

# 병렬로 접속된 저항체에서 저항온도계수의 거동

이선우<sup>a</sup>

인하공업전문대학 전기정보과

## Behavior of the Temperature Coefficient of Resistance at Parallely Connected Resistors

Sunwoo Lee<sup>a</sup>

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

(Received October 26, 2017; Revised December 2, 2017; Accepted December 8, 2017)

**Abstract:** In this paper, we discuss the fabrication of metal alloy resistors. We connected them in parallel to estimate their resistance and temperature coefficient of resistance (TCR). The fabricated resistors have different resistances, 5 and 10  $\Omega$  and different TCRs, 50 and 200 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ . Each resistor was confirmed to have the correct atomic composition through the use of energy dispersive X-ray (EDX). The resistors' electrical properties were confirmed by measuring resistance and TCR. The resistance and TCR of the resistors connected in parallel were estimated through the increase in resistance due to the increase in temperature, and were compared with the measured values. We are confident that this TCR estimation technique, which uses the increase in resistance due to temperature, will be very useful in designing and fabricating resistors with low and stable TCR.

**Keywords:** Temperature coefficient of resistance, Metal alloy resistor, Parallely connected resistors, Resistance increase

### 1. 서론

IT 기술과 반도체 소자 기술의 발전에 힘입어 사물인터넷(internet on thing, IoT) 시장이 성장함에 따라, 자체 전원을 가지는 센서와 휴대용 전자 제품, 그리고 대용량의 전원을 필요로 하는 전기자동차의 구동을 위한 이차전지 기술이 함께 발전하고 있다 [1,2]. 이차전지의 충·방전을 제어 및 관리하는 배터리관리시스템(battery management system, BMS)은 션트 저항을 전류감지저항체(current sensing resistor, CSR)로 활용하여 충·방전 시에 전류의 양을 제어하고 있다 [3]. 이런 용도로 사용되는 션트 저항은 이차전지의 사용 중에 발생하는 발열현상으로 인해 기기의 오동작을 발

생시키는 원인이 되기도 한다. 특히, 전기자동차와 같이 대용량의 전류를 사용하는 이차전지의 경우에는 온도 변화에 의한 저항의 변화 때문에 발생하는 입출력의 오차가 자동차의 동작 및 안전에 큰 영향을 미칠 수 있다 [4,5].

기기의 사용 온도가 변화하여 저항이 변하는 정도를 저항온도계수(temperature coefficient of resistance, TCR)라고 하며, TCR을 최소화하여 온도 변화에 둔감한 고정저항을 개발하려는 시도가 이루어지고 있다 [6,7]. 지금까지는 낮은 저항을 갖지만 높은 TCR을 가지는 금속(구리, Cu)과 높은 저항을 갖지만 낮은 TCR을 가지는 금속(망간, Mn)을 합금 형태로 제작하여 중간 정도의 저항과 TCR을 가지는 저항체를 개발하여 사용하고 있었다. 그러나 이 방법으로 제작된 저항체도 온도 변화에 의한 저항의 변화를 완전히 제거할 수는 없다 [8]. 따라서 기존의 양(+)의 TCR을 가지는 금속저항과 음(-)의 TCR을 가지는 탄소나노튜브 파이버(carbon nanotube fiber, CNT Fiber)를 병렬로 접속하여 Zero-TCR

a. Corresponding author; [swlee@inhatc.ac.kr](mailto:swlee@inhatc.ac.kr)

의 저항체를 개발하려는 시도가 이루어지고 있다 [9]. 그러나 병렬접속한 저항체에서 TCR의 거동에 대한 연구결과는 보고되어 있지 않아서 병렬접속을 통한 TCR의 저감을 위한 체계적인 연구의 필요성이 높은 것이 현실이다.

본 연구에서는 서로 다른 저항과 TCR을 가지는 두 저항체를 병렬로 접속하는 경우에 저항과 TCR의 거동을 실험적으로 평가하여 이들 사이의 관계를 고찰하였다. 이로부터 도출한 결과를 셉트 저항을 이용한 전류감지 분야에 적용하여 TCR의 저감을 통한 셉트 저항의 전류감지 오차를 최소화하고자 한다.

### 2. 실험 방법

TCR 50과 200 ppm/°C을 기준으로 각각 5, 10 Ω의 저항체를 20개씩 제작하였다. TCR 50 ppm/°C의 저항체는 Cu-12Mn-2Ni (86 wt%의 Cu에 12 wt%의 Mn과 2 wt%의 Ni 합금)로 제작되었으며, TCR 200 ppm/°C의 저항체는 25Al-20Cr-Fe (55 wt%의 Fe에 25 wt%의 Al과 20 wt%의 Cr 합금)로 제작되었다. 각각의 저항체는 저항 허용 오차 ±1%의 샘플을 선별하여 사용하였다. 동일한 TCR의 저항체의 길이를 달리하여 여러 조건의 저항을 가지는 저항체를 제작하였으며, 제작한 저항체의 조건을 표 1에 나타내었다. 제작된 저항체의 조성을 확인하기 위해 EDX (energy dispersive X-ray) 분석을 수행하였다.

