

CO₂ FCAW에서 용접조건이 흠발생량에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on the Effect of Welding Conditions on
Fume Generation Rate in CO₂ FCAW Process.

채 현병, 김 정한
한국 생산기술 연구원

1. 서론

Flux Cored Wire(이하 FCW)의 특성에는 높은 용착율 및 효율, 깊은 용입, 그리고 수려한 비드외관외에도 Coverd Electrode와 같은 뛰어난 성능을 용접공정에 자동화할 수 있다는 큰 장점이 있다¹⁾. 최근 산업현장에서는 생산성 향상과 노동력 절감을 위한 용접공정의 자동화가 급속히 확산되어 가고 있는 추세에 있으며 FCW의 특성은 이와 같은 경향을 더욱 가속화하는 원동력이 되고 있다. 따라서 FCW의 수요는 급증되고 있지만 FCW에서 발생하는 많은 양의 용접흠에 대한 작업자의 안전과 작업장의 환경문제 또한 심각하게 대두되고 있다. 선진국에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 Low Fume FCW 개발과 작업자의 안전 보호기구 개발에 많은 연구와 투자를 하고 있고 그에 대한 성과도 나타나고 있다²⁾. 현재 우리나라에서는 보건, 안전, 용접공정 및 용접재료 등 여러 분야에서 용접흠 관련 연구를 시작하는 단계에 있지만³⁾ 전반적으로 아직 연구가 미흡한 단계에 있고 FCW 흠에 대한 Data도 전무한 실정이다.

이에 본 연구는 향후 Low Fume 용접재료와 용접Process의 개발을 위한 기초자료를 마련하기 위해 흠발생량 평가 표준시험법을 정립하여 전류, 전압, 이송속도, CTWD, 토치각 및 보호가스의 유량을 변수로 용접조건에 따른 흠발생량 변화추이를 실험하였으며 결과를 분석하여 흠발생량에 영향을 미치는 주요변수를 고찰하고 흠발생량 변화를 Data화하여 용접조건 조절에 의한 흠감소화 방안을 모색하기 위한 기초연구로써 수행되었다.

2. 실험 기자재

실험에 사용된 용접재료는 일반적으로 산업현장에서 가장 많이 쓰이는 $\phi 1.2$ mm의 CO₂ 용접용 FCW로써, KS D 7104 YFW(AWS A 5.20 E71T-1)에 해당하는 규격의 제품을 사용하였다. 또한 모재는 두께 21 mm의 용접구조용 연강(A36)을 사용하였고 여과지는 Pore Size 0.6 μ m, 크기는 254 × 203mm의 Glass Fiber Filter를 사용하였다. 본 연구에서는 흠발생량 평가를 위하여 흠 포집장치를 자체 제작하였으며 포집장치는 용접조건들을 정확하게 조절할 수 있도록 하여 이들이 흠발생량에 미치는 영향을 평가할 수 있도록 설계되었다⁴⁾. 사용된 용접기는 600A 급 Dyna Auto Super SCR제어형 용접기이며, Torch는 500A급 공냉식을 사용하였다. Fig. 1에 본 실험의 흠포집 System의 개략도를 도시하였다.

3. 실험방법

실험에 사용된 용접조건은 먼저 용접봉 제조업체에서 추천하는 전류와 전압범위 내에서 최적조건을 찾아 설정하고 전류와 전압을 제외한 나머지 변수들(보호가스의 유량, 이송속도, CTWD, 토치각)에 따른 흠발생량 변화에 대해 먼저 실험하였고, 전압 및 전류 순으로 하였다. 용접은 위치, 높이 및 각도를 정확하게 조정할 수 있는 토치홀더에 의해 지지되고 있는

용접토치를 이용해 속도 조절이 가능한 Turn Table 위에서 하향용접으로 수행되도록 하였고 Arc발생시간은 30 sec, 홉포집시간은 7 mins, 또한 측정 반복회수는 3회로 하였다. Table 1에 홉발생량 평가과정을 개략적으로 설명하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 Arc 전압

Arc전압은 Arc의 길이에 직접적으로 관계된다. 주어진 Arc길이에 대해 대응하는 Arc전압이 있고 주로 용접봉의 종류, 용접법 그리고 용접전원에 따라 달라지게 된다. Arc전압의 증가는 Arc 길이와 Arc내의 Plasma기류 증대를 촉진시키므로 Arc의 내부로 주위 공기의 혼입 가능성이 증가할 뿐만 아니라 혼입된 산소와 이행중인 용적이 반응할 수 있는 시간도 길어지게 된다. 또한 Arc전압이 증가함에 따라 입열량도 증가하게 된다. 따라서 Arc전압이 증가함에 따라서 홉 발생의 원인인 고온의 금속증기가 다량 발생하게 되므로 홉발생량의 증가가 예측된다. 그러나 Fig. 2에서 보여지듯이 저전압 영역에서는 그 현상이 두드러지게 나타나지만 고전압 영역에서는 그 영향이 그다지 크지 않음을 알 수 있다.

