

대용량 이차전지 관리 시스템용 전력형 션트저항의 열기전력 안정화

김은민¹, 이선우^{2,a}

¹ 부경대학교 금속공학과

² 인하공업전문대학 전기정보과

Stabilization of Thermo Electromotive Force of Power Type Shunt Resistor for Mass Storage Secondary Battery Management System

Eun Min Kim¹ and Sunwoo Lee^{2,a}

¹ Department of Metallurgical Engineering, Pukyong National University, Busan 48547, Korea

² Department of Electrical Information, Inha Technical College, Incheon 22212, Korea

(Received February 20, 2017; Revised March 9, 2017; Accepted March 17, 2017)

Abstract: In this paper, we prepared a metal alloy resistor with stable thermal electro motive force (thermal EMF) as well as a low temperature coefficient of resistance (TCR) by adjusting the manganese proportion from 3 to 12 wt% in the Cu-Mn-Ni alloy. Composition of the fabricated metal alloy was investigated using energy dispersive X-ray (EDX) analysis. The TCR of each sample was measured as 44.56, 40.54, 35.60, and 31.56 ppm for Cu-3Mn-2Ni, Cu-5Mn-2Ni, Cu-10Mn-2Ni, and Cu-12Mn-2Ni, respectively. All the resistor samples were available for the F grade ($\pm 1\%$ of the allowable error of resistance) high-precision resistor. All the samples satisfied the baseline of high thermal EMF (under 3 mV at 60°C); however, Cu-3Mn-2Ni and Cu-5Mn-2Ni satisfied the baseline of low thermal EMF (under 0.3 mV at 25°C). We were thus able to design and fabricate the metal alloy resistor of Cu-3Mn-2Ni and Cu-5Mn-2Ni to have low TCR and stable thermal EMF at the same time.

Keywords: Shunt resistor, Temperature coefficient of resistance (TCR), Thermal electromotive force (Thermal EMF)

1. 서론

전기 자동차의 에너지저장 시스템으로 사용되고 있는 대용량 리튬이온 전지는 단위 질량과 부피당 높은 에너지 밀도와 대전류의 공급이 가능하여 에너지 저장 시스템 중 가장 주목받고 있다 [1]. 하지만 사용 중 이차전지 내부에서 지속적인 충전과 방전 동작의 반복으

로 인하여 의도하지 않은 원인의 과전류, 과전압, 과부하 등과 같은 상황이 지속 될 수 있으며, 화재와 폭발로 이어질 위험이 있다. 그리고 이차전지 내부 셀들의 전압 및 온도가 일정하게 유지되지 않는다면 이차전지의 성능과 수명은 낮아지게 된다 [2].

배터리 관리 시스템(battery management system, BMS)은 이러한 문제점을 방지하기 위하여 전기 자동차 시스템 내부에서 이차전지의 에너지 사용을 최적화하고, 이차전지의 안전한 동작을 수행하기 위한 여러 가지 기능을 수행한다 [3]. 이 중 BMS의 핵심 역할이라 할 수 있는 이차전지의 정확한 진단을 통한 전력의 저장/공급/제어, 차량 기동을 위한 전원과 운전자의 편

a. Corresponding author; swlee@inhac.ac.kr

Copyright ©2017 KIEEME. All rights reserved.
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

의를 위한 전원 관리, 그리고 최적의 균형 조건에서 이차전지의 성능을 유지하는 역할 등은 모두 BMS 구성 부품 중 전류 센싱과 감지의 기능을 하는 대전력 셉트 고정 저항기가 담당한다. 대용량 이차전지의 BMS 모듈에 사용되는 셉트 저항에서 전류 전압 감지에서부터 각 셀의 과충전 과방전이 판단되고 이에 따른 셀 밸런싱 충전과 이차전지 사용 가능 영역에서의 충 방전 제어가 가능해 진다. 이러한 셀 밸런싱 동작을 통해서 각 셀은 이차전지에서 사용하지 않는 용량 과충전 상황과 용량 과방전 상황을 최소화 혹은 제거할 수 있어 결과적으로 이차전지의 수명과 안전성을 상승시킬 수 있다 [4].

