

# GMA 용접 중 전기전도도가 용접성에 미치는 영향

김가희\*, 김희진\*, 유희수\*, 허무영\*\*

\*한국생산기술연구원

\*\*고려대학교

## 1. 서 론

GMA(Gas Metal Arc Welding)용접에서는 콘택트 팁이 토치 선단에 위치하여 용접 와이어를 송급 하여 준다. 이러한 콘택트 팁의 주된 기능은 와이어를 용접하고자 하는 위치로 유도해 주는 것과 용접 전류를 와이어에 전송시켜주는 것이다.<sup>1)</sup> 이러한 기능 때문에 콘택트 팁에는 와이어를 용융폴로 유도하기 위하여 와이어가 통과할 수 있도록 구멍이 가공되어 있다. 콘택트 팁의 기능을 적절히 수행하기 위해서는 콘택트 팁의 구멍이 원형을 오래 유지하고 있어야 한다. 그러기 위해서는 콘택트 팁의 재질은 마모에 대한 저항성, 즉 내마모성이 우수하여야 한다. 또한 용접전류를 와이어에 전송시키기 위하여 콘택트 팁은 전기전도도(electrical conductivity)가 높아야 한다. 그렇지 못하면 자체에서 저항열이 발생하고, 팁과 와이어 사이에서 미세 아크가 발생하여 와이어 송급성에 영향을 준다. 그러므로 콘택트 팁은 전기저항이 낮은 구리 또는 구리합금을 소재로 하여 제조된다. 이는 순수금속인 경우 구리(Cu)의 전기전도도가 은(Ag) 다음으로 가장 우수하기 때문이다. 일반적으로 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 콘택트팁은 인탈산동과 크롬합금동인데, 인탈산동은 심한 냉간가공으로써, 가공경화에 의해 강도를 높인 상태로 제조되고 있다. 이렇게 제조된 팁은 용접 중 고온 환경이 되면서 응력완화(stress relaxation)가 일어나면서 쉽게 강도가 저하 된다. 그리고 크롬 합금 동은 제조 과정 중 시효(aging) 처리를 하여 석출물을 형성시켜, 석출경화로 인하여 강도를 높인 상태로 제조되고 있다. 이런 재료는, 고온에서도 안정적인 강도는 유지되어 내마모성은 향상된다는 장점이 있지만 순수 구리에 비해 전기전도도는 떨어진다는 단점을 가지고 있다. 이에 실험에서는, 실제 용접 조건으로 모의실험을 통하여 이러한 전기전도도가 용접성(아크 안정성)에 미치는 영향에 대해 알아보려고 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 용접 중 전기전도도 변화 측정 방법

(1)용접 중 온도 변화

모의실험을 위하여 용접 중 콘택트 팁의 온도를 측정해 보았다. 실제 용접에서 가장 많이 쓰이는 용접전류 250A, 용접전압 30V, CTWD(contact tip to workpiece distance) 20mm 의 조건에서 콘택트 팁의 온도가 450℃로 유지되는 것을 알 수 있었다. 따라서 위의 세 가지 종류의 콘택트 팁을 실제 용접온도인 450℃에서 열처리 되는 상황을 가정하고, 이를 전기로 내에서 모의실험을 통하여 시간에 따른 경도와 전기전도도의 변화를 관찰해 보았다.

