

Ball End Mill에 의한 실시간 3축 NC 가공을 위한 gouging 제거에 관한 연구

공 영 식* 조 시 완 양 균 의
(전북지방공업기술원) (전북대 대학원) (전북대 기계공학과)

Abstract

본 논문은 gouging이 있는 free-formed parametric surface 모델로부터 간섭영역을 찾아 공구간섭을 검사하고 이를 제거하여 실시간으로 3축 NC가공을 할 수 있는 방법을 제안한다.

제안되는 방법은 parametric surface로부터 cartesian경로를 따라 offset surface를 구하고 정의된 가공평면과의 교차곡선을 구하는 것에서부터 시작한다.

교차곡선으로부터 간섭 loop의 형성 여부를 검사함으로써 간섭영역을 찾을 수 있고 간섭을 제거하기 위해 간섭영역내의 모든 CC점이 공구 중심으로부터 최소한 공구를 벗어나 위치하도록 공구를 공구의 축방향으로 이동시켰다.

이 논문은 free-formed surface의 gouging 부위에서 발생하는 공구간섭을 신속히 제거하고 CL data를 생성하여 실시간으로 3축 NC 가공을 하기 위한 하나의 접근이다.

속으로 근사하여 다음 공구 step을 구하기 위해 전체 교차곡선에 대한 주기적인 계산을 하였다.

자유형상 곡면을 실시간으로 가공하기 위한 공구경로 생성에 있어서 기본적인 요구사항은 공구경로를 따르는 공구와 곡면과의 간섭문제가 고려되어야 하고 공구 step length는 절삭표면 조건과 공차에 따라서 조정이 가능해야 한다. 특히 간섭문제를 고려할 때, 이들 곡면을 가공하기 위한 CL data는 공구와 곡면과의 간섭을 피하기 위해서 볼록부위에서 발생하는 overcutting도 또한 방지하기 위한 부가적인 점들이 삽입되어야 하고 오목부위에서 곡면의 곡률 반경이 공구의 반경에 비해 작은 영역에서 발생하는 gouging으로 인한 undercutting을 방지하기 위한 간섭 loop가 제거되어야 한다. gouging을 피하기 위해 Choi and Jun(1989)은 두 잇따른 점들의 오목성과 볼록성을 초기에 판정하고 surface와 공구기하학을 이용하여 CC data를 간섭이 없는 CL data로 변환하였고 Wysocki et al.(1993)는 곡면의 법선과 공구의 직선운동에 의해 발생하는 편차를 이용하여 곡률 변동이 큰 부위에서 gouging을 감지하기 위해 모든 공구경로의 전방적인 특성을 고려하였다.

이 논문에서는 off-line 가공에서의 문제점인 가공물의 정밀도와 NC 제어기의 기억용량 사이의 tradeoff문제를 없애기 위해 gouging이 있는 free-formed parametric surface로부터 offset surface를 구하고 cartesian경로를 따라 가공평면을 정의하고 가공평면과의 교차곡선을 구할 때 간섭 발생 가능 영역을 찾아 CC data를 생성할 때 간섭발생 영역에 대해서만 간섭을 제거토록 하여 On-line방식인 실시간 3축 NC가공의 새로운 방법을 제시하였다. 제시된 방법은 공구경로가 Cartesian경로를 따르고 모든 계산을 간단히 하기 위해 정의된 가공평면은 부품과 수직하며 공작기계의 X축 또는 Y축과 평행하게 정의되었고 가공평면과 offset surface를 X-Y평면으로 mapping하여 계산하였고 여기서 얻어진 이들 평면의 교차곡선을 따라 공구간섭을 탐색 제거하였다.

