

3차원 측정자료로부터 자유곡면의 가공을 위한 공구경로생성[†]

Generating Cartesian Tool Paths for Machining Sculptured Surfaces from 3D Measurement Data[†]

고병철* · 김광수*

Byungchul Ko*, and Kwangsoo Kim*

Abstract

In this paper, an integrated approach is proposed to generate gouging-free Cartesian tool paths for machining sculptured surfaces from 3D measurement data. The integrated CAD/CAM system consists of two modules: offset surface module and Cartesian tool path module. The offset surface module generates an offset surface of an object from its 3D measurement data, using an offsetting method and a surface fitting method. The offsetting is based on the idea that the envelope of an inversed tool generates an offset surface without self-intersection as the center of the inversed tool moves along on the surface of an object. The surface-fitting is the process of constructing a compact representation to model the surface of an object based on a fairly large number of data points. The resulting offset surface is a composite Bezier surface without self-intersection. When an appropriate tool-approach direction is selected, the tool path module generates the Cartesian tool paths while the deviation of the tool paths from the surface stays within the user-specified tolerance. The tool path module is a two-step process. The first step adaptively subdivides the offset surface into subpatches until the thickness of each subpatch is small enough to satisfy the user-defined tolerance. The second step generates the Cartesian tool paths by calculating the intersection of the slicing planes and the adaptively subdivided subpatches. This tool path generation approach generates the gouging-free Cartesian CL tool paths, and optimizes the cutter movements by minimizing the number of interpolated points.

1. 서 론

자유곡면으로 이루어진 형상을 만들고자 할

때 흔히 먼저 실제크기의 진흙모델을 만들고, 이를 3차원 좌표측정기로 측정하여 곡면모델을 형성한 후 이를 가공공구반경만큼 오프셋하여 곡면의 가공에 필요한 공구경로를 생성한다. 이러한 자유곡면의 가공에 있어서 문제가 되는 것은 과절삭으로, 과절삭은 잘못된 공구경로로

[†] 본 연구는 한국과학재단 지능자동화연구소의 연구비지원으로 수행되었음.

* 포항공과대학 산업과학기술연구소

인하여 공구가 원하지 않는 곡면의 일부분을 침범함으로써 발생한다. 과절삭된 부분은 보정하기가 어려움으로 과절삭이 방지된 공구위치 경로를 얻는 것은 곡면의 가공에 있어 매우 중요하다.

과절삭이 방지된 공구위치(CL) 경로를 얻는 방법들은 다음의 3가지 방법으로 요약된다.

- (1) 곡면→공구접촉(CC) 경로→공구위치경로
- (2) 곡면→오프셋곡면→공구위치경로
- (3) 곡면→Z-map→오프셋 Z-map→공구위치 경로

첫번째 방법은 가장 널리 쓰이는 방법으로 Cartesian 공간 또는 매개변수공간에서 공구접촉경로를 얻고 이로부터 과절삭이 없는 공구위치 경로를 생성한다. Bobrow[1]는 CSG (constructive solid geometry) 모형과 평면을 교차시켜 공구접촉경로를 구한 후 확인곡면 (check surface)과 만나는 경우에 과절삭검사를 하였으며, Kim과 Biegel[2]은 매개변수공간에서 공구경로를 구하고 최적화하였다. 과절삭은 공구의 진행방향 외의 다른 방향에서도 발생하기 때문에 Choi와 Jun[3]은 공구접촉경로를 바탕으로 곡면을 다면체로 근사하여 과절삭이 방지된 공구위치 경로를 구하였다.

두번째 방법에서는 공구의 반경만큼 법선방향으로 오프셋시킨 오프셋곡면을 형성하여 경로를 계획한다. 그런데 곡면의 곡률반지름이 오프셋량보다 작은 부분을 오프셋하면 해당 오프셋곡면에서 교선(self-intersection)이 발생하는데 이부분을 가공할 때 과절삭이 발생하며, 교선을 제거하기가 용이하지 않다. Farouki[4]는 매개변수곡면의 오프셋에 관한 연구를 하였고, Chen과 Ravani[5]는 법선거리(normal distance)를 최소화하는 최소사승근사법을 이용하여 교선을 없애고자 하였다.

세번째 방법에서는 오프셋곡면을 정의할 때 Z-map을 이용한다. XY평면에서 일정한 간격으로 위치한 점에 대한 Z값을 계산하여 2차원 Z-map을 형성하고, 이를 공구접근역방향으로 오프셋시켜 오프셋 Z-map을 형성한후 이로부터

공구경로를 산출한다. Sakamoto등[6]은 역 오프셋(inverse offset)을 이용하여 오프셋 Z-map을 형성하였는데 이로부터 과절삭이 없는 공구 경로를 생성할 수 있었다. Saito와 Takahashi[7]는 Z-map개념을 공구경로생성에 뿐만아니라 공구경로의 검증에도 활용하였다. Choi등[8]은 복합곡면의 모델링과 가공공구 경로생성을 위하여 Z-map을 이용하였다. 그런데 Z-map을 형성하기 위해서는 허용오차를 고려하여 자료를 조밀하게 저장해야함으로 데이터의 저장량이 많아지고, 산출된 공구위치경로는 부분적으로 필요이상으로 조밀하여 효과적인 가공을 위해서는 공구경로의 최적화(optimization)과정이 필요하다[9-10].

공구접촉경로로부터 공구위치 경로를 생성하거나 오프셋곡면으로부터 공구위치 경로를 구할 경우 과절삭이 발생할 수 있고, Z-map을 사용하여 오프셋 map을 형성할 경우에는 과절삭이 없는 공구경로는 산출할 수 있지만 공구경로데이터의 양이 커져서 최적화과정이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 새로운 공구위치 경로 생성방법을 제안하고자 하며, 제안된 방법은 3차원 곡면추정자료로부터 자유곡면의 가공을 위한 과절삭이 없고 최적화된 Cartesian공구경로를 자동으로 생성한다.

본 논문에서는 곡면데이터를 공구접근역방향으로 오프셋하여 새로운 오프셋곡면(또는 공구위치 곡면)을 형성함으로써 오프셋곡면 내부에서 교선은 발생하지 않는다. 그리고 적용분할방법을 사용하여 공구위치곡면을 분할할 때 가공오차를 만족하는 범위내에서 그 분할된 세부곡면의 수를 최소화하고 그로부터 Cartesian공구경로데이터를 생성함으로써 공구경로를 정의하는 직선 선분의 수를 최소화 (또는 최적화) 한다. 본 논문에서 가공물은 3축가공이 가능하고 공구접근방향은 -Z로 가정한다. Kim과 Ko[11]가 제안한 방법을 사용하면 가공물이 3축 가공이 가능한지를 확인할 수 있고, 3축가공이 가능한 경우에는 최적공구 접근방향을 구할 수 있다. 그리고 측정데이터의 수는 충분하다고 가정한다.

본 논문은 측정자료에 대응되는 읍셋위치자료를 산출하는 과정, 읍셋위치곡면을 형성하는 과정, 그리고 읍셋위치곡면으로부터 공구경로를 산출하는 과정으로 나누어 진다. 읍셋위치

자료는 주위의 측정자료와 측정자료를 사각그물로 연결하는 가상의 선(이하 측정선)을 과절삭하지 않도록 산출한다.

