

## 4단자 방법에 의한 금속 비저항의 정밀측정에 관한 연구

강전홍, 김한준, 유광민, 한상옥\*, 박강식\*\*, 이세현\*\*\*

한국표준과학연구원, 충남대학교\*, 대덕대학교\*\*, 한국폴리텍대학교\*\*\*

### A Study on the Precision Measurement of Metallic Resistivity by Four Terminal Method

Jeon Hong Kang, Han Jun Kim, Kwang Min Yu, Sang Ok Han\*, Kang Sic Park\*\*, Sei Hyun Lee\*\*\*

KRISS, Chungnam National Univ.\*, Deaduk College\*\*, Korea Polytechnic Colleges\*\*\*

**Abstract :** 금속 비저항의 측정방법은 4단자 방법을 비롯한 van der Pauw 방법, Four-Point Probe(FPP) 방법, eddy current 방법 등이 사용되고 있으며, 시료의 형상과 크기에 따라서 그 측정방법은 각각 다르다. 본 연구에서는 그 중 4단자 방법에 의한 정밀측정방법과 측정불확도 평가에 관하여 고찰하였다. 4단자 방법은 시료가 바(bar)나 봉(rod) 형상이면 측정이 가능하며, 시료의 정밀가공과 측정기술을 통하여 측정 불확도를 줄일 수 있다.

**Key Words :** Electrical Resistivity, Conductivity, 4 Terminal Method, %IACS, Conductance

### 1. 서 론

자성 또는 비자성 금속은 사용 목적과 용도에 따라서 전기 비저항에 대한 정밀한 측정이 요구되기도 한다. 금속 재료 중 가장 전기 전도도가 좋은 은(Ag)을 비롯하여 구리(Cu), 알루미늄(Al) 등 순수한 금속뿐만 아니라 여러 합금 재료들이 널리 사용되고 있으며, 전기 비저항은 대부분 DC(Direct Current)를 이용하여 ASTM 또는 KS M 시험규격에 따른다. 바(bar)나 봉(rod) 형상의 금속재료의 비저항을 시험하고자 할 때 시험에 적합한 전극구성장치가 없어 정밀측정에 많은 어려움을 겪기도 하며, 사용기기 및 시료의 상태와 측정기술에 따라서 시험결과는 동일한 시료라 하더라도 측정자마다 다르게 나타날 수 있다. 따라서 본 연구는 4단자 방법에 의한 금속 전기 비저항의 정밀측정기술에 관하여 고찰하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 실험준비

금속 비저항에 대한 정밀한 측정을 위하여 본 연구는 ASTM B193-02규격에 따라 그림 1처럼 측정 시스템을 구성하였으며, 사용된 기기는 직류 전류원(FLUKE 5720A, 5725A, 전류 불확도: 50  $\mu$ A/A), 직류 전압계(WAVETEK 1281, Agilent 3458A, 불확도: 10  $\mu$ V/V), 표준저항(L&N 10 m $\Omega$ , 불확도: 3  $\mu\Omega/\Omega$ )이다. 이들은 모두 국가표준의 소급성으로부터 교정된 기기이며, 측정 시스템에서 직렬로 연결된 표준저항은 시료에 공급되는 전류를 정확하게 알기

위하여 사용된다. 시료는 비자성 금속인 스테인레스 스틸(SUS-316)을 선정하여 길이 400 mm, 폭 30 mm, 두께 10 mm의 바(bar)형상으로 가공하였으며, 4단자 방법으로 측정이 용이한 전극 구성장치를 제작하여 실험에 사용하였다. 이 전극 구성장치는 시료의 길이가 500 mm 이하이면 바(bar)나 봉(rod)형상 모두 쉽게 사용할 수 있도록 설계되었으며, 전극 C와 D에서의 전위차(V)를 정확하게 측정하기 위하여 knife edge 전극(electrode)으로 제작하였고, 필요에 따라 전위차 측정 전극의 간격(L)을 좌, 우로 동시에 조절되도록 하였다. 또한 knife edge 전극이 시료의 표면에 수직방향으로 접촉되도록 설계하여 C와 D의 간격(L)에 따른 전위차(V)를 정확하게 측정할 수 있도록 하였으며, 전극 간격에 따라 평균 전위차를 쉽게 측정할 수 있는 장점도 있다.

