

BMS 정밀도 향상을 위한 셀 밸런싱용 션트 고정저항의 허용오차 저감 방법

A Method of Reducing a Tolerance of a Shunt Resistor for Balance of the Battery Cell to Improve a Precision of BMS

김은민* · 손미라** · 강창룡†
(Eun-Min Kim · Mi-Ra Son · Chang-Yong Kang)

Abstract - Recently, due to the rapid development of electric vehicle and energy storage system, it is emphasized for battery management system to be needed and to be improved. BMS carries out various movement for optimization the use of the energy and safe use of secondary battery, these movement of BMS start at high wattage shunt fixed resistor which performs a function for detecting current among the BMS components. In addition, for the safe operation of secondary battery, the reliability of current voltage variation detected from shunt should be secured, and for corresponding characteristics, the quality of Temperature coefficient of resistance for BMS shunt and the quality of Thermo electromotive force all must be excellent. For these reasons, this study comes up with the stabilization plan for thermo electromotive force and temperature coefficient of resistance of BMS shunt resistor which is key to secondary battery operation.

Key Words : Fixed resistor, Shunt, Temperature Coefficient of Resistance(T.C.R), Thermo electro motive force(thermal EMF), Battery Management system(BMS)

1. 서 론

ESS 에너지저장 시스템으로 사용되고 있는 여러 대용량 이차 전지 중 리튬이온 전지는 단위 질량과 부피당 보유한 에너지 밀도가 높고 전류를 원하는 형태로 만들 수 있는 유연성으로 인하여 적용 가능한 이차전지 중 현재 가장 주목받고 있다[1]. 하지만 이차전지 내부 셀들의 전압 및 온도가 일정하게 유지되지 않는다면 이차전지의 성능과 수명은 낮아지게 되고, 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 있다[2].

이러한 위험과 문제점을 방지하기 위하여 배터리 관리 시스템(Battery Management system : 이하 BMS)은 전기 자동차 시스템 및 에너지 저장장치 내부에서 이차전지의 에너지 사용을 최적화 하고, 안전한 동작을 수행하기 위한 여러 가지 기능을 수행한다[3]. 이중 BMS의 핵심 역할이라 할 수 있는 이차전지의 정확한 진단을 통한 파워 저장 공급 제어, 차량 기동을 위한 기본적인 전원과 운전자의 편의를 위해 요구되는 부수적인 전원 관리,

그리고 최적의 균형 조건에서 ESS 및 자동차용 이차전지의 성능을 유지하는 역할 등은 모두 BMS 구성 부품 중 전류 센싱과 감지의 기능을 하는 대전력 션트 고정 저항기에서 시작된다.

그림 1은 일반적인 대용량 이차전지의 BMS 모듈 구성 블록도이다. 그림 1에 표시한 션트 저항에서의 전류 전압 감지에서부터 각 셀의 과충전 과방전이 판단되고 이에 따른 셀 밸런싱 충전과 이차전지 사용 가능 영역에서의 충전 방전 제어가 가능해진다. 즉 이차전지의 충전 혹은 방전 전류가 유입 될 시 BMS를 포함한

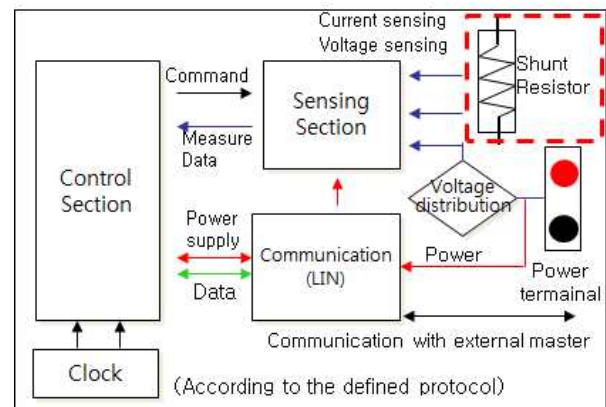


그림 1 퓨즈 가용체 제작 과정

Fig. 1 BMS module configuration block diagram of High capacity secondary battery

† Corresponding Author : Dept. of Metallurgical Engineering, Pukyong National University, Korea.
E-mail: metkcy@pknu.ac.kr

* Seoul National University Electric Power Research Institute.

