



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

션트 전류 센서의 감지정밀도 향상을
위한 저항온도계수 및 열기전력 안정화



2019년 2월

부경대학교 산업대학원

금속공학과

손 미 라

공학석사 학위논문

션트 전류 센서의 감지정밀도 향상을 위한 저항온도계수 및 열기전력 안정화

지도교수 강 창 룡

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2019년 2월

부경대학교 산업대학원

금속공학과

손 미 라

손미라의 공학석사 학위논문을 인준함.

2019년 2월 일



위 원 장 공학박사 왕 제 필 (인)

위 원 공학박사 김 권 후 (인)

위 원 공학박사 강 창 룡 (인)

목 차

Abstract	iii
1. 서 론	1
2. 이론적 배경	10
2.1 고정 저항기 이론	10
1) 고정 저항기의 정의	10
2) 고정 저항기의 종류	10
3) 고정 저항기의 성능	11
4) 고정 저항기의 열적 특성	12
2.2 전류분배 션트 이론	19
1) 전력 분배 감지 방식과 마그네틱 홀 감지 방식	19
2.3 BMS용 전류 분배형 션트 고정 저항기 이론	23
1) 이차전지 관리 시스템	23
2) 리튬이온전지의 위험	24
3) BMS에서 션트의 역할	25
3. 실험 및 고찰	31
3.1 실험 샘플 설계 및 제작	31
1) 재료 설계 및 제작	31
2) 샘플 저항 측정 결과	32

3.2 실험 결과	37
4. 결 론	46
5. 참 고 문 헌	48
감사의 글	50



Stabilization Temperature Coefficient of Resistance and Thermal Electromotive Force for Improving Senses Accuracy of Shunt Current Sensor

Mi Ra Son

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

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.

In this paper, we prepared metal alloy resistor with stable thermoelectromotive force (thermal EMF) as well as low temperature coefficient of resistance (TCR) by adjusting manganese composition of 3 to 12 wt% in the Cu-Mn-Ni alloy. Composition of the metal alloy fabricated was investigated using energy dispersive X-ray (EDX) analysis. 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 could satisfy the baseline of low thermal EMF (under 0.3 mV at 25 °C). Finally, we could design and fabricate the metal alloy resistor of Cu-3Mn-2Ni and Cu-5Mn-2Ni with low TCR and stable thermal EMF at the same time.

1. 서 론

사물인터넷은 네트워크 기반의 사물, 전자 전기기기 등에 센서를 부착하여 데이터를 인터넷으로 주고받는 기술이나 환경을 통칭하는 것으로 기존의 “인터넷에 연결된 기기”와 달리 인간의 조작 없이 사물이 서로의 정보를 공유하며 동작하는 기술이다. 최근 우리 사회는 산업혁명, 정보화혁명을 거쳐 모든 것이 인터넷과 연결되는 사물인터넷 기반의 초 연결 혁명이 진행 중이고 2015년 기준 인터넷에 연결된 사물은 세계 52억 개에서 2020년 260억 개까지 늘어날 전망이다¹⁾.

이상과 같은 초 연결 사회 및 이차전지 기반 네트워크는 자동차 자율주행, 건강 의료, 수면, 요리, 금융 등 사용자가 의식하지 않더라도 필요한 정보를 적합한 시점에 전달해주는 기기가 보편화 될 것으로 예상되고 이와 같은 환경에서 가장 중요한 핵심 기술이 센서의 센싱 기술이다. 감지의 기술은 물체가 평시 상태 A에서, 상태 B로 이동한 형태와 양, 종류 등을 해석하여 반응 하게 하는 기술로 센싱과 같은 의미이고 센싱은 보통 변화된 전류의 양을 감지하여 해석 할 수 있다. 즉, 전력을 측정하고 제어하는 전자 전기 시스템에서 기본적인 구동 방법으로 효율의 최대화, 고장시 시스템 구성요소 보호와 사물인터넷에서 센싱 정보의 공유 등을 위하여 부하전류(변화전류)의 정확한 센싱이 중요하다.

전자제품 회로 구성의 가장 기본이 되고, 가장 많이 적용되는 수동소자인 고정 저항기 또한 이런 시장의 요구를 충족하기 위하여 기존의 형태와 기능에서 발전적인 개선을 시도 하고 있고, 이런 시도는 최초의 이차전지 강국이었던 일본을 시작으로 확산되는 추세이다. 이차전지의 입출력 전류가 상승함에

따라 고정저항기의 저항치는 낮고 정격전력은 높으며, 소형기기에 실장 되기 위한 제품의 크기는 작아지는 특수 저항이 필요하게 되었다²⁾.

전력을 측정하고 제어하며 최적화하는 것은 전자 및 전기 시스템에서 기본적인 요소로, 효율의 최대화, 이차전지 수명연장, 고장시 시스템 구성요소 보호와 같은 일을 위해 부하 전류의 정확한 센싱을 필요로 한다. 전류 측정을 위해 사용되는 전류 센서는 Fig. 1와 같이 라인 전류를 고정저항에 흘려 전압 강화를 통해 측정하는 셉트 방식과 자기장을 이용하는 마그네틱 홀 전류 측정 방식이 있고 Fig. 2에 각각 센서의 형상을 나타내었다. 상대적으로 홀 측정 방식은 자기력과 해석 회로가 필요하기 때문에 PCB(Printed Circuit Board) 상에서 상당한 면적을 차지하며, Table 1와 같은 특성적 차이로 인하여 더 정밀하고 작동 원리가 간단한 전류 분배 셉트 고정 저항기가 센서 기반부품으로 많이 적용된다. 하지만 최근 발전된 인터페이스 기술과 소프트웨어 기술, 연결망 기술에 비하여 센싱의 기본이 되는 센서 수동 부품의 기술은 1980년대 이후로 국내 및 해외의 연구가 종료된 상태로 기술 발전이 이루어지고 있지 않은 분야이다. 즉, 현재 4차 산업혁명이 추구하는 사물인터넷 기반의 초연결 사회로의 발전에 최대 걸림돌은 보안 문제도, 안전 문제도 아닌 1980년대에 중지된 센서 부품의 정밀도 상승 문제로, 전류 분배 기반의 셉트 고정 저항의 발전 없이 IoT 기술의 확산을 기대하기 어려운 실정이다.

특히 최근 친환경 이동수단으로 각광받고 있는 전기 자동차의 경우 에너지 저장장치로 사용하고 있는 리튬이온 대용량 전지의 위험을 방지하기 위해 배터리 관리 시스템(Battery Management system : 이하 BMS)을 적용 중이고 BMS 구성 부품 중 전류 센싱과 감지의 기능을 하는 대전력 셉트 고정 저항기에서 이차전지의 관리가 시작된다³⁾.

BMS에 적용되는 셉트저항은 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 일반적인 셉트 저항에서는 요구되지 않는 열기전력에 대한 단자와 저항금속의 전위차 발생이 제한된다. 즉, Fig. 3와 같이 이중 금속간의 용접 접합으로 설계된 BMS용 셉트 저항은 전류 통전으로 인한 혹은 주변 온도의 변화로 인하여 소재의 온도가 상승하면 저항금속과 단자금속 간에 온도 상승 차이가 발생해 제백효과(Seebeck Effect)에 의한 전자의 이동으로 전위차가 발생하게 된다. 일반적인 저항일 경우 해당 현상의 영향이 없지만 BMS용 셉트 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 셉트 저항의 핵심 요구 특성으로 관리된다⁴⁾.

금속은 온도가 상승함에 따라 열에너지에 의한 금속 자유전자의 진동이 활발해져 전자의 이동을 방해하여 저항값이 증가하는 현상이 발생한다. 이를 전자의 평균 자유 행로(Mean Free Path) 감소로 해석할 수 있으며 이렇게 저항 값이 온도에 따라 변화하는 비율을 저항온도계수라 한다. 단일 순금속의 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 Table 2의 Cu-12wt%Mn-2wt%Ni(이하:망가닌)가 25℃ ~125℃ 사이에서 표준 저항 온도 계수 $\pm 20\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 로 셉트 표준 금속으로 등록 되어 있고 대

부분의 BMS용 셉트에 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 된다⁵⁾. 즉, T.C.R을 만족시키기 위한 셉트 저항합금 설계는 EMF 특성에 악영향을 미치게 되기 때문에 시장에서 요구하는 BMS용 셉트저항의 특성을 만족하지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 전류 분배형 셉트 고정 저항에 필요한 정밀 감지 능력을 구현하기 위하여 합금의 함량을 최소로 하여 저항금속과 단자금속 간의 온도 구배에 의한 열기전력을 낮추고, T.C.R은 안정적인 합금 설계로 저항온도계수와 열기전력 특성을 동시에 만족하는 대전력 셉트 전류 센싱 정밀도를 향상하였다.

