

# GMAW에서 contact-tip의 adhesive force와 와이어의 송급속도의 변화에 관한 연구 (A study on fluctuation of contact-tip adhesive force and wire feedrate in GMAW)

이재범\* 우승엽\* 장희석\*\*

(\* 명지대학교 기계공학과 대학원 \*\* 명지대학교 기계공학과)

## 1. 서론

Gas Metal Arc Welding(GMAW)은 일반 아크용접에서 발전된 것으로 사용되는 shield gas와 전류, 전압 등 용접변수의 적정 선택에 따라 요구되는 품질의 용접이 가능하고 생산성 향상 및 용접자 동화가 용이하다. 현재까지 연구된 GMA 용접공정에서 용적이행과정과 아크 안정성(arc stability)이 용접품질을 결정하는 가장 중요한 요인이며, 이에 영향을 주는 변수로는 shield gas를 비롯하여 용접 전압(V), 용접전류(I), Wire 전극의 크기 및 전극을 배출하는 contact tip과 모재사이의 간극(CTWD), 용접중 wire의 배출정도(wire extension), 그리고 wire 송급속도(wire feed rate) 등이 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 알려졌다. 본 연구에서는 wire의 송급속도를 변화시켜가며 contact-tip의 adhesive force를 측정하였으며 송급속도와 adhesive force의 관계를 비교, 분석하였다.

## 2. wire의 송급성과 adhesive force

GMA 용접작업에 있어서 wire의 송급속도는 용접전류의 설정과 비례한다. GMA 용접작업에 있어서 문제의 상당부는 wire의 송급 불안정이 원인이다. 이 원인 중에 wire 송급속도에 따라 contact-tip과 wire의 접촉영역에서 adhesive force의 불균일로 볼 수 있다. 용접불안정의 요인을 찾기 위하여 wire의 송급장치의 특성과 송급속도의 변화에 따른 contact-tip의 adhesive force를 살펴볼 필요가 있다. 먼저 소모 전극으로 쓰이는 GMA 용접용 wire는 비교적 직경이 작고(0.8mm-1.2mm), 굽어있는 torch cable을 통해 contact tip까지 안정되게 송급되어야 하는데 그 긴 경로와 굴곡 및 안내 tube와의 틈새(gap) 때문에 최종 용접부에서는 다소의 송급변동이 발생한다. 또한 wire가 굽어 있으므로 contact-tip에서의 adhesive force도 송급속도에 따라 변동하게 된다.

그림 1-(a)에서 토치케이블 내의 안내스프링(liner)과 이를 통과하는 wire의 간략도를 도시하였다. 여기서 입구 측에서의 송급속도( $V_i$ )에 비하여 토치측 출구에서의 송급속도( $V_o$ )는 감소하게 된다. wire 송급기에 감겨 있는 wire를 roller에서 곧게 공급해 주어도 긴 wire cable에서는 wire fluctuation에 의하여 토치측 송급속도는 감소한다.

그림 1-(b)에서는 contact tip과 wire의 간략도를 도시하였다. contact-tip에서도 wire는 굽어 있기 때문에 wire 공급시 contact-tip과 wire의 접촉에 의한 adhesive force 변화가 생긴다.

본 연구에서 wire 송급속도의 변화와 이에 따른 contact-tip의 adhesive force의 변화 상관관계를 규명하는데 초점을 맞추었다.

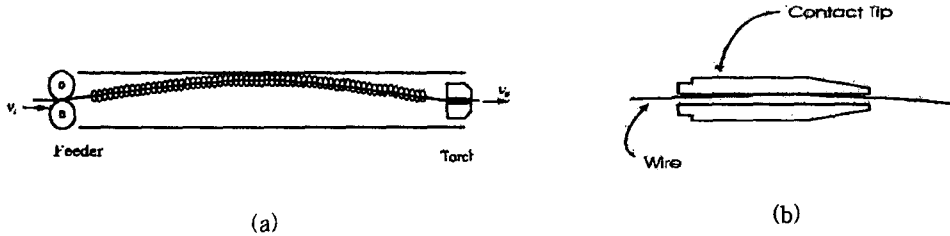


Fig 1. Schematic Diagram of Spring Liner System and contact-tip

### 3. 실험

#### 3-1. wire 송급속도의 측정

본 연구에 사용된 용접기는 Transistor Inverter 제어 방식의 CO<sub>2</sub>/MAG 용접기로, 이 용접기의 정격출력은 DC 350A, 36V이며 remote controller, wire 송급기, 토치 등의 요소로 구성되어 있다.