** Dept. of Metallurgical Engineering, Pukyong National University, Korea.

Received : May 2, 2018; Accepted : July 26, 2018

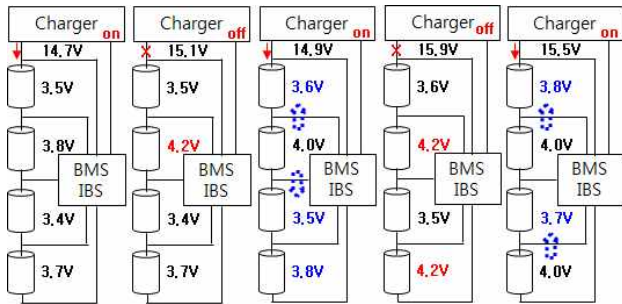


그림 2 대용량 이차전지의 셀 밸런싱 이동
 Fig. 2 Cell-balancing movement of high capacity secondary battery

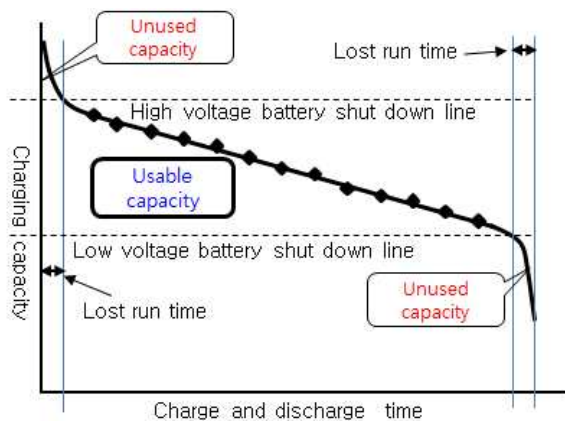


그림 3 대용량 이차전지의 셀 밸런싱 이동
 Fig. 3 Section of valid usage of secondary battery

선트 고정 저항기를 통해 통전이 발생 하게 되며, 그림 2와 같이 특정 셀의 밸런싱이 위험 전압 이상으로 상승할 시 해당 전류 전압을 감지하여 제어부에 밸런싱 동작 명령이 내려진다.

이런 셀 밸런싱 동작을 통해서 각 셀은 그림 3의 그래프와 같이 이차전지에서 사용하지 않는 용량 과충전 상황과 용량 과방전 상황을 최소화 혹은 제거할 수 있어 결과적으로 이차전지의 수명과 안전성을 상승 시킬 수 있다[4].

BMS 센싱 감지의 방법으로 사용되는 선트는 고정저항기로 높은 전류 통전, 주변 온도의 상승, 기압 변화와 습도 변화 등 여러 교란 요소에 대한 일정한 저항을 유지하는 것이 가장 중요한 특성이다[5]. 하지만 대용량 이차전지에 적용되는 선트 저항은 이차전지의 높은 전류 통전량(200A 이상)과 낮은 저항의 필요성(100 $\mu\Omega$ ~250 $\mu\Omega$) 등으로 인하여 그림 4와 같이 다른 고정 저항기들과는 달리 PCB에 실장 되는 형태가 아닌 BMS의 PCB와 결합하도록 구성되어 있다.

BMS에 적용되는 선트저항은 적용 회로상의 증가한 통전 전류량으로 인한 발열문제로 정격전력이 높아야 하며, 효과적으로 전류를 분배하기 위해 저항이 낮아야 하고, 발열에 의한 온도상승으로 인한 저항 값의 변화를 낮추기 위해 낮은 저항온도계수를 가져야 한다. 그리고 구조적 특성과 낮은 저항으로 인한 다른 일

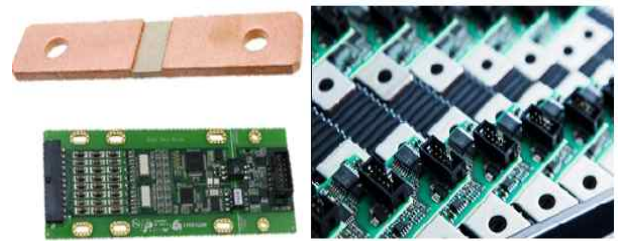


그림 4 BMS용 선트 저항과 모듈의 구조
 Fig. 4 Structure and module of fixed resistor for BMS shunt

