

모서리 부위 연속 용접을 위한 아크 용접 로봇과 포지셔너의 협업

(The Cooperation of Arc Welding Robot and Manipulator for Continuous Welding of Corner Area)

장 교 근*, 유 범 상
(전북대학교 기계공학부)

Abstract

Welding of corner area across the edge is a difficult problem in robotized arc welding system, especially when continuously-welded leakage-proof product is required. This paper presents the methodology of cooperation plan of an arc welding robot and 1 or 2 axis welding manipulators for corner area welding. Welding trajectory for the robot is generated using clothoid curves: symmetrical double clothoid curve or unsymmetrical clothoid curve depending on the nature of the workpiece. The clothoid curve is first formulated for the case of linear type positioning table and then applied to the case of rotary type manipulator. The methodology is then illustrated for practical downhand welding situations.

1. 서론

두 개의 직선 용접선이 급격한 각도로 연결되어 있는 모서리 부위 용접은 두 용접선이 만나는 지점에서 순간 용접 속도가 0이 되며, 한 평면상의 용접선에 적절한 용접 자세에서 다음 용접선에 알맞은 용접 자세로의 요구되는 로봇 토치의 방향 변환이 너무 급격하여 용접 토치의 계획에 있어서 상당히 어려운 조건이 된다. 이로 인해 수작업을 대신할 자동화가 이루어지지 않고 있으며 이에 대한 연구도 미비한 상태이다.

두 평면상의 용접선이 만나는 지점에서 단속이 없는 용접을 이루어야 좋은 품질을 제품을 얻을 수 있으므로 용접물과 용접 토치가 상대 용접 속도가 정지하는 부분이 없도록 연속적인 동작이 요구된다. 이를 위해 로봇 컨트롤러가 로봇과 용접물을 고정하여 이동시키는 포지셔너를 동시 제어(simultaneous coordinated control)가 가능하며, 단속이 없는 연속 모서리 부위 용접을 실행할 수 있는 여유 자유도를 지닌 아크 용접 로봇 시스템이 필수적이다. Jouaneh 등은 동시 제어가 가능한 6축 수직다관절 로봇트와 직선형 포지셔너를 구비한 로봇 시스템 하에서 모서리 부위 용접 문제의 해결 방안을 용접 궤적을 클로소이드 곡선을 이용하여 제시하였다.[1] 그러나 포지셔너의 이동변위를 공식화하지 못하였고 복잡한 과정을 요구하였으며 일반 현장에서 많이 사용되는 회전형 포지셔너의 작업 환경에 관한 연구는 이루어지지 못하였다.

본 연구는 모서리 부위를 가진 용접물의 로봇 용접을 위하여 동시 제어가 가능한 수직 다관절 6축 로봇과 회전형 포지셔너를 구비한 작업 환경에서 연구하였으며 용접 궤적을 클로소이드 곡선으로 하여 포지셔너의 이동변위(직선형)와 회전 변환(회전형)을 공식으로 제시한다.

2. 용접 궤적 생성

2.1 클로소이드(Clothoid) 곡선

클로소이드 곡선은 비선형 스플라인으로 곡률이 호의 길이에 대하여 선형적으로 변하는 평면 곡선이다. 이 곡선은 고속도로 설계에서 주로 사용되는 곡선으로써 운전자가 도로의 커브에서 가속도를 일정하게 하면서 핸들을 계속적으로 회전할 때 형성되는 곡선이다. 즉, 곡률을 연속적으로 줄일 때 그려지는 곡선 형태이다.[1][2][3]

클로소이드 곡선의 일반형은 식(1)과 같다.

$$P = P_0 + \int_0^s e^{k\theta} ds \quad (1)$$

$$\phi = c_0 + c_1 s + c_2 s^2$$

$$c_v = \frac{d\phi}{ds} = c_1 + 2c_2 s$$

$$c_u = \frac{dc_v}{ds} = 2c_2 \text{ (constant)}$$

s는 호의 길이, c_v 는 곡률, c_u 는 sharpness, curl ratio, 縮率이며, ϕ 는 호의 길이(arc length)의 변화에 따른 곡률 반경의 변화된 각도이다. 그리고 식(1)에서 Clothoid curve의 정의에 따라 호의 길이에 따라 선형적으로 변하며 그 변화 기울기가 sharpness이고 상수임을 알 수 있다.

H. Makino 등은 무차원 변수 S를 도입하였는데, 호의 길이를 곡선 섹먼트(curve segment)의 길이(h)로 나누어 나타내었다.[3] 이를 식으로 나타내면

$$S = \frac{s}{h}, \quad 0 \leq S \leq 1$$

로 나타낼 수 있으며 식(1)을 무차원 변수 S로 다시 나타내면

$$P = P_0 + h \int_0^S e^{k\theta} dS \quad (2)$$

$$\phi = \phi_0 + \phi_v S + \phi_u S^2$$

$$c_v = \frac{d\phi}{dS} \frac{dS}{ds} = \frac{1}{h} (\phi_v + 2\phi_u S)$$

$$c_u = \frac{dc_v}{dS} \frac{dS}{ds} = \frac{1}{h^2} (2\phi_u)$$

ϕ_0 는 시작각(초기각)이며 ϕ_v 는 원회전각, ϕ_u 는 곡률 변화각이다.