BMS 센싱 소자로 사용되는 셉트저항은 고정저항기로 높은 전류 통전, 주변 온도의 상승, 기압 변화와 습도 변화 등 여러 교란 요소에 대한 일정한 저항을 유지하는 것이 가장 중요한 특성이다 [5]. BMS에 적용되는 셉트 저항은 적용 회로상의 증가한 통전 전류량으로 인한 발열문제로 인해 정격전력이 높아야 하며, 효과적으로 전류를 분배하기 위해 저항이 낮아야 하고, 발열에 의한 온도상승으로 인한 저항 값의 변화를 낮추기 위해 낮은 저항온도계수(temperature coefficient of resistance, TCR)를 가져야 한다 [6]. 그리고 구조적 특성과 낮은 저항으로 인한 다른 일반적인 셉트 저항에서는 요구되지 않는 열기전력에 대한 단자와 저항금속의 전위차 발생이 제한된다. 이종 금속간의 용접 접합으로 설계된 BMS용 셉트 저항은 전류 통전 또는 주변 온도의 변화로 인하여 도체의 온도가 상승하면 저항금속과 단자금속 간에 온도 상승 차이가 발생해 제백효과(seebeck effect)에 의한 전자의 이동으로 전위차가 발생한다. 일반적인 저항일 경우 해당 현상의 영향이 없지만 BMS용 셉트 저항은 감지의 기능에 심각한 오류를 수반하게 되어 열기전력(thermo electromotive force, EMF)의 제한이 필요하며 저항온도계수와 함께 BMS용 셉트 저항의 핵심 요구 특성으로 관리된다. 그러나, TCR을 만족시키기 위한 셉트 저항합금 설계는 EMF 특성에 악영향을 미치게 되어 시장에서 요구하는 BMS용 셉트저항의 특성을 만족하지 못하고 있는 실정이다 [7].

이에 본 연구에서는 BMS의 셉트에 필요한 정밀 감지 능력을 구현하기 위하여 합금의 함량을 최소로 하여 저항금속과 단자금속 간의 온도 구배를 최소화하며, TCR이 안정적인 합금 설계와 열의 이동을 조정하여

EMF 특성과 TCR 특성을 동시에 만족하는 BMS용 대전력 셉트 저항을 설계 하였다.

2. 실험 방법

우수한 TCR 특성을 가진 망가닌에서 EMF 특성을 만족하는 합금을 구성하기 위하여 망간의 함량을 조절하여 합금을 제작하였다. 기준 금속인 Cu-2wt%Ni에 Mn 3, 5, 10, 12 wt%의 합금을 진공용융로에서 용융하여 잉곳 형태로 제조하였고 조성은 표 1과 같다.

이후에 분산화 열처리와 상하부 편석제거를 통해 농도를 조정하고 압연 공정을 이용하여 판재 형태로 제조하였다. 제작된 합금의 조성을 확인하기 위해 EDX (energy dispersive x-ray)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 15 W 급의 상용 규격 크기로 제작하였으며, 각각 비저항이 다른 합금의 최종 저항값을 일치시키기 위하여 저항 금속의 두께를 조정하여 샘플을 제작하였다.

Table 1. Composition of the metal alloys.

Alloy	Composition (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

3. 결과 및 고찰

그림 1에 제작된 합금 저항의 조성을 확인하기 위해 측정된 EDX 분석 결과를 나타낸다. 그림 1(a)로부터 단자에 적용된 Cu와 그림 1(b)부터 1(e)에 각각 3, 5, 10, 12 wt%의 Mn 함유량을 확인할 수 있다.