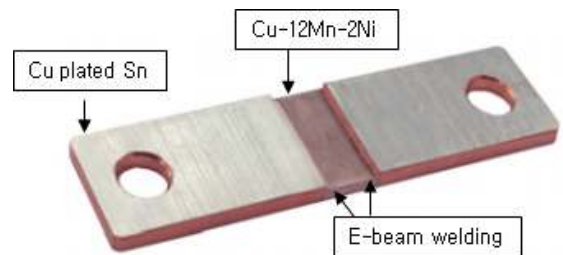


그림 5 대전력 선트의 구조와 재료 접합 방법
 Fig. 5 Structure and materials of welding high-power shunt

반적인 선트 저항에서는 요구되지 않는 열기전력에 대한 단자와 저항금속의 전위차 발생이 제한된다. 즉 그림 5와 같이 이종 금속간의 용접 접합으로 설계된 BMS용 선트 저항은 전류 통전으로 인한 혹은 주변 온도의 변화로 인하여 소재의 온도가 상승하면 저항금속과 단자금속 간에 온도 상승 차이가 발생해 제벡효과(Seebeck Effect)에 의한 전자의 이동으로 전위차가 발생하게 된다. 일반적인 저항일 경우 해당 현상의 영향이 없지만 BMS용 선트 저항은 감지의 기능에 심각한 오류를 수반하게 되어 열기전력(Thermo Electromotive Force: 이하 EMF특성)의 제한이 필요하며 저항온도계수(Temperature Coefficient of Resistance: 이하 T.C.R)와 함께 BMS용 선트 저항의 핵심 요구 특성으로 관리된다.

금속은 온도가 상승함에 따라 열에너지에 의한 금속 자유전자의 진동이 활발해져 전자의 이동을 방해하여 저항 값이 증가하는 현상이 발생한다. 이를 전자의 평균 자유 행로(Mean Free Path) 감소로 해석할 수 있으며 이렇게 저항 값이 온도에 따라 변화하는 비율을 저항온도계수라 한다[6]. 단일 순 금속의 T.C.R은 모든 금속에서 3000ppm이상으로, T.C.R을 낮추기 위해 T.C.R을 안정시킬 수 있는 금속과의 합금 형태로 저항을 제작하여 사용하고 있다. 현재는 저항 금속으로 제작된 합금 중 가장 낮고 안정적인 T.C.R을 보유한 표 1의 Cu-12wt%Mn-2wt%Ni(이하:망가닌)가 25 $^{\circ}$ C ~125 $^{\circ}$ C 사이에서 표준 저항 온도 계수 ± 20 ppm/ $^{\circ}$ C로 선트 표준 금속으로 등록 되어 있고 대부분의 BMS용 선트에 적용되어 있다. 그러나 T.C.R을 낮추기 위한 순 금속의 합금화는 전도도가 우수한 금속을 적용하여도 전기 전도도가 하락하기 때문에 온도 상승에 따른 단자 금속과 저항금속간의 온도 차이가 커지게 된다[7]. 즉, T.C.R을 만족시키기 위한 선트 저항합금 설계는 EMF 특성에 악영향을 미치게 되기 때문에 시장에서 요구하는

표 1 셉트 표준 금속(독일)

Table 1 Shunt standard metal(Germany)

Alloy(Brand) Name		MANGANIN
Material Code		2.1362
T.C.R between 20°C and 50°C		-10 to +10ppm/°C
T.C.R between 25°C and 125°C		-20 to +20ppm/°C
Mass components in % average values of alloy components		
Cu	Mn	Ni
Rem.	12	2

BMS용 셉트저항의 특성을 만족하지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 BMS의 셉트에 필요한 정밀 감지 능력을 구현하기 위하여 합금의 함량을 최소로 하여 저항금속과 단자금속 간의 온도 구배를 최소화하며, T.C.R은 안정적인 합금 설계와 열의 이동을 조정하여 EMF 특성과 T.C.R 특성을 동시에 만족하는 BMS용 대전력 셉트의 허용오차를 저감하였다.

2. 본 론

2.1 실험 샘플 설계 및 제작

우수한 저항온도 계수의 망가닌에서 EMF 특성을 만족하고 T.C.R도 우수한 합금을 구성하기 위하여 망가닌의 망간을 낮추어 합금을 제작하였다. 기준 금속인 Cu-2wt%Ni에 Mn을 각 3 wt%와 5wt%, 10wt%, 12wt%의 합금을 진공용융로에서 용융하여 잉곳 형태로 제조하였고 표 2와 같다.

