論文 한국정밀공학회지 제13권 제9호 (1996년 9월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 13. No 9. SEPTEMBER. 1996.

해석적 복합 곡면 가공에 있어서의 공구 간섭 방지에 관한 연구

강 성 기*, 조 시 완*, 양 균 의**, 고 성 림***

A Study on the Avoidance of Tool Interference in Analytic Compound Surface Machining

Seong-Gi Kang*, Si-Wan Cho*, Gyun-Eui Yang**, Sung-Lim Ko***

ABSTRACT

Tool interference is one of the most critical problems in machining die cavities and punches. When machining concave or convex regions of cavities with large radius tool in rough cutting, the tool easily over-cuts or undercuts the portions of the surface, which result in machining inaccuracy. So the generation of interference-free tool path must be required for more efficient rough cutting.

In this paper, we present a method for modeling die cavities which consist of simple surface or analytic compound surfaces and present an algorithm for checking and removing the tool interference occurred in machining the die cavities. Using these algorithms, we can represent a die cavity, and check the interference regions, and then remove these interferences. Especially we focus on the side interference in the sides of analytic elements and base_surface boundary.

Key word : tool interference (공구간섭), die cavities(금형) , analytic compound surface(해석적 복합곡면)

1. 서 론

단순한 형태의 기계 부품에서부터 대량 생산을 목표로 하는 자동차, 항공기, 가전제품 등의 제작에서 금형은 중요한 역할을 담당하고 있다. 이러한 금형 제작에는 금형의 형상을 표현하는 효율적인 모델링 기법이 필요하며 이 모델링 정보로부터 실제 가공에 필요한 공구 경로 계획, 후처리, 황삭계획, 정삭계획, 가공 조건, 열수축 고려 등 여러 가지 고려해야 할 요소가 많이 있다. 특히 가공시 금형의 정밀도에 가장 영향을 많이 주는 요인이 공구 간섭 현상이다. 공구 간섭은 생산성의 향상을 위해 반경이 큰 공구로 가공할 때 발생하는 현상으로 간섭이 발생하면 공구가 곡면의 원하지 않는 부분을 깎게 되어 금형의 정밀도를 크게 저하시키게 된다. 실제로 현장에서 사용되는 금형 제품은 단일 곡면뿐 아니라 단일 곡면에 여러 가지 해석적 형상이 접합된 해석적 복합 곡면으로 이루어진 제품이 대다수이다. 따라서 다양한 금형 형상의 제작을 위해 해석적 복합 곡면이 사용되고 해석적 복합 곡면의 가

* 전북대학교 대학원
** 전북대학교 기계공학과
*** 건국대학교 기계설계학과

공시 곡면의 불규칙성으로 인해 공구 간섭 현상은 더욱 심화되어 단순히 오목 부위에서의 간섭뿐 아니라 볼록 부위의 간섭과 공구 측면에서의 간섭 등이 발생하여 정밀한 금형을 효율적으로 생산하기 위해 복합 곡면에서의 공구 간섭 현상에 대한 연구가 필요하다.

공구 간섭에 대한 기존의 연구 논문으로는 APT 방식[1], 다면체 근사 도형을 이용한 방식[2], 공구의 inverse offset을 이용한 방식[3], offset곡면의 교차곡선을 찾아 제거하는 방식[4], CC데이터와 offset 데이터간의 거리 검사를 통한 방식[5]등의 연구 결과가 발표되어 있다. 위의 연구는 주로 자유 곡면으로 이루어진 단일 곡면에서 발생하는 오목 간섭 현상을 취급하였고 복합 곡면에서의 공구 간섭 제거는 상업용 software에서 제시되어 있으나 상업적인 가치성 때문에 완전한 루틴의 제공은 제시되지 않고 있는 실정이다. 복합 곡면에서의 공구 간섭 제거에 대한 논문으로 filleting과 rounding 기법을 이용하여 해석적 복합 곡면에서의 간섭을 간접적으로 다룬 논문[6]이 제시되어 있고 다면체 근사 도형을 이용하여 매개적 복합 곡면에서의 간섭을 처리한 논문[7]이 제시되어 있으나 곡면 전체에 대한 정보를 사전에 가지고 있어야 한다는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 자유 곡면뿐 아니라 해석적 복합 곡면으로 이루어진 금형 제품의 모델링과 가공시 발생하는 문제 중 공구 간섭을 빠르게 검사하고 제거하는 알고리즘을 개발하고자 한다. 본 연구에서 제안하는 방식은 한번의 공구 이동에 따라 얻어지는 곡면의 데이터를 가지고 데이터간의 거리 검사를 통한 간섭 검사 방식[5]를 응용하여 간섭 영역을 검사하고 제거하고자 한다. 이 방식은 처리하는 데이터의 양이 적기 때 문에 처리 시간의 단축을 꾀할 수 있고 한번의 공구 이동에 대한 간섭이 없는 공구 경로를 얻을 수 있다. 특히 자유 곡면의 오목 부위에서 발생하는 간섭과 공구 측면에서 도형과 발생하는 측면 간섭 그리고 곡면의 볼록 부위에서 발생하는 간섭 문제를 빠른 시간에 검사하고 제거하고자 한다. 본 연구에서 개발한 공구 간섭 검사 및 제거 알고리즘을 검증하기 위하여 본 실험실에서 보유하고 있는 3축 DNC milling machine을 이용하여 실제 가공물을 선정하여 간섭 없는 곡면 가공을 수행하였다.