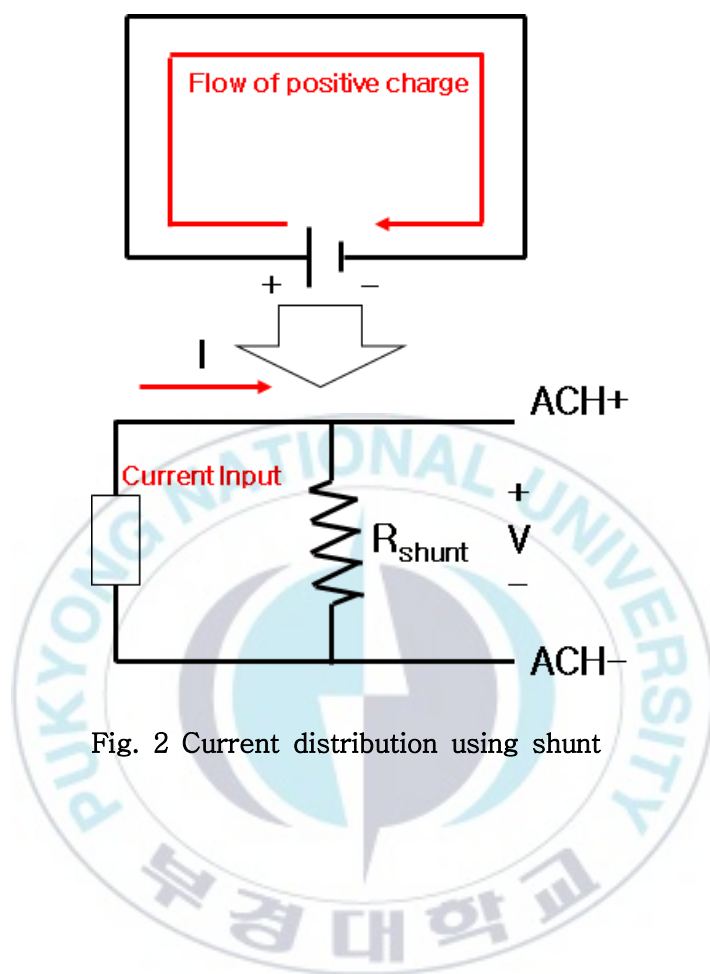


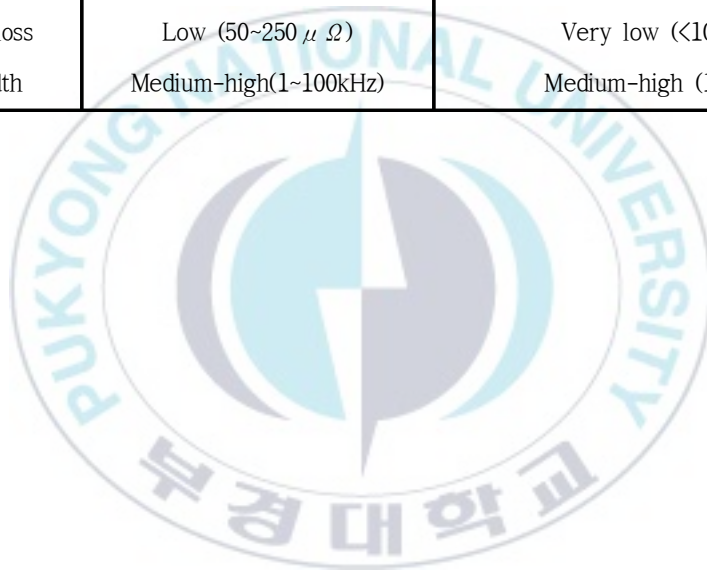
Fig. 2 Current distribution using shunt



Fig. 3 (a) a sensor based on a magnetic hall and
(b) a sensing resistor based on a current-sensing
shunt resistor

Table 1 Comparison of Shunt-based and Hall-based Sensing Methods

Characteristics	Shunt-based sensor	Hall-based sensor
Accuracy	Very accurate(0.5%)	generality(1.5%)
Linearity	Not needed correction	Needs correction
Off set	Zero off set	Needs correction off set
Tolerance	Excellent Tolerance(Max. 0.2%)	Sensitive to stray magnetic fields and metals
Isolation	Impossible to isolate	Basically isolated in (3~5kV)
Insertion loss	Low (50~250 $\mu\Omega$)	Very low (<100 $\mu\Omega$)
Band width	Medium-high(1~100kHz)	Medium-high (1~50kHz)



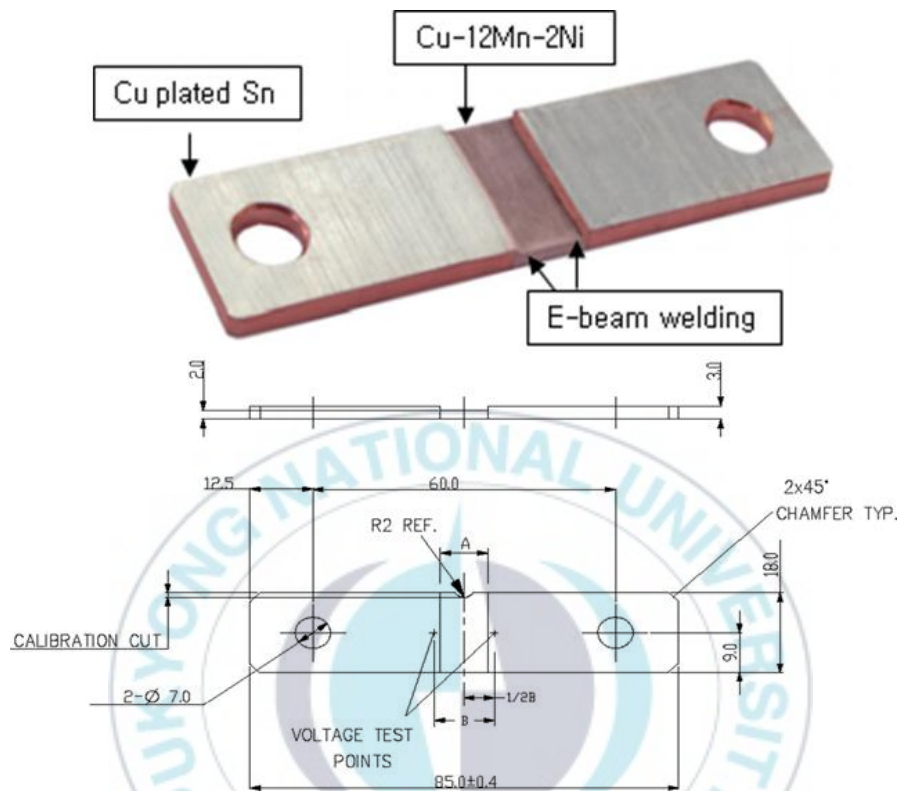


Fig. 3 Structure and materials of welding high-power shunt

Table 2 Shunt standard metal(Germany)

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

2. 이론적 배경

2.1 고정 저항기 이론

1) 고정 저항기의 정의

고정저항기는 일정한 저항값을 유지하는 저항체를 말한다. 이 저항값을 이용하여 정전압 혹은 정전류로 유입되는 전력을 회로 혹은 부품에서 필요로 하는 전류 전압 값으로 변화시키는 역할을 한다. 보통 탄소, 금속, 금속 산화물 등의 재료가 고정 저항기의 재료로 사용되며 저항의 크기를 조정하기 위한 방법은 식(1)과 같다.

$$R(\Omega) = \rho \frac{L}{S} \quad (1)$$

R : 저항값(Ω) L : 저항체의 길이(cm)

S : 저항체의 단면적(cm^2) ρ : 체적 저항율($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)

2) 고정 저항기의 종류

식(1)과 같이 고정저항기의 저항을 상승시키기 위해서는 저항체의 길이는 상승해야 하며 단면적은 작을수록 구현이 용이하다. 이런 저항구현의 특성을 이용하여 저항체는 크게 3가지의 저항 소재 형상을 가지게 되며, 각각 박막(피막)형 고정저항기와 권선형(wire type) 고정저항기, 판재형(plate) 고정저항기이다. 세 종류의 저항기는 모두 Fig. 4와 같이 저항체의 전류 통전 길(path)이 되는 저항소재의 길이를 최대한 길게 하고, 저항체의 단면적을 최소화 하는 방법으로 고유의 저항을 상승시킨다. 저항 상승의 방법으로 피막 저

항과 판재 저항은 컷팅(cutting), 또는 트리밍(trimming)의 방법을 그리고 권선 저항은 와이어의 길이를 이용한 와인딩(winding)의 공법을 사용한다. 가장 낮은 단면적을 구현하기 용이한 피막 저항의 경우 10Ω 이하의 저항을 구현하기 어려운 반면 최대 기가옴($G\Omega$) 까지 높은 저항의 구현이 용이하고, 나머지 두 저항은 10Ω 이하의 낮은 저항을 구현하기 용이하다.

3) 고정 저항기의 성능

고정 저항기의 성능을 판단하는 가장 중요한 지표는 저항의 고정성이다. 즉 어떤 환경적 요인과 내부의 요인 외력 등에 의해 저항 값이 변화하지 않고 일정함을 유지하는 것이 모든 특성을 판단하는 유일한 지표가 된다. 이런 고정 저항기의 성능을 구현하기 위한 전기적, 재료적 방법이 정격전력(W)과 저항 온도 계수(이하 T.C.R.)의 방법이다⁶⁾.

고정 저항기의 정격전력은 제작된 저항 시리즈가 저항의 변화 없이 일정한 저항을 유지할 수 있는 최대의 부하를 나타낸다. 고정 저항기의 전력(W)은 전류 통전으로 인한 온도변화 및 환경 요인들에 인한 조건 변화에 얼마나 일정한 저항을 유지 할 수 있는가를 시험하여 결정한다. 전력 결정 방법은 제작된 저항기의 정격 전압 결정 식, 식(2)에 저항 값과 임의의 전력 값(P)을 지정한 후 IEC60115-1에서 지정한 모든 인정 시험을 만족하면 해당 전력의 능력을 가진다고 판단한다.

$$V = \sqrt{P(W)R} \quad (2)$$

V : 정격전압(V) P : 정격전력(W) R : 제작된 저항계의 저항(Ω)

그리고 저항의 전력 결정 과정을 Fig. 5와 같이 나타 내었다. 신뢰성 시험의 대부분은 정격 전압의 몇 배를 단시간 상황, 습도 상황, 압력 상황, 고온 상황 등에 인가하여 저항 값의 변화율이 몇 % 이내일 때 합격으로 판단한다. 다시 말해 어떤 상황에서도 저항이 변하지 않는 능력이 고정저항기의 최고 성능 지표이고 그런 능력을 낼 수 있는 최대 전력을 찾는 과정이 정격전력의 결정 방법이다. 예시로 Table 3와 같이 제작된 저항에 차례로 임의의 전력을 부여하여 시험을 하였을 시 Table 3와 같은 결과가 나타난다면 최종적으로 모든 특성을 만족한 7W가 해당 고정저항기의 정격전력이 된다.

이와 같이 결정되는 정격전력에서 고정 저항기의 저항값을 변화시키는 요인은 열이다. 때문에 현재 저항의 고정성능을 더욱 향상시키기 위한 방법으로 온도가 상승 하더라도 저항이 변화하지 않는 고정 저항 최적의 재료를 개발하는 방법과 발열에 따라 빠른 방열 특성을 부여하여, 온도가 상승할 수 없도록 하는 방법이 기술적으로 추진되고 있다⁷⁾.

4) 고정 저항기의 열적 특성

방열을 능력을 상승시키기 위한 방법으로 저항의 절연 바디와 단자, 리드와 이어 등 여러 방열 요소에 대한 설계가 중요 하지만 이중 가장 접촉 면적이 넓은 저항 절연 바디의 재료적 설계가 우선시 되며 구조를 Fig. 6와 같이 나타내었다.

저항의 절연체 및 방열 바디는 열전도도와 강성, 절연성, 수명 등을 고려하여 세라믹 재질과 플라스틱 사출 재질이 많이 사용된다. 이중 방열을 위해서는 열전도도에 대한 특성 확보가 우선적으로 고려되어야 하며, 때문에 사출에 대한 접근 보다는 세라믹에 대한 접근을 기본으로 하는 것이 합당하다. 세라믹

은 절연 물질들 가운데 가장 열을 잘 전달하는 재료 중 하나로, 특히 현재 저항에 적용하고 있는 알루미나(Al_2O_3)는 높은 경도와 높은 절연성으로 인해 대체 불가능한 절연 바디 재료로 판단 사용하고 있다. 하지만, 알루미나 세라믹에서도 조성에 따른 열전도의 특성이 달리 나타나며, 알루미나보다 20배 이상 열전도도가 우수한 질화알루미늄(AlN)과 실리콘 카바이드(SiC)의 도입을 통하여 작은 크기에서도 높은 정격을 만족 할 수 있는 고성능 제품이 출시 중이다. 일반적으로 사용하는 알루미나의 조성을 Table 4에 나타내었다.

