

로봇용접에서 필릿 조인트의 끝단부 자동인식에 관한 연구

A study on the auto detecting of the end point of fillet joints in robot welding

강성원*, 권순창*

* 대우중공업(주) 선박해양기술연구소, 경남 거제시 아주동 1

1. 서론

선체 블록 조립 공정에서 로봇이 용접하는 작업대상물은 주로 수평과 수직의 필릿 조인트로서 이러한 필릿 조인트를 로봇으로 용접하려면 용접선의 시작점과 끝점의 정보가 필요하다. 용접선의 시작점과 끝점에 대한 정보를 얻기 위한 일반적인 방법은 로봇의 터치 센서를 이용한 방법이 많이 사용된다. 그러나 용접선의 길이가 긴 경우에는 끝점의 터치 센싱에 소요되는 로봇의 이동시간이 길어져 용접에 소요되는 순수 용접시간이 줄어들게 된다. 따라서 로봇 용접 시 용접선의 끝단부를 자동으로 인식하는 방법이 필요하다.

2. 용접전류(I_c), 용접전류차(I_{cd})

정전압 특성을 갖는 용접기를 사용한 로봇 용접에서 용접 토치가 용접선 중심에서 좌, 우로 위빙할 때, 팁과 모재 사이에 흐르는 전류는 팁-모재간 거리(tip-to-workpiece distance)에 반비례한다고¹⁾ 알려져 있으며, 이와 같이 변화하는 용접전류를 이용하여 용접선의 끝단부를 인식하고자 하였다.

용접전류(I_c)는 로봇이 반 사이클 동안 위빙할 때 셉트저항(shunt resistor)에서 발생하는 아날로그 신호를 로봇 제어기에서 A/D변환한 후 필터링을 통하여 측정된 데이터($I(i)$)를 이용하여 식 (1)과 같이 계산하였으며, 반 사이클 동안 측정된 데이터의 개수가 n 이다.

$$\text{용접전류}(I_c) = \frac{\sum_{i=1}^n I(i)}{n} \quad (1)$$

한편, 최근에는 갭이 존재하는 필릿 조인트의 용접전류를 계산함에 있어서 가중치에 의한 영향에 대하여 연구되었으며, 그 결과 위빙 중심부 보다 위빙 끝단부의 전류를 많이 이용하는 것이 가장 안정적인 것으로 입증된 바 있으며,²⁾ 본 연구에서도 이 가중치를 이용한 가중용접전류를 이용하였다. 따라서 용접전류차(I_{cd})는 측정전류($I(i)$)에 가중치(φ)와 보정치(C_f)를 곱한 값으로 식 (2)와 같이 계산하였다. 가중치(φ)는 Fig. 1과 같이 위빙의 양 끝으로 갈수록 커지고 위빙의 중심으로 갈수록 작아지며, 보정치는, 측정 데이터의 개수에 따른 차이를 없애기 위한 것으로 본 가중치인 경우 $2n/(n+1)$ 으로 계산하였다.

$$\text{용접전류차}(I_{cd}) = \frac{\sum_{i=1}^n I(i) \varphi(i)}{n} \times C_f \quad (2)$$

3. 실험방법 및 실험조건

선체 조립공정의 특성상 블록 취부 공정에서 발생하는 갭과 태그 비드를 고려하여 용접실험에 사용할 시편은 각각 0, 3, 5mm의 갭 조건과 시편의 모든 용접선에 각목 3~4mm의 태그 비드를 만들어 사용하였으며, 용접조건과 시편 모양은 각각 Table. 1과 Fig. 2와 같다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 갭 3mm 조건에서 용접전류(I_c)의 그래프이며, 용접선 안쪽에서는 용접전류(I_c)가 237A~253A사이에서 유지되다가 끝단부 이후인 15번째 위빙부터 235A이하로 감소함을 알 수 있다. Fig. 4

는 갭 5mm 조건에서의 용접전류차(I_{cd})의 변화이며, 용접선의 끝단부를 지나기전의 용접전류차(I_{cd})가 0A~-30A를 유지하다가 끝단부이후(15번째 위빙)에는 -30A~-60A를 유지함을 볼 수 있다. 각 조건에서의 실험결과를 Table. 2에 나타내었으며, 계산된 값은 끝단부 전, 후의 차이값이다.

5. 끝단부 인식 알고리즘 및 신뢰성실험 결과

끝단부 인식을 위한 로봇의 위빙은 1/2사이클 기준으로 계산된다. Fig. 5에서와 같이 로봇이 용접을 시작한 후, 매 위빙 마다 용접전류차(I_{cd})와 용접전류(I_c)를 계산하고, 용접전류차(I_{cd})와 용접전류(I_c)에 대한 각각의 기준값과 측정값을 계산하여 기준값에서 측정값을 뺀 값으로 끝단부를 인식한다.