2. 복합 곡면의 표현

해석적 복합 곡면은 자유 곡면과 해석적 곡면의 합성으로 이루어진 곡면을 의미하고 본 논문에서 다루고자 하는 곡면이다. Fig.1에 해석적 복합 곡면의 한 예를 나타내고 있다. 그림에서 복합 곡면은 자유 곡면과 구와 원통 요소의 합성으로 표현되고 있다.

복합 곡면의 모델링에 주로 사용되는 solid modeling의 기법에는 형상을 정의하는 데이터의 구조에 따라 크게 CSG(Constructive Solid Geometry) 기법과 B-rep(Boundary Reprensentation)기법으로 나뉘는데 일반적인 quadratic 곡면이나 다면체 요소를 표현하는데는 CSG 기법이 사용되고 본 연구에서는 CSG 기법에 기초한 modeling 기법으로 해석적 곡면들을 나타내었다. Fig.2에 삼각뿔을 예로 하여 도형의 정의에 필요한 입력 데이터의 형식과 입력된 데이터를 바탕으로 계산한 도형의 형상을 정의하는 세부적인 데이터를 보이고 있다. 그림에서 다면체 도형은 도형의 꼭지점의 번호와 좌표만을 입력 데이터로 하여 도형을 이루는 각 면과 선분 등의 위상학적인 정보와 면과 선분을 정의하는 계수를 세부 정보로 계산하는 데이터 구조를 보이고 있다. Quadratic 도형의 경우 도형의 표준 방정식이 정의돼 있으므로 꼭지점의 좌표와 중심의 좌표 그리고 반경만을 입력데이터로 하여 도형을 정의하는 데이터 구조로 사용할 수 있다.

복합 곡면의 기저를 이루는 곡면은 자유 형상을 가지는 곡면으로 제시되어 있는 여러 가지 자유 곡면의 표현 방법을 이용하여 표현할 수 있다.

복합 곡면을 구성하는 여러 요소의 정의가 완료되면 이러한 여러 요소들간의 접합 관계를 표시하는 방법이 필요하고 이것을 boolean관계라고 한다. Fig.3은 복합 곡면의 한 예를 2차원 투영시켜 나타내고 있다. 그림의 복합 곡면은 자유형상의 기저면에 다면체 도형을 제거시키고 원통 형상을 첨가하여 이루어져 있다. 이 경우 복합 곡면 S는 다음과 같이 구성되어 있다고 할 수 있다. 즉, 기저 곡면 B를 정의하고, 원통 형상 C를 더하고, 다면체 R을 제거한다. 이 구성 관계를 다음과 같은 boolean 관계로 표현할 수 있다.

$$S = Base + Cylinder - \mathrm{Rectangle} \qquad (1)$$

일단 boolean관계를 이용하여 복합 곡면을 표현하면 다음과 같은 절차를 통하여 곡면 위의 점을 구할 수 있다. 첫 번째, 가공 영역 내에서 하나의 수선을 정의한다. 두 번째, 각각의 CSG 요소들과 이 수선과의 교차점을 찾는다. 여기서 CSG 요소란 해석적 도형을 의미하고 본 연구

