

가중용접전류를 이용한 FCAW 필릿용접용 아크센싱 알고리즘 연구

권순창* · 최재성**

*아주대학교 대학원 시스템공학과, 대우중공업(주) 선박해양기술연구소

**아주대학교 대학원 시스템공학과, 고등기술연구원 생산기술연구소

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

Soon-chang Kwon* and Jae-sung Choi**

*Dept. of Systems Engineering, Graduate School, Ajou University, Suwoon 442-749, Korea
Ship & Ocean Research Institute, Daewoo Heavy Industries, Ltd., Geoje 656-714, Korea

**Dept. of Systems Engineering, Graduate School, Ajou University, Suwoon 442-749, Korea
Production Technology Division, Institute of Advanced Engineering, Yongin 449-860, Korea

Abstract

It was attempted to improve seam-tracking performance by applying a new arc-sensing algorithm for FCAW(flux-cored arc welding) process in fillet joints. For this study the authors have introduced three different weight factors: ① arc currents at the weaving end are more weighted, ② arc currents are evenly weighted along the weaving, and ③ arc currents at the weaving center are more weighted.

To evaluate the 3 factors the values of signal-to-noise(S/N) ratio has been measured. The values were obtained for various welding conditions with different gaps in horizontal and vertical fillet joints. The test results showed that the S/N ratio of the 1st case was highest which resulted in the best of seam tracking performance. In addition, the comparison between the seam tracking performance in horizontal fillet joints and that in vertical ones has been done, and the result showed that tracking performance in vertical joints was relatively better than that in horizontal joints.

(Received September 17, 1999)

Key Words : Arc sensor, Arc current, Current difference, Weighted-arc-current, Weight factor, Signal-to-noise ratio, Weaving, Seam tracking

1. 서 론

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, 현재까지의 아크센서 알고리즘은, 위빙구간에서 측정된 용접전류를 커브피팅(curve fitting)하는 방법¹⁻⁴⁾과 위빙 끝단부에서 측정된 용접전류만을 이용하는 방법⁵⁾ 등이 주로 연구되어 왔다. 그러나, 필릿 조인트(joint)에는 중앙부에 갭(gap)이 존재하는 경우가 많은데, 이러한 갭은

용접시에 아크의 불안정을 초래하고 결국은 아크센서의 추종성을 저하시키는 요인으로 작용하게 된다. 특히 이런 현상은 보호개스로 CO₂만을 이용하는 FCAW 용접에서는 더욱 더 심하게 나타나게 됨을 산업현장에서 볼 수 있다.

이러한 갭에 의한 노이즈에 대응하기 위하여 필자는 지난번 논문⁶⁾에서 "WAC 알고리즘"의 우수성을 발표한 바 있는데, 즉 위빙 좌우측의 용접전류차를 계산함에 있어서 위빙 끝단부에 가까울수록 더 많은 가중치를 주는 방법(이를 '가중용접전류(Weight arc current)'라 칭하였음)으로 용접선추적을 실험한 결과, 위빙 구간간에 걸쳐 균등한 가중치를 준 기존의 방법보다 용접선추적이 우수함을 확인하였으나 그 원인에 대한 규명은 불충분하였다. 따라서, 본 연구에서는 그 원인을 규

명하고자 하였다.

이를 규명하기 위하여 본 연구에서는 세가지 서로 다른 가중치(3장에 상술됨)에 대하여 신호-잡음비(S/N 비) 개념을 도입하여 비교하였으며, 로봇을 실험장치로 활용하여 용접선추적 실험을 수행하였다. 또한, 알고리즘에 범용성을 갖게하기 위하여 수평 및 수직 필릿용접을 대상으로 실험하였다.

2. 아크센서의 원리

Fig. 1의 와이어(wire)에 양극(+)을 가하고 모재(workpiece)에 음극(-)을 가하여 FCAW 용접을 하면, 아크가 발생하고 이때 발생하는 주울열에 의하여 와이어가 용융된다. 이때 토치 끝단부(팁)와 모재사이(이하 ‘팁-모재거리(L)’라 칭함.)에는 전압강하가 일어나는데, 와이어 돌출길이(Le)에 의한 전압강하와 아크길이(La)에 의한 전압강하가 일어난다. 이들 중 아크길이는 팁-모재거리(L)가 변하더라도 거의 일정하게 유지되므로 이로 인한 저항의 변화는 작으나 와이어 돌출길이의 변화에 따른 저항의 변화는 상대적으로 크다고 입증되었다⁷⁾. 이는 팁-모재거리가 길면 저항이 커지고 짧으면 저항이 작아짐을 뜻하는데, 저항은 전류와 반비례하므로 결과적으로 팁-모재거리가 길면 전류는 작아지고 짧으면 전류가 커짐을 뜻한다⁸⁾. 이러한 관계를 Fig. 2에 나타내었는데, 팁-모재거리는