(2) 전기전도도 측정 방법

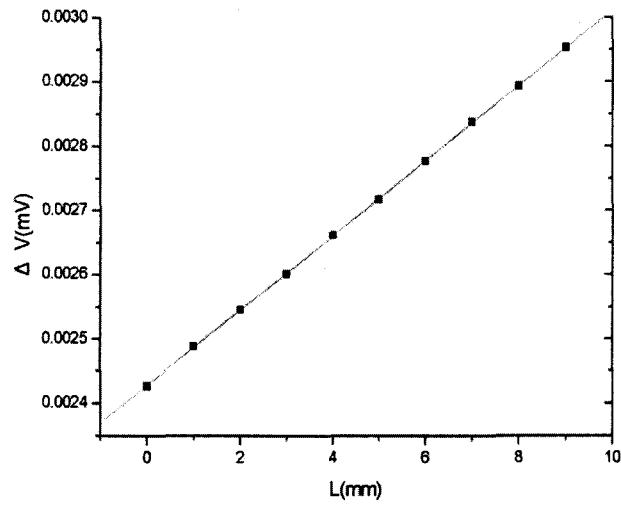
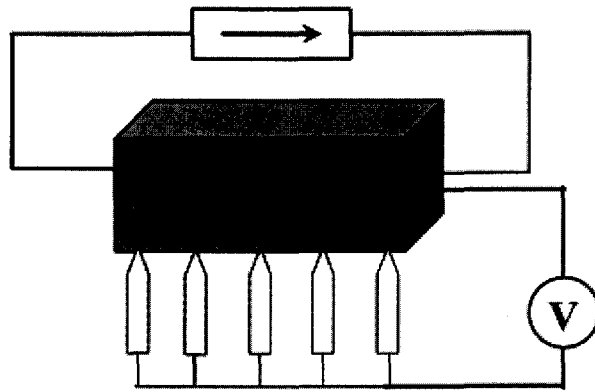
금속재료 시편의 전기전도도 측정에 있어 보편적으로 많이 쓰이는 세 가지 방법을 Table 1 에 나타내었다. 2-Probe 법은 가장 간단하게 자주 쓰이는 Tester 의 종류로써 사용하기에 아주 간편하지만 저항이 매우 높은 재료에 적당하다. Multi-Probe 법은 시편의 위치에 따라서 저항이 일정한 값을 갖지 않은 경우에 사용 가능하다. 프로브를 간격을 달리하여 여러 번 측정하여 평균적인 값으로 전기전도도를 구하는 것이다. 이러한 방법은 결함이 있는 부위에서는 전자기동을 방해하기 때문에 저항이 커짐으로 시편의 비파괴 검사로도 응용 될 수 있다. 이 시험 방법의 개략도는 <그림 1>과 같다. 4-Probe 법은 저항이 낮은 시편에 사용이 적당하고, 시편 형상에 제약이 적으므로 이 실험에서는 4-Probe 법을 사용하여 측정하였다.

전기전도도 측정 원리는 <그림 2>와 같이 시편에 일정한 전류가 흐르는 상태에서 단자 사이에 발생하는 전압강하를 측정하여 전기저항을 측정한다. 옴의 법칙에 따라 체적 저항율이 구해지면 그 저항율의 역수를 취하면 전기전도도인데, 도전율이라고도 칭한다. 전기전도도는 통상적으로 International Annealed Copper Standard 값으로 표현되는데, 이 값은 1913 년 당시 시판되고 있는 양질의 구리가 가지는 전기전도도 평균치를 100%로 정하고 이것과 비교하여 백분율로 전도율을 나타낸 것이다. 표준연동의 체적 저항율이 1.724 μΩm 임으로 아래 식처럼 표현되어 질 수 있다.

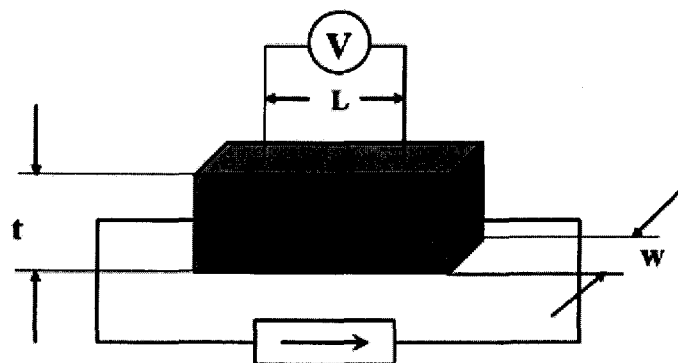
$$\sigma(\text{cm}/\mu\Omega) \times 1.724 = 1.724 \div \rho(\mu\Omega/\text{cm}) = \% \text{IACS}$$

<표 1> Method to measure electrical conductivity of material

Method	Remark
2-Probe	- Simple to Use - Very high resistivity
4-Probe	- High conductivity - Irregularly shaped specimen
Multi-Probe	- nonlinear filed specimen



