

아크 끊어짐이 고려된 통계학적 아크 안정성 예측 모델 개발에 관한 연구

A Study on Development of Statistical Models for Estimating Arc Stability Considering Arc Extinction

강문진*, 권영각*, 이세현**, 엄기원**

*포항산업과학연구원 설비용접연구팀, 경북 포항시

** 한양대학교, 서울시 성동구

1. 서론

CO₂ 아크 용접은 용적 직하에 아크가 존재하기 때문에 용적에 작용하는 힘들(중력, 표면장력, 전자기력, 양력 등)의 균형과 방향이 불규칙적으로 변화하고, 따라서 용적이행이 불규칙해져 많은 양의 스파터가 발생되곤 한다. 스파터는 아크가 불안정하거나 불규칙적으로 작용할 때 발생하는 것으로서, 이것과 아크의 안정성과는 매우 밀접한 관계가 있다고 알려져 있다.

2. 실험

본 연구에 사용된 실험장치의 구성도를 Fig. 1에 나타내었는데, 용접공정 전용 robot와 용접기, 스파터 포집장치 및 용접공정 변수 계측센서, A/D 변환장치 그리고 용접공정변수 해석을 위한 컴퓨터로 구성하였다. 용접변수로는 와이어 송급속도와 용접전압을 이용하였으며, 용접전류와 아크전압이 계측되었다. 용접 공정은 용접전용 로봇과 350A급 트랜지스터에 의한 인버터 제어형 정전압 용접기를 사용하여 수행하였고 스파터 포집장치는 황동을 사용하여 제작하였다. 스파터 발생량 측정을 위한 용접실험에 있어서, 보호가스는 유량 20 l/min의 100% CO₂ 가스가 사용되었고, 용접재는 지름 1.2 mm ϕ 의 AWS ER70S-6가 사용되었다. 사용된 소재는 두께 6mm의 SS400이었다. 용접속도로는 5mm/sec가 설정되었다. 용접조건의 선정은 Table 1과 같다. 용접방법은 비드 온 플레이트 용접이 실시되었다.

3 스파터 발생특성과 아크 안정성 평가 인덱스

Fig. 2는 와이어 송급속도를 3.4, 6.0, 7.3, 8.6 m/min으로 각각 설정하였을 때 CTWD와 용접전압의 변화에 대한 스파터 발생량의 거동을 나타낸 것이다. Fig. 2에 따르면, 각각의 와이어 송급속도에 있어서 스파터 발생이 상대적으로 적게 발생하는 어떤 적정전압이 존재함을 알 수 있고, 이 전압을 중심으로 하여 전압이 증가하거나 감소됨에 따라 스파터 발생량이 증가됨을 알 수 있다. Fig. 3과 같이, 단락이행모드의 용접전류 및 아크전압 파형으로부터 아크 안정성과 스파터 발생량에 영향을 미치는 것으로 일반적으로 알려진 인자들을 16개 정하였고, Table 1의 용접조건에 따라 용접이 실시되었을 때, 20초 동안 수집된 용접전류와 아크 전압 파형으로부터 이들 인자들의 값을 추출하였다. 값이 추출된 인자들(factors)은 단락이행 주기(T), 아크 시간(T_a), 단락 시간(T_s), 단락 최고전류(I_p), 단락순간 전류(I_s), 단락이행 평균전류(\bar{I}), 단락 이행주기의 표준편차($s[T]$), 아크 시간의 표준편차($s[T_a]$), 단락시간의 표준편차($s[T_s]$), 단락 최고전류의 표준편차($s[I_p]$), 단락순간 전류의 표준편차($s[I_s]$), 단락이행 평균 전류의 표준편차($s[\bar{I}]$), 아크 끊어짐 발생횟수($N(V_{oc})$), 평균 아크 끊어짐 시간($(T(V_{oc}))_{avg}$), 아크 끊어짐 평균시간의 표준편차($s[T(V_{oc})_{avg}]$),

총 아크 끊어짐 시간($T(V_{oc})_{sum}$)이었다.