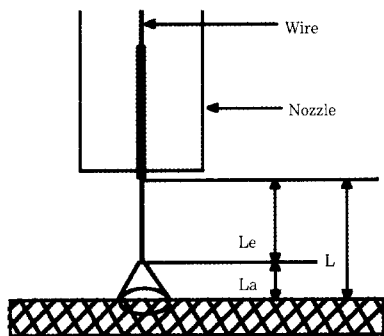


Fig. 1 Configuration of welding geometry

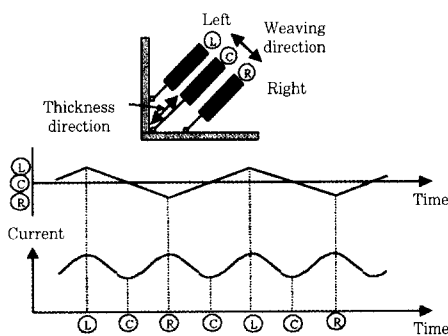


Fig. 2 Weaving & weld current

위빙중심(Ⓒ)에서 가장 길고 끝단(Ⓓ, Ⓔ)에서 가장 짧으며, 용접전류는 위빙중심에서 가장 낮고 위빙의 양쪽 끝에서 가장 높음을 보여주고 있다.

아크센서는 이러한 현상을 이용하는 것으로, 용접 비드의 두께방향(이하 ‘두께방향’이라 칭함)의 보정에는 용접전류의 크기를 이용하며, 위빙 폭방향(이하 ‘위빙방향’이라 칭함)의 보정에는 위빙 좌우측의 용접전류차(이하 ‘좌우전류차(Current difference)’라 칭함.)를 주로 이용하고 있다.(방향은 Fig. 2 참조)

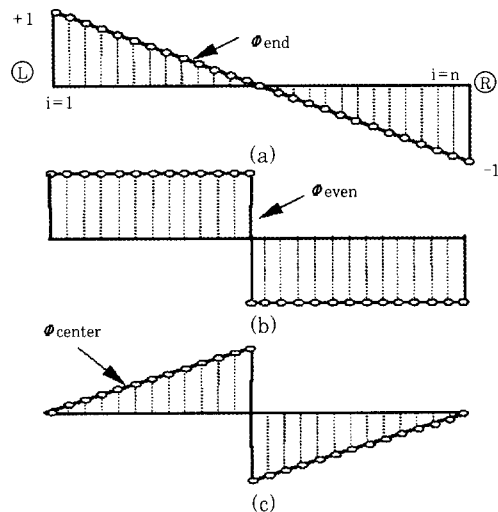
3. 가중치, 용접전류, 좌우전류차

용접선추적에 이용되는 용접전류 및 좌우전류차를 계산함에 있어서, 본 연구에서는 Fig. 3과 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(기존방법), (c)는 위빙 중심부에 가중치를 많이 준 것이다. 각 가중치는 Table 1과 같이 정의되며, 이들 가중치를 이용하여 용접전류(I_d) 및 좌우전류차(I_w)의 계산을 식(1)과 같이 하였다.

$$I_d = \frac{\sum_{i=1}^n I_r(i) \text{abs}(\phi(i))}{n} \cdot C_r$$

$$I_w = \frac{\sum_{i=1}^n I_r(i) \phi(i)}{n} \cdot C_r$$
(1)

여기서, I_r 는 측정된 용접전류, n 은 위빙당 용접전류 데이터의 갯수, C_r 는 보정계수(5.2절에서 설명됨)이다.



Ⓓ - Ⓔ: Half cycle of weaving

Fig. 3 Configuration of weight factors

Table 1 Definitions of weight factors

Weight factors		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) $\frac{n-i+1}{\frac{n-1}{2}}$

(주) Fig. 2의 위빙 우측(Right)에서는 sign = -1, 좌측(Left)에서는 sign = +1임.

4. 실험장치

본 실험을 위하여 자체 제작한 6축 수직 다관절 로봇을 이용하여 실험장치를 구성하였으며, Fig. 4는 그 블록다이어그램을 나타내고 있다.

용접기(500A, 인버터)의 선트저항으로부터 용접전류의 세기에 해당하는 전압을 추출하여 50배 증폭하여 저역필터로 노이즈를 없앤 후, A/D 변환기를 통하여 디지털값으로 변환한 후, 디지털 필터링하여 전압값을 산출한다. 미리 캘리브레이션해 둔 전압과 용접전류와의 관계를 이용하여 용접전류로 환산된다.

