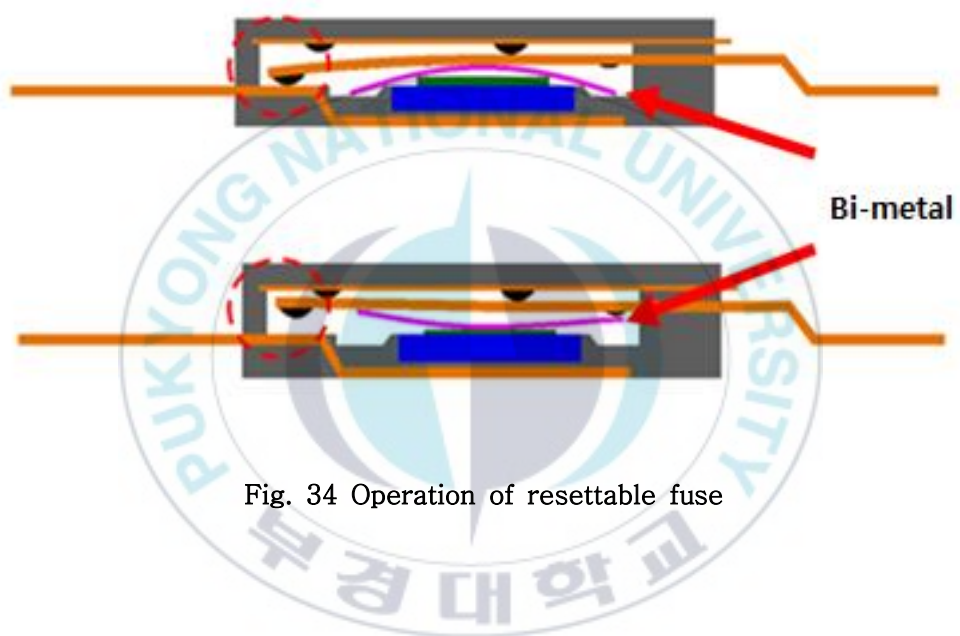


Fig. 34 Operation of resettable fuse

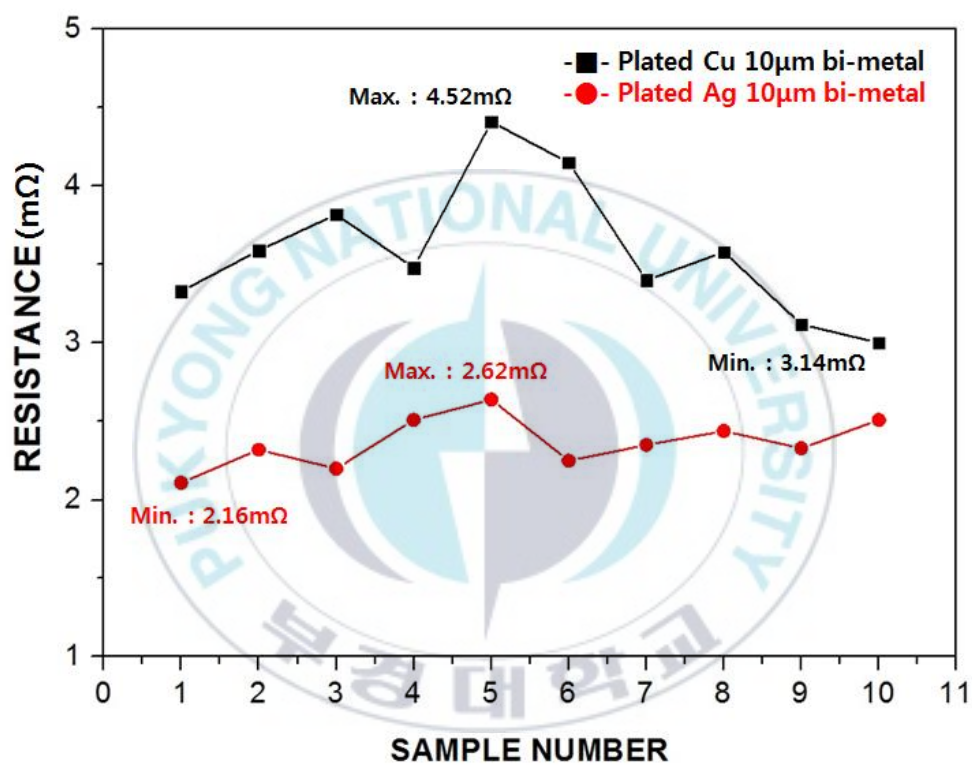


Fig. 35 Result of a resistance determination test

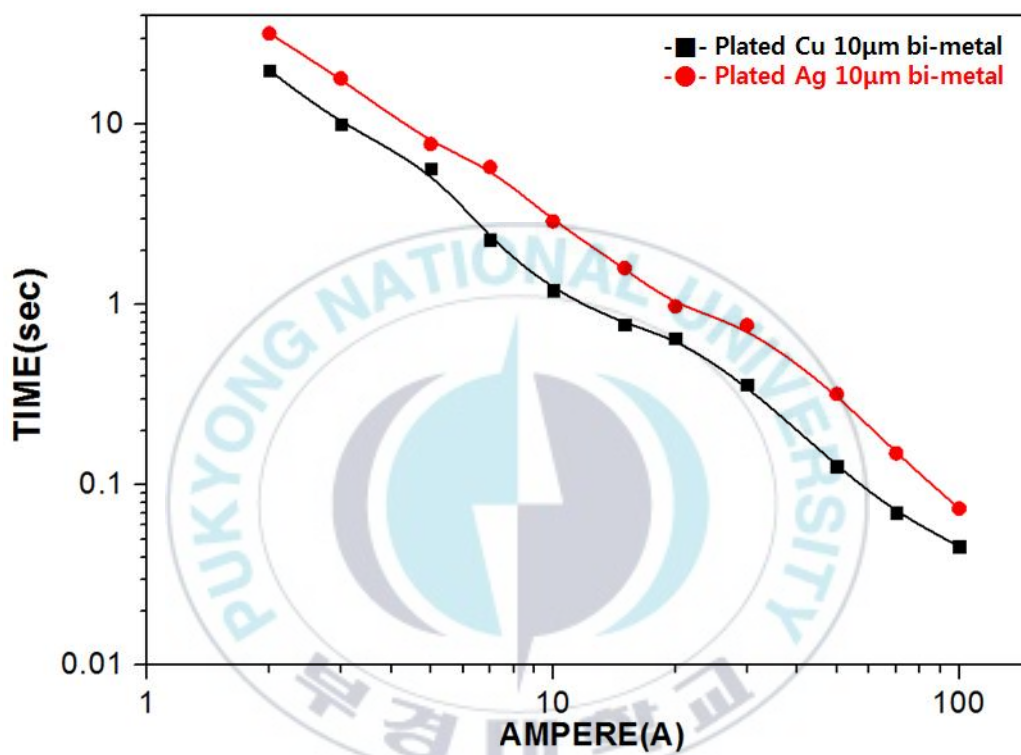


Fig. 36 I-T curve of resettable fuse

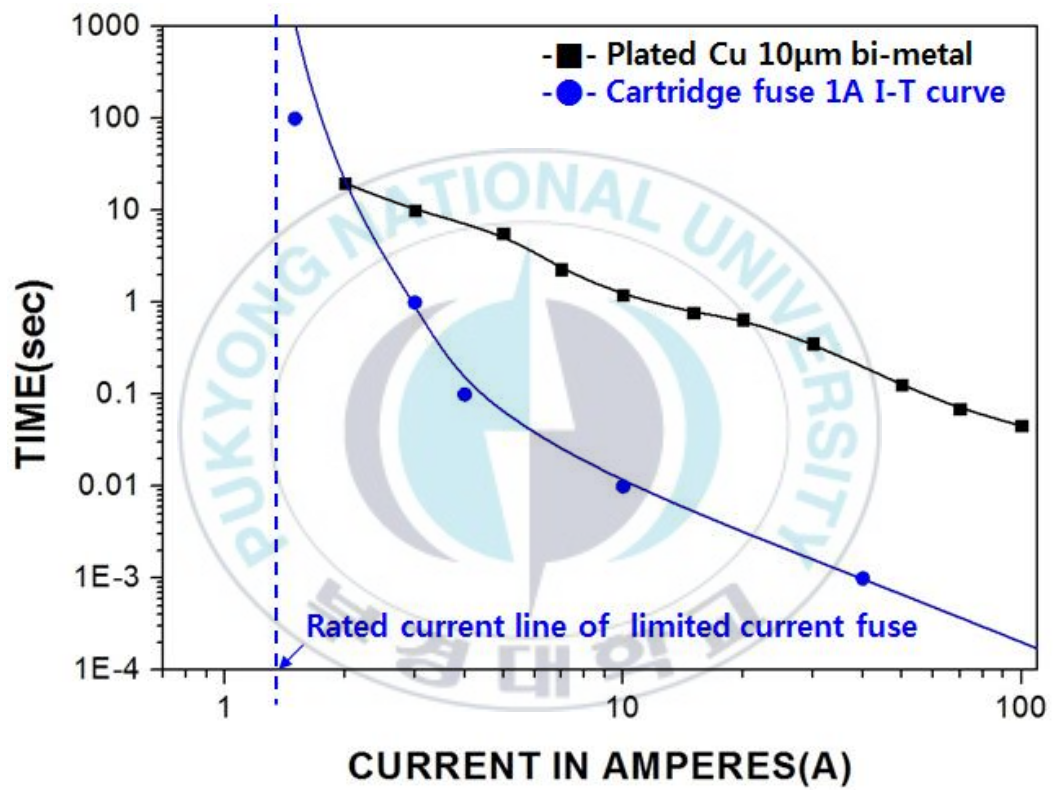


Fig. 37 Comparison of I-T curves between a limited current type fuse and a resettable fuse

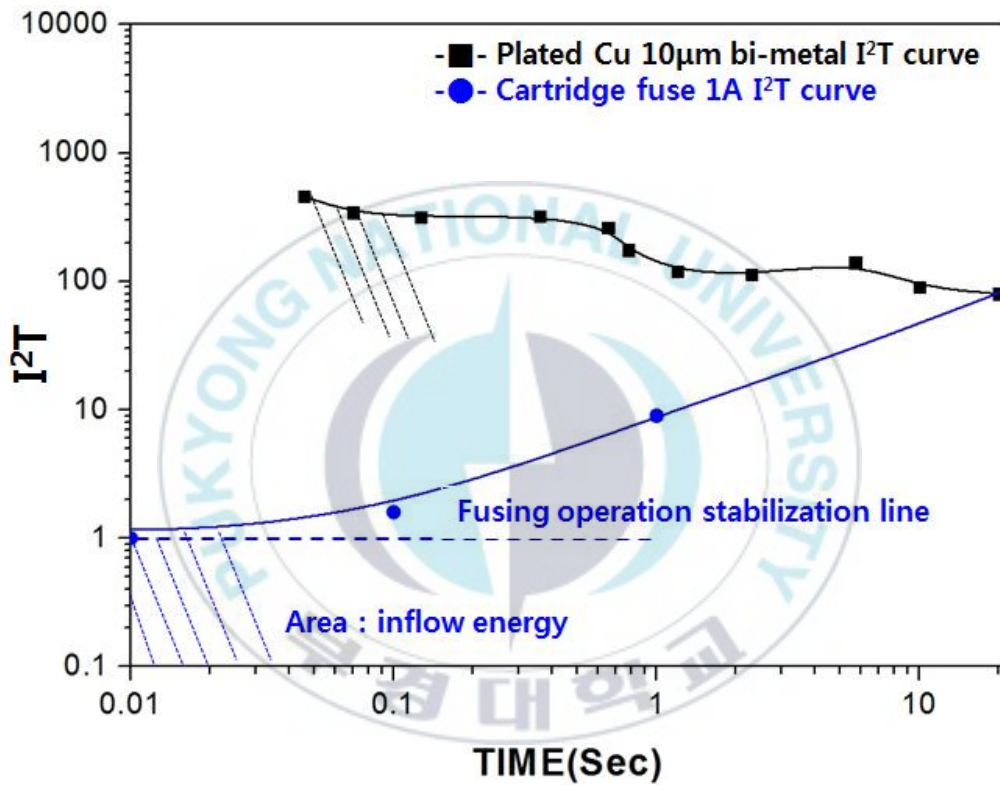


Fig. 38 Comparison of I^2T curves between a limited current type fuse and a resettable fuse