4 아크 안정성 평가 모델의 개발

본 연구에서는 CO₂ 아크 용접 시 아크의 불안정성으로 인하여 발생하는 스파터의 양을 측정하였다. 측정된 스파터 양과 용접전류, 전압 파형을 형성하는 인자들의 상관관계가 분석되었고, 이들 파형인자들 중 스파터 발생에 상당한 영향을 미치는 인자들이 선정되었다. 선정된 인자들에는 저전압 영역에서의 아크 끊어짐을 고려한 인자들이 포함되어 있다. 선정된 인자들로 구성된 선형 모델과, 아크 끊어짐이 발생한 영역과 발생하지 않은 영역을 분리하여 각각의 선형 회귀모델을 구성하여 병합한 모델과, 비선형 회귀 모델에 대한 다중회귀분석을 실시하였고 이들 모델들로부터 스파터 양을 예측할 수 있는 각각의 수학적 인덱스 모델이 개발되었다. 또한 이들 인덱스 모델이 발생한 스파터 양을 얼마나 추종하는가를 비교하였다. 검토된 여러 인덱스 중 스파터의 발생을 가장 적합하게 묘사하는 아크 안정성 인덱스 모델을 개발하였다.

5 아크 안정성 평가 인덱스의 예측 성능 평가

Fig. 4는 전영역에서의 선형 아크 안정성 예측모델, 아크 끊어짐이 있는 경우와 없는 경우의 모델을 병합한 선형 아크 안정성 예측 모델, 그리고 전영역에서의 비선형 아크 안정성 예측모델과, 아크 끊어짐이 있는 경우와 없는 경우의 모델을 병합한 비선형 아크 안정성 예측 모델들에 대해서 스파터 발생량의 예측성능을 평가한 것이다. Fig. 4에 따르면, 이들 모델들은 모두 스파터 발생량과 상당히 선형적인 관계를 나타내고 있다. 선형모델의 경우(Fig. 4(a)), 스파터 발생량이 적은 영역에서 예측의 오차가 다른 모델들에 비해서 조금 크게 나타나고, 스파터 발생량이 많은 영역에서도 다소 예측성능이 떨어짐을 알 수 있었다. 한편 병합 선형회귀모델의 경우(Fig. 4(b)), 스파터 발생량이 많은 영역에서의 예측성능이 다른 모델들의 경우에 비해서 다소 우수하게 나타났다. 비선형회귀모델의 경우(Fig. 4(c)) 스파터 발생량이 적은 영역에서는 예측성능이 선형회귀모델들보다 뛰어난 성능을 나타내지만 스파터 발생량이 많은 영역에서는 오히려 선형회귀모델의 예측성능보다 저하됨을 알 수 있었다. 병합 비선형 회귀모델의 경우(Fig. 4(d)) 스파터 발생량이 적은 영역에서는 가장 우수한 예측성능을 나타내었다. 그러나 스파터 발생량이 많은 영역에서는 비선형회귀모델의 예측성능(Fig. 4(c))과 거의 비슷한 결과를 나타내었다.

6. 결 론

- 1) 아크 끊어짐 현상이 발생한 영역에서 인자들의 공상관 분석결과, 적정전압보다 낮은 저전압영역에서는 아크 끊어짐 현상이 스파터 발생량과 매우 밀접한 관계가 있다.
- 2) 아크 끊어짐이 발생한 영역과 아크 끊어짐이 발생하지 않은 영역 각각에 있어서의 회귀모델이 조사되었으며, 이들 각각의 영역에 있어서의 선형 및 비선형 회귀모델이 전개되었다. 이들 각각의 영역에서 도출된 최적의 회귀모델을 병합한 선형 및 비선형 회귀모델은 모두 전영역에 있어서의 선형 및 비선형 회귀모델보다 우수한 성능을 나타내었다.
- 3) 제안된 모델들에 대한 스파터 발생 예측성능 평가결과, 스파터 발생량이 적은 영역에서 스파터 발생량의 예측성능은 비선형 회귀 모델이 선형회귀모델보다 더욱 우수하였으나, 스파터 발생량이 많은 용접조건에는 오히려 선형회귀모델이 우수한 경향을 나타내었다.