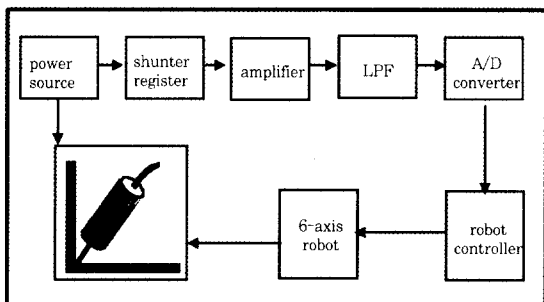


Fig. 4 Schematic diagram of the experiment

5. 신호잡음비(S/N비) 계산

5.1 용접실험 및 Data Acquisition

용접은 Fig. 5의 수평 및 수직필릿에 대하여 용접길이 60mm로 수행했으며, 용접조건은 Table 2와 같이 다양한 조건들에 대하여 Table 3과 같이 랜덤하게 선정하였다. 용접횟수는 Table 3에 있는 값당 3회이다. 즉, 수평 12회, 수직 15회이다. 위빙횟수는 1회 용접당 20회이다.

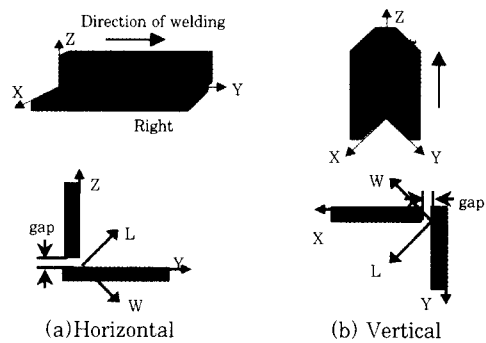


Fig. 5 Examples of fillet joints

데이터는 매 위빙 마다 초당 500개로 추출하였으며, 1차 무한 디지털 필터링을 식(2)와 같이 하였다. (dwell time에서는 데이터를 받지 않고, 위빙동안 받은 데이터만을 이용함)

$$I_f(n) = a I(n) + b I_f(n-1) \tag{2}$$

여기서, $I(n)$ 은 필터기로 입력되는 용접전류, $I_f(n-1)$ 은 필터링된 값이며, $I_f(n)$ 은 필터링하여 얻은 새로운 값이다. a와 b는 상수인데 각각 0.4, 0.6으로 선정하였다.

5.2 S/N비 계산

5.2.1 가중치의 일반화(Normalization of weight factor)

Fig. 3의 (b)는 가중치(ϕ_{even}) 평균값이 1이지만 ϕ_{end} , ϕ_{center} 는 가중치 평균값이 데이터의 갯수에 따라서 달라지므로 평균값을 1로 맞추어 주어야 한다. (a), (c)의 가중치 평균값은 식(3)과 같이 계산되므로 식(1)에 평균값의 역수(C)를 곱해주어야 한다.

Table 2 Various conditions of welding experiments

Parameter Condition number	Weld voltage (V)	Wire feedrate (Ampere)	Weaving width (mm)	Weaving pitch (mm)	Weaving speed (mm/sec)	Dwell time		Tip-to-workpiece (mm)
						left(sec)	right(sec)	
①	27	250	6	3	50	0.0	0.0	20
②	28	260	7	3	65	0.0	0.0	20
③	27	250	6	3	50	0.1	0.0	20
④	27	250	6	3	50	0.2	0.0	20
⑤	26	250	7	3	40	0.2	0.2	20
⑥	24	220	7	3	40	0.3	0.3	20
⑦	23	220	7	3	40	0.2	0.2	20
⑧	24	240	7	3	55	0.2	0.2	20
⑨	26	250	8	3	40	0.3	0.3	20
⑩	26	250	7	3	40	0.3	0.3	20

Table 3 Selected conditions of horizontal and vertical fillet joints

Gaps(mm) Joints	0	1	2	3	4
Horizontal	①②②	①①②	②②③	②④④	none
Vertical	⑥⑥⑦	⑤⑤⑥	⑤⑦⑩	⑤⑨⑨	⑦⑦⑧

$$\text{가중치 평균값} = \frac{\frac{1}{n} + \frac{2}{n} + \dots + \frac{n}{n}}{n} = \frac{n(n+1)}{2n^2} \quad (3)$$

$$C_r = \frac{2n}{n+1}$$

5.2.2 S/N비 계산

S/N비는 가중치별로 좌우전류차 및 용접전류에 대하여 계산하는데 식(4)와 같이 계산한다. 식(4)에서 I는 식(1)의 I_w 또는 I_d 이고, m은 위빙 횟수이다. S/N비는 1회 용접당 1번 계산되는데, 매 위빙마다 좌우전류차, 용접전류를 식(1)로 계산하고, 이 값들을 식(4)에 대입하여 1회 용접의 S/N비를 계산한다. 이러한 방법으로 총 용접횟수에 대하여 계산한 좌우전류차의 S/N비 및 용접전류의 S/N비를 Table 4와 Table 5에 각각 나타냈으며, 나타난 수치는 평균값(수평: 12회 평균값, 수직: 15회 평균값)을 뜻한다.