동일 조건에서의 실험을 위해 각 조성의 셉트를 100 $\mu\Omega$ 으로 20개씩 제작하여 그림 1에 표시한 측정 지점에서 저항을 확인하였으며 그림 2에 나타내었다. 모든

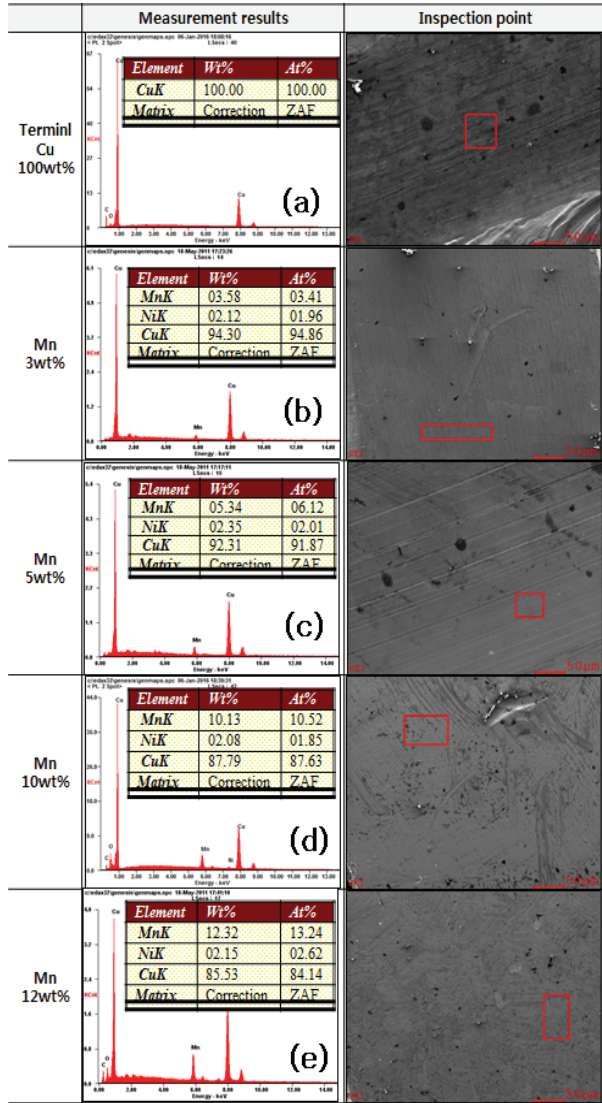


Fig. 1. EDX analysis for metal alloy resistors; (a) Cu100, (b) Cu-3Mn-2Ni, (c) Cu-5Mn-2Ni, (d) Cu-10Mn-2Ni, and (e) Cu-12Mn-2Ni alloy.

망간 조성에서 0.101과 0.099 mΩ 사이에 저항이 분포하여 저항 허용오차 F급(1%) 이내로 BMS용 셉트의 특성을 만족하였고 각각 조성에 따라 평균 99.95, 100.04, 100.02, 100.04 μΩ을 나타내었다.

저항을 측정한 셉트로부터 그림 3과 같이 온도 변화에 따른 셉트의 저항 변화인 저항온도계수(식 (1)에 표시)를 측정하였고, 각 저항체의 저항 값을 25°C와 125°C에서 측정하여 변화율을 나타내었다 [8].

