

이 연구는 1991년도 한국과학재단의 연구비 지원(913-0913-007-1)에 의한 결과임.

가공데이터로 주어진 곡면 간의 블렌딩

주 상 윤*, 전 차 수**

Blending between Machining Data of Surfaces

Sang-Yoon Ju*, Cha-Soo Jun**

ABSTRACT

This paper proposes a method for obtaining blend surfaces between machining data of surfaces. This blending algorithm consists of triangulation, detection, tracing, construction of blend surfaces, and generation of machining data for the blend surfaces. Inputs of the algorithm are a blend radius and machining data of surfaces to be blended. CL data as well as CC data can be applied as an input machining data of the algorithm.

Key Words : Blend Surface(블렌드 곡면), Blending Algorithm(블렌딩 알고리즘), CC data(공구 접촉 데이터), CL data(공구 위치 데이터), NC Machining(NC 가공)

1. 서 론

두개 이상의 곡면들이 교차하는 모서리에서는 응력 집중을 방지하거나 제조를 용이하게 하기 위하여 블렌드 곡면을 도입하여 곡면의 모서리 부위를 부드럽게 하는 것이 일반적이다. 이와 같은 블렌드 곡면들은 설계도면 상에 자세하게 묘사되지 않는 대신 블렌딩이 필요한 base 곡면과 블렌드 반지름을 명시하는 것이 보통이다. 곡면 블렌딩에 관한 연구는 기하 모델링에서 많은 관심이 집중된 분야로 음함수식, 매개함수식, 양함수식으로 정의된 곡면에 대하여 상당수의 연구가 이루어져 왔다(1-7).

그러나 곡면으로부터 NC가공을 위한 가공데이터를 생성하여 저장한 이후에 가공 데이터로 주어진 곡면들을 블렌딩해야 할 경우 이에 관한 연구는 이루어진 바 없다. 만약 가공데이터로 주어진 곡면간의 블렌딩이 필요

할 때 가공 데이터의 원 곡면을 찾아 블렌딩 곡면을 형성하고 그로부터 블렌드 곡면의 가공데이터를 생성하는 것은 매우 비효율적이다. 더우기 가공 데이터들이 여러 다른 유형의 곡면들로 이루어진 복합곡면(Compound Surface)으로부터 얻어진 경우 복합곡면에 대하여 블렌딩을 시도하는 것은 사실상 불가능하다. 그러므로 주어진 가공데이터로부터 직접 블렌드 곡면의 가공데이터를 형성하는 블렌딩 알고리즘을 개발하는 것이 필요하다.

본 연구에 주어진 가공데이터는 가공곡면으로부터 일정한 경로를 따라 얻어진 CC(Cutter Contact) 데이터이거나 혹은 CL(Cutter Location) 데이터이다. 이때 CC 데이터는 공구 접촉점과 그 점에서의 단위 법선벡터로 이루어지는 반면에 CL 데이터는 공구 경로점만으로 이루어진다.

* 울산대학교 산업공학과

** 경상대학교 산업공학과(정회원)

2. CL 데이터와 CC 데이터

모델링된 곡면을 NC 가공하려면 계획된 가공경로를 따라 CC 데이터 혹은 CL 데이터를 생성하게 된다. 그림 1과 같이 가공곡면에서 CC 데이터 즉 공구접촉점 P_c 와 그 점에서 단위 법선벡터와 n 이 주어졌을 때 공구경로점 P_L 은 다음과 같이 계산된다.

$$P_L = P_c + R(n - u) \quad (1)$$

여기서 R : 공구의 반경, u =공구 축의 단위벡터 즉 $(0, 0, 1)$.

CL 데이터는 공구의 정보에 의존하므로 NC 가공을 위한 공구가 바뀌는 경우 이미 얻어진 CL-데이터들은 더 이상 사용할 수 없게 된다. 이와 같은 문제점 때문에 CC 데이터를 저장하고 필요할 때마다 CL 데이터를 계산하기도 한다.

