

수평필릿용접에서 용접결함을 고려한 용접선 자동추적 알고리즘개발에 관한 연구

A Study on Development of Algorithm for Seam Tracking by Considering Weld Defects in Horizontal Fillet Welding

문형순*, 나석주*

*)한국과학기술원

ABSTRACT Among various welding parameters, the welding current which is inversely proportional to the tip-to-workpiece distance in GMAW is an essential parameter to monitor the GMAW process of horizontal fillet joints. For the case of weld defect such as overlap in horizontal fillet welding, therefore, the signal processing for process monitoring or automatic seam tracking should be modified by considering the weld pool surface geometry including the corresponding weld defect. In other words, the adequate signal processing algorithm is indispensable to improve the performance of the arc sensor. However, arc sensor algorithm already developed usually focus on weld seam tracing but do not considering the weld qualities. In this paper, various experiments were carried out to investigate the tendencies of the weld defects when weaving motion is added, and the experimental method based on 2^n factorial design was proposed for deriving the mathematical model between the leg length and the various welding conditions. Moreover, a signal processing method based on the artificial neural network(Adaptive Resonance Theory) was proposed for discriminating the current signal of sound weld beads from that of weld beads with overlap. Finally, the algorithm for weld seam tracking combined with the mathematical modeling and the signal processing method was carried out to track the weld line in conjunction with the improvement of the weld qualities. The reliability of the proposed algorithms were evaluated through various experiments, which showed that the proposed algorithms could be effectively used for arc welding automation.

1 서론

용접현상은 매우 복잡하며 또한 비선형적인 요소를 많이 포함하고 있으며 이로 인해 용접현상을 모델링 하기란 매우 어렵다. 즉 용접시 사용하는 각각의 용접조건들-용접전류, 아크전압, 용접 속도, 오프셋 거리(offset distance)등-과 용접부 형상과의 관계는 용접공정의 비선형적인 특성으로 인해 독립적으로 형성할 수 없으며 따라서 원하는 용접부를 얻기 위해서는 다양한 실험을 통할 수밖에 없다. 이러한 난점과 열악한 환경이라는 단점으로 인해 용접공정은 점차적으로 자동화의 요구가 활발히 진행되어 오고 있다. 다양한 많은 용접공정중에서 조선, 해양 그리고 건설분야에서 사용되는 후판의 큰 부재를 용접하고자 할 경우 주로 사용되는 용접이 수평필릿용접(horizontal fillet welding)이다. 실제로는 아래보기 용접이 용접공정이나 동일한 각장을 얻기 위해서는 유리하나 지그(jig)의 사용한계 및 부재의 이동한계 등에 의해서 주로 수평필릿용접을 행하게 된다. 하지만 후판의 수평필릿용접의 경우 고전류 영역에서 사용하기 때문에 오버랩(overlap) 혹은 용접풀의 처짐(deflection of weld pool) 등의 현상이 나타날 수 있다. 즉 용접수행후 형성되는 용접비드형상중 수평면과 수직면에 대한 용접부의 각장(leg length)이 달라질 수 있으며 이는 때때로 용접부의 기계적인 성질을 떨어뜨리는 인자로 작용하기도 한다^{1,2,3}. 따라서 오버랩이나 지나친 용접풀의 처짐을 방지하는 것도 용접공정의 효율성과 용접자동화의 구현에 일익을 담당하리라 사료된다. 본 연구에서는 오버랩 및 용접풀의 처짐에 의해 결과적으로 나타나는 각장의 크기와 사용되는 용접조건들 사이의 관계를 수학적인 모델을 통해서 알아내었으며 또한 실제 용접중에 측정된 용접전류를 이용해서 오버랩이 발생하는지에 대해서 인공 지능적 방법을 통해서 예측하였다. 끝으로 이를 이용해서 용접수행중 오버랩이 발생하지 않고 동일한 각장을 얻을 수 있는 용접선 자동추적센서를 개발하였다.