1. 서론

심미적 기능이 요구되는 부품의 자유형상 설계에 free-formed parametric surface가 널리 이용되며 현재 산업현장에서 주로 이들 자유곡면을 가공하기 위해 off-line 공구경로(CL data) 생성 과정을 이용하고 있다. off-line 공구경로 생성 방법은 NC code 생성기에서 CAD data로부터 공구경로가 만들어지고 이것을 CNC 제어기로 보내는데 엄격한 공차를 갖는 복잡한 자유곡면을 절삭할 때 off-line NC code 생성기는 주어진 공차를 만족하는 유연한 곡면을 가공하기 위해서 매우 작은 step의 CL data를 만들어 내야 한다. 이것은 방대한 양의 메모리 공간을 차지하게 되고 생성된 CL data를 여러 배치로 나누어 각각의 배치를 차례로 CNC 제어기로 보내야 하는 단점이 있다.

일반적으로 공구경로 생성에는 첫째로 APT에 기초를 둔 공구경로 생성방법, 둘째로 직교좌표계에 의한 공구경로 생성방법, 셋째로 매개변수에 의한 공구경로 생성방법의 3가지 형태로 크게 나눌 수 있다. 이상의 방법은 각각 상호 보완적인 장단점을 가지고 있으나 off-line 공구경로 생성방법에서는 이들의 공통적인 단점이 있다. 공구경로의 정밀도 수준과 총 기억용량사이의 적당한 tradeoff이 항상 존재한다는 것이다. 이러한 단점을 해결하기 위해 곡면의 정확도와 기억용량 사이의 tradeoff 문제를 보완하고 자유곡면을 절삭하기 위한 실시간 공구경로 생성에 대한 연구가 Y.D.Chen, J.Ni and S.M.Wu(1993) 등에 의해 이루어져 왔다. 이들은 가공평면과 offset surface와의 교차곡선을 구하여 곡선과 최대 허용편차를 만족하는 선형 segment들의 연

2. offset surface

자유 형상을 가지는 매개적 자유곡면의 식은 다음과 같이 주어진다.

$$S(u, v) = (X(u, v), Y(u, v), Z(u, v)) \quad (2.1)$$

where u, v : 매개변수

매개변수 u, v 값이 결정되면 매개변수적 자유곡면식(2.1)으로부터 곡면위의 한 점의 좌표 $P(x, y, z)$ 를 얻을 수 있다. 곡면

상의 한 점은 CC data(Cutter Contact data)가 되고 CL data (Cutter Location data)는 이 CC data 접하도록 놓여진 공구의 중심점 좌표이다. 하나의 CC data에 대응하는 CL data는 곡면 상의 그 점으로부터 곡면에 수직인 방향에 있다.

곡면 $S(u, v)$ 에 대한 법선 벡터 $N(u, v)$ 는 다음과 같다.

$$N(u, v) = \frac{\begin{vmatrix} \frac{\partial S(u, v)}{\partial u} \times \frac{\partial S(u, v)}{\partial v} \\ \left| \frac{\partial S(u, v)}{\partial u} \times \frac{\partial S(u, v)}{\partial v} \right| \end{vmatrix}}{\quad} \quad (2.2)$$

곡면 $S(u, v)$ 로부터 공구반경 거리에 있는 offset surface $O(u, v)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$O(u, v) = S(u, v) + d \cdot N(u, v) \quad (2.3)$$

where d : 공구반경

3. 공구경로 계획

3.1 가공평면의 결정

실시간 공구경로를 생성하기 위해 여기서 제안하는 새로운 알고리즘에서는 가공평면과 offset surface와의 교차곡선을 얻는 것으로부터 시작한다. 공구경로는 가공평면과 offset surface와의 교차곡선에 있다. 가공평면은 XYZ 공간에서 정의된 임의의 일반 평면식으로 나타낼 수 있다.