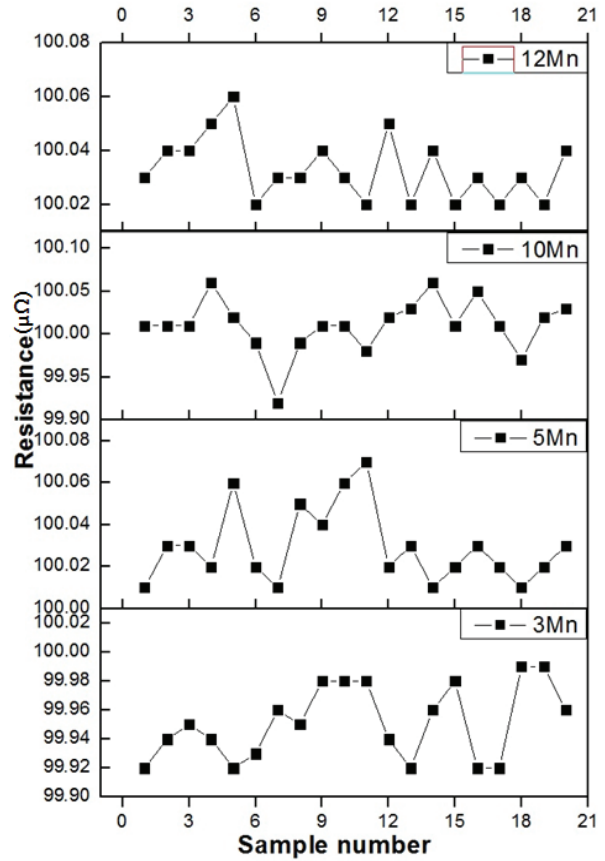


Fig. 2. Resistances for each metal alloy resistors.

$$TCR = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} \times 10^6 [ppm/^\circ C] \quad (1)$$

- R_1 : 최저온도에서의 저항
- R_2 : 최고온도에서의 저항
- T_1 : 최저온도 (25°C)
- T_2 : 최고온도 (125°C)

3, 5, 10 wt%의 Mn이 포함된 Cu-Mn 합금에서는 각각 평균 44.56, 40.54, 35.60 ppm의 TCR이 측정되었으며, 표준 셉트 저항으로 사용되고 있는 망가닌 Cu-12Mn-2Ni 합금은 TCR 평균 31.56 ppm으로 가장 안정적인 특성이 나타나 Mn의 함량에 따라 비례적으로 TCR이 낮아짐을 확인하였다.

그림 4에는 망간 함량에 따라 각 시료의 TCR이 변화되는 추이를 나타내었으며, 모든 시료에서 BMS용 셉트저항 특성에 부합하는 TCR 50 ppm 이하를 만족

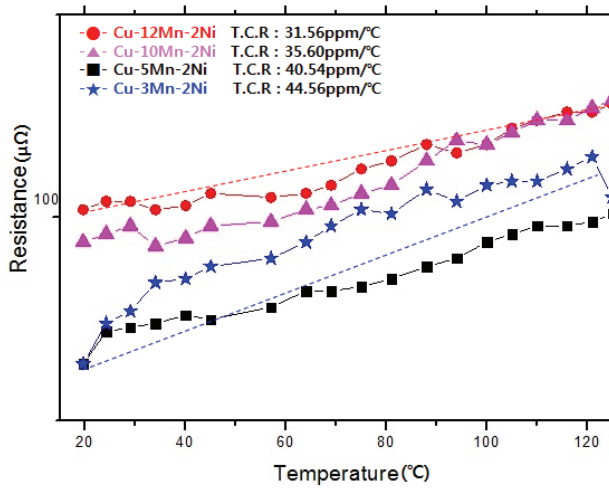


Fig. 3. Changes in TCR with temperature.

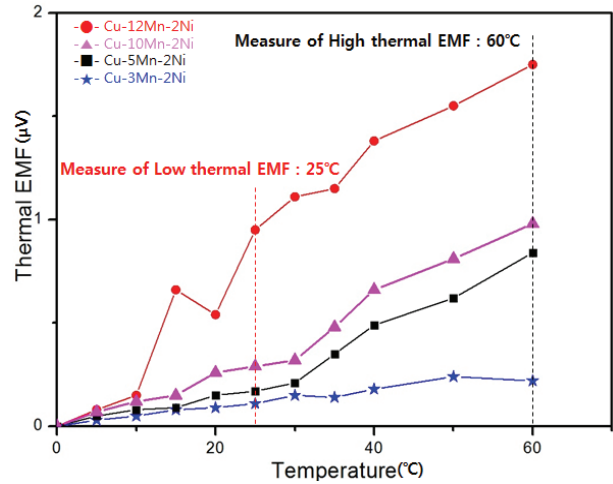


Fig. 5. Voltage changes with the temperature between 0 to 60°C for the Cu-Mn alloy thermal electromotive force average.