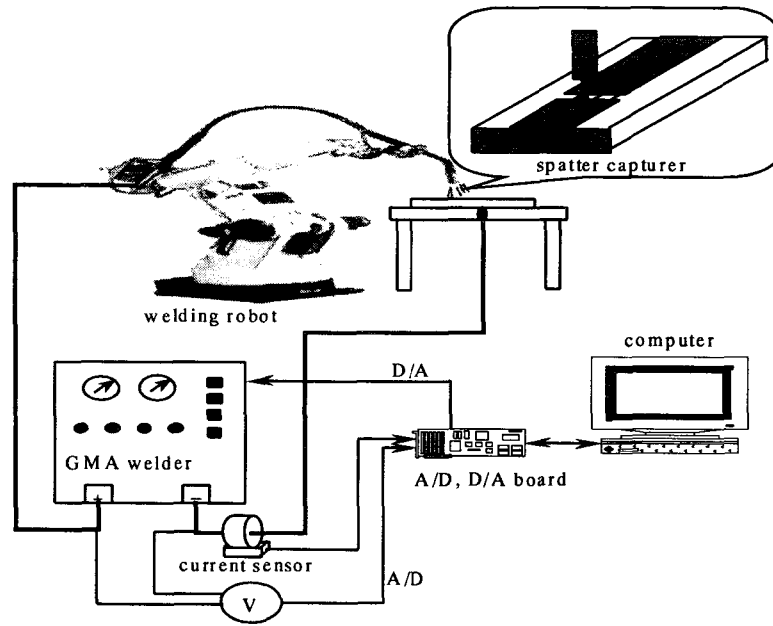


Fig.1 Configuration of experimental set-up

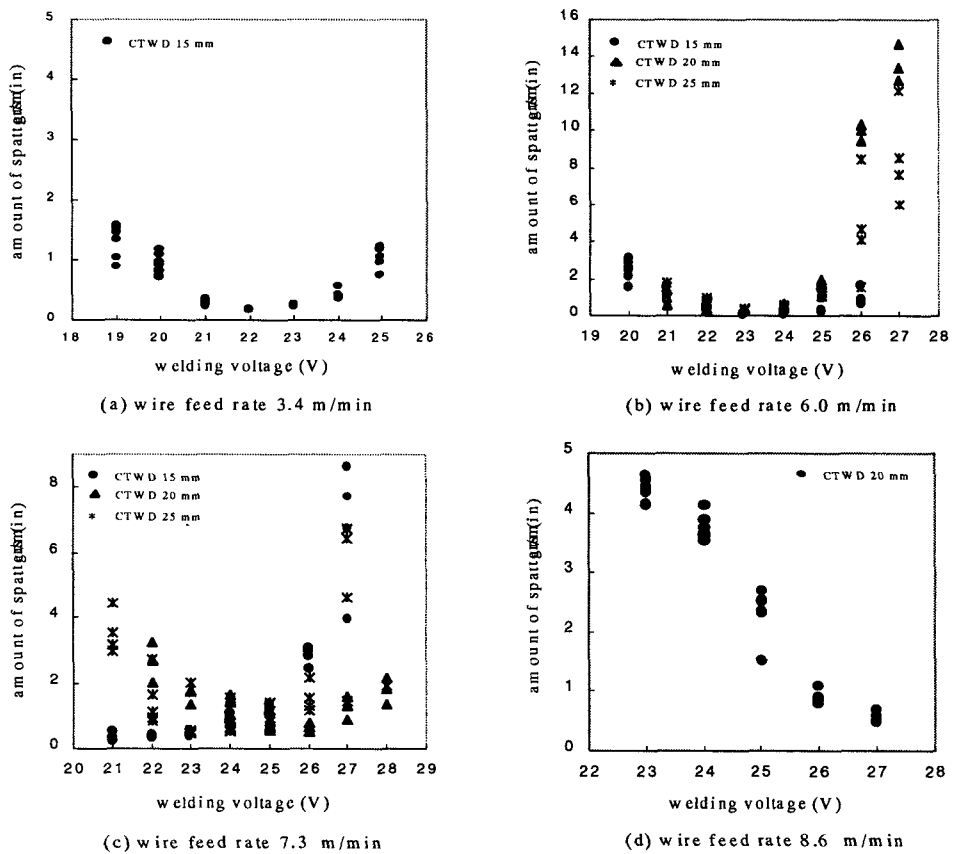


Fig. 2 The characteristics of spatter generation in change of the arc voltage at different wire feed rate

