

# 조선용 Fillet 부재에 대한 FCAW용 아크센서의 적용연구

## A Study on the Application of Arc Sensor to FCAW for The Fillet Plates of Shipbuilding

박 창 규(삼성중공업), 최 만 수(삼성중공업), 김 재 훈(삼성중공업), 임 필 주(삼성중공업)

Chang Kyoo Park, Man Soo Choi, Jae Hoon Kim, Pil Ju Lim

### ABSTRACT

An arc sensor for seam tracking is developed to automate sub-assembly welding in shipbuilding. We utilize a moving average method, which produces an effect of low-pass filter, to generate the position compensation. Therefore the sensor is able to modify the path of the weld seam in real time. By simplifying the compension process, the tuning time is reduced so that operators react quickly. It turns out that this sensor is highly reliable and it is installed and being used in SHI Keoje shipbuilding yard.

Key Words: Gantry, Robot, CO<sub>2</sub>, FCAW(Flux Cored Arc Welding), Seam Tracking, 각종, Stick out

### 1. 서 론

지금까지 용접 자동화에 있어서 필수적인 용접선 추적 센서로서 다양한 센서가 연구되어왔다. 그중 아크 센서는 다른 센서들과 비교하여 부가장치가 필요없고 충돌이 발생하기 쉬운 구석진 부위와 작업공간이 협소한 Fillet조인트 부재등에 대한 작업의 용이성등으로 상대적인 우수성을 지니고있다. 그러나 용접기 및 용접조건 변동에 의해 용접전류가 불안정할 경우 추적성능이 저하되는 문제점을 지니고 있으며 한편 용접선 추적용 변수를 튜닝하는 과정이 복잡하고 많은 시간이 필요하였다. 더군다나 Fillet조인트 부재를 용접하는경우 용융지의 불안정한 이행으로 인하여 아크센서의 성능을 확보하기가 쉽지 않고 용접 품질상에 문제를 야기시킬 수도 있다. 이러한 현상은 CO<sub>2</sub> FCAW(Flux Cored Arc Welding)공정에서 더욱 심화되는 경향이 있어서 그동안 산업 현장에서 신뢰성있게 적용된 예는 드물다. 한편 조선공정에 투입되는 용접부재는 Fillet조인트 부재가 평균 90%이상 차지하며 부재도 커서 용접선이 최대 20m를 갖는 경우도 허다하다. 이러한 대형 부재를 용접하다보면 용접중에 열변형은 물론이고 부재를 받히는 정반의 평면정도와 부재상호간의 가조립 오차에 의해 용접로봇이 용접전에 교시받은 데이터와는 상당한 차이를 보이며 부재가 클수록 그 경향이 심화된다. 이러한 오차를 실시간으로 측정하고 변형된 용접선을 정확히 추적하도록 제어하기 위해서는 반드시 우수한 성능의 추적센서가 요구되며 아울러 현장성과 노이즈에도 내성이 강한 센서가 필수적이라 하겠다.

금번 연구에서는 CO<sub>2</sub> FCAW 공정으로 수평 및 수직 Fillet 조인트 부재에 대해서 신뢰성을 갖춘 용접선 추적 성능확보와 현장에서 필요한 다양한 용접조건에 대해 용접선 추적변수의 튜닝작업을 단순화하고 정량화시켜 신속하게 대응할 수 있도록 구현하였다.

### 2. 용접선 추적 알고리즘

#### 2.1 위빙 모션( Weaving Motion )

용접선 추적 센서로서 아크 센서를 사용하는경우 그 원리 특성상 전류의 변화를 감지해서 위치보정량을 산출해야하기 때문에 위빙모션은 필수적으로 동반되어야 한다. 본연 구에서 적용한 위빙모션 형태를 그림 1에 나타내었다. 용접토치의 이동은 용접선을 중심으로해서 표준 위빙진폭에다 아크센서에서 산출된 위치보정량 만큼 가감하면서 진행하게 되며 소정의 거리에 도달하게되면 미리 설정한 시간만큼 머물도록하였다. 이 Dwell 시간은 용접토치의 이동시 발생할수 있는 진동과 용접품질에 나쁜영향(예: 언더컷)을 주지않도록 고려해서 설정된다. 그리고 이 시간 동안에 아크센서 프로그램이 구동되도록하여 위치보정값을 산출하도록 하였다.