일반적으로 세라믹 방열형 저항에는 75%알루미나가 가장 많이 사용되고 있으며, 방열형에는 85%가 적용 중이다. 하지만 칩 SMD형태의 소형 저항에는 96%, 99%도 적용 중이고 특수 목적으로 다른 세라믹도 일부 적용하고 있다.

고정 저항기의 저항 변화는 대부분 통전에 의해 온도가 상승함으로 해서 저항이 변하는 저항온도 계수에 의한 것이다. 보통 정밀 F급 저항이 의미하는 1%의 허용오차는 제작된 제품에 의미하는 것이 아니라, 적용된 제품이 열에 의해 변화되는 저항의 변화를 1% 이내로 보장한다는 것이다. 1%의 허용오차를 유지하기 위한 저항온도 계수 값은 최대 150ppm 이내이며, 안정성을 위해 100ppm 이내로 관리하고 있다. 하지만 저항이 더 떨어지고 전류량이 더 많아지는 전류 분배형 선트의 경우는 50ppm 이내로 관리 되어야 우수한 성능을 보유 하였다고 판단할 수 있다. 금속의 저항온도 계수는 Table 5와 같이 순금속인 모든 금속이 3000ppm이상으로 상당히 높은 편이다. 이런 금속을 사용했을 시 온도 100℃ 변화량에 대하여 3%이상의 높은 변화율이 발생하며, 때문에 모든 선트저항 금속은 합금을 기반으로 제작한다⁸⁾.

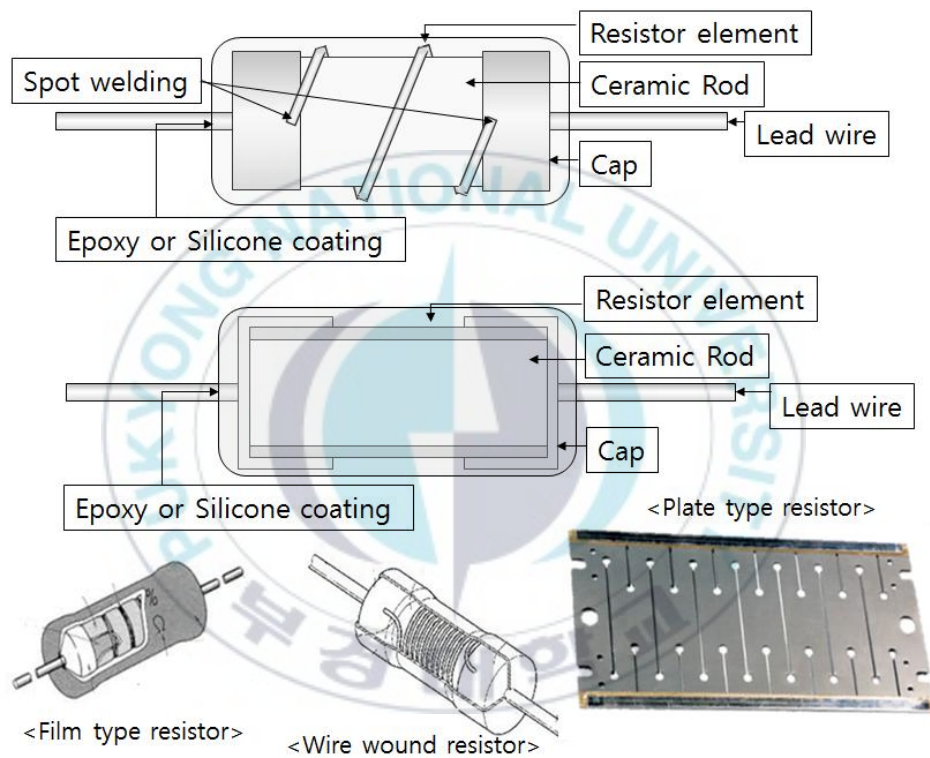


Fig. 4 Structure of fixed resistor

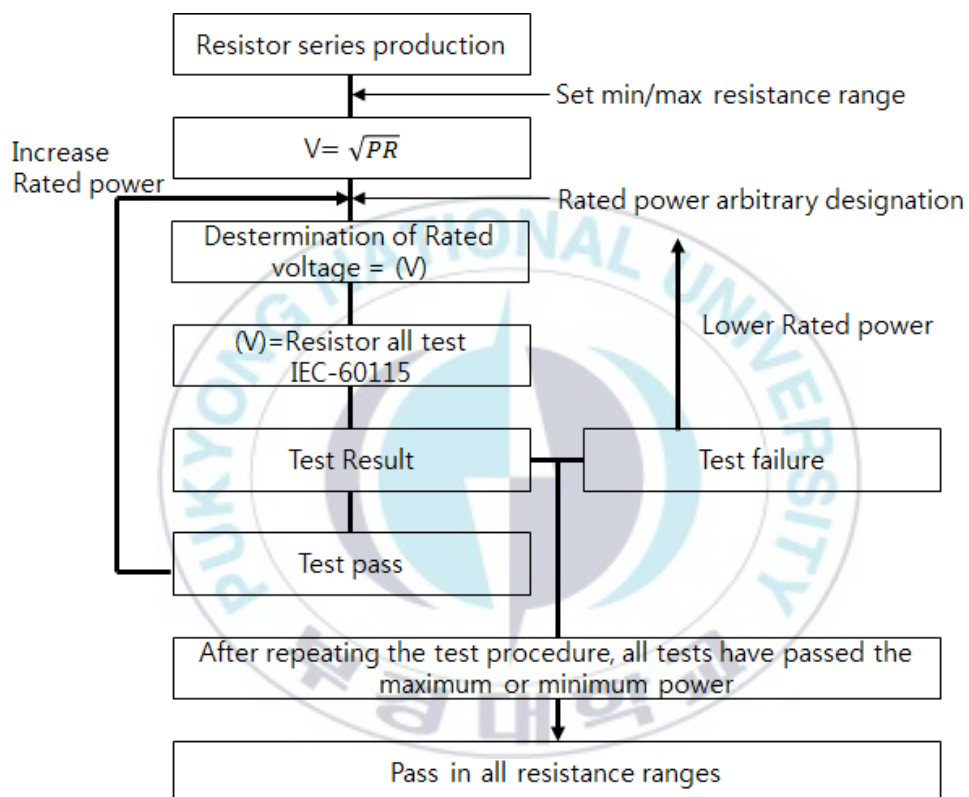


Fig. 5 Rated Power Determination Process of Fixed Resistors

Table 3 Test results of fixed resistor rated power determination

Rated power	S.T.O	Load life	Rated load	Humidity load	High temperature load	Atmospheric conditions
1W	OK	OK	OK	OK	OK	OK
2W	OK	OK	OK	OK	OK	OK
3W	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4W	OK	OK	OK	OK	OK	OK
5W	OK	OK	OK	OK	OK	OK
7W	OK	OK	OK	OK	OK	OK
10W	OK	FAIL	OK	OK	OK	OK
15W	FAIL	FAIL	OK	OK	FAIL	OK

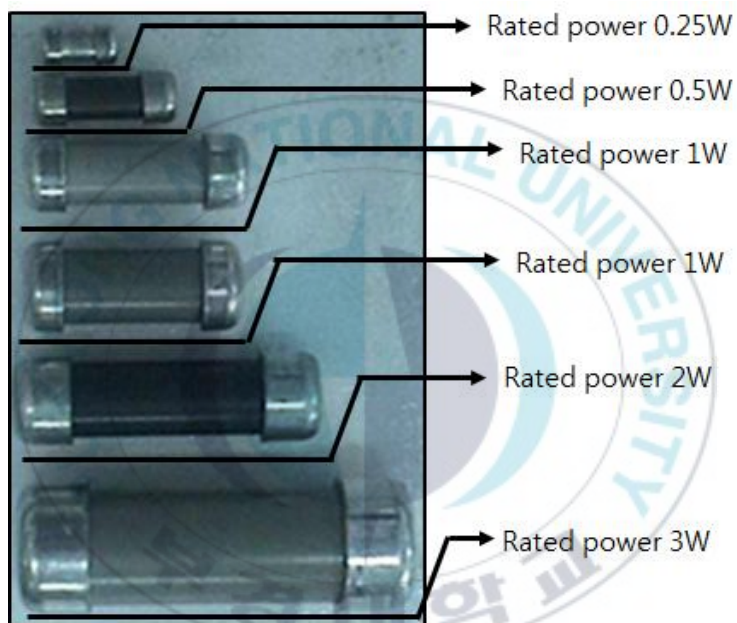


Fig 6. Change in rated power according to insulation ceramic size

Table 4 Typical alumina composition ratio

Components	Low Al_2O_3	High Al_2O_3	Special Al_2O_3
Al_2O_3	85~88%	95%	99.7%
SiO_2	7%	3.3%	0.1%
MgO	1.3%	1.2%	Less than 0.04%

2.2 전류 분배 션트 이론

1) 전력 분배 감지 방식과 마그네틱 홀 감지 방식

자기장 감지 요소가 전류를 운반하는 도체에서 생성되는 자속을 측정하는 방식인 마그네틱 홀 센서와 달리 션트에 의한 센싱은 고정된 저항값을 가진 션트저항 사이의 전압 강하를 직접 측정해서 해당 전압값을 전류의 흐름 값으로 전환하여 전류를 센싱하는 방법이다. 센싱 기술적 여러 장점으로 인하여 현재 중대용량 이차전지의 핵심 BMS 감지 기술과 최근의 전력 감지 모니터링 및 인터넷 기반의 산업용 사물인터넷 시스템(IoT)에서의 센싱 제어를 포함해 파워 서플라이, UPS, 인버터, 고전력 의료기 등, 정밀 센싱이 필요한 산업에 션트에 의한 센싱 기술이 활용되고 있는 추세이고 산업현장에서 사용되는 션트저항은 여러 종류로 나누어져 있다. 특히 낮은 션트 저항을 이용한 전류 분배 방식은 Fig. 7와 같이 병렬 구성을 통한 전류의 분배에 있으며 션트로 유입되는 전류량의 변화를 감지하여 동작 명령을 제어 하지만 낮은 저항을 사용하는 만큼 션트에 흐르는 전류량은 많아지고 이에 따라 온도가 상승 하여 저항온도 계수(Temperature coefficient resistance 이하 T.C.R)에 따라 저항이 변화되어 센싱 오작동이 발생하게 된다. 때문에 최근 상대적으로 션트 저항에 의존이 적은 새로운 전류 센싱 기법이 연구되고 있고 차세대 Sense FET 감지 시스템, 신호 레벨에서 센싱 저항을 이용하는 센싱 설계, OP 앰프 가상 접지를 이용하는 전류 센싱 등이 연구되고 있지만 Fig. 8, 9와 같이 차세대 센싱 회로에 궁극적으로 션트 저항의 정밀도 향상 없이 센서 고도화를 논하기 어려운 회로 구조이다.

