韓國精密工學會 '94年度 秋季學術大會論文集 pp.446～449

다용접선/다층 로보트 용접을 위한 공정 계획
Process Planning for Multi-weldline/Multi-pass Robot Welding

최진섭*(전북대 대학원), 김동원, 양성모(전북대)
J.S.Choi, D.W.Kim, S.M.Yang (Chonbuk Univ.)

ABSTRACT : Presented in this paper is the process planning for multi-weldline/multi-pass robot welding. First, downhand welding for welding quality and stability for welding productivity, the two concepts of process planning for single-weldline/single-pass robot welding are derived. Next, process planning procedure for single-weldline/single-pass robot welding is proposed and the procedure is extended for multi-weldline and/or multi-pass robot welding.

1. 서론

아크 용접은 산업용 로보트의 중요한 응용 분야 중 하나이다. 오프-라인 프로그래밍(off-line programming)을 이용해 로보트 아크 용접을 수행하기 위해서는 사전에 효과적인 용접 공정 계획이 요구된다. 로보트 용접 공정을 용접선의 갯수와 층용접의 형태에 따라 분류하면 Table 1과 같이 네 가지 경우가 있을 수 있다.

Table 1. Classification of welding process planning according to weldline and layer types

pass / weldline	single	multi
single	Single-Weldline, Single-Pass	Single-Weldline, Multi-Pass
multi	Multi-Weldline, Single-Pass	Multi-Weldline, Multi-Pass

우선, 2장에서는 단일 용접선(single weldline)을 단층(single pass)으로 용접하는 경우만을 고려하는데, 하향 용접을 위한 공정 계획 및 용접 생산성을 고려한 공정 계획에 대해서 언급한다. 그리고 3장에서는 2장에서 고려한 단일 용접선/단층인 경우의 공정 계획 절차를 다용접선(multi-weldline) 또는 다층(multi-pass)용접인 경우로 확장하였다.

2. 단일 용접선/단층 용접을 위한 고려사항

하향 용접 자세(downhand welding position)는 다음 식 (1)과 같이 용접점의 법선 벡터가 중력 반대 방향을 향하는 자세이다.

$$[\ {}^{O}N\ ] = [\ 0,\ 0,\ 1\ ]^{T} \qquad (1)$$

where O : workcell coordinate, N : normal vector of weld point with respect to O

용접 구조물이 포지셔너 상에 놓여 있을 경우, 임의의 용접점이 하향 용접 자세를 만족하기 위해서는 다음이 식이 성립하여야 한다[1,2].

$$[\ {}^{P}R_{Q}\ ]\ [\ {}^{Q}R_{S}\ ]\ [\ {}^{S}N\ ] = [\ 0,\ 0,\ 1\ ]^{T} \qquad (2)$$

where R : 3×3 rotating matrix,
P,Q,S : positioner, positioning table, weld workpiece coordinates each.
${}^{S}N$: normal vector of weld point with respect to S

그리고 Fig. 1과 같은 포지셔너를 이용할 경우 [${}^{Q}T_{S}$] 및 [${}^{P}T_{Q}$]는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}[\ {}^{Q}T_{S}\ ] &= \mathrm{Trans}(x,x_w)\ \mathrm{Trans}(y,y_w)\ \mathrm{Rot}(z,\theta_3)\\ [\ {}^{P}T_{Q}\ ] &= \mathrm{Trans}(z,d_1)\ \mathrm{Rot}(x,-90^\circ)\ \mathrm{Rot}(z,\theta_1)\\ &\quad\ \mathrm{Rot}(x,90^\circ)\ \mathrm{Rot}(z,\theta_2)\ \mathrm{Trans}(z,d_2)\end{aligned} \qquad (3)$$

식 (3)을 이용하여 식 (2)를 다시 쓰면 다음과 같다[2].

$$\begin{bmatrix} \cos(\theta_1)\cos(\theta_{23}) & -\cos(\theta_1)\sin(\theta_{23}) & \sin(\theta_1) \\ \sin(\theta_{23}) & \cos(\theta_{23}) & 0 \\ -\sin(\theta_1)\cos(\theta_{23}) & \sin(\theta_1)\sin(\theta_{23}) & \cos(\theta_1) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} {}^{S}N_x \\ {}^{S}N_y \\ {}^{S}N_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