#### 2.2. 노이즈 제거( Noise Filtering )

용접 과정에서 얻은 전류신호는 급속이행 모드에 따라서 각종 노이즈가 실려있고 전기적인 노이즈도 포함되어 있어 그대로 사용하기가 곤란하다. 따라서 일련의 신호처

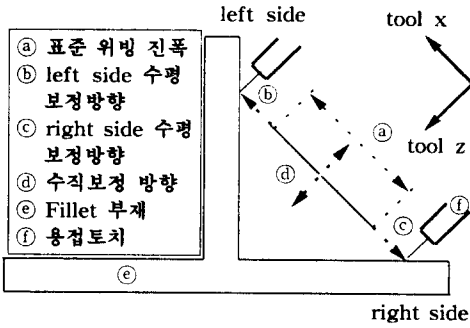


그림 1 위빙 모션

리가 필요한데 본 연구에서는 이동평균법( Moving Average Method )을 도입하였다. 이 방법은 측정한 신호를 이전의 값과 서로 상관관계를 주어 data에 대한 신뢰도를 향상시킬수 있는 알고리즘으로 low path filter의 효과를 가져올 수 있다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Im(n) = 1/m \left( \sum_{k=n-m+1}^n \sigma^{n-k} X(k) \right)$$

만약  $\sigma < 1$  이고  $m$ 이 매우크면,

$$Im(n) = \sigma / m \left( \sum_{k=0}^{n-1} \sigma^{n-k-1} X(k) \right) + 1/m$$

$$= \sigma Im(n-1) + X(n)/m$$

로 나타낼수 있다. 한편 이동평균법 정의로부터  $\sigma = (m - 1)/m$

따라서

$$Im(n) = ((m-1) \times Im(n-1))/m + X(n)/m$$

여기서,

$m$ : 가중치

$X(n)$ : 측정값

$Im(n-1)$ : 현재의 이동평균값

$Im(n)$ : 새로운 이동평균값

그러나 전류데이터를 취한 위치에 따라 평균화된 신호에도 원래 신호의 노이즈성분에 의해 여전히 신호의 변동이 남아 있고 약간의 시간지연으로 인한 토치 위치결정에 나쁜 영향을 미칠수 있다. 따라서 이를 최소화하기 위해서 용접토치가 이동을 멈추는 Dwell 시간에서 전류데이터를 취하도록 하였다.

### 2.3. 위치 보정값 결정

현재 용접토치가 left( 또는 right )side의 Dwell 시간내에서 머물러있는 동안 일정 시간마다 소정의 횟수만큼 샘플링하여 전류 데이터를 취한후 이를 이동평균한 값을 구했다. 아울러 같은 방법으로 현 실험점을 기준으로해서 한 주기 이전 이동평균하여 저장된 값을 모아서 가중치를 부여하고 다시 평균( 위빙모션 2주기분 )을 취해서 대표치를 구했다. 동일한 방법으로 right( 또는 left ) side에서도 대표치를 만들고 이 대표치들을 서로비교하여 수평보정용 전류차  $hdl$ ( 또는  $hdr$  )를 구했다. 그리고 수직 보정용 전류차(  $vd$  )는 양 side전체의 위빙모션 2주기에 해당하는 이동 평균된 값들( 4개 )을 모아서 산술 평균을 취한 값과 초기 용접전류 입력지령치와 비교하여 얻었다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$hdl = \text{왼쪽에서의 위빙 2주기분 평균전류치} - \text{오른쪽에서의 위빙 2주기분 평균전류치}$$

$$hdr = \text{오른쪽에서의 위빙 2주기분 평균전류치} - \text{왼쪽에서의 위빙 2주기분 평균전류치}$$

$$vd = \text{양쪽 전체 2 주기분 평균전류치} - \text{초기 용접전류 입력지령치}$$

위와같이  $hdl$ ( 또는  $hdr$  ) 및  $vd$ 을 구하면 표 1과 같이  $hdl$ ( 또는  $hdr$  ) 및  $vd$ 의 값에 따라 수평 및 수직 위치보정치를 생성하였다.