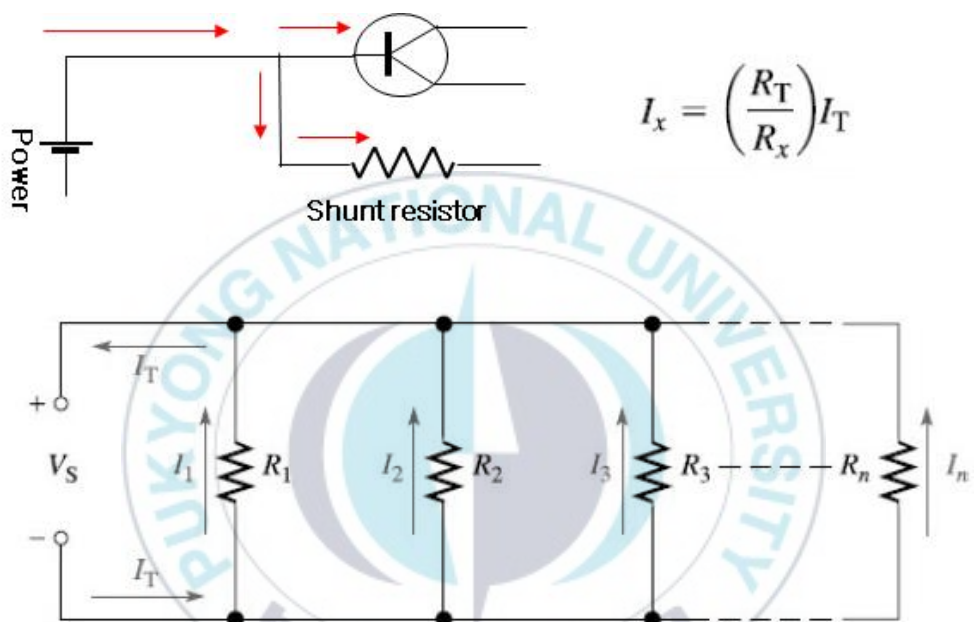


Fig. 7 Sensing principle using current distribution shunt

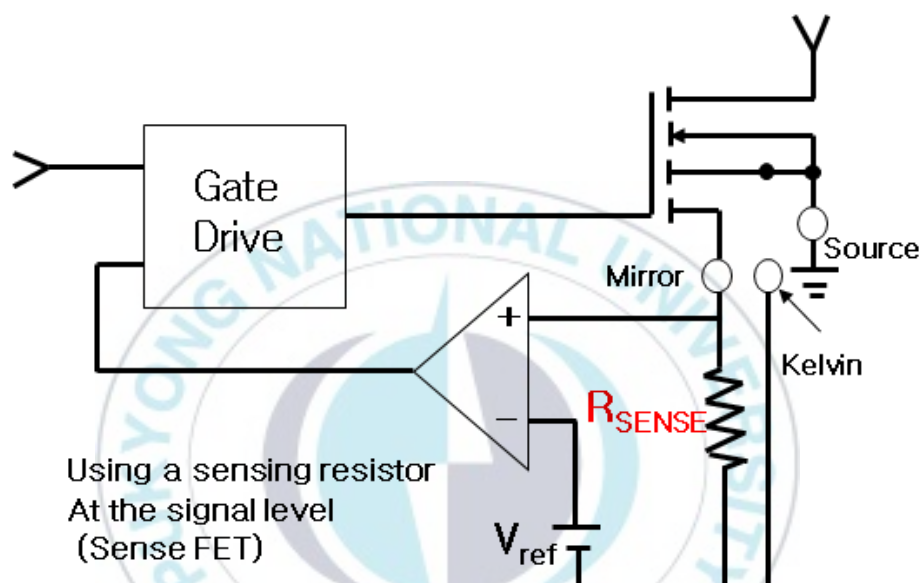


Fig. 8 Sense FET circuit diagram using sensing resistor at signal level

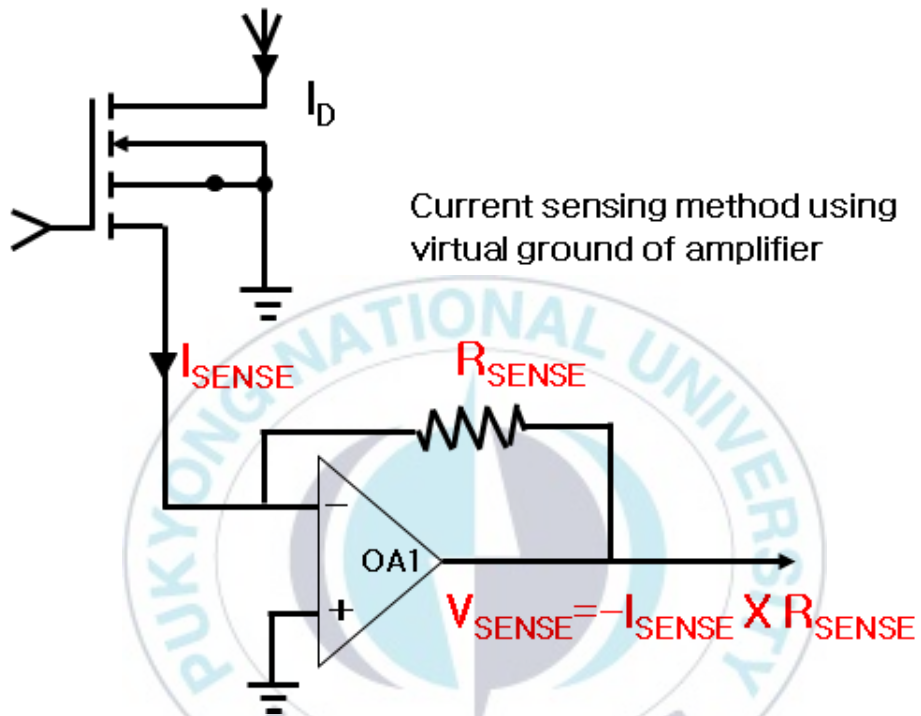


Fig. 9 Current sensing method using earthing ground of amplifier

2.3 BMS용 전류 분배형 셉트 고정 저항기 이론

1) 이차전지 관리 시스템

최근 이차전지의 용량상승으로 통전 전류량이 최대 600A에 이르고 IoT 기반의 사물인터넷 등에서 센싱의 정밀성이 요구되며 현재의 T.C.R 20ppm/℃ 한계인 셉트 저항의 성능 향상이 강력히 요구되고 있지만 단일 금속으로 T.C.R의 안정성 한계에 이른 것으로 판단된다. 하지만, 저항 금속의 연구는 1940년대에 개발된 Cu-12Mn-2Ni(Manganin 이하 : 망가닌)재료가 출시된 이후에 실질적인 연구가 중단 되었으며, 현재도 T.C.R이 20ppm/℃인 해당 금속이 가장 우수한 저항금속으로 표준 셉트 저항 재료로 사용되고 있다. 보통 T.C.R은 일반 저항 기준 상온 25℃~125℃까지 저항변화를 측정하는 것이 기본이지만, 적용제품의 완제품 기준에 따라 0℃~100℃, 0℃~60℃(이차전지)등 고객의 요구에 따라 변경하여 측정하고 측정된 셉트의 저항은 식 (3)와 같이 계산하여 저항온도 계수값을 얻어, 이를 바탕으로 저항의 정격전력 및 허용오차, 감지의 한계 등 대부분의 셉트거동을 예측할 수 있는 중요한 지표로 활용된다⁹⁾.

$$T.C.R = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} \times 10^6 \quad (3)$$

R1 : 고정저항기 측정 최저 온도에서의 저항

R2 : 고정저항기 측정 최대 온도에서의 저항

T1 : 측정 최초 온도 T2 : 측정 최대 온도

재료의 저항온도계수는 온도에 따른 재료의 저항 변화로 저항의 특성을 결정하는 가장 중요한 특성이며, 보통 금속은 온도 상승에 따라 저항이 상승하고, 비금속 공유 결합 유전체는 온도 상승에 대하여 저항이 하락하는 특성이 있다. 일반적으로 금속은 저온에서는 완전한 격자구조를 이루어 높은 전하이동도와 전도도를 가지지만 가열될 경우 원자가 증가된 열에너지에 의해 위치가 이동되고 전자는 제자리에 있지 않는 원자와 충돌하여 전자의 평균자유 행로가 감소하고 이동도와 전도도가 낮아져 저항이 증가하게 된다. 분배된 전류가 선티저항을 통과할 때 전류에 의한 발열과 저항금속의 T.C.R로 인하여 선티의 저항 값은 상승하게 되고, 상승한 저항 값으로 인한 전류의 분배량이 다시 바뀌어 감지 및 센싱 오동작이 발생하게 된다.

2)리튬 이온 전지의 위험

ESS 에너지저장 시스템으로 사용되고 있는 여러 대용량 이차전지 중 리튬 이온 전지는 단위 질량과 부피당 보유한 에너지 밀도가 높고 전류를 원하는 형태로 만들 수 있는 유연성으로 인하여 적용 가능한 이차전지 중 현재 가장 주목받고 있다. 하지만 이차전지 내부 셀들의 전압 및 온도가 일정하게 유지되지 않는다면 이차전지의 성능과 수명은 낮아지게 되고, 사용 중 이차전지 내부에서 지속적인 충격과 방전 동작의 반복으로 인하여 의도하지 않은 원인의 과전류, 과전압, 과부하 등과 같은 상황이 지속될 수 있으며, 화재와 폭발로 이어질 위험이 있다.

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. 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 셉트 고정 저항기에서 시작된다. Fig. 10은 일반적인 대용량 이차전지의 BMS 모듈 구성 블록도이다. Fig. 10에 표시한 셉트 저항에서의 전류 전압 감지에서부터 각 셀의 과충전 과방전이 판단되고 이에 따른 셀 밸런싱 충전과 이차전지 사용 가능 영역에서의 충 방전 제어가 가능해 진다. 즉, 이차전지로의 충전 혹은 방전 전류가 유입 될 시 BMS를 포함한 셉트 고정 저항기를 통해 통전이 발생 하게 되며, Fig. 11와 같이 특정 셀의 밸런싱이 위험 전압 이상으로 상승 할 시 해당 전류 전압을 감지하여 제어부에 밸런싱 동작 명령이 내려진다. 이런 셀 밸런싱 동작을 통해서 각 셀은 Fig. 12의 그래프와 같이 이차전지에서 사용하지 않는 용량 과충전 상황과 용량 과방전 상황을 최소화 혹은 제거할 수 있어 결과적으로 이차전지의 수명과 안전성을 상승 시킬 수 있다¹¹⁾.

