

FCA 용접의 아크 블로우 모델링 Modeling of Arc Blow for FCAW

고성훈
현대중공업(주)

ABSTRACT The purpose of this study is to evaluate the effects of welding conditions on the shape of arc of FCAW using high speed camera system. Length and deflection of arc were evaluated from images of arc which were transformed by threshold processing. Based on the experimental results, a regression model for the length of arc was established. A major factor affecting deflection of arc was the length of arc.

1. 서 론

선체 제작에서 용접이 차지하는 비중은 대단히 높으므로 용접의 원가 절감과 생산성 향상을 위한 노력은 지속적으로 수행되고 있다. 특히, 전 용접 공정의 약 70%에 해당하는 필렛 FCA 용접에 대한 생산성 향상을 위하여 용접 자동화 장비의 도입과 이를 이용한 용접 기술의 개발 증가는 세계적인 추세이다. 이러한 자동화 용접의 일환으로 개발된 Twin tandem FCA 용접 공정은 2개의 전극을 이용한 용접으로서 단전극을 이용한 FCA 용접과 비교하여 3배 이상의 생산성을 확보할 수 있어 선박 생산 현장 적용이 확대되고 있을 뿐 아니라, 최근에는 더 높은 생산성을 얻기 위하여 3개의 전극을 이용한 tandem FCA 용접 기술의 개발이 거의 실용화 단계에 이르러 있다. [1,2] 일반적으로, 다전극을 이용한 용접 공정은 고용착량을 얻을 수 있어 고속 용접이 가능하고, 단전극 용접에 비해 상대적으로 저입열로 용접 변형 제어 등의 우수한 장점을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 신뢰도 높은 고가의 자동화 설비가 요구되고, 상대적으로 긴 용융풀의 유동과 용접 아크간의 상호 간섭 등으로 적정 용접 조건 선정이 매우 어렵다. 따라서 다전극을 이용한 FCA 용접의 품질 및 건정성을 확보하기 위해서는 용접 아크의 특성 및 상호 작용에 의한 효과를 규명하는 것이 무엇보다 중요하다.

따라서 본 연구에서는 이를 위한 기초 연구 단계로서 고속 카메라를 이용한 단전극 FCA 용접 아크 형상 분석을 통하여 아크 형상에 대한

단순 모델을 제시하고자 하였다. 이를 위해 아크 형상에 대한 용접 인자를 선정하였으며, 실험을 통한 회귀 모델을 제안하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험 장비

실험에 사용된 장비 구성은 Fig. 1과 같다. 직경 50cm의 파이프와 positioner를 이용하여 모재를 회전시키며, 아크가 정면에서 촬영되도록 전극과 고속 카메라는 동일 높이에 위치시켰다. 사용된 용접기는 Panasonic RF600, 용접봉은 AWS E70T-1 그리고, 보호 가스로 CO₂ 가스를 사용하였다.

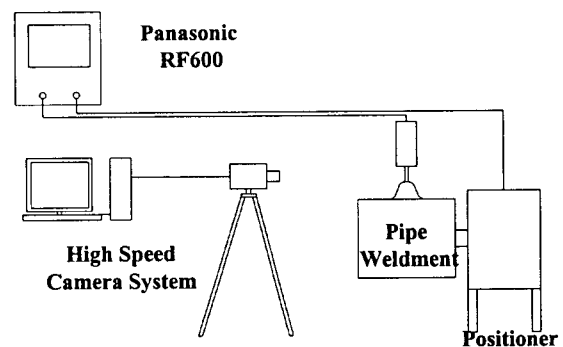


Fig. 1 Schematic diagram of experimental equipment

2.2 아크 형상 분석

전극이 소모되는 FCA 용접의 아크는 용융 금속의 이행에 따라 길이 및 형상이 계속 변화하므로 한, 두 장의 사진으로 아크 형상을 대표하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 아크 형상 변

화를 고속 카메라로 촬영하고, 각각의 영상 분석을 통하여 평균 아크 형상을 결정하였다. 아크 형상은 Fig. 2와 같이 비대칭 형상을 가지는데, 본 연구에서는 아크 하단부 중심과 용접봉 중심과의 거리 D를 아크 변형량으로 정의하였다. 여기서, 용접봉의 노출 길이 L_e 는 contact tip에서 용접봉 끝단까지의 거리이며, 아크 길이인 L_{arc} 는 용접봉 끝단에서 모재까지의 거리이고, 아크 폭인 W는 아크와 모재가 만나는 지점의 길이로 정의하였다. 일반적으로 아크 압력에 의한 용융물의 변형 깊이인 L_{depth} 는 용접 조건에 따라 무시할 수 없는 값을 가지지만, 영상 분석만으로는 판단할 수 없으므로 본 연구에서는 이에 대한 효과는 고려하지 않았다.

