

## GMA용접에서 콘택트 팁 재질에 따른 용접특성 평가

김동윤\* · 황인성\*·† · 김동철\* · 강문진\*

\*한국생산기술연구원 용접접합연구실용화그룹

### Evaluation of Gas Metal Arc Welding Characteristics according to Contact Tip Materials

Dong Yoon Kim\*, In Sung Hwang\*·†, Dong Cheol Kim\* and Moon Jin Kang\*

\*Welding & Joining R&BD Group, KITECH, Incheon 406-840, Korea

†Corresponding author : hisman@kitech.re.kr

(Received September 22, 2014 ; Revised November 24, 2014 ; Accepted December 1, 2014)

#### Abstract

The contact tip for gas metal arc welding has important functions to transmit the welding current to the wire and to guide the wire to molten pool. If the contact tip is damaged, it is a cause of lowering the welding productivity due to removal of welding defects and replacement of contact tip. In case of the use of a contact tip for a long time the arc is unstable because the processed hole in the contact tip center is larger, and the variation of aiming position of the welding wire causes a seam tracking error.

In this study, gas metal arc welding experiments using contact tip of three different materials were performed. The contact tips with Cu-P, Cu-Cr, and Cu-ODS were used at the experiments, and the welding characteristics by each contact tip were evaluated. After welding contact tip appearance, welding spatter adhesion amount of the nozzle, and weld bead appearance were evaluated. The welding current and welding voltage were measured to verify arc stability during arc welding.

Key Words : Gas metal arc welding, Contact tip, Solid wire, Wear resistance, Spatter, Welding current, Welding voltage, Arc stability

#### 1. 서 론

산업현장에서는 용접품질 및 용접생산성 등을 고려한 용접공정 자동화가 일반화되어 있으며, 솔리드 와이어를 이용한 GMAW(Gas metal arc welding) 등의 용접기술이 적용되고 있다.

GMAW에서 아크를 일정하게 유지하기 위해서는 와이어의 송급 속도를 일정하게 유지하고, 와이어에 안정된 전류를 통전시켜 용융지로 동일한 용적이 이행되도록 하여야 한다. 용접전류는 용접 토치 끝단부에 위치한 콘택트 팁을 통해 와이어로 통전되기 때문에 콘택트 팁은 전기전도도가 우수한 재질인 구리를 사용하고 있다. 그리고 콘택트 팁은 와이어를 용융물로 유도하는 역할을 한다. 이러한 기능을 하는 콘택트 팁이 용접 자동화

공정에서 손상되면 보수 용접에 의한 용접 결함제거 및 콘택트 팁 교체 등으로 인하여 용접생산성을 저하시키는 원인이 된다. 또한 콘택트 팁을 장시간 사용하면 팁 구멍이 확장되어 와이어 선단에 지향하는 위치를 벗어나게 되고, 아크가 불안해져 용접 품질에도 문제가 발생 된다. 이러한 이유로 콘택트 팁의 내마모성에 대한 신뢰성 및 수명에 대한 연구가 진행되어지고 있다.

Kim은 콘택트 팁에 대한 신뢰성 평가 기준을 제정하고 평가 장비를 구축하였다<sup>1)</sup>. 그리고 콘택트 팁의 수명을 높이기 위하여 크롬동 팁 개발에 대한 연구를 하였고<sup>2-4)</sup>, 재질에 따른 콘택트 팁의 수명을 평가<sup>5)</sup>하고 예측<sup>6)</sup>하였다.

이와 같이 현재까지의 연구들은 콘택트 팁의 내마모성에 대한 연구에만 편중되고 있는 실정이다.

그래서 본 연구에서는 세종류의 콘택트 팁을 사용하

여 연속 용접 시 콘택트 팁 마모성에 대한 평가에만 국한되지 않고 노즐의 스패터 부착량 및 비드 외관을 관찰하는 등 용접특성을 확인하였다. 그리고 용접시간이 경과함에 따른 아크안정성을 평가하였다.

## 2. 콘택트 팁 및 솔리드 와이어

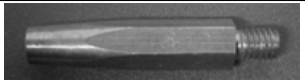
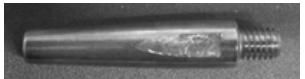
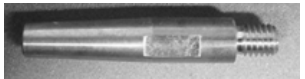
실험에 사용된 콘택트 팁은 Table 1과 같이 3가지 종류를 사용하였다.