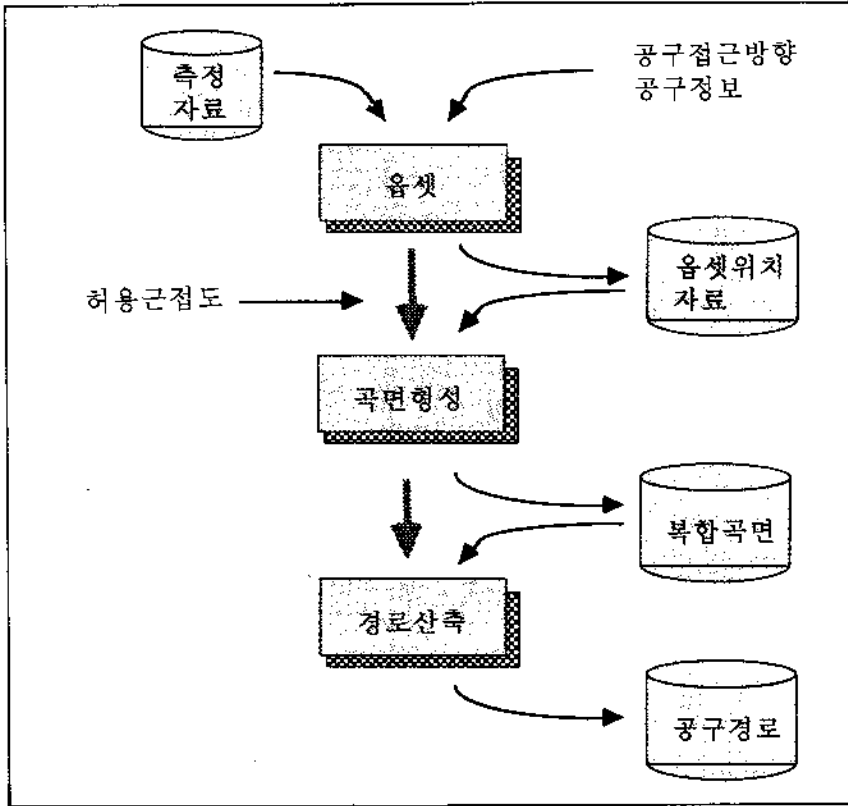


그림 1. 시스템 개요

읍셋위치곡면은 Schmitt등[12]이 제안한 방법을 사용하여 복합 Bezier곡면으로 나타내어지며, 사용자가 설정한 곡면근사오차를 만족한다. 공구경로는 적응분할(adaptive subdivision)을 이용하여 설정한 가공오차를 만족하도록 분할된다. 적응분할을 할때 일반적으로 Bezier곡면의 볼록다각형(convex hull)특성을 이용하여 보수적으로 산출하여 필요이상으로 곡면을 분할하는데, 본논문에서 곡면의 편평도를 추정하는 새로운 방법을 제시하여 기존의 방법을 적용하였을 때보다 분할된 세부곡면의 수가 적게 분할되도록한다. 또한 적응분할법에서 문제가 되는 분할도가 다른 이웃하는 곡면에서 교선의

불연속도 해결하였다.

본 논문은 전체 6장으로 구성되어 있다. 2장에서는 읍셋위치자료를 산출하는 방법을 설명하고, 3장에서는 읍셋위치곡면형성에 대해 설명한다. 4장에서는 공구경로산출방법에 대해 설명하고, 5장에서는 구현한 시스템을 설명한다. 6장에서는 결론 및 추후과제를 제시한다.

2. 읍셋위치자료의 형성

측정자료로부터 읍셋위치곡면을 형성하기 위해서 측정자료에 대응되는 읍셋위치자료를 산출한다. 읍셋위치는 공구를 공구접근방향으로

과절삭없이 최대한 접근시켰을 때의 공구중심점의 위치를 나타낸다. 본 논문에서는 측정자료점 이외에 측정선의 과절삭도 고려하여 읍셋 위치자료를 산출한다. 가공하고자 하는 곡면은 공구접근방향이 -Z축이고, 측정자료는 XY평면으로 투영하였을 때 중복되지 않는 사각그물 형태로 충분히 많다고 가정한다.

임의의 측정자료점에 공구를 위치하였을 때, 다른 측정자료점 또는 측정선이 공구내부에 존재하거나 공구를 통과하면 과절삭이 발생한다.

이때 과절삭여부를 조사하여야 할 측정자료점을 공구투영원내에 있는 측정자료점과 공구투영원 내부와 외부에 걸쳐있는 측정선이다. 읍셋 위치는 공구투영원에 포함되는 모든 측정점과 측정선이 공구내부에 위치하지 않으면서 공구를 곡면에 최대한 접근시켰을 때의 공구중심점을 나타낸다. 가공공구가 볼엔드밀(ball-end mill)일 때 임의의 측정점과 측정선에 대한 공구중심점은 각각 그림 3과 4에서와 같이 구해진다.