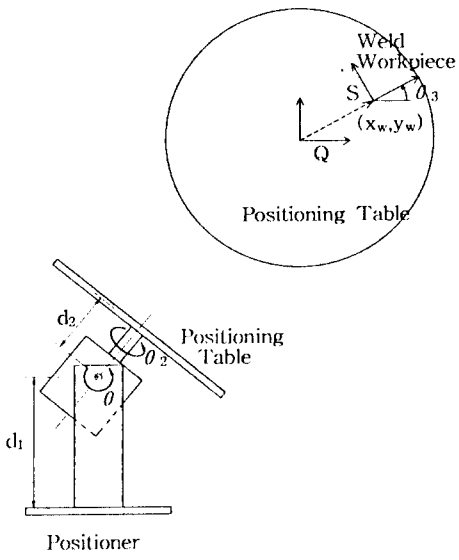

Fig. 1 Kinematic structure of a positioner

식 (4)로부터 하향 자세를 만족시키기 위한 포지셔너의 관절값 θ^*_1 및 θ^*_2 및 포지셔너를 움직였을 때, 변화된 용접점의 좌표를 구할 수 있다[2].

용접 부위의 방향 정의는 크게 두 용접판의 방향 정의와 두 용접판에 대한 토치의 방향 정의로 나눠 볼 수 있다. 두 용접판의 방향 정의를 위해서 많이 쓰이는 방법은 용접 경사각(θ)과 용접 회전각(ψ)으로 표현하는 것이다. 용접 경사각과 용접 회전각이 모두 0인 경우 하향 용접 자세가 된다. 또한 두 용접판에 대한 토치의 방향 정의는 작업 각도(α)와 이송 각도(β)로 표현될 수 있다. 용접 경사각, 용접 회전각, 작업 각도 및 이송 각도의 변화가 용접 작업에 미치는 영향을 다음과 같이 안정도(stability)라 정의하자.

$$\text{Stability} = f(\theta, \psi, \alpha, \beta) \quad (5)$$

그러면 로보트 용접 작업을 위한 최소 안정도($\text{Stability}_{\text{limit}}$)로부터 로보트 용접 작업을 위한 조건식을 다음과 같이 표현할 수 있을 것이다[3].

$$\text{Stability} > \text{Stability}_{\text{limit}} \quad (6)$$

용접 부위에 토치가 접근 가능한 방향들 중에서 조건식 (6)을 만족하는 영역을 따로 안정 영역(stable area)이라고 정의하자. 안정 영역 내부의 모든 토치 방향에 대해서 로보트 용접 작업이 가능하므로, 안정 영역이 증가하면 용접 생산성도 증가한다. 또한 안정 영역 내부의 모든 토치 방향의 안정도는 로보트 용접 작업을 위한 최소 안정도보다 크므로, $\text{Stability}_{\text{limit}}$가 증가하면 용접 품질도 증가한다.

3. 다용접선/다층 로보트용접을 위한 공정계획

단일 용접선을 단층 용접하는 경우 용접선(weldline)을 입력받아 하향 용접을 위한 새로운 용접선(new_weldline)을 출력하는 절차는 다음과 같다. 만저 용접선이 직선(line)인 경우 하향 용접을 실행한다면 2절의 알고리즘을 적용한 Downhand_Welding 함수를 이용하여 새로운 포지셔너의 각도와 변환된 용접선(new_weldline)을 구한다. 용접선이 곡선(spline)인 경우는 Spline_To_Lines 함수를 이용하여 일련의 직선 용접선으로 변환시킨 후 용접선이 직선인 경우와 동일하게 처리한다.

```
PROCEDURE SingleWeldline_SinglePass (weldline; VAR
                                        new_weldline);
BEGIN
  IF ( weldline = line ) THEN
    new_weldline := Downhand_Welding(weldline);
  ELSE BEGIN
    lines := Spline_To_Lines(spline) ;
    new_weldline := Downhand_Welding(lines);
  END;
END;
```

이때 용접판들의 공간상의 결합 관계를 나타내는 Joint Feature, 용접판의 재질과 구성 조건을 표현한 Material Feature, 용접 부위의 형상에 따른 Groove types, 기하 데이터로부터의 변동 가능한 길이 또는 각의 허용오차(tolerance)를 표현한 Precision Feature등의 Feature 데이터는 Feature 화일에, 용접선(weldline)과 용접선의 법선 벡터 및 용접판 구조물 등의 Geometry 데이터는 Geometry 화일에 이미 저장되어 본 단계의 입력으로 활용된다고 가정한다[4]. 또한 전압, 전

류, 용접 시간 간격(time interval)과 Wire feedrate 등의 용접 파라미터는 일반적인 용접 기술 DB에서 얻어 진다고 가정한다.