3)BMS에서 셉트의 역할

BMS 센싱 감지의 방법으로 사용되는 셉트는 고정저항기로 높은 전류 통전, 주변 온도의 상승, 기압 변화와 습도 변화 등 여러 교란 요소에 대한 일정한 저항을 유지하는 것이 가장 중요한 특성이다. 하지만 대용량 이차전지에 적용되는 셉트 저항은 이차전지의 높은 전류 통전량(200A 이상)과 낮은 저항의 필요성($100\mu\Omega\sim250\mu\Omega$) 등으로 인하여 Fig. 13와 같이 다른 고정 저항기

들과는 달리 PCB에 실장 되는 형태가 아닌 BMS의 PCB와 결합하도록 구성 되어 있다.

BMS에 적용되는 셉트저항은 적용 회로상의 증가한 통전 전류량으로 인한 발열문제로 정격전력이 높아야 하며, 효과적으로 전류를 분배하기 위해 저항 이 낮아야 하고, 발열에 의한 온도상승으로 인한 저항 값의 변화를 낮추기 위해 낮은 저항온도계수를 가져야 한다. 그리고 구조적 특성과 낮은 저항으로 인한 다른 일반적인 셉트 저항에서는 요구되지 않는 열기전력에 대한 단자와 저항금속의 전위차 발생이 제한된다¹²⁾. 이중 금속간의 용접 접합으로 설계된 BMS용 셉트 저항은 전류 통전으로 인한 혹은 주변 온도의 변화로 인하여 소재의 온도가 상승하면 저항금속과 단자금속 간에 온도상승 차이가 발생해 제백효과(Seebeck Effect)에 의한 전자의 이동으로 전위차가 발생하게 된다. 일반적인 저항일 경우 해당 현상의 영향이 없지만 BMS용 셉트 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 셉트 저항의 핵심 요구 특성으로 관리된다¹³⁾.

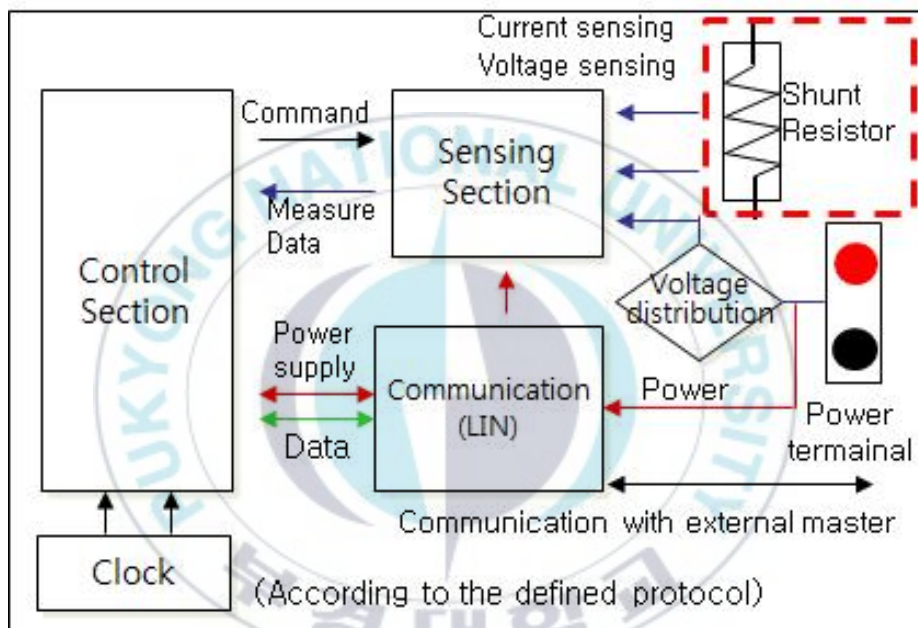


Fig. 10 BMS module configuration block diagram of High capacity secondary battery

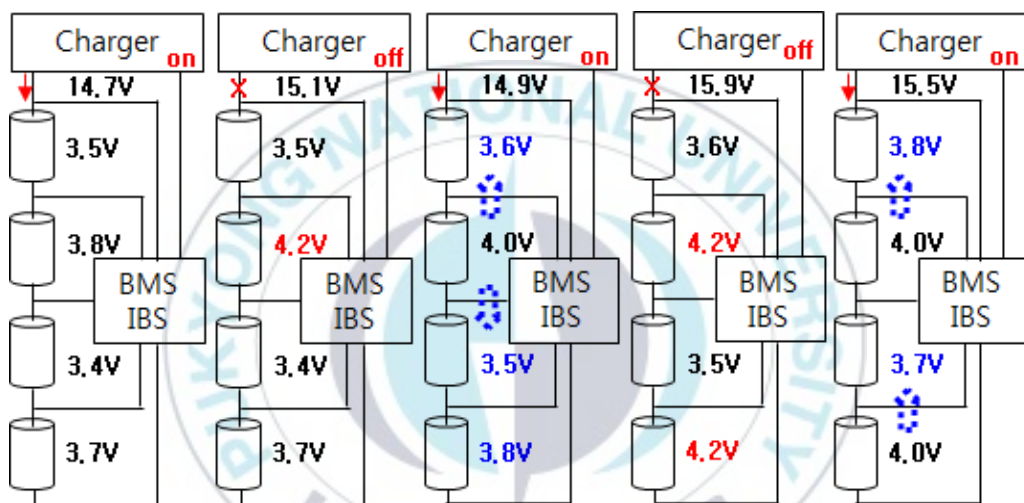


Fig. 11 Cell-balancing movement of high capacity secondary battery

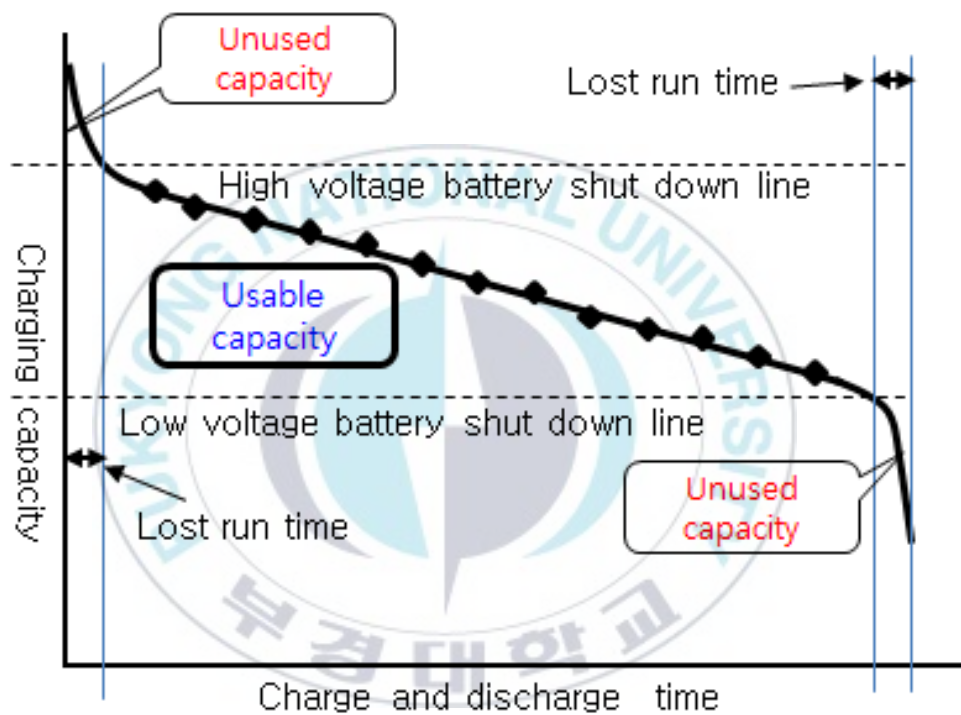


Fig. 12 Section of valid usage of secondary battery

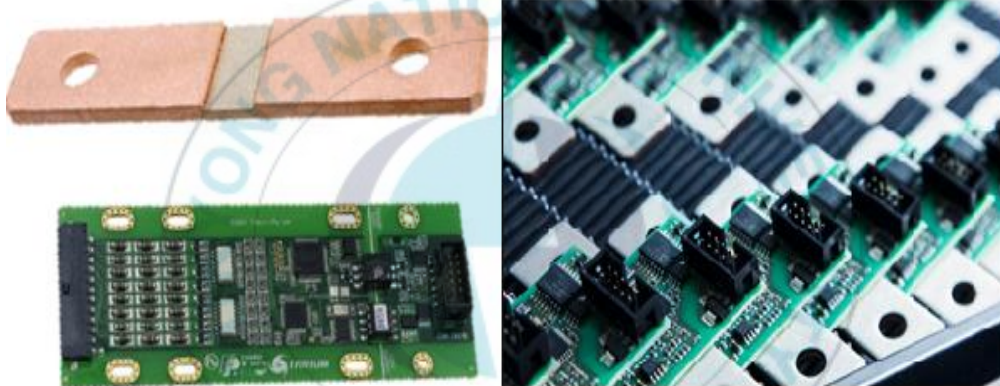


Fig. 13 Structure and module of fixed resistor for BMS shunt

3. 실험 및 고찰

3.1 실험 샘플 설계 및 제작

1) 재료 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 3wt%와 5wt%, 10wt%, 12wt%의 합금을 진공용융로에서 용융하여 잉곳 형태로 제조하였고 Table 5와 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 제작하였다. 그리고 각각 비저항이 다른 합금의 최종 저항값을 일치시키기 위하여 저항 금속의 두께를 조정하여 샘플을 제작하였다.

Fig. 14에 제작된 합금 저항의 조성을 확인하기 위해 측정한 EDX (Energy Dispersive X-ray) 분석 결과를 나타낸다. Fig. 14(a)로 부터 단자에 적용된 Cu와 Fig. 14(b)부터 Fig. 14(e)에 각각 3, 5, 10, 12 wt%의 Mn 함유량을 확인할 수 있다.

대표 샘플의 단면 확인 결과 Fig. 15의 전자 빔 용접 부 단면과 같이 내부에 기공 혹은 결함이 없고 전체 면에 대하여 용입 깊이가 충분하여 미용접 부

가 없는 상태를 확인할 수 있었다. 이는 전류 통전이 시료의 모든 면에서 가능한 상태로 전자 빔 용접을 이용한 셉트 저항이 양호하게 제작되었음을 확인할 수 있다.