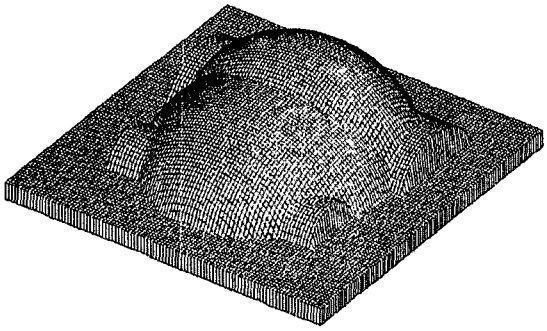


Fig.1 해석적 곡면과 자유곡면으로 이루어진 복합곡면

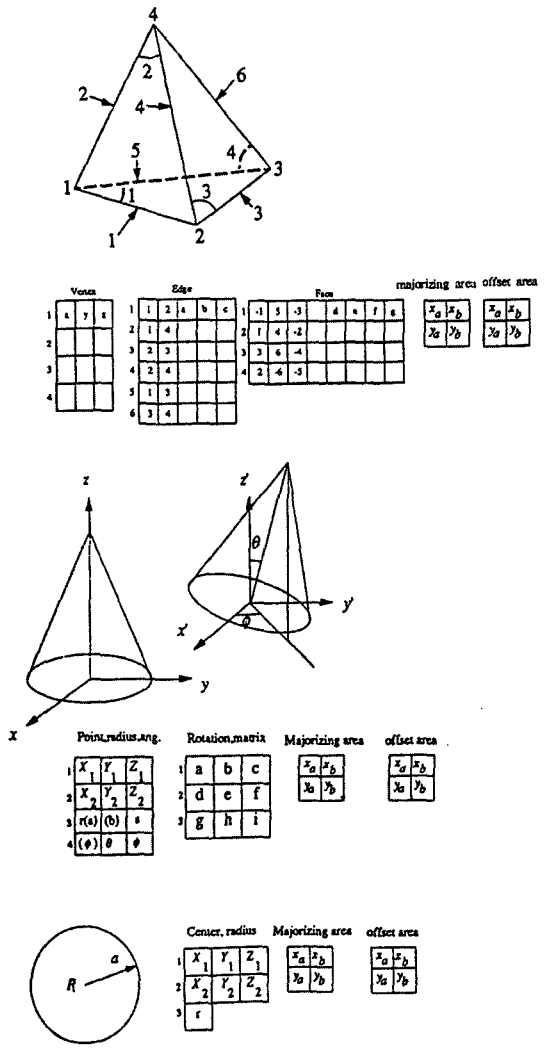


Fig.2 삼각뿔을 예로한 CSG 요소의 데이터 구조

에서 사용되는 도형들은 실제 solid가 아니고 볼록 형상을 가지는 폐곡면으로 최대 두개의 교차점을 가질 수 있다. 하나의 CSG요소에 대해 두곳에서 교점이 얻어지면 그 요소가 첨가되는 경우는 교점중 높은 값을 취하고 제거된 경우는 교점중 낮은 값을 취한다. Fig.3의 경우 원통은 첨가되있고, 다면체는 제거돼 있는 경우이다. 기저 곡면은 폐포성의 곡면이 아니므로 수선과 한곳에서만 교차한다. 마지막으로, 복합 곡면의 접촉 관계를 특정 짓는 boolean관계에 기초하여 하나의 수선에서 얻어진 교점중 하나의 점을 선택한다. Fig.3의 경우 $x = x_l$에서 정의되는 수선과 곡면과의 교점으로 각기 다면체와의 교점 Z_{sl}, 실린더와의 교점 Z_{s2}, 그리고 기저 곡면과의 교점 Z_b를 얻을 수 있다. 식(1)의 boolean 관계로부터 다음과 같은 식(2)를 정의할 수 있고 이 식으로부터 교점중에서 곡면의 접합관계를 만족하는 하나의 교점을 선택할 수 있다.

$$Z_s = \min(Z_{s2},\ \max(Zb,\ Z_{sl})) \qquad (2)$$

위의 식에서 보듯이 식(1)에서 더하기 연산은 최대치 연산으로 대체되고 빼기 연산은 최소치 연산으로 대체됨을 알 수 있다.

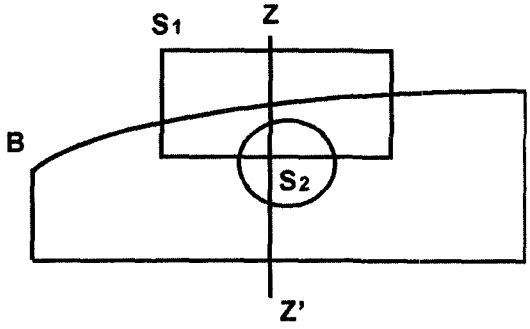


Fig.3 복합곡면의 boolean관계

3. 공구 접촉점(CC data) 계산

위상학적으로 다른 곡면들의 접합으로 이루어진 복합곡면의 가공에서 한 개의 매개변수를 선택하여 그 매개변수를 따르는 공구 경로를 생성하는 isoparametric 가공방식은 사용할 수 없으므로 통상적으로 Cartesian 가공방식을 이용한다.

본 연구에서는 X-Y평면에서 가공 영역을 정의하고 영

역을 일정한 방향(X방향 또는 Y방향)으로 공구 진행 방향을 결정하고 이 진행 방향으로 일정한 step으로 점군을 선택하여 이 각각의 점군에서 각 점을 지나고 공구축에 나란한 수직선을 정의하여 이 수선과 복합 곡면과의 교점을 계산하는 방식으로 복합 곡면의 공구 접촉점을 계산하고자 한다. 한 개의 공구 진행 방향에서 얻어지는 점군이 바로 한번의 공구 진행에 따른 공구 접촉점의 데이터로 생각할 수 있다.

3-1. 기저 곡면의 접촉점

복합 곡면의 기저면은 자유 형상으로 이미 발표된 여러 매개적 자유곡면식으로 나타낼 수 있고 일반적인 다음과 같은 매개변수를 이용한 벡터식으로 표현할 수 있다.

$$\vec{S}(u,v) = (X(u,v),\ Y(u,v), Z(u,v)) \qquad (3)$$

따라서, 매개변수 (u, v)를 결정하면 기저 곡면 위의 접촉점의 값을 구할 수 있다. 본 연구는 매개변수적 가공 경로를 선택하지 않고 Cartesian방식을 이용하므로 X-Y평면에서 값이 주어지면 이점에 해당하는 기저 곡면의 매개변수 (u, v)를 결정하여 기저 곡면에서의 z값을 계산해야 한다.

주어진 (x, y)점에 대한 기저 곡면 위의 매개변수 (u, v)의 결정은 다음의 절차로 구한다. 먼저, 주어진 (x, y)점이 곡면의 어느 패치내에 속하는지를 검색한다. 다음으로, 해당하는 패치에서 Newton-Rapson 반복법을 이용하여 공차를 만족하는 매개변수 (u, v)를 결정한다. 원하는 공차를 만족하는 매개변수 (u, v)가 구해지면 그곳에서 기저 곡면의 z값과 normal vector는 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$z = z(u,v) = \gamma(u,v) \qquad (4)$$
$$\vec{n} = \vec{\gamma}_u \times \vec{\gamma}_v$$

주어진 (x, y)에 대한 z값이 결정되면 공구 접촉 데이터(CC data)로 위치 데이터 (x, y, z)와 그 위치에서의 법선벡터 (n_x, n_y, n_z)를 기억시킨다.