<그림 1> Schematic diagram showing a Multi-probe method to measure electrical conductivity

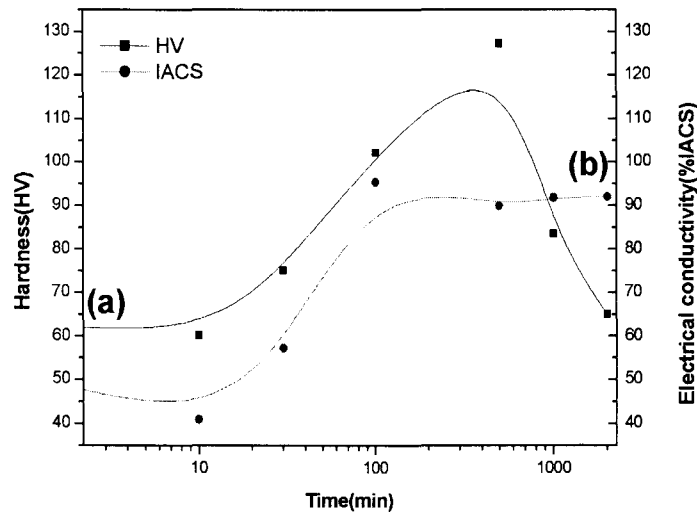


<그림 2> Schematic diagram showing a 4-probe method to measure electrical conductivity

콘택트 팁을 단면적 3×3×20(mm)로 가공한 후, nanovoltmeter 와 current source 를 이용하여 4 단자법(4-probe method)으로 전기전도도를 측정하였다.

## 2.2 전기전도도가 용접성에 미치는 영향 측정 방법

실제 용접 중 전기전도도가 콘택트 팁에 미치는 영향을 알기 위해서 재질이 같은 콘택트 팁에서 경도는 같고, 전기전도도 차이는 많이 나도록 시편을 준비하였다. 이를 위하여 0.3%Cr 팁을 두 종류로 열처리 하였는데 (a)는 1030℃에서 3 시간 용체화 처리(Solid solution)후 퀴칭하고, (b)는 500℃에서 2000 분간 과시효(Overaging)열처리 한 것이다. 이로써 <그림 3>과 같이 경도는 63HV 로 비슷하고, 전기전도도는 (a)는 48%IACS 이고 (b)는 92.04%IACS 로 차이가 많이 나는 시편을 얻을 수 있었다.



<그림 3> Condition of contact tip for welding experiment

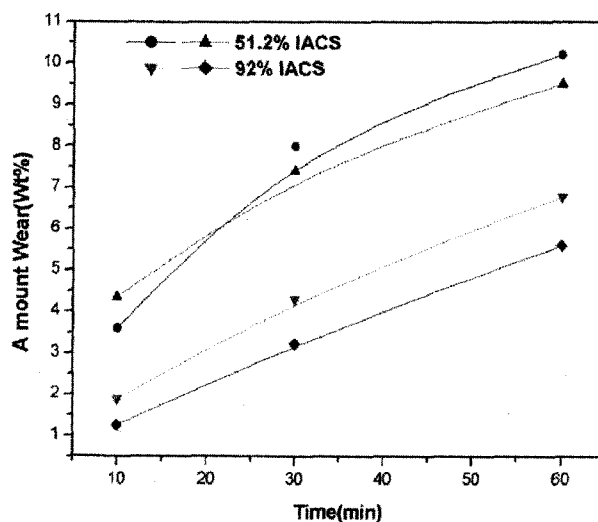
용접실험은 용접전류 250A, 용접전압 30V, CTWD(contact tip to workpiece distance) 20mm 의 조건에서 실시 하였으며, 이 온도에서 콘택트 팁의 온도는 450℃로 유지되는 것을 확인하였다. 이에 고온에 노출됨에 따라 어닐링한 팁이 석출 경화되어 경도와 전기전도도가 상승할 수 있기 때문에 용접시간은 1 시간 이내로 제한하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