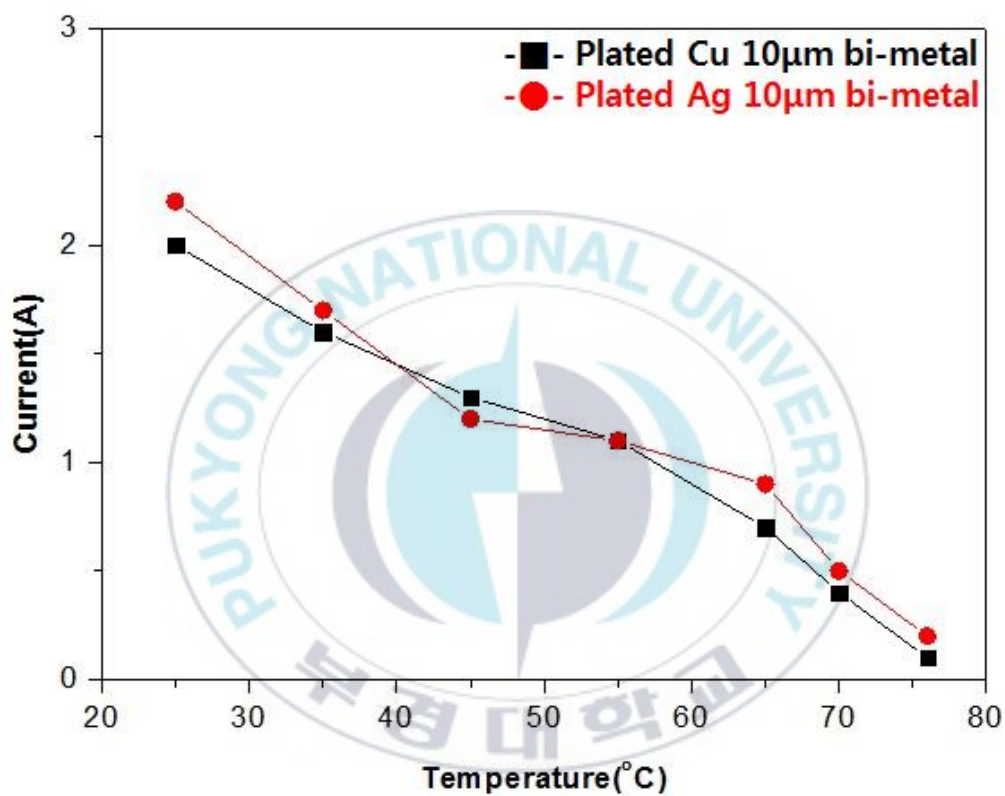


Fig. 39 Operating current change with temperature rise

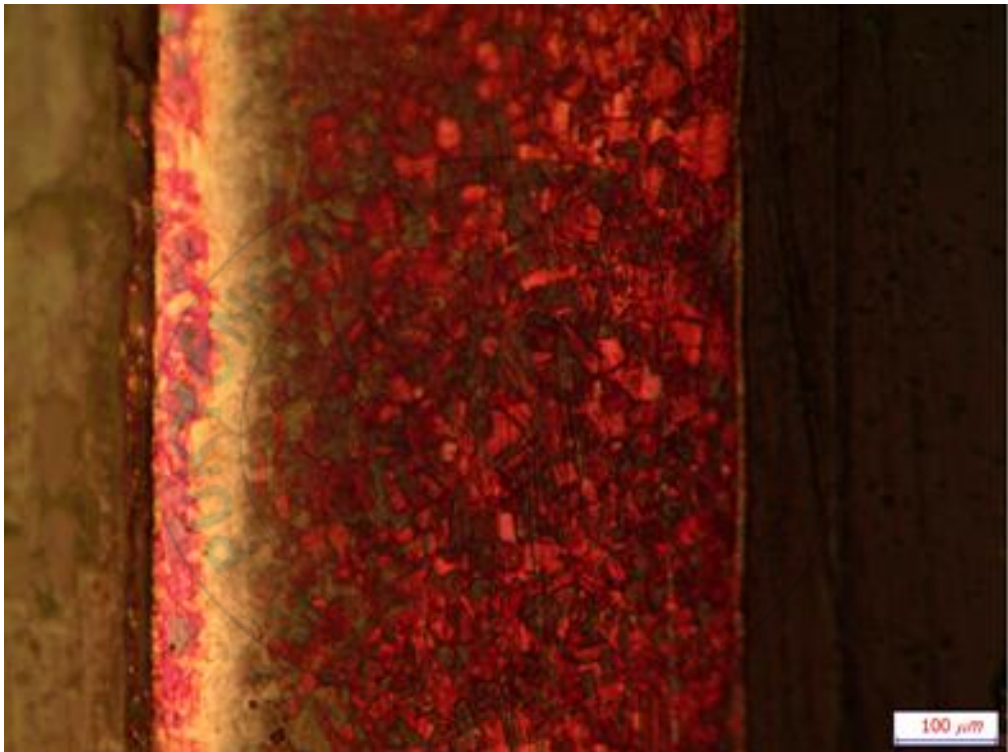


Fig. 40 Structure photograph of bi-metal junction

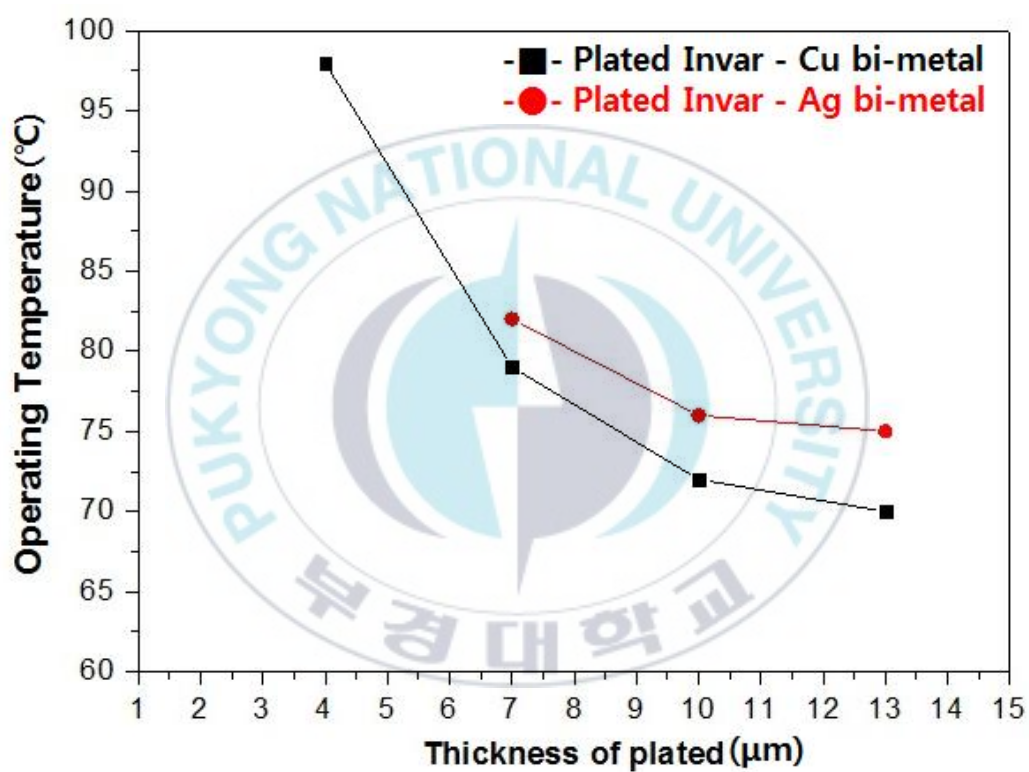


Fig. 41 Change of operating temperature according to plating thickness

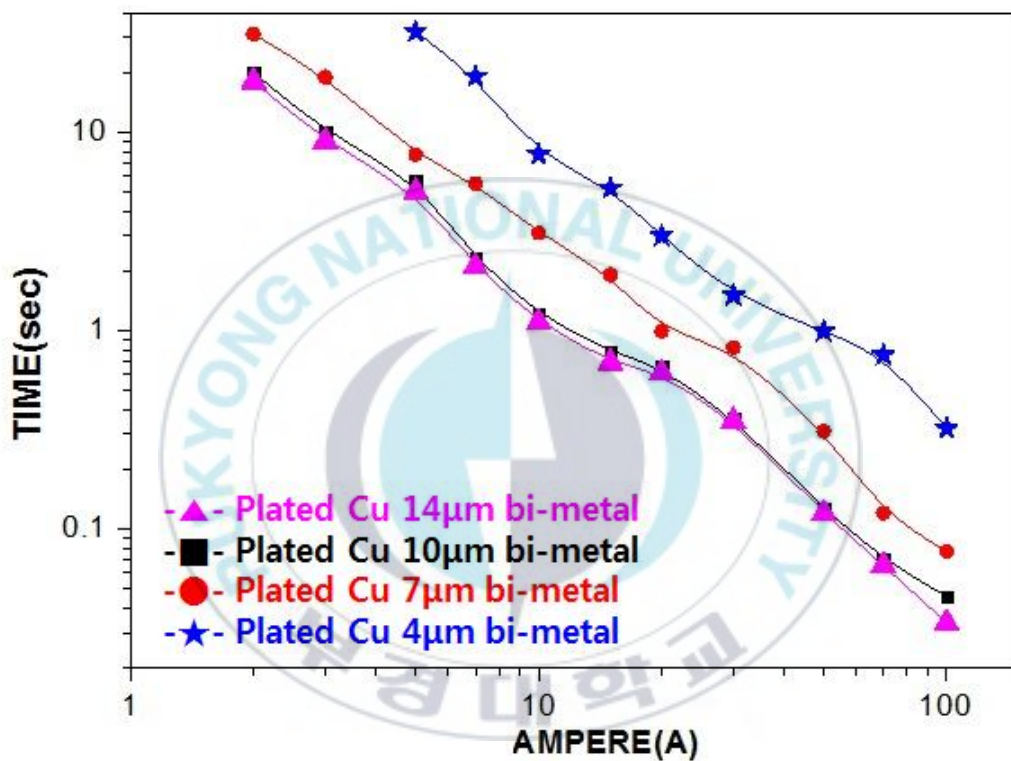


Fig. 42 Movement of I-T curve according to plating thickness

4. 결 론

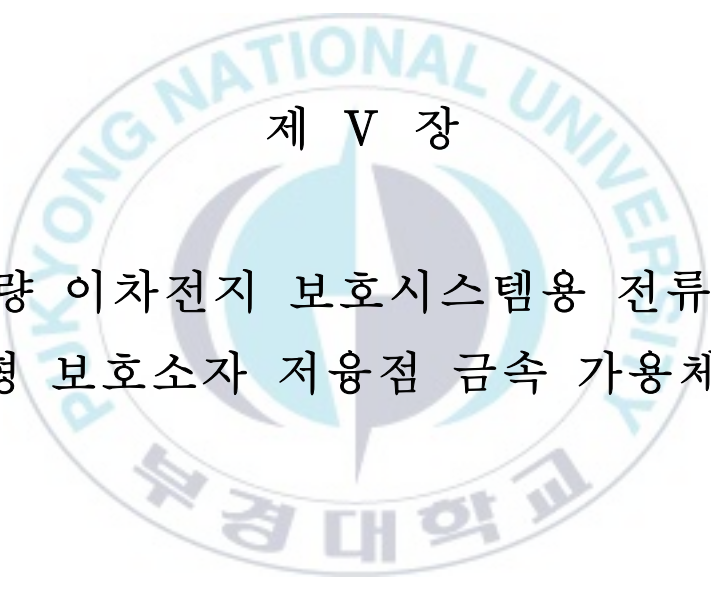
본 실험은 이차전지의 온도 변화에 따른 휴대용 전자 기기의 폭발 및 화재
를 방지하기 위하여 온도 변화와 전류에 동작하는 바이메탈형 리셋터블 퓨즈
를 제작하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

이차전지는 전류의 변화를 수반하지 않는 온도의 상승 상황에서 화재 및 폭
발이 발생할 수 있으며, 이는 휴대용 전자 기기의 사용 중 발생하는 위험으로
인명피해가 심각하다. 때문에 휴대용 전자 기기의 사용 중 이차전지의 온도
상승에 대한 전류 제어 보호소자가 필요하며, 바이메탈형 리셋터블 퓨즈가 연
구의 결과로 부터 적용이 적합함을 확인하였다.

