

사각근사에 의한 공구 간섭 제거에 관한 연구

A Study on Tool Interference Avoidance
Using Rectangular Surface Approximation

장동규*, 이희관*, 양균의**

* : 전북대학교 대학원

** : 전북대학교 기계공학과

Abstract

This paper presented a new method for tool interference avoidance using rectangular approximation in NC machining of sculptured surface. The procedure of algorithm for approximation of sculptured surface to rectangular surface is described. Using this algorithm, we can check concave, convex, and side interference region and avoid these interferences.

Key Word : Rectangular Approximation, Sculptured Surface, Tool Interference Avoidance

1. 서론

자유곡면을 지닌 균형은 다양한 소비자의 욕구를 충족시키기 위하여 심미적인 기능과 더불어 다품종 소량생산 방식으로 발전하고 있으며 금형의 생산성 향상 및 납기단축에 중점을 두어 CAD/CAM 소프트웨어, CNC공작기계 및 머시닝 센터 등을 이용한 기술 집약적인 생산체제로 변하고 있다.

이런 의미에서, 자동차 생산비용의 30~40%를 차지하는 금형 설계, 제작은 중요한 역할을 담당하고 있다고 볼 수 있으며, 정밀도 높은 금형을 단기간에 제작할 수 있어야 한다.

단기간의 금형 제작을 위해서 자유곡면으로 이루어진 금형을 가공할 때 가공시간과 가공 효율등 생산성의 향상을 고려하여 반경이 큰 공구로 활삭가공할 때 공구간섭 현상이 생긴다. 이런 공구 간섭 현상이 발생하면 금형의 정밀도를 크게 저하시키므로 효과적인 가공효율로 정밀도 높은 금형을 생산하기 위해서는 공구 간섭 현상의 제거는 필수적이다.

한편, 기존의 측정점을 가지고 곡면을 생성할 때, 매개변수로 된 곡면식을 사용할 경우 측정점들이 균일하게 분포되어 있거나 아니면 fitting 작업 등을 통하여 균일화 작업을 수행해야 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 나온 방법이 곡면의 근사이다. 곡면의 근사방식에는 처음에 나온 사각패치로 근사하는 방법이 있는데, data structure가 간단하고 계산이 빠르다는 장점이 있으나 모든 데이터가 규칙적인 그물구조를 이루어야 한다는 단점[1]이 있다. 입력 data가 규칙적인 그물구조로 이루어지지 않고 곡면이 복잡하고 입력 data가 불규칙적인 경우에는 삼각형 패치로 근사하는 방식[2,3,4]이 있다. 삼각형화를 시키는 방식으로는 입력된 3차원 point data의 삼각형화를 수행한 후 곡선망을 구성한 후 Bezier패치로 만드는 방식이 사용되고 있다.

기존의 자유곡면 공구경로 생성 방법으로는 Cartesian 또는 parametric 공간상에서 공구경로를 계획하여 이 공구경로에 해당

하는 곡면사이의 곡선을 구한 다음 여러 개의 선분으로 적절히 보간하여 CC(Cutter Contact) data를 구하고 이 CC data에서 간섭영역에 속하는 부분들을 제거함으로서 간섭을 방지하는 CL(Cutter Location) data를 구하는 방식[5]과 Duncan과 Mair[3,4]에 의한 다면체 근사모형을 이용하는 방식은 곡면을 삼각형으로 근사한 뒤 공구가 삼각형과 간섭되는지 여부를 검사하고 간섭의 경우 Z축을 들어주는 방식으로 공구간섭을 제거하나 이는 계산시간이 많고 곡면형상에 따라 비효율적이고 공구의 움직임이 매끄럽지 못하다는 단점이 있다. 이 외에도 다면체 근사모형을 구한 후 여기서 다시 곡면의 곡선을 구하여 곡선을 보간하여 CL data를 구하는 방식[6]도 있다. 또한, 함몰 부위 탐색에 의하여 오목과 볼록 간섭을 제거하는 방식이 Oliver[7]에 의해 제시되어 있으나 모든 점에 대하여 간섭을 검사함으로써 계산시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 그리고, Oliver방식을 보완하여 오목과 볼록 간섭 및 측면간섭을 제거한 연구[8]도 있다.