이후에 분산화 열처리와 상하부 편석제거를 통해 농도를 조정하고 압연 공정을 이용하여 판재 형태로 제조하였다.

제작된 합금의 조성을 확인하기 위해 EDX 분석을 수행하였으며, 전기적인 특성으로는 제작 합금의 저항, 온도변화에 따른 저항변화, EMF 특성 변화에 의한 전위차 등을 측정하였다. 전기적인 특성의 측정을 위해 BMS용 셉트 저항의 구조를 15W 급의 상용 규격 크기로 제작하였고 그림 6과 같다[8]. 그리고 각각 비저항이 다른 합금의 최종 저항 값을 일치시키기 위하여 저항 금속의 두께를 조정하여 샘플을 제작하였다.

2.2 실험 방법

대표 샘플의 단면 확인 결과 그림 7의 전자 빔 용접 부 단면과

표 2 실험 합금 조성

Table 2 Composition of the metal manufacturing

Alloy	Component Weight percent(wt%)		
	Cu	Mn	Ni
Cu100(terminal)	100	-	-
Cu-3Mn-2Ni	95	3	2
Cu-5Mn-2Ni	93	5	2
Cu-10Mn-2Ni	88	10	2
Cu-12Mn-2Ni	76	12	2

같이 내부에 기공 혹은 결함이 없고 전체 면에 대하여 용입 깊이가 충분하여 미용접 부가 없는 상태를 확인할 수 있었다. 이는 전류 통전이 시료의 모든 면에서 가능한 상태로 전자 빔 용접을 이용한 셉트 저항이 양호하게 제작되었음을 확인할 수 있다[9].

동일 조건에서의 실험을 위해 각 조성의 셉트를 일괄 100μΩ으로 제작하여 그림 6에 표시한 동일한 측정 지점에서 저항을 확인하였다. 저항 측정 샘플은 각 조성에 따라 제작된 20ea의 샘플을 대상으로 실험하였고 실험 결과 그림 8와 같이 각 저항은 합금 저항체의 동일 저항을 구현하기 위하여 저항 금속의 두께를 조정하여 일정한 산포의 저항을 구현할 수 있었다. 모든 망간 조성에서 각각 20개의 샘플이 0.101mΩ과 0.099mΩ 사이에 저항이 분포하여 저항 값 허용오차 F급(1%) 이내로 BMS용 셉트의 특성을 만족하였고 각각 조성에 따라 평균 99.98μΩ, 99.85μΩ, 100.03μΩ, 100.12μΩ을 나타내었다.

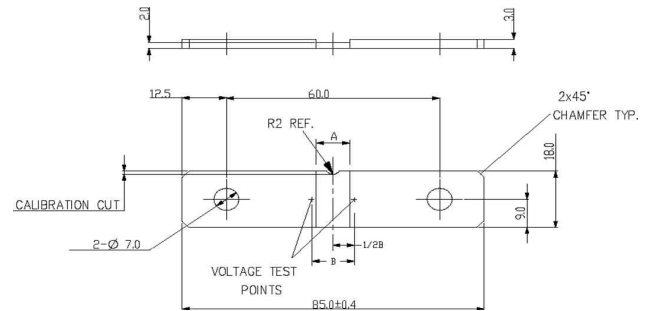


그림 6 테스트 샘플의 정밀 치수

Fig. 6 precise measurement of the test sample

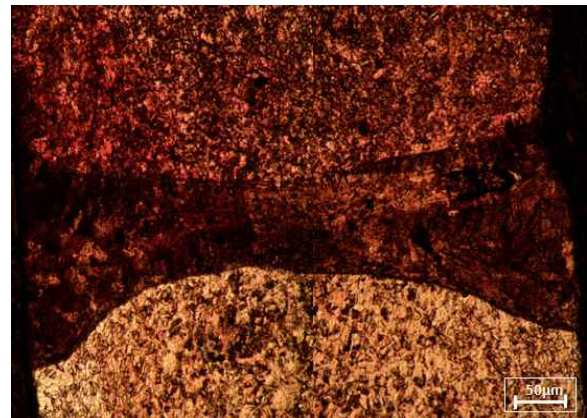


그림 7 용접 부 조직 검사

Fig. 7 Internal organization analysis of electron beam welding parts

동일 조건에서의 실험을 위해 각 조성의 셉트를 일괄 100μΩ으로 제작하여 그림 6에 표시한 동일한 측정 지점에서 저항을 확인하였다. 저항 측정 샘플은 각 조성에 따라 제작된 20ea의 샘플을 대상으로 실험하였고 실험 결과 그림 8과 같이 각 저항은 합금 저항체의 동일 저항을 구현하기 위하여 저항 금속의 두께를