Table 1 Welding conditions and number of experiments per setting condition

Wire feed rate (m/min)	CTWD (mm)	Welding voltage (V)	No. of welding experiment per setting condition
3.4	15	19V ~ 25V	6
6.0	15	20V ~ 26V	6
	15	21V ~ 27V	3
	15	21V ~ 27V	3
	15	21V ~ 27V	3
7.3	15	21V ~ 27V	3
	20	22V ~ 28V	4
	25	21V ~ 27V	3
8.6	20	23V ~ 27V	6

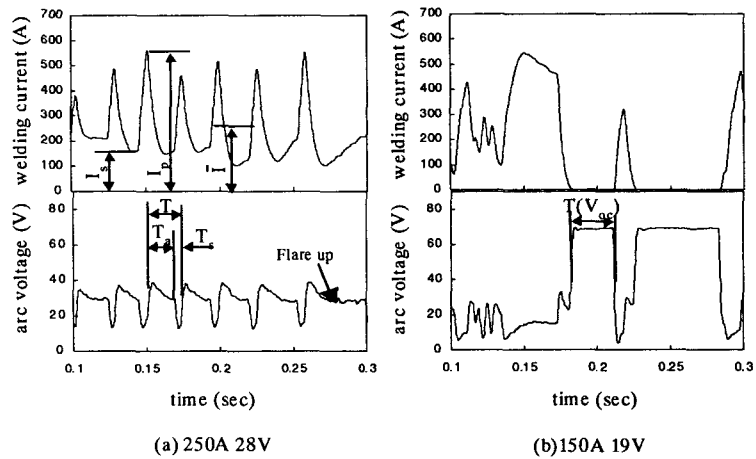


Fig.3 Waveforms of the arc voltage and the welding current in the short circuit mode

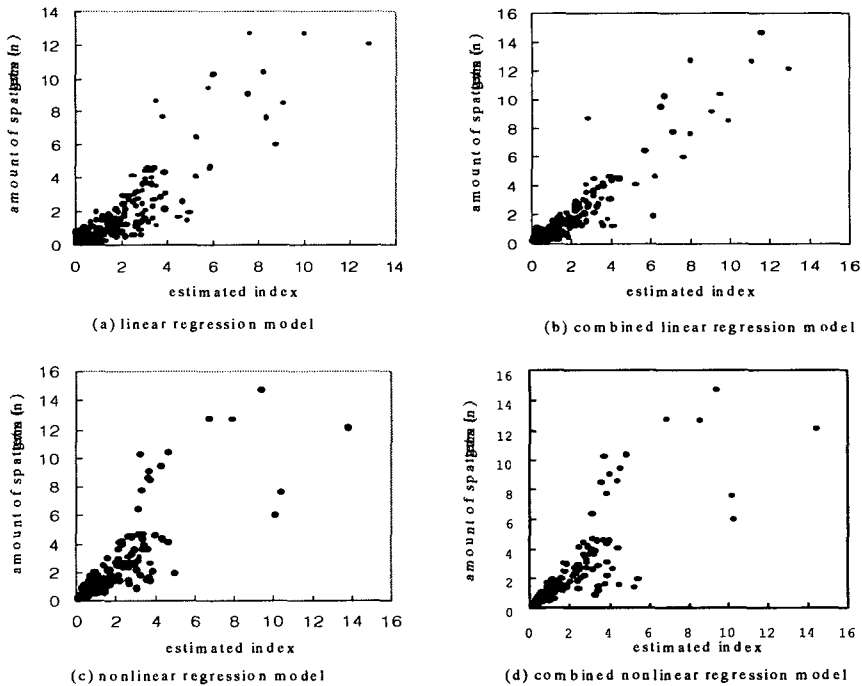


Fig. 4 Relationship between the estimated arc stability index and the weight of spatters with different regression models