그림 2에 본 실험 시스템의 간략도가 도시되어 있다. 이때 용접기 토치는 작업대에 고정시켜 놓았고, adhesive force를 측정하기 위해 strain gage를 부착한 cantilever beam도 작업대에 고정하였으며 각각 진동에 의한 외란을 최소화 하기 위해 방진고무를 사용하여 고정시켜 놓았다.

본 연구에서는 wire 송급기의 입출력 송급 속도, 특히 토치측 송급속도의 변동과 contact-tip의 adhesive force의 관련성 여부를 평가하는 것이 주된 논제이므로 이의 정확한 측정이 필요하다. 따라서 wire의 선속도를 회전속도로 바꾸어 이를 측정하는 각속도 측정기를 만들어 wire 송급기측과 토치측에 각각 부착하여 wire 송급속도를 측정하였으며 측정원리는 다음과 같다. 먼저 wire의 선속도를 두 개의 roller를 이용하여 이의 회전속도로 바꾸고 이를 rotary encoder를 이용하여 측정한다. Rotary encoder는 1회전당 1000개의 pulse를 발생하며, 200kHz의 최대 주파수 응답을 가진다. 여기서 발생하는 pulse의 주파수는 frequency to voltage(F/V) converter 소자를 이용하여 구성된 회로를 이용하여 이에 비례하는 직류 전압으로 바꾼다. Wire 송급기의 송급속도는 용접전류 setting과 비례하여 증가하고 대략 1.5 - 18 m/min 의 범위를 가진다. 이에 해당하는 주파수(300Hz-3kHz)를 100Hz 간격으로 발생시켜 이를 F/V converter로 변환한 직류 전압과의 관계를 그림 3 에 도시하였으며, 주파수변화에 따른 평균 전압변화가 완벽한 선형성을 나타낸다.

#### 3-2. contact-tip에서의 adhesive force 측정

adhesive force를 측정하기 위해 강판의 한쪽 끝에 구멍을 뚫어 contact-tip를 고정하였으며, 다른 한쪽은 작업대에 고정하였다. 그리고 강판의 1/3 지점에 Length는 5mm, Resistance는 120 ± 0.2%이며 Transverse Sensitivity +0.9% 인 strain gage를 부착하였다.

wire의 송급속도는 용접전류의 설정과 비례하므로 전류를 변화시켜가며 즉 송급속도를 변화시켜가며 strain 값을 sampling 하였다. 측정된 strain 값은 증폭기를 사용하여 1000배로 증폭하여 A/D converter로 신호를 받았다. 주파수 분석을 위하여 각 조건 별로 channel 당 5,000Hz 로 5초씩 sampling 하였으므로 각각의 channel 당 25,000 개의 data points가 형성된다. 그림 4 는 측정된 strain 값을 힘으로 환산하기 calibration chart인데 그림에서처럼 힘이 증가할수록 전압이 증가함을 알 수 있다.