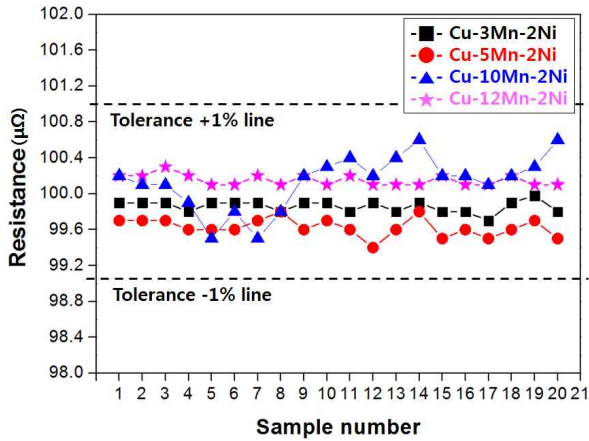


그림 8 각 합금에 따른 저항
Fig. 8 Resistances for each metal alloy resistors

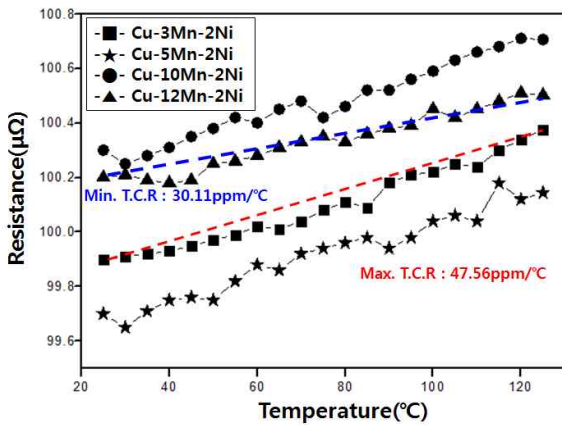


그림 9 온도에 따른 저항 값의 변화 경향
Fig. 9 Trends of changes in the resistance due to a change in temperature

조정하여 일정한 산포의 저항을 구현할 수 있었다. 모든 망간 조성에서 각각 20개의 샘플이 0.101mΩ과 0.099mΩ 사이에 저항이 분포하여 저항 값 허용오차 F급(1%) 이내로 BMS용 셉트의 특성을 만족하였고 각각 조성에 따라 평균 99.98μΩ, 99.85μΩ, 100.03μΩ, 100.12μΩ를 나타내었다.

저항을 측정한 셉트로부터 그림 9와 같이 온도 변화에 따른 셉트의 저항 변화를 측정하였고, 결과로부터 각 저항체의 저항 온도 계수 값을 식 (1)와 같이 25°C에서 125°C까지 범위 내에서 산출하였다.

$$T.C.R = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} \times 10^6 \quad (1)$$

- R1 : 고정저항기 측정 최저 온도에서의 저항
- R2 : 고정저항기 측정 최대 온도에서의 저항
- T1 : 측정 최초 온도 T2 : 측정 최대 온도

2.3 실험 결과

실험 결과 그림 9와 같이 3wt%, 5wt%, 10wt%, Mn이 포함된 Cu-Mn 합금에서는 각각 최종 T.C.R 평균 47.56ppm/°C와 44.55ppm/°C, 40.48ppm/°C의 저항온도계수가 측정되었으며, 표준 셉트 저항으로 지정되어 사용되고 있는 망가닌 Cu-12Mn-2Ni 합금은 T.C.R 평균 30.11ppm/°C로 가장 안정적인 특성이 나타나 Mn의 함량에 따라 비례적으로 T.C.R이 낮아짐을 확인하였다.