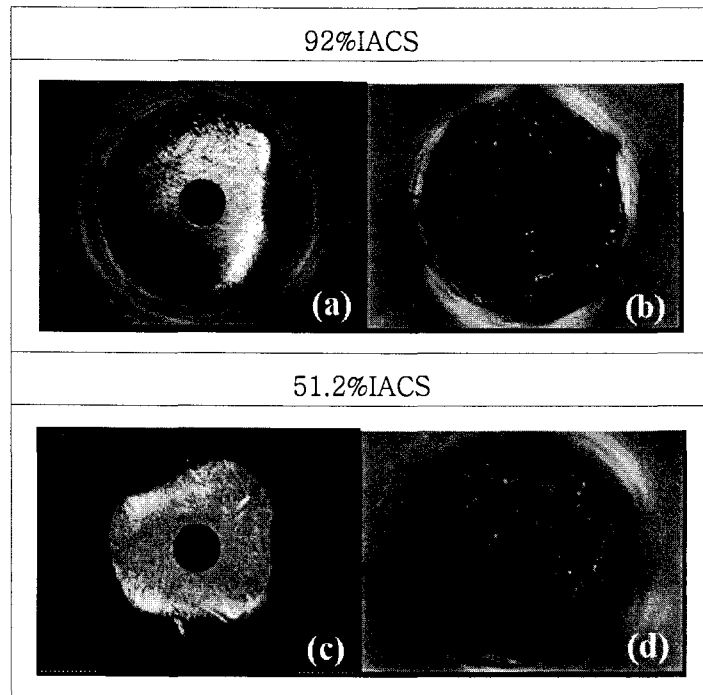
<그림 3>의 조건과 같이 0.3%크롬 동 팁을 동일한 경도에서, 전기전도도 차이가 나는 시편을 각각 2 개씩 준비하여 콘택트 팁의 마모 시험을 60 분간 수행하였다. 그 결과를 Fig 4 에 나타내었다. 전기전도도가 51.2%IACS 로 낮을때에는 마모량이 9~10wt%정도이었으며, 92%IACS 로 전기전도도가 높을때에는 5~6wt%로 마모량의 차이를 보이는 것을 볼 수

있었다. 이는 콘택트 팁의 기능중 하나인 와이어로 전류를 공급하는 기능을 전기전도도가 낮을때에는 적절히 수행하지 못하였기 때문에 발생한 것으로 판단되는데, 이러한 현상을 용접 파형으로서 관찰하였다.

Fig 6. 은 용접 30 분경과 후 용접 파형(용접 전류, 용접 전압, 용접 저항)을 측정한 것이다. 92%IACS 로 전기전도도가 높은 팁은 전류와 전압, 저항 값이 일정하게 유지되는 것을 알 수 있으나, 51.2%IACS 로 전기전도도가 낮은 팁은 용접 전압 및 저항이 심하게 변동하였으며, 이는 전기전도도가 낮으면 콘택트 팁에서 와이어로 전류가 전송 될때 콘택트 팁 내부에서 미세아크가 발생되어 순간적으로 전압 파형에 영향을 주기 때문에 아크가 불안해져서 스파터가 다량 발생한다는 사실을 예측 할 수 있게 하였다. Fig 5 은 초기와 실험 후의 콘택트 팁의 스파터 부착상태를 비교한 것인데, (a)는 전기전도도가 92%IACS 인 팁의 초기 상태이고, (b)는 이 팁의 용접 실험 30 분 경과 후의 팁 상태이다. (c)는 전기전도도가 51.2%IACS 인 팁의 초기 상태이고, (d)는 용접 실험 30 분경과 후의 팁 상태로, 전기전도도가 낮은 팁이 전기전도도가 높은 시편보다 스파터 부착이 더 많았다. 따라서 전기전도도가 낮으면 순간적 미세아크가 발생하여 다량의 스파터가 발생할 수 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 그리고 아크가 불안하고 미세아크가 많이 발생할수록 팁의 선단부 마모가 더욱 심하다는 사실을 확인 할 수 있었으며, 전기전도도는 콘택트 팁의 수명을 결정짓는 요인 중의 하나라는 사실을 알 수 있었다.