본 연구에서는 위와 같은 공구간섭에 대한 연구를 바탕으로하여 자유곡면의 NC가공에서 곡면데이터를 사각근사곡면으로 만들어 점의 개념을 면의 개념으로 만든 후 면각, 면의 길이와 면들의 법선벡터를 이용하여 곡면의 오목 및 볼록 판정과 오목, 볼록과 측면간섭을 검사 제거하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 자유곡면 생성 및 근사화

2-1. 자유곡면의 생성

본 연구에서는 Bezier곡면식을 이용하여 자유곡면을 식 (1)에 의해 생성한다.

$$Q(u, w) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m B_{i,j} J_{n,i}(u) K_{m,j}(w) \quad (1)$$

where,

$$J_{n,i}(u) = \binom{n}{i} u^i (1-u)^{n-i}, \quad 0 \leq u, v \leq 1$$

$$K_{m,j}(w) = \binom{m}{j} w^j (1-w)^{m-j}$$

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!} \quad \binom{m}{j} = \frac{m!}{j!(m-j)!}$$

2-2. 곡면점의 근사

Model이나 실험적 결과로부터 point data가 주어지는 경우 이들에 대한 삼각 patch를 이용하여 곡면을 구성해 보고자 하는 시도가 Barnhill, Gordon, Little, Farin[9]등에 의해서 행해져 왔다.

기존의 논문에서는 곡면을 근사하는 방식으로서 측정점을 삼각형 패치로 만들고 이렇게 만들어진 삼각형 근사곡면을 곡선망 보간에 의해 삼각형 Bezier패치로 구성된 합성곡면을 창생하였다[1,2]. 또한, Surface상에 어떤 궤적을 갖는 선을 contour line이라 하는데 이 방식에서는 형성된 곡면으로부터 subdivision method를 이용하여 전 곡면을 미세한 다면체로 만들고 이를 절삭평면으로 잘라 contour line을 만드는 contouring을 수행하는 연구도 보고되고 있다[10]. Contouring시 얻어진 data와 다면체에서의 법선벡터로부터 CI데이터를 얻는다. 이러한 방식은 많은 계산에 의한 계산시간의 증가와 계산상의 계산오차가 존재하며 또한 필요한 메모리 문제, 투영곡면의 다양화 문제와 곡면의 부분적 수정, 곡면의 평활화 등 사용상의 제약이 있다.

본 연구에서는 이러한 방식이 아닌 CC데이터를 구할 때 곡면과 근사시키기 위하여 입력된 tolerance내에 들어오도록 step 간격을 조정하여 CC데이터를 구하여 사각패치를 만든다.

곡면점들의 각각의 정보는 Vertex list에 저장되고 사각근사되는 path의 각각의 모서리는 Edge list에 저장된다. 또한, 사각 Patch list안에는 인접한 패치에 대한 정보가 들어 있다.

Fig. 1a, 1b 그리고 1c는 각각 Vertex list, Edge list와 Cube list에 대한 데이터 구조이다.

ID	X점 좌표	Y점 좌표	Z점 좌표
1			
2			
3			
.			
.			
.			

<Fig. 1a> Vertex List 구조

ID	시작 Vertex ID	끝 Vertex ID
1		
2		
3		
.		
.		
.		

<Fig. 1b> Edge List 구조

ID	Vertices					Adjacent patch				
	1	2	3	11	12	0	0	10	11	.
2	2	3	12	13	0	0	1	11	19	.
3										.
.										.
.										.
.										.

