

## 6축 로봇을 이용한 자동 용접에서의 Arc Sensor 개발

The Development of Arc Sensor for Automatic Welding Using 6-Axis Robot

문승빈, 윤명균, 홍용준, 홍성진, 황찬영, 김동일

삼성전자(주) 자동화연구소

### 1. 서론

로봇을 이용한 자동용접은 수작업으로 하는 반자동 용접에 비하여 많은 장점을 가지고 있다. 구체적으로, (i) 연속작업이 가능하므로 작업 효율이 높고, (ii) 용접상태가 일정하며, (iii) 유해한 환경조건에 적합하고, (iv) 인건비 감소등의 효과를 얻을 수 있다. 자동용접의 단점으로는 교시(Teaching) 시간이 오래 걸리며, 용접 부재의 위치가 틀어진 경우 용접선 추적이 어렵고, 일시 투자비용이 필요한 점등을 들 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여, 일련의 부가적인 Software 및 Hardware를 개발하려는 노력이 Robot 제작자들에 의하여 행하여져 왔다

용접중 부재의 변형, 치구의 부정확성, Off-Line Programming 입력의 Calibration 오차등의 제반 부정확성을 효과적으로 보상해주는 목적으로 Arc Sensor가 이용된다.[1] Arc Sensor의 장점으로는 (i) 주변 부속장치가 불필요하고 (ii) 용접선 추적능력이 뛰어나고 (iii) 값이 저렴하며 (iv) 사용하기에 편리하다는 점이다. 그러나, Arc Sensor는 Weaving Motion에서만 사용가능하므로, Weaving을 할 수 없는 작업에서는 Laser Vision Sensing Tracking등의 다른 방법을 사용하여야 한다.

삼성전자는 92년말에 6축 로봇 몸체 및 제어를 자체개발하여 상품화를 완료한바 있고, 현재 Palletizing Robot, Handling 6축 로봇, 용접용 6축 Robot를 판매하고 있다. 본 논문에서는, 삼성전자 6축 용접용 로봇에서의 Arc Sensor (Through-The-Arc-Sensing) 개발과 이의 적용 결과를 기술 하고자 한다.

### 2. Arc Sensor의 기본원리 및 Algorithm

로봇을 이용하여 Fig. 1과 같이 좌우로 Weaving을 하면 Weaving 중심점을 대칭으로 Arc Current가 변화하게 된다. Arc 전류의 변화에 영향을 주는 가장 큰 원인은 용접 Wire의 길이가 변화함에 따르는 저항치의 변화이다. Weaving 중심이 용접선 바로 위에 위치하고 있을 때에는 Fig. 2에서 실선으로 표시한 전류 파형이 나온다. 그러나 용접 Torch가 한쪽으로 치우쳐 있을 때에는 Fig. 2의 점선과 같이 전류의 파형이 변화하게 된다. 이러한 조건을 이용하여 Weaving 용접 진행시에 실시간으로 용접 Torch의 중심을 용접선 위에 위치시킬 수 있는 Algorithm을 구성할 수 있다.

위에서 언급한 용접 조건을 이용하여, 용접 Torch의 치우친 방향을 결정하는 방법에는 다음과 같은 여러가지가 있고, 이러한 방법들이 기존의 Arc Sensor 개발에 이용되어 왔다. 판별방식을 나열하면, (i)적분방식, (ii)미분방식, (iii)첨두치 방식, (iv)시간 비교 방식, (v)주파수 분석 방식[2] (vi)기준치 비교 방식[3]등이 있다. 적분방식은  $t_1$  에서  $t_2$  까지의 전류 적분량  $I_1$  과  $t_2$  에서  $t_3$  까지의 전류 적분량  $I_2$  를 비교하여서,  $I_1$  이  $I_2$  보다 크면, Torch의 중심이 왼쪽으로 치우쳤다고 판별하는 방법이다. 미분방식은  $t_2$  에서의 전류 미분치  $D_2$  를 계산한 후,  $D_2$  가 음수이면 왼쪽으로

치우쳤다고 판별하는 방법이다. 침두치 방식이란,  $t_1$  과  $t_3$  에서의 전류치  $i_1$  과  $i_3$  값이 Torch 중심의 치우침에 따라서 변화하는 것을 이용하는 방법이다. 즉,  $i_1$  값이  $i_3$  값보다 크면, Torch 중심점이 왼쪽으로 치우쳤다고 결정하게 된다.