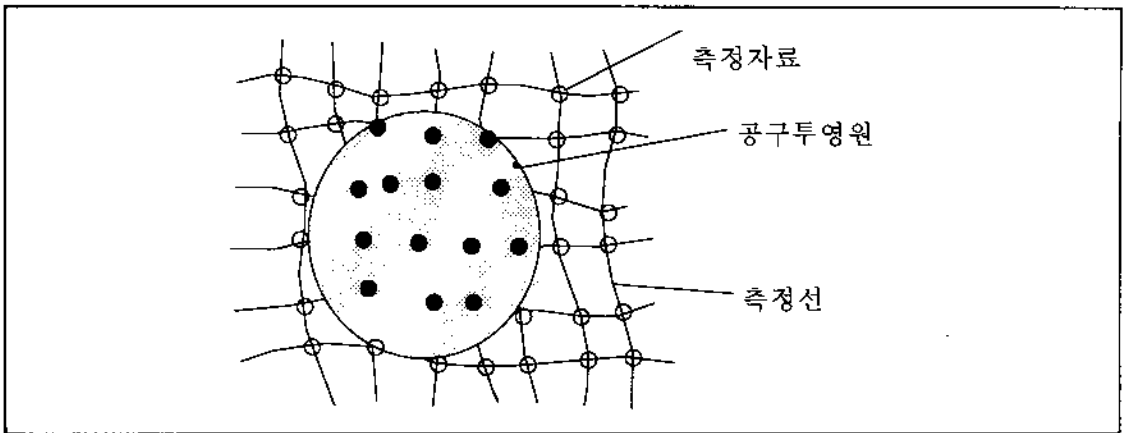


그림 2. 공구투영원

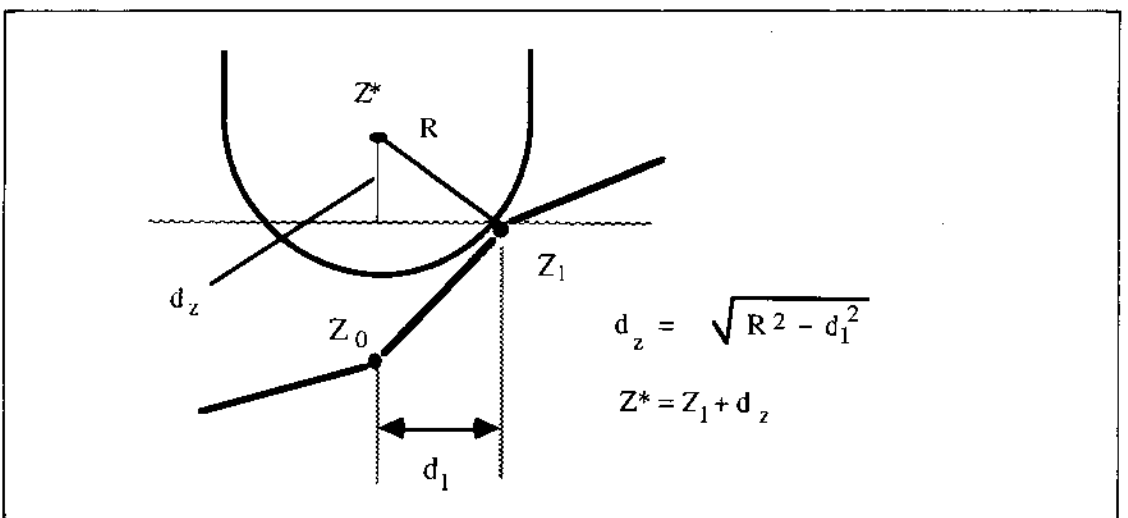


그림 3. 측정점에 의한 읍셋

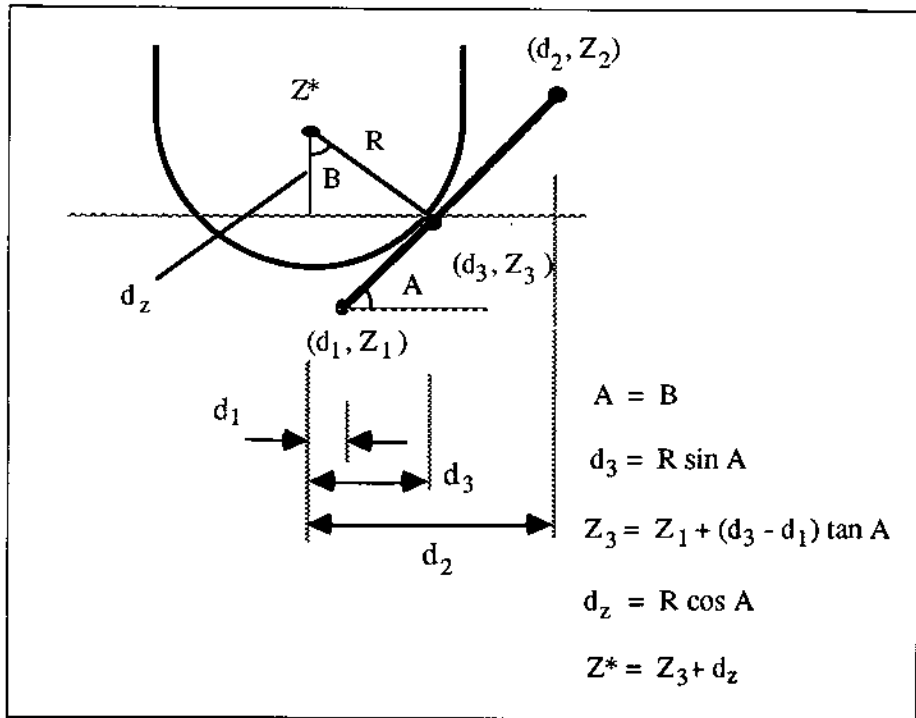


그림 4. 측정선에 의한 읍셋

3. 곡면형성

위치곡면은 Schmitt와 Barsky[12]에 의해 제안된 적용분할을 이용한 곡면형성법으로 형성한다. 이 방법은 위치자료(position data)를 주어진 오차범위내에서 근사시켜 복합 Bezier 곡면으로 나타내며, 이때 각 세부곡면간에는 GC'연속성을 유지한다.

곡면의 형성은 초기화, 검증, 분할의 3가지 과정으로 이루어진다. 초기화에서는 전체 위치 자료를 하나의 Bezier 곡면으로 근사한다. 위치 자료가 근사곡면과 충분히 가까우면 자료가 곡면과 일치(matching)한다고 하며, 검증단계에서는 곡면이 자료와 일치하는지를 검사한다. 각 자료점과 곡면과의 근접도가 사용자가 정의한 허용오차와 비교하여 모든 자료에 대하여 만족하면 이 곡면을 저장한다. 만약 만족하지 않을 경우에는 분할단계를 거친다.

분할단계에서는 현 위치자료를 4개의 자료군

으로 나누고 각 자료군을 Bezier 곡면으로 근사한다. 이때 GC'연속성을 만족하면서 자료를 근사적으로 나타낼 수 있도록 세부 Bezier 곡면의 조정점(control vertex)들을 조정한다. 그리고 각 세부곡면이 자료를 잘 근사하는지를 검증하여 만약 그렇지 않은 경우에는 분할/검증과정을 반복한다. 마지막으로 얻어지는 근사 곡면은 복합 Bezier 곡면이며 모든 위치자료로부터 근사곡면까지의 거리는 주어진 근사오차보다 작거나 같다.(자세한 곡면형성방법은 Schmitt와 Barsky[12]를 참고하기 바람).

4. 공구경로 생성

곡면을 가공하기 위한 공구경로생성을 위하여 많은 연구가 이루어져 왔다. 일반적으로 공구 경로생성법은 매개변수(iso-parametric) 경로법과 Cartesian 경로생성법이 있다[10, 13]. 매개변수경로는 산출하기는 쉬우나 Cartesian 공간상에서 공구경로간의 폭이 변화함으로 공구

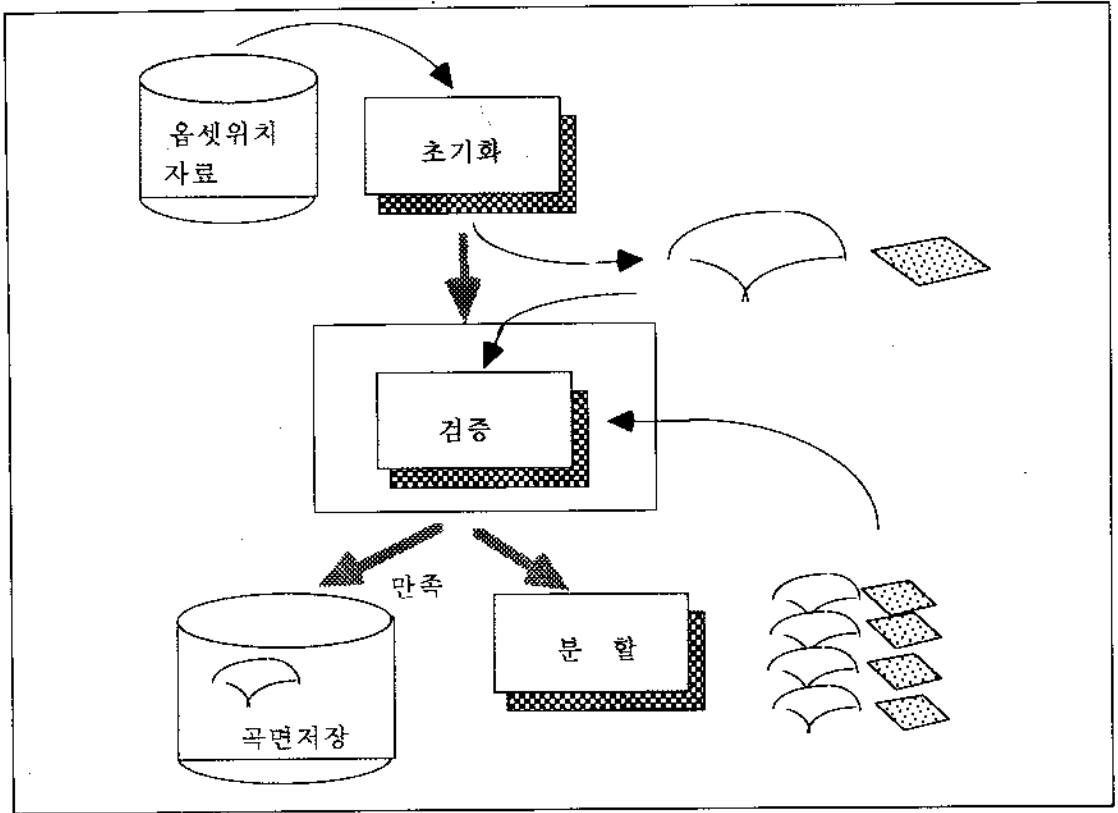


그림 5. 곡면 형성

경로를 부분적으로 필요이상으로 촘촘하게 생성해야하며 따라서 공구경로가 길어진다. 반면 Cartesian경로는 음셋곡면과 절단평면(slicing plane)의 교선을 산출하는 방법을 필요로 하지만 보다 효율적인 공구경로를 생성한다. 곡면과 평면의 교선을 구하는 방법들은 대수적방법, 격자평가법, 추적법, 분할법 등이 있다[14-17].