<Fig. 1c> Cube List 구조

각 패치를 구성하는 Edge들은 반시계방향으로 구성하게 되어 있다. 패치와 패치사이의 법선벡터는 두개의 패치 경계점을 가지고 원을 형성 그 점에서의 원의 법선벡터를 구한다.

다음은 사각패치를 구성하는 부분을 C language로 표시한 것이다.

```
int SaveCube()
{
    if( (p1==1) || (p2==1) )
        return(MAKECUBEERROR);
    /* 사각으로 되기 위해서 최소한 점의 갯수는
     * 양 방향으로 2개이다 */
    // Cube list구조를 생성한다
    Cube = Make_Cube( 1, cub_size );
    // Cube list를 초기화 한다
    Initial_Cube( 1, cub_size, Cube );
    iCount = 1;
```

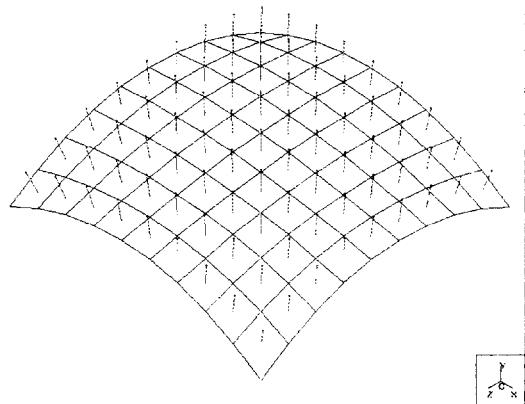
```

for( i = 1; i < p2; i++ )
{
    // 각 패치들내 점의 간격
    step = ( i-1 ) * p1;
    step2 = i * p1;
    for( j = 1; j < p1; j++ )
    {
        Input_CubeId();      // Cube list의 ID입력
        Input_Cube_Vertex(); // 각 점의 ID를 입력
        Input_AdjCube();    // 인근의 patch번호 입력
        // Patch내의 두 점을 잇는 벡터를 만든다
        Make_Two_Vector();
        // 두 벡터의 cross product를 구한다
        Cross_Product();
        Mkae_UniVec(); // 단위벡터를 구한다
        //각 patch의 평면의 방정식을 만든다
        Make_plane_eqn();

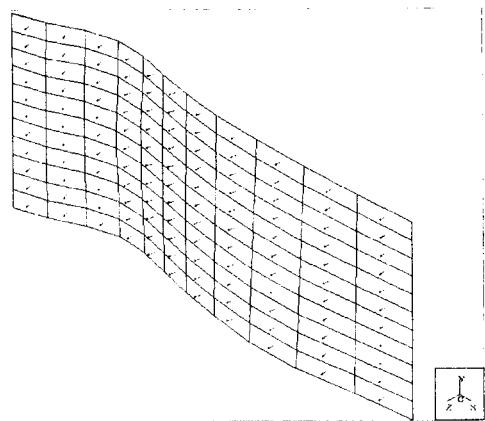
        // Cube list를 파일에 저장한다.
        Save_Cube();
    }
}

```

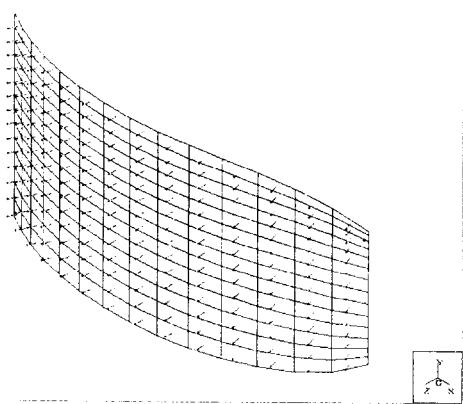
다음의 Fig. {2~5}는 임의 자유곡면상에서 CC데이터를 사각 형태로 근사시킨 곡면과 중앙에 법선벡터를 표시한 그림이다. 법선벡터는 나중에 면의 방정식을 구할 때와 CL데이터를 만들 때 사용된다.



