

가중용접전류를 이용한 FCAW 필릿용접용 아크센싱 알고리즘 연구

Study on the Effective Arc Sensing Algorithm by Use of the Weighted-Arc-Current in Flux-Cored Arc Welding for Fillet Joints.

권 순 창* · 한 용 섭* · 최 재 성**

* 대우중공업(주) 선박해양기술연구소(경남 거제시 아주동)

** 고등기술연구원 (경기도 용인시 백암면 고안리)

1. 서론

산업현장에서의 용접대상물은 여러 가지 요인(열변형, 가공 및 조립 오차)에 의하여 형상오차가 발생하는데, 이러한 형상오차에도 불구하고 로봇과 같은 자동용접에서 용접토치가 실제의 용접선을 잘 따라가도록 하는 것은 매우 중요하다. 이러한 목적을 위하여 아크센서가 주로 많이 이용되고 있는데, 현재까지 실용화 되고있는 아크센서 알고리즘은 위빙구간 에서의 평균용접전류 및 위빙 좌우측의 용접전류차를 그대로 이용하는 것이었다. 그러나, 보호개스로 CO₂만을 이용하는 FCAW 용접에서는 여러 가지 요인으로 위빙 도중에 많은 노이즈가 산업현장에서 발생하며, 이 노이즈는 용접전류의 변화를 이용하는 아크센서의 추종성능을 저하시키는 주된 요인이 된다.

이러한 노이즈를 분석하기 위하여 세가지 서로 다른 가중치에 대하여 용접전류 및 위빙 좌우의 전류차를 계산한 후, 이들에 대하여 신호잡음비(S/N비) 개념을 도입하여 비교검토하였으며, 용접선 추적 실험도 병행하였다. 여기서는 S/N비가 높을수록 추종성이 좋을 것으로 가정하고 실험을 통하여 확인하고자 하였다. 실험은 수평 및 수직 필릿에 대하여 하였다.

2. 가중치, 용접전류, 좌우전류차

용접선추적에 이용되는 용접전류 및 좌우전류차를 계산함에 있어서, 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 3가지 모양의 가중치(ϕ_{end} , ϕ_{even} , ϕ_{center})에 대하여 비교하였다. 즉 (a)는 위빙 중심부로부터 끝단부로 갈수록 더 많은 가중치를 준 것이며, (b)는 위빙 전구간에 걸쳐 동일한 가중치를 준 것이고(기존 방법), (c)는 위빙 중심부에 가중치를 많이 준 것이다. 각 가중치는 Table1.과 같이 정의되며, 이들 가중치를 이용하여 용접전류(I_d) 및 좌우전류차(I_w)의 계산을 식(1)과 같이 하였다. 여기서는 (a)의 가중치를 이용하는 것을 가중용접전류라 칭하였다.

$$\begin{cases} I_d = \frac{\sum_{i=1}^n I_f(i) \text{abs}(\phi(i))}{n} \cdot C_f \\ I_w = \frac{\sum_{i=1}^n I_f(i) \phi(i)}{n} \cdot C_f \end{cases} \quad (1)$$

여기서, I_f 는 측정된 용접전류, n 은 위빙당 용접전류 데이터의 개수, C_f 는 보정계수이다.

3. 신호잡음비(S/N비) 실험 및 용접선추적 실험

실험은 CO₂ 개스 100%, 직경 1.4mm flux-cored wire를 사용하였다.