$$AX + BY + CZ + D = 0 \quad (3.1)$$

XYZ공간상에서 위의 가공평면의 방향과 위치는 계수 A, B, C, D 를 변화시킴으로써 쉽게 정할 수 있다. 한편 가공평면의 계수 A, B, C, D 는 절삭방향 (i, j, k) 과 초기점 $P(x, y, z)$ 로부터 구해질 수 있다. 가공평면이 정의되면 offset surface와의 교차곡선은 다음 식으로부터 얻어진다.

$$AX(u, v) + BY(u, v) + CZ(u, v) + D = 0 \quad (3.2)$$

본 연구에서는 이 교차곡선을 구하기 위해 XYZ 공간상의 가공평면과 offset surface를 X-Y평면으로 mapping시키고 step length와 path interval을 만족하는 가공평면상의 다음 가공점에 해당하는 offset surface $O(u, v)$ 의 매개변수 u, v 의 값을 순차적으로 구해나간다.

3.2 Step Length와 Path Interval

XC 가공에서는 대개 인접한 CL data를 선형 segment들의 연속으로 근사화 한다. 이에 따라 인접한 두 점을 잇는 현과 곡선과의 편차 δ 가 존재하는데 최대 허용편차 δ 가 입력 파라메타로 주어지면 공구 step length L 은 다음과 같이 구해진다.

$$L^2 = 4\delta(2\rho - \delta) \quad (3.3)$$

where, ρ : 곡률반경

또한, 가공경로 사이에서도 공구의 흔적(cusp)이 남는데 최대 허용 cusp height h 가 입력 파라메타로 주어지면 path interval ΔL 은 다음과 같이 구해진다.

$$\Delta L = \frac{\rho((4R+\rho)^2(h+\rho)^2 - (\rho^2 + 2R\rho + (h+\rho)^2)^2)^{1/2}}{(R+\rho)(h+\rho)} \quad (3.4)$$

4. 교차곡선 구하기

4.1 시작점의 결정

두개의 매개변수 곡면의 교차곡선을 구하기 위해서는 양곡면에 충분히 가까이 있는 첫 시작점과 이 점의 접선벡터를 구한다. Barnhill은 양 곡면에 대해 작은 patch를 둘러싼 bounding box를 만들어 주어진 flatness와 선형조건이 만족될 때까지 분할계산한 평면을 시작점으로 생각하였다. 그러나 이 방법은 많은 계산과 메모리를 소모한다. Musellheim은 곡면을 격자점들로 나누고 이 격자점들의 함수 값, 미분 값, 교차각에 의해서 결정되는 조건 값보다 작은 점들을 찾는 작업을 반복함으로써 시작점을 구한다. 그러나 조건식을 결정하는데 있어서 속련이 필요하다.

본 논문에서는 gouging이 있는 free-formed parametric surface를 가공하기 위한 공구간섭을 제거하기 위해서 가공평면과 offset surface와의 교차곡선을 구하여야 하는데 교차곡선을 구하기 위해서는 offset surface와 가공평면과 교차하기 시작하는 시작점의 선정이 중요하다. 시작점을 결정하기 위해 먼저 offset곡면에서 주어진 cusp height, step length를 만족하는 매개변수 (u, v) 경로를 따르는 CL data를 구하고 CL data의 성분 x, y, z 가 각각 최소값, 최대값을 갖는 6개 점의 좌표와 그 점을 포함하고 있는 patch를 구한다. 다음은 가공평면이 X-Z평면과 평행하고 $P(x, y_{min}, z)$ 점을 지나게 또는 Y-Z평면과 평행하고 $P(x_{min}, y, z)$ 점을 지나게 정의한다. 이때 시작점은 전자의 경우 $P(x, y_{min}, z)$ 점, 후자의 경우는 $P(x_{min}, y, z)$ 점이 된다. 주어진 cusp height를 만족하는 path interval이 결정되고 곡면의 경계점들이 구해지면 가공평면은 곡면의 경계점을 지나고 x축 또는 y축에 평행하게 정의되고 이때 곡면의 경계점들은 시작점으로 간주된다.