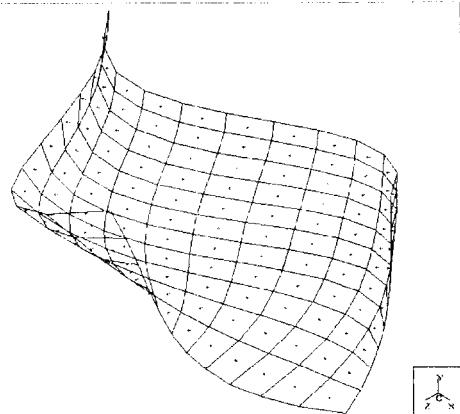
<Fig. 3>



<Fig. 4>



<Fig. 2>



<Fig. 5>

3. 공구 간섭 검사

3-1. 곡면의 오목과 볼록 검사

면각을 기준의 dot product를 사용하여 면각을 계산하면 공구의 오목과 볼록을 검사할 수 없다. 본 연구에서는 공구의 오목과 볼록의 판정을 dot product와 cross product를 이용하여 오목과 볼록을 판단한다. 면각은 i번째 patch의 법선벡터에서 i+1번째 법선벡터를 시계방향으로 회전시키며 구한 값이다.

다음의 조건에 의해서 면각이 어느 상한에 있는가 검사한다.

- 제 1 상한(0~ 90°) : $\sin \theta > 0$ and $\cos \theta > 0$
- 제 2 상한(90~180°) : $\sin \theta > 0$ and $\cos \theta < 0$
- 제 3 상한(180~270°) : $\sin \theta < 0$ and $\cos \theta < 0$
- 제 4 상한(270~360°) : $\sin \theta < 0$ and $\cos \theta > 0$

이렇게 구한 면각이 0~180° 사이에 있게 되면 두개의 patch는 볼록하게 되고 180° 보다 크면 오목하게 된다. $\cos \theta$ 값이 1이고 $\sin \theta$ 가 0이면 평면이다.

3-2 공구 간섭 검사

본 연구에서는 전역검사와 국소 검사를 나누어 검사를 수행한다. 전역검사는 곡면이 간섭을 일으킬 수 있는 부분을 미리 검색하여 그 부분을 체크하는 것이고 국소 검사는 실제 가공 경로를 생성하면서 그 부분에서의 간섭을 검사, 제거하는 것이다. 전역검사에서 체크된 부분이 아니면 간섭이 없는 부위라 생각하고 국소 검사를 행하지 않는다.

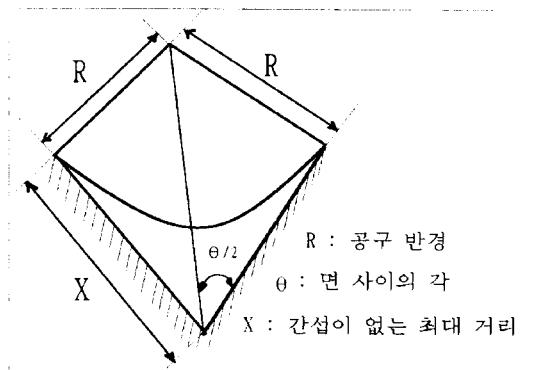
3-2-1 전역 검사

본 연구에서 사용하는 간섭검사는 곡면의 면각을 이용하여 간섭을 검사한다. 전역탐색에서는 공구의 면각과 공구를 곡면에 투영한 공구의 윤곽(silhouette)을 가지고 검사한다. 공구의 윤곽을 공구의 반경만큼씩 이동시키면서 공구의 윤곽내에 들어오는 각각 patch들의 면각을 검사하여 면각과 공구간의 상관관계에 의하여 공구의 간섭을 체크한다.