2) 샘플 저항 측정 결과

동일 조건에서의 실험을 위해 각 조성의 셉트를 일괄 $100\mu\Omega$ 으로 제작하여 동일한 측정 지점에서 저항을 확인하였다. 저항 측정 샘플은 각 조성에 따라 제작된 20개의 샘플을 대상으로 실험하였고 실험 결과 Fig. 16와 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 $0.101m\Omega$ 과 $0.099m\Omega$ 사이에 저항이 분포하여 저항값 허용오차 F급(1%) 이내로 BMS용 셉트의 특성을 만족하였고 각각 조성에 따라 평균 $99.98\mu\Omega$, $99.85\mu\Omega$, $100.03\mu\Omega$, $100.12\mu\Omega$ 을 나타내었다.

Table 5 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

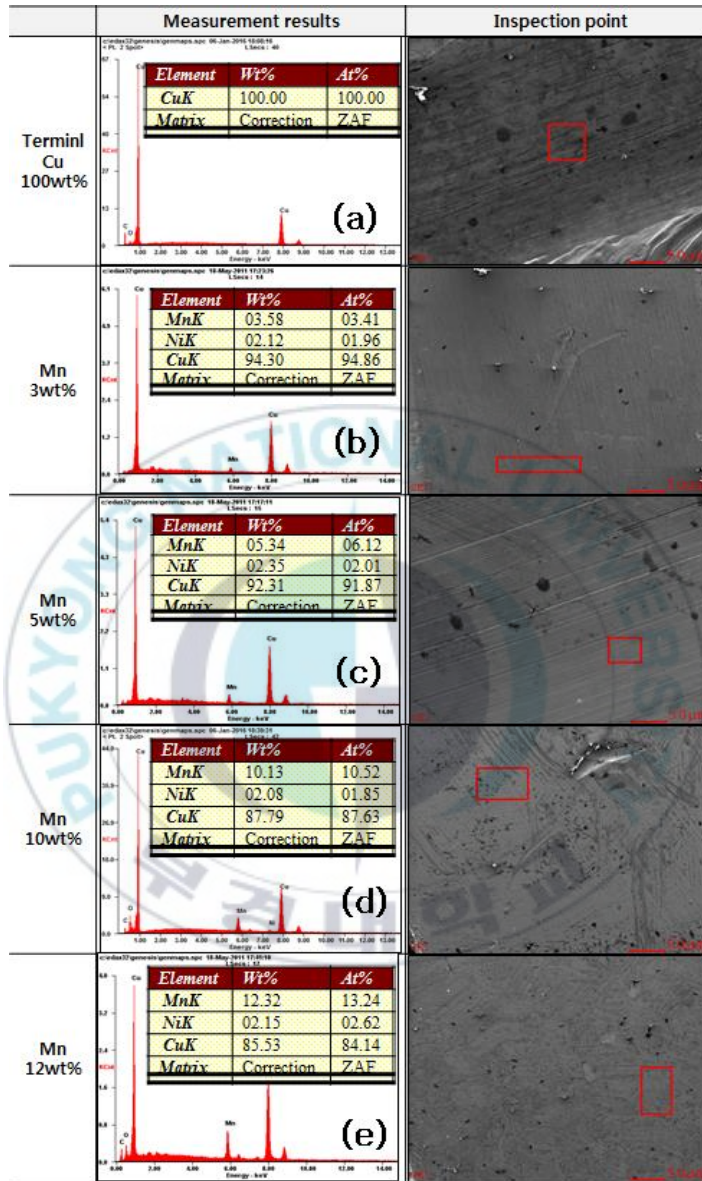


Fig. 14 EDX analysis for metal alloy resistors; (a) Cu100, (b) Cu-3Mn-2Ni, (c) Cu-5Mn-2Ni, (d) Cu-10Mn-2Ni, and (e) Cu-12Mn-2Ni alloy

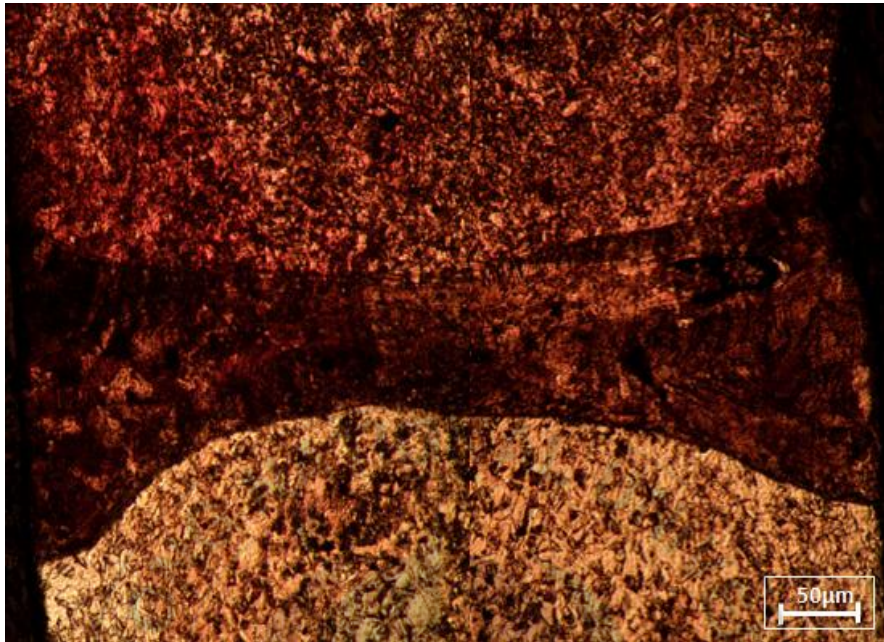


Fig. 15 Internal organization analysis of electron beam welding parts

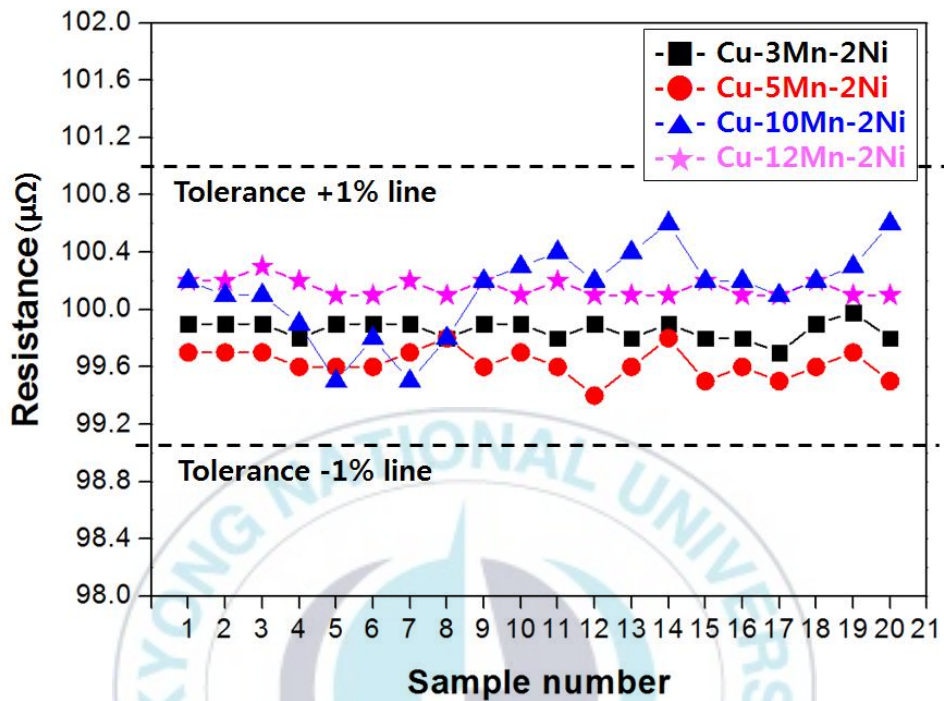


Fig. 16 Resistances for each metal alloy resistors

3.2 실험 결과

실험 결과 Fig. 17와 같이 3wt%, 5wt%, 10wt%, Mn이 포함된 Cu-Mn 합금에서는 각각 최종 T.C.R 평균 47.56ppm/°C와 44.55ppm/°C,

40.48ppm/℃의 저항온도계수가 측정되었으며, 표준 셉트 저항으로 지정되어 사용되고 있는 망가닌 Cu-12Mn-2Ni 합금은 T.C.R 평균 30.11ppm/℃으로 가장 안정적인 특성이 나타나 Mn의 함량에 따라 비례적으로 T.C.R이 낮아짐을 확인하였다.

실험 결과로부터 Fig. 18에는 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($\pm 1\%$)인 정밀 저저항의 제작이 가능하다. 특히 현재 상용 사용 중인 Cu-12Mn-2Ni 망가닌은 이론적 최저 T.C.R이 $\pm 20\text{ppm}$ 으로 현재 시판중인 셉트의 설계가 온도에 따른 저항의 안정상에 중점을 두고 있음을 확인할 수 있다¹⁴⁾.

Fig. 19에는 온도 변화에 따른 각 합금의 열기전력 상승을 나타내었다. 실험은 제벡효과와 펠티어의 영향을 고려한 전기적 발열 시험과 간접 발열을 기본으로 하는 환경발열 조건에서의 시험으로 구분되며 시험은 환경 발열 조건에서의 시험을 실시하였고 실험에 적용된 설비는 Fig. 20와 같다¹⁵⁾.

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 $0.3\mu\text{V}$ 와 $3\mu\text{V}$ 가 특성 합격의 기준이다. 실험 결과로부터 Fig. 21와 같이 모든 합금에서 높은 온도 EMF특성 기준인 $3\mu\text{V}$ 이하는 특성을 만족하였지만 Fig. 22와 같이 낮은 온도 EMF 특성인 $0.3\mu\text{V}$ 는 합금 3wt%Mn과 5wt%Mn, 10wt%Mn 만이 특성을 만족하였다.

EMF 특성 시험 결과로부터 셉트의 안정과 온도 상승에 따라 기전력이 낮은 합금을 구현하기 위해서는 단자 금속인 Cu와 유사도가 가장 가깝고, 온도 상승의 편차가 크지 않은 합금을 셉트 금속으로 사용 할수록 EMF 특성이 안정됨을 확인할 수 있었다. 결과적으로 높은 합금 조성은 저항온도 계수는 안정할 수 있지만 이에 따라 저항 금속과 단자 금속의 열전도도와 전기전도도 차이에 의한 온도 구배가 발생함을 확인할 수 있다. 그리고 해당 온도 구배는 온도가 높은 금속에서 낮은 금속 쪽으로 전자의 이동을 활발히 하여 EMF특성에 악영향이 된다.

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 Fig. 23에 나타내었다. 결과로 부터 Cu-3Mn-2Ni 합금과 Cu-5Mn-2Ni합금이 본 연구에서 설계한 BMS용 정밀 대전력 셉트 저항의 특성을 만족하여 적절한 합금 설계가 이루어 졌음을 알 수 있다.

