

회전토치를 사용한 용접로봇의 용접선 추적 알고리즘에 관한 연구

A study on the arc sensor algorithm for welding robot using rotating torch.

강 성원*, 윤 호중, 김 지희, 한 종만

대우조선해양(주) 선박해양기술연구소 자동화연구팀, 경남 거제시 아주동 1번지

1. 서론

열악한 환경의 FCAW(Flux Cored Arc Welding)에 대한 자동화의 필요성에 따라 많은 용접작업이 수행되는 조선소에서는 선체 블록의 대조립, 중조립, 소조립 공정을 중심으로 용접로봇의 설치 및 운영에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 최근 선체 소조립 공정에 대한 용접자동화의 필요성이 대두되고 있다. 수평과 수직 필릿 조인트가 함께 생성되는 선체 대조립, 중조립 공정과는 달리 선체 소조립 공정에서는 수평 필릿 조인트가 주종을 이루고 있고, 용접선의 길이가 대조립, 중조립에 비하여 길기 때문에 여기에 맞는 로봇 기구부와 갠트리부의 설계가 필요하며, 효과적인 로봇 운영을 위하여 OLP(Off-Line Program)시스템이 필요하다. 또한 소조립 공정에서는 용접선의 길이 외에도 그 형상의 복잡함으로 인하여 용접선 추적 및 끝단부 인식, 비드 이음부 인식 등의 센싱기능이 중요한 역할을 차지하며, 특히 성공적인 용접 자동화 시스템을 구축하기 위하여, 작은 각목의 수평 필릿 조인트에 대한 고속 용접이 필요하다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 당사에서 개발한 선체 조립용 용접로봇시스템에 회전토치를 사용하여 고속 용접 시스템을 구축하고자 하였고, 그 첫 번째 단계로 용접로봇 시스템에 회전토치를 사용하여 용접선 추적 알고리즘을 개발하였다.

2. 용접실험 및 결과분석

2.1 실험방법

고속 용접에 적합한 용접조건을 설정하고 용접선 추적 알고리즘을 수립하기 위하여, 로봇에 회전토치를 부착하고 100% CO₂ 가스를 사용하여 수평 필릿 용접실험을 한 결과, 표 1과 같은 용접조건을 설정하였다. 용접실험 중 로봇 제어기에서 4kHz로 용접전류와 토치 엔코더 신호를 수집하였고, 용접 중 발생하는 노이즈성분의 제거를 위하여 전류신호에 대한 디지털 필터링을 하였다.

2.2 실험결과 및 분석

토치 회전에 대한 전류신호를 분석하기 위하여 엔코더 c상의 신호를 이용하여 토치 회전 구역에 대한 정의를 그림 1과 같이 하였다. 그림 2는 표 1의 용접조건으로 수평 필릿 조인트를 용접하였을 때, 그림 1에서 정의한 1~4구역에대한 전류신호와 각 구역의 평균값을 나타내고있다. 그림 2의 (a)에서 필릿 조인트의 중심을 토치가 회전하며 용접할 때, 팁 모재간 거리에 따라 용접전류의 변화가 발생함을 알 수 있다. 그림 2에서 구역별 전류 신호를 분석하여보면 (c)와 (d)의 2구역과 3구역의 전류 평균값이 403.98A와 403.54A로 (b)와 (e)의 전류 평균값보다 다소 크게 발생하며, 또한 전류신호도 불안정함을 알 수 있다. 이러한 현상은 그림 1의 (b)에서 토치가 회전하며 2구역과 3구역을 지날 때에는 용접중 이미 형성된 용접비드의 영향으로 1구역과 4구역보다 아크 길이가 짧아지기 때문이라고 사료된다. 그러므로 본 연구에서는 토치가 1회전할 때 전류신호가 안정적인 1구역과 4구역의 전류차를 이용하여 좌우방향의 용접선 추적에 이용하였으며, $I=V/R$ 의 관계에 의하여 토치 1회전에 대한 전체 구간의 전류값을 이용하여 깊이방향의 용접선 추적에 이용하였다.