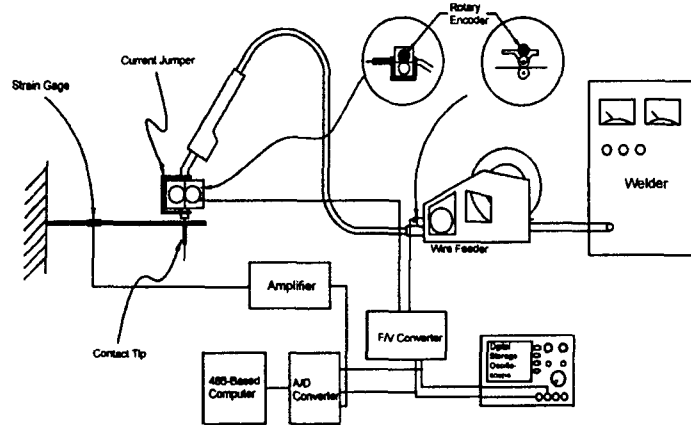


Fig 2. Diagram of GMA Welding Process Parameters Measuring System

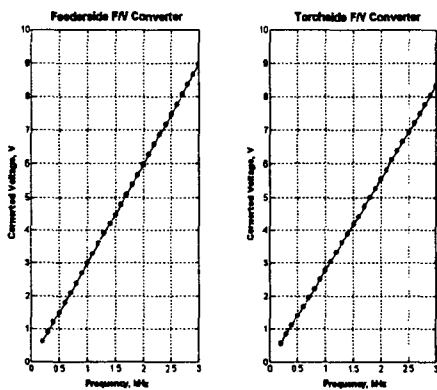


Fig 3. Calibration Chart of Wire Feedrate Measuring System

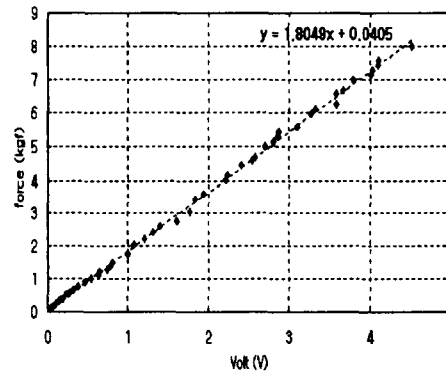
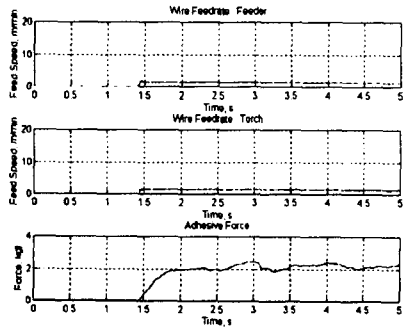


Fig 4. Calibration Chart of Adhesive force Measuring System

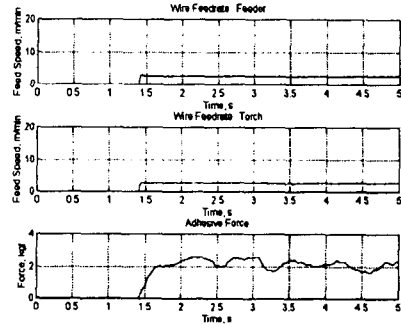
### 3. 결과 및 분석

송급속도의 변화  $V_i$ ,  $V_o$  그리고 contact-tip에서의 adhesive force 가 GMA 용접공정에 영향을 미치는 인자로 보고 주파수 분석을 위하여 각 조건 별로 channel 당 5,000Hz 로 5초씩 sampling 하였으므로 25,000개의 data points가 형성된다. 그림 5 는 전류변화에 따른 즉 송급속도 변화에 따른 Feeder 측 속도  $V_i$  와 Torch 측 속도  $V_o$  및 contact-tip에서의 adhesive force 변화를 나타낸다. 전술한 바와 같이  $V_i$  의 속도가  $V_o$  의 속도보다 약간 빠르며  $V_o$  의 변화폭이  $V_i$  변화폭보다 큰데 torch cable 을 통해 contact tip까지의 긴 경로와 굽곡 및 안내 tube와의 틈새(gap) 때문에 최종 용접부에서는 다

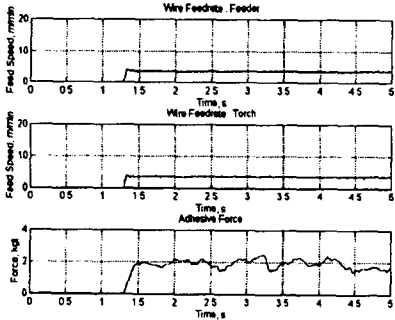
소의 송급변동이 발생한 것으로 추정된다. 또한 송급속도 변화에 관계없이 contact-tip에서의 adhesive force는 항상 일정하다. 다만 adhesive force의 변화폭만이 증가함을 볼 수 있다. 결국 adhesive force는 일정하지만 속도증가에 따른 큰 변화폭이 용접 불안정의 요인이 될 수 있다.