재질이 서로 다른 콘택트 팁을 이용하여 용접을 실시하였으며, 인탈산동(Cu-P), 크롬동(Cu-Cr), 그리고 외부와 내부가 서로 다른 재질로 이루어진 콘택트 팁을 사용하였다. 이 콘택트 팁의 외부는 전기동(E-Cu), 내부는 산화물 분산강화동(Cu-ODS, Cu-Oxide Dispersion Strengthen) 재질이며, 산화물 분산강화동은 내마모성을 향상시키기 위하여 산화물을 인위적으로 첨가한 것이다. 앞으로 본 연구에서는 이 콘택트 팁을 분산강화형동이라고 표기하였다. Fig. 1에서 일반적인 콘택트 팁과 분산강화형동의 단면을 비교하였다.

GMA용접을 수행하게 되면 콘택트 팁은 고온의 아크 열에 장시간 노출되어 열에 의하여 경도가 저하하게 된다. 이러한 경도 저하를 모사하기 위하여 450, 650°C에서 1시간 열처리를 실시한 후경도 측정을 실시하였다<sup>5)</sup>.

Fig. 2는 상온 및 열처리 후 콘택트 팁의 경도를 측정된 결과이다. 상온에서 콘택트 팁 경도를 측정된 결과 약 176HV로 크롬동의 경도가 가장 컸고, 분산강화동은 약 160HV였으며, 전기동은 130HV였다. 그리고 인탈산동이 약 135HV로 가장 작았다. 450°C 1시간 열처

Table 1 Contact tip

| Component | Diameter( $\phi$ ) | Appearance  |
|-----------|--------------------|---|
| Cu-P      | 1.2                |  |
| Cu-Cr     | 1.2                |  |
| Cu-ODS    | 1.2                |  |

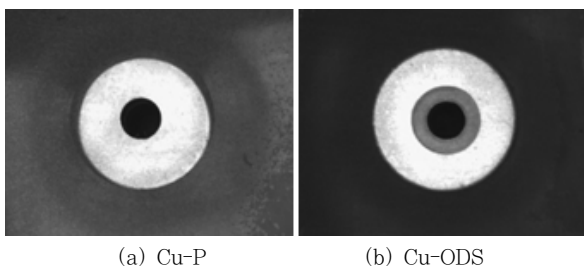


Fig. 1 The cross section of contact tip

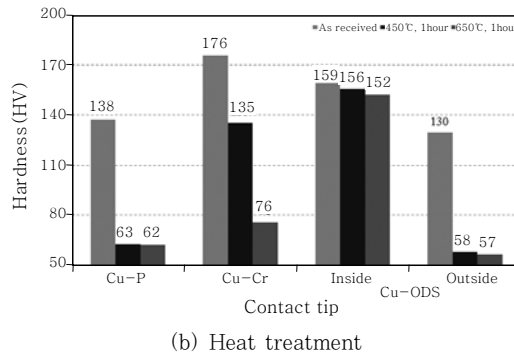
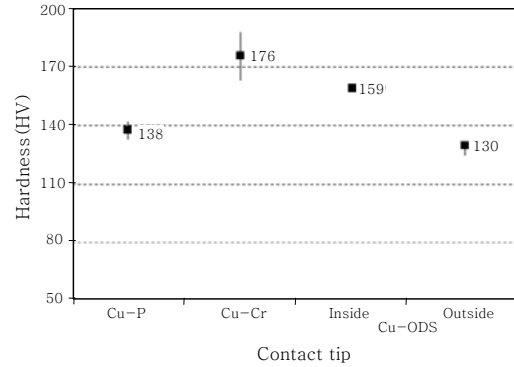


Fig. 2 The hardness of contact tip

리 후 분산강화동은 156HV로 상온에서 측정하였던 경도와 거의 유사하였으며, 크롬동은 135HV였다. 그리고 전기동과 인탈산동은 약 60HV로 저하되었다. 650°C 1시간 열처리 후 분산강화동은 152HV로 경도의 저하가 가장 작았으며, 크롬동의 경도는 약 75HV였다. 그리고 전기동과 인탈산동은 약 60HV로 450°C 1시간 열처리 후 경도와 유사하게 나타났다.

실험에 사용한 솔리드 와이어의 AWS규격은 ER70S-3이며, 직경은 1.2mm을 사용하였다. 와이어의 표면 도금 방법은 화학도금 제품을 사용하였다.