여기에서 S=0에서 곡률 반경이 무한대이어야 곡률 반경에 의해 그려지는 궤적이 직선이 되므로 원회전각은 0이어야 한다. 식(2)과 Fig.1에서 최종 위치(S=1)일 때의 각을 ϕ_1 라하면 $\phi_1 = \phi_0 + \phi_u$ 이며 이를 $\phi_1 - \phi_0 = \phi_u$ 로 나타낼 수 있다.

2.2 한 쌍의 클로소이드 곡선

곡률 변화각이 같으며 축틀이 일치하는 두 개의 클로소이드 곡선을 Fig.2와 같이 서로 연결한 한 쌍의 클로소이드

곡선을 용접 궤적으로 이용한다.

$$P_0 \sim P_1 \text{ 구간에서 임의의 위치 } P_{0-1} \text{는}$$

$$P_{0-1} = P_0 + h \int_0^S e^{i(\phi_0 + \phi_u S^2)} dS \quad 0 \leq S \leq 1 \quad (3)$$

이다.

$$P_1 \sim P_2 \text{ 구간에서 임의의 점 } P_{1-2} \text{는}$$

$$P_{1-2} = P_1 + h \int_S^1 e^{i(\phi_1 - \phi_u(1-S)^2)} dS \quad 0 \leq S \leq 1 \quad (4)$$

이다.

3.3 비대칭의 클로소이드 곡선

Fig.3과 같이 포지셔너의 중심과 용접물의 도형 중심이 일치하지 않을 때 한 쌍의 클로소이드 곡선은 곡률 변화율이 서로 이치가 되지 않는 곡선을 이루게 된다. 두개의 클로소이드 곡선은 $\phi_{u0} \neq \phi_{u1}$, $h_0 \neq h_1$ 이지만 곡률은 P_1 점에서 일치해야 한다. 그러므로 식(2)로부터

$$h_1 = \frac{h_0 \phi_{u1}}{\phi_{u0}} \quad (5)$$

이어야 한다.

$$\text{임의의 위치 } P_{0-1} \text{는}$$

$$P_{0-1} = P_0 + h_0 \int_0^S e^{i(\phi_0 + \phi_u S^2)} dS \quad 0 \leq S \leq 1 \quad (6)$$

$P_1 \sim P_2$ 구간에서 임의의 위치 P_{1-2} 는

$$P_{1-2} = P_1 + h_1 \int_0^S e^{i(\phi_1 - \phi_u(1-S)^2)} dS \quad 0 \leq S \leq 1 \quad (7)$$

가 된다.

3.4 용접물 상의 용접 위치와 포지셔너에 의한 이동 범위 직선형 포지셔너에서 용접물의 이동은 Fig.4와 같이 1축 직선 운동을 하고, 변화된 길이는 $P_1' - P_1 - P_1''$ 이며 y방향으로만 존재하고 변화된 길이는 Fig.5에서 Δy 이다. Fig.5는 Fig.4의 $P_0 \sim P_1$ 구간으로써 ϕ_0 만큼 회전한 그림이다.

Fig.5에서 Δy 는

$$\Delta y = \frac{h \int_0^S \sin(\phi_u S^2) dS}{\cos \phi_0} \quad 0 \leq S \leq 1 \quad (8)$$

그러므로 직선형 포지셔너상의 꼭지점의 위치는 $P_1' + \Delta y$ 이다.

회전형 포지셔너의 경우는 직선 이동인 Δy 를 1축 회전형의 경우는 포지셔너의 중심에서 P_1 (용접물상의 꼭지점)까지의 길이가 원운동을 하는 호의 길이 성분으로 한다. Corner부위에서 가장 문제가 되는 P_1 좌우에서 Jouaneh 등의 논문에서 검증이 된 직선형의 이동과 거의 유사한 형상을 가지며, 용접물이 다각형일 경우 다음 꼭지점까지 이동하여 모서리 부위 용접이 가능하게 된다. 2축 회전형 포지셔너의 경우 용접선이 이루는 평면의 회전 중심에서 1축 회전축에 수직이 되는 수선의 길이를 회전 반경으로 하여 Δy 의 변위를 호의 변위로 하여 계산한다. 회전형 1축의 경우보다 회전 반경이 길므로 회전 변화량을 줄일 수 있다. 2축 회전각은 1축 회전각과 크기는 같고 방향이 반대인 각으로 변화한다. 그리고 비대칭의 경우 2축을 비대칭각만큼

회전하여 한 쌍의 클로소이드 곡선을 이루도록 할 수 있다.

