

# FCAW 용접용 용접선 추적 시스템 개발(아-크센서)

(Development of Seam-Tracking system for FCAW Arc Sensor)

권순창\*, 최재성\*, 장낙영\*

\* 고등기술연구원

**ABSTRACT** In this study, The mean weld current is used to correct depth direction, and weight-value, specially devised to check right-left deviation by placing more weight on the left- and right-most part of weld current during weaving, to correct weaving direction. The methodology of "design of experiments" was introduced to find out dominant weld parameters affecting these two values.

## 1. 서론

많은 경우에 있어서 용접구조물은 여러가지 외적인 요인으로 인하여 설계사양과 실제구조물의 용접선사이에는 약간의 차이(deviation)가 있으며, 이러한 현상은 주로 구조물의 열변형 및 용접작업이전까지의 구조물 제작과정에서 발생하는 조립오차등에 기인하고 있다. 이렇게 변형된 구조물을 로봇등 자동용접장치로 용접을 할때는 로봇트가 변형량을 알아야 하고, 이 차이만큼을 보상하여 용접을 수행해야 양질의 용접품질을 얻을 수 있다.

이를 위하여 현재까지 여러가지 용접선추적용 센서(아-크센서, vision센서, laser센서, 초음파센서 등)들이 연구되어 왔으며, 그중 일부는 현장에도 적용되고 있다. 이들 중 아-크센서를 제외한 기타 센서들은 용접토오치 주위에 추가적인 검출장치(sensing device)를 부착해야 하므로 fillet용접과 같이 공간이 제한된 곳에는 부적절 하다. 따라서, 본 연구에서는, 용접전류 자체를 이용하기 때문에 공간상의 제약이 적은 Arc센서 시스템을 개발하고자 하였으며, 특히 용접중 용접급속의 불안정한 이행이 심한 이유로 연구가 적었던 Flux-cored arc welding(FCAW)용접을 대상으로 하였다.

또한, 실험을 보다 효과적으로 수행하고 용접조건에 따른 용접변수들의 영향을 분석하기 위하여 "실험계획법"을 도입하여 실험에 적용시도 하였다.

## 2. 용접선추적 알고리즘

### 2.1 위-빙(weaving) 및 용접전류

용접진행중 토-치는 좌우방향으로 일정거리만큼 위-빙을 하게되는데, 이 때 용접전류는 토오치팁 - 모재사이의 거리에 따라 반비례 하여 변한다. 이는 용접중 용접전압을 일정하게 유지할 때, 용접전압(V) = 용접전류(i)\*저항(R)의 관계에 따라 팁-모재거리(L)가 길면 저항이 증가하고, 그와 반대로 전류(i)는 감소하기 때문이다. 따라서, 위-빙 반사이클동안을 보면, 용접선의 좌우중심에서 최소전류치가 되고, 좌우끝단부에서 최대전류치가 된다.

### 2.2 용접선추적 알고리즘

본 연구에서는 용접선 변화량을 2가지 성분으로 구별하였다. 즉, 상하편차(V축방향) 및 좌우편차(W축방향)이다.(Fig.1의 좌표계참조). 상하편차는 위-빙 반 사이클 동안의 평균용접전류(I)로 판단하며  $I = (\sum A(i)/n)$ 로 계산되고, 좌우편차는 용접전류에 가중치(weight factor)를 곱한 평균값으로 계산된 weight-value(WV)로 판단한다. 즉,  $WV = \sum A(i)\phi(i)/n$ 로 계산되고, A(i)는 측정된 용접전류, n은 위-빙 반 사이클 동안의 data수이고,  $\phi(i)$ 는 가중치로써 -1 에서 +1까지 주어지며, Fig.2에 그 값을 도시하였다.

좌우편차는 위-빙좌우의 전류차에 의하여 계산되어지나, 양쪽 끝단부에 가중치를 크게주

어 좌우편차 식별을 용이하게 함으로써 용접선추적을 강화하는 것을 특징으로 하고 있다.