제작된 합금 저항 금속의 조성을 확인하기 위해 EDS 분석을 수행하였으며,
설계한 인바합금의 금속 압연 판재가 양호하게 제작되었음을 알 수 있었다.
현재 휴대용 이차전지로 사용되는 전류 레벨과 전압에서 온도 변화에 따른 바
이메탈 실험을 인바합금을 고정된 상태에서 순 구리와 순은 도금층 두께를 조
정하며 실험을 진행하였다. 실험 결과로부터 바이메탈형의 퓨즈는 1A 통전 전
류의 회로에서 전류의 상승과 온도의 상승 모두에 동작하며, 이차전지 폭발의
위험 온도에서 전류의 유입과 방전을 제어하여 안전을 확보할 수 있었다. 온
도 상승에 따라 동작하는 전류도 낮아져 전류와 온도 두 가지 위험 요인을 적
절히 제어함을 확인하였고, 온도가 다시 낮아지면 정상적으로 고장이 복구되
며 기기가 동작됨을 확인하였다. 그러나 높은 돌입 전류에 대한 실험결과 유
입되는 전류에 비하여 동작 속도가 빠르지 않아 높은 에너지가 전자 기기로
유입됨을 확인하였다. 이와 같은 특성으로 인해 리셋터블 퓨즈는 단독으로 전
자기기에 적용되는 것 보다는 한류형 메인 퓨즈와 함께 적용되어야 한다.

이상과 같은 본 연구의 결과로부터 휴대용 전자 기기의 온도 상승에 대한 안전을 확보하기 위하여 퓨즈의 기본 특성을 만족하며 고장 교체를 최소화한 적절한 보호소자 설계가 이루어졌다고 판단할 수 있다.



The logo of Pukyong National University is a circular emblem. It features a stylized blue and grey design in the center, possibly representing a compass or a stylized letter 'P'. The words "PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY" are written in a light blue arc at the top, and "부경대학교" is written in a grey arc at the bottom.

제 V 장

대용량 이차전지 보호시스템용 전류 감지
동작형 보호소자 저용점 금속 가용체 설계

1. 서 론

전기 자동차 및 ESS의 에너지저장 시스템으로 사용되고 있는 대용량 리튬이온 전지는 단위 질량과 부피당 높은 에너지 밀도와 대 전류의 공급이 가능하여 에너지저장시스템 중 가장 주목받고 있다³⁵⁾. 하지만 리튬이온전지의 경우 사용 중 이차전지 내부에서 지속적인 충전과 방전 동작의 반복으로 인하여 의도하지 않은 원인의 과전류, 과전압, 과부하 등과 같은 상황이 지속될 수 있으며, 화재와 폭발로 이어질 위험이 있다³⁶⁾. 리튬이온 대용량 이차전지는 전자용 저용량 이차전지 휴대용 제품에 비하여 상대적으로 큰 제품 크기와 공간이 확보되어 있기 때문에 Fig. 43와 같이 전기영동 등의 셀간 거리에서 발생하는 사고는 적은 편이다. 그리고 상대적으로 폭발 및 화재의 영향이 더 크게 발생하는 대용량 이차전지의 경우 전기영동 현상이 발생하는 완전 단락 지점이 충분히 이격되어 있기 때문에 사실상 완전단락에 의한 폭발 등은 발생이 어렵다. 하지만 실제 대용량 이차전지의 완전 단락 방전 시 에너지의 이동속도가 빠를 뿐만 아니라 과방전의 한계도 넘게 되기 때문에 SOC 곡선에서 대용량 이차전지의 수명하락 요인이 되며 화재 및 폭발을 동반하게 되고 해당 상황의 실험 결과를 Fig. 44에 나타내었다.

실제 대용량 이차전지의 완전 단락 방전 시 에너지의 이동속도가 빠를 뿐만 아니라 과방전의 한계도 넘게 되기 때문에 SOC 곡선에서 대용량 이차전지의 수명하락 요인이 되며 화재 및 폭발을 동반하게 된다. 이와 같은 이차전지 화재 프로세스는 순차적으로 충격 및 전기영동 현상에 의한 분리막 손상, 충전 방전 동작 시 전류의 지속적 이동, 이차전지 전해질이 분해되어 가스 발생, 가스의 압력이 분리막을 밀어내어 전해액 혼합, 전해액이 혼합되고 충전은 계속

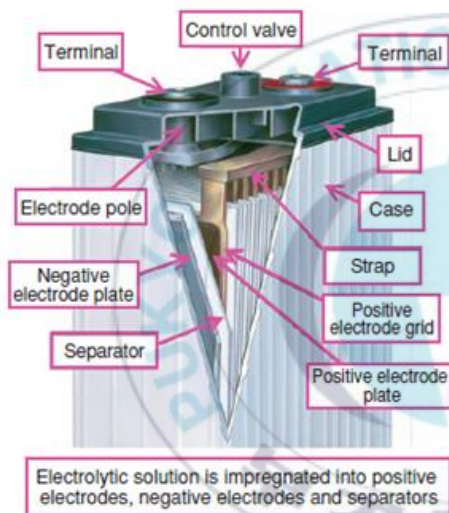
유지, 폭발 및 화재 발생의 과정으로 이루어진다.

하지만 완전 단락이 아닌 미소전류변화 및 일반 과전류에 대하여 이차전지는 국부적으로 온도가 상승 하고 주변 인화 물질에 의한 2차적 화재를 수반하게 된다. 실제 실험 중 확인한 완전단락의 이차전지 사고 과정과 일반 과전류 발생에 의한 주변 인화 물질의 온도상승으로 인한 화재사고를 Fig. 45에 나타내었다. 실험의 결과로부터 완전단락 사고의 명확한 현상은 내부 분리막 이동에 의한 전해 물질 혼합과 가스 압력 상승이 순차적으로 발생함을 확인할 수 있었고, 이는 Fig. 45 (c)에서와 같이 내부 가스압력 상승으로 인한 이차전지 케이스가 파손되는 현상으로 확인할 수 있다. 케이스의 변형이 시작된 후에도 단락을 해소하면 폭발 및 화재로 이어지지 않았지만, 계속된 전류 유입은 Fig. 45 (d)와 같이 화재로 이어 졌다. 결과 적으로 단락 돌입전류로 인한 고장에서 분리막이 강하거나 전류의 유입을 중단하면 이차전지 화재 방지 가능성을 확인할 수 있었다.

병렬 연결된 여러 대의 이차전지에 가연성 물질인 비닐을 상부에 덮고 장시간 사용을 한 실험으로 국부적으로 온도가 상승한 부위 가연성 비닐에 화재가 발생한 결과이다. 일반적으로 BMS에 의한 셀 밸런싱이 국부적 온도 상승을 방지하지만 병렬 연결된 셀이 많을수록 밸런싱이 어렵과 이와 같이 대용량이 차전지 일수록 일반과전류에 의한 2차 화재확률이 높아진다.

본 연구에서는 대용량 ESS의 안전한 사용을 위하여, 정격전류의 20% 이하, 비교적 적은 전류변화를 감지 후 능동적으로 동작하는 보호회로에 적합한 퓨즈와 퓨즈 가용체를 개발하여 제시 하였다.

a.



b.

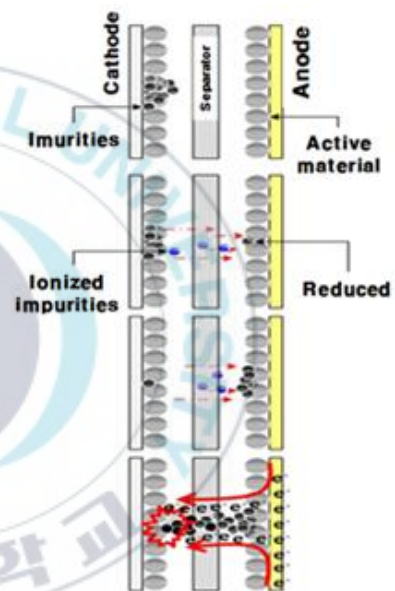


Fig. 43 (a) Distance between large capacity secondary cells, (b) Electrophoresis process

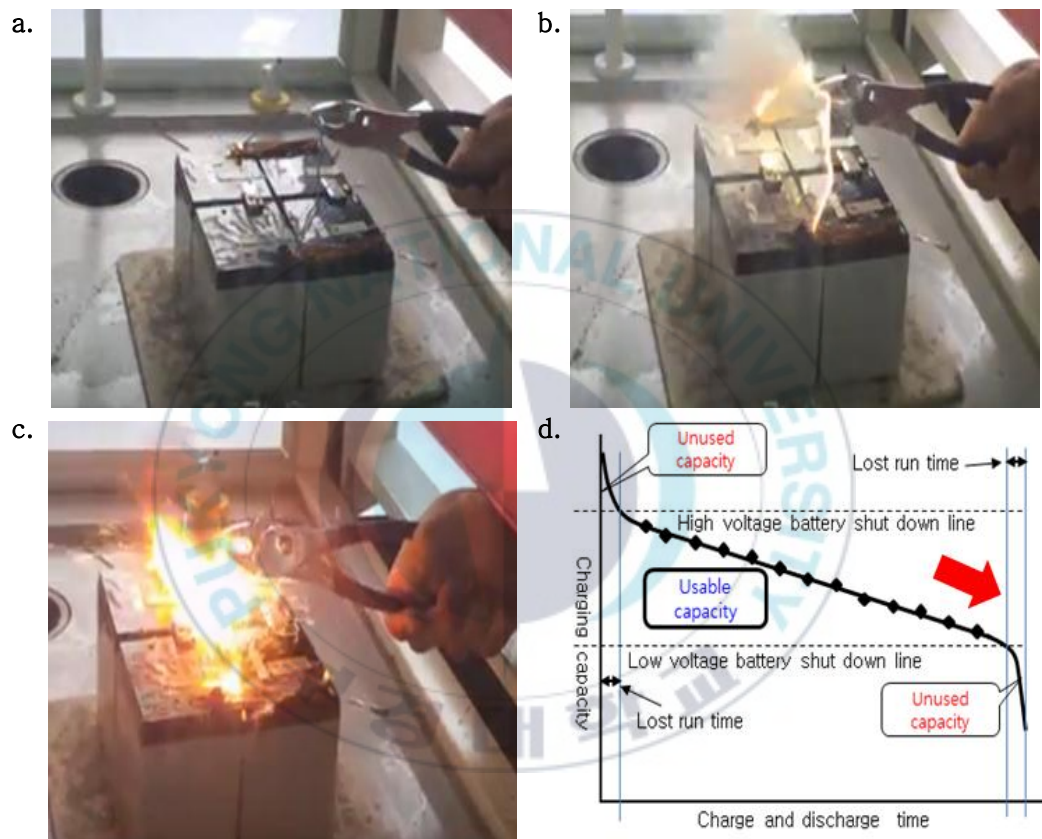


Fig. 44 (a) – (c) Short-circuit test of energy storage device for automobile,
(d) moving to the over-discharge region

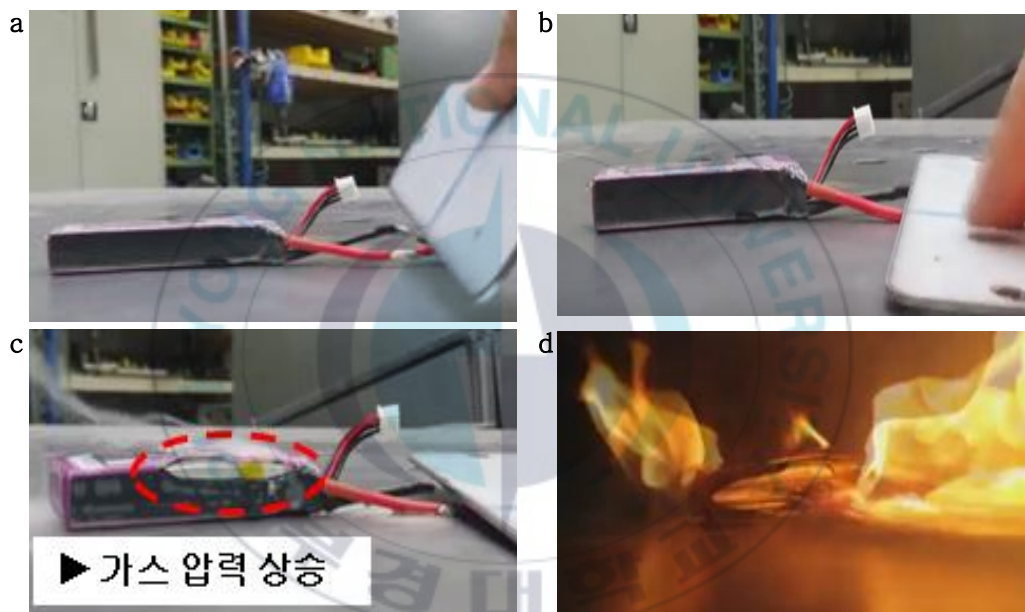


Fig. 45 (a) ~ (c) Secondary battery accident process by complete short circuit, (d) Fire occurrence

2. 본론

2.1 전류 감지 동작형 보호회로 구성

완전단락 돌입전류 및 미소 과전류 유입, 2가지의 위험에서 안전한 보호 동작을 만족하기 위한 방법으로 IC-FET 회로를 이용한 전류감지 회로를 구성할 수 있다. 적용 보호회로는 Fig. 46와 같이 일반적으로 전압과 전류가 정상작동을 할 경우 전류 충전 방향으로 회로가 정상작동하게 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 센싱 하여 전류의 흐름 방향을 FET 소자 방향으로 변경하게 된다. 이때, 발열저항에 적용된 전압에 의해 발열 저항의 온도가 상승하게 되고 해당 열로 인해 퓨즈의 가용체를 용단하는 동작특성을 함께 구성하였다.