본논문에서는 분할법을 개선한 적응분할법을 적용하여 곡면을 세부곡면의 편평도가 주어진 가공오차를 만족할 때까지 세분하고, 이 분할된 곡면과 절단평면과의 교선을 구함으로써 Cartesian 공구경로를 생성한다. 그런데 적응분할을 할때 일반적으로 곡면에 대한 편평도를 산출하는 방법이 매우 보수적이어서 곡면을 필요이상으로 세분하게 된다. 그리고 곡면과 평면간의 교선을 구할 때 (i) 직접 교선을 구할

경우에는 반복적인 방법을 사용함으로써 계산 시간이 많이 소요되며, (ii) 세부곡면을 평면으로 근사하는 경우에는 이웃하는 곡면간에 분할된 정도가 틀린 경우에는 근사평면과 절단평면의 교선의 경계부분에서 연속되지 않는다. 본장에서는 Bezier곡면의 편평도를 추정하는 새로운 방법과 곡면과 평면의 교선을 산출하는 효과적인 방법을 제시한다.

4.1 편평도

곡면의 존재영역의 크기로서 곡면의 편평도를 나타내고자 한다. 곡면의 존재영역을 구할 때 곡면상의 점을 산출하여 존재영역을 산출할 경우 많은 점을 고려할수록 정확한 값을 얻을 수 있지만 계산량과 소요시간의 측면에서 비효율적이다. 그래서 Bezier곡면의 특성을 이용하여 조정점만으로부터 존재영역을 구하면 실제

구간을 포함하는 구간을 간단히 구할 수 있으나 실제구간보다 과대평가된다. 다음에는 Bezier곡선과 곡면에 대한 비만평면을 구하는 새로운 방법이 설명된다.

곡면의 존재영역은 비만평면(fat plane)으로 나타낼 수 있다. 곡면을 대표하는 단위법선벡

터(N)가 주어졌을 때, 비만평면은 평행한 두 경계평면 사이의 공간으로 다음과 같이 정의된다.

$$\text{비만평면} = F(N, d_{\min}, d_{\max})$$

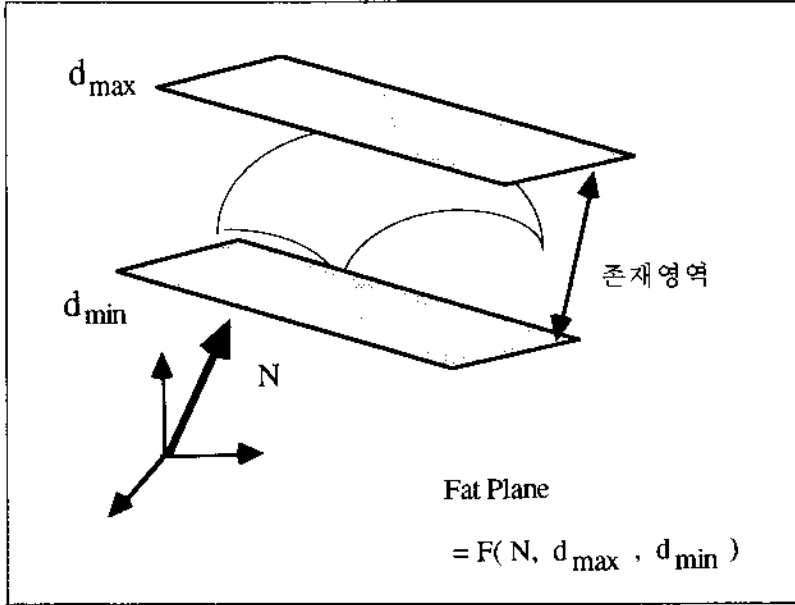


그림 6. 비만평면

여기서 비만평면의 두 경계평면은 곡면상의 점중 법선벡터방향으로 가장 가까운 점과 가장 먼 점을 지나는 평면이며, d_{\min} 과 d_{\max} 는 두 경계평면의 원점까지의 거리이다. 이때 곡면의 편평도는 $d_{\max} - d_{\min}$ 으로 정의된다.

곡면을 대표하는 법선벡터는 조정점들로부터 선형회귀법을 이용하여 구할 수 있으나 소요되는 계산량에 비해 큰 장점이 없으므로, 본 논문에서는 곡면조정망의 네모서리점 ($V_{ij}; i, j = 0, 1, 2, 3$)의 대각선방향 벡터곱(vector product)으로 구한다.

$$N = (V_{33} - V_{00}) \times (V_{30} - V_{03})$$

그리고, 평면에서 원점까지의 거리는 평면상의 점과 법선벡터의 내적(scalar product)임으

로, 경계평면은 대표법선벡터와 곡면상 점과의 최소(d_{\min}) 및 최대 (d_{\max})로 정의될 수 있고, 구간 $[d_{\min}, d_{\max}]$ 은 대표법선벡터방향으로의 곡면존재영역이다.

한편, Bezier곡선과 곡면에 대한 비만평면은 다음과 같이 구할 수 있다.

(1) 곡선의 비만평면

3차의 Bezier곡선 $r(t)$ 의 조정점과 혼합함수를 각각 V_i 와 B_i 라 하고, 곡선의 대표법선벡터를 N 이라 하면, 각 조정점에서 대표법선벡터방향으로의 원점거리 d_i 는 $d_i = V_i \cdot N$ 이고, 곡선상의 임의의 점에서 대표법선벡터방향으로의 거리 $d(t)$ 는 다음과 같다.

$$d(t) = r(t) \cdot N = \sum B_i(V_i \cdot N) = \sum B_i d_i$$

3차의 Bezier곡선에 대해 $d(t)$ 는 3차식이 되고 비만평면의 d_{max} 와 d_{min} 은 t 의 구간 $[0, 1]$ 에서 $d(t)$ 의 최대와 최소값이다. $d(t)$ 의 최대와 최소값은 $d'(t)=0$ 를 만족하는 점 또는 양끝점에서 발생한다.

(2) 곡면의 비만평면

Bezier곡면 $r(u, v)$ 의 조정점을 $V_{ij}(i,j=0,1, 2,3)$ 이라 하면 곡면상의 임의의 점은 다음과 같은 정의된다.

$$r(u, v) = \sum \sum B_i B_j V_{ij} \quad (0 \leq u, v \leq 1)$$

곡면의 조정점 V_{ij} 에서 대표벡터방향으로의 원점거리 d_{ij} 는 $V_{ij} \cdot N$ 이고, 곡면상의 임의의 점에서의 대표벡터방향으로 원점거리 $d(u, v)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} d(u, v) &= B(u, v) \cdot N \\ &= \sum \sum B_i B_j (V_{ij} \cdot N) \\ &= \sum \sum B_i B_j d_{ij} \\ &= \sum B_i (\sum B_j d_{ij}) \\ &= \sum B_i d_i(v) \end{aligned}$$

$d_i(v)$ 에 곡선의 비만평면 산출방법을 적용하면 다음의 $Dmin_i$ 와 $Dmax_i$ 를 구할 수 있으며,

$$Dmin_i \leq d_i(v) \leq Dmax_i$$

위의 두 식으로부터 다음 관계식을 유도할 수 있다.

$$\sum B_i Dmin_i \leq d(u, v) \leq \sum B_i Dmax_i$$

$Dmin(u)$ 와 $Dmax(u)$ 를 다음과 같이 정의하면,

$$\begin{aligned} Dmin(u) &= \sum B_i Dmin_i \\ Dmax(u) &= \sum B_i Dmax_i \end{aligned}$$

다음의 $Dmin_{min}$, $Dmin_{max}$, $Dmax_{min}$, $Dmax_{max}$ 을 구할 수 있으며,

$$\begin{aligned} Dmin_{min} &\leq Dmin(u) \leq Dmin_{max} \\ Dmax_{min} &\leq Dmax(u) \leq Dmax_{max} \end{aligned}$$

$d(u, v)$ 는 다음을 만족한다.

$$Dmin_{min} \leq d(u, v) \leq Dmax_{max}$$

이때 Bezier곡면에 대한 비만평면의 d_{min} 과 d_{max} 는 $Dmin_{min}$ 과 $Dmax_{max}$ 로 정의되고, 편평도는 $Dmax_{max} - Dmin_{min}$ 으로 정의된다.