시간비교 방식이란,  $T_1 = t' - t_1$  과  $T_2 = t_3 - t'$  를 비교하는 방식이다. 여기서  $t'$  는  $t_1$  과  $t_2$  사이에서 Arc 전류가 최저치가 되는 시간을 의미한다. Fig. 2에서 보는 바와 같이  $T_1$  이  $T_2$  보다 크면, Torch 중심이 왼쪽으로 치우쳤다고 판별하게 된다. 주파수 분석 방식은 Torch 중심점이 한 쪽으로 치우친 경우에는  $f_0$  와  $2f_0$  의 성분이 동시에 검출되고, Torch 중심이 용접선 위에 있는 경우에는  $2f_0$  성분만이 검출됨을 이용하여 용접 Torch 의 치우침을 찾아내는 방식이다. 기준치 비교 방식은  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  에서의 기준 전류치  $\hat{i}_1$ ,  $\hat{i}_2$ ,  $\hat{i}_3$  와 순시 전류치  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  를 비교하여 분석하는 방법이다. Table 1에서 각각의 방식을 비교 분석하였다.

이 외에도, Twin Arc Sensor를 채용하여 용접 Torch의 위치뿐만 아니라 Orientation 까지 조정하여주는 시스템이 개발되었다.[4]

### 3. 6축 로봇에의 Arc Sensor 적용 및 실험 결과

삼전전자의 용접용 6축 로봇에 2절에서 설명한 적분 방식 및 미분 방식을 이용하여 Arc Sensor를 개발하였다. 용접기에서 나오는 출력 전류는 불안정한 Spatter등으로 인하여 Filtering을 하여 줄 필요성이 있으므로, 사용자가 Median 또는 Average Filter를 지정하여 사용할 수 있도록 하였다.

개발된 Arc Sensor는 용접 Torch 가 Weaving 방향 및 Normal 방향(Fig. 1 참조)상에서 용접선 위에 적당히 위치되도록 하는 능력을 가지고 있다. 또한, 직선 보간과 원호 보간에서 모두 적용이 가능하며, Table 2에서 보는 바와 같이 T자형 Joint(Fig. 2)의 25cm 경우에  $8^\circ$  의 위치 틀어짐을 성공적으로 보상한다.

### 4. 결론

자동 용접시에 용접 대상물의 위치가 바르게 놓여 있지 않은 경우가 많이 있다. Arc Sensor는 효과적으로 이러한 위치의 부정확성을 보상하여 줄 수 있다. 본 Arc Sensor는 기존의 로봇 제어기 내에 Software 형태로 개발이 되었으므로 외부 Processing Unit(보통, PC) 를 별도로 필요치 않는다. 또한, 실험을 통하여 Arc Sensor의 성능이 양호함을 입증하였다.

### 5. 참고 문헌

- [1] Y. Kiyohara, "Application of latest arc welding robot with synchro motion and sensor", *Robot*, pp. 37-43, vol. 102, Jan. 1995.
- [2] J. Nakajima, T. Araya, M. Tsuji, and S. Sarugaku, "Arc sensor for welding line tracking applied to welding robot", *IJW Doc. XII-954-86*, 1986.

- [3] 허장욱, 김재웅, 나석주, 이승영 “혼합가스 GMA용접용 아크신호를 이용한 용접선 추적에 관한 연구”, 대한용접학회지, pp. 23-30, 1990
- [4] U. Dilthey, U. Kahrstedt, and L. Stein, “Advanced arc sensor cuts programming time for welding robots”, *Fourth Int. Conf. Automated Welding Sys. in Manufacturing*, U.K., Nov. 1991.