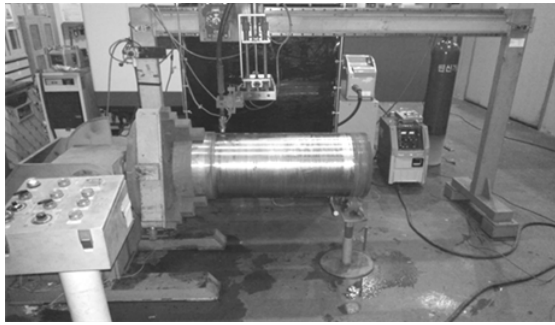
## 3. 실험 방법

### 3.1 실험 조건

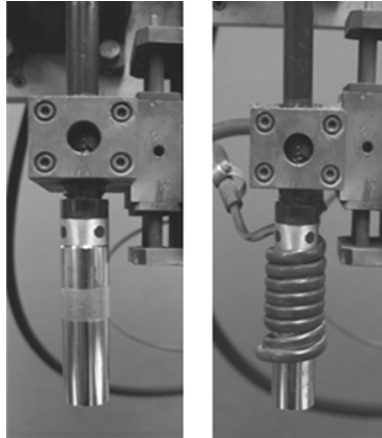
본 실험에서는 콘택트 팁 평가 규격인 RS D 0031을 이용하여 용접장치 및 용접조건을 선정하였다<sup>1)</sup>.

Fig. 3은 용접장치를 나타낸 것이며, 용접장치는 용접속도와 토치의 이송속도 제어가 가능하다. 용접소재는 400(D) × 1000(L) × 15(t)mm 크기의 대구경 파이프를 사용하였다. 용접 전원은 장시간 용접이 가능한 500A급 정전압 인버터 용접기를 사용하였다.

용접조건은 송급속도를 9m/min으로 일정하게 하고, 용접 전압을 29.0V로 설정하였다. 모재와 콘택트 팁 사이의 거리(CTWD)는 20mm로 고정하였으며, 용접속



(a) Welding system



(b) Welding torch

Fig. 3 Welding system and welding torch

도는 0.5m/min으로 설정하였다. 보호 가스는 80%Ar + 20%CO<sub>2</sub> 혼합가스로 유량은 20ℓ/min으로 하여 실험을 실시하였다.

### 3.2 용접작업성 평가방법

용접작업성을 평가하기 위하여 첫 번째로 콘택트 팁 외관 및 마모량을 계측하였다. 용접 중 번백(burn back)이 발생하면, 팁 외관만 관찰하였고, 30분 용접이 완료 시 팁 마모율을 계산하였다. 두 번째로 노즐의 스파터 부착량을 계측하였다. 측정 방법으로는 용접 전 노즐의 무게와 용접 후 무게를 측정하여 계산하였다. 세 번째로 용접 후 용접부 외관을 평가하였으며, 마지막으로 용접 중 아크 안정성을 평가하기 위하여 계측주파수 10kHz로 10초씩 연속적으로 용접 전류와 용접전압을 계측하였다.

본 연구에서는 1회 실험시 30분 동안 연속적으로 용접을 실시하였으며, 아크 불안 및 번 백이 발생하면 용접을 종료하였다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 콘택트 팁 외관

Table 2은 용접 종료 후 콘택트 팁 외관을 나타내고

Table 2 The appearance of contact tip after welding

| Contact tip       | Cu-P | Cu-Cr | Cu-ODS |
|-------------------|------|-------|--------|
| Appearance        |      |       |        |
|                   |      |       |        |
| Welding time(min) | 19   | 23    | 25     |

있다. 세 종류의 콘택트 팁 모두 용접 중 번백이 발생하였다. 인탈산동은 용접 시작후 19분, 크롬동은 23분에 번백이 발생하였으며, 분산강화형동은 25분 용접 시 번백이 발생하였다.

### 4.2 노즐 스파터 부착량

용접 후 노즐 외관 형상을 Table 3에 나타내었다. 인탈산동은 번 백이 발생하기 전 19분 동안 5.9g의 스파터가 노즐에 부착되었고, 크롬동은 23분동안 6.1g 스파터가 노즐에 부착되었다. 분산강화형동은 25분 용접동안 5.8g의 스파터가 노즐에 부착되었다.