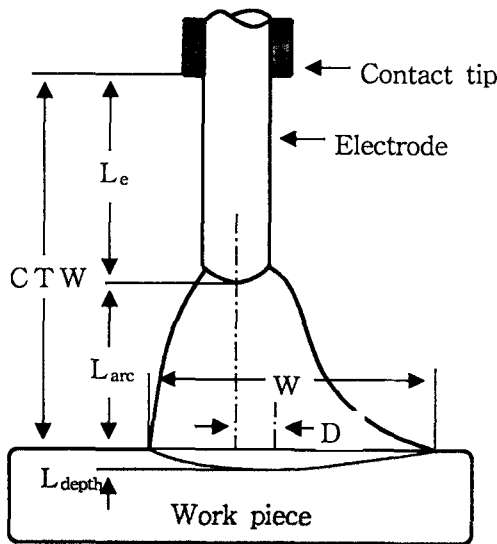


Fig.2 Model of arc shape

아크 형상을 분석하기 위하여 촬영된 아크 영상은 Fig. 3과 같이 모두 일정 값을 기준으로 threshold를 이용하여 외곽선을 추출하여 아크의 길이와 변형량을 측정하였다.

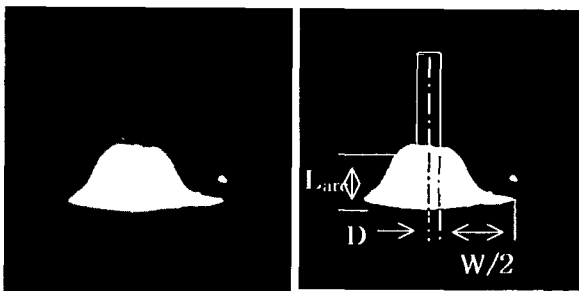


Fig. 3 Measurement of arc shape

3. 아크 형상의 회귀 모델

용접 전압은 식 (1)과 같이 용접기 케이블과 용접봉에 걸리는 전압과 아크에 걸리는 전압으로 나누어지며, 용접 전류가 고정되면 아크 길이에 비례한다. 따라서 아크 길이는 전류, 전압의 함수로 식 (2)와 같이 표현된다[3].

$$V = V_o + (R_m + R_a)I + E_a L_{arc} \quad (1)$$

$$L_{arc} = \frac{V - V_o - (R_m + R_a)I}{E_a} \quad (2)$$

여기서, V는 용접 전압, V_o 는 전압 상수항, R_m 은 용접봉과 케이블의 저항, R_a 는 아크의 전기적 저항, E_a 는 아크 전기장의 세기를 나타낸다. 위 식의 여러 상수는 실험을 통하여 구하는 실험 값이며, 보호 가스나 금속 이행 모드에 따라 영향을 받는다[4]. 그러나, 이상적인 축대칭의 아크 모델에 대해서 제안된 식 (2)는 전극의 이동에 의한 아크 변형의 영향을 고려하지 못한다. 즉, 아크가 크게 변형된 경우에는 이를 이용하여 정확한 아크 길이를 예측하는 것이 어려우므로 이에 따른 아크 형상의 변화를 대한 고려할 수 있는 방안을 선정해야 한다. 일반적으로 용접 아크 형상, 즉 아크 길이 및 변형은 용접 전류, 전압, 보호가스의 종류 및 유량, 용접 속도, CTWD, 용접봉 직경, 플럭스 등의 많은 인자로부터 영향을 받지만, 본 연구에서는 용접 전류, 전압 그리고 용접 속도만을 평가하였다. 각각의 인자의 영향을 최소 실험으로 평가하기 위하여 Taguchi 방법을 적용하여 실험 모델을 선정하였고, 영상 분석을 통한

Table 1 Length and deformation of arc with welding variables

전류 (A)	전압 (V)	속도 (m/min)	L_{arc} (mm)	D (mm)
300	32	1.0	2.6	0.9
	35	1.5	4.2	0.3
	38	2.0	4.8	0.5
360	32	1.5	2.7	0.6
	35	2.0	3.1	0.3
	38	1.0	3.4	0.5
420	32	2.0	1.4	1.5
	35	1.0	1.1	2.0
	38	1.5	3.0	0.6

측정 결과는 표 1과 같으며, 이상의 실험 결과를 토대로 각 용접 조건에 따른 아크의 길이 및 변형 특성 회귀 분석을 이용하여 평가하였다.