4.2 곡면과 평면의 교선

일반적으로 분할법에서는 곡면과의 교선을 쉽게 구하기 위해서 곡면을 모서리의 조정점으로 정의되는 사각평면으로 근사한다. 그런데, 이웃하는 곡면이 분할된 정도가 틀린 경우 근사된 사각평면이 서로 다른 경계를 가져 이웃하는 곡면에서 교선이 발생할 경우 교선들이 서로 연속되지 않는다.

이웃하는 곡면의 분할도에 따른 차이를 처리하기 위하여 그 부분을 새로운 삼각곡면으로 간주하거나 오각곡면으로 고려하면 자료구조가 균일하지 못하게 된다[18-20]. 그러나 이러한 문제점은 직접 곡면의 경계곡선과의 교점을 구함으로써 해결할 수 있다.

가공편평도를 만족하도록 곡면을 세부곡면으로 분할하면 평면과 세부곡면의 경계곡선에서 발생하는 교점은 다음을 만족한다.

- (1) 평면과 경계곡선과 교점이 있을 경우 오직 1개의 교점만이 존재한다.
- (2) 교점이 있을 경우, 경계곡선중 2개의 경계곡선에서만 교점이 발생한다.

한편, 평면과 세부곡면의 교선은 하나의 곡선이 되나 본 논문에서는 경계곡선에서 발생하는 2개의 교점을 연결한 교직선으로 교선을 근사하며, 이때에 곡면의 편평도가 가공오차보다 작으면 실제교선과 교직선과의 최대오차는 항상 가공허용오차보다 작다.

평면과 곡선과의 교점을 구하는 방법으로 수치해석적 방법이 있으나 반복적으로 해를 구함으로써 계산시간이 많이 소요되고 근사값이 구해진다[10, 13]. 그러나 본 논문에서는 3차방정식 근의 공식을 사용하여 정확한 교점을 구한다.

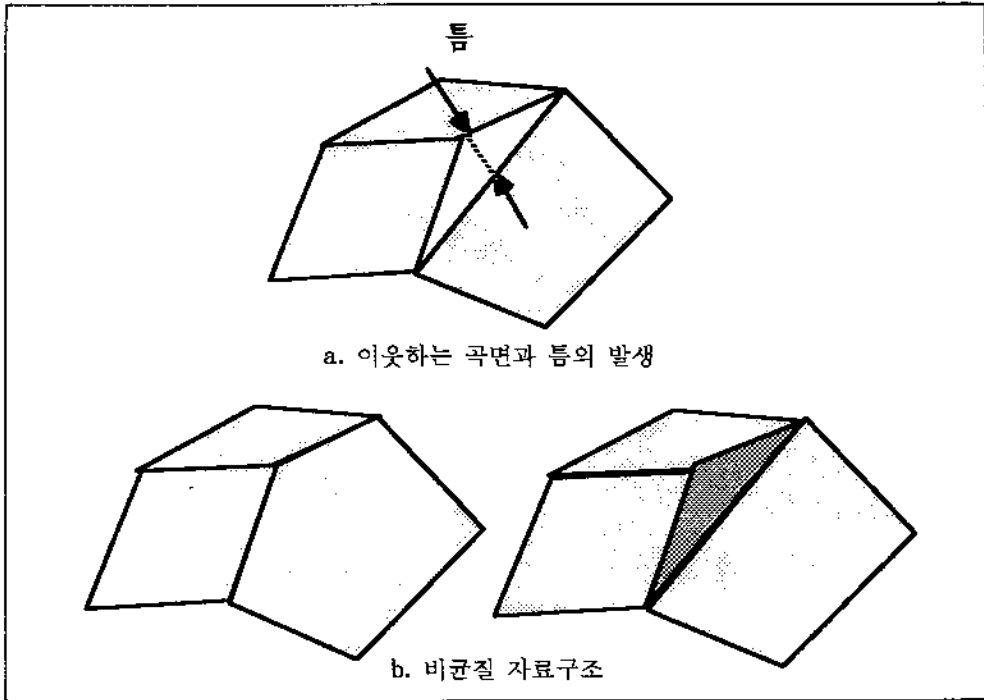


그림 7. 적응분할

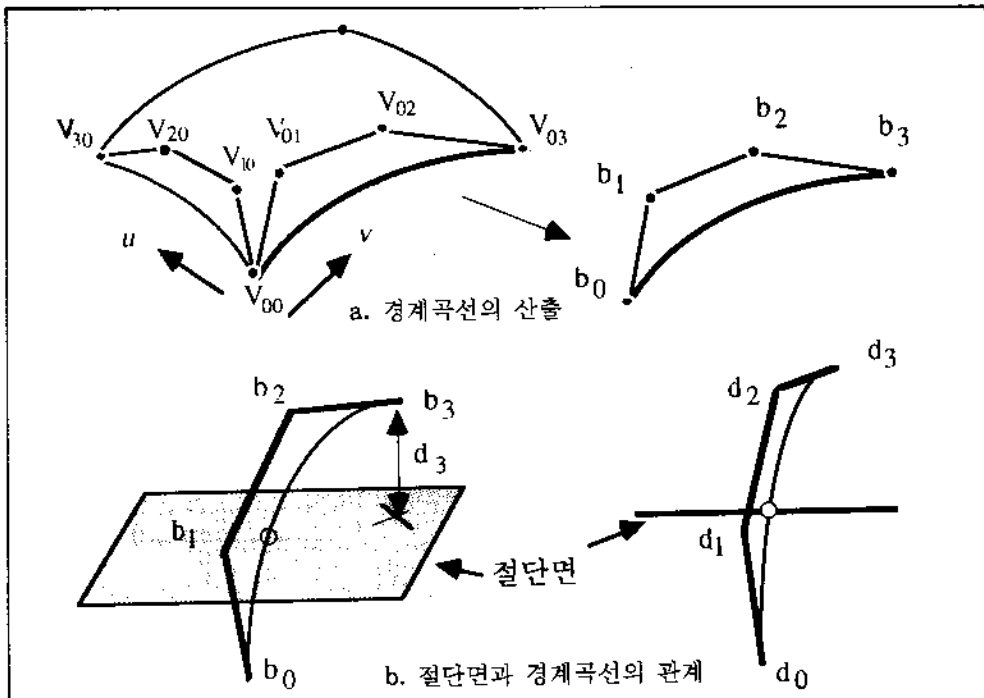


그림 8. 경계곡선에서의 교점

그림 8에서와 같이 곡면의 조정망을 V_i 라 하면 $u=0$ 인 경계곡선의 조정망은 $V_{00}, V_{01}, V_{02}, V_{03}$ 가 된다. 이것을 b_0, b_1, b_2, b_3 라 하고 절단면의 단위법선벡터를 N , 원점거리를 d 라 하면 곡선에서 평면까지의 거리 $d(t)$ 는 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$d(t) = \sum_{i=0}^3 (b_i B_i(t)) \cdot N - d$$

$$= \sum_{i=0}^3 ((b_i \cdot N) B_i(t)) - d$$

$$= \sum_{i=0}^3 (d_i B_i(t)) - d$$

여기서 혼합함수 $B_i(t)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$B_i(t) = \frac{3!}{(3-i)!i!} (1-t)^{3-i} t^i$$

위의 두식으로부터 $d(t)$ 를 다음과 같이 3차 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$d(t) = At^3 + Bt^2 + Ct + D = 0$$

여기서, $A = -d_0 + 3d_1 - 3d_2 + d_3$

$B = 3d_0 - 6d_1 + 3d_2$

$C = -3d_0 + 3d_1$

$D = d_0 - d.$

따라서 이 3차식의 해를 구함으로써 곡선과 평면과의 교점을 구할 수 있다. 3차방정식의 해는 근의 공식을 이용하여 직접 구할 수 있다 [21].