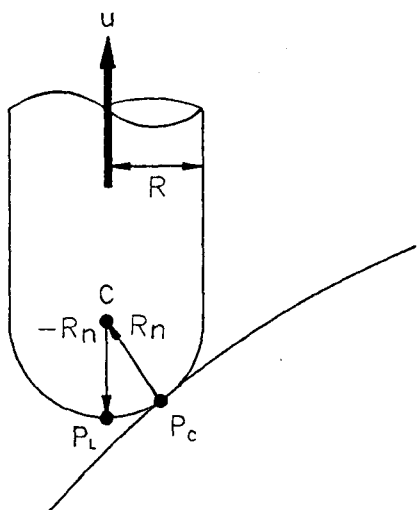


Fig.1 Determination of CL data

블렌딩 알고리즘을 다루기에 앞서 CC 데이터가 주어지지 않고 CL 데이터만 주어진 경우, CL 데이터 P_L 로부터 CC 데이터 즉 (P_c, n) 를 추정하는 방법을 살펴 보도록 하자. 볼 앤드밀의 경우 그림 1에서의 같이 공구의 볼 중심 C 는 공구접촉점 P_c 를 공구의 반지름 R 만큼 윗쪽의 점이며 CL 데이터 P_L 로부터 다음과 같이 계산된다.

$$C = P_L + Ru \quad (2)$$

원 가공곡면에 대하여 윗쪽의 C 와 공구접촉점 P_c 의 법선벡터는 동일하므로 윗쪽의 점들을 이용하여 법선벡터 n 을 추정할 수 있다. 그림 2에서 윗쪽 데이터들은 일정한 경로를 가지므로 동일한 데이터 경로 상에서 점 P 에 이웃해 있는 점 Q, R 과 이웃한 두 데이터 경로에서 점 P 에 가장 가까이 위치한 점 S, T 를 각기 취하여 얻어진 4삼각면의 단위법선벡터 n_i 를 가중평균 한다. 이때 가중치는 Choi⁽⁸⁾의 방법을 따라 각 삼각형에서 점 P 와 마주보는 변의 중심점과의 거리 d_i 를 제곱한 값의 역수로 정한다.

$$n = \{\sum(n_i/d_i^2)\} / |\sum(n_i/d_i^2)| \quad (3)$$

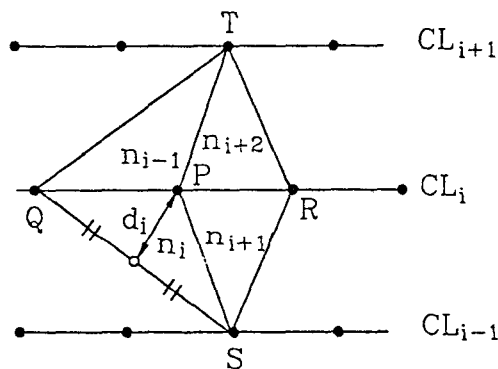


Fig.2 Normal vector at points within a machining surface

만약 데이터 경로가 가공곡면의 경계에 위치한 경우 그림 3과 같이 오직 하나의 이웃한 데이터 경로가 존재하게 된다. 이와 같은 경우에는 4점 P, Q, R, S 를 포함하는 구면을 형성하여 이로부터 법선벡터를 추정한다.

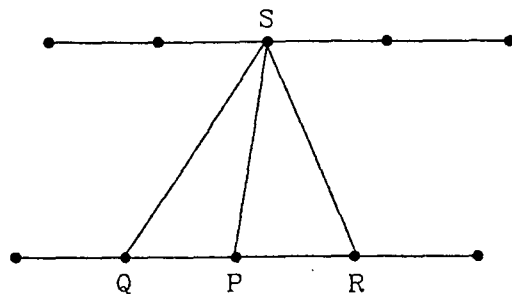


Fig.3 Normal vector at points on a boundary of a machining surface

식 (3)에서 추정된 법선벡터 n 을 이용하여 공구접촉점 P_c 는 다음과 같이 얻어진다.

$$P_c = P_L - R(n - u) \quad (4)$$

식(3)과 식(4)에 의하여 CL 데이터로부터 CC 데이터(P_c, n)이 추정된다.

3. 윙셋 다면체의 형성

가공데이터가 CL 데이터로 주어진 경우 이들은 CC 데이터로 전환될 수 있다. 이제 주어진 CC 데이터 경로 상의 CC 위치점들을 삼각형만으로 연결하여 각 삼각형을 면으로 채우면 삼각 다면체를 얻게 되는데 이를 CC 다면체라 부르기로 한다. 본 연구에서는 이웃한 두 CC 데이터 경로들에 대하여 다음의 절차를 이용하여 삼각형망을 형성하였다.