3-2-2 면의 길이에 의한 공구 간섭 검사

공구의 반경이 R이고 면사이의 각이 θ 일 때, 면의 길이를 가지고 간섭을 검사한다. 반경이 R, 면사이의 각 θ 가 주어졌을 때 간섭이 일어나지 않는 최대거리 X는 다음의 (2)식과 같이 구해질 수 있다(Fig. 6).

$$X = R \cot \frac{\theta}{2} \quad (2)$$



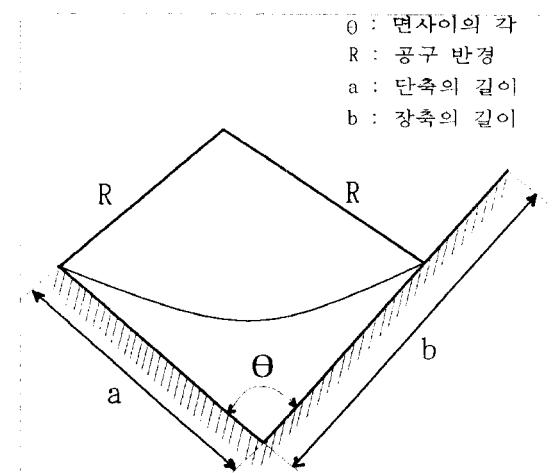
<Fig. 6> 각 θ 에서 간섭을 일으키지 않는 최대 거리

만일 면들의 길이를 구했을 때 위의 최대 길이 X보다 작은 경우, 간섭이라 생각하고 간섭영역으로 구분한다.

3-2-3 면각에 의한 공구 간섭 검사

공구의 반경이 R로 주어지고 면의 짧은 쪽의 길이가 a, 긴 쪽이 b라 할 때, 짧은 쪽의 길이 a를 가지고 공구의 간섭이 일으키지 않는 각, θ_{MAX} 를 구할 수 있다. 이렇게 구한 θ_{MAX} 보다 면사이의 각이 작으면 간섭이 일어난다고 생각하고 간섭영역으로 구분한다. 단축의 길이를 a, 공구의 반경을 R이라 할 때, 간섭을 일으키지 않는 최대각 θ_{MAX} 는 (3)식과 같다(Fig. 7).

$$\theta_{MAX} = \cos^{-1} \left(\frac{(\frac{a}{R})^2 - 1}{1 + (\frac{a}{R})^2} \right) \quad (3)$$



<Fig. 7> 간섭을 일으키지 않는 최대 각

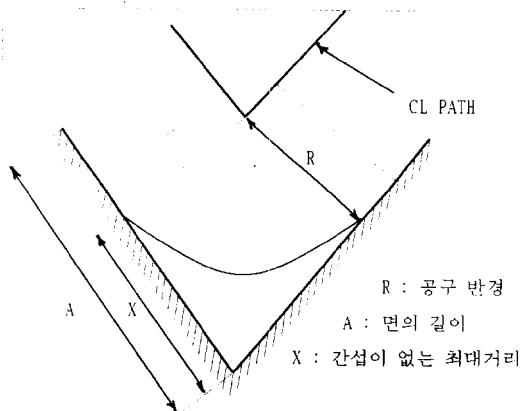
4. 공구 간섭 제거

CL data를 구해갈 때 전역검사에 의해 토글된 patch에 대해 서만 지역검사를 행한다.

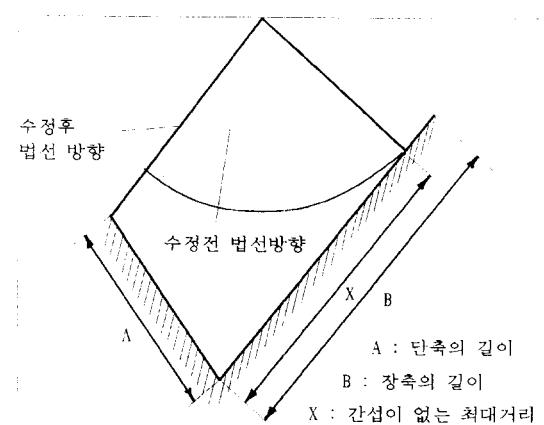
오목부위에 대해서는 곡면의 길이가 간섭을 일으키지 않는 최대거리 X보다 큰 경우에는 X의 길이만큼 접근을 시켜 그 지점에서 다음 사각곡면으로 옮겨가는 방식[Fig. 8]과 최대거리 X보다 작은 경우에는 간섭을 일으키는 최대각 θ 보다 큰 가로 검사하고 그 각보다 작으면 간섭을 일으키지 않는 안정점으로 Z값을 들어올림으로써 간섭을 제거한다[Fig. 9].