단일 용접선을 다층 용접하는 경우에는 위의 SingleWeldline_SinglePass 절차를 적용하여 하향 용접을 위한 새로운 용접선을 구한 후, 열변형을 줄이기 위한 time_interval 및 groove_type[4]을 고려하여 오프셋 벡터와 층의 갯수를 구한다.

많은 용접선을 단층 용접하는 경우에는 작업물 변형에 영향을 주지 않는 범위 내에서 포지셔너를 움직이지 않고 몇 개의 용접선을 모아 즉, 그룹화하여 용접을 수행하는 방법과 그룹화 하지 않고 각 용접선마다 하향 용접을 수행하는 방법이 있다. 법선 벡터가 비슷한 용접선들의 그룹화 과정과 이에 관련된 함수 및 절차가 Fig.2에 나타나 있다.

```
PROCEDURE MultiWeldline_SinglePass (weldlines,Group_Yes;
                                        VAR multi_weldline);
BEGIN
  IF( Group_Yes = TRUE ) THEN
  BEGIN
    groups:= Grouping (weldlines);
    FOR i := 1 TO num_group DO
      new_group:= Sequence_Plan(groups[i]);
      rep_weldlines[i]:=Repre._Weldline(groups[i]);
      new_rep_weldline[i]:=Downhand_Welding(rep_weldlines[i]);
      new_weldlines[i]:=Weldline_P_Transform (group[i],
                                    new_rep_weldlines[i].p_angle);
    END;
    g_sequence:=Group_Sequence(rep_weldlines);
    multi_weldline:=Make_One_List(new_groups, g_sequence);
  END;
  ELSE BEGIN
    sorted_weldlines:=Sequence_Plan(weldlines);
    FOR i := 1 TO num_weldline DO
      SingleWeldline_SinglePass(sorted_weldlines[i];
                                    VAR new_weldlines[i]);
      multi_weldline:=Array_To_List(new_weldlines);
    END;
  END;
END;
```

Fig.3은 excavator 중요 부분품중 centerframe의 3개의 용접선을 MultiWeldline_SinglePass 절차를 따라 용접하는 예이다. Fig.3의 a)는 3개의 용접선을 그룹화하여 가운데 용접선을 기준으로 하향 용접을 위한 포지셔닝을 시킨 후 용접하는 예이다. 즉, 첫번째와 세번째 용접선을 용접할 때에는 토치가 하향 용접 자세는 아니지만 안정 영역의 내부에는 존재하는 경우를 나타낸다. Fig.3의 b)는 3개의 용접선을 각각 하향 용접하는 예이다.

4. 결론

본 연구에서는 다용접선/다층 로보트 용접을 위한 공정 계획에 대하여 알아보았다. 우선 단일 용접선/단층 용접인 경우에 대하여, 품질 향상을 위한 하향 용접 및 생산성 향상을 위한 안정도 개념을 적용한 공정 계획 절차를 제시하였다. 그리고 이를 확장하여 다용접선/다층 용접을 고려한 공정 계획 절차를 제시하였다.

참고문헌

1. Shaheen Ahmad and Shengwu Luo, "Coordinated Motion Control of Multiple Robotic Devices for Welding and Redundancy Coordination through Constrained Optimization in Cartesian Space," IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol 5, No 4, pp 409-417, 1989.

2. 김동원, 최진섭, 남궁희정, 양성모, "로보트 용접 공정 계획을 위한 포지셔너의 활용," 韓國精密工學會誌, 第11卷, 第3號, 1994.

3. C. K. Shin, H. S. Cho, "On the Generation of Robotic Assembly Sequences Based on Separability and Assembly Motion Stability," Robotica, Vol 12, pp 7-15, 1994.

4. 김동원, 양성모, 최진섭, "용접판 구조물의 설계를 위한 Feature 기반 모델링 시스템," 韓國精密工學會誌, 第10卷, 第4號, 1993.