알고리즘(삼각형망의 형성)

1. 두 경로 P, Q의 첫점 P_1, Q_1 를 연결하고 $i=1, j=1$ 로 정한다.

2. 만약 $|P_i - Q_{j+1}| < |Q_j - P_{i+1}|$ 이면 Q_j 과 P_{i+1} 를 연결하고 i 에 $i+1$ 을 대입한다. 그렇지 않으면 P_i 와 Q_{j+1} 을 연결하고 j 에 $j+1$ 을 대입한다. P, Q중 어느 경로에서도 마지막 점에 도달하지 않았다면 2를 반복한다.

3. P_i 가 경로 P의 마지막 점인 경우 경로 Q에서 남은 점들을 P_i 에 연결한다.

4. P_i 가 경로 Q의 마지막 점인 경우 경로 P에서 남은 점들을 Q_j 에 연결한다.

만약 두 CC 다면체들 간에 블렌드 곡면이 존재한다면 블렌드 곡면과 두 CC 다면체 간의 경계선은 두 CC 다면체 사이에 블렌드 반지름 d 를 반지름으로 갖는 공을 굴렸을 때 공의 접촉곡선(contact curve) 궤적과 일치하게 된다. 동시에 공의 중심 궤적은 두 CC 다면체를 블렌드 반지름 만큼 윙셋시킨 두 윙셋 다면체들간의 교선에 해당된다. 주어진 CC 데이터 (P_c, n)로부터 윙셋점 F는 다음과 같이 결정된다.

$$F = P_c + dn \quad (5)$$

단 d : 블렌드 반지름

4. 교차 삼각면 쌍의 발견

만약 CC 데이터로 주어진 두 곡면간에 블렌드 곡면이 존재한다면 두 윙셋 다면체들은 서로 교차하는 삼각면을 적어도 한 쌍 이상 가지게 된다. 각 윙셋 다면체로부터 삼각면 T1, T2를 취하였을 때 우선 T1의 각 변이 삼각면 T2와 만나는지를 검사한다. 만약 교점이 발견된다면 두 삼각면 쌍은 서로 교차한다. 그러나 교점이 발견되지 않는 경우에는 반대로 삼각면 T2의 각 변이 삼각면 T1을 지나는지 여부를 검사한다. 이와 같은 6차례에 걸친 검사로부터 교점이 발견되지 않는 경우 두 삼각면 쌍은 서로 만나지 않으므로 이들을 무시하고 다른 삼각형 쌍을 취하여 서로 만나는 삼각면 쌍이 발견될 때까지 동일한 검사를 반복한다.

5. 블렌드 곡면의 경계선 추적

탐색과정에서 교차하는 삼각면 쌍이 발견된 경우 이들은 한 교선 혹은 한점에서 서로 만나게 된다. 교선에서 만난 경우 교선의 양 끝점 중 하나를 '1차 출발점'으로 다른 한 끝점을 '2차 출발점'으로 정한다. 반면에 삼각면 쌍이 한점에서 만난 경우 이 교점은 1차 출발점인 동시에 2차 출발점이 된다. 이들 출발점들은 윙셋 다면체의 교선을 추적하기 위한 초기점으로 이용된다.

탐색 단계에서 발견된 교차 삼각면 쌍을 A_0, B_0 라고 하고 이들 간의 교선을 I_0 라고 하자. 만약 1차 출발점이 삼각면 A_0 의 어느 한 변에 위치하였다고 할 때 그 변을 공유하면서 A_0 에 이웃한 새로운 삼각면 A_1, B_0 와의 교선 I_1 을 구하여 I_0 에 연결한다. 이와 같은 방법으로 교차하는 삼각형 쌍을 연속적으로 찾을 수 있으므로 이들로 부터 얻어진 교선 I_0, I_1, I_2, \dots 을 순차적으로 연결한 polyline은 윙셋 다면체의 교선이 된다. 윙셋 교선의 추적은 다음 조건에 도달할 때 중단한다.