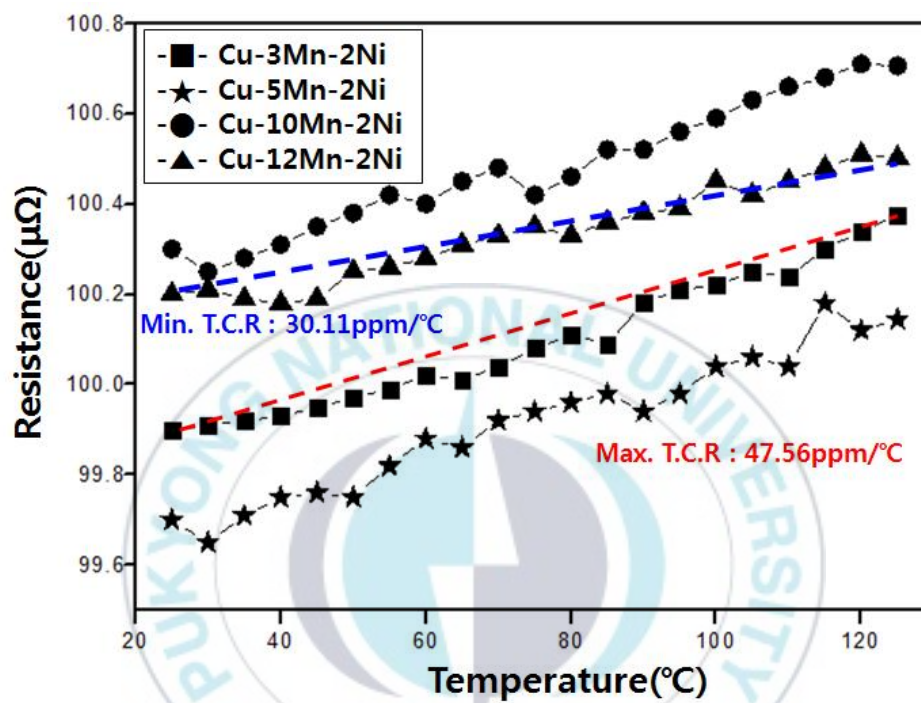


Fig. 17 Trends of changes in the resistance due to a change in temperature

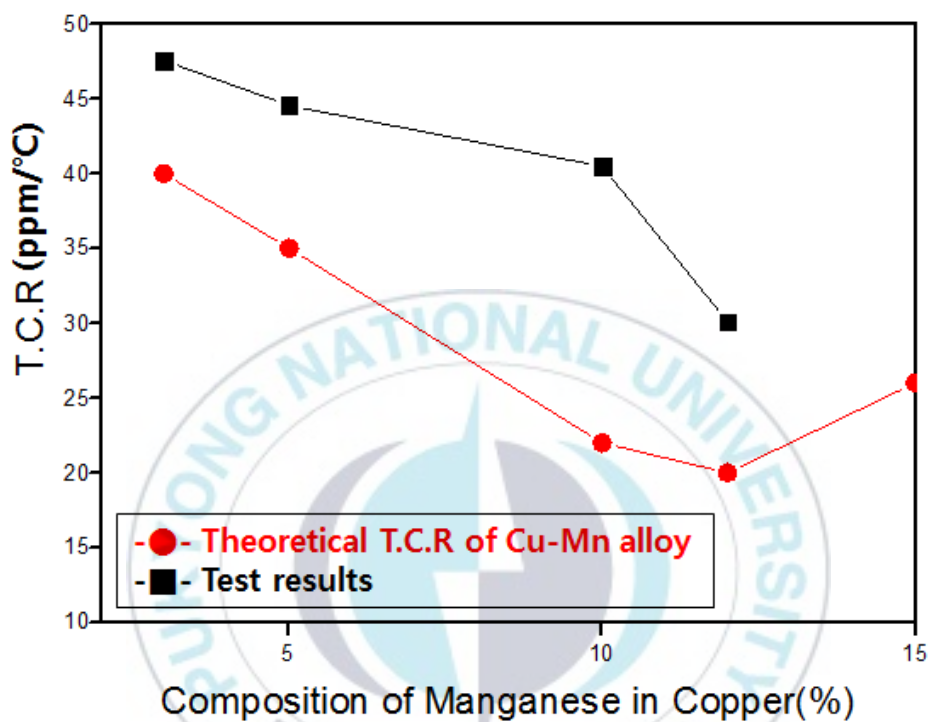


Fig. 18 Resistance changes with the T.C.R between 25 to 125 °C for the Cu-Mn alloy composition

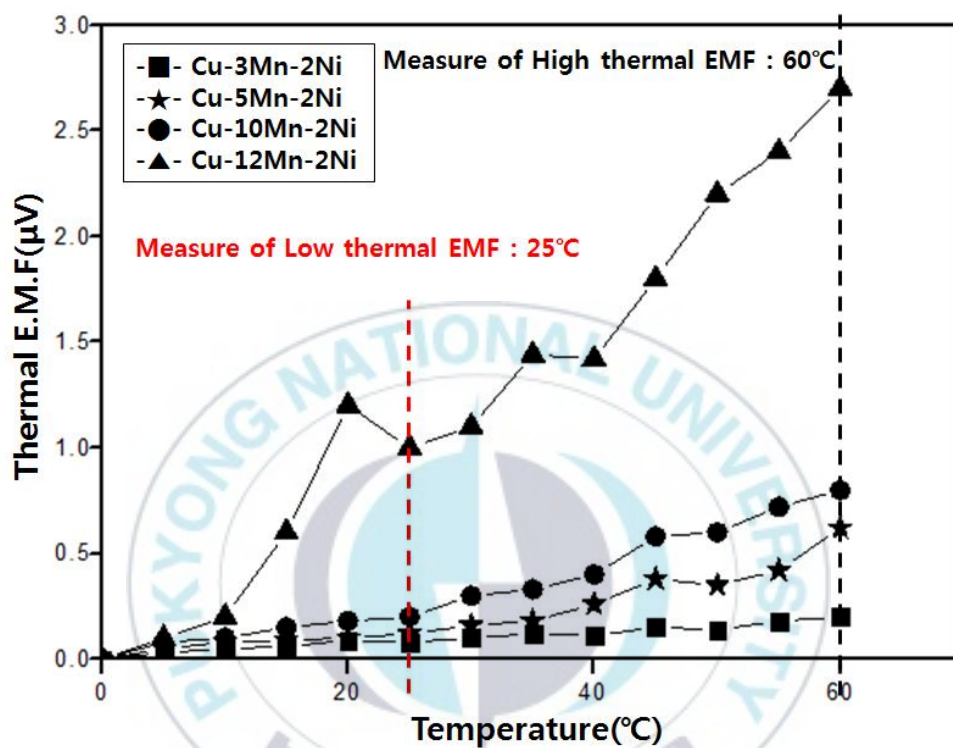


Fig. 19 Voltage changes with the temperature for thermal electromotive force average

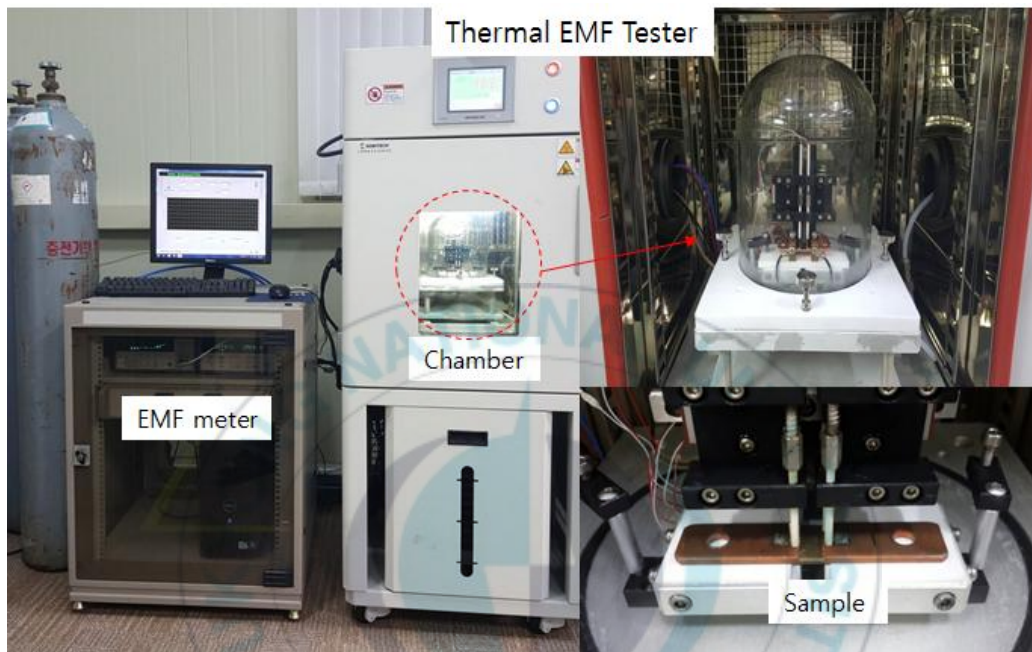


Fig. 20 Therna EMF test equipment

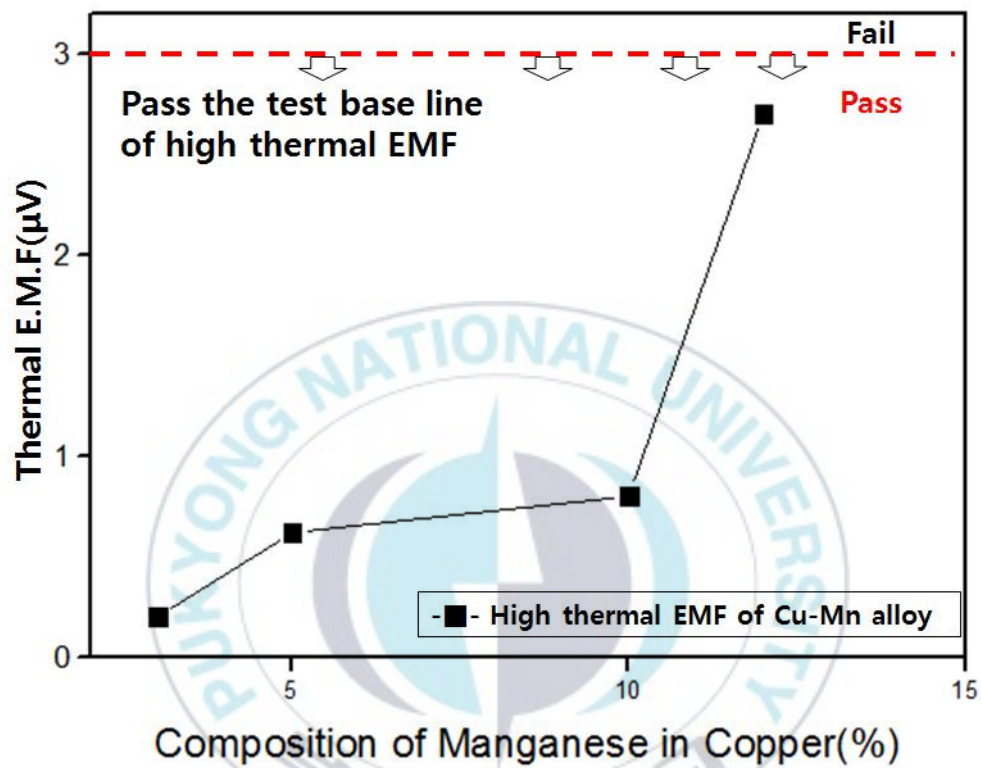


Fig. 21 Voltage changes with the composition of the Cu-Mn alloy for High thermal EMF