불록인 경우에는 면사이의 각이 불록으로 판정되면 간섭을 일으킨다고 보고 양 법선벡터의 합 벡터를 구해 그 벡터의 Z값으로 Z축을 들어올림으로써 간섭을 회피하고자 한다.

측면간섭인 경우에는 진행방향의 오목과 불록검사때 옆의 사각곡면과의 각도를 계산하여 간섭유무를 파악하고 간섭이 발생하면 공구 중심점에서 각 인근 면과의 수직 거리를 검사하여 간섭이 없는 최대거리로 Z값을 들어줌으로써 간섭을 제거하고자 한다.



<Fig. 8> 면의 길이가 간섭이 없는 최대 길이 보다 큰 경우



<Fig. 9> 면의 길이가 간섭이 없는 최대 길이보다 작은 경우

5. 결론

자유곡면으로 이루어진 금형의 형상가공에서 발생하는 공구간섭현상을 CC데이터를 사각근사시켜 근사곡면의 법선벡터, 면각과 면의 길이를 이용하여 곡면의 오목 및 불록을 판단하고 공구의 오목간섭, 불록간섭 및 측면간섭을 제거하였다. 이러한 공구의 간섭제거는 전역검사를 통하여 간섭영역을 먼저 찾아 간섭영역만을 검사하여 제거함으로써 간섭검사에 대한 계산시간을 줄일 수 있었다.

추후의 연구 과제로는 면으로 근사할 때 공차에 만족하도록 면을 근사화하는 방법에 대한 더 많은 연구와 복합 곡면의 생성 및 불규칙적인 데이터를 위한 삼각 patch에 대한 연구가 필요하다 하겠다.

6. 참고문헌

- [1] Farin, G., 'Triangular Bernstein-Bezier patches', CAGD, Vol 3 (1986), pp. 83-127
- [2] B.K.Choi, H.Y.Shin, Y.I.Yoon and J.W.Lee, 'Triangulation of scattered data in 3D space', CAD, Vol 20, No 5(1988), pp. 239-248
- [3] Duncan, J.P. and Mair, S.G., 'The Anti-interference Features of Polyhedral Machining', in Advances in Computer-Aided Manufacturing, North-Holland Pub (1977), pp 181-195
- [4] Duncan, J.P. and Mair, S.G., 'Sculptured Surfaces in Engineering and Medicine', Cambridge Univ. Press, 1983.
- [5] 전차수, '3차원 측정데이터로 부터 자유곡면의 NC가공', 석사학위논문, KAIST, 1985.
- [6] 전차수, '자유곡면 NC 가공에서의 공구간섭 방지', 박사학위 논문, KAIST, 1989.
- [7] Oliver, J.H., Wysocki, D.A. and Goodman, E.D., 'Gouge Detection Algorithms for Sculptured Surface NC Generation', Journal of Engineering for Industry Vol. 115 (Feb. 1993), pp. 139-144
- [8] 강성기, 양균의, '금형가공에 있어서 공구간섭 제거에 관한 연구', 정밀학회 추계학술대회논문집 (1994), pp. 101-105
- [9] Barnhill, R.E., 'A survey of the Representation and Design of Surfaces', IEEE CG & A, 1983
- [10] 윤용일, '삼각 Patch를 이용한 곡면 Modelling에 관한 연구', 석사학위 논문, KAIST, 1986