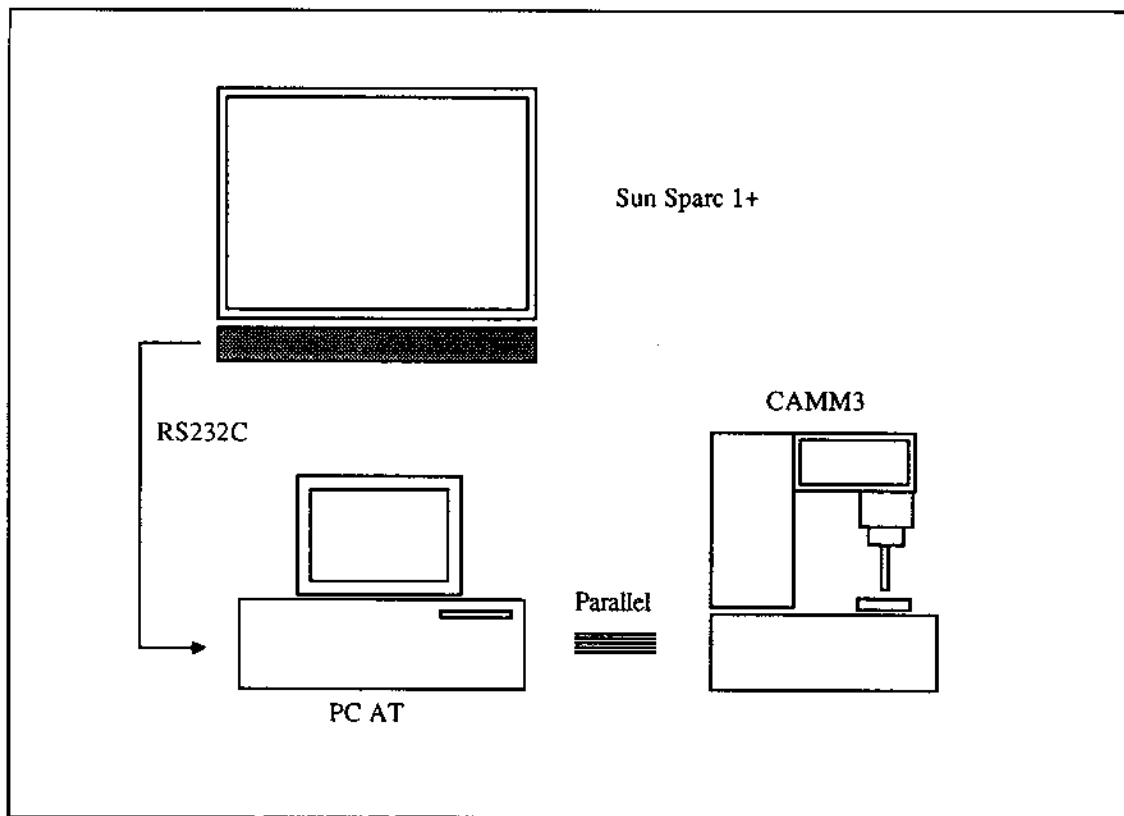


그림 9. 시스템 구성

5. 시스템 구현

자유곡면가공을 위한 공구경로생성시스템은 C언어를 사용하여 SUN 워크스테이션에서 OpenLook을 GUI(Graphic User Interface)로 사용하여 구현되었다. 그림 9에서와 같이 워크스테이션에서 3차원 측정자료와 가공자료로부터 자동으로 가공경로를 산출하여 RS232C를 통하여 PC에 전송하면 PC에서 3축 수치제어 가공기인 CAMM3의 명령어인 CAMM3-GL1

으로 변환하여 CAMM3에 전송하여 실제로 가공을 한다.

그림 10은 자유곡면형상의 100×100 측정 자료를 보여주고 있다. 그림 11와 12는 그림 10의 측정자료를 지름 4.0mm의 볼앤드밀에 대해 옴셋하고, 이 옴셋자료를 각각 허용오차 1.0mm와 1.5mm로 근사하여 곡면으로 나타낸 것이다. 허용오차를 작게할 경우 더욱 많이 분할됨을 알 수 있다.