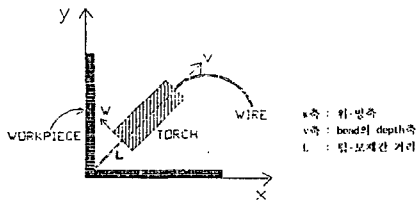


Fig.1 Definition of Coordinates

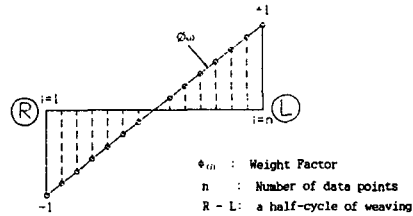


Fig.2 Configuration of Weight Factor

### 3. 용접인자실험

앞장에서 정의한 용접전류(weld current), Weight-Value는 용접조건에 따라 달라지므로, 어떤 인자가 이들에 영향을 주고 있는지를 파악하여 실제 용접선추적시에 그 인자를 적용해 줄 필요가 있다.

#### 3.1 실험조건 설정

본 연구에서는 작은 실험횟수로도 많은 실험인자들에 대하여 실험가능한 직교배열 실험계획법을 이용하여 실험하였다. Weight-Value에 관한 실험은 6인자(와이어공급속도, 용접전압,

실험 번호	1	2	3	4	5	6	7	실험조건
1	0	0	0	0	0	0	0	와이어공급속도, 용접전압, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭
2	0	0	0	1	1	1	1	와이어공급속도, 용접전압, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭
3	0	1	1	0	0	1	1	와이어공급속도, 용접전압, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭
4	0	1	1	1	1	0	0	와이어공급속도, 용접전압, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭
5	1	0	1	0	1	0	1	와이어공급속도, 용접전압, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭
6	1	0	1	1	0	1	0	와이어공급속도, 용접전압, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭
7	1	1	0	0	1	1	0	와이어공급속도, 용접전압, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭
8	1	1	0	1	0	0	1	와이어공급속도, 용접전압, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭, 용접속도, 위-빙폭

(Note: 1 - 최대치, 0 - 최소치를 뜻함)

Table1. Tables of Orthogonal Arrays

인자 구분	A 와이어공급속도 (Ampere)	B V-axis (mm)	C Voltage (Volt)	D W-axis (mm)	E 위-빙폭 (mm)	F 용접속도 (pps)	Remark
Min.	220	18.6	27	-1.4	5	4000	
Max	270	21.4	33	1.4	8	6000	

Table2. Data Levels of Weld Parameters

V축, W축, 위-빙폭, 용접속도 등) 2수준에 대한 직교배열표(Table1. 참조)에 따라 실시하였으며, 용접전류에 관한 실험은 5인자(용접전압, V축, W축, 용접속도, 위-빙폭) 2수준에 대하여 실시하였다. 이 때는 열번호 7은 error로 처리한다.

(7) 열번호 : 255A

열번호	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	0	1	0	1	0
2	1	0	1	0	1	0	1
3	0	1	0	1	0	1	0
4	1	0	1	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	1	0
6	1	0	1	0	1	0	1
7	0	1	0	1	0	1	0
8	1	0	1	0	1	0	1

열번호	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	0	1	0	1	0
2	1	0	1	0	1	0	1
3	0	1	0	1	0	1	0
4	1	0	1	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	1	0
6	1	0	1	0	1	0	1
7	0	1	0	1	0	1	0
8	1	0	1	0	1	0	1

Table3. Results of Data Acquisition: (a)Weight-Value (b) Weld Current

각 인자들에 대한 실험조건을 Table2.에 명시하였다. 단, 용접전류 실험시는 와이어공급 속도는 250A에 고정시켰다. Table1.에 명시된 8종류실험에 대하여 각 3회씩 총 24회에 걸쳐 random order로 실시하였다.