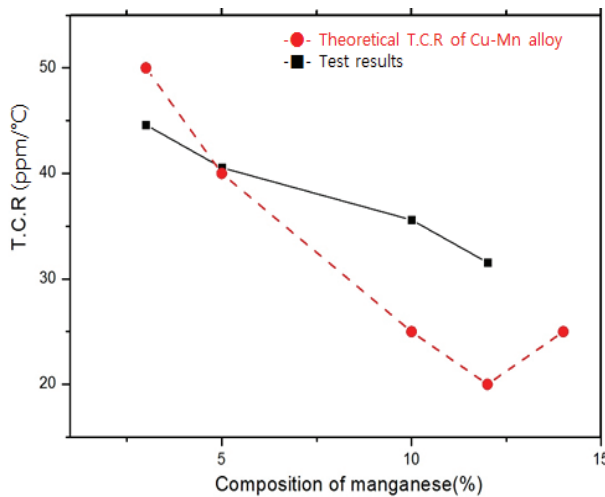


Fig. 4. Resistance changes with the temperature between 25 to 125°C for the Cu-Mn alloy temperature coefficient of resistance average.

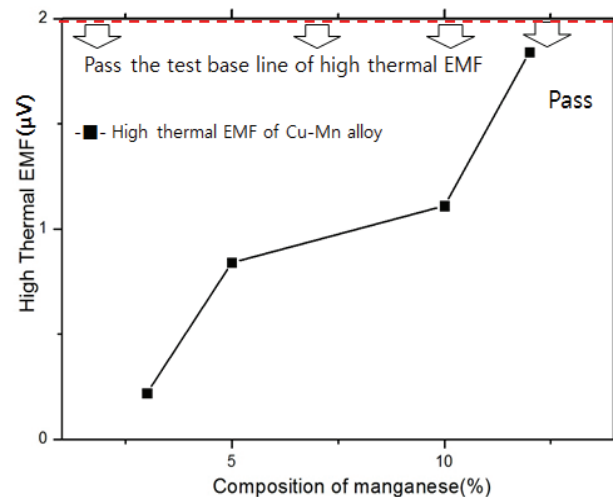


Fig. 6. Voltage changes with the temperature between 0 to 60°C for the Cu-Mn alloy High thermal electromotive force average.

하여 저항허용오차가 F급($\pm 1\%$)인 정밀 저저항의 제작이 가능하다 [9].

그림 5에는 온도 변화에 따른 각 합금의 열기전력 상승을 나타내었다. 실험은 제벡효과와 펠티어의 영향을 고려한 전기적 발열 시험과 간접 발열을 기본으로 하는 환경발열 조건에서의 시험으로 구분하여 실시하였고 [10], EMF 특성은 적용 이차전지와 BMS에 따라 25°C의 낮은 온도에서 특성을 확인하는 시험 조건과 60°C의 높은 온도에서 특성을 확인하는 조건으로 나누

어진다. 모든 합금에서 높은 온도 EMF특성 기준($< 3 \mu\text{V}$)은 만족하였지만 낮은 온도 EMF 특성 기준($< 0.3 \mu\text{V}$)은 3 wt%Mn과 5 wt%Mn 만이 특성을 만족하였다. 결과는 그림 6, 그리고 그림 7과 같다.

EMF 특성 시험 결과로부터 설프트의 안정과 온도에 저항 변화율이 낮은 합금을 구현하기 위한 높은 합금 조성은 TCR은 안정할 수 있지만 이에 따라 저항 금속과 단자 금속의 열전도도와 전기전도도 차이에 의한 온도 구배가 발생함을 확인 할 수 있다. 그리고 해당 온

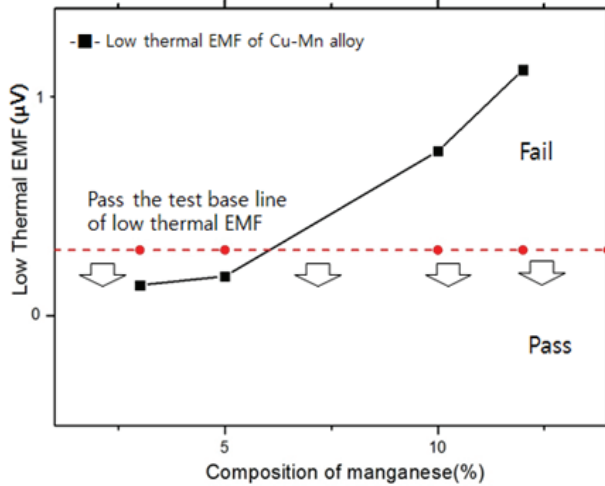


Fig. 7. Voltage changes with the temperature between 0 to 60°C for the Cu-Mn alloy Low thermal electromotive force average.