2.2 샘플제작 및 실험 방법

적용된 퓨즈는 이차전지가 대용량화됨에 따라 평시 통전 전류가 100A이상에서 최대 800A까지 통전 된다. 때문에 기존의 소형 이차전지에서 사용되던 전류 분배 구조인 1W~2W 세라믹 SMD형 퓨즈 형태는 사용이 불가능하여, 15W~40W의 대전력형 셉트를 적용한 제어 가능한 전력형 퓨즈 형태를 구성하였다. 이에 Fig. 47와 같은 내부구조와 형상 및 Fig. 48와 같은 크기의 퓨즈를 제작 하였다.

대용량 이차전지에서의 화재 경향을 확인하기 위하여 Fig. 49와 같이 대용량 이차전지 1팩을 대상으로 제어 BMS에 여러 단락 포인트를 단락하여 이상

전류, 이상전압, 온도 상승이 발생하는 포인트를 확인하였다. 그리고 실험은 실제 배전 전류를 이용한 시험에서는 가정, 혹은 배전 전류의 차단기가 동작하지 않도록 독립 전력원을 구성하였고 실제 실험은 Fig. 50와 같이 단락전압 확인과 임의전류 인가 등의 방법으로 진행 하였다.

대용량 이차전지 보호 소자에 사용될 금속 가용체는 발열 저항의 열에 의해 용단이 가능한 금속으로 설계가 가능하며, 때문에 Table 7와 같이 접합 용가재에서 적용하는 주석(Sn) 계열의 저용점 금속을 적용하였다. 접합 저용점 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 저용점 합금의 공정조성 합금을 선택하였고, 상용적용되어 일반적인 금속을 대상으로 시험 하였다. 일반적인 중소전력 이차전지 보호 소자와 다른 점은 상대적으로 높은 통전 용량과 자동실장공정을 적용하지 않는 점으로, 때문에 더 낮은 온도의 퓨즈 가용체를 적용할 수 있어 적용 합금의 자유도가 높다³⁷⁾.

실험은 각 합금에 따라 제품을 제작하여 모든 시료의 불량 단선 여부 등을 확인하였다. 각 시료군은 최소 20개 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 정전류에서 변동 전압이 60V 이내가 되도록 유지하였다. 실험은 파워서플라이 BOB社 SGI 330/150, 오실로스코프 Tektronix社 DPO 3022, 저항계측기 Hioki社 3227 mΩ Hitester를 사용하였다.

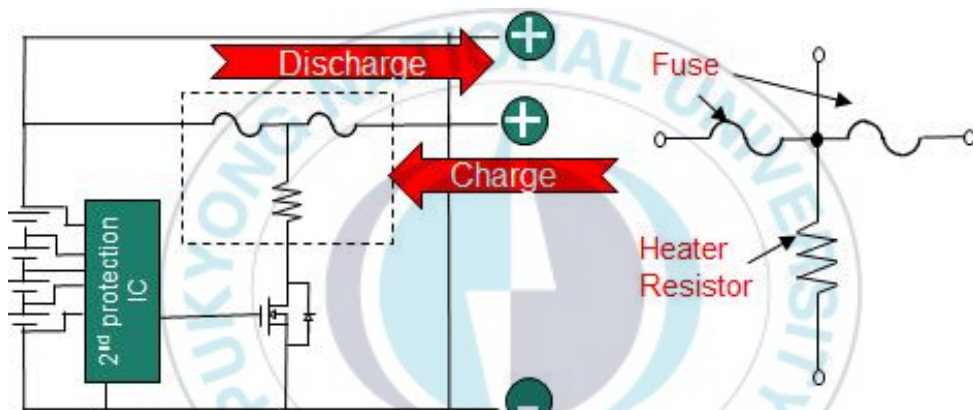


Fig. 46. Circuit of self-control protection devices

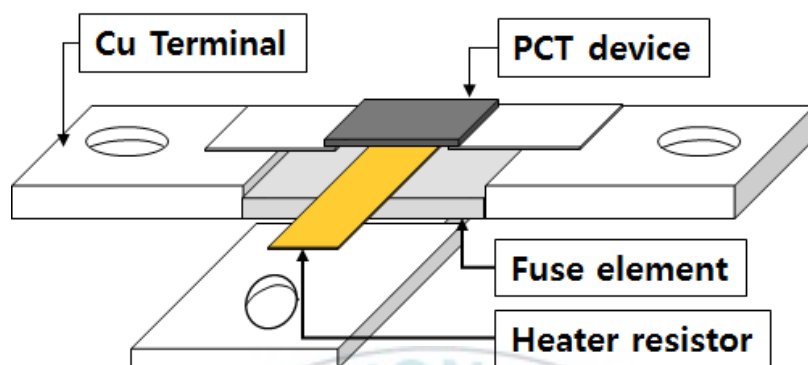


Fig. 47 Inner structure of sample for test

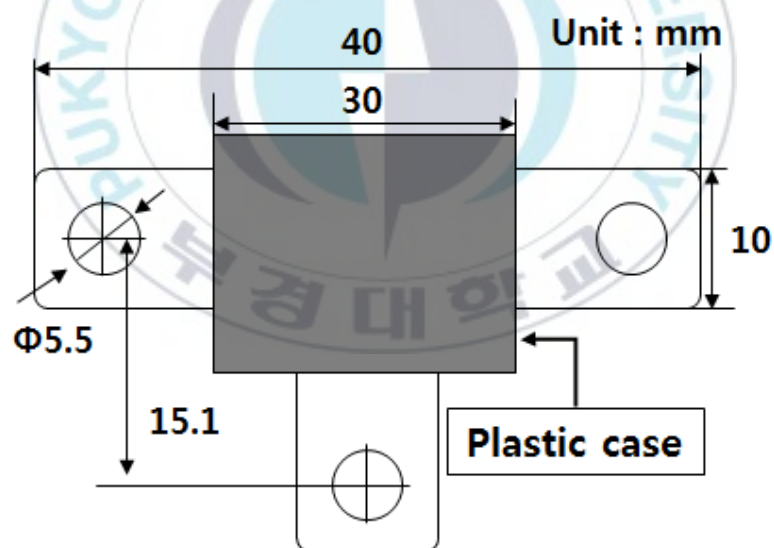


Fig. 48 External dimension of sample

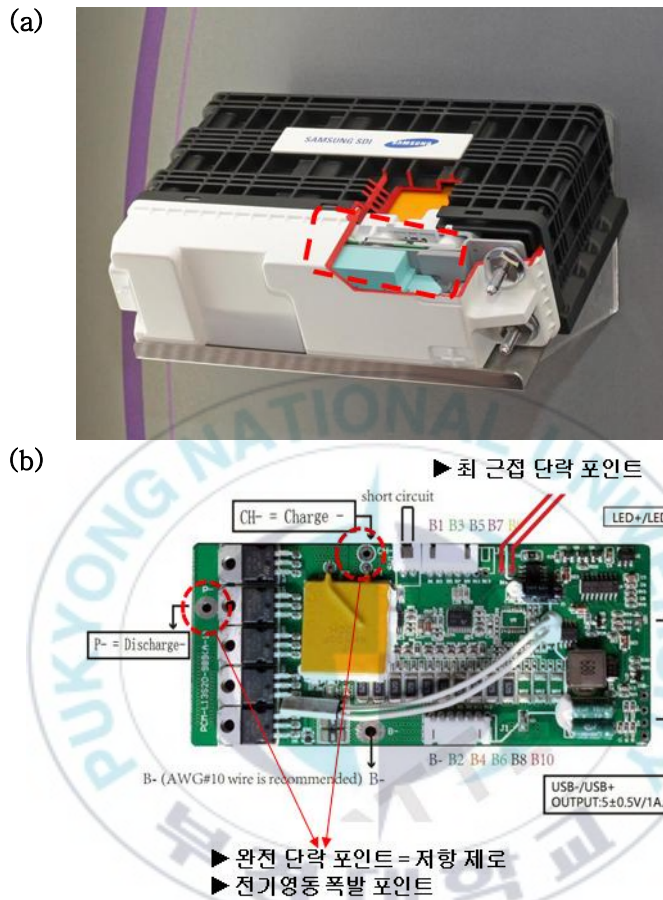


Fig. 49 (a) Experimental large capacity secondary battery, (b) BMS short circuit point

(a)



(b)

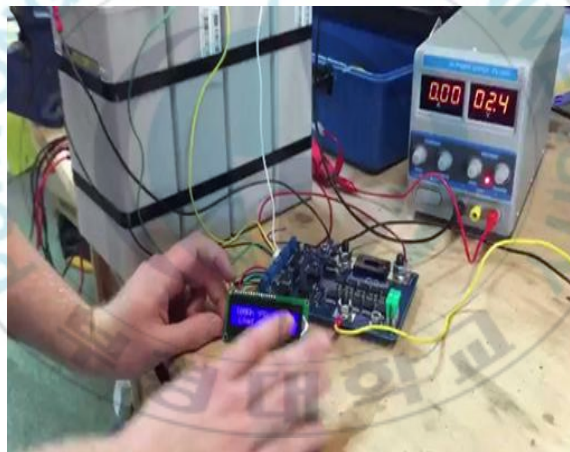


Fig. 50 (a) Complete short-circuit check, (b) Random current to BMS

Table 7. Alloy component of fuse element

Test Alloy	Component(wt%)					Melting point (°C)
	Sn	Bi	Ag	Pb	Cu	
Sn-Bi-Ag	42	57.6	0.4	–	–	139
Sn-Ag-Cu	93	–	3.0	–	0.5	217
Pb-Sn	88	–	–	12	–	309

3. 실험결과

3.1 이상전류 발생 경향

소용량 에너지 저장장치에서와 동일한 방법으로 대용량 이차전지에서 발생하는 이상전류 확인결과 미소전류변화 단락, 2배 이상 과전류 발생 단락, 돌입 전류성 단락, 그리고 회로저항 0옴 완전 단락의 구간으로 측정 되었고 각각의 이상 전류 특성으로 확인하기 위하여 Fig. 51과 같이 전기 바이크용 48V 100A 급 대용량 이차전지로 실험(13셀 구성)하였다.

대용량 이차전지의 경우에도 부분 혹은 완전단락으로 인하여 BMS 회로의 전체 면적이 아닌 일부만 전류가 흘러 전체 저항이 낮아지는 것과 같은 현상이 발생하고 이때 정전압 방식의 배전 전력에서 유입 전류는 상승하게 된다. 그리고 완전단락의 경우 전체 저항이 제로에 가까워 단시간에 무한대의 돌입 전류가 발생하게 된다. 이와 같은 전자의 이동을 Fig. 52와 같이 BMS 회로 위에서 가능한 전자 이동경로를 간단히 표시하였다.