4.2 간섭 loop의 교차점

계획된 Cartesian공구 경로로 매개적 자유곡면식(식 2-1)을 이용해 생성된 자유곡면은 X, Z평면에서 이루어진 곡선의 조합으로 이루어져 있다. 그래서, offset surface에서 만약 간섭 loop가 발생했다고 한다면(여기서 오목 부위간섭만 생각한다.) y값을 고려치 않은 곡선을 얻을 수 있다. 즉, X, Z평면에 부사된 교차곡선으로부터 loop가 시작되는 CC점과 loop가 끝나는 점을 구한다. 그러면 loop의 시작점과 loop의 끝점사이에 있는 모든 점들은 간섭발생가능한 cc점이 된다. 따라서 간섭 발생 가능할 CC점들을 구하기 위해 다음과 같은 절차를 수행한다.

Offset surface와 가공평면과의 교차곡선에 대해

- ① 교차곡선을 선형 segment로 근사화 한다.
- ② DDA알고리즘을 이용해 두 점사이(offset surface상의)를 일정간격으로 분할한다.
- ③ 그 점들을 모두 화일이나 배열에 저장한 후 교차되지 않는 점은 false로 교차된 점에 대해선 true로 지정한다.(Fig.1)

5. 결론

본 연구에서는 gouging이 있는 free-formed parametric surface 모델로부터 offset surface를 구하고 가공평면을 정의하여 이들의 교차곡선을 따르는 tool path에 대해 국부적인 간섭검사를 통해 gouging 부위에서의 공구간섭을 제거하는 실시간 NC 공구경로 생성을 위한 새로운 방법이 제시되었다. 제시된 방법은 다음과 같은 특징이 있다.

- ① 가공평면과 offset surface와의 교차곡선은 복잡한 계산 절차없이 간단히 얻게 되었다.
- ② 국부적으로 곡면과의 간섭검사를 수행하고 공구를 공구축방향으로 이동시켜 간섭을 제거하였고 실시간 tool path생성으로 곡면의 정밀도와 기억용량사이의 tradeoff 문제를 해결하였다.

6. 참고문헌

1. Y.D.Chen, J.Ni, and S.M.Wu, "Real-time CNC Tool Path Generation for Machining IGES Surfaces," Sensors, Controls, and Quality Issues in Manufacturing ASME 1993, pp.187-199
2. Choi, B.K. and Jun,C.S., "Ball-end Cutter Interference Avoidance in NC Machining of Sculptured Surfaces," Computer-Aided Design, Vol.21, No.6, 1989, pp.371-378
3. J. H. Oliver, D. A. Wysocki, and E. D. Goodman, "Gouge Detection Algorithms for Sculptured Surface NC Generation," Journal of Engineering for Industry, Vol.115, Feb.1993, pp.139-144
4. R.E.Bornhill, F.Farin, M.Jordan, and B.R.Piper, "Surface / Surface Intersection," CAGD, Vol.4, 1987, pp.3-16
5. R.E.Barnhill and S.N.Kersey, "A Machining method for Parametric Surface/Surface Intersection," CAGD, Jul. 1987, pp.257-280, North-Holland
6. Gregor Müllenheim, "On Determining Start points for a Surface/Surface Intersection Algorithm," Computer Aided Geometric Design, Aug.1991, pp 401-408, North-Holland

- ④ 경로에 대한 offset data를 저장할 때는 그 경로의 시작 점에서부터 교차가 시작되는 offset surface상의 data까지 저장하고 loop가 끝나는 점부터 다시 저장한다.
- ⑤ True로 지정된 점들은 간섭 발생 가능한 CC점들이므로 "detected"로 저장한다.