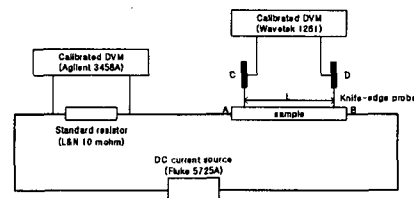


그림 1. 측정 시스템

#### 2.2 실험내용

금속의 전기 비저항 시험은 %IACS (% International Annealed Copper Standard)의 정의에 따라 20  $^{\circ}$ C에서 실시하도록 규정되어 있으므로 본 연구는 온도 (20  $\pm$  1)  $^{\circ}$ C, 습도 50 % 이하로 유지되는 실험환경조건에서 측정하였다. 실험은 전류원으로부터 직류전류 10 A를 그림 1

의 A에서 B방향으로 공급하고, 전극 C와 D에서 전위차 (V)를 측정하여 저항(R)을 구하였다. 비저항( $\rho$ )은 아래의 식 (1)에서처럼 단위면적(A)에서의 시료두께와 비례하는 관계가 있으므로 가능한 정확하게 측정하여야 측정 불확도를 줄일 수 있다. 그러나 버니어 캘리퍼스나 마이크로미터 등으로 시료의 형상에 따라 두께를 정확하게 측정하는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 이들보다 사용이 간편하고 두께를 정확하게 측정할 수 있는 두께 측정 장치를 그림 2처럼 제작하였다. 제작된 두께 측정기는 digital micrometer의 probe를 서로 마주보게 하여 시료의 두께를 측정하는 원리를 적용하였다. 두께 측정은 시료의 전체 면에 대하여 약 10 mm 간격으로 측정하여 평균하였으며, 교정된 digital micrometer를 사용하였다. 전류원과 전압계는 정확한 측정을 위하여 제작사에서 권하는 예열 시간을 준수한 후 측정 하였다. 그리고 offset에 의한 오차를 최대한 줄이기 위하여 전류를 정방향과 역방향으로 흘려 각각의 전위차를 측정하고, 평균값을 취하여 오옴의 법칙( $R = \frac{V}{I}$ )에 의해 저항(R)을 계산하였다. 여기서 V: 전위차, I: 시료에 흘려준 전류이다. 또한, 측정은 10분 간격으로 6회 측정하여 평균값과 표준편차를 구하였으며, 그 측정 결과로부터 전기비저항은 다음 식 (1)에 의하여 계산된다.

$$\rho = \frac{RA}{L} (\mu\Omega \cdot \text{cm}) \quad (1)$$

여기서,  $\rho$ : 시료의 비저항( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ), R: 측정저항( $\Omega$ ), A: 시료의 단면적( $\text{cm}^2$ ), L: 측정 전극 C와 D간의 간격(mm)이며, 전기 전도도( $\sigma$ )는 식 (2)로서 구해진다.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} (\text{MS/cm}) \quad (2)$$

그리고, 전기 전도도( $\sigma$ )를 백분율 단위인 %IACS로 나타낼 경우에는 순수한 구리 (Pure-Copper)가 100 % 일 때, %IACS 단위는 다음 식 (3)으로 계산된다. 여기에서 적용되는 순수한 구리(Pure-Copper)의 비저항( $\rho$ )은 20 °C에서 1.7241  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$  이다[1].

$$\%IACS = \left(\frac{1}{\rho}\right) \times 1.7241 \mu\Omega \cdot \text{cm} \quad (3)$$

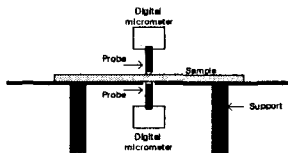


그림 2. 두께 측정 장치

### 3. 결과 및 고찰

식 (1)(2)(3)으로부터 비저항, 전도도, 도전율이 계산된 결과는 표 1과 같으며, 측정 불확도 분석 내용은 표 2와 같다. 측정 불확도는 측정량에 영향을 미치는 사용된 모든 기기에 대하여 표준 불확도를 구하고, 합성 표준불확도를 취하여 확장 불확도를 계산하게 된다[2]. 시료의 두께가 측정 불확도에 큰 영향을 미치므로 시료를 정밀 가공하여야 하며, 두께 측정은 가능한 시료의 전체 면에서 측정하여 평균값을 취하는 것이 정밀 측정에 유리하다. 또한 정밀 측정을 위해서는 ASTM과 KS M 규격에 의한 전극구성장치가 필요하다.

표 1. 측정결과

A (mm <sup>2</sup> )	L (mm)	R ( $\mu\Omega$ )
330.5	240.4	551.7
Resistivity( $\rho$ ) ( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ )	Conductivity( $\sigma$ ) (MS/cm)	Conductivity ratio (%IACS)
75.86	0.013 18	2.273

표 2. 측정불확도 분석

불확도 요인	표준 불확도(k=1)	합성 표준불확도	확장 불확도 (k=2)
면적(A)	0.07 %	0.125 %	0.25 %
간격(L)	0.08 %		
전압계(V)	0.05 %		
전류원(I)	0.005 %		

### 4. 결론

1. 금속 비저항의 정밀측정을 위해서는 전극 구성장치, 안정된 전류원, 정확도가 높은 전압계, 교정된 디지털 마이크로미터 등이 필요한 것으로 나타났다.
2. 기존 측정 불확도는 약 1.0 %였으나 본 연구에서는 0.25 %로서 측정 불확도가 크게 향상되었다.

### 참고 문헌

- [1] ASTM B 193-78, Resistivity of electrical conductor materials (1978).
- [2] European cooperation for Accreditation, "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration", Publication Reference EA-4/02, December, 1999.