### 3.2 Data Acquisition 및 Data Analysis

토오치는 반 사이클당 3.5mm씩 용접진행 방향으로 이동하며, 매 반사이클 마다 100 samples/초의 속도로 용접전류를 검출하여 저장하였다. Table3.에 Weight Value 및 Weld Current에 대한 data acquisition 결과를 나타내었다.

각 테이블의 맨 아래 (5)번항은 각인자의 변동량을 나타내며, 이를 이용하여 분산분석을 함으로써 인자들의 영향을 파악할 수 있다. 분산분석한 결과를 Table4.에 나타내었다. 평균 제곱(variation)은 변동(S)를 자유도로 나누어서 구하고,  $F_0$ 는 평균제곱의 비로써 인자들의 평균제곱을 error의 평균제곱으로 나눔으로써 구한다.

인자	변동(S)	자유도(φ)	Variation(V)	$F_0$	F(0.05)
Current(A)	5.23	1	5.23	5.39	18.5
V-axis (B)	2.09	1	2.09	2.15	18.5
W-axis (D)	33.46	1	33.46	34.50**	18.5
위-빙폭(E)	5.98	1	5.98	6.16	18.5
용접속도(F)	6.10	1	6.10	6.30	18.5
ERROR	1.94	2	0.97		
계	54.82	7			

( a )

인자	변동(S)	자유도(φ)	Variation(V)	$F_0$	F(0.05)
용접전압(A)	677.3	1	677.3	55.2**	10.1
V-axis (B)	1127.5	1	1127.5	91.9**	10.1
위-빙폭(D)	242.6	1	242.6	19.8**	10.1
용접속도	90.1	1	90.1	7.3	10.1
ERROR	36.8	3	12.27		
계	2376.5	7			

( b )

Table4. Results of Variation Analysis : (a) Weight-Value (b) Weld Current

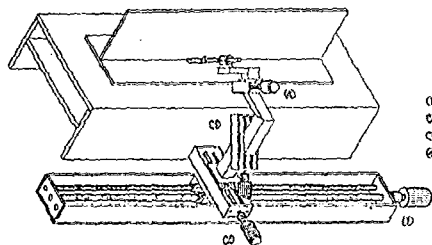
### 3.4 인자실험결과

실험계획법에 따르면 인자가 영향을 주는지의 판단은  $F_0$ 의 값이 5%(  $F_{0.05}$  )수준에서 유의해야한다. 즉,  $F_0 > F_{0.05}$  이어야 한다. 따라서, W축인자가  $F_0=34.5$ 로 18.5보다 크므로 Weight-Value에 영향을 미치고 있음을 알 수 있으나, 그 외의 인자는 그다지 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 용접전류는 V축의 변화에 가장 많이 좌우되며, 그 다음으로 용접전압, 위-빙폭의 순으로 영향을 받는 것으로 나타났다.

## 4. 용접선추적실험

### 4.1 실험장치 개요

2장에서 설명한 알고리즘을 이용하여 실제의 용접선 추적을 실험하였다. 이 실험을 위하여 4축으로 구성된 실험장치를 제작하였으며, Fig.3는 실험장치의 외관을 보여주고 있다.



① 용접전류축  
② Diffraction  
③ 위-빙폭  
④ Depth축

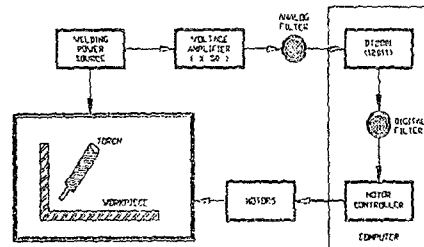


Fig.3 Isometric View of Experiment Set-up Fig.4 Block Diagram of Arc Sensor System

Fig. 4는 아-크센서 시스템의 block diagram을 보여주고 있다. 용접기로 부터 전류에 해당하는 전압을 증폭하여 low-pass filter로 filtering하고 (cutoff freq. = 10 Hz), 12bit A/D Converter로 digital 변환하여 편차를 계산하여 모타 controller에 보정을 지령한다. A/D Converter와 모타 컨트롤러는 모두 PC에 내장되어 있다.