단위: mm

$a=hdl/hdr$	보정값	$vd$	보정값
$a < 15$	0	$vd < -10$	-0.4
$15 \leq a < 50$	계산값	$-10 \leq vd < 10$	-0.2
$50 \leq a < 150$	0.4	$10 \leq vd < 20$	0
$a \geq 150$	0	$20 \leq vd < 40$	0.2
		$40 \leq vd < 150$	0.4
		$vd \geq 150$	0

표 1  $hdl$ ( 또는 ) 및  $vd$ 값별 위치보정값

여기서 위치 보정값을 최대 0.4mm로 제한한 것은 목표로 하는 보정각도와 현장의 용접조건과 관련이 있다. 이를 살펴보면

$v$ ( 수평용접속도 ) = 6mm/sec 이고

$wf$ ( 위빙 주파수 ) = 1.7Hz 이면

$d$ ( 한번 위빙시 용접수행 거리 ) = 1.76mm 이다.

그리고

$\theta$ ( 최대 보정각도 ) = 7° 이라 할 때

$cd$ ( 보정해야할 최대거리 ) =  $1.76 \times \tan 7$   
= 0.216

이 보정값은 위빙모션 구현시 tool 좌표로 반영하기 때문에  $hdl$ ( 또는  $hdr$  )은 다음과 같이 나타낼 수 있다

$$hdl( \text{ 또는 } hdr ) = 0.216 / \cos 45$$

$$\approx 0.305 \text{ mm}$$

그리고  $hdl$ ( 또는  $hdr$  ) 및  $vd$ 의 값의 grade에 따라 위치보정치를 생성한 것은 노이즈의 영향을 최소화 시키기 위함이다.

### 2.4. 보정방향 결정

그림 1에서 나타내었듯이 로봇 Tool 좌표계에 준하여 용접토치 이동시 수평위치 보정방향은  $x$ 축, 수직위치 보정방향은  $z$ 축으로만 작용하도록 하였다. 특히 수평 위치 보정방향은  $hdl$ ( 또는  $hdr$  )의 값이 +인 경우에만 작용하도록 단순화시켰다. 그리고 수직위치 보정방향은  $vd$  값이 +이면 torch가 부재에 접근했다고 판단하여 -Z방향으로 보정방향을 결정하고 반대로 -이면 +Z방향으로 접근하도록 결정하였다. 그리고 Dwell시간 동안에 구한 수평위치 보정치와 수직위치 보정치를 차기 위빙모션 한 주기 동안에 합성, 반영하여 실시간 궤적수정이 이루어 지도록 하였다.

### 3. 실험 및 고찰

#### 3.1. 실험장치 구성

본 연구와 관련하여 구성한 하드웨어 시스템을 그림 2에 나타내었다. 폭이 9m인 갠츨리 로봇( 이하 갠츨리라

침합)이 주행 22m의 작업영역을 지나며  $\pm 0.1\text{mm}$ 의 반복 정밀도로써 길이가 긴 용접선을 따라 용접속도를 유지할 수 있도록 설치되어 있다. 그리고 갠츨리에 하향 부착된 2대의 소형 로봇이 서로 마주보며 fillet부재에 대해 양면 동시 용접작업이 가능하다. 용접선을 따라서 갠츨리가 이동할때 이 두대의 소형로봇은 동기되어 용접시 필요한 위빙 모션을 생성하며 동시에 용접을 수행한다.