2. 수학적 모델링

수평필릿용접에서 나타날 수 있는 다양한 용접결함 중에서 특히 오버랩과 용접풀의 과다 처짐 등에 대해서 수학적 모델링을 수행하였다. 본 연구에서 사용된 실험방법은 2^n factorial이며⁴ 사용된 용접조건을 Fig 1과 Table.1 에 각각 나타내었다. 각장의 차이와 용접조건들의 관계를 나타내면 다음과 같다.

$$L2 - L1 = k_1 + k_2 \cdot V_w + k_3 \cdot I + k_4 \cdot O_D + k_5 \cdot W_L + k_6 \cdot V_w \cdot I + k_7 \cdot V_w \cdot O_D + k_8 \cdot V_w \cdot W_L + k_9 \cdot I \cdot O_D + k_{10} \cdot I \cdot W_L + k_{11} \cdot O_D \cdot W_L \quad (1)$$

이를 실제 용접선추적센서에 적용하기 위해서는 각장의 차이와 오프셋거리와의 관계를 유도해야 한다. 즉 용접선자동추적시 사용되는 보정데이터는 토치의 위치제어이므로 이를 위해서 식(1)은 식(2)와 같이 다른 형태로 유도될 수 있으며 Table.1에 결정된 실험식은 식(3)에 나타내었다.

$$L2 - L1 = k_1 + k_2 \cdot V_w + k_3 \cdot I + k_5 \cdot W_L + k_6 \cdot V_w \cdot I + k_8 \cdot V_w \cdot W_L + k_{10} \cdot I \cdot W_L + (k_4 + k_7 \cdot V_w + k_9 \cdot I + k_{11} \cdot W_L)O_D \quad (2)$$

$$L2-L1 = -0.2281 - 0.4344V_w - 0.0003I + 1.6404W_L + 0.0016V_wI - 0.1063V_wW_L - 0.0034IW_L + (0.6312 - 0.0019I + 0.2875V_w - 0.0125W_L)O_D \quad (3)$$

3. 용접파형 인식 및 용접선 자동추적

일반적으로 후판 용접시 아크센서를 적용하기 위해서는 로봇 토치를 좌우로 이동시켜야 한다. 이를 위빙(weaving)이라고 하며 위빙중에 용접전류를 측정하여 용접중심선에 대한 토치의 위치정보를 알아내는 것이 아크센서의 원리이다. 하지만 후판 용접시 고전류 영역에서 용접을 행하고 또한 용접방법이 수평필릿용접인 경우 오버랩과 용접풀의 과다한 처짐이 발생하게 되고 이로 인해 형성되는 각장의 크기가 달라지게 된다. 본 연구에서는 위빙중에 측정된 용접전류를 이용하여 인공지능적 방법(adaptive resonance theory)^{5,6,7} 통해 오버랩의 발생유무를 예측하였다. 또한 오버랩이 발생하지 않고 각장의 크기가 같도록 하기 위해서 실제 보정데이터 형성시 식(3)을 이용하여 보조 보정데이터를 형성하였다. 이에 대한 순서도를 Fig. 2에 나타내었으며 이를 이용한 용접선 추적결과를 Fig.3와 4에 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 수평필릿 용접에서 나타나는 오버랩 및 용접풀의 과다 처짐에 의해 결과적으로 나타나는 각장의 크기와 용접조건과의 관계를 수학적으로 모델링 하였다. 또한 인공지능적 방법을 통해 위빙중에 측정되는 용접전류만으로 오버랩의 유무를 판별하였다. 위의 결과를 통해서 실제적으로 용접선을 추적할 때 각장의 크기가 같고 오버랩이 발생하지 않도록 교정데이터를 새롭게 구성하였다. 수평필릿용접에서의 용접선 추적결과를 통해서 본 연구에서 제안된 알고리즘이 같은 각장을 갖는 용접부를 얻고자 할 때 효율적으로 적용될 수 있음을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

1. J. G. Andrews, D. R. Atthey and J. G. Byatt-Smith: "Weld Pool Sag", *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 100, part 4, pp.785-800.
2. K. Nishiguchi, T. Ohji and H. Matsui: "Fundamental Researches on Bead Formation in Overlaying and Fillet Welding Process (2nd Report)", *Japaness Welding Journal*, Vol. 45, No. 2, 1976, pp.143-149.
3. H. Hiramoto, M. Moriyasu and M. Ohmine: "Development of a multipass welding program for arc welding robots and its application to heavy electrical components", *Welding International*, Vol. 6, No.1, 1992, pp. 26-31.
4. D. C. Montgomery: "Design and Analysis of Experiments", *John Wiley & Sons*, 1991, pp. 270-309.
5. G. A. Carpenter and Stephen Grossberg: "ART2 : Self-Organization of Stable Category Recognition Codes for Analog Input Patterns", *Applied Optics*, Vol. 26, No. 23, 1987, pp.4919-4930.
6. J. A. Freeman and D. M. Skapura: "Neural Network: Algorithm. Applications and Programming Techniques", *Addison-Wesley Publishing Company Inc.*, 1991, pp.291-326.
7. Y. H. Pao: "Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks", *Addison-Wesley Publishing Company Inc.*, 1989, pp.171-183.