2.2.1 좌우 방향 보정

토치가 1회전할 때 1구역과 4구역에 대한 전류차를 이용하여 좌우방향을 보정하였고, 이는 식 (1)로 표현할 수 있다. 여기서 $dI_w(n)$ 은 n번째 회전에서 좌우방향의 전류차, I 는 용접전류, θ 는 기준

점에서의 이동각도, cf는 토치 회전의 기준점을 나타낸다.

$$dI_w(n) = \int_{cf(n)}^{cf(n)+90^\circ} I_{(n)}(\theta)d\theta - \int_{cf(n-1)+270^\circ}^{cf(n)} I_{(n-1)}(\theta)d\theta \quad \text{--- 식(1)}$$

2.2.2 깊이 방향 보정

토치가 1회전할 때 전 구역의 전류와 이전의 전류차를 이용하여 깊이 방향을 보정하였고, 이는 식 (2)로 표현할 수 있다. 여기서 $dI_t(n)$ 은 n번째 회전에서 깊이 방향의 전류차를 나타낸다.

$$dI_t(n) = \int_{cf(n)}^{cf(n+1)} I_{(n)}(\theta)d\theta - \int_{cf(n-1)}^{cf(n)} I_{(n-1)}(\theta)d\theta \quad \text{--- 식(2)}$$

3. 용접선 추적 알고리즘

회전토치를 사용하여 용접실험을 수행한 결과를 바탕으로, 그림 3과 같은 용접선 추적 알고리즘을 수립하였다. 그림 3의 (1)에서 고속용접에 적합한 토치 회전수를 20Hz로 설정하였고, (2)에서 텡 모재간 거리에 대한 용접실험 결과를 2차식으로 회귀분석 하여 좌우 방향과 깊이 방향에 대한 각각의 계수값을 구하였다. 또한 (3)과 (5)에서 digital filtering을 하여 용접 중 발생하는 노이즈 성분을 제거하였고, (4)와 (6)에서 엔코더 신호를 이용하여 용접선 추적에 필요한 회전수를 계산하였다. 식 (1)과 (2)를 바탕으로 그림 3의 (7)에 대한 각각의 토치 회전에 대한 1, 4구역의 전류차와 1회전의 평균전류를 계산하여 좌우방향과 깊이 방향에 대한 보정값을 계산하였다. 작성한 알고리즘을 로봇 제어기에 반영하여 offset 각을 지닌 필릿 조인트를 용접한 결과 그림 4와 같은 우수한 성능으로 용접선을 추적하였다.

4. 결 론

회전토치를 사용한 수평 필릿 조인트의 용접선 추적알고리즘 개발을 위하여 용접실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 100% CO2가스를 사용한 FCAW공정에서 안정적인 용접전류 신호와 고품질의 용접비드를 얻기 위한 용접실험을 한 결과, 토치 회전수는 20~25Hz 사이가 적당하였다.
- (2) 구간별 용접전류를 분석한 결과, 토치가 회전할 때 용접비드의 영향을 받지 않는 1, 4구간의 전류신호가 안정적이었으며, 이를 좌우방향의 용접선 추적에 이용하였고 토치 1회전에 대한 전 구간의 평균전류를 이용하여 깊이방향의 용접선 추적에 이용하였다.
- (3) 작성한 알고리즘을 로봇 제어기에 반영한 결과 최대 offset 각도 30°까지 용접선 추적이 가능함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. Hirokazu Nomura, Yuji Sugitani and Masatoshi Murayama, "Development of Automatic Fillet Welding Process with High Speed Rotating Arc", Trans. Japan Welding Society, 18-2 1987, pp26-34
2. W.Faber, B.Jachel, "Practical use of an arc sensor for fillet welding", Welding International, No. 1 1989, pp.72-75
3. J. W. Kim, S. J. Na, "A study on Arc sensor for Gas Metal Arc Welding of Horizontal Fillets", Welding Research Supplements, Aug. 1991, pp.216s-221s

Table.1 Welding conditions for rotating torch

회전직경	회전수	보호가스	용접재	용접전류	팁 모재간거리	용접전압	용접속도
2.5mm	20Hz	CO2 100%	DS 7100(1.4 ψ)	400A	25mm	38V	72cpm