로봇이 n번째 위빙을 할 때, 기준용접전류차($I_{cd,ref}(n)$)와 기준용접전류($I_{c,ref}(n)$)는 n-9에서 n-4번째 위빙 구간 동안의 용접전류차(I_{cd})와 용접전류(I_c)의 각각의 평균값이다. 측정용접전류차($I_{cd,meas}(n)$)와 측정용접전류 1($I_{c,meas1}(n)$)는 n에서 n-1번째 위빙 구간동안의 용접전류차(I_{cd})와 용접전류(I_c)의 평균값이며, 측정용접전류 2($I_{c,meas2}(n)$)는 n에서 n-2번째 위빙 구간동안의 용접전류(I_c) 평균값이다. 이러한 과정을 통하여 계산된 판별전류차(ΔI_{cd})와 판별전류 1(ΔI_{c1}), 판별전류 2(ΔI_{c2})는 용접선의 끝단부를 최종으로 판별하는 값으로서 미리 용접실험을 통하여 설정된 a, b, c, d, e의 판별값과 비교하여 용접선의 끝단부를 인식한다.

Fig. 5에서와 같이 끝단부의 최종 판별을 위하여 판별전류차(ΔI_{cd})와 판별전류 1(ΔI_{c1}), 판별전류 2(ΔI_{c2})를 이용하여 다음의 3가지 방법으로 끝단부 판단이 이루어진다.

판단 ① : 판별 용접전류차(ΔI_{cd})가 (1)의 조건을 만족시키면 끝단부로 인식한다. 판단 ② : 판별 용접전류차(ΔI_{cd})가 (1)을 만족시키지 못하지만 (2)의 조건을 만족하고, 동시에 판별 용접전류 1(ΔI_{c1})이 조건 (3)을 만족시키면 용접선의 끝단부로 인식한다. 판단 ③ : 판별 용접전류차(ΔI_{cd})가 (2)의 조건을 만족하고 판별 용접전류 2(ΔI_{c2})가 (4)를 만족시키면 끝단부로 인식한다.

수립한 알고리즘에 대한 신뢰성 실험은 Table. 1의 용접조건으로 각 조건당 2회씩, 총 24회 실시하였다. 24회 모두 성공적으로 끝단부를 인식하였으며, Table. 3에 그 결과를 나타내었고 번호는 판단조건을 뜻한다.

6. 결론

로봇 용접시 필릿조인트의 끝단부를 인식하기 위한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 용접전류차(I_{cd})만을 사용한 판단 ①이 67%의 성공률을 나타내어 용접전류차(I_{cd})의 이용이 필수적임을 보여 주었으며, 용접전류차(I_{cd}) 및 용접전류(I_c)를 이용한 방법(②,③)도 33%의 성공률을 보여, 보조 수단으로 필요한 것으로 나타났다.

2) 본 연구에서 고안한 끝단부 인식 알고리즘으로, 갭 5mm 이하, 태그비드 4mm이하의 모든 필릿조인트에서 적용 가능하리라 판단된다.

참고문헌

1. George E. Cook : Robotic Arc Welding ; Research in Sensory Feedback Control, IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. IE - 30, No. 3(Aug. 1983), pp.252-268.
2. 권순창 : 갭이 존재하는 용접대상물에서 용접전류 계측에 의한 용접선 자동추적에 관한 연구, 아주대학교 박사학위논문(2000), pp.45~64

Table. 1 Welding conditions of the experiment

각목 구분		용접조건		위빙조건			
시편 gap (mm)	각목 (mm)	전류 (A)	전압 (V)	폭 (mm)	피치 (mm)	위빙 속도 (mm/sec)	Dwell (sec)
0	5.0	230	26	5.5	3	55	0.2/0.2
	6.0	245	27	7	3	55	0.2/0.2
	7.0	250	27	8.5	3	50	0.2/0.2
	8.0	260	28	8	3	45	0.2/0.2
3	5.0	230	26	6	3	55	0.2/0.2
	6.0	250	28	8	3	55	0.2/0.2
	7.0	250	27	8.5	3	50	0.2/0.2
	8.0	265	28	9	3	45	0.2/0.2
5	5.0	230	26	9	3	50	0.3/0.3
	6.0	250	28	10	3	50	0.3/0.3
	7.0	255	28	9.5	3	50	0.3/0.3
	8.0	265	28	10	3	45	0.3/0.3

Table. 2 Differences between before and after the end point

갭(mm)	끝단부 전후의 차이값		비고
	용접전류차(A)	용접전류(A)	
0	-21	-8.7	갭별 평균치임
3	-30	-12.5	
5	-25.6	-12.1	