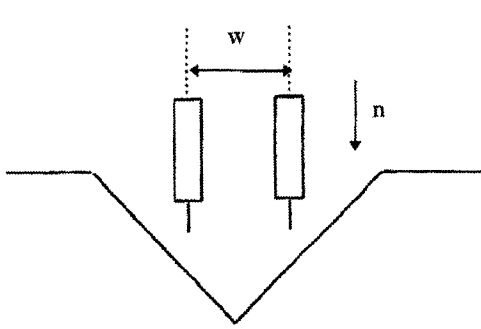


Figure 1. 용접 Torch의 Weaving Pattern

w = Weaving Direction

n = Normal Direction

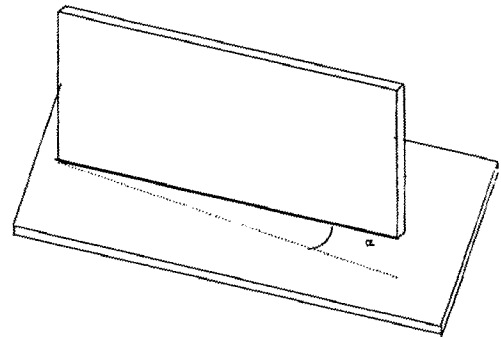


Figure 3. 용접 Torch의 Weaving Pattern

$\alpha$  = 틀어진 각도

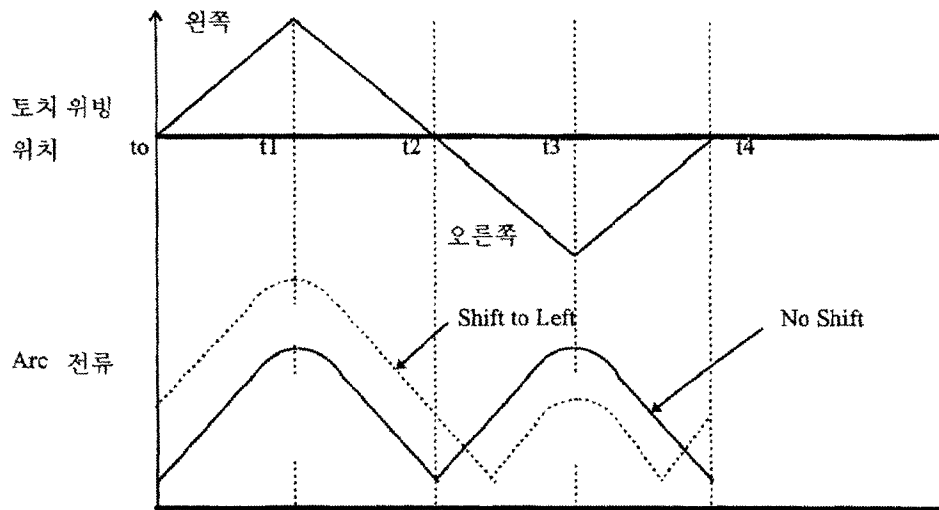


Figure 2. Torch 위치에 따라 변화하는 Arc Current Pattern

방식	판단 factor	판단방법	특징
(i)적분 방식	$I_1 = \int_{t_1}^{t_2} i(t)dt, I_2 = \int_{t_2}^{t_3} i(t)dt$	$I_1 = I_2$ : No Shift $I_1 > I_2$ : Shift to Left $I_1 < I_2$ : Shift to Right	비교적 간단하고, 치우친 정도 판단이 가능하다.
(ii)미분 방식	$D_2 = \frac{di}{dt}(t_2)$	$D_2 = 0$ : No Shift $D_2 < 0$ : Shift to Left $D_2 > 0$ : Shift to Right	판단시간은 빠르나, 치우친 정도는 판단 불가
(iii)첨두치 방식	$i_1 = i(t_1), i_3 = i(t_3)$	$i_1 = i_3$ : No Shift $i_1 > i_3$ : Shift to Left $i_1 < i_3$ : Shift to Right	간단하나, 판단 오차 가능성이 높다.
(iv)시간 비교 방식	$T_1 = t^* - t_1, T_2 = t_3 - t^*$	$T_1 = T_2$ : No Shift $T_1 > T_2$ : Shift to Left $T_1 < T_2$ : Shift to Right	최저점을 찾아내야 한다.
(v)주파수 분석 방식	$f_o$ Weaving Frequency	only $2f_o$ : No Shift $f_o$ and $2f_o$ : Shift	판단시간이 길다.
(vi)기준치 비교 방식	기준 전류치 $\hat{i}_1, \hat{i}_2, \hat{i}_3$ 와 $i_1 = i(t_1), i_2 = i(t_2),$ $i_3 = i(t_3)$	$\hat{i}_1 = i_1$ : No Shift $\hat{i}_1 \neq i_1$ : Shift	기준치를 미리 알아야 하는 단점이 있다.

Table 1. Torch Shift 판별 방식 비교

Shield Gas	CO2 100%	Welding Voltage	17 V
Weaving Width	30 mm	Welding Current	130 A
Weaving Frequency	1.5 Hz	Thickness	5 mm

Table 2. 용접(Arc Sensor) Data