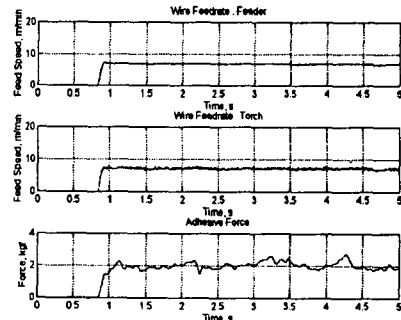
(a)



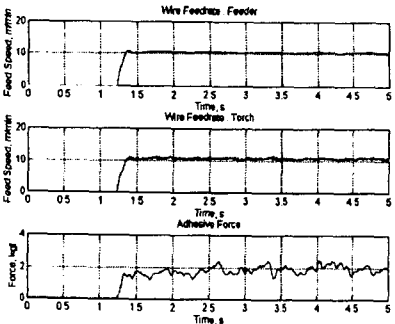
(b)



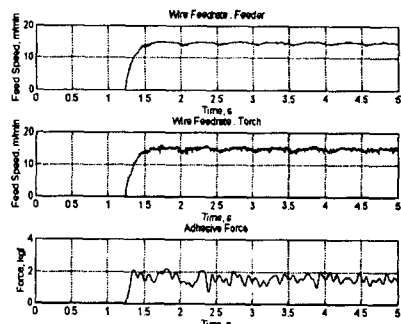
(c)



(d)



(e)



(f)

그림 5. Adhesive force for Various Wire Feedrate

그림 6 은 wire 송급속도에 따른 adhesive force의 최대, 최소값을 나타내었다. 그림을 통해 알 수 있듯이 속도변화가 커질수록 adhesive force의 평균값은 거의 일정하지만 최대, 최소값의 변화폭이 커짐을 알 수 있다.

그림 7 은 wire의 송급변동과 이의 일정 구간에서 adhesive force의 표준편차(STD [ $\Delta f$ ])를 계산한 값을 나타냈는데 wire의 송급속도가 증가할수록 편차를 점차 커짐을 알 수 있다. 즉 송급속도가 증가할수록 adhesive force 편차가 커짐을 확인할 수 있고 또한 wire 송급이 불안정하게 됨을 알 수 있다.

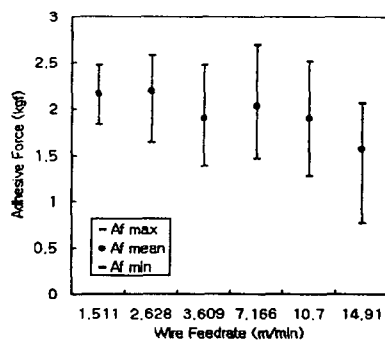


Fig 6. Adhesive Force Fluctuation for Various Wire Feedrate

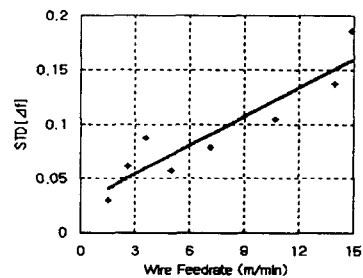


Fig 7. STD[ $\Delta f$ ] for Various wire Feedrate ( $\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$ )

## 5. 결론

본 연구는 용접공정 중 용접 불안정의 요인 인 송급속도와 contact-tip에서의 adhesive force의 상관 관계를 비교, 분석하였다. GMA 용접작업에 있어서 wire 송급속도는 용접전류의 설정과 비례하며, Feeder 측 속도  $V_i$  변화보다 Torch 측 속도  $V_o$  의 변화폭이 커서 용접불안정의 요인이 된다고 볼 수 있다. 다만 속도가 커짐에 따라 adhesive force의 평균값은 거의 일정하며, 변화폭은 커짐을 알 수 있다. 이 변화폭이 커질수록 용접이 불안정하게 진행된다고 볼 수 있다.

## 참고 문헌

- 1) AWS, Welding Handbook, (1991)
- 2) Tadaaki Yamada, Osamu Tanaka, A Fluctuation of Wire Feed Rate in Gas Shielded Arc Welding, kobe steel LTD. (1986)
- 2) 신현욱, GMAW에서 와이어 송급속도 변동이 아크안정성에 미치는 영향에 관한 연구, 명지대, 기계공학과, 석사학위논문 (1994)