스파터 발생량을 정량적으로 비교하기 위하여 10분당 노즐의 스파터 부착량으로 변환하였고 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 용접시간 10분기준으로 인탈산동이 3.1g으로 가장 많은 양의 스파터가 노즐에 부착되었고, 크롬동은 2.6g이 부착되었다. 그리고 분산강화형동은 가

Table 3 The appearance of nozzle after welding

| Contact tip | Cu-P | Cu-Cr | Cu-ODS |
|-------------|------|-------|--------|
| Appearance  |      |       |        |

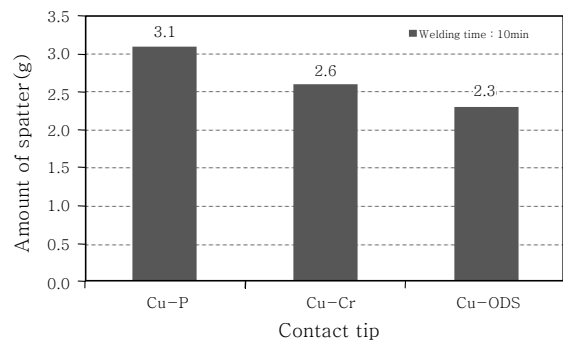


Fig. 4 The amount of spatter after welding(10min)

장 적은 양인 2.3g의 스페터가 노즐에 부착되었다.

### 4.3 용접부 외관

Table 4는 세 종류의 콘택트 팁으로 용접 후 용접부 외관을 관찰한 것이다. 용접부 외관은 대부분 양호하였다.

### 4.4 아크안정성

용접 중 아크안정성을 평가하기 위하여 연속적으로 용접 전류, 전압을 계측하였고, Table 5은 각 시각에서 10초간 계측한 용접 전류, 용접 전압 파형을 보여주고 있다. 용접 시작 후 세 종류의 콘택트 팁 모두 안정적인 용접전류, 용접전압을 보였으며, 번백이 발생할 때 용접전류가 불안하였다.

그리고 용접 시간 경과에 따른 용접전류, 용접전압의 변화를 평가하기 위하여 용접 시작부터 용접 종료(번백

**Table 4** The shape of bead

| Contact tip | Cu-P | Cu-Cr | Cu-ODS |
|-------------|------|-------|--------|
| Appearance  |      |       |        |

**Table 5** Welding current and welding voltage

| Welding time             | Welding current/Voltage      |
|--------------------------|------------------------------|
| 30sec                    | <p>Average: 305A / 30.1V</p> |
| 10min                    | <p>296A / 30.2V</p>          |
| 18min (Before burn back) | <p>255A / 32.3V</p>          |

(a) Cu-P

| Welding time             | Welding current/Voltage      |
|--------------------------|------------------------------|
| 30sec                    | <p>Average: 296A / 30.2V</p> |
| 10min                    | <p>304A / 30.0V</p>          |
| 20min                    | <p>308A / 39.9V</p>          |
| 23min (Before burn back) | <p>243A / 30.2V</p>          |

(b) Cu-Cr

| Welding time             | Welding current/Voltage      |
|--------------------------|------------------------------|
| 30sec                    | <p>Average: 288A / 30.4V</p> |
| 10min                    | <p>290A / 30.2V</p>          |
| 20min                    | <p>275A / 30.2V</p>          |
| 25min (Before burn back) | <p>217A / 30.9V</p>          |

(c) Cu-ODS

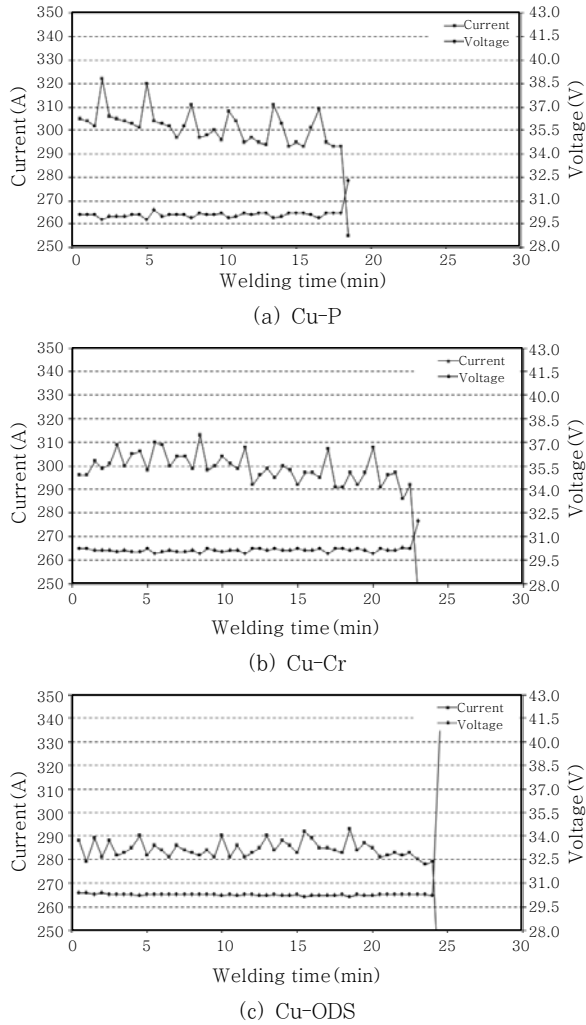


Fig. 5 Average current, voltage according to welding times

발생)까지 10초간 평균 용접전류 및 용접전압을 Fig. 5에 나타내었다.