4.3 간섭영역 지정

모든 가공 경로에 대해서 offset surface와 가공 평면과의 교차곡선들이 구해지면 loop를 형성하는 시작점과 끝점 사이에 있는 점들과 대응하는 CC점들이 공구와 간섭을 일으킬 가능성이 있는 점들이다. 이들 CC점들을 모두 "detected"로 저장한다. "detected"로 저장된 CC점들을 하나의 gouging을 이루는 CC점들을 찾고 이들을 linked list구조로 저장하여 group화시킨다. 이렇게 함으로써 offset surface와 가공평면과의 교차곡선을 따라 CL data를 구할 때 하나의 CL data에 대응하는 CC data가 "detected"로 되어 있다면 그 CC점이 속해있는 group화된 모든 CC점, 즉 linked list구조로 연결된 모든 CC점들에 대해 공구간섭 검사를 수행하게 된다. 그림 2에는 본 연구에서 사용한 간섭 발생영역에서의 CC점들에 대한 linked list구조를 보이고 있다. 여기서 $CC_{start}(X, Y, Z)$ 은 loop가 시작되는 CC점이고 CC_{end} 는 loop가 끝나는 점이다.

4.4 공구간섭의 제거

공구가 가공 경로에 따라 이동할 때 다음 가공점 즉 다음 CL data에 대응하는 CC data가 "detected"로 되어 있다면 "detected"로 되어 있는 CC점에 대응하는 offset surface상의 점에 공구의 중심을 놓는다. 여기서 공구의 중심이란 공구가 이동하는 좌표 즉 CL Data를 나타낸다.

공구와 곡면과의 간섭을 제거하기 위해서는 공구 중심점에 대해 다음의 절차를 따른다.

- ① 동일 group내의 CC 점들에 대해 linked list를 따라 공구중심점과 "detected"된 CC점과의 거리 계산을 한다. 계산된 값이 공구 반경보다 크면 제거 대상에서 제외된다.
- ② 계산된 값이 공구반경보다 적으면 그림 3의 기하학적 관계를 이용하여 δ 를 구한다. (그림 3 참고)
- ③ 동일 group내의 모든 CC점들에 대해 ①, ②의 과정을 수행하면서 δ 값이 가장 큰 δ_{max} 구한다.
- ④ δ_{max} 만큼 CL point를 공구축방향으로 이동시키고 다음의 CL 점에 대해 위의 ①②③과정을 반복한다.

위의 ①②③④과정을 "detected"로된 모든 CC점에 대해 linked list구조로 연결된 CC점들을 따라 반복하면서 얻어지는 CL data는 간섭이 제거된 CL data이다. 이렇게 얻어진 CL data는 물론 측면간섭까지도 제거된 CL data이다.

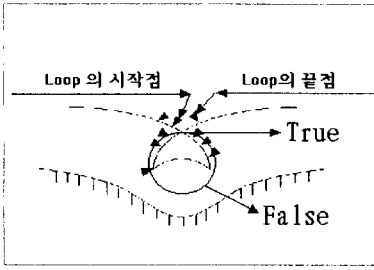


Fig.1 Loop의 시작점과 끝점

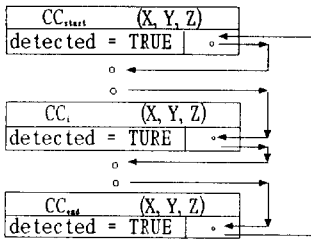


Fig.2 Linked list의 구조

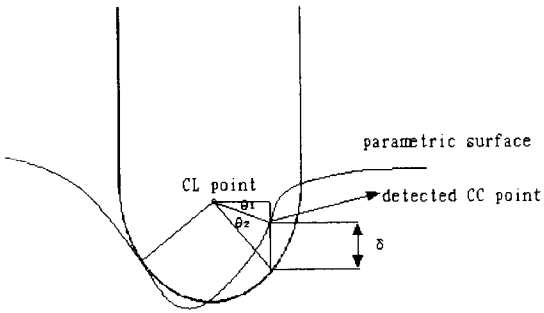


Fig.3 CL point와 "detected" CC point