3-2. 해석 도형의 접촉점

3-2-1. 다면체 도형의 접촉점

곡면의 정의에 사용되는 모든 다면체 요소는 Fig.2와 같은 데이터 구조로 정의되어 있다. 그림에서 배열 vertex는 도형의 꼭지점의 좌표와 꼭지점의 번호를 가진다. 배열 edge는 선분을 x-y 평면에 투영시켜 얻어진 직선의 방정식에 대한 계수와 선분의 방향을 나타내는 꼭지점의 순서를 가진다. 배열 face는 면을 포함하는 평면의 방정식에 대한 계수와 면을 구성하는 선분의 번호를 반시계 방향의 순서로 가진다. 여기서 (-)부호는 선분의 진행 방향에 역으로 순서가 이어지는 경우를 의미한다.

주어진 점 (x, y)에서 세워진 수직선이 다면체와 교차하는 점을 찾기 위해서는 다음의 단계를 거쳐야 한다. 먼저 그 점이 다면체의 정의 영역에 들어가는 점인지를 검사한다. 다음으로, 이 점에서의 교차 여부를 판단한다. 주어진 점이 다면체의 면과 교차하는 여부는 다면체의 위상학적 정보로부터 판단한다. 즉, 다면체의 각 면은 방향을 가지는 선분으로 구성되는데 주어진 점 (x, y)가 면을 구성하는 선분의 진행 방향의 어느 편에 있는가를 판단하여 해당 평면과의 교차 여부를 결정한다. 마지막으로, 점 (x, y)에서의 수선이 도형과 교차하는 면에서의 z값을 계산한다. 교차하는 점의 z값은 면에 대한 평면의 방정식 dx + ey + fz + g = 0 에서 쉽게 구할 수 있다. 또한 그 면에 대한 법선벡터 역시 쉽게 구해진다. 점 (x, y)에서의 면과 교차하는 z값이 결정되면 기저곡면에서의 데이터와 같이 곡면의 위치 데이터와 법선벡터의 데이터를 공구 접촉 데이터로 저장한다.

3-2-2. Quadratic 도형과의 교차

Quadratic 도형의 경우 주어진 점 (x, y)가 도형의 정의 영역에 들어가면 이 점에서의 도형과의 교차점을 구해야 한다. 이때 도형의 교차는 도형의 방정식이 이미 정의돼 있으므로 (x, y)에 대한 도형의 z값의 결정은 각 도형의 방정식에서 구할 수 있다. 교차하는 점을 찾으면 그 점에서 두 방향으로의 접선벡터를 구하여 벡터적을 하여 법선벡터를 구한다.

3-3. Boolean관계를 만족하는 교차점 선택

X-Y 평면에서 공구 진행 방향으로 선택된 점 (x, y)에서 기저 곡면과의 교차점 그리고 각 도형과의 교차점이 구해지면 하나의 수선에서 복합 곡면과의 교점은 최소한 한곳 이상에서 발생하고 얻어진 교점들에서 복합 곡면의 boolean관계를 만족하는 실제 교점을 선택하는 절차가 필요하다.

곡면의 boolean관계를 만족하는 실제 교점은 도형이 첨가된 경우는 교점중에서 높은 값을 택하고 도형이 제거된 경우는 교점의 낮은 값을 택하는 방법으로 얻어진다.

앞절에서 제시한 boolean 관계식을 적용하여 실제 교점을 얻을 수 있다. 여러 교점 중에서 실제 복합 곡면의 교점이 구해지면 그 교점의 좌표 (x, y, z)와 그곳에서의 법선벡터(nx,ny,nz)를 곡면의 CC 데이터로 저장한다.

4. 공구 간섭 검사 및 제거

*X-Y*평면에서 정의한 가공 영역에서 일정한 공구 진행 방향을 정의하고 이 진행 방향에서 일정한 step으로 선정한 (x, y)점에서 곡면의 교차하는 교점 (x, y, z)과 법선벡터 (n_x, n_y, n_z)를 구하여 일련의 공구 접촉점(CC data)을 구한다. 공구 접촉점(CC data)에서 공구 반경(R)을 고려한 공구 옵셋데이터(offset data)는 다음의 식(5)으로 표현된다.

$$\vec{O}(u,v) = \vec{S}(u,v) + R \cdot \vec{N}(u,v) \qquad (5)$$
$$where \quad R : tool \ radius$$

공구 옵셋데이터는 공구 진행에 따라서 가공시 곡면의 오목 부위와 볼록 부위에서 간섭이 발생할 수 있고 공구 진행의 측면에서 도형과의 측면 간섭이 발생할 수 있다. 따라서 이 간섭의 검사와 제거에 대한 방법이 필요하다.