인탈산동의 용접 전류는 용접 시간이 경과할수록 용접전류가 가장 크게 감소하였으며, 크롬동은 인탈산동에 비해 용접 전류의 감소가 작게 나타났다. 그리고 분산강화형동은 시간이 경과할수록 용접전류의 감소가 거의 없었다.

이와 같이 용접시간이 경과할수록 용접전류가 감소하는 원인은 다음과 같이 추론할 수 있다. 콘택트 팁과 모재사이의 저항은 Fig.6과 같다.  $R_1$ 은 아크 저항을 나타내며,  $R_2$ 는 와이어와 콘택트 팁 사이의 저항이고,  $R_3$ 는 콘택트 팁 마모가 일어나면 변동되는 저항이다.

용접 초기의 전체 저항( $R = R_1 + R_2$ )이다. 그리고 용접이 진행되면 콘택트 팁 마모가 진행되면서 와이어와 콘택트 팁의 접촉면이 A지점에서 B지점으로 이동하게 되고,  $R_3$ 의 저항은 계속적으로 증가할 것이다. 즉 용접이 진행되면 콘택트 팁과 와이어의 접촉부위는 변

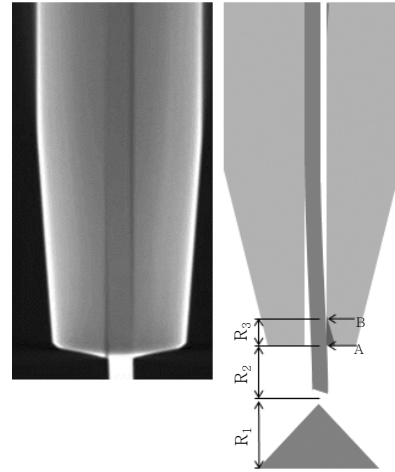


Fig. 6 The contact resistance of solid wire and contact tip

화하여 전체 저항은 증가하게 된다<sup>7)</sup>. 이러한 저항의 증가는 정전압 용접기에서 전압은 크게 변화하지 않아도, 용접 전류는 감소하게 된다.

### 5. 결 론

콘택트 팁 재질에 따른 솔리드 와이어 연속 용접 시 용접특성에 관한 연구를 수행하였다.

- 1) 연속용접시 인탈산동, 크롬동, 분산강화형동 순으로 연속용접시간이 증가하였다.
- 2) 노즐에 부착된 스패터량은 인탈산동, 크롬동, 분산강화형동 순으로 적게 부착되어 분산강화형 동이 가장 우수한 특성을 나타내었다.
- 3) 비드 외관은 세 종류의 콘택트 팁으로 용접 시 양호한 결과를 나타내었다.
- 4) 아크 안정성은 번백이 발생하기 전까지 안정적인 파형을 보였으며, 용접전류는 용접시간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

인탈산동의 용접전류 감소폭이 가장 컸으며, 크롬동, 분산강화형동 순으로 전류의 감소폭이 작아지는 것을 확인하였다.

### Reference

1. RS D 0031: Contact tip for gas metal arc welding, 1996, (in Korean)
2. Villafuerte: Stronger copper for longer lasting contact tips and electrodes, *Welding Journal*, **82-11** (2003), 50-54
3. N. H. Kim, H. J. Kim and H. S. Ryoo: The study on development of Cr-Cu contact tips for GMA welding, *Journal of KWJS*, **43** (2000), 94-96

4. N. H. Kim, K. H. Kim, H. J. Kim, H. S. Ryoo and J. H. Koh: Variation of microstructure and hardness of contact tips during GMA welding, *Journal of KWS*, **22-1** (2004), 43-49 (in Korean)
5. N. H. Kim, H. J. Kim, H. S. Ryoo and J. H. Koh: Reliability of contact tip of Gas Metal Arc Welding, *Journal of KWS*, **21-7** (2003), 715-723 (in Korean)
6. N. H. Kim, H. J. Kim and H. S. Ryoo: Life time prediction of contact tips for GMA welding, *Journal of KWS*, **23-4** (2005), 1-6 (in Korean)
7. I. G. Kim: Effect of wear of contact tips to welding consumable for gas metal arc welding, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, **21-6** (2012), 860-864