Table 4 S/N ratio of current difference

Weight factors Joints	ϕ_{end}	ϕ_{even}	ϕ_{center}
Horizontal	-11.1	-16.1	-21.7
Vertical	-8.6	-12.3	-17.3

Table 5 S/N ratio of weld currents

Weight factors Joints	ϕ_{end}	ϕ_{even}	ϕ_{center}
Horizontal	67.8	75.1	72.1
Vertical	84.4	87.2	85.4

$$S/N\text{비} = -10\text{Log}\left(\frac{V}{M}\right)^2$$

$$\left\{ \begin{aligned} V &= \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m (I(i) - M)^2}}{m} \\ M &= \frac{\sum_{i=1}^m I(i)}{m} \end{aligned} \right. \quad (4)$$

5.3 S/N비 분석

표4는 좌우전류차의 S/N비를 나타내고 있는데, 수평, 수직 모두에서 위빙 끝단부에 가중치를 더 준 ϕ_{end} 의 S/N비(수평:-11.1, 수직:-8.6)가 제일 크고, 위빙 중앙부에 가중치를 많이 준 ϕ_{center} 의 S/N비(수평:-21.7, 수직:-17.3)가 가장 작음을 보여주고 있다. 이는 곧 위빙 중앙부에서 noise가 제일 많으며, 위빙 끝단부에서는 상대적으로 작음을 알 수 있다. 따라서, 위빙방향으로의 용접선추적은 끝단부에 가중치가 많은 ϕ_{end} 가 보다 더 정확함을 예측할 수 있다. 또한, 가중치에 관계없이 수직부의 S/N비가 수평부의 S/N비 보다 큰 것으로 보아 수직에서의 용접선 추적이 수평보다 더 정확하게 될 것임을 추측케 한다.

Table 5는 용접전류의 S/N비를 보여주고 있는데, ϕ_{even} 이 수평, 수직 모두에서 각각 75.1, 87.2로 가장 큼을 보여주고 있다. 이는 위빙 전구간에 걸쳐 가중치를 균등히 준 ϕ_{even} 을 이용하는 것이 두께방향으로의 용접선추적이 더 잘 됨을 추측케 한다.

Table 6, 7은 각각 수평, 수직에서 갭(Fig. 5 참조)의 변화에 따른 S/N비를 보여주고 있는데, 모든 가중치에서 갭이 클수록 S/N비는 감소함을 알 수 있다. 이는 갭이 클수록 노이즈가 많이 발생하고 있음을 뜻하는데, 갭이 클수록 용접선추적이 부정확함을 예측케 한다. 특히 좌우전류차의 S/N비는 수평, 수직 모두에서 가중치 ϕ_{end} 의 S/N비가 갭증가에 따라 가장 작게 감소함을 알 수 있다(즉 수평에서 갭 0mm: -9.5, 갭 3mm: -13.9, 차이=-4.4). 이는 가중치 ϕ_{end} 가 다른 가중치 보다 갭에서의 용접선추적이 상대적으로 우수함을 예측케 한다. 또한 수직에서도 같은 현상이다. 그러나, 용접전류의 S/N비는 수평, 수직 모든 가중치에서 갭에 따른 변화가 비슷하게 나타났다.

Table 6 S/N ratio of horizontal joints

Gaps(mm)		0	1	2	3
Weight factors					
Current Difference	ϕ_{end}	-9.5	-10.1	-11.0	-13.9
	ϕ_{even}	-11.6	-15.1	-17.6	-20.1
	ϕ_{center}	-15.4	-18.9	-23.1	-29.2
Weld current	ϕ_{end}	73.7	71.2	66.0	60.1
	ϕ_{even}	80.3	78.0	73.8	68.1
	ϕ_{center}	78.2	75.1	69.8	65.2