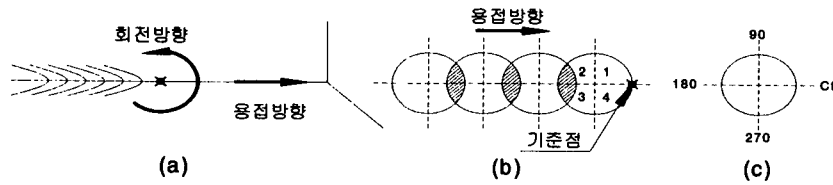


Fig.1 Definition of rotating section

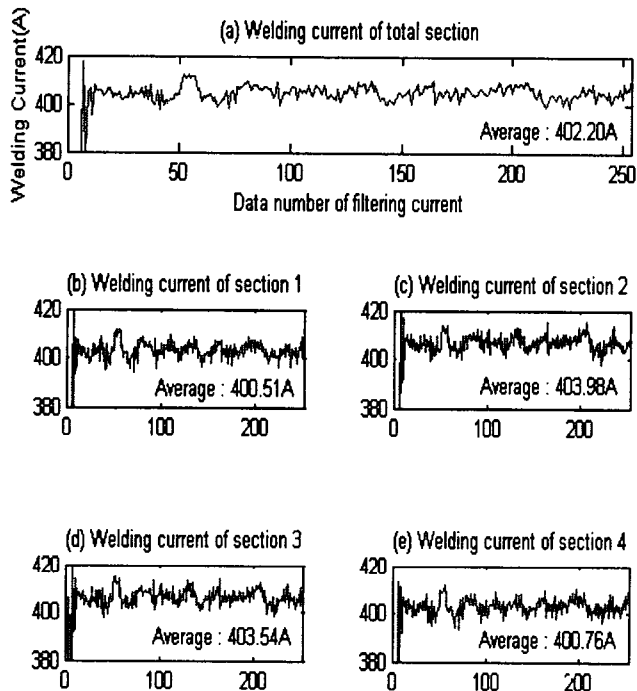


Fig.2 Results of welding current analysis

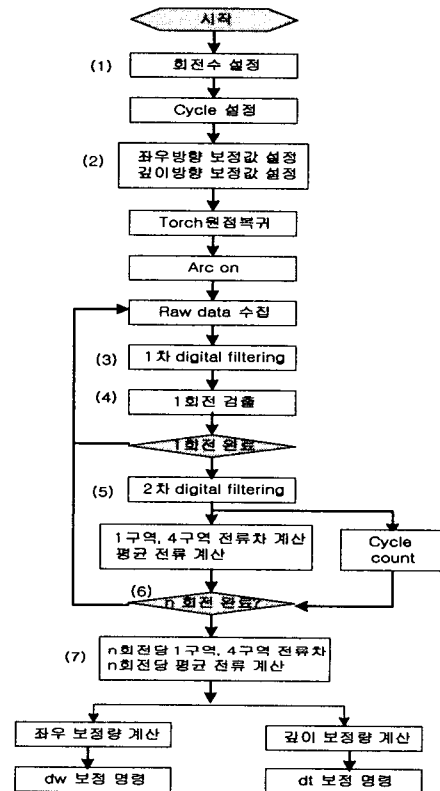


Fig.3 Flow chart of arc sensor algorithm for rotating torch.

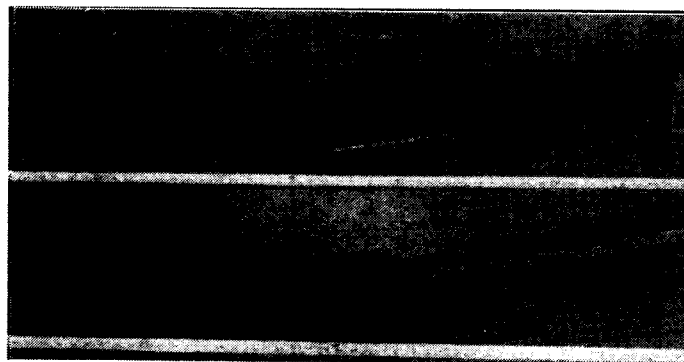


Fig.4 Photographs of tracking result by rotating torch for offset angle 30°