Table 1 Standardized variables of experimental variables for mainly covering overlap

	Experimental variables (factor)	LEVEL	
		Low level (-)	High level (+)
80% Ar + 20% CO ₂ ER70S 1.2mm dia.	Welding speed $V_w (A)$, [mm/sec]	3	5
	Welding current $I (B)$, [A]	310	350
	Offset distance $O_D (C)$, [mm]	-1.5	+1.5
	Weave length $W_L (D)$, [mm]	3	5

Fixed welding conditions :

Arc voltage = 32[V]

Weaving time = 0.4 [sec]

Dwell time = 0.15 [sec]

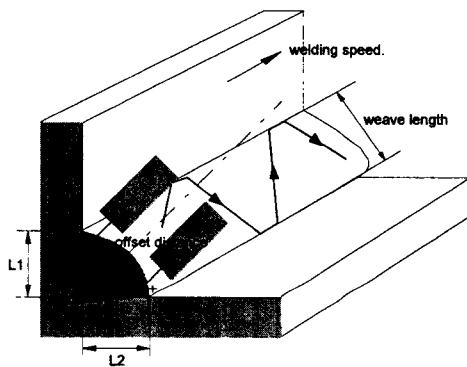


Figure 1 Definition of individual factors and experimental results

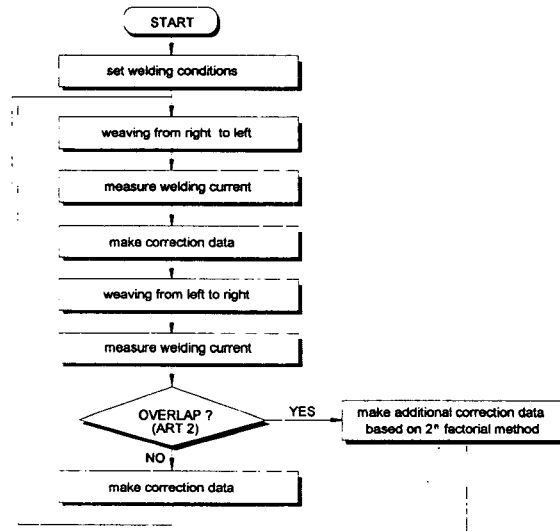


Figure 2 Flow chart for seam tracking by considering overlap

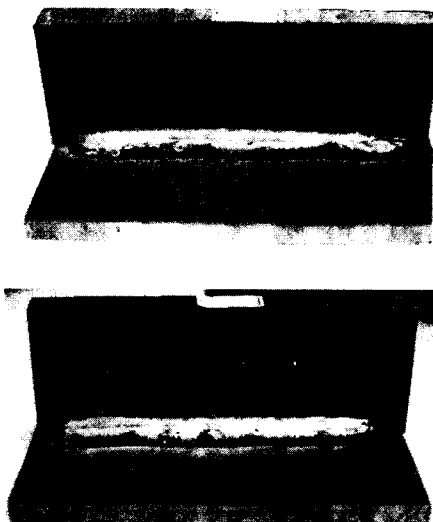


Figure 3 Result of seam tracking without considering overlap
(welding speed = 4 [mm/sec], welding current = 320 [A], weave length = 3 [mm], arc voltage = 32 [V], weaving time = 0.4 [sec], dwell time = 0.15 [sec], offset angle = 5°)

Figure 4 Result of seam tracking by considering overlap
(welding speed = 4 [mm/sec], welding current = 320 [A], weave length = 3 [mm], arc voltage = 32 [V], weaving time = 0.4 [sec], dwell time = 0.15 [sec], offset angle = 5°)