(1) S/N비 실험

S/N비 실험은 실험의 신뢰도를 높이기 위하여 갭(수평부재와 수직부재 사이에 존재하는 공간)의 크기별(0, 1, 2, 3, 4mm)로 실험하였으며, 이때 받은 데이터로 S/N비를 계산하는데, 가중치별로 좌우전류차 및 용접전류에 대하여 식(2)과 같이 계산하였다. 식(2)에서 I 는 용접전류(I_d) 또는 좌우전류차(I_w)에 해당하며, n 은 위빙횟수로 약 20회이고, I_f 는 필터링된 전류값이다. S/N비는 1회 용접당 1번 계산하였으며, 이러한 방법으로 총 용접횟수에 대하여 계산한 수평 및 수직용접의 좌우전류차의

$$\begin{aligned}
 \text{S/N 비} &= -10\text{Log}\left(\frac{V}{M}\right)^2 \\
 \left\{ \begin{aligned}
 V &= \frac{\sum_{i=1}^m (I(i) - M)^2}{m} \\
 M &= \frac{\sum_{i=1}^m I(i)}{m}
 \end{aligned} \right. \quad (2)
 \end{aligned}$$

S/N비 및 용접전류의 S/N비를 Table2와 Table3에 각각 나타냈으며, 나타난 수치는 평균값(수평: 12회, 수직: 15회)이다.

(2)용접선 추적실험

용접선 추적실험은 가중치별(ϕ_{end} , ϕ_{even} , ϕ_{center})로 수행하였다. 수평용접은 Y축으로부터 +X방향으로 5도의 offset(벗어남)을 로봇에 교시한 후 이를 추종케 하였으며, 수직용접은 Z축으로부터 +Y방향으로 5도 벗어나도록 교시하여 이를 추종케 하였다(좌표는 Fig.2 참조). 용접진행 방향은 수평은 +Y방향, 수직은 +Z방향이며 용접거리는 약 20cm로 하였다.

보정방법은, 먼저 위빙시작 직후 수회의 위빙구간에서 용접전류(I_d), 좌우전류차(I_w)를 계산하여 미리 정의된 관계식을 이용하여 텡-모재거리(L), 위빙편차(W)를 구하고, 이들 평균값을 각각의 기준값으로 설정해둔다. 그 후에는 매 위빙마다 I_d , I_w 를 계산하고, 이로부터 L, W를 구하여 이를 미리 구해 둔 각각의 기준값과 비교하여 그 차이만큼을 보정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

Table2의 수평용접결과에서 보는 바와 같이 전류차(current difference)에 대하여는 ϕ_{end} 의 S/N비가 가장높게 나타났으며, 용접전류(weld current)의 S/N비는 ϕ_{even} 의 S/N비가 가장 높게 나타났음을 알 수 있다. 마찬가지로 수직용접을 한 Table3의 결과도 동일한 양상을 볼 수 있다.

가중치별 용접선추적 결과를 Fig.3(수평), Fig.4(수직)에 도식적으로 나타내었다. 위빙방향으로는 위빙 끝단부에 가중치를 많이 준 가중용접전류를 이용한 센서 ϕ_{end} 가 수평, 수직에서 각각 $\pm 1.0\text{mm}$, $\pm 0.8\text{mm}$ 의 오차 내에서 추종함을 보여주고 있으며, 두께방향으로는 가중치를 균등하게 준 ϕ_{even} 이 수평, 수직에서 각각 $\pm 1.0\text{mm}$, $\pm 0.7\text{mm}$ 로 가장 우수함을 알 수 있다. 이는 앞에서 예측한 것과 일치하는데, 즉 Table2, Table3의 ϕ_{end} , ϕ_{even} 의 S/N비가 가장 높음과 일치한다. 특히, 위빙방향으로 WAC이 우수한 것은 갭, 슬래그, 이물질 등에 의한 위빙 중심부의 noise를 최소화했기 때문으로 판단된다.

또한, 수직에서의 추종성이 위빙방향, 두께방향에서 각각 $\pm 0.8\text{mm}$, $\pm 0.7\text{mm}$ 로 수평에서의 추종성(폭,두께방향 모두 $\pm 1.0\text{mm}$ 이내)보다 양호함을 알 수 있다. 이는 용접시의 용융액이 중력방향으로 편중하는 현상 때문으로 추측되는데, 즉 수직에서는 용융액이 위빙 좌우측 모두 -Z방향으로 동일하게 편중되므로 이로 인한 영향이 적으나, 수평에서는 용융액이 위빙 우측(Right)으로 편중하기 때문으로 판단된다. 이는 또한 Table2, Table3에서 보여 주었듯이 수직 S/N비가 수평 S/N비보다 큰 것과 일치하며, S/N비가 클 수록 추종성이 뛰어난을 입증하고 있다.