- 1) 교선을 연장할 이웃한 삼각면이 존재하지 않을 때
- 2) 2차 출발점에 도달하였을 때

윙셋 교선이 열린 곡선인 경우 1차 출발점으로부터 시작한 교선의 추적이 중단되면 2차 출발점으로부터 반대방향을 따라 교선의 나머지 부분을 추적하여 얻어진 두 교선들을 함께 연결한다. 반면에 윙셋 교선이 닫힌 곡선인 경우에는 1차 출발점에서 시작된 교선의 추적은 2차 출발점에 도달할 때까지 지속된다.

polyline인 윤셋 교선의 마디점(knot point)들을 r_0, r_1, \dots, r_n 이라고 할 때 각각의 마디점들은 관련된 윤셋 삼각면에 대하여 Barycentric 좌표값으로 나타낼 수 있다. 예를 들어 마디점 r_0 가 두 윤셋 삼각면 AO와 BO의 교선의 한 끝점일 때 두 삼각면 AO, BO에 대한 점 r_0 의 Barycentric 좌표값을 각각 $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3), (\phi_1, \phi_2, \phi_3)$ 이라고 하자. 이때 윤셋 삼각면 r_0 에 대응하는 두 CC 다면체 상의 점 p_0, q_0 는 다음과 같이 정할 수 있다.

$$p_0 = \lambda_1 v_3 + \lambda_2 v_1 + \lambda_3 v_2 \quad (7-a)$$

$$q_0 = \phi_1 w_3 + \phi_2 w_1 + \phi_3 w_2 \quad (7-b)$$

여기서 (v_1, v_2, v_3) 는 윤셋 삼각면 AO의 꼭지점 (V_1, V_2, V_3) 에 대응하는 CC 위치점이며 (w_1, w_2, w_3) 는 윤셋 삼각면 BO의 꼭지점 (W_1, W_2, W_3) 에 대응하는 CC 위치점이다.

윤셋 교선 상의 모든 마디점 $\{r_0, r_1, \dots, r_n\}$ 과 그에 대응하는 CC 다면체 상의 점 $\{(p_0, q_0), (p_1, q_1), \dots, (p_n, q_n)\}$ 들을 2중 링크트 리스트로 저장하고 이들 BBKP(blend boundary knot points)-list라고 부르기로 한다. 일련의 점들 $\{p_0, p_1, \dots, p_n\}$ 과 $\{q_0, q_1, \dots, q_n\}$ 을 각기 직선으로 연결한 두 polyline은 블렌드 곡면과 CC 다면체 간의 경계선이 된다.

6. 블렌드 곡면의 형성

BBKP-list로 부터 취한 ball contact point p_0, q_0 와 윤셋 점 r_0 간의 거리는 정확히 블렌드 반지름 d 를 유지하지 못한다. 그러므로 그림 4와 같이 p_0, q_0 를 양끝점으로 가진 원호의 중심점 c 와 중간점 m_0 는 다음과 같이 결정된다.

$$c = (p_0 + q_0)/2 + e(d^2 - h^2)^{1/2} \quad (8)$$

$$m_0 = c - u(d/\cos\theta) \quad (9)$$

여기서

$$e = (n \times f)/|n \times f|, \quad f = q_0 - p_0,$$

n : p_0, q_0, r_0 를 지나는 평면의 단위 법선벡터,

$h = |q_0 - p_0|/2, \quad d$: 블렌드 반지름,

$$\theta = \cos^{-1}(a \cdot b)/2, \quad a = p_0 - c, \quad b = q_0 - c.$$

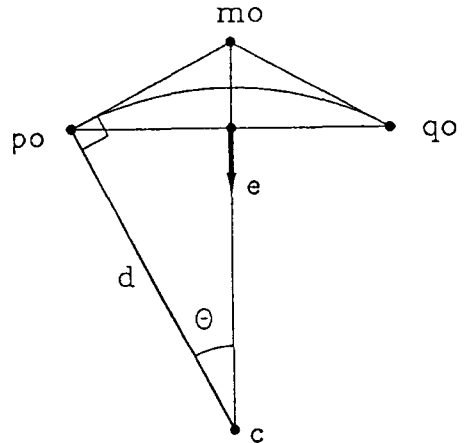


Fig.4 Determination of center and mid-point of an arc

p_0, m_0, q_0 를 조종점으로 갖는 2차 rational Bezier 곡선 $b_0(v)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$b_0(v) = \frac{(1-v)^2 p_0 + 2w(1-v)v m_0 + v^2 q_0}{(1-v)^2 + 2w(1-v)v + v^2} \quad (10)$$

식 (10)에서 w 는 rational Bezier 곡선 $b_0(v)$ 의 fullness를 좌우하는 weight이며 $w = \cos\theta$ 일 때 $b_0(v)$ 는 점 c 를 중심으로 하는 원호와 일치한다⁽⁹⁾.