저항은 4단자 방식의 저저항 측정기(HIOKI 3,227 mΩ Hi-tester)를 사용하여 측정하였으며, 온도 변화에 의한 저항의 변화인 TCR은 25°C와 125°C에서의 저항을 측정하여 식 (1)과 같은 방법으로 도출하였다 [6].

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

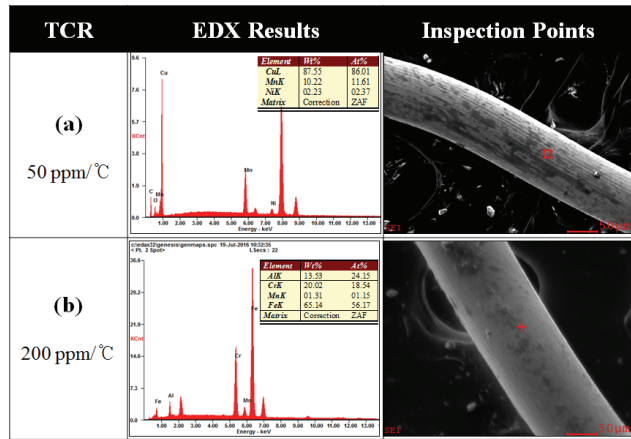
- $R_1$ : 최저온도에서의 저항
- $R_2$ : 최고온도에서의 저항
- $T_1$ : 최저온도 (25°C)
- $T_2$ : 최고온도 (125°C)

### 3. 결과 및 고찰

표 1의 조건으로 제작한 저항체의 EDX 분석 결과를 그림 1에 나타내었으며, 설계한 함량의 합금 저항체가

**Table 1.** Resistor samples with various resistances and TCRs.

TCR [ppm/°C]	R [Ω]	Composition [wt%]
50	5	Cu-12Mn-2Ni
	10	
200	5	25Al-20Cr-Fe
	10	



**Fig. 1.** EDX analysis for metal alloy resistors; (a) 50 ppm/°C (Cu-12Mn-2Ni) and (b) 200 ppm/°C (25Al-20Cr-Fe).

양호하게 제작되었음을 알 수 있다.

제작한 합금 저항체의 저항과 TCR을 측정하여 각각 그림 2와 그림 3에 나타내었다. 그림 2에서 50과 200 ppm/°C의 TCR을 가진 각 저항체의 저항이 5와 10 Ω임을 확인할 수 있다. 또한, 그림 3에서 5와 10 Ω의 저항을 가진 각 저항체의 TCR이 50과 200 ppm/°C임을 확인할 수 있다. 이 결과로부터 저항체의 설계 및 제작이 성공적으로 수행되었다는 것을 알 수 있다.

제작된 저항체를 병렬로 접속하여 합성 저항의 거동을 조사하기 위하여 50 ppm/°C-5 Ω과 200 ppm/°C-10 Ω의 조합(#1 샘플)과 200 ppm/°C-5 Ω과 50 ppm/°C-10 Ω의 조합(#2 샘플)으로 합성 저항의 거동을 조사하였으며, 그 결과를 그림 4에 나타내었다.

각각의 병렬접속 저항 조합에서는 우리가 이미 알고 있는 합성 저항의 거동을 관찰할 수 있는 것으로부터, 샘플 저항의 제작이 정상적으로 이루어졌다는 것을 다시 한 번 확인할 수 있다.

저항체를 병렬로 접속한 경우의 TCR의 거동을 조사하기 위해, #1 샘플과 #2 샘플에서 합성 TCR을 측정

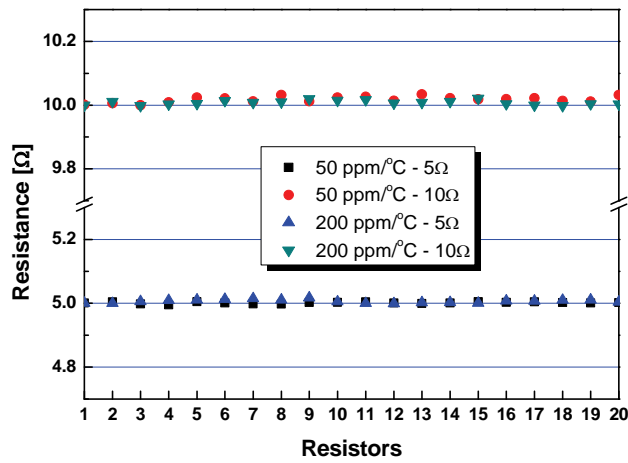


Fig. 2. Resistance for the resistor samples fabricated.