4. 결 론

1. 좌우전류차의 S/N비는 위빙끝단부에 가중치를 많이 준 ϕ_{end} 의 S/N비가 가장 높았으며, 갭의 증가에도 다른 가중치에 비하여 감소폭이 가장 작게 나타났다. 그러나, 용접전류의 S/N비는 위빙 전 구간에서 걸쳐 균등한 가중치(ϕ_{even})를 주었을 때 가장 높았으며, 갭의 증가에도 S/N비의 감소폭은 좌우전류차에 비하여 상대적으로 작았다.

2. 수평용접 보다 수직용접에서의 S/N비가 상대적으로 높게 나타났으며, 용접선추적 실험에서도

수평용접(폭, 두께방향 모두 $\pm 1.0\text{mm}$ 이내)보다 수직용접(위빙방향: $\pm 0.8\text{mm}$, 두께방향: $\pm 0.7\text{mm}$ 이내)에서 추종성이 더 정확함을 확인할 수 있었다.

5. 참고문헌

- 1) 권순창, 최재성, 장낙영: "FCAW 수평 필릿용접용 용접선 추적을 위한 아크센싱 알고리즘 개발", 대한용접학회지 제15권 1호(1997. 2월), pp.66-80.
- 2) J. W. Kim, S. J. Na, "A Study on Prediction of Welding Current in Gas Metal Arc Welding", Proc. of Inst'n Mech Engineers, Vol 205, pp.59-69.

Table1. Definition of Weight Factors

Weight factor		Φ_{end}	Φ_{even}	Φ_{center}
Number of data(n)				
Even	$i = 1, \dots, \frac{n}{2}$	(Sign) $\frac{\frac{n}{2} - i + 1}{\frac{n}{2}}$	(Sign) 1	(Sign) $\frac{i}{\frac{n}{2}}$
	$i = \frac{n}{2} + 1, \dots, n$	(Sign) $\frac{i - \frac{n}{2}}{\frac{n}{2}}$	(Sign) 1	(Sign) $\frac{n - i + 1}{\frac{n}{2}}$
Odd	$i = 1, \dots, \frac{n-1}{2}$	(Sign) $\frac{\frac{n-1}{2} - i + 1}{\frac{n-1}{2}}$	(Sign) 1	(Sign) $\frac{i}{\frac{n-1}{2}}$
	$i = \frac{n+1}{2}, \dots, n$	(Sign) $\frac{i - \frac{n+1}{2}}{\frac{n-1}{2}}$	(Sign) 1	(Sign) $\frac{n - i + 1}{\frac{n-1}{2}}$

Table2. S/N Ratio of horizontal welding

Gap (mm)		0	1	2	3
Weight factor					
Current difference	Φ_{end}	-54.9	-58.2	-60.9	-62.5
	Φ_{even}	-57.5	-66.3	-67.0	-69.9
	Φ_{center}	-67.5	-71.3	-78.8	-89.9
Weld current	Φ_{end}	37.0	36.5	33.3	26.8
	Φ_{even}	44.6	41.2	38.7	33.4
	Φ_{center}	43.4	39.8	38.5	32.8

Table3. S/N Ratio of vertical welding

Gap (mm)		0	1	2	3	4
Weight factor						
Current Difference	Φ_{end}	-47.9	-53.5	-53.6	-54.2	-58.1
	Φ_{even}	-46.5	-55.7	-57.6	-58.0	-64.6
	Φ_{center}	-49.6	-66.0	-66.5	-69.3	-81.2
Weld Current	Φ_{end}	72.3	68.1	66.0	52.0	53.0
	Φ_{even}	73.4	73.2	68.8	58.4	55.0
	Φ_{center}	71.3	71.2	64.3	60.3	48.9