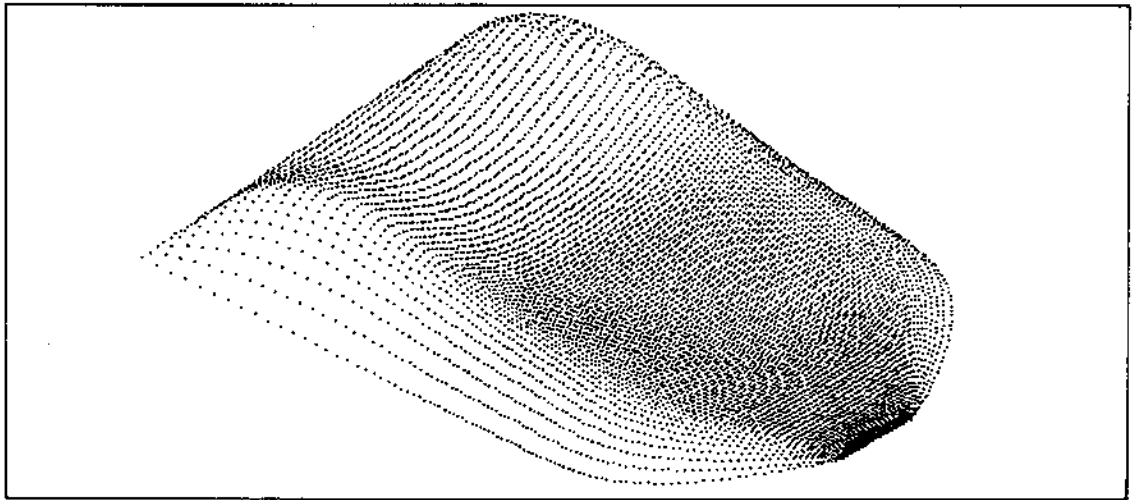


그림 10. 측정자료

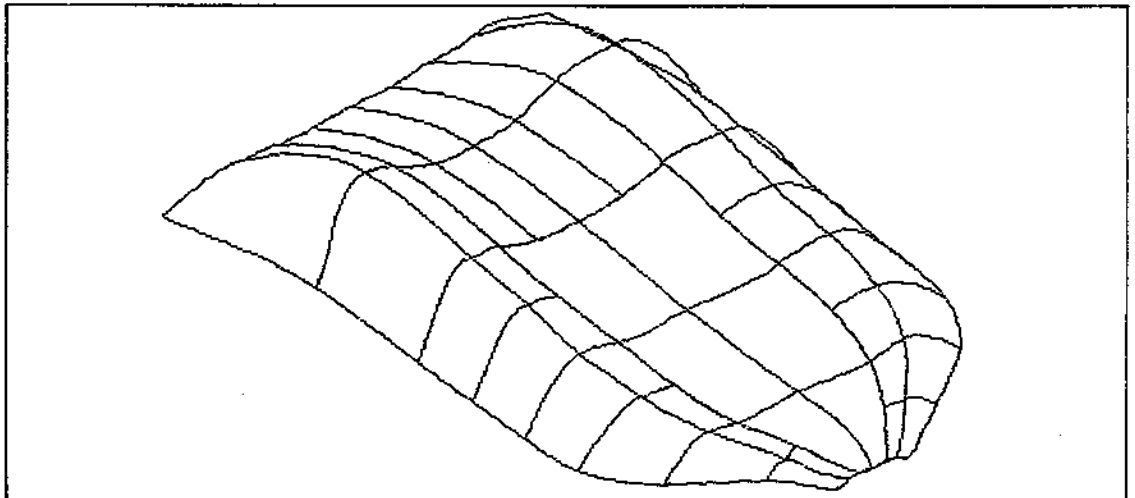


그림 11. 허용오차 1.0mm로 형성된 옴셋위치곡면

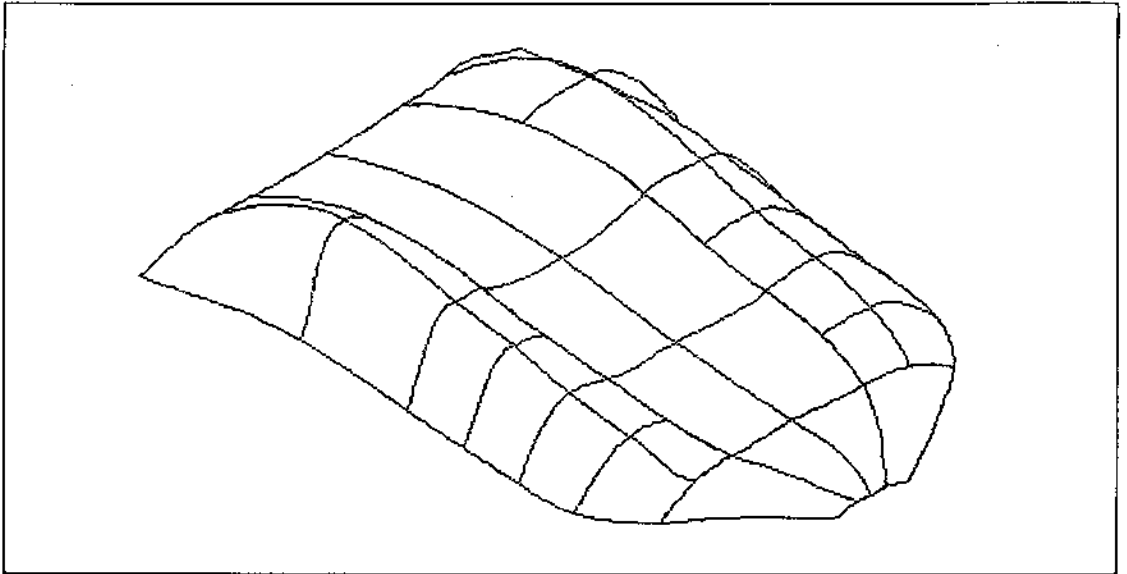


그림 12. 허용오차 1.5mm로 형성된 읍셋위치곡면

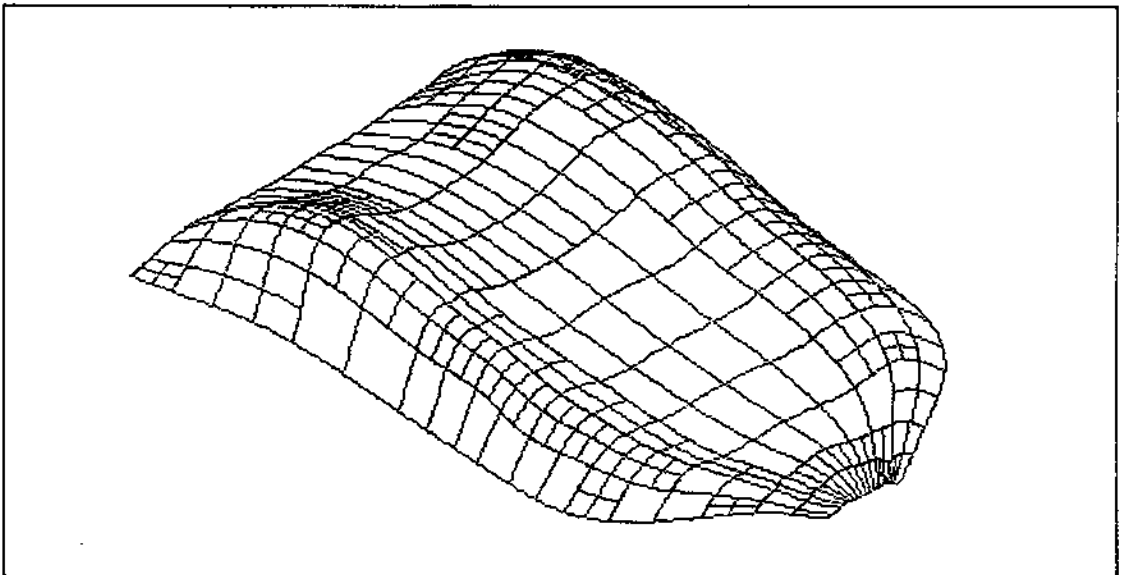


그림 13. 분할된 곡면 : 기존의 편평도 추정방법을 사용하였을 때

적용분할법으로 경로를 생성하기 위하여 읍셋곡면을 허용편평도 0.5mm로 분할하였다. 그림 11의 곡면에 대해 기존의 편평도 추정방법을 이용하여 분할하면 그림 13과 같이 342개의 곡면으로 분할되지만 본 논문에서 제시한 기준으로 하면 그림 14와 같이 243개의 곡면

으로 분할된다. 따라서 기존의 방법은 본 논문에서 제안한 방법보다 곡면의 편평도를 보수적으로 평가함으로써 알 수 있다.