4.2 용접전류

홉발생량과 전류와의 관계에서는 용접전류가 증가함에 따라 홉발생량도 거의 비례적으로 증가하고 있다(Fig. 2). 용접전류의 증가는 곧 용접봉 용융의 직접적인 원인인 전기적 입열량 증가로 이어지고 용접봉의 용융된 Tip의 온도를 상승시켜 주며 Arc의 온도도 상승시켜 주므로 용적이 Arc내를 통과하는 도중 고온증기의 분출을 증가시켜 준다. 또한 용접전류의 증가는 곧 용접 Wire의 Feed Speed 증가를 수반하므로 용접봉의 소모를 증대시키는 원인이 된다. 그러므로 여러 가지 용접조건 중에서 용접전류가 홉 발생전반에 가장 크게 직접적으로 영향을 미치는 인자라고 인정된다.

4.3 보호가스의 유량

전반적으로 실험에 적용된 범위의 보호가스 유량에서는 홉 발생량이 거의 일정함을 볼 수 있다(Fig. 2). 이것은 사용된 용접 Wire의 Flux에서 발생하는 가스에 의한 Self-Shielding의 영향으로 보호가스의 유량이 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다.

4.4 용접이송속도

일반적으로 용접조건 중 이송속도만이 홉발생량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 Travel Speed의 증가에 따라 홉발생량은 점차 감소하는 경향을 보이고 있다(Fig. 2). 이송속도가 감소함에 따라 한 곳에 Arc가 머무는 시간이 길어지므로 입열량이 증가하여 용융풀이 커지므로 용융금속이 응고하는 시간이 증가하여 고온의 금속증기가 증발할 수 있는 시간도 증가할 뿐만 아니라 용융풀의 표면적 증가에 따른 증발 면적의 증가도 야기하게 된다.

4.5 토치각

모재에 대한 용접봉의 각도가 수직으로 부터 감소되면 보호가스의 Shielding 효과가 감소하여 용접봉의 용융된 Tip이 주위 산소에 노출될 가능성이 증가하게 되므로 용접홉 발생량

이 증가하게 된다.

그러나 토치각이 수직으로부터 15°정도까지는 비교적 Arc가 안정되어 전류 및 전압의 거의 변화가 없음을 관찰할 수 있었는데 75°미만으로 감소되면 Arc가 불안정해지고 Spatter의 양도 많아져 매우 산만한 결과치를 보여주었다(Fig. 2). 하지만 토치각이 감소함에 따라 현격한 흠 발생량 차이는 볼 수 없었는데 이것은 본 실험에서 설정한 토치의 Tip과 모재사이의 거리가 20mm로 비교적 가깝고 보호가스의 유량도 20 l/min으로 충분하므로 토치각의 감소에 따른 차폐효과 감소가 매우 적기 때문이라고 사료된다. 따라서 본 실험에서 설정한 토치각 변화범위 내에서는 이 인자의 영향이 그리 중요하지 않은 것으로 사료된다.

4.6 CTWD

일반적으로 CTWD의 증가는 전류의 감소를 유발한다. 따라서 Tip과 모재 사이의 거리 증가에 따른 전류의 감소는 Arc의 온도를 감소시켜 용적의 온도를 저하시키게 되므로 흠 발생량을 감소시키게 된다(Fig. 2).

5. 결 론

본 실험을 통해 Flux Cored Arc Welding시 용접조건이 흠발생에 미치는 영향에 대해 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Arc전압의 증가는 Arc길이와 입열양의 증가를 야기하여 흠 발생량을 증가 시킨다.
- 2) 용접전류의 증가는 입열량과 Wire의 송급속도를 증가시키므로 흠 발생에 가장 큰 영향을 미치는 인자이다.
- 3) CO₂용 Flux Cored Wire를 사용하는 경우 보호가스의 유량은 흠발생량에 영향이 가장 적은 인자이다.
- 4) 용접이송속도가 감소함에 따라 흠 발생량은 점차로 증가하는 경향을 보여준다.
- 5) 토치각이 감소함에 따라 흠 발생량의 증가를 보이지만 그 영향은 매우 작은 것으로 나타났다.
- 6) CTWD의 증가는 용접전류의 저하를 야기하여 흠 발생량의 감소를 유발하게 된다.

6. 참고 문헌

1. David Widgery, Tubular Wire Welding, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England, 1994, p. 3-8.
2. Stanley E. Ferree, New Generation of Cored Wires Creates Less Fume and Spatter, Welding Journal, Dec. 1995, p. 45-48.
3. 김규상, 용접작업자의 건강관리, 제 30 회 산업안전보건대회 용접작업 관리대책 세미나, 한국 산업안전관리공단, p.67, 1997
4. 김정환 외, Arc 용접시 Fume 발생 특성 및 Fume의 포집/분석기술, 용접기술 세미나, 한국 생산 기술 연구원, 1997, p. 25-28.