BMS 회로 단락의 결과로부터 에너지 저장장치 체계이기 때문에 발생하는 첫 번째 문제점인 미소전류변화에 대한 대응에서 장시간 전류가 유입 되었지만 퓨즈가 동작하지 않았고 이와 함께 이차전지의 변화도 없어 임의로 전류 공급을 중단하였다. 해당 이상정류 영역이 일반적인 회로 구성에서는 화재로 연결되지 않는 미소전류변화 영역에서의 이상전류 발생량으로 판단할 수 있고, 보통 정격전류의 5%~25% 사이의 전류 변화량을 가지고 내부 저항값 변화의 대부분 단락시험에서 미소전류변화를 나타내었다, 실제 결과와 위험 요인을 Fig. 53와 같이 확인하였고 이에 따른 복합 능동 동작형 퓨즈의 적용일 필요함을 확인할 수 있다.

그리고 에너지 저장 시스템이 가장 위험한 BMS에서 회로의 저항이 0옴에 근접하게 되는 상황을 가정한 단락 상황에 대하여 최대 돌입전류가 1124A까지 나타났고, 실험에 사용한 모든 샘플은 화재 및 폭발이 발생하였다, 해당 파형을 Fig. 54에 측정하여 나타내었고 결과와 함께 대용량 이차전지에서 발생할 수 있는 모든 이상상태 상황을 확인할 수 있었다.

이상과 같이 대용량 ESS의 BMS 단락 시험결과 나타날 수 있는 과전류 및 돌입전류, 미소전류 변화를 정리하면 Fig. 55의 그래프와 같고 이와 같은 이상상태에서 에너지저장장치를 보호하기 위하여 여러 가지 보호소자를 사용할 수 있다. 그리고 실험을 통해 얻어진 이상상태에 대한 자료는 이차전지의 구동에서 나타날 수 있는 여러 위험 요소에 대한 결과물로 이와 같은 이상상태에 대하여 안전하게 동작하는 보호소자를 설계할 때 활용할 수 있다.

3.2 미세조직

Fig. 56 (a), (b)는 본 연구에 사용된 42Sn-57.6Bi-0.4Ag 공정 조성을 갖는 저융점 가용체 합금의 미세조직을 광학현미경과 주사전자현미경으로 나타낸 것이다. 이 합금에서 공정반응은 138℃에서 58%의 Bi 나타난다. 따라서, 광학 및 주사전자 현미경 사진에서 알 수 있는 바와 같이 Sn rich 상[기지 상]과 Bi rich 상[돌출 상]이 층상으로 존재하고 있는 전형적인 공정 조성의 조직인 층상조직을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 56 (c), (d)는 96.5Sn-3Ag-0.5Cu 조성을 갖는 저융점 가용체 합금의 미세조직을 광학현미경과 주사전자현미경으로 나타낸 것이다. 이 합금에서 공정반응은 220℃에서 Sn-3.5% Ag 조성에서 나타난다. 따라서 광학 및 주사전자 현미경 사진에서 알 수 있는 바와 같이 β -Sn 기지 조직에 β -Sn과 Ag₃Sn 그

리고 Cu_6Sn_5 로 이루어진 층상 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있으며 Ag_3Sn 그리고 Cu_6Sn_5 상들이 침상으로도 존재하고 있는 것을 알 수 있다. Fig. 56 (e), (f)는 88Pb- 12Sn 의 조성을 갖는 공정조성이 아닌 저융점 가용체의 미세 조직을 광학현미경과 주사전자 현미경으로 나타낸 것이다. Pb-Sn 합금에서는 183℃에서 38Pb-62Sn의 조성에서 공정반응이 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 이 합금의 조직은 Sn 이 10% 이상 첨가되어 있기 때문에 Pb기지에 고용되고 남은 Sn이 입자 형상으로 존재하고 있는 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 이상의 금속 미세 조직 사진 결과로부터 합금이 올바르게 제작되었음을 확인할 수 있다.