BBKP-list 내에 저장된 데이터 $(p_0, q_0, r_0), (p_1, q_1, r_1), \dots, (p_n, q_n, r_n)$ 에 대하여 식 (8)-식 (10)을 적용하면 cross sectional curve $b_0(v), b_1(v), \dots, b_n(v)$ 를 얻게 된다. 이웃한 cross sectional curve $b_i(v), b_{i+1}(v)$ 를 ruled 곡면으로 보간하여 블렌드 곡면 $r_i(u, v)$ 를 형성하면 다음과 같다.

$$r_i(u, v) = (1-u)b_i(v) + ub_{i+1}(v); \quad 0 \leq u, v \leq 1 \quad (11)$$

7. 블렌드 가공데이터의 생성과 예

형성된 블렌드 곡면으로부터 NC 가공을 위한 CC 데이터는 곡면의 등경곡선을 따르는 parametric 가공 방식을 따라 생성될 수도 있고 지정된 절삭평면과 블렌드 곡면의 교선을 따라 Cartesian 가공방식에 의하여 생성될 수도 있다. 만약 경제성을 고려하여 CC 데이터

를 생성하고자 할 경우에는 직선 보간 길이를 결정하는 허용오차와 경로간 간격을 고려해야 하며 이에 관하여는 Choi⁽¹⁰⁾를 참조한다. 곡면의 가공데이터가 CL 데이터로 주어진 경우에는 블렌드 곡면으로부터 생성된 CC 데이터를 식 (1)에 의하여 CL 데이터로 전환시킨다.

그림 5는 두 Bezier 가공곡면으로부터 얻어진 CC 데이터가 parametric 가공 경로를 따라 주어졌을 때 블렌딩된 CC 데이터들을 보여주고 있다. 그림 5-a의 블렌드 CC 데이터 경로는 section 방향을 따라 얻어졌으며 그림 5-b에서는 블렌드 CC 데이터가 sweep 방향을 따라 생성되었다. 이때 경계선 밖으로 벗어난 블렌드 곡면은 CC 다면체의 경계에 있는 삼각형을 경계 밖으로 연장하여 구한 것이다. 그림 6에서는 두 Bezier 가공곡면에 대하여 Cartesian 가공경로를 따라 주어진 CC 데이터로부터 Cartesian 방식에 의하여 얻어진 블렌드 CC 데이터를 보여주고 있다. 주어진 가공곡면과 블렌드 곡면의 CC 데이터는 동일한 경로를 따라 생성되었으므로 적절한 크기의 공구를 사용한다면 이들은 한꺼번에 가공될 수 있을 것이다. 그림 7은 그림 5에서 주어진 가공곡면의 CC 데이터들을 CL 데이터로 바꾼 후 이들을 블렌딩한 것이다. 이때 블렌드 곡면의 가공 데이터는 sweep 방향을 따르는 CL 데이터로 얻어졌다.