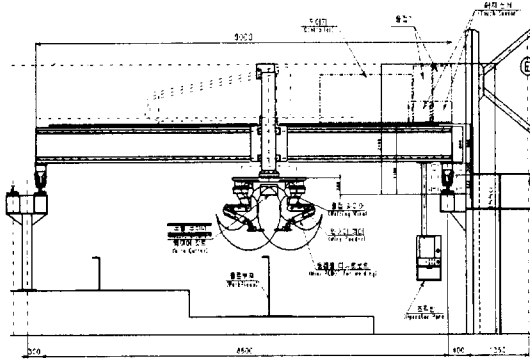


그림 3에서는 소프트웨어 구성을 간략하게 나타내었다. 갠츨리의 상하측 하부에 위치한 CCD 카메라를 이용하여 정반상에 놓인 부재의 영상데이터를 획득한다. 이 영상데이터와 PC에 저장된 CAD데이터를 매칭하여 부재내 용접선들의 상대위치를 알아낸다. 한편 모든부재에 대한 영상데이터의 취출 작업이 끝나면 시뮬레이션 과정을 통해 각기 갠츨리별로 용접선이 할당된다. 그러면 OLP(Off Line teaching Programming)에 의해 준비된 로봇구동 프로그램 자동시작 시 부재상의 용접선으로 갠츨리를 이동시킨다. 그리고 용접을 수행하기에 앞서 touch 센서를 이용하여 용접선의 위치를 최종확인한다. 그러나 앞에서 밝혔듯이 이렇게 확인된 용접선도 실제용접을 수행하면 차이가 날수 있으며 이때 발생한 용접선의 오차는 아크센서 기능으로 흡수하여 자동으로 용접을 수행하도록 구성되어 있다.

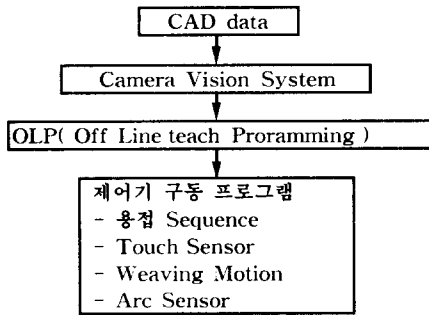


그림 3 소프트웨어 구성

참고로 본 용접실험에 대한 제반조건은 다음과 같다.

- ㉑ Power Source: 500A/42V (인버터방식)
- ㉒ 용접 wire: 1.2 $\phi$  Flux Cored Wire
- ㉓ Shielding Gas: CO<sub>2</sub>

### 3.2. 수평 용접시험

소형로봇 1대만을 이용하여 수평용접을 수행한 경우로서 용접조건은 다음과 같다.

- ㉔ 용접속도: 6mm/sec
- ㉕ 용접전류: 205A
- ㉖ 용접전압: 24V

OLP상에서 생성된 용접선대비 실제용접선간의 이격각도가 우측으로 5° 벗어난 경우의 용접수행결과를 그림 4에 나타내었고 이때 위빙모션 양side에서 산출된 위치 보정값을 그림 5에 나타내었다. 그리고 이격각도가 좌측으로 5° 벗어난 경우에 있어서 위빙모션 양side에서 산출되는 보정값을 그림 6에 나타내었다.

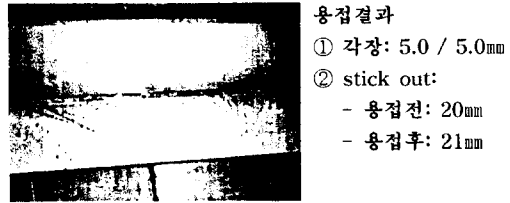


그림 4 용접 결과(이격각도 우측 5° 벗어남)

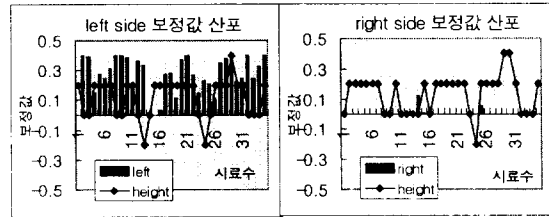


그림 5 위치 보정값 산포(이격각도 오른쪽 5°)