도 구배는 온도가 높은 금속에서 낮은 금속 쪽으로 전자의 이동을 활발히 하여 EMF특성에 악영향이 된다.

이상의 실험을 통해 안정적인 TCR과 EMF특성을 동시에 만족하는 Cu-3Mn-2Ni 합금과 Cu-5Mn-2Ni 합금이 본 연구에서 설계한 BMS용 정밀 대전력 셉트 저항의 특성을 만족하여 적절한 합금 설계가 이루어졌음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 전기자동차에 적용되는 이차전지 관리 시스템 동작의 시작이 되는 센싱용 대전력 셉트 저항의 열기전력 특성과 저항온도계수 특성의 설계를 통하여 합금 저항체의 전기적인 특성을 고찰하였다. 제작된 합금 저항 금속의 조성을 확인하기 위해 EDX 분석을 수행하였으며, 설계한 셉트의 금속 압연 판재가 양호하게 제작되었음을 알 수 있었다. 현재 이차전지 BMS용 셉트 저항에 전반적으로 사용되고 있는 망가닌 재료를 기본으로 망가닌 재료가 구현하지 못하는 낮은 온도에서의 EMF특성을 만족하기 위한 망간의 함량을 조절

한 실험을 진행하였다. 실험 결과로부터 Cu-3Mn-2Ni와 Cu-5Mn-2Ni에서 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 낮을수록 안정적이고 본 연구의 결과로부터 셉트 저항의 기본 특성을 만족하며 열기전력을 최소화한 적절한 합금 설계가 이루어졌다고 판단할 수 있다.

REFERENCES

- [1] J. H. Park and H. J. Cha, *Trans. Korean Inst. Power Electron*, **7**, 131 (2015).
- [2] J. H. Lee, C. H. Park, G. E. Yang, G. K. Shin, and C. M. Bae, *Trans. Korean Soc. Auto. Eng.*, **21**, 147 (2013).
- [3] S. S. Park, J. S. Koo, K. Y. Youn, and C. S. Kim, *Trans. Korean Soc. Auto. Eng., Spring Conference Proceeding*, 1249 (2002).
- [4] S. Yarlagadda and T. T. Hartley, *Trans. IEEE Applications*, **49**, 2720 (2013).
- [5] F. Zandma, P. R. Simon, and J. Szwarc, *Resistor Theory and Technology*, 1st ed. (Malvern, U.S.A, Vishy Inter Technology Inc, 2001) p. 76.
- [6] M. S. Huh, S. W. Choi, H. G. Chun, S. C. Kwon, G. H. Lee, and T. Y. Cho, *Journal of Korean Vacuum Society*, **6**, 77 (1997).
- [7] Y. G. Ko, C. W. Lee, S. Namkung, D. H. Lee, and D. H. Sin, *The Korean Society for Technology of Plasticity*, **18**, 476 (2009).
- [8] J. S. Hwang and H. J. Kim, *Fixed Resistors for Use in Electronic Equipment - Part 4: Sectional Specification: Fixed Power Resistors*, **KS C 5115-4**, 15 (2001).
- [9] F. Zandma, P. R. Simon, and J. Szwarc, *Resistor Theory and Technology*, 1st ed. (Malvern, U.S.A, Vishy Inter Technology Inc, 2001) p. 52.
- [10] H. A. Harper, *Electronic Materials and Processes Handbook 1st ed.* (New York, U.S.A., McGraw-hill, 2010) p. 4.1.