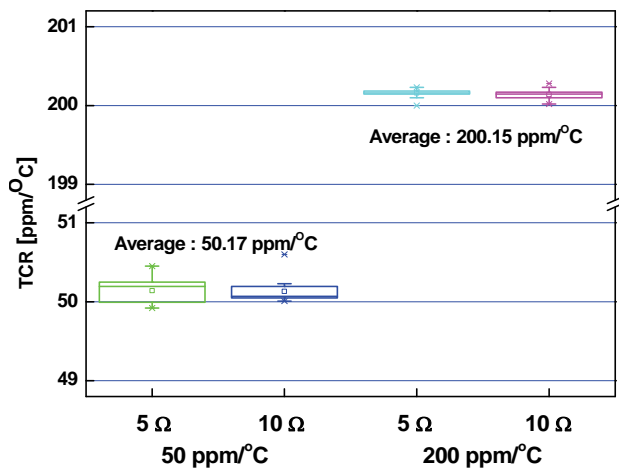


Fig. 3. Temperature coefficient of resistance for the resistor samples fabricated.

하여 그림 5에 나타내었다. 그림 5의 결과로부터 합성 TCR은 병렬로 접속한 두 저항체의 TCR 사이에서 결정되며 더 낮은 쪽이나 더 높은 쪽으로는 이동하지 않는 것을 알 수 있다. 큰 저항의 TCR이 50 ppm/°C인 경우에는 약 60과 70 ppm/°C 사이에서 합성 TCR이 결정되며, 큰 저항의 TCR이 200 ppm/°C인 경우에는 약 90 ppm/°C 부근에서 합성 TCR이 수렴하여 결정되는 것을 알 수 있다.

정량적인 방법으로 합성 TCR의 거동을 규명하기 위해 개별 저항체의 저항 변화량과 병렬접속한 저항체의 합성 저항 변화량의 관점에서 고찰하기로 한다. 5 Ω의 저항체와 10 Ω의 저항체를 병렬로 접속하는 경우를 살펴보자. 50 ppm/°C의 TCR을 가지는 5 Ω의 저항체

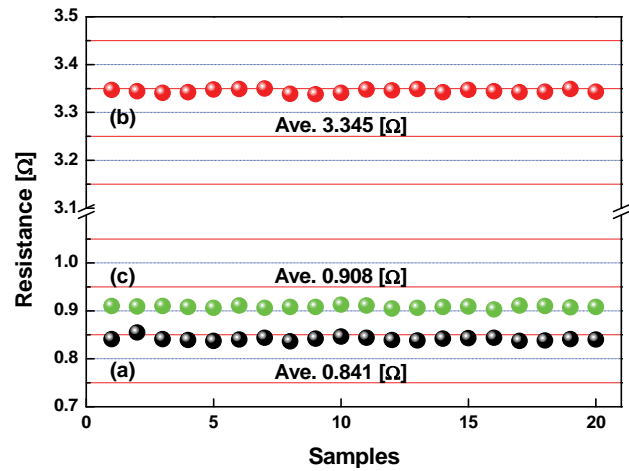


Fig. 4. Resistance for the parallel combinations of (a) 1 Ω & 5 Ω, (b) 5 Ω & 10 Ω, and (c) 10 Ω & 1 Ω resistors.

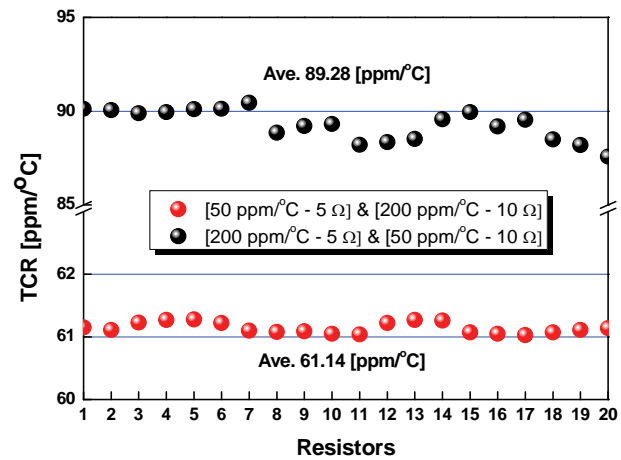


Fig. 5. Temperature coefficient of resistance of the parallel combination for the resistors fabricated.