본 연구에서 공구의 진행에 대한 간섭 부위의 검사와 제거에는 CC데이터와 offset데이터의 거리 계산을 행하는 방식으로 제거한다. 이 방식은 Oliver가 제시한 공구 간섭 제거에 대한 논문[5]의 내용을 응용한 것으로 Oliver는 자유곡면에 대해 측면 간섭을 고려하지 않고 오목 부위의 간섭 loop제거와 볼록 부위의 간섭 회피점 삽입하는 방식을 사용하였기 때문에 해석적 복합 곡면에 이 방식을 적용하는 것은 부적합하나 알고리즘 자체가 단순하고 계산시간이 빠르기 때문에 본 논문에서는 이러한 장점을 최대한 이용하고 공구와 해석곡면간의 측면간섭을 제거하여 Oliver방식을 보완, 개선하여 복합곡면의 간섭 제거에 이용하였다. 본 논문에서는 복합 곡면에 대해서 하나의 path에서 얻어진 모든 공구 위치 데이터와 접촉 데이터 중에서 현재의 공구 위치와 공구 접촉점에서부터 공구 반경만큼의 거리에 있는 공구 위치데이터와 접촉데이터 만을 가지고 거리를 계산하여 간섭을 검사하고 제거한다. Fig. 4는 공구 진행에 따른 간섭 검사 방식을 나타낸다. 그림에서 공구가 P_{ni}의 위치에서 P_{ni+1}의 위치로 이동할 때 간섭의 검사 영역은 공구 반경 R의 위치까지의 데이터 즉, P_{ni+1} + R 의 위치에 있는 데이터 P_{nj}까지를 대상으로 한다. 간섭 여부를 결정하는 거리 계산 방식은 먼저 P_{ni}에서 P_j까지의 거리를 계산하고 P_{nj}에서 P_i까지의 거리를 계산하여 두개의 거리가 공구 반경 보다 크면 j-1번째의 데이터와 검사하고 계속해서 같은 방식으로 i+1번째의 데이터까지 검사를 계속하여 거리를 비교한다. 이때 간섭이 발생하지 않으면 다음 공구 위치는 P_{ni+1}이 되고 간섭검사 영역은 다시 계산되고 간섭 여부도 다시 검사한다. 여기서 i는 하나의 path에서 진행 방향(첫번째에서 끝점까지)의 데이터 순서이며, j는 역방향(끝점에서 첫번째까지)의 데이터 순서를 나타낸다.

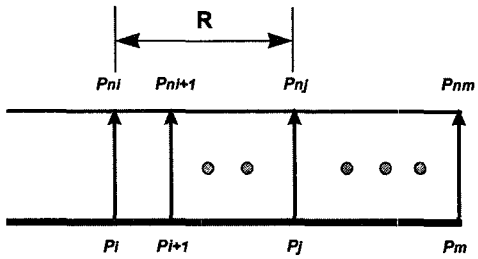


Fig.4 간섭 검사 영역과 검사 방식

4-1. 오목 부위에서의 간섭

Fig.5(a)는 하나의 path에서 얻어진 공구 offset데이터를 연결하는 경우 오목 부위에서 공구 간섭이 발생하는 경우에 나비 형상의 루프가 발생하는 모습을 보여준다. 오목 부위에서 루프가 발생하면 이 루프의 시점과 끝점을 구하여 루프를 제거하는 방법이 필요하고 다음의 절차로 수행한다. 먼저, 현재의 공구 위치에서 검사 영역에 있는 데이터를 대상으로 거리 비교를 행한다. Fig.5(a)에서 보듯이 P_2 에서 P_{n3}와 거리 계산을 했을 때 거리가 공구 반경보다 적게 되어 P_3과 간섭이 발생하는 것을 알 수 있다. 둘째로, 간섭을 발생시키는 위치에서 각기 양방향으로 하나의 간섭쌍을 선택한다. 그림의 경우 P_2와 그 전단계인 P_1을 한 쌍으로 하고 P_2와 간섭을 일으키는 P_3과 그 뒷단계인 P_4를 한 쌍으로 하는 간섭쌍을 선택한다. 세 번째로, 간섭쌍이 선택되면 이 간섭쌍을 이루는 네 점을 가지고 두개의 공간상의 직선식을 정의하고 이 두개의 직선의 간격이 최소가 되는 위치에서 간섭루프의 시작과 끝이 있다고 볼 수 있으므로 공간상에 정의되는 두 직선의 간격이 최소가 되는 위치를 구한다. 간섭쌍으로 선택된 직선의 최소 간격의 위치가 결정되면 Fig.5(b)에서 보는 바와 같이 최소 간격의 위치 데이터인 P1′과 P4′를 삽입하여 오목 부위에서 발생하는 루프를 제거한다.

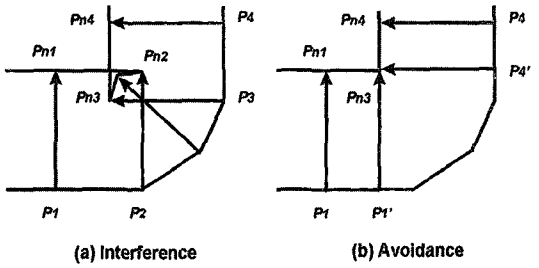


Fig.5(a) 오목 부위에서의 간섭 현상
(b) 오목 부위에서의 간섭 제거

4-2. 볼록 부위에서의 간섭

Fig.6은 볼록 부위에서의 간섭 현상을 보여준다. 볼록 부위에서 가공공차를 넘어서는 간섭의 검사는 다음의 조건들을 만족해야 한다. 아래의 조건에서 조건(1)은 볼록 부위를 나타내고 (2)은 급격한 볼록 형상으로 인하여 공구가 볼록 부위를 깎아 먹는 조건을 나타낸다.

$$(1)\ |P_{n2} - P_{n3}| > |P_2 - P_3| \qquad (6)$$

$$(2) H_1 > Chordal\ tolerancel\ limit$$

Fig.6에서 보듯이 P_2에서 위의 간섭 조건을 검사하면 P_3와 볼록 간섭이 발생하는 것을 알 수 있다. 볼록 간섭의 조건을 만족하면 오목 부위의 간섭에서와 같이 각기 양방향으로 하나의 간섭쌍을 선택하여 간섭을 제거한 데이터를 추가한다. 즉, P_2와 P_1을 하나의 간섭쌍으로하고 P_3와 P_4을 하나의 간섭쌍으로 선택하여 두 간섭쌍으로 두개의 직선을 정의하여 오목 부위와 같이 두 직선의 최소 간격이 되는 위치데이타를 추가함으로서 볼록 간섭을 제거할 수 있다. Fig.7은 P_2에서 P_3으로 이동할 때 볼록