실험 결과로부터 그림 10에는 망간 함량에 따라 각 시료의 T.C.R이 변화되는 추이를 나타내었으며, 모든 시료에서 BMS용 셉트저항 특성에 부합하는 T.C.R 50ppm 이하를 만족하여 저항 허용오차가 F급(±1%)인 정밀 저저항의 제작이 가능하다[10]. 특히 현재 상용 사용 중인 Cu-12Mn-2Ni 망가닌은 이론적 최저 T.C.R이 ±20ppm으로 현재 시판중인 셉트의 설계가 온도에 따른

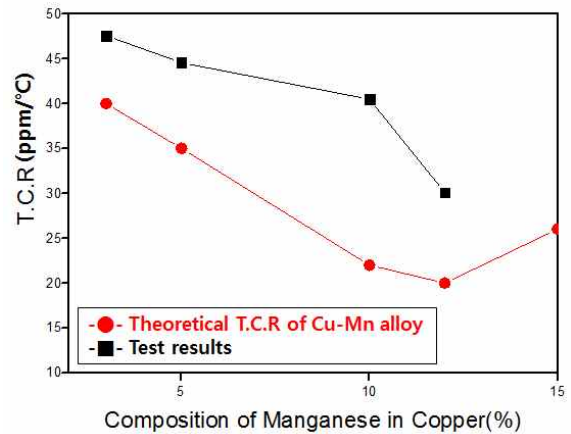


그림 10 Cu-Mn 합금의 조성에 따른 저항 변화 저항온도 계수
Fig. 10 Resistance changes with the T.C.R between 25 to 125 °C for the Cu-Mn alloy composition

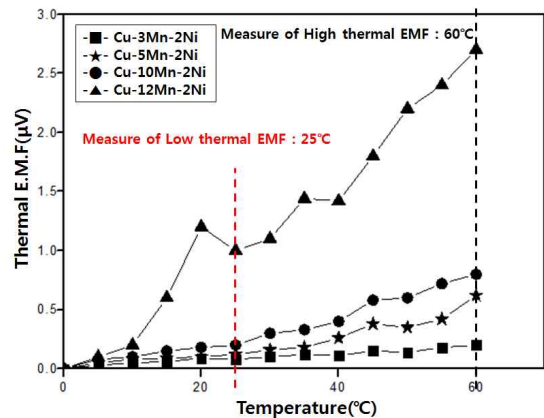


그림 11 온도에 따른 열기전력 변화
Fig. 11 Voltage changes with the temperature for thermal electromotive force average

저항의 안정상에 중점을 두고 있음을 확인할 수 있다.

그림 11에는 온도 변화에 따른 각 합금의 열기전력 상승을 나타내었다. 실험은 제벽효과와 펄티어의 영향을 고려한[11] 전기적 발열 시험과 간접 발열을 기본으로 하는 환경발열 조건에서의 시험으로 구분되며 시험은 환경 발열 조건에서의 시험을 실시하였고 실험에 적용된 설비는 그림 12와 같다.

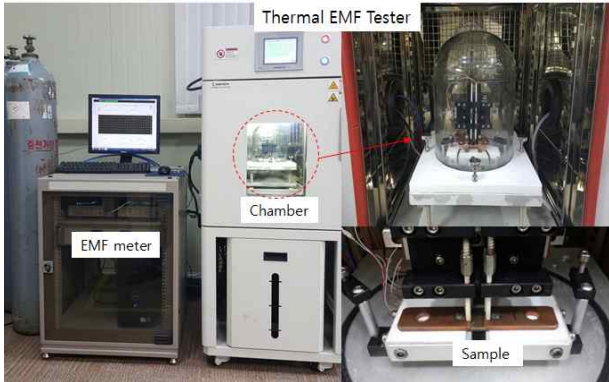


그림 12 온도에 따른 열기전력 변화
Fig. 12 Thermal EMF test equipment

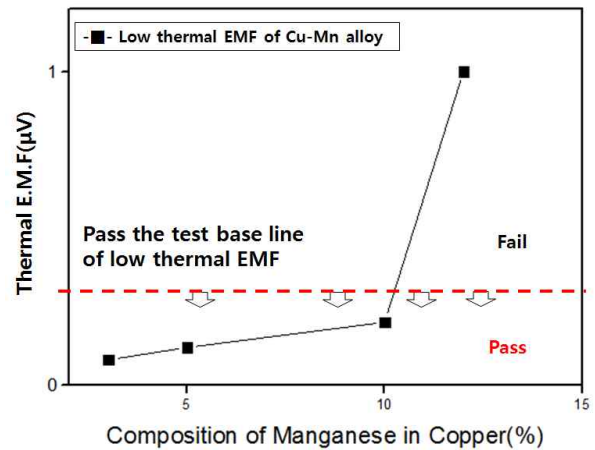


그림 14 Cu-Mn 합금 조성에 따른 낮은 온도 열기전력 변화
Fig. 14 Voltage changes with the composition of the Cu-Mn alloy for Low thermal EMF