#### 4.2 실험내용/ 결과도의

3장에서 실험한 내용을 바탕으로 하여, 용접선 추적에 필요한 1)W축-Weight Value의 관계와 2) V축-용접전류와의 관계를 정립하였다. 실험data를 회귀분석한 결과, 용접전류( $i$ ) =  $-5.25 * L + 388.8$ , Weight-Value =  $-0.864 * x - 1.1507$ 의 관계가 있음을 도출하였다. 여기서, L은 팁-모재간 거리, x는 W축의 편차 이다.

용접선추적실험은, 편차 3<sup>0</sup>를 준 상태에서 약 25cm거리를 용접하는 동안에 실시하였다. 보정주기는 매 반 사이클마다 하였으며, 이 때 보정에 이용한 data는 바로 이전의 1-3cycle 동안의 data를 이용하였다. Fig. 5에 용접선 추적실험결과를 도시하였다. 각각 모두 2mm편차 내에서 추적하고 있음을 알 수 있다. (a)는 위-빙 1 cycle의 data를 이용하여 보정한 결과이며, (b)는 3 cycle의 data를 이용하여 보정한 결과이다.

data에 이용되는 cycle수는 추적성능에는 차이를 주지않으나, 이용 cycle수가 많을 수록 응답속도가 느린 것으로 나타났다.

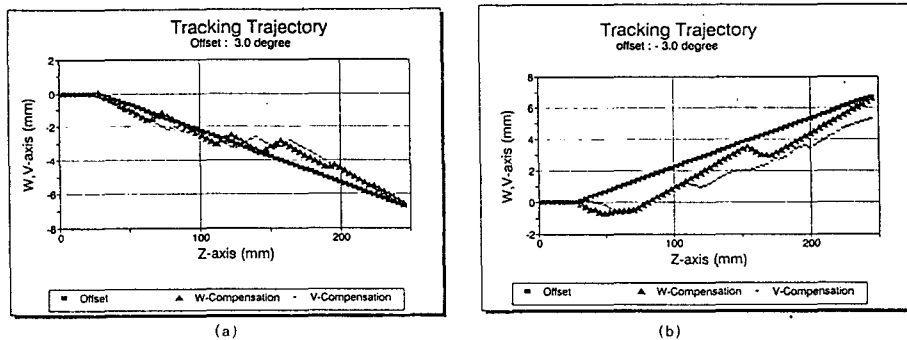


Fig.5 Results of Seam-Tracking of Arc Sensor developed.

#### 5. 결론

Flux-cored, CO<sub>2</sub> 100% 개스용접에 1)평균전류 2)Weight-Value를 이용한 용접선 추적 알고리즘을 적용한 결과 상당히 정확한 seam-tracking을 하고 있음을 확인할 수 있었으며, 또한 실험계획법에 입각한 인자실험을 통하여 용접전류 및 Weight-Value에 영향을 미치는 인자를 쉽게 찾을 수 있었다.

향후에는 용접조건(용접전압, 용접전류, 와이어송급속도, 팁-모재거리, 위-빙폭)이 변화더라도 이와 무관하게 용접선추적이 가능하도록 알고리즘보완을 수행하고, 수직용접에서의 용접선 추종성을 실험할 계획이다.

#### 6. 참고문헌

- George E. Cook: "Robotic Arc Welding: Research in Sensory Feedback Control", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. IE-30, No.3, August 1983, pp. 252-268.
- 허장욱, 김재웅, 나석주, 이승영: "혼합개스 GMA용접용 아-크신호를 이용한 용접선 추적에 관한 연구", 대한용접학회지, 제8권 제11호, 1990, pp.23-30.
- 김수영, 이승영, 나석주: "Flux-cored Arc용접용 아-크센서의 개발 및 이를 이용한 용접선 추적에 관한 연구", 대한용접학회지, 제10권, 제4호, 1992, pp.190-298.