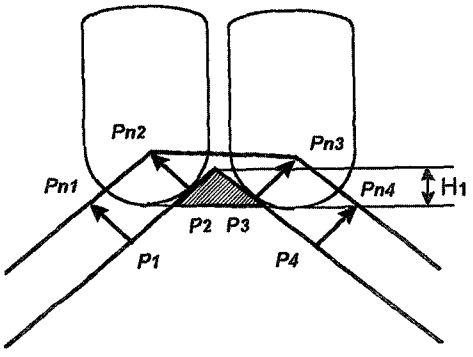


Fig.6 볼록 간섭 현상

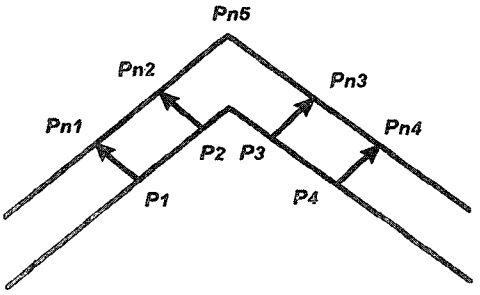


Fig.7 볼록 간섭의 회피

간섭이 발생하는 경우 두개의 간섭쌍에서 구한 추가점을 삽입하여 간섭을 제거한 모습이다. 그림에서 P_{n5}가 추가되어 P_{n2}에서 P_{n3}으로 이동하였을 때 발생하는 과절삭을 제거할 수 있다.

4-3. 도형과의 측면 간섭

공구 진행 방향을 따라서 공구가 진행할 때 진행 방향의 측면에 있는 도형과 측면 간섭을 일으킬 수 있고 이 경우에 대한 간섭을 검사하고 제거하는 방법이 필요하다. Fig.8은 공구와 도형의 측면 간섭 현상을 보이고 있다. 그림에서 공구가 P_i의 위치에 있을 때는 도형과 간섭이 없지만 P_{i+1}의 위치로 이동할 때 도형의 측면을 깎아 먹는 간섭이 발생한다. 이때 발생하는 간섭은 위에서 제시한 데이터간의 거리 검사 방법으로는 알 수 없고 다음의 방식을 사용한다.

먼저, 다면체의 경우는 도형의 간섭면을 선택한다. Fig.9에 현재의 공구 위치에서 해당하는 간섭면의 선택 방법을 보이고 있다. 그림에서 보듯이 다면체의 각면의 법선벡터 n_i와 현재의 공구 위치 P에서 그 면으로 향하는 벡터와의 DOT적이 - 값을 가지는 경우 그 면을 간섭면으로 선택한다. 둘째로, 선택된 간섭면과 현재 공구의 위치와의 최단거리를 계산한다. 평면 방정식의 계수가 d, e, f, g 라 할 때 평면과 공간의 한 점 (x_0, y_0, z_0) 과의 최소 거리는 다음의 식(7)로 계산될 수 있다.

$$\text{distance} = \frac{|d_{x0} + e_{y0} + f_{z0} + g|}{(d^2 + e^2 + f^2)^{1/2}} \qquad (7)$$

위 식으로 현재의 공구 위치에서 계산한 최단거리가 공구 반경보다 적으면 그 위치에서 도형과의 측면 간섭으로 판정하고 간섭을 제거한다.

Quadratic 도형의 경우는 현재의 공구 위치가 도형의 간섭 영역에 들어오면 그 위치에서 해당하는 도형과의 최

단 거리를 계산하여 간섭 여부를 검사한다. 이때 공간의 임의 위치에 있는 도형의 방정식이 주어져 있으므로 도형과의 최단거리는 쉽게 구할 수 있다.

자유 곡면의 경우 곡면을 결정짓는 외곽 경계에서 측면 간섭이 발생할 수 있다. 이 경우 자유곡면의 외곽 경계의 곡선을 공구 반경만큼 offset시킨 곡선과 임의의 점과의 최소 거리를 구하여 이 거리가 공구 반경보다 작은 경우 측면 간섭이 발생한다고 할 수 있다.

측면 간섭을 제거한 공구 경로는 다음의 두 가지 형태에 따라 다른 방법으로 얻어진다. 첫 번째는 Fig.10(a)에서 보듯이 간섭이 없는 현재의 공구 위치데이타 P_{n1}과 간섭이 없는 다음의 공구 위치 데이터 P_{n3}이 서로 다른 면에서 얻어지는 형태이다. 그림에서 공구가 P_{n2}의 위치에서 P_{n3}의 위치로 이동하면 이동중 도형 S의 일부를 깎아 먹는 간섭을 일으킨다. 이 간섭은 동일한 path에서 발생하는 간섭이지만 오목이나 볼록의 간섭 검사로는 확인할 수 없는 간섭으로 이 경우는 Fig.10(b)에서 보듯이 간섭이 없는 현재의 가공 데이터 P_{n1}과 다음의 가공 데이터 P_{n3}의 z값을 비교하여 현재 공구 위치의 z값이 작으면 현재의 (x, y)의 위치에서 다음 데이터의 z값만큼 들어올리는 데이터 P_{n1}'를 삽입하여 간섭을 회피한다. 반대로 z값이 큰 경우는 현재 위치의 z값으로 다음 데이터의 (x, y)의 위치로 평행 이동하여 간섭을 회피한다.