4. 용접 궤적으로 이용 가능한 클로소이드 곡선 형태

모서리 부위 용접 문제를 해결하기 위해 로봇과 포지셔너가 그리는 용접 궤적을 위해 Fig.6과 같이 두 가지 타입(A-type, B-type)으로 나누었다.

A type은 $\phi_u(\phi_1 - \phi_0)$ 가 B type보다는 작으며 직선형 포지셔너와 2축 회전형 포지셔너를 구비한 용접에서 이용한다. 반면 B type은 ϕ_u 의 변화가 A type보다 크며 로봇 토치의 방향이 곡률 중심 방향과 다르기 때문에 토치 방위 제어가 어렵고 1,2축 회전형 포지셔너에 사용한다. 용접물상의 점들의 구역은 용접곡선(클로소이드) 이전의 단위 시간당 이동 거리를 기준 길이로 등분하였으며 용접곡선상의 구역도 동일 기준 길이로 나누어 표시하였다. 이는 로봇 토치의 전위를 일정하게 하면서 방위 변환을 부드럽게 하기 위한 것이다. 용접물상의 가상 용접 구역수보다 실제 용접 구역의 수가 많이 있는 것을 볼 수 있으며 B type보다 A type의 구간이 많음을 볼 수 있다.

5. 회전형 1,2축 포지셔너와 수직다관절 로봇의 작업 환경에서의 용접 계획

5.1 수직 다관절 6축 로봇과 회전형 1축 포지셔너의 용접 계획

Fig.7에서와 같이 Clothoid curve를 B type으로 한다. B type은 용접물상의 용접선에 수직으로 하는 용접 자세가 초기각(ϕ_0) 이상을 넘지 않기 때문에 x축을 중력 방향으로 하고 용접 자세가 초기각 ϕ_0 보다 크게 되어 1축 회전형의 A type보다는 하향 용접에 가깝게 된다. 직선형 포지셔너의 이동량 식(8)으로 구해지는 직선형 포지셔너의 변화된 길이를 포지셔너 중심에서 용접물의 꼭지점(P_1)까지의 길이가 포지셔너의 중심을 중심으로 원운동을 하는 길이로 하였다. 이를 위해서 식(3), 식(4)에서 y축의 직선 변화량(Δy)을 제하고 이 제거량으로 부터 회전각을 구하여 회전 변환을 실행한다.

초기 용접물상의 위치를 x_0' , y_0' 라 할 때, 용접물상의 용접 위치(x', y')는

$$x' = x_0' + h \int_0^S \cos(\phi_0 + \phi_u S^2) dS \quad (9)$$

$$y' = y_0' + h \int_0^S \sin(\phi_0 + \phi_u S^2) dS - \frac{h \int_0^S \sin(\phi_u S^2) dS}{\cos \phi_0}$$

포지셔너의 중심에서 용접물 꼭지점(P_1)까지의 길이를 L , P_1 에서 P_0 초기 위치까지의 회전각을 θ_0 라 하면 회전각을 θ 는

$$\theta = \theta_0 - \frac{h \int_0^S \sin(\phi_u S^2) dS}{\cos \phi_0 \cdot L} \quad (10)$$

포지셔너의 중심에서의 좌표 $P(x, y)$ 는

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (11)$$

로 구할 수 있다.

비대칭일 경우는 식(5)으로 부터 1-2구간만 h_1 을 구하고 식(9),(10),(11)에 대입하여 $P(x, y)$ 를 구한다.

5.2 수직 다관절 6축 로봇과 회전형 2축 포지셔너의 용접 계획

2축 회전형의 경우 포지셔너와 용접물의 도형 중심이 일치하지 않을 경우의 제어가 편리하며 긴 회전 반경을 사용하므로 포지셔너의 각의 변화가 적다. Fig.8은 2축 회전형 포지셔너를 보이고 있다. 클로소이드 곡선의 형태는 A type을 따르도록 하였다.

Fig.9에서와 같이 포지셔너 1축, 2축 회전각을 각각 θ_1 , θ_2 라 정의한다. 그리고 1축 회전형과 마찬가지로 직선형 y축 변화량을 호의 길이 변화로 하였다. 단 2축 회전각 θ_2 는 1축 팔(Arm)로 부터 얻어지는 길이 L(Fig.8)을 반지름으로 하여 식(8)의 y 변화량만큼 회전시켜 1축 회전각 (θ_1)을 구하고 $\theta_1 = -\theta_2$ 로 놓아 구한다. 이는 용접물의 자세가 직선형과 같이 초기각(ϕ_0)을 유지하기 위해서이다.