Table. 3 Results of the reliability experiment

각목(mm) \ 갭(mm)	5.0	6.0	7.0	8.0
0	①②	①①	①①	①③
3	①①	③①	①①	③①
5	①①	③①	①③	②②

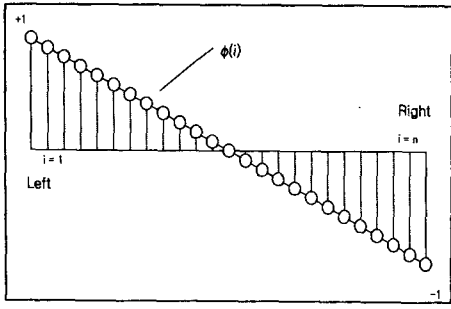


Fig. 1 Definition of the weight factor

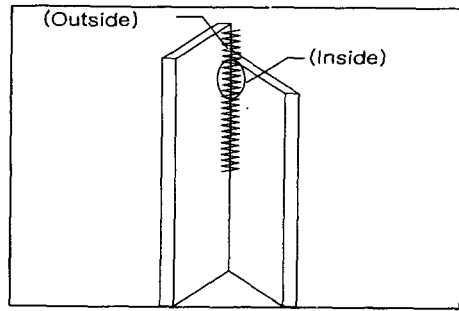


Fig. 2 Shape of the workpiece

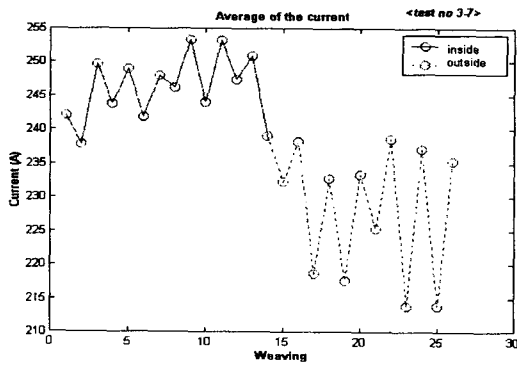


Fig. 3 Variation of the weld-current (I_c) around the end point

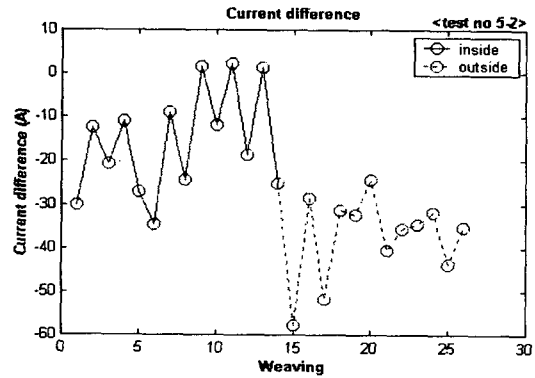


Fig. 4 Variation of the weld-current-difference (I_{cd}) around the end point

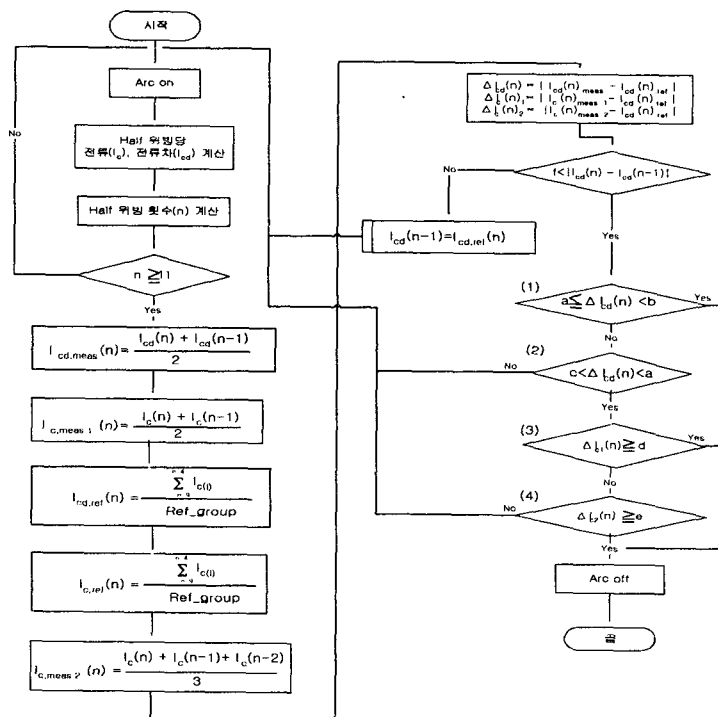


Fig. 5 Flow chart for auto detecting of the end point