두 번째는 Fig.11(a)에서 보듯이 간섭이 없는 현재의 공구 위치 데이터 P_{n1}과 간섭이 없는 다음의 공구 위치 데이터 P_{n4}가 동일한 면에서 얻어지는 형태이다. 그림에서 공구가 P_{n1}의 위치에서 P_{n2}의 위치로 이동하면 P_{n2}의 위치에서 도형 S와 간섭을 일으킨다. 이 간섭은 동일한 path에서 발생하는 간섭이 아니므로 오목이나 볼록 간섭의 검사에 사용되는 거리 검사 방법을 이용해서는 검사할

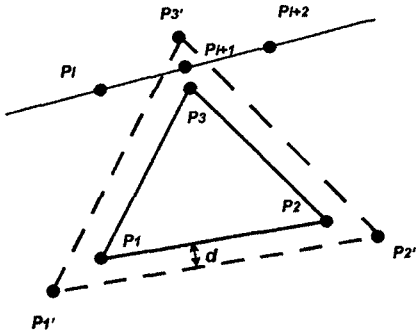


Fig.8 측면 간섭 현상

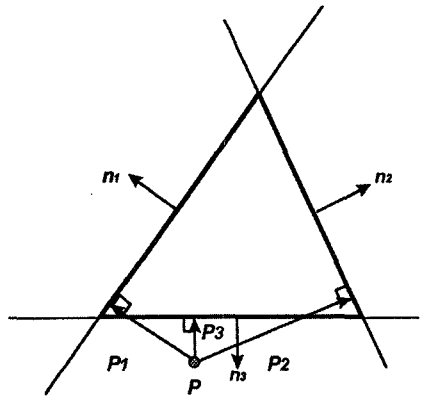


Fig.9 다면체에서의 측면 간섭면의 선택

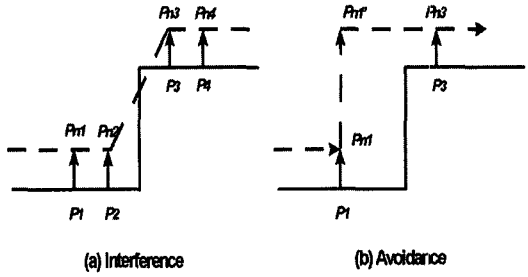


Fig.10 동일한 path에서의 측면 간섭 회피

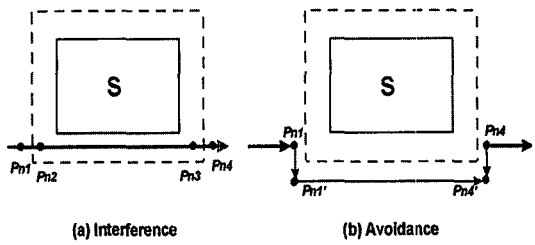


Fig.11 다른 path에서의 측면 간섭 회피

수 없다. 이 경우는 Fig.11(b)에서 보듯이 간섭이 없는 현재 데이터 P_{n1}의 (x, y)와 가장 가까운 이전 path의 데이터 P_{n1}'를 검색하여 그 데이터로부터 이전 path의 가공 경로를 따라가다 간섭을 회피한 데이터 P_{n4}의 위치와 가장 가깝게 도달하면 다시 처음의 path를 따라가는 방법으로 간섭을 회피한다.

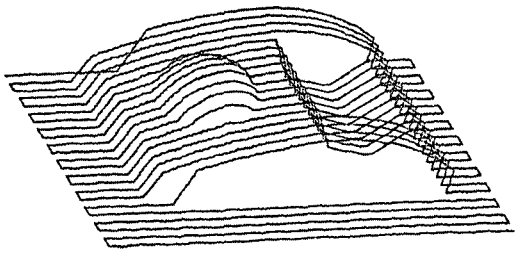
5. 프로그램의 구성과 수행 결과

본 연구에서 수행한 복합 곡면의 모델링과 복합 곡면

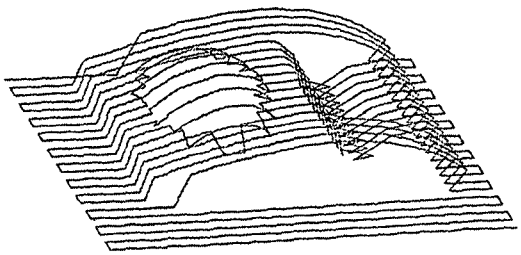
가공시 발생하는 공구 간섭 현상의 검사와 제거에 대한 개략적 절차를 아래의 순서도에 나타내었다.

1. 전체 프로그램의 수행 절차의 순서도
1) 기저 곡면의 데이터 입력
2) 해석 도형의 정의 데이터 입력
3) 가공 정보 입력
4) 기저 곡면의 형성
5) 해석 도형의 세부 정보 계산
6) 한 경로에서의 공구 접촉 데이터 계산
7) 한 경로에서의 간섭을 제거한 공구 위치 데이터 계산

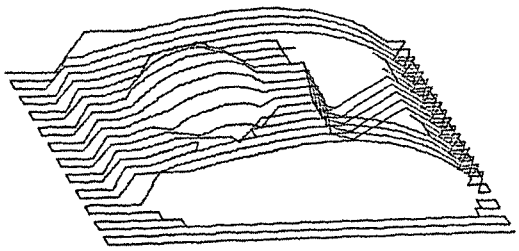
PASCAL언어를 사용하여 본 프로그램을 구현하였고 프로그램의 유용성을 다음의 결과로 확인하였다. Fig.12는 해석적 복합 곡면에서의 간섭(b)과 간섭을 회피한 공구 경로(c)를 보이고 있다.