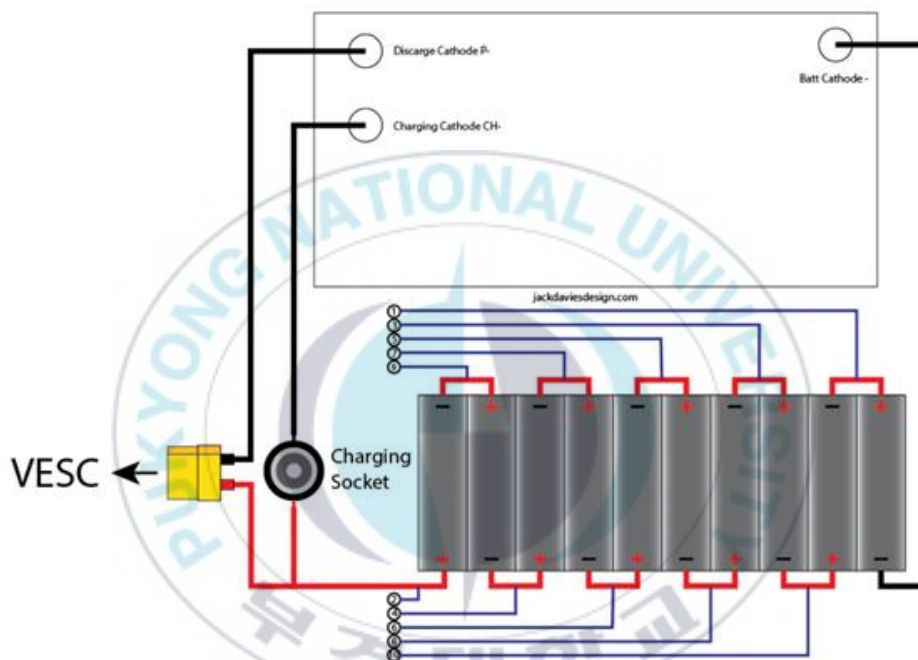


Fig. 51 13-cell 48V 100A secondary battery for electric bikes

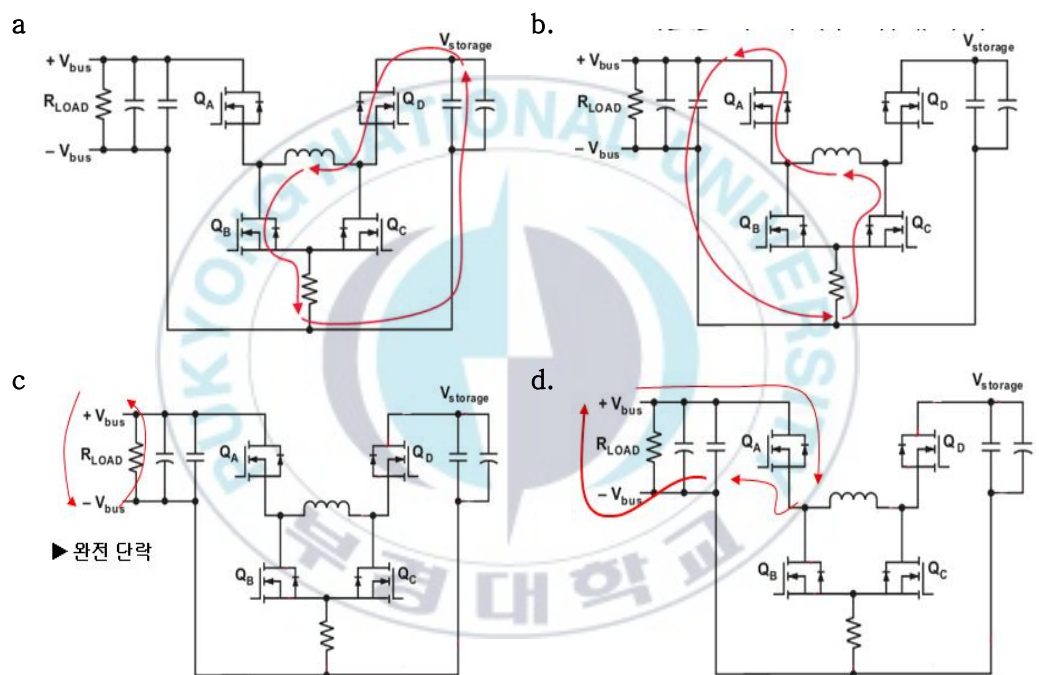


Fig. 52 BMS Paragraph Configuration

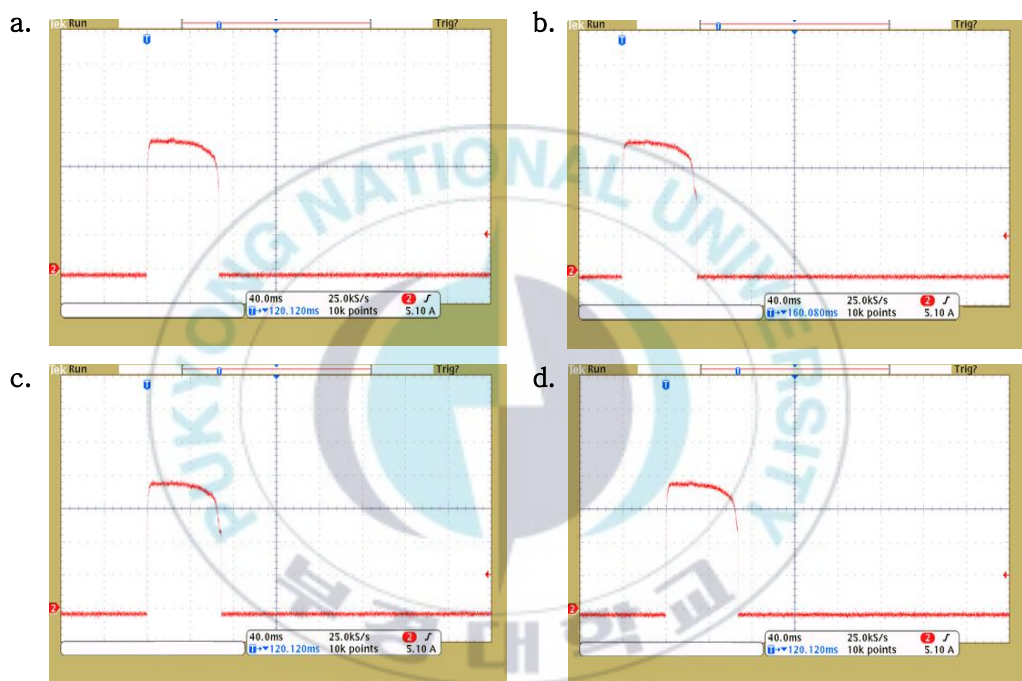


Fig. 53 Micro-current change – Immediately stop operating

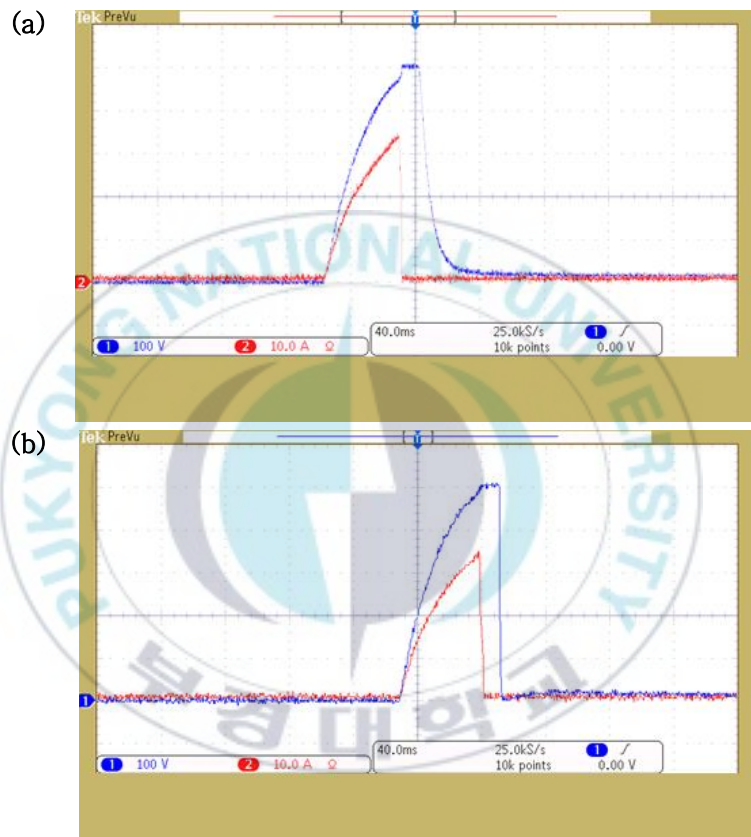


Fig. 54 Short-circuit over-current flow

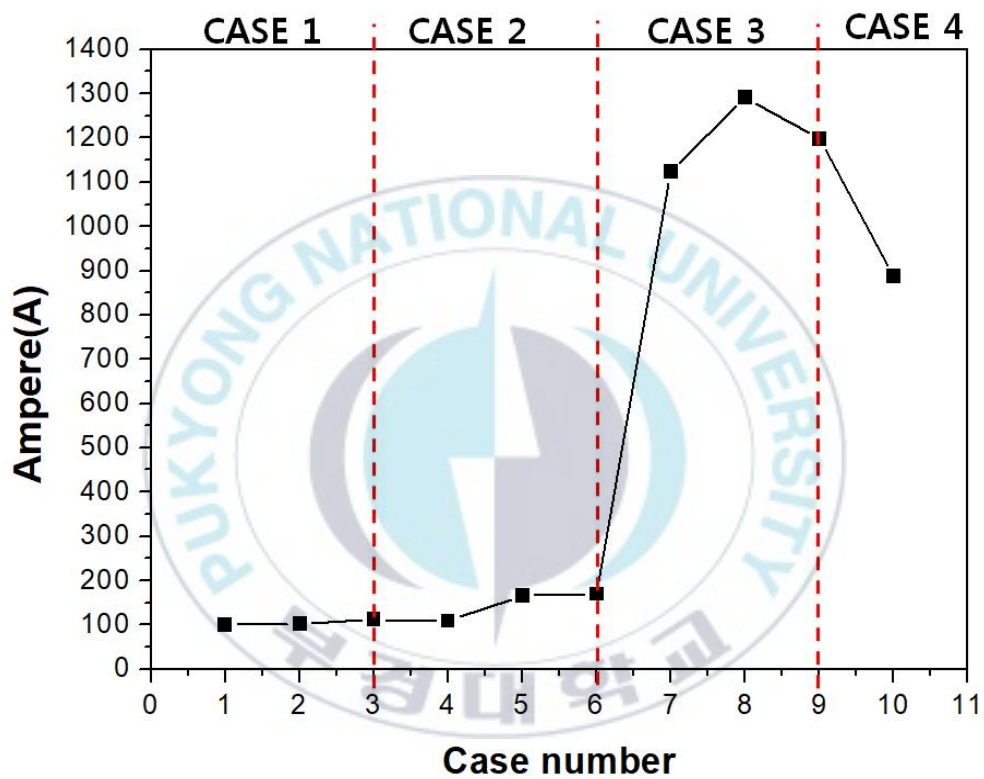


Fig. 55 Trend of abnormal current generation in large capacity secondary battery

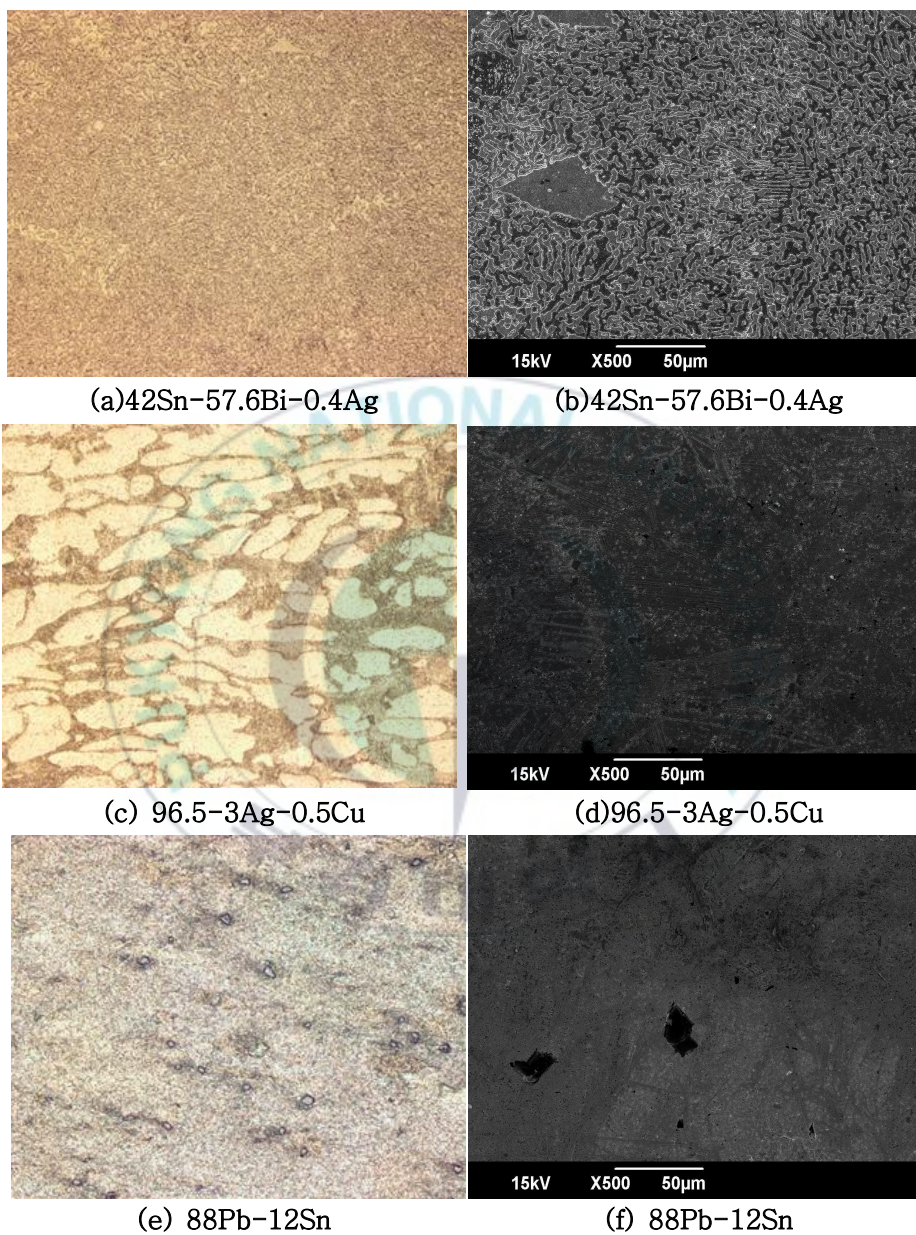


Fig. 56 Analysis of metal structure with low melting point fuse elements

3.3 전기적 특성 시험결과

Fig. 57의 결과로부터 전류감지 동작형 퓨즈의 한계전류 동작 특성이 Sn-Bi 합금은 정격전류 약 120A이고 정격전류의 약 1000% 인가전류에서 0.02초의 동작 시간을 가지는 일반 동작형 퓨즈 특성을 가지는 것을 확인할 수 있다. 그리고 Sn-Ag, Pb-Sn 합금으로 갈수록 동작특성은 동일하고 정격전류가 각각 180A, 200A로 상승한 결과를 확인할 수 있다. 동일 재료에서 체적을 변경하면, I-T 커브의 이동이 가능하기 때문에 가공이 없는 세 합금에 대해서는 일반 동작(slow-blow)형 특성을 만족함을 확인하였다.

Fig. 58의 결과로부터 미소전류변화에 대한 감지 동작은 IC에 의한 변경 전압이 상대적으로 낮은 용점인 Sn-Bi 금속은 5V~10V까지 동작 하고, 상대적으로 가장 높은 용점의 Pb-Sn은 8V~15V까지 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 범위가 가장 높은 Sn-Ag 합금이 가장 전압 시간 특성이 우수한 것으로 나타난다.

이상 전류의 감지동작은 발열저항의 전압에 의한 발열이 동작의 원리로 온도 상승에 대한 가용체의 동작속도 또한 관리가 필요하다. 이는 높은 온도에서 발열 유지 시간이 적을 경우 간접발열에 의한 동작인 전압에 의한 감지 동작이 작동하지 않을 수 있어, 때문에 온도에 따른 동작특성 정의가 필요하다.

Fig. 59의 T-T 커브의 결과로부터 용점이 상대적으로 낮아 히터 금속의 다양한 발열에 용단하는 Sn-Bi 금속의 경우 상대적으로 높은 안전을 보장할 수 있는 동작형태로, 동작시간 또한 가장 빠른 시간에 용단하여 이차전지로 유입하는 과전류를 최소화할 수 있어 안정적으로 동작할 수 있다. 반대로 Pb-Sn

의 경우 낮은 온도에서 동작 시간도 지연되고 용단 범위도 짧아 안전 확보 범위 면에서 다른 두 금속과 상반되는 특성이 나타난다.

이와 같이 퓨즈 가용체의 온도에 대한 동작 한계는 발열금속의 저항 변화로 안정적인 동작 범위를 확보할 수 있다. 42Sn-57.6Bi-0.4Ag 합금 가용체로 제작된 전류 감지 동작형 퓨즈의 발열 히터 저항의 변경에 따른 용단범위의 이동으로부터 기존 6V에서 10V까지 동작하던 가용체 조건을 최대 19V까지 동작가능함을 저항 변경을 통해 확인 하였고 결과를 이용하여 중소용량 이차전지와 같이 전류감지 동작의 안정성을 확보할 수 있음을 확인 하였다. 또한 기존에 한 개의 발열 저항 히터를 구성하는 전류감지 동작 구조에서 히터를 2개, 혹은 3개를 구성한 동작 구성 시, 한쪽 히터의 용단 후 나머지 히터의 발열을 이용한 발열 범위를 넓힐 수 있다.

이상의 결과로부터 제작된 퓨즈의 동작은 정격 전류의 110% 이상 낮은 과전류의 발생에 따라 감지 회로가 동작하여 발열 저항에 의해 모든 조건에서 10초 이내에 동작하였고, 단락 돌입 과전류는 10ms~20초 이내에 모두 동작하여 ESS를 안전하게 보호함을 확인할 수 있다. 제작된 전류 감지 동작형 보호 회로용 퓨즈의 실제 동작 특성은 전류 특성과 전압 특성이 중첩되는 Fig. 60와 같이 넓은 이상상태 범위에서 안전을 확보할 수 있다.

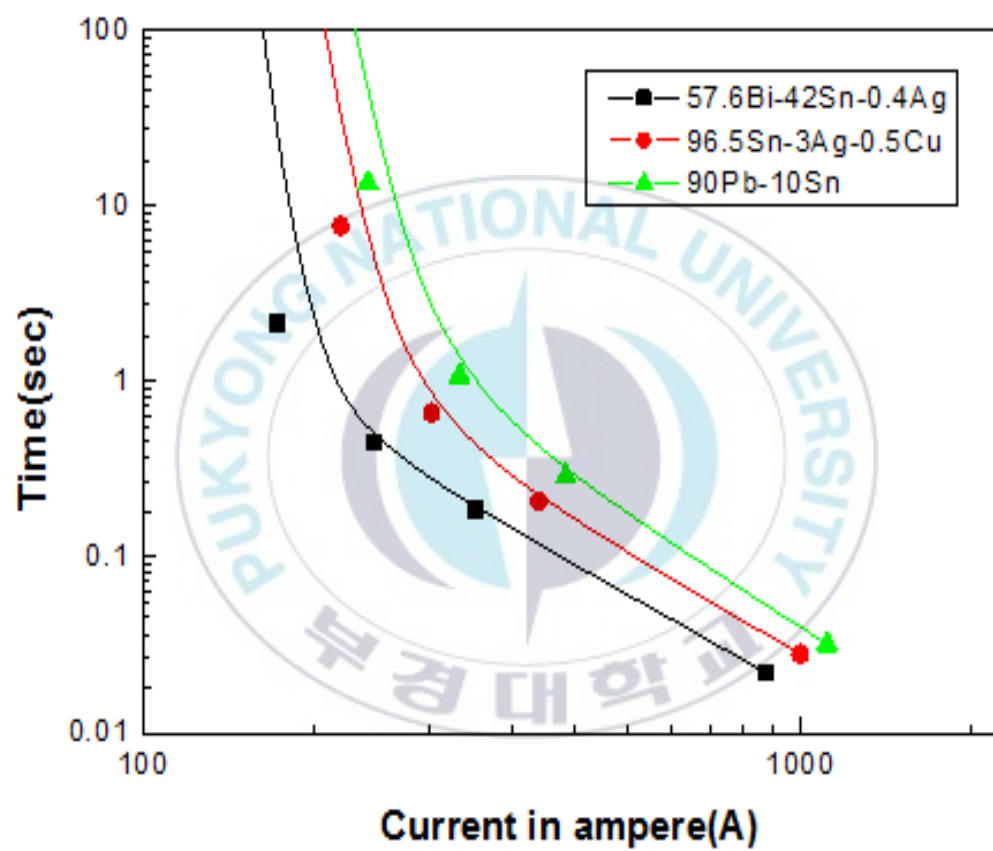


Fig. 57 Limit current operation characteristics I-T curve of a current sensing type fuse