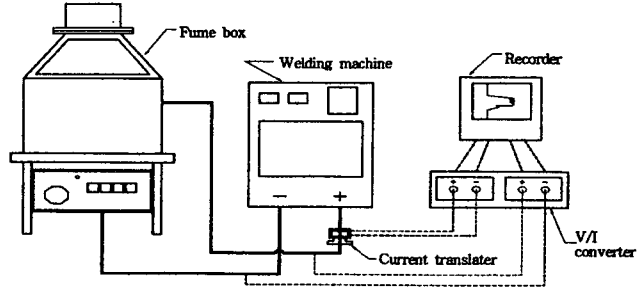


Fig. 1 Schematic Drawing of Fume Collection System

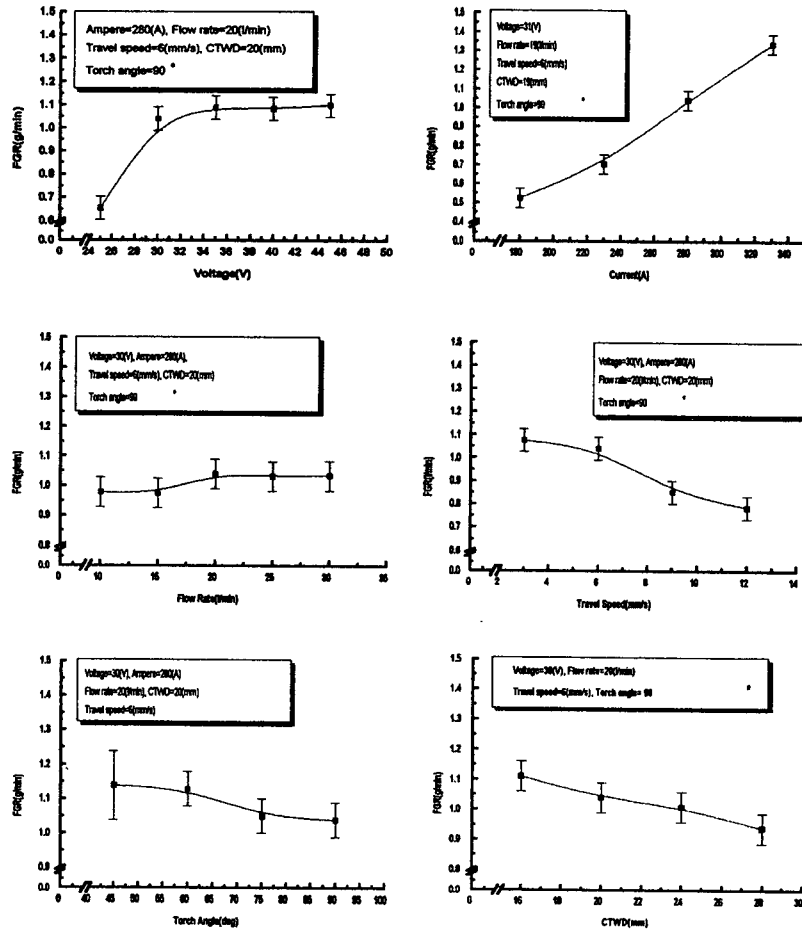


Fig. 2 Effects of Welding Conditions on Fume Generation Rate

Table 1 The Collecting Sequence of Welding Fume

흡 포 집 순 서	
•	초기용접 조건을 Setup한다.
•	모재의 무게를 잰다. 단, 수동용접일 경우에는 용접봉의 길이와 무게도 잰다.
•	여과지는 93~107℃의 Dry Oven에서 약 한시간 이상 건조시킨 후 무게를 잰다.
•	여과지를 Filter Assembly에 장착한 후 Assembly를 Chamber에 장착한다
•	기록계를 작동시키고 용접을 시작한다
•	소모된 용접 Wire의 양을 알기 위해 송급속도를 측정한다(자동 및 반자동 용접의 경우).
•	용접이 끝나면 Filter Assembly에서 조심스럽게 여과지를 탈착해 즉시 Dry Oven에 넣는다.
•	약 한시간 이상 건조시킨 후 여과지의 무게를 잰다.
•	용접 후 용접모재의 무게를 측정하여 용착량을 계산하고 수동용접의 경우는 잔류 용접봉의 길이와 무게를 측정한다.
•	용도에 따라 Table 2에 주어진 계산식에 의해 흡 발생량을 산출한다.

Table 2 The Formulas for the Calculation of Total Fume Generation Rate.

1	단위 시간당 흡 발생량 (g/min)	$\frac{\text{포집후 여과지의 무게}(g) - \text{포집전 여과지의 무게}(g)}{\text{테스트 시간}(min)}$
2	소모된 용접봉 단위무게당 흡발생량 (g/g _{electrode})	$\frac{\text{포집후 여과지의 무게}(g) - \text{포집전 여과지의 무게}(g)}{\text{소모된 용접봉의 무게}(g)}$
3	소모된 용접봉 단위길이당 흡 발생량 (g/cm _{electrode})	$\frac{\text{포집후 여과지의 무게}(g) - \text{포집전 여과지의 무게}(g)}{\text{소모된 용접봉의 길이}(cm)}$
4	용착금속 단위무게당 흡 발생량 (g/kg _{deposit})	$\frac{\text{포집후 여과지의 무게}(g) - \text{포집전 여과지의 무게}(g)}{\text{용착금속의 무게}(kg)}$