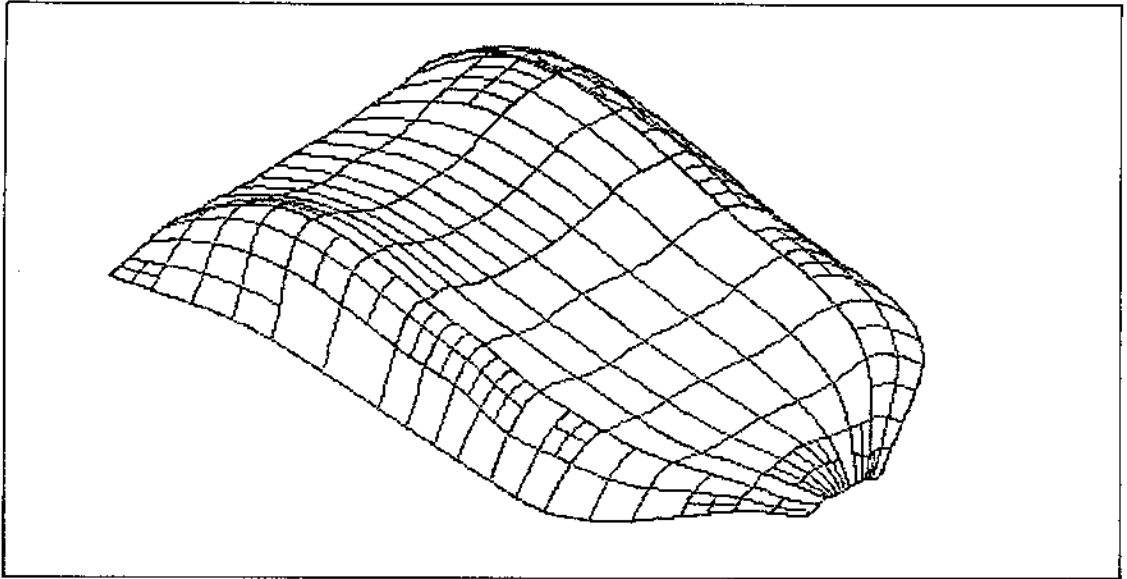


그림 14. 분할된 곡면 : 새로운 편평도 추정방법을 사용하였을 때

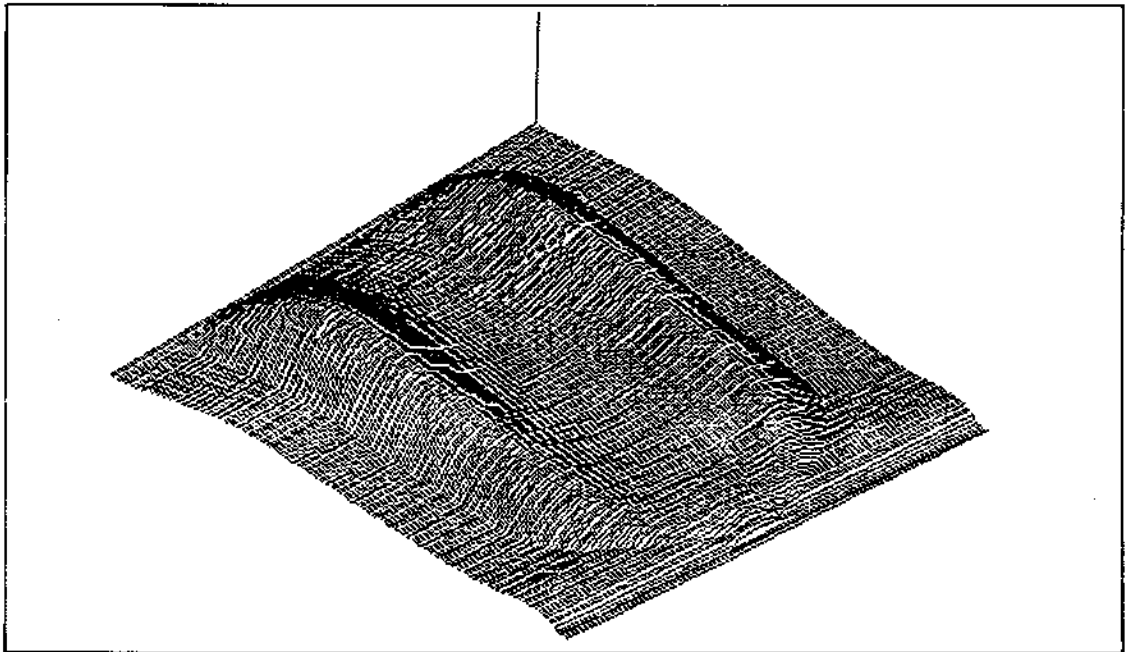


그림 15. 공구경로

공구경로의 간격을 0.5mm로 하여 공구경로를 산출하여 나타내면 그림 15와 같으며, 이를

CAMM-3를 이용하여 절삭하면 그림 16과 같은 가공물을 얻을 수 있다.

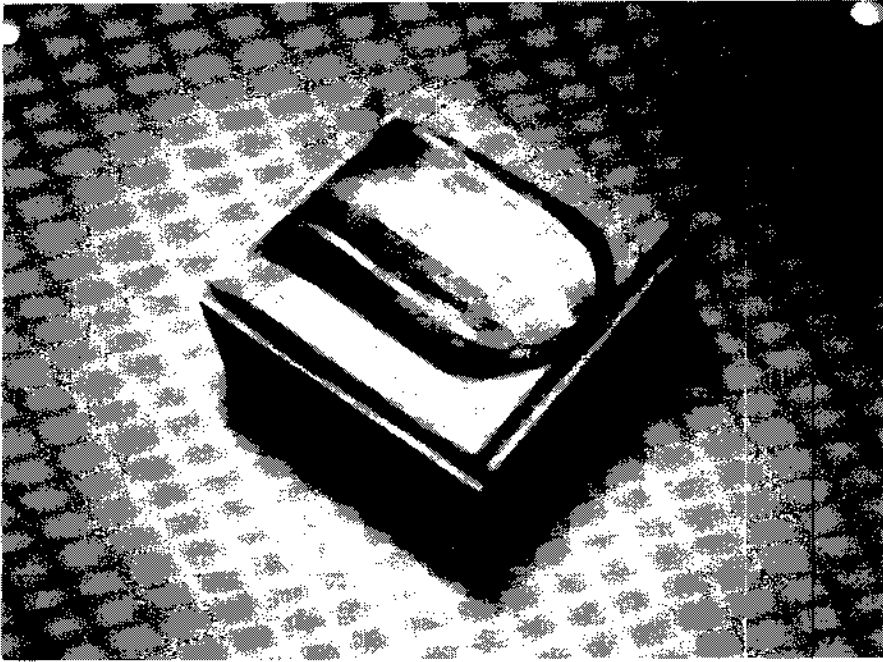


그림 16. 가공물

6. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 3차원 곡면의 측정자료로부터 곡면가공을 위한 Cartesian공구경로를 자동으로 생성하는 새로운 방법을 제안하였다. 과절삭을 방지하기 위하여 측정자료로부터 수정된 역옴셋방법으로 옴셋위치자료를 산출하여 옴셋곡면을 형성하였으며, 공구경로의 최적화를 위하여 옴셋곡면을 적용분할법을 이용하여 가공오차범위내에서 분할한 후 이 분할곡면으로부터 Cartesian공구경로를 생성하였다.

옴셋곡면을 분할할 때 분할의 기준이 되는 곡면의 편평도를 Bezier곡면의 특성을 이용하여 보다 정확히 추정하여 과대분할되는 것을 줄임으로써 세부옴셋곡면과 절단면의 교선으로 정의되는 Cartesian공구경로의 직선선분의 수를 줄일 수 있었다. 그리고, 분할도가 다른 이웃곡면사이에서 발생하는 틈으로 인한 교선의 불연속은 곡면의 경계곡선에서 교점을 구함으로써 해결하였다.

본 논문에서 제시한 방법으로 생성된 옴셋곡

면이나 공구경로는 주어진 크기의 공구에 대한 것이다. 만약 크기가 다른 공구로 주어진 곡면을 가공하고자 할 때에는 공구경로를 새로이 생성해야 한다. 그러나 그 경우에도 공구경로는 입력자료가 주어질 경우 자동으로 생성된다. 본 논문에서 제시된 공구경로생성방법이 효과적으로 사용되기 위해서는 빠르게 옴셋곡면을 형성하여야 한다. 현재의 옴셋곡면 형성과정에서는 근사곡면이 근사려용오차를 만족하는지를 검증하는데 많은 시간이 소요되어 근사곡면과 측정자료와의 근접도를 효과적으로 계산하는 알고리즘의 개발이 요구된다.

참고문헌

1. Bobrow, J.E., "NC Machining Tool Path Generation from CSG Part Representation", *Computer Aided Design*. Vol.17, No.3, pp.69-76, 1985.
2. Kim, K. and Biegel, J.E., "An Integrated Approach to Sculptured Surface Design

- and Manufacture”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol.14, No.3, pp. 171-180, 1988.
3. Choi, B. and Jun. C., “Ball-end Cutter Interference Avoidance in NC Machining of Sculptured surfaces”, *Computer Aided Design*, Vol.21, No.6, pp. 371-378, 1989
 4. Farouki, R.T., “The Approximation of Non-Degenerate Offset Surfaces”, *Computer Aided Geometric Design*, Vol.3, pp.15-43, 1986.
 5. Chen, Y. and Ravani, B., “Offset Surface Generation and Contouring in Computer-Aided Design”, *Journal of Mechanics, Transmission, and Automation in Design*, Vol.109, pp.133-142, 1987
 6. Sakamoto, M., Abe, M., and Orita, R., “Development of a Personal CAD/CAM System for Mold Manufacture Based on Solid Modeling Techniques”, *Annals of the CIRP*, Vol.38, pp.429-432, 1989.
 7. Saito, T. and Takahashi, T., “NC Machining with G-buffer Method”, *Computer Graphics*, Vol.25, No.4, pp.207-216, 1991.
 8. Choi, B., Lee, C., Hwang, J., and Jun, C., “Compound Surface Modelling and Machining”, *Computer Aided Design*, Vol. 20, No.3, pp.127-135, 1988.
 9. Lee, A., Chen, D., and Jun, C., “A CAD /CAM System from 3D Coordinate Measuring Data”, *Int. J. of Production Research*, Vol.20, No.3, pp.127-135, 1988.
 10. 김광수, 최영환, “자유곡면 가공을 위한 CAD/CAM 시스템”, *대한산업공학회지*, 17권 1호, pp.37-49, 1991.
 11. Kim, K and Ko, B., “Automated Machinability Checking for Sculptured Surface Manufacture”, *대한산업공학회 춘계학술회의*, 1992년 5월, 울산대학교.
 12. Schmitt, F., Barsky, B., and Du, W., “An Adaptive Subdivision Method for Sculptured Surface-Fitting from Sampled Data”, *ACM Computer Graphics*, Vol.20, No.4, pp.179-188, 1986.
 13. 전거치, “3차원 자유곡면의 Cartesian Machining을 위한 가공정보산출에 관한 연구”, 석사학위