Table 7 S/N ratio of vertical joints

Gaps(mm)		0	1	2	3	4
Weight factors						
Current Difference	ϕ_{end}	-6.3	-7.8	-8.8	-9.9	-10.4
	ϕ_{even}	-6.0	-10.5	-12.3	-14.9	-17.6
	ϕ_{center}	-6.9	-15.3	-16.9	-21.4	-25.9
Weld Current	ϕ_{end}	90.0	87.2	84.1	82.2	78.4
	ϕ_{even}	91.3	90.3	88.2	84.1	82.3
	ϕ_{center}	89.2	88.4	85.3	83.0	81.2

따라서, 위빙방향의 오차보상을 위한 좌우전류차의 가중치는 ϕ_{end} 를 선택하며, 두께방향의 오차보정을 위한 용접전류의 가중치는 ϕ_{even} 을 선택하는 것이 용접선추종성을 가장 높일 수 있는 방법이라 생각된다. 필자는 ϕ_{end} 를 이용한 좌우전류차를 “가중용접전류(Weighted-arc-current)”라 부르며, 이를 이용한 알고리즘을 “WAC 알고리즘”이라고 칭하였다.

6. 용접선 추적실험

6.1 용접인자와 특성치와의 관계

용접선추적 실험을 위하여는 먼저 용접인자들과 특성치(용접전류, 좌우전류차)와의 관계를 구하여야 하는데, 여기서는 특성치에 관계되는 인자로는 팁-모재거리(L), 위빙편차(W), 용접전압(V), 와이어 송급속도(F), 위빙폭(H), 위빙속도(S), 위빙피치(P) 등 7개를 이용하였으며, Fig. 6, Fig. 7에 이들을 나타내

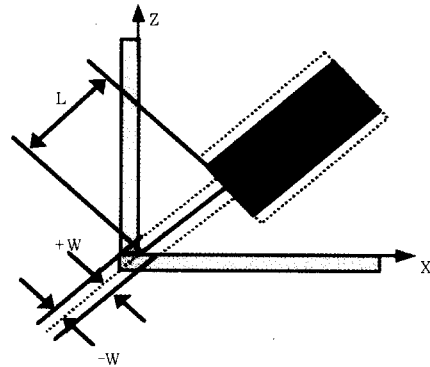


Fig. 6 Offset of weaving & tip-to-workpiece distance

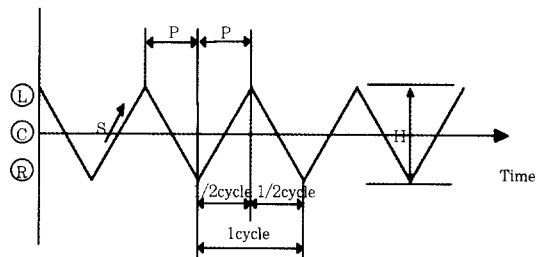


Fig. 7 Definition of weaving parameters

었다. 이들 인자들을 Table 8과 같이 인자별로 2수준(최대, 최소 조건)에 대하여 직교배열방식의 실험계획법¹⁰⁾으로 총48회 실험을 하여, 매회당 특성치를 계산하였다. 이들 인자중 각 특성치에 영향을 많이 주는 인자들을 선정할 수가 있는데, 용접전류에 영향을 많이 주는 인자는 와이어 송급속도, 용접전압, 팁-모재거리, 용접전압과 와이어 송급속도의 교호작용 등이었으며, 좌우전류차에 영향을 주는 인자는 위빙편차, 위빙속도, 위빙편차와 위빙폭의 교호작용, 와이어 송급속도와 위빙속도의 교호작용 등으로 판명된 바 있으며, 또한 이들 인자들과 각 특성치와의 관계는 식(5)와 같이 표현된 바 있으며, 식(5)에 본 실험에서 얻은 특성치값(I_a, I_w) 및 인자값을 대입하여 풀면 미지의 계수값(k, k')을 찾을 수 있고, 찾은 계수값을 Table 9에

Table 8 Data levels of weld parameters

Weld parameters Levels	V	F	L	W	H	S	P
	Weld Voltage (Volt)	Wire feedrate (Ampere)	Tip-to-workpiece (mm)	Weaving offset (mm)	Weaving width (mm)	Weaving speed (mm/sec)	Weaving pitch (mm)
Min.	23	220	20	-1.5	4	40	2.0
Max	28	260	24	1.5	6	60	3.0