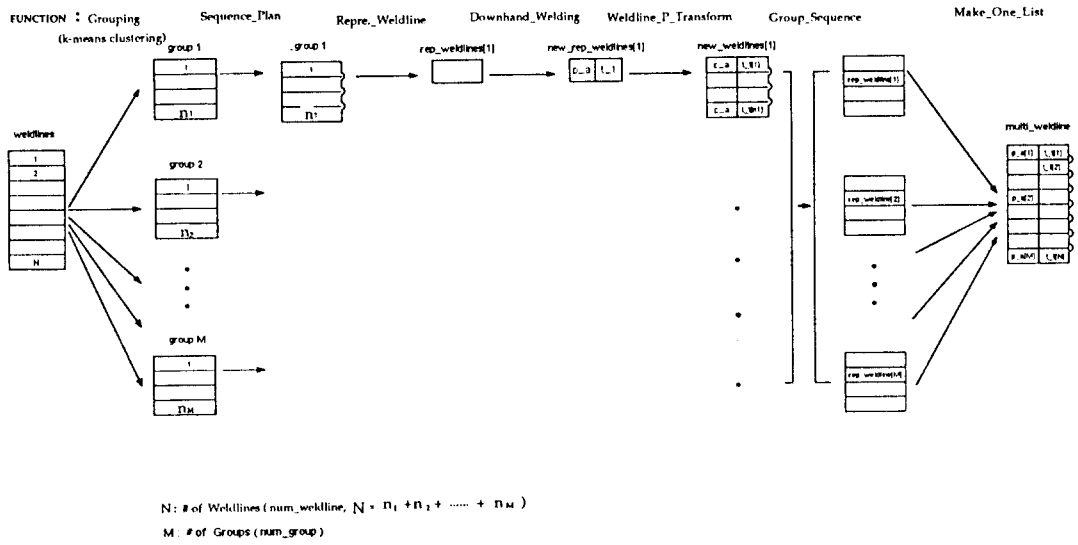

Fig.2 Grouping for multi-weldline process planning

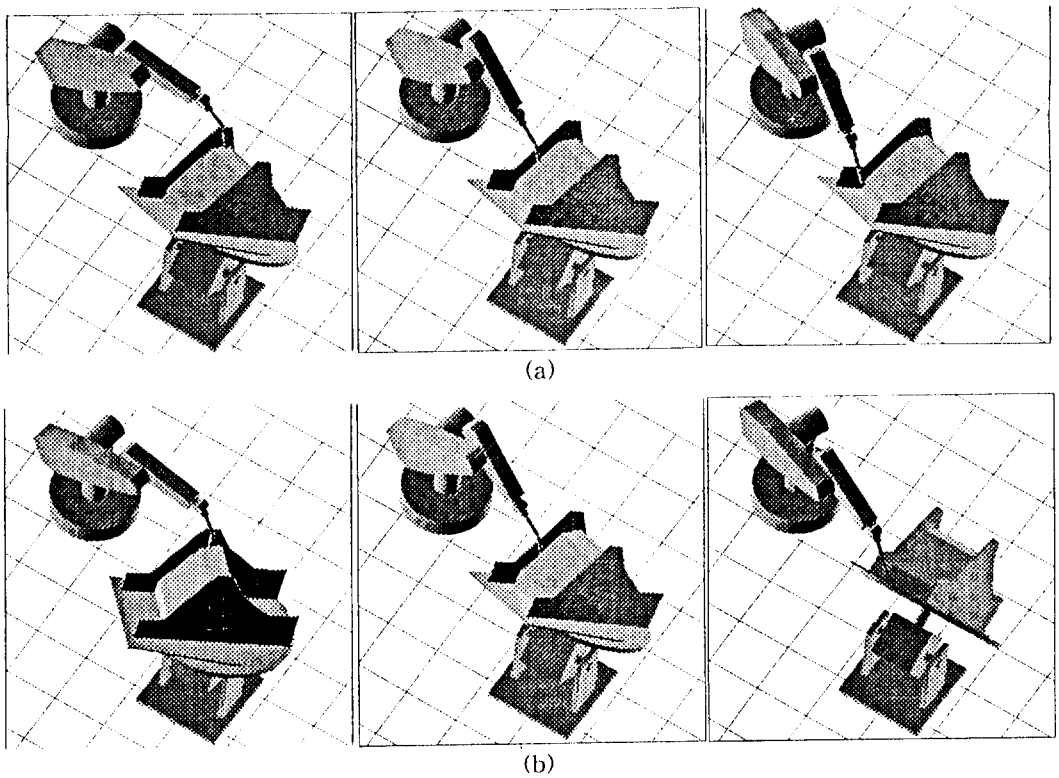

Fig.3 Examples of multi-weldline and single pass