<그림 4> Variation of A mount wear for electrical conductivity



<그림 5> The effect electrical conductivity (a),(c)- primarily tip (b),(d)-60min arc on time

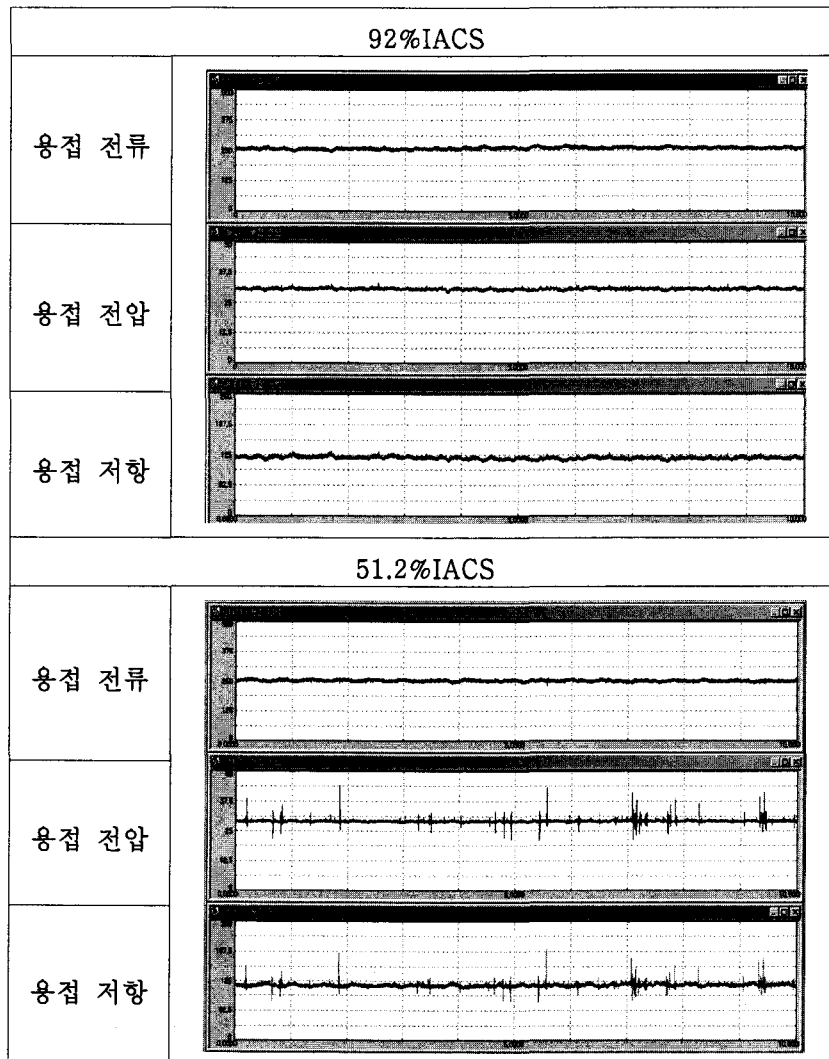
## 4. 결 론

GMA 용접 중 Cu-P 와 Cu-Cr 계 콘택트 팁의 경도변화와 전기전도도에 대해서 모의실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

콘택트 팁의 전기전도도는 콘택트 팁의 수명에 관계되는 용융접합에 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 따라서 콘택트 팁의 사용 수명을 연장하기 위해서는 용접 중 기계적 성질 뿐 아니라 전기전도도를 유지할 수 있는 것으로 설계해야 하겠다.

## 참고문헌

1. J. Villafuerte, J. 1999. Understanding contact tip longevity for gas metal arc welding: welding Journal 78(12); 29-35
2. Hee Jin Kim: Reliability of Contact Tip for Gas Metal Arc Welding, Journal of KWS, 21-7(2003) 9-17(in Korea)
3. Ki-Tae Kim, Woon-Jae Jung, Han-Chul Syn and Chong-Sool Choi: Effects of Cr content and thermomechanical treatment on tensile strength and electrical conductivity of Cu-Cr alloy, J. of Korean Soc. for Heat Treatment, 14(2001), 17(in Korean)
4. Donalds A. Hay, Peter T. Gregg, Wire Journal(1979)



<그림 6> Welding wave form after 30min