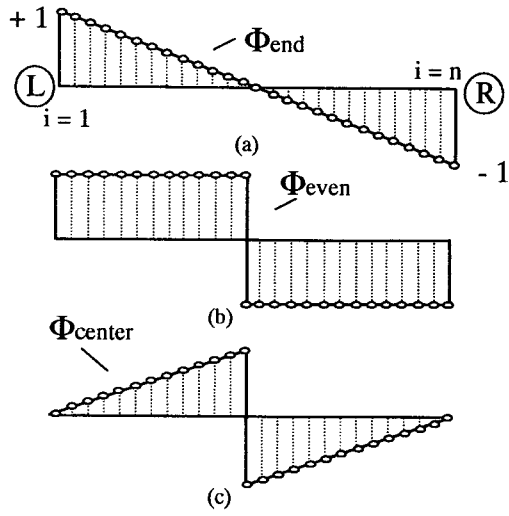
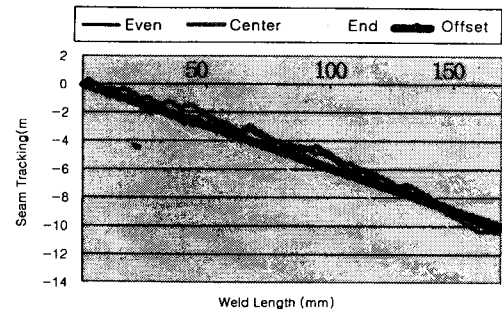
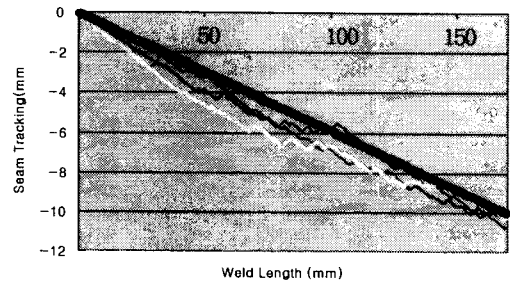


Fig.1 Definition of weight factors



(a) Weaving direction



(b) Thickness direction

Fig.3 Seam tracking of horizontal welding

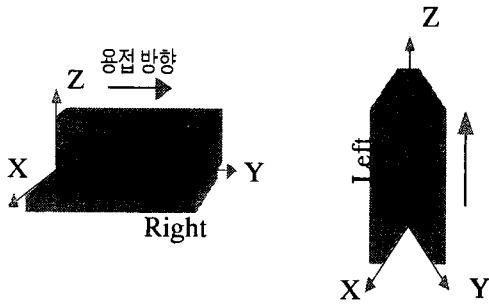
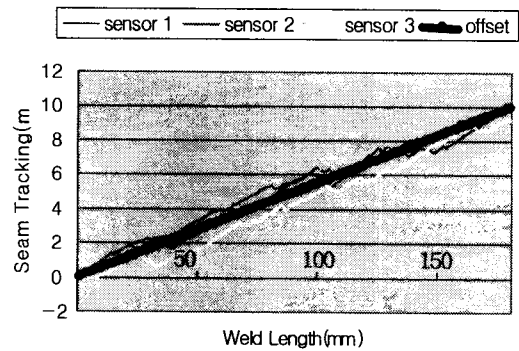
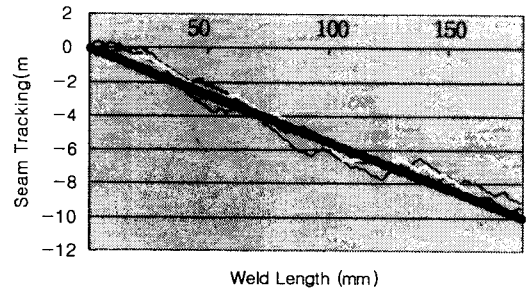


Fig.2 Definition of coordinates



(a) Weaving direction



(b) Thickness direction

Fig.4 Seam tracking of vertical welding