Table 9 Calculated coefficients of weld parameters

Coef.	Weld current			Coef.	Current difference		
	Calculated values				Calculated values		
	ϕ_{end}	ϕ_{even}	ϕ_{center}		ϕ_{end}	ϕ_{even}	ϕ_{center}
k_0	222.36	221.85	221.31	k_0'	34.85	17.122	-0.609
k_1	-1.885	-1.910	-1.393	k_1'	-0.243	-0.211	-0.178
k_2	0.5558	0.5626	0.5696	k_2'	-0.200	-0.122	-0.044
k_3	-4.280	-4.247	-4.215	k_3'	0.535	0.391	0.246
k_4	-0.142	-0.145	-0.149	k_4'	-0.175	0.198	0.570
k_5	-6.618	-7.091	-7.564	k_5'	-0.972	-0.570	-0.167
k_6	0.0112	0.0112	0.0113	k_6'	-0.327	-0.418	-0.509
				k_7'	0.0238	0.0292	0.0346
				k_8'	-0.188	-0.166	-0.144
				k_9'	0.0040	0.0026	0.0012

가중치별로 나타내었다.(자세한 과정은 참고문헌 1 참조.)

$$\begin{cases} I_d = \alpha_1 + \beta_1 L \\ I_w = \alpha_2 + \beta_2 W \end{cases} \quad (5)$$

여기서,

$$\begin{cases} I_d: \text{용접전류}, I_w: \text{좌우전류차} \\ \alpha_1 = K_0 + k_1 V + k_2 F + k_3 S + k_4 P + k_5 V F \\ \beta_1 = k_3 \\ \alpha_2 = k_0' + k_1' V + k_2' F + k_3' L + k_4' S + k_5' F S \\ \beta_2 = k_4' + k_6' H + k_7' S + k_8' P \end{cases}$$

6.2 용접선 추적실험

용접선 추적실험은 먼저 가중치별(ϕ_{end} , ϕ_{even} , ϕ_{center})을 각각 센서 1, 2, 3으로 명명함)로 수행하였다. 수평용접은 Y축으로부터 +X방향으로 5도의 offset(벗어남)을 로봇에 교시하였으며, 수직용접은 Z축으로부터 +Y방향으로 5도 벗어나도록 교시하여 이를 추종케 하였다(좌표는 Fig. 5 참조). 용접진행 방향은 수

평은 +Y방향, 수직은 +Z방향이며, 용접거리는 약 20cm이다. 실험조건은 Table 10과 같다.

보정방법은, 먼저 위빙시작 직후 수회의 위빙구간에서 용접전류(I_d), 좌우전류차(I_w)를 계산하여 식(5)에 대입하여 팁-모재거리(L), 위빙편차(W)를 구하고, 이들 평균값을 각각의 기준값으로 설정해둔다. 그 후에는 매 위빙마다 I_d , I_w 를 계산하고, 보정에는 직전의 2회 위빙의 평균값을 식(5)에 대입하면 L, W를 구할 수 있고, 이를 미리 구해 둔 각각의 기준값과 비교하여 그 차이만큼을 보정하였다.

Table 10 Experimental conditions of seam-tracking

Weld joints Conditions	Horizontal fillets	Vertical fillets
Gaps(mm)	2	3
Voltage/Current	26V/250A	
Weaving Width/Pitch(mm)	5/3	7/3
Weaving speed(mm/sec)	55	40
Dwell time(sec)	0.0	0.2
Tip-to-workpiece	20mm	
Shielding gas	CO ₂ , 100%	
Wire	flux-cored, 1.4 ϕ	
Sampling rate	500 samples/sec	

6.3 실험결과 및 고찰

가중치별 용접선추적 결과를 Fig. 8(수평), Fig. 9(수직)에 도식적으로 나타냈으며, 추종 정확도를 Table 11에 요약하여 나타내었다. 위빙방향으로는 위빙 끝단부에 가중치를 많이 준 가중용접전류를 이용한 센서 1(ϕ_{end})이 수평, 수직에서 각각 ± 1.0 mm, ± 0.8 mm의 오차 내에서 추종함을 보여주고 있으며, 두께방향으로는 가중치를 균등하게 준 센서 2(ϕ_{even})가 수평, 수직에서 각각 ± 1.0 mm, ± 0.7 mm로 가장 우수함을 알 수 있다. 이는 5.3절에서 예측한 것과 일치하는데, 즉 Table 4의 ϕ_{end} , Table 5의 ϕ_{even} 의 S/N