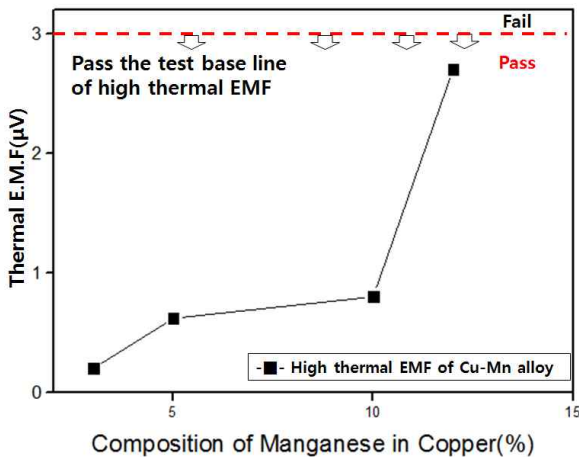


그림 13 Cu-Mn 합금 조성에 따른 높은 온도 열기전력 변화
Fig. 13 Voltage changes with the composition of the Cu-Mn alloy for High thermal EMF

EMF 특성은 적용 이차전지와 BMS에 따라 상온 25℃의 낮은 온도에서 열기전력 특성을 확인하는 시험 조건과 60℃의 높은 온도에서 특성을 확인하는 조건으로 나누어진다.

각 조건에서 열기전력은 낮을수록 셉트 정밀성 향상에 중요한 역할을 하고, 각각 0.3μV와 3μV가 특성 합격의 기준이다. 실험 결과로부터 그림 13와 같이 모든 합금에서 높은 온도 EMF특성 기준인 3μV 이하는 특성을 만족하였지만 그림 14와 같이 낮은 온도 EMF 특성인 0.3μV는 합금 3wt%Mn과 5wt%Mn, 10wt%Mn 만이 특성을 만족하였다.

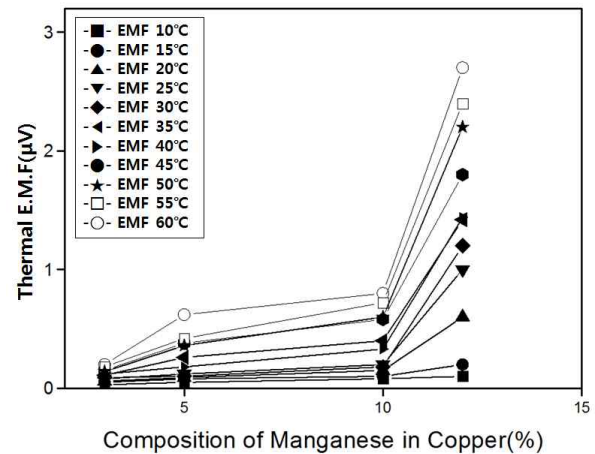


그림 15 Cu-Mn 합금의 조성과 온도에 따른 열기전력 특성
Fig. 15 E.M.F characteristic according to composition and temperature of Cu-Mn alloy