(a) CC data



(b) offset data



(c) CL data

Fig.12 해석적 복합 곡면의 간섭 검사 및 제거

6. 가공 조건, 가공 재료, 가공 기계

본 연구에서는 복합 곡면의 황삭 가공시에 발생하는 간섭의 검사와 제거에 중점을 두고 연구를 행하였기 때문에 정삭시에 발생하는 가공면의 공차를 만족하는 공구 step length의 고려를 행하지 않고 일정한 step length를 주어서 황삭에 발생하는 간섭에 대하여 고려하였다. 공구의 path interval의 결정은 공구 진행 간격간의 공차를 지정하여 그 공차를 만족하는 간격을 따르도록 하였다. Fig.13에서 보여주듯이 가공면의 cusp오차가 E라고 한다면 이 오차를 만족하는 공구 진행 간격 D는 다음의 식 (8)을 계산한다.

$$D_i = 2\sqrt{(2RE - E^2)} \qquad (8)$$

where, R: Tool radius, E: cusp error

가공 재료로는 알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여 실제 금속을 대상으로 하지 않고 아크릴 재료를 사용하여 반경 7.5*mm*의 볼엔드밀을 사용하여 이송 300*mm*/min, 주축 회전속도 1700*rpm*로 간섭을 제거한 공구 경로로

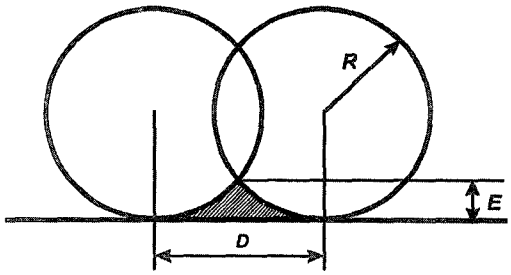


Fig.13 Tool path interval

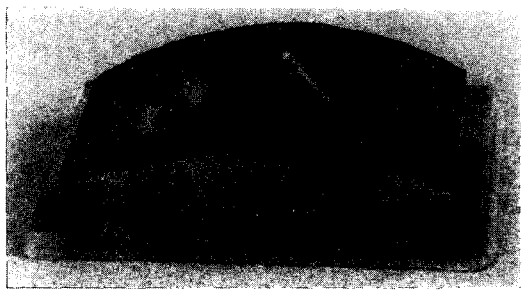


Fig.14 Machined result

황삭 가공을 수행하였다. 가공 기계로는 본 실험실에서 보유하고 있는 3차원 milling machine을 사용하였으며 486 퍼스널 컴퓨터와 연결한 DNC 기능을 이용하여 가공을 수행하였다. Fig.14는 본 실험실에서 보유하고 있는 3차원 milling machine을 이용하여 마우스 형상을 측정하여 형성한 기저 곡면 위에 다면체와 원통의 해석 도형을 첨가하여 창성한 복합 곡면을 대상으로 얻어진 공구 위치 데이터를 가지고 가공한 결과를 보여주고 있다.

7. 결 론

해석적 복합 곡면의 가공시 발생하는 공구 간섭에 대한 문제를 해결하였다. 해석적 복합 곡면의 가공시 발생하는 공구 간섭에서 공구 진행중의 간섭으로 오목 부위에서의 간섭과 볼록 부위에서의 간섭을 처리하였고 공구 진행중 공구 진행 방향의 측면에서 공구와 도형과의 측면 간섭 문제를 해결하였다. 추후의 연구 과제로서 매개 자유곡면들의 접합으로 이루어지는 매개적 자유곡면에 대한 연구와 자유곡면내에서 발생하는 측면 간섭 문제 그리고 공구를 잡아 주는 공구축과 가공면과의 간섭문제 등이 아직도 해결해야 할 문제로 남아 있다.

참 고 문 헌

1. I D Faux, etc "Computational Geometry for Design & Manufacture", Ellis Horwood pub, 1981.
2. J P Duncan, S G Mair "The Anti-Interference Features of Polyhedral Machining", in Advances in Computer-Aided Manufacture North-Holand Pub. pp.181~195, 1977.
3. Kondo,K., Kishinami, T. and Saito,K., "Machining System Based on Inverse Offset Method", Journal of JSPE, Vol.54, pp.971~976,1988.
4. 양균의,박윤섭,이희관, "3차원 자유곡면 가공에 있어서 공구간섭방지에 관한 연구", 대한기계학회논문집 제19권,제8호, pp. 1832~1843, 1995.
5. J H Oliver, D A Wyscocki, E D Goodman, "Gouge Detection Algorithms for Sculptured Surface NC Generation." Journal of Engineering for Industry FEB. 1993. Vol. 115.
6. B K Choi, C S Lee, J S Hwang and C S Jun "Compound surface modelling and machining ", CAD Vol 20, No 3, pp. 127-136, April 1988.
7. J S Hwang, " Interference-free tool path generation in the NC machining of parametric compound surfaces", CAD, Vol. 59, pp.667-676, 1992.