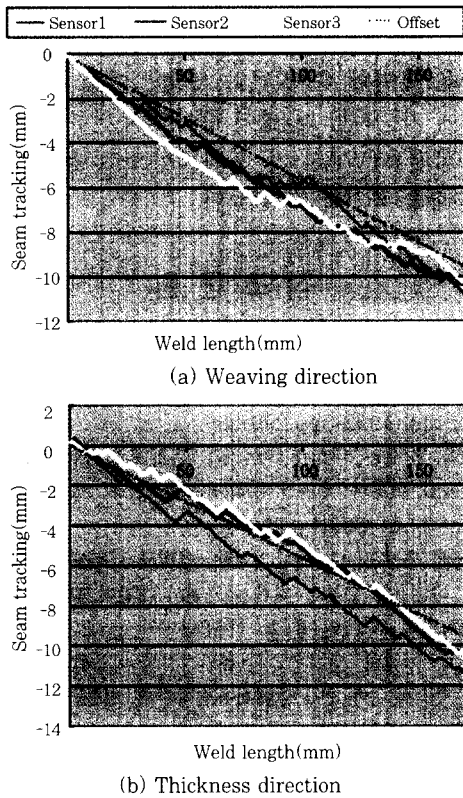


Fig. 8 Results of seam-tracking for horizontal welding

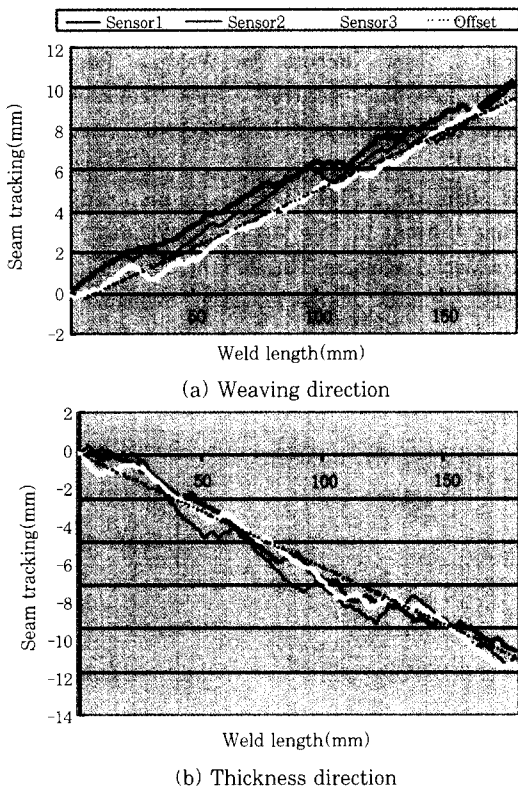


Fig. 9 Results of seam-tracking for vertical welding

비가 가장 높음과 일치한다. 특히, 위빙방향으로 WAC이 우수한 것은 갭에 의한 위빙 중심부의 noise를 최소화했기 때문으로 추측된다.

또한, Table 11에서 알 수 있듯이 수직에서의 추종성이 위빙방향, 두께방향에서 각각 $\pm 0.8\text{mm}$, $\pm 0.7\text{mm}$ 로 수평에서의 추종성(위빙, 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.(Fig. 5 참조). 이는 또한 Table 4, Table 5에서 보여 주었듯이 수직 S/N비가 수평 S/N비보다 큰 것과 일치하며, S/N비가 클 수록 추종성이 뛰어난 것을 입증하고 있다.

Table 11 Accuracy of seam tracking(mm)

Sensors	Sensors 1 (ϕ_{end})		Sensors 2 (ϕ_{even})		Sensors 3 (ϕ_{center})	
	Weaving direction	Thickness direction	Weaving direction	Thickness direction	Weaving direction	Thickness direction
Horizontal	± 1.0	± 1.5	± 1.5	± 1.0	± 2.1	± 1.2
Vertical	± 0.8	± 0.8	± 0.9	± 0.7	± 1.5	± 0.7

Fig. 10은 위빙방향에는 ϕ_{end} 를 이용한 가중용접전류, 두께방향에는 ϕ_{even} 을 이용한 용접전류로 용접선추적한 실험결과이다. (a)는 수평용접에서 위빙방향(W축), 두께방향(L축) 모두 $\pm 1.0\text{mm}$ 이내에서 추종함을 보여주고 있으며, (b)는 수직용접에서 모두 $\pm 0.8\text{mm}$ 이내에서 추종하고 있음을 보여주고 있다.