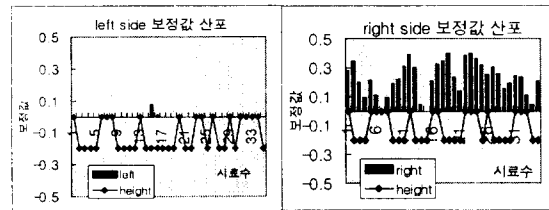
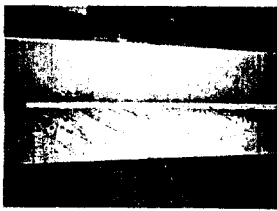


그림 6 위치 보정값 산포(이격각도 왼쪽 5°)

수평용접 수행결과는 다음과 같다. 실제 용접선이 벗어난 방향에 관계없이 용접전, 후 stick out 길이가 일정하였고 각장도 등각장을 나타내었으며 용접Bead 또한 양호하였다. 용접선추적 성능측면에서 보면 우측으로 5° 벗어난 경우, 위빙모션의 left side에서 산출된 수평위치 보정값은 소정의 크기를 지니고 출력되었으며 수직위치 보정값은 +0.2가 많았다. 한편 right side에서는 수평위치 보정치가 거의 0이, 수직위치 보정치는 +0.2가 많이 출력되었다. 여기서 수직위치 보정치는 left side에서의 수평위치 보정치에 의한 높이방향의 이탈을 상쇄하기위해 생성됨을 알 수 있다. 양 side에서 산출된 수평 및 수직위치 보정값을 합성해보면 오른쪽으로 벗어난 용접선을 추적하도록 보정치가 생성되는 것을 알수있다. 그리고 보정치 생성측면에서 볼때 좌측으로 5° 벗어난 경우는 우측으로 벗어난 경우와 반대의 경향을 보여주고 있는 것으로보아 이격방향에 따라 상황에 맞게 보정치가 생성되고 있음을 알수 있다.

다음은 이격각도가 좌측으로 7.59° 벗어난 경우의 용접 결과 그림 7에, 이때 생성된 위빙모션 양 side에서의 위

치보정값을 그림 8에 나타내었다.



- 용접결과**
- ① 각장: 4.5 / 7.0mm
  - ② stick out:
    - 용접전: 20mm
    - 용접후: 18mm

그림 7 용접결과 (이격각도 좌측 7.59°)

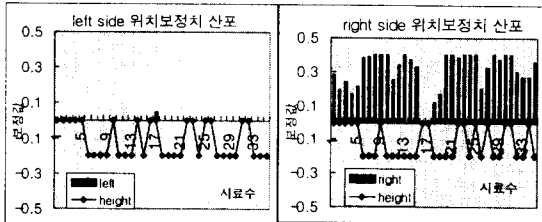
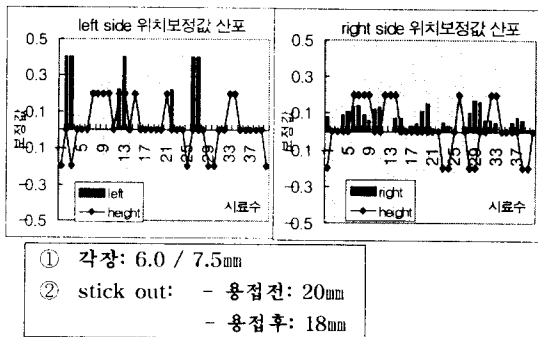


그림 8 위치 보정값 산포 ( 좌측 7.59° )

용접후 stick out 길이가 짧아졌으며 상각장대비 하각장이 큰 부등각장 모습을 보여주고 있어서 용접품질측면에서는 양호하지 못한 결과를 얻었다. 그러나 용접선은 끝까지 추적하였다. 실제로 위빙모선의 right side에서 수평위치 보정값은 이격각도가 5° 일 때보다 큰 값이 많이 출력되었고 +0.4인 경우도 많았다. 그러나 수직위치 보정치의 경우는 거의 차이가 없는것으로 보아 수직보정에 대한 변수 vd의 튜닝이 완벽하게 되지 않았음을 보여준다. 이로인해 stick out 길이가 짧아지고 용접 Bead가 부등각장이 되었음을 알수 있다.