이상의 실험을 통해 안정적인 T.C.R과 EMF특성을 동시에 만족하는 합금 설계에서 허용 오차 및 경감 곡선으로 고려한 마진

설계를 포함해야 하며, 이를 위한 온도전체에서 Cu-Mn 합금조성에 따른 열기전력을 그림 15에 나타내었다. 결과로 부터 Cu-3Mn-2Ni 합금과 Cu-5Mn-2Ni 합금이 본 연구에서 설계한 BMS용 정밀 대전력 셉트 저항의 특성을 만족하여 적절한 합금 설계가 이루어 졌음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 전기자동차에 적용되는 이차전지 관리 시스템의 동작에 시작이 되는 감지 센싱용 대전력 셉트저항의 열기전력 특성과 저항온도계수 특성의 설계를 통하여 합금 저항체의 전기적인 특성을 고찰하였다. 제작된 합금 저항 금속의 조성을 확인하기 위해 EDX 분석을 수행하였으며, 설계한 셉트의 금속 압연판재가 양호하게 제작되었음을 알 수 있었다. 현재 이차전지 BMS용 셉트 저항에 전반적으로 사용되고 있는 망가닌 재료를 기본으로 망가닌 재료가 구현하지 못하는 낮은 온도에서의 EMF 특성을 만족하기 위한 망간의 함량을 조절한 실험을 진행하였다. 실험 결과로부터 3wt%Mn, 5wt%Mn에서 낮은 저항온도 계수와 우수한 열기전력 특성을 만족하였고 셉트 저항의 합금 설계에서 합금의 함량에 따른 저항온도계수 특성과 열기전력 특성은 서로 상충되는 관계가 있음을 확인하였다.

이차전지의 안전한 동작에 핵심이 되는 BMS의 오동작을 최소화하기 위하여 감지 동작의 시작이 되는 셉트 저항의 열기전력은 낮을 수록 안정적이고 본 연구의 결과로부터 셉트 저항의 기본 특성을 만족하며 열기전력을 최소화 한 적절한 합금 설계가 이루어 졌다고 생각할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (No.20151210200080), SRnD 0666-20180016.

References

[1] Jung-hwan Park, Ham-ju Cha, "Insulation design of battery management system for safety of electric vehicle", *The korean institute of power electronics*, vol. 7, no. 1, pp. 131-132, 2015.

[2] J. H. Lee, C. H. Park, G. E. Yang, G. K. Shin, C. M. Bae, "Development and performance of BMS Modules for Urban Electric Car using life prediction method", *KSAE*, vol. 21, no. 6, pp. 147-154, 2013.

[3] Sun-soon Park, Jea-seung Koo, Kil-young Youn, Chul-soo Kim, "Development of battery management system(BMS) for hybrid electric vehicle(HEV)", *KSAE*,

Spring conference proceeding, pp. 1249-1254, 2002.

[4] Sriram Yarlagadda, Tom T. Hartley, "A battery management system using an active charge equalization technique based on a DC/AC converter topology", *IEEE Transactions on applications*, vol. 49, no. 6, pp. 2720-2729, 2013.

[5] Felix Zandma, Paul-rene Simon, Joseph Szwarc, "Resistor theory and Technology", *Malvern, U.S.A, Vishy Inter technology Inc, 1nd ed*, pp. 76-77, 2001.

[6] M. S. Huh, S. W. Choi, H. G. Chun, S. C. Kwon, G. H. Lee and T. Y. Cho "A study on the manufacturing of super precision multi-layer cermet thin film resistor", *Journal of vacuum Society*, vol. 6, no. 1, pp. 77-84, February 1997.

[7] Young-gun Ko, Chul-won Lee, Soong Namkung, Dong-heon Lee, Dong-hyeok Sin, "Mechanical and electrical responses of sub micro crystalline Cu-3%Ag alloy", *The Korean Society For Technology of Plasticity*, pp. 476-481, 2009.

[8] F. Galliana, P.P. Capra, E. Gasparotto, "A traceable technique to calibrate DC current shunts and resistors in the range from 10μΩ to 10mΩ", *Journal of measurement*, vol. 46, no. 1, pp. 1630-1640, November 2013.

[9] David A. poter, Kenneth E. easterling, Mohamed Y sherif "Phase Transformation in metals and Alloys", *London, UK, Garland Science. 3rd ed*, pp. 213-217, 2010.

[10] Felix Zandma, Paul-rene Simon, Joseph Szwarc, "Resistor theory and Technology", *Malvern, U.S.A, Vishy Inter technology Inc, 1nd ed*, pp. 52-55, 2001.

[11] Harles A. Harper, "Electronic Materials and processes handbook", *New York USA. McGraw-hill*, pp. 4.1-4.71, 2010.

저 자 소 개



김 은 민 (Eun-Min Kim)

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



손 미 라 (Mi-Ra Son)

2003년 동서대학교 산업공학과(학사)
2018년~현재 부경대학교 금속공학과(석사과정)



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