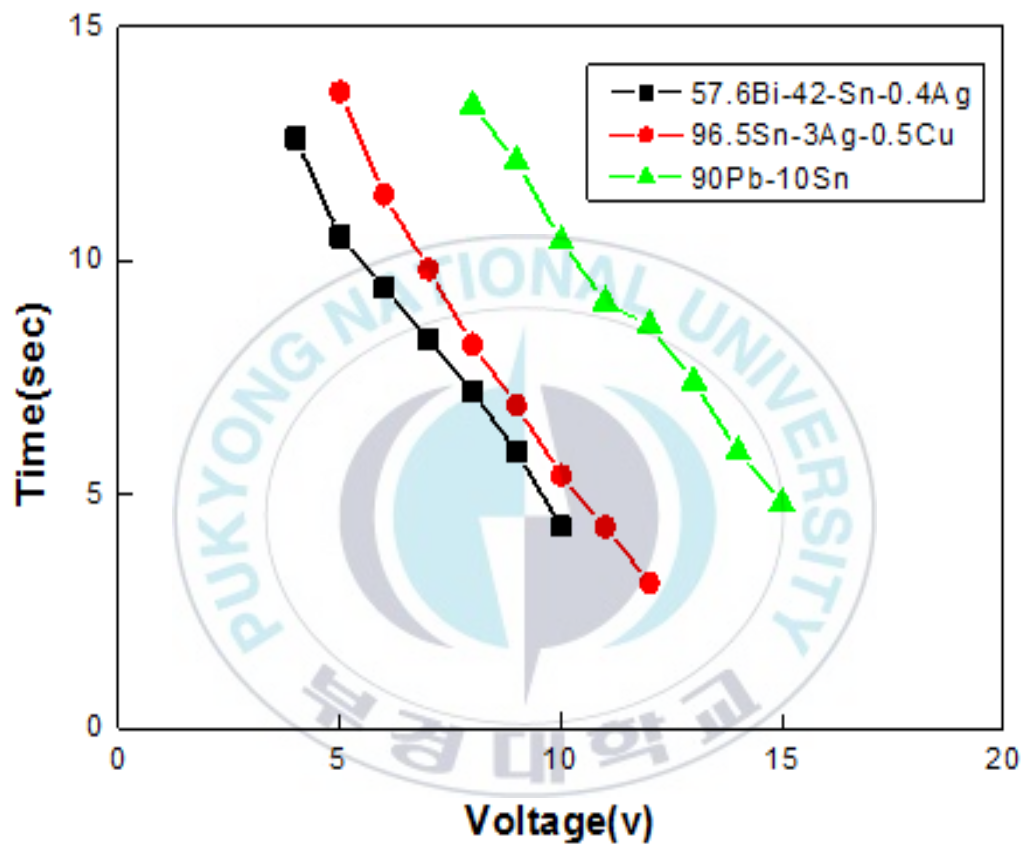


Fig. 58 Sensing current operation characteristics V-T curve of a current sensing type fuse

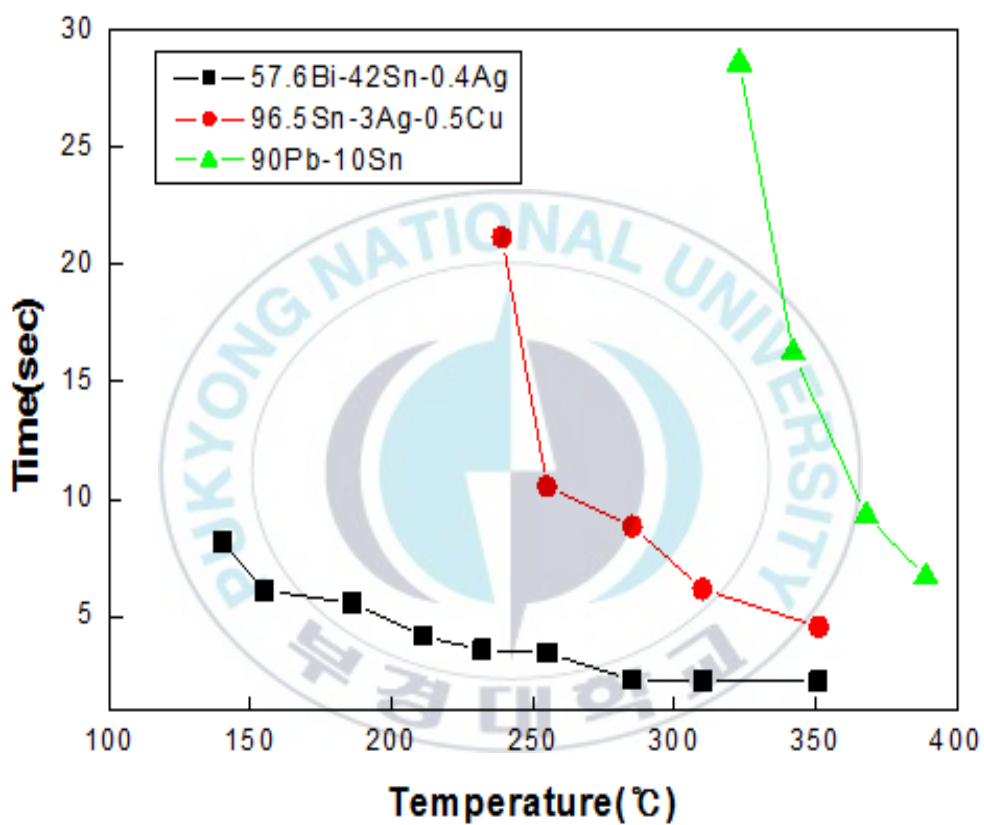


Fig. 59 Temperature operation characteristics T-T curve of a current sensing type fuse

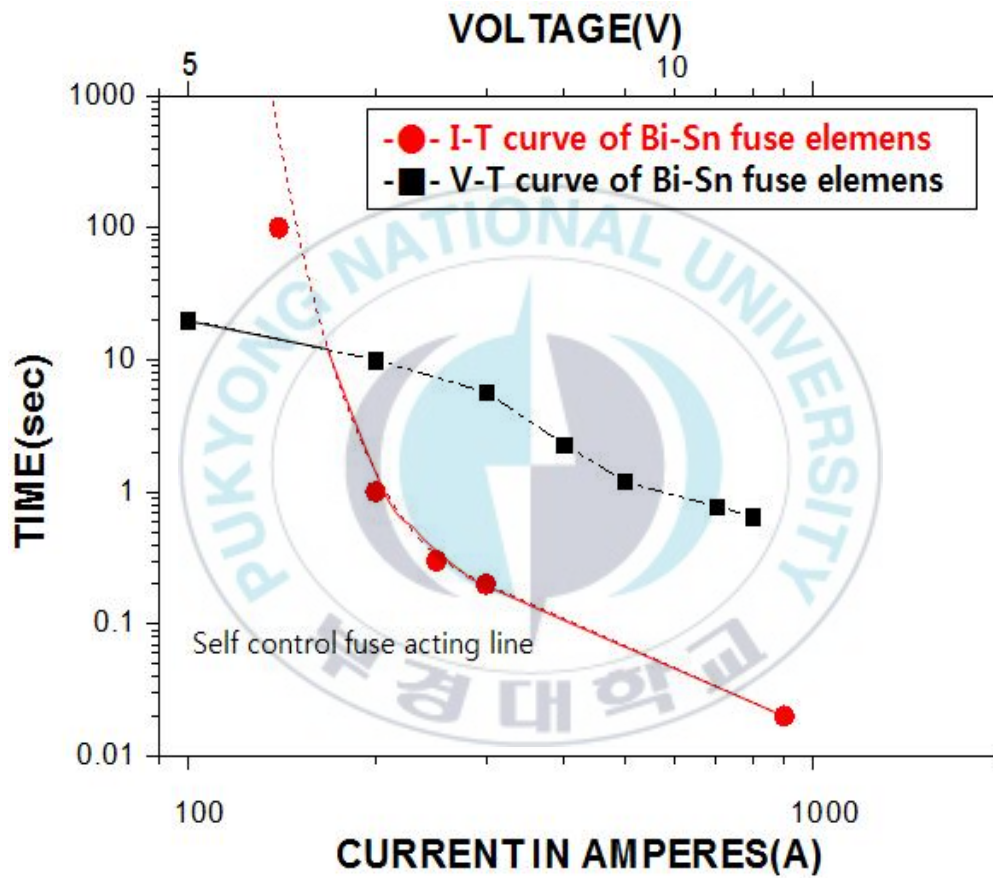


Fig. 60 Fuse acting line of current sensing type fuse(Sn-Bi)

4. 결 론

본 연구는 대용량 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.

이차전지는 단락 돌입 전류의 상황 외에도 미소전류변화에 대한 화재 및 폭발이 발생할 수 있으며, 일반적인 수동동작 한계 전류형 퓨즈로는 안전을 확보할 수 없다. 때문에 완전단락돌입 전류에서의 한계 전류형 동작과 미소전류 변화 상황에서의 전류감지 동작의 특성을 모두 만족하는 보호소자가 이차전지에서 필요하고 전류 감지형 이차전지 보호회로용 퓨즈가 연구의 결과로 부터 적용이 적합함을 확인하였다.

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

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



ESS의 화재 및 폭발 사고를 막기 위한 방법 중 가장 효과적인 방법은 사고의 원인이 되는 분리막의 이동을 막는 방법과 분리막이 이동한 후에 유입되는 전류를 막는 방법이 안전을 확보하기 유효한 방법이다. 이 중 유입 되는 이상 전류를 차단하는 방법은 고전적 안전 설계로부터 과전류 보호 소자인 퓨즈를 사용하지만 현재 사용하는 일반적인 한류형 퓨즈의 경우 비교적 적은 전류량 변화(정격전류의 105%-120%)에 응답하지 못한다. 다시 말해 평시 통전용량이 200A이상인 ESS 시스템에서 전류의 10% 과전류가 발생 한다는 것은 거의 20A이상의 높은 전류가 이차전지 쪽으로 유입되지만 해당 이상전류는 고전적인 한류형 퓨즈가 반응 할 수 있는 영역이 아니다. 한류형 퓨즈 중 민감한 동작에 속하는 빠른 동작형 퓨즈의 경우에도 정격전류의 125%에서 최초 용단이 시작되고, 지연 동작형 퓨즈는 정격 전류의 160%에서부터 용단이 시작된다. 이와 같은 고전적 한류형 퓨즈의 동작 응답 문제를 해결하기 위한 방법으로 한류형 퓨즈와 전류 감지형 차단기 즉, 리셋터블 전류 차단기를 동시에 적용하는 방법과 IC 와 FET를 이용한 전류 감지 형태의 보호 시스템에서 능동 동작 기능을 가지는 과전류 보호 소자(이차전지 능동동작 퓨즈)를 사용하는 방법이 동시에 논의 중이다. 전류감지 후 동작하는 능동동작과 과전류 유입에 대하여 수동적이고 안전하게 반응하는 한류형 동작을 동시에 수행할 수 있는 보호 소자가 이차전지 기반의 에너지 저장시스템에서 안전을 확보할 수 있고, 해당 퓨즈는 셀과 근접하여 위치시키고 퓨즈 동작 후에는 셀의 이상을 나타내는 것이기 때문에 해당 셀과 함께 폐기하여 안전을 확보 할 수 있다. 일반적인 전력 체계에서의 전기 전자 회로라면 고장수라의 방법 등의 요인으로 해당 상황이 위험하지 않지만 ESS의 경우 내부의 활물질과 분리막, 내부 전극 등에 비교적 낮은 전류량이라도 과전류가 지속적으로 유입이 되면 화재 및 폭발

로 이어진다. 즉, 내부 활물질 및 분리막 등은 이상상태가 발생하면 수리가 불가능한 영역으로 교체가 필요하다. 중소형 이차전지와 같이 전류의 유입 방전량이 적은 시스템에서의 미소전류변화는 적은 변화일지 모르나 통전 전류가 대용량화됨에 따라 10%의 변화율을 이차전지에 상당한 위험이 되는 변화율이 된다. 다시 말해 적은 전류 변화를 수반하는 사소한 셀 내부의 문제도 여러 위험 요소를 내포하기 때문에 미소전류변화에 대한 동작 제어가 대용량 이차전지에서는 필수적으로 도입 되어야 한다.