7. 결 론

본 연구에서는, 갭이 있는 용접대상물의 FCAW 용접에서 용접선추적을 함에 있어서 위빙구간 내의 토치 위치에 따라 노이즈의 변화가 있을 것으로 가정하고 3가지의 가중치로 좌우전류차 및 용접전류를 계산하고, 이들에 대하여 S/N비를 계산하여 비교함으로써 용접선추종성을 예측한 후, 각각의 가중치에 대하여 용접선추적 실험을 하였던 바, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 좌우전류차의 S/N비는 위빙끝단부에 가중치(ϕ_{end})를 많이 준 가중용접전류의 S/N비가 가장 높았으며, 갭의 증가에도 감소폭이 가장 작게 나타났다. 그러나, 용접전류의 S/N비는 위빙 전구간에 걸쳐 균등한 가중치(ϕ_{even})를 주었을 때 가장 높았으며, 갭의 증가에도

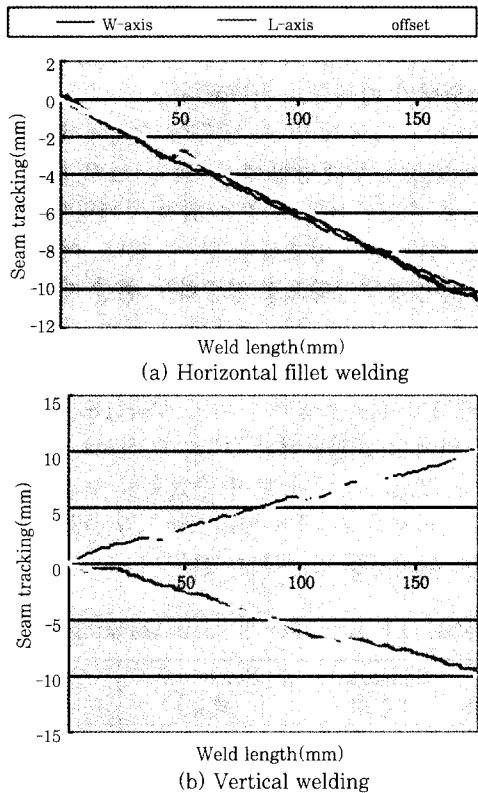


Fig. 10 Seam tracking results of WAC algorithm

S/N비의 감소폭은 모든 가중치에서 대동소이하였다. 2. 따라서, 용접선추적용으로 위빙방향 보정에는 ϕ_{end} , 두께방향 보정에는 ϕ_{even} 을 선정할 수 있었으며, 추종성 실험결과 수평, 수직에서 각각 $\pm 1.0\text{mm}$, $\pm 0.8\text{mm}$ 이내 (ϕ_{end}), $\pm 1.0\text{mm}$, $\pm 0.7\text{mm}$ 이내 (ϕ_{even})에서 추종함을 확인할 수 있었다.

3. 수평용접 보다 수직용접에서의 S/N비가 상대적으로 높게 나타났으며, 용접선추적 실험에서도 수평용접 (위빙, 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.

종합적으로 요약하면, 본 연구에서 사용한 S/N비는

갭에 의해 발생하는 노이즈의 척도로써 활용될 수 있으며, S/N비가 클수록 노이즈가 작고 용접선추적이 양호함을 확인할 수 있었다. 또한, 이를 통하여 위빙 끝단부에 가중치를 더 많이 주어 좌우전류차를 계산한 가중용접전류(WAC)가 위빙방향으로 용접선추적이 더 우수함을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

1. 김수영, 이승영, 나석주: "Flux-Cored Arc용접용 아크센서의 개발 및 이를 이용한 용접선 추적에 관한 연구", 대한용접학회지, 제10권 4호(1992), pp.290-298.
2. 허장욱, 김재용, 나석주, 이승영: "혼합가스 GMA용접에서 아크신호를 이용한 용접선 추적에 관한 연구", 대한용접학회지, 제8권 제1호(1990), pp.23-30.
3. 이승영, 문형순, 나석주, 장영주, 안병규: "소모성 전극을 사용하는 아크용접 로봇을 위한 아크센서 개발에 관한 연구", 대한용접학회지, 제11권 제3호, 1993년 9월, pp.22~33.
4. 김용재, 이세헌, 엄기원: "전류면적차를 이용한 아크센서의 용접선 추적에 관한 연구", 대한용접학회지, 제14권 6호, 1996년 12월, pp.131~139.
5. 배강열, 이지형, 정창욱: "용접로봇을 위한 아크센서 및 인터페이스 시스템 개발에 관한 연구", 대한용접학회지, 제16권 제3호, 1998년 6월, pp.129~140.
6. 권순창, 최재성, 장낙영: "FCAW 수평 필릿용접용 용접선 추적을 위한 아크센싱 알고리즘 개발", 대한용접학회지, 제15권 1호 (1997. 2월), pp.66-80.
7. George E. Cook: "Robotic Arc Welding: Research in Sensory Feedback Control", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. IE-30, No.3, Aug. 1983, pp.252-268
8. 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
9. David J. DeFatta, Joseph G. Lucas, William Hodgkiss: "Digital Signal Processing", John Wiley & Sons, Inc., 1988, pp.46-49.
10. 박성현, 「실험계획법」, 민영사, 1994, pp.463-478.