비대칭이어서 포지셔너와 용접물이 일치하지 않을 경우 편심된 각(α) 만큼 θ_2 를 회전시켜 초기 조건들을 직선형과 일치시키고(double Clothoid curve의 ϕ_0 를 일치) 다시 포지셔너와 용접물이 일치하는 경우처럼 이동 좌표점을 구하면 된다.

6. 결론

Corner 부위 용접을 위해서는 두 용접선이 만나는 지점에서 순간 용접 속도가 0이 되며, 한 평면의 용접선에 적절한 용접 자세가 다음 용접선에 적절한 용접 자세로의 로봇트치의 방위 변환이 너무 급격하여 방위 변환이 적절히 이루어지지 않게 되며, 방위 변환을 위한 용접 속도를 줄이면 용입량이 과다하거나 적게 되어 불안정한 용접이 이루어지게 된다. 이를 해결하기 위해서는 동시 제어가 가능한 6축 로봇 컨트롤러를 구비한 로봇과 포지셔너의 구축이 필요하다.

용접 궤적으로는 평면 비선형 곡선으로써 곡률의 변화가 호의 길이(arc length)에 따라 선형적으로 변화하고 곡선 부위 초기가 직선과 곡률이 일치하여 부드러운 이동이 가능한 클로소이드 곡선을 선택하였다. 그러나 평면 클로소이드 곡선을 회전형 포지셔너의 환경에서의 이용이 부적절하므로 용접 궤적 곡선을 용접물상의 용접 위치와 포지셔너의 직선 이동 부분으로 구분하였으며 포지셔너의 직선 이동 부분을 회전형 포지셔너의 회전 중심에서 일정한 거리를 반지름으로 하는 회전 이동 변위로 하여 해결하였다. 그리고 적용 가능한 Clothoid curve 두 가지 타입을 제시하였으며 각각의 타입을 하향 자세에 가깝도록 1,2축 회전형 포지셔너와 6축 로봇의 작업 환경을 예로 용접 계획을 세웠다.

7. 참고 문헌

- [1] M. K. Jouaneh, Zhixiao Wang and D. A. Dornfeld, "Trajectory Planning for Coordinated Motion of a Robot and a Positioning Table : Part 1-Path Specification", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 6, No. 6, pp.735~745, 1990.
- [2] H. Makino, "Clothoid Interpolation-A New Tool for High-Speed Continuous Path Control", annals of the CIRP Vol. 37/1, pp 25~28, 1988.
- [3] H. Makino, "Clothoid Interpolation of Freely Given Point Series Using Tangent Method", JSPE, Vol. 60, No. 1, 1994.

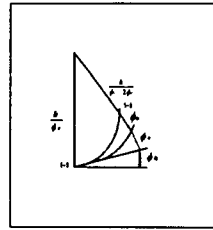


Fig.1 Clothoid segment

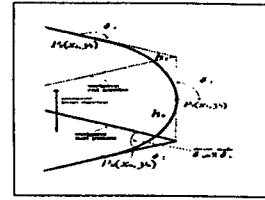


Fig.2 Double Clothoid curve

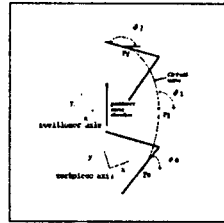


Fig.3 Unsymmetrical Clothoid curve

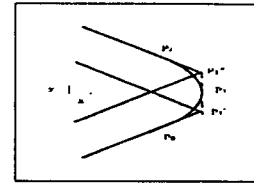


Fig. 4 Positioner path(P1'-P1-P1'')

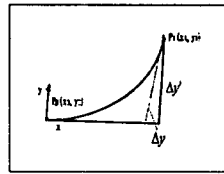


Fig. 5 Moving length of positioner(P0~P1)

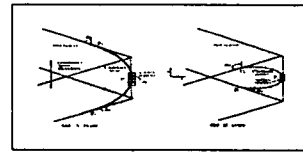


Fig. 6 Two type of the Clothoid curve

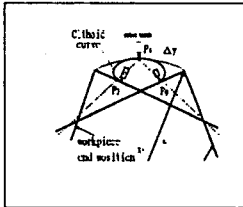


Fig. 7 Trajectory plan of a rotation positioner and robot

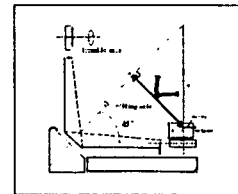


Fig. 8 2-axis-positioner having tilting axis

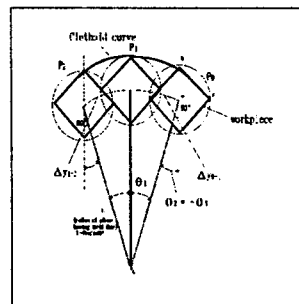


Fig. 9 Trajectory plan of 2 axis rotaty positioner and 6 axis robot