와 200 ppm/°C의 TCR을 가지는 10 Ω의 저항체의 병렬접속인 #1 샘플의 경우와 200 ppm/°C의 TCR을 가지는 5 Ω의 저항체와 50 ppm/°C의 TCR을 가지는 10 Ω의 저항체의 병렬접속인 #2의 경우가 가능하다. #1 샘플의 경우, 온도가 25°C에서 125°C로 증가하면 50 ppm/°C-5 Ω의 저항체에서는 0.025 Ω의 저항이 증가하고, 200 ppm/°C-10 Ω의 저항체에서는 0.2 Ω의 저항이 증가하여 증가한 합성 저항은 0.022 Ω이다. 이에 반해 병렬로 접속한 합성 저항에서 측정된 TCR은 65.87 ppm/°C이다. #2 샘플의 경우, 온도가 25°C에서 125°C로 증가하면 200 ppm/°C-5 Ω의 저항체에서는 0.1 Ω의 저항이 증가하고, 50 ppm/°C-10 Ω의

**Table 2.** Estimated and measured TCRs.

Sample	Estimated		Measured	
	$\Delta R$	$\Delta R_0$	TCR	TCR
50 ppm/°C 5 $\Omega$	0.025	0.022	65.87	61.14
200 ppm/°C 10 $\Omega$	0.2			
200 ppm/°C 5 $\Omega$	0.1	0.03	89.80	89.28
50 ppm/°C 10 $\Omega$	0.05			

저항체에서는 0.05  $\Omega$ 의 저항이 증가하여 증가한 합성 저항은 0.03  $\Omega$ 이다. 이에 반해 병렬로 접속한 합성 저항에서 측정된 TCR은 89.80 ppm/°C이다. 이와 같은 결과를 용이한 비교를 위해 표 2에 정리하여 나타내었으며, 이론적인 계산 값과 측정값이 유사한 결과를 나타냄을 알 수 있다. 이상의 결과로부터, 서로 다른 저항과 TCR을 가지는 저항을 병렬로 접속하는 경우의 합성 TCR은 개별 저항체의 저항 변화량과 병렬접속한 저항체의 합성 저항 변화량의 관점에서 고찰하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 서로 다른 저항과 TCR을 가지는 두 저항체를 병렬로 접속하는 경우에 저항과 TCR의 거동을 실험적으로 평가하여 이들 사이의 관계를 고찰하였다. 병렬로 접속된 저항체에서 합성 저항은 이미 보고된 합성 저항의 거동을 나타내었으며, 합성 TCR은 각각의 저항체의 TCR 사이에서 결정되는 것을 알 수 있었다. 50 ppm/°C-5  $\Omega$ 과 200 ppm/°C-10  $\Omega$ 의 조합(#1 샘플)과 200 ppm/°C-5  $\Omega$ 과 50 ppm/°C-10  $\Omega$ 의 조합(#2 샘플)에서 이론적인 계산 값과 측정값이 매우 유사한 결과를 나타내었다. 따라서 서로 다른 저항과 TCR을 가지는 저항을 병렬로 접속하는 경우의 합성 TCR은 개별 저항체의 저항 변화량과 병렬접속한 저항체의 합성 저항 변화량의 관점에서 고찰하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과를 활용하면, TCR의 조절을 위해 저항체를 병렬로 접속하는 경우에 각각의 저항체가 가져야 할 저항과 TCR을 설계하는 데 유용할 것으로 기대할 수 있다.

#### 감사의 글

이 논문은 인하공업전문대학의 지원에 의하여 연구되었음.

#### REFERENCES

- [1] E. M. Kim, S. H. Lee, D. K. Cho, and S. H. Kim, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **63**, 1070 (2014). [DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2014.63.8.1070>]
- [2] J. H. Park and H. J. Cha, *Trans. Korean Inst. Power Electron.*, **7**, 131 (2015).
- [3] F. Galliana, P. P. Capra, and E. Gasparotto, *Measurement*, **46**, 1630 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.11.031>]
- [4] S. S. Park, J. S. Koo, K. Y. Youn, and C. S. Kim, *Proc. The Korean Society of Automotive Engineers Spring Conference Proceeding* (The Korean Society of Automotive Engineers, Jeju, Korea, 2002) p. 1249.
- [5] S. Yarlagadda, T. T. Hartley, and I. Husain, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, **49**, 2720 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.1109/TIA.2013.2264794>]
- [6] M. S. Huh, S. W. Choi, H. G. Chun, S. C. Kwon, G. H. Lee, and T. Y. Cho, *J. Vac. Soc.*, **6**, 77 (1997).
- [7] Y. G. Ko, C. W. Lee, S. NamGung, D. H. Lee, and D. H. Shin, *Trans. Mater. Process.*, **18**, 476 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.5228/KSPP.2009.18.6.476>]
- [8] E. M. Kim, S. C. Kim, and S. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **29**, 365 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2016.29.6.365>]
- [9] Y. Lim and S. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **30**, 59 (2017). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2017.30.1.59>]