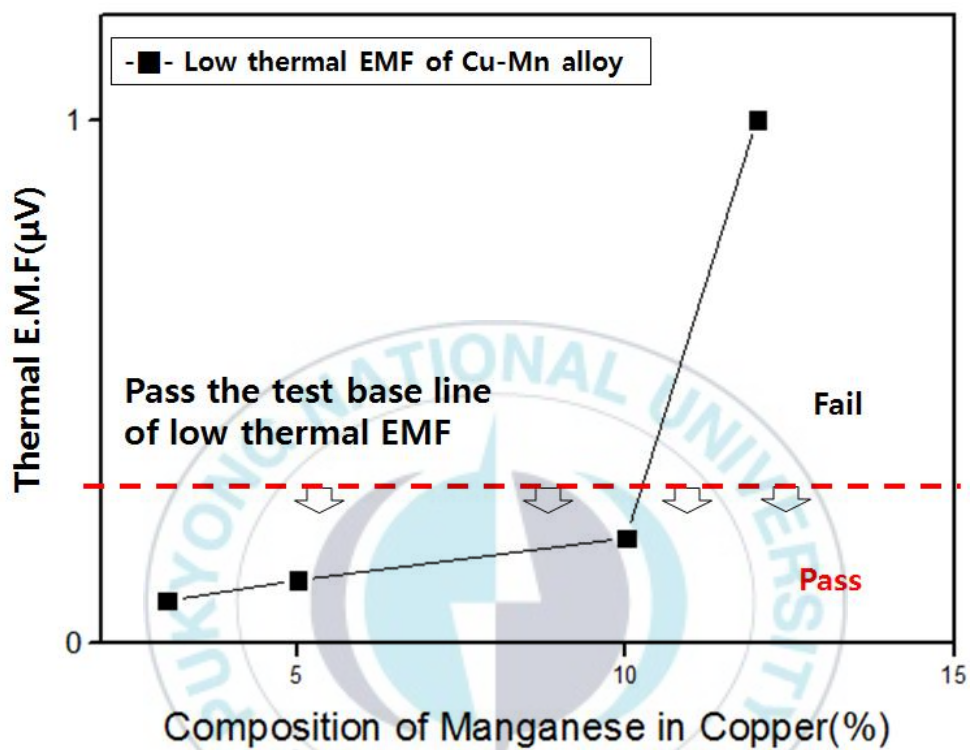


Fig. 22 Voltage changes with the composition of the Cu-Mn alloy for Low thermal EMF

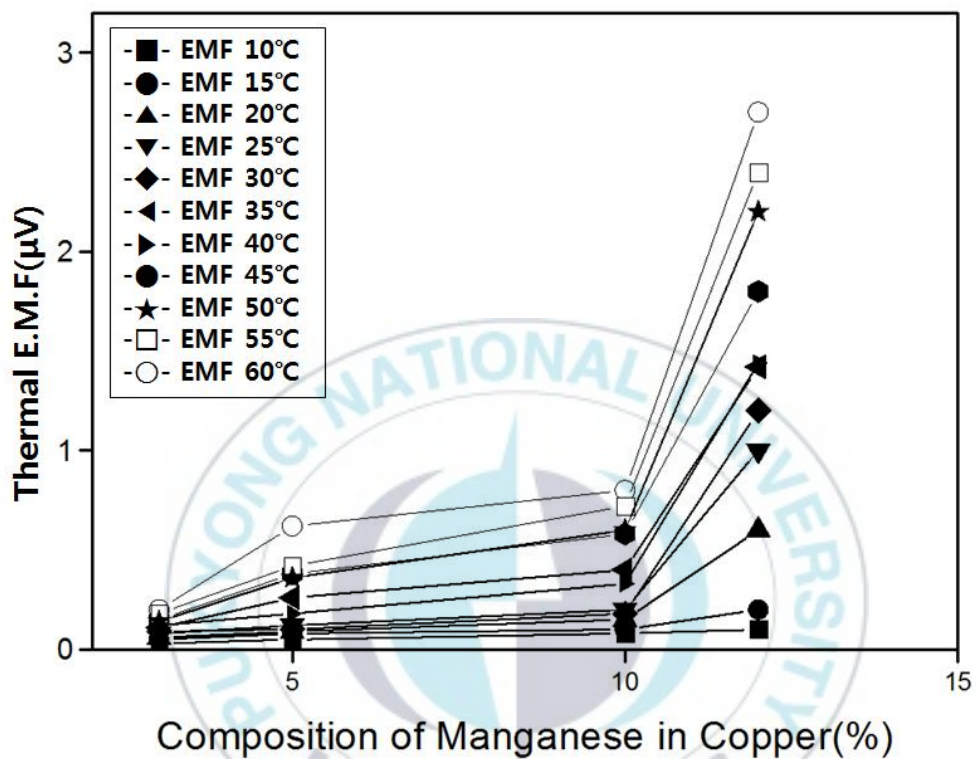


Fig. 23 E.M.F characteristic according to composition and temperature of Cu-Mn alloy

4. 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 압연 판재가 양호하게 제작되었음을 알 수 있었다. 현재 이차전지 BMS 용 셉트 저항에 전반적으로 사용되고 있는 망가닌 재료를 기본으로 망가닌 재료가 구현하지 못하는 낮은 온도에서의 EMF특성을 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. 이상과 같은 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 셉트 금속의 열기전력과 저항온도계수는 서로 상충되는 특성으로 양쪽 모두의 성능을 향상 시키는 방법은 어렵다.
- 2) 금속의 합금 함량이 상승 할수록 저항온도 계수 성능은 상승하고 열기전력 성능은 하락한다.
- 3) 저항온도 계수 상승을 위한 합금화는 소재의 전기 전도성을 낮추어 열기전력이 발생하기 용이한 재료 특성을 구현한다.

4) 최소의 합금 설계로 저항온도 계수는 최소로 하고 열전도도는 유지하는 합금의 설계가 필요하다.

5) 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 이루어 졌다.



5. 참고문헌

- 1) J. H. Park, H. J. Cha, “korean, Journal of power electronics,” vol. 7, no. 1, 2015, pp. 131-132.
- 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, 2013, pp. 147-154.
- 3) S. S. Park, J. S. Koo, K. Y. Youn, C. S. Kim, “Development of battery management system(BMS) for hybrid electric vehicle(HEV)”, KSAE, Spring conference proceeding, 2002, pp. 1249~1254.
- 4) S. Yarlagadda, T. T. Hartley, “IEEE Transactions on applications,” IEEE Transactions on applications, vol. 49, no. 6, 2013, pp. 2720- 2729.
- 5) F. Zandma, P. R. Simon, J. Szwarc, “Malvern, U.S.A, Vishy Inter technology Inc,” 1nd ed, 2001, pp. 76-77.
- 6) M. S. Huh, S. W. Choi, H. G. Chun, S. C. Kwon, G. H. Lee and T. Y. Cho “Journal of vacuum Society”, Journal of vacuum Society, vol. 6, no. 1, 1997, pp. 77-84.
- 7) Y. G. Ko, C. W. Lee, N. K. Song, D. H. Lee, D. H. Sin, “The Korean Society For Technology of Plasticity”, 2009, pp. 476-481.
- 8) F. Galliana, P.P. Capra, E. Gasparotto, “A traceable technique to calibrate DC current shunts and resistors in the range from $10\mu\Omega$ to $10m\Omega$ ”, Journal of measurement, vol. 46, no. 1, 2013, pp. 1630-1640.
- 9) E. M Kim, H. C. Kim, S. W. Lee, “Journal of Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.” vol. 31, no. 2, 2018, pp. 107-111.

- 10) E. M Kim, S. W. Lee, "Journal of Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng." vol. 30, no. 6, 2017, pp. 376-380.
- 11) E. M Kim, S. C. Kim, S. W. Lee, "Journal of Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng." vol. 29, no. 6, 2016, pp. 365-369.
- 12) D. A. potter, K. E. easterling, Mohamed Y sherif "Phase Transformation in metals and Alloys", London, UK, Garland Science. 3rd ed, 2010, pp. 213~217.
- 13) J. S. Hwang and H. J. Kim, Korea Standards, 2001, KS C 5115-4, 15. 06.
- 14) 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.
- 15) Harles A. Harper, "Electronic Materials and processes handbook", New York USA. McGraw-hill, 2010, pp 4.1~4.71.

감사의 글

처음 대학원을 받을 들었을 때 부푼 기대와 내가 과연 할 수 있을까? 하는 막막함과 두려움 그리고 설레임이 교차하였습니다. 그러나 이렇게 빠르게 시간이 흘러 논문의 맺음을 맺는 순간이 오게 될 줄은 몰랐습니다.

부족한 저를 배움의 길로 안내해주신 강창룡교수님을 비롯하여 학과의 모든 교수님들과 후배 여러분들에게 감사함을 전합니다.

처음 센서 부분을 접할 수 있게 해주신 서울대연구원 김은민 연구원님께 감사의 말씀 드립니다. 직장생활과 대학원 생활을 같이 병행할 수 있게 배려해 주신 디에프산업 김상민 대표님 그리고 학교라는 동지에서 산학연 및 인생의 가르침을 주신 동명대 노성여교수님 인생의 선배이자 교수님으로 항상 자극제가 되어주셔서 조금의 느슨한 타이밍에 적절한 자극과 동기를 부여하여 주셔서 항상 감사하게 생각합니다. 항상 배움에는 끝이 없다고 얘기하는 바쁜 엄마와 아내를 기다려준 우리 가족들에게도 감사의 말씀 전합니다.

아직 많이 미숙하고 모르는 부분이 많지만 앞으로 더 많이 펼쳐질 세계에 대한 기대감도 있습니다. 항상 처음과 같은 자세로 배운다는 것에 의미를 두고 연구 및 공부를 할 것입니다. 끝으로 다시 한 번 연구에 도움주신 모든 분들께 감사의 인사를 드리며 글을 마치도록 하겠습니다. 감사합니다.

2018년 10월 15일

손 미 라 올림