아크 길이에 대한 회귀 분석 결과 전류, 전압, 용접 속도는 모두 주요 인자였으며, Table 1의 결과를 토대로 제안된 아크 길이에 대한 회귀 모델을 정의 하였으며, 이를 Fig. 4에 나타내었다. 아크 길이가 2.5mm 이상에서는 아크 변형이 0.5mm 전후로 작았지만, 아크 길이가 그 이하로 짧아진 경우 변형이 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 아크가 일정 길이 이내로 짧아질 경우 가우시안 형태의 아크 기둥 형성이 어려워지고, 변형된 용융풀의 영향으로 용접 진행 반대 방향으로 아크가 몰리면서 아크 변형이 증가하기 때문이다. 이는 Fig. 5와 같이 아크 길이가 짧은 경우 용접 진행 반대 방향으로 늘어난 듯한 아크 형상이 발생한다는 결과와 아크 길이가 짧은 경우 전기장의 세기를 증가하고, 아크 압력과 이로 인해 유발되는 용융풀의 변형 깊이, L_{depth} 는 증가한다는 사실에서 쉽게 이해할 수 있다. 따라서 아크 길이가 짧은 경우에는 L_{depth} 의 영향을 고려한 아크 형상 예측 모델이 개발되어야 함을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 다전극 FCA 용접에서 용접 전류, 전압, 속도에 의한 아크 변형은 아크 길이가 2.5mm 이상인 조건에서는 무시할 수 있지만, 이 이하의 길이에서는 변형에 의한 아크 간섭 등의 영향을 고려하여야 한다.

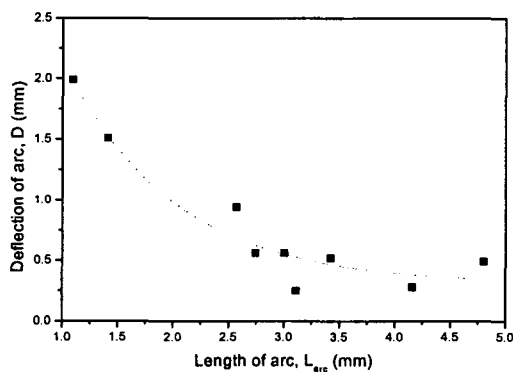


Fig. 4 Relationships between length of arc and deflection of arc

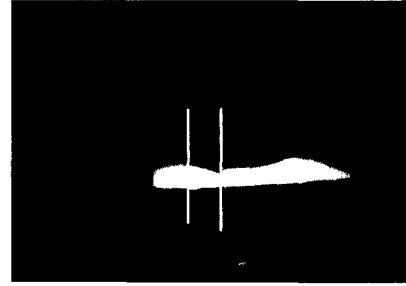


Fig. 5 Shape of arc with arc length of 1.4mm

4. 결 론

- 1) 고속 카메라를 이용한 아크 형상 측정 방법을 제안하고 영상 분석을 통하여 아크 길이 및 변형량을 측정하였다.
- 2) 아크 길이에 대한 주요 인자로 용접 전류, 전압, 속도를 선정하고, 실험을 통하여 이를 검증하고 회귀 모델을 제안하였다.
- 3) 아크 길이는 아크 변형의 주요 인자로 2.5mm 이상인 경우에는 아크 변형이 작아 그 영향을 무시할 수 있지만, 그 이하인 경우에는 아크 변형에 의한 영향을 고려해야 한다.

참고문헌

1. S. J. Mulligan and G. B. Melton : An assessment of the tandem MIG-MAG welding process, TWI report 745/2002
2. Japan patent, 8-224667
3. J. F. Lancaster : The physics of welding (2nd Edition), Pergamon Press, 1986
4. M. Ushio and W. Mao : An analysis of the dynamic characteristics of the arc sensor for DC MIG/MAG welding in open arc model -A study on the improvement of the sensitivity and the reliability of the arc sensor in GMA welding (2nd report), J. of Japan Welding Society, 14-1, 1996, 108-111