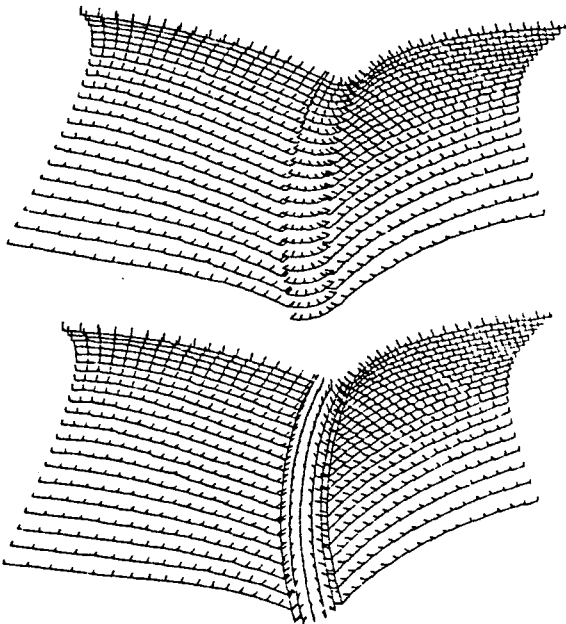


Fig.5 Blending of CC data with a parametric tool path

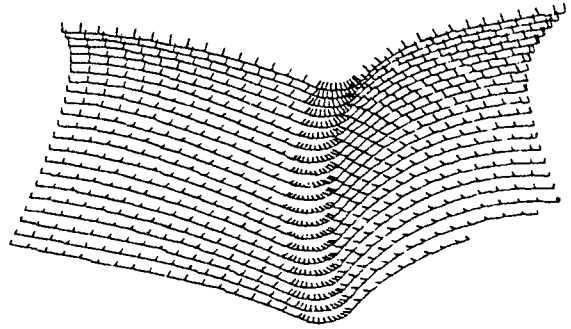


Fig.6 Blending of CC data with a Cartesian tool path

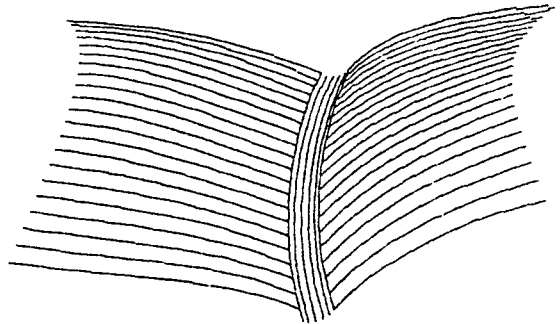


Fig.7 Blending between CL data of surfaces

8. 결 론

본 연구에서는 가공데이터로 주어진 곡면을 블렌딩하는 방법을 제시하였다. 본 블렌딩 알고리즘은 가공되어야 할 곡면의 가공데이터와 블렌드 반지름이 주어졌을 때 블렌드 곡면에 대한 가공데이터를 생성할 수 있으며 CC 데이터는 물론 CL 데이터로 주어진 가공데이터에 대하여도 적용가능하다. 또한 본 연구에서 제안한 방법은 삼각형만으로 이루어진 다면체 곡면간의 블렌딩에도 적용될 수 있다. 본 연구는 반지름이 변하는 경우에 대한 블렌딩과 3개 이상의 곡면이 만나는 곳에서의 코너블렌딩에 관한 연구로 확장될 필요가 있다.

참고문헌

1. Rossignac, J R and Requicha, A A G, "Constant-radius blending in solid

- modelling", CIME, July, Vol.3, No.1, pp.65-73, 1984.
2. Rockwood, A P and Owen, J C, "Blending surfaces in solid modelling", in Geometric Modelling : Algorithms and New Trends, (Farin, G E., ed.) SIAM, pp.367-383, 1987.
 3. Hoffman, C and Hopcroft, J, "The potential method for blending surfaces and corners", in Geometric Modelling : Algorithms and New Trends, (Farin, G E., ed.) SIAM, pp.347-365, 1987.
 4. Holmstrom, L, "Piecewise quadric blending of implicitly defined surfaces", CAGD. Vol.4, pp.171-189, 1987.
 5. Choi, B K and Ju, S Y, "Constant-radius blending in surface modelling", CAD, Vol.21, No.4, pp.213-220, 1989.
 6. Ju, S Y "Construction of Blend Surfaces in Surface Modelling", Ph.D Dissertation, KAIST, 1989.
 7. Ju, S Y, "비 매개변수 곡면의 블렌딩", 대한 산업 공학회지, Vol.17, No.1, 1991.
 8. Choi, B K, Surface Modeling for CAD/CAM, Elsevier, 1991.
 9. Farin, G E, Geometric modeling : algorithms and new trends, SIAM, 1987.
 10. 최병규, NC 절삭가공과 CAM 시스템, 청문각, 1988.
 11. Faux, I D and Pratt, M J, Computational geometry for design and manufacture, Ellis Horwood, Chichester, UK 1980.