다음은 이격각도 0° 시 vd 및 hdl( 또는 hdr )의 값의 grade를 조정하여 위치 보정치를 출력시킴으로써 용접각장을 조절할 수 있는 경우로서 그림 9는 등각장대비 하각장으로 치우치게 변수를 조정했을때 위빙모선 양 side에서의 출력되는 위치 보정값을 나타내었다.



- ① 각장: 6.0 / 7.5mm
- ② stick out:
  - 용접전: 20mm
  - 용접후: 18mm

그림 9 하각장 조정

left side에서의 수평위치 보정치가 right side에서의 수평 보정치보다 큰 값으로 출력되고 있어 용접 토치를 left side로 치우치게끔 지령하는 모습을 볼 수있다.

### 3.3. 수직용접

OLP에서 생성한 용접선대비 실제용접선이 앞으로 3° 기울어졌을때 수직용접을 수행한 결과를 그림 10에 나타

내었다.



그림 10 수직 용접

1. 용접조건
  - ① 용접전류: 185A
  - ② 용접전압: 27V
  - ③ 용접속도: 2mm/s
2. 용접결과
  - ① 상각장: 7.8mm
  - ② 하각장: 7.8mm
  - ③ stick out:
    - 용접전: 20mm
    - 용접후: 19mm

용접후 용접bead는 등각장을 나타내고 용접전, 후 stick out도 일정하여 매우 양호한 용접품질을 얻을수 있었다.

### 4. 결론

아크센서를 개발하여 현장에 적용하는데는 몇가지 어려운 점이 있는데 그중 하나가 용접선 추적변수를 튜닝하는 작업이다. 본 연구에서는용접조건이 변경되면 이를 해결하기위해 변수를 최소화하고 정량화시켜 화면에 표시함으로써 쉽고 빠르게 튜닝작업을 수행할 수 있었다. 그리고 급속이행 모드에 따른 노이즈 영향을 최소화하기 위해서 전류 데이터들 dwell 시간에서만 취득하고 보정치를 grade화 하여 출력시킨 결과 용접 bead가 균일하고 양호한 용접품질을 얻을수 있었다. 한편 길이가 긴 용접선을 추적하기 위해서는 용접진행중에 stick out길이를 일정하게 유지해야하며 이를 위해서는 수평 및 수직위치 보정값이 균형이 이루어져야함을 알 수 있었다. 그리고 수평 및 수직 보정용 전류치의 grade를 조절함으로써 원하는 각장을 만들수 있었으며 이는 멀티패스용접에 대한 용접선 추적의 가능성을 보여 주었다. 수직용접에 대한 용접선 추적성능도 매우 양호한 결과를 얻을수 있었다. 이번에 개발한 아크센서는 현재 당사 소조립 용접 line에 적용하여 현재 사용중에 있다.

### 참고문헌

1. 우갑주, 최만수, 김재훈: "조선선체 조립자동화를 위한 용접초기접 인식 및 용접선 추적에 관한연구"
2. 나석주, 이승영, 김수영, 문형순: "ARC WELDING ROBOT을 위한 ARC SENSOR 개발에 관한 연구"
3. 허장욱, 김재웅, 나석주, 이승영: "혼합가스 GMA 용접용 아크신호를 이용한 용접선 추적에 관한 연구", 대한 용접학회지, 제8권 제11호, 1990, pp23-30
4. 김수영, 이승영, 나석주: "Flux-Cored ARC 용접용 ARC SENSOR 개발 및 이를 이용한 용접선 추적에 관한 연구", 대한 용접학회지, 제10권 제4호, 1992, pp190-198
5. 선우희권, 유중돈, 나석주, 권동수: "아크센서의 신호 특성 및 용접선 추적을 위한 응용"
6. 서일홍: "ROBOT 산학 CONSORITHM 2차년도 결과 보고서", 1995