전류 감지 후 동작을 위한 방법으로 현 시스템에서는 전류의 방향을 히터 금속 쪽으로 이동시키고 히터 금속의 발열을 이용하는 방법을 채택하고 있다. 때문에 간접 발열체의 발열로 용단이 가능하기 위해서는 저융점 금속계열이 적용 가능하고 온도퓨즈 계열을 적용할 수밖에 없다.

적용 가능한 합금 및 순금속 계열은 Sn, Sn-Ag, Sn-Pb, Pb, Sn-In, Cd, Sb 등의 저융점 금속이 사용된다. 이중 중소용량 이차전지에 사용되는 SMD 형태의 이차전지 보호소자는 자동실장 공정에서의 PCB 삽입을 위하여, Pb free 제외 품목으로 분류되어 합금설계의 폭이 크다. 즉, 전자적 PCB 실장 시에 퓨즈 가용체 금속의 용단을 방지하기 위해 고융점 접합 용가재의 사용이 허용되고 때문에 현재 중소형 ESS 능동동작 보호 소자에서는 Pb 계열의 가용체를 사용 중이다.

대용량 이차전지의 경우 능동동작 보호 시스템에서 기본적으로 퓨즈가 리벳에 의해 결합되고 때문에 자동실장 공정 등의 온도 상승요인이 없다. 이로 인해 상대적으로 낮은 융점의 접합 용가재 사용이 용이하고 낮은 융점의 용가재일수록 안전한 동작의 범위가 넓어짐을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

대용량 ESS의 안전 확보를 위한 이상전류 실험결과 BMS 상의 다양한 단

락 시험에서 정격전류의 5~15% 미소전류 변화와, 200% 대역 과전류 그리고 1000% 대역의 완전단락 돌입전류 크게 3가지 위험요소로 분류할 수 있었다. 그리고 이에 상응하는 3가지 능동동작형 퓨즈 가용체 합금 (Pb-Sn, Sn-Bi, Sn-Ag) 원재료 특성을 확인하여 안전한 ESS용 보호소자 설계 방법을 제시할 수 있었다.

하지만 최근 전력산업의 패러다임 변화로 인한 저전력, 고효율화 방향은 전력의 소모량뿐만 아니라 전력의 파형과 제어 방식 등에서 여러 가지 변화를 가져왔고 이에 따라 제품에 유입되는 전류 및 전압의 형태가 다양화 되고 있어, 적용 부품의 전반적인 기능과 특성의 변화도 이끌게 되었다. 특히 대용량 이차전지 내 외부에서 발생하는 이상상태에 따른 과전류 혹은 과전압 유입 시 1차적으로 동작하여 화재 및 폭발을 막는 보호소자는 다변화 하는 전력 체계에 따라 기능의 다양화가 우선적으로 요구 된다.

이와 같은 이상상태 및 이상전류의 다변화에 대응하기 위한 능동동작 보호소자의 동작도 다변화가 필요하며, 이를 위해 재료의 가공도에 따른 퓨즈 가용체의 동작, 퓨즈 시효 온도에 따른 가용체의 동작, 퓨즈 기효 시간에 따른 가용체의 동작, 그리고 용체화 처리에 따른 가용체의 동작을 검토하여 넓은 범위의 퓨즈 설계 방향을 제시 하였다.

본 연구의 결과로 여러 종류의 대용량 에너지저장장치에 대한 안전설계가 가능한 전류 감지형 능동동작 이차전지 보호 소자의 가용체 특성을 제시 하였고, 특히 재료적 가공 및 열처리를 이용하여 제한적인 가용체 재료 범위 내에서 여러 이상상태에 대한 안전을 확보하기 위한 최적의 퓨즈 재료 설계가 이루어 졌다고 판단할 수 있다.

참고문헌

- 1) C. S. Jin, "Large energy storage battery," Korea Investment Corporation News, Vol. 13, p. 23, 2010.
- 2) J. H. Kang, "Industrial Trends & Prospects of Li ion Secondary Battery," KEXIM bank, p. 14, 2009.
- 3) C. S. Choi, H.W. Kim, "Electrical fire Engineering Dong-hwa technical trading" , 2000, pp. 189-237.
- 4) C. H. Lee, S.K. Kim, "Journal of Korean institute of fire science & engineering" , Vol. 22, No. 1, 2008, pp. 24-28.
- 5) M. H. Oh, J.M. Baek, "The Korean Institute of Electrical Engineers Power Engineering Society" , 2006, pp. 216-218.
- 6) E. M. Kim, S.H. Lee, "The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers" , Vol. 63, No. 8, 2014, pp. 1070-1074.
- 7) J. H. Hwang, "A Study on Fabrication Technology of Environmental Friendly Wire Fuse Using Sn-Ag" Korea Polytechnic University, 2014, pp. 15-18
- 8) G. Y. Kim, N. O Park, S. H. Park, "The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers" 7. 2006. pp. 12-14
- 9) C. K. Ji, K. O. Kim, "Standards, KS C IEC60127-1" , 2005, pp. 1-18.
- 10) C. K. Ji, K. O. Kim, "Standards, KS C IEC60127-2" , 2005, pp. 16-26.
- 11) C. K. Ji, K. O. Kim, "Standards, KS C IEC60127-3" , 2005, pp. 10-17.
- 12) C. K. Ji, K. O. Kim, "Standards, KS C IEC60127-4" , 2005, pp. 18-21.
- 13) S. H. Lee, Y. K. Kim, N. D. Sung, Y. S. Lee "Korean Journal of Scientific Criminal investigation" Vol. 8, No. 1, 2014, pp. 9-15
- 14) A. Wright, P.G. Newbery, "Electric fuses, The Institution of

- Engineering and Technology(IET)” , 3th ed, 2004, pp. 11–15.
- 15) S.h. Lee, E.B. Shim, “Proc Korea–Japan symposium on electrical discharge and high voltage engineering” , 1996, pp. 55–58.
 - 16) P.O. Leistad, H. Kongsjorden, “INt. Conf. on Electrical fuses and their Applications” , 1984, pp. 220–226.
 - 17) C. S. Choi, “Korean Journal of fire Science & Engineering,” Vol. 24, No. 2, 2010, pp. 38–43
 - 18) E. M. Kim, S. H. Kim, “Korean Journal of Electrical Engineers” , Vol. 63, No. 11, 2014, pp. 1538–1544.
 - 19) E. M. Kim, C. Y. Kang, “Korean Journal of Electrical Engineers” , Vol. 65, No. 3, 2016, pp. 445–451.
 - 20) Littelfuse, <http://www.littelfuse.com/products/fuses>. Accessed, August 30, 2015.
 - 21) Cooper bussmann, <http://www.cooperindustries.com/content-/public/en/bussmann/electrical/products>, Accessed, August 30, 2015.
 - 22) E. Nairne, “The addition of some philosophical experiments and philosophical observations Applications” , 1787.
 - 23) J.L. Gelet, “Ferraz–Shawmut, Rue Vaucanson” , 2007, pp. 1–8.
 - 24) A.C. Cockburn, “J. Soc. Teleg. Eng” , 1887, pp. 650–665.
 - 25) S. Lee, S. W. Ryu, “Korea Journal of Polymer,” Vol. 36, No. 1, 2011, pp 93–97
 - 26) C. H. Lee, S. K. Kim, K. J. OK, “Korea, Journal of fire science & engineering,” Vol. 22, No. 1, 2008, pp. 24–28
 - 27) E. M. Kim, S. H. Kim, “Korean Journal of Electrical Engineers” , Vol. 63, No. 11, 2014, pp. 1538–1544
 - 28) 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
 - 29) Y. M. Kim, H. J. Kim, S. C. Um, H. T. Kong, “Journal of the Korea Academia–Industrial Cooperation Society,” Vol. 12, No.

- 9, 2011, pp 4138–4146
- 30) 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.
- 31) S. H. Lee, E. B. Shim, S. O. Han, “Proc Korea–Japan symposium on electrical discharge and high voltage engineering” , 1996, pp. 55–58
- 32) C. H. Lee, S. K. Kim, K. J. Ok, “Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering” Vol. 22, No. 1, 2008, pp. 24–28
- 33) E. M. Kim, S. H. Lee, D. K. Cho, S. H. Kim “Korean Journal of Electrical Engineers,” Vol. 63, No. 8, 2014, pp. 1070–1074
- 34) D. Gaskell, “An Introduction to Transport Phenomena in Materials Engineering,” 1th. Ed., Prentice–Hall, pp. 298–300, 1997.
- 35) M. Jo, D. B. Na, S. W. Kim, “Journal of Korea Energy Engineering,” Vol. 20, No. 2, 2011, pp 109–122,
- 36) J. H. Park, H. J. Cha, “Korea, Journal of power electronics” Vol 7, No 1, 2015, pp. 131–132
- 37) Asm. ASM Handbook Volume 3 “Alloy Phase Diagrams {Asm Handbook}” , 10th ed, ASM International 1992.

감사의 글

학부 졸업 후 첫 직장에서도 처음 알게 된 퓨즈라는 부품을 10년간 개발해 오면서, 5년의 직장생활 그리고 5년의 연구소와 학위공부 생활이 앞으로 남은 인생의 방향을 결정하는 계기가 되었습니다. 처음 안전 부품을 설계 하고 개발 할 당시에는 사람의 목숨과 관련된 기술의 무거움이 크게 다가 왔지만 지금은 무엇과도 비교할 수 없는 자부심과 즐거움이 되었습니다. 이런 자신감을 심어준 대학원 생활과 연구소 생활은 독학으로 혼자 어찌하지 못하는 여러 문제들과 의미 없이 반복했던 무의미한 실험을 바로 잡아 주었고, 무엇보다도 많은 학술적 정의를 다시 정립 할 수 있는 계기가 되었습니다. 하지만 연구소와 대학원을 병행하며 동시에 다니다 보니 양쪽 다 올바르게 하지 못하였을 수도 있겠다는 후회가 됩니다. 그래도 짧지만 인생 어느 때보다 치열하고 바쁘고, 지루 할 틈이 없는 가장 완벽하고 의미 있는 5년의 시간을 보낼 수 있었습니다.

이렇게 의미 있고 행복한 시간을 선물해주신 많은 분들께 항상 감사를 드리고 특히, 배움이 부족한 저를 무사히 대학원 생활을 마칠 수 있게 배려 해주신 학과의 모든 교수님들과 연구소의 동료 연구원님들께 감사드립니다. 그리고 함께 생활하지 못해서 항상 죄송한 합금설계 랩실의 팀원들께 죄송한 마음과 감사의 마음을 함께 전하고 싶습니다. 그리고 처음 저를 이 길로 이끌어 주신 스마트 전자의 선배님들과 미래를 위해 함께 고생하고 있는 동명대학교 연구팀 항상 감사하고 있습니다. 무엇보다도 우리 가족들 정말 감사드립니다. 어떤 분야에서 전문가가 되기 위해서는 적어도 10년은 모든 것을 걸고 정진해

야 한다는 일만 시간의 법칙을 푸즈라는 부품으로 하였습니다. 하지만 전기 분야 연구소에서 해당분야를 연구한 3년의 시간이 지난 결과는 아직 전문가가 되기에는 많이 부족하다는 생각 밖에 들지 않습니다. 대학원 생활이 끝나는 시점에서 본격적인 새로운 시작이라는 마음가짐을 가지게 되는 것은 아직 이 분야에서 전문가가 되지 못하였기 때문이고 그래서 더욱 미래가 기대 됩니다. 앞으로 살아가면서 어떠한 일들이 일어날지 모르지만 해야 할 것이 있고 그것을 계속 해쳐나갈 것이기 때문에 더욱 행복해 질 수 있다고 믿고 있습니다. 그간 저에게 도움을 주셨던 모든 분들이 계속해서 지켜봐 주신다면 절대 실망드리지 않도록 하겠습니다. 다시 한번 도움주신 모든 분들께 감사의 인사를 드리며 글을 마치도록 하겠습니다.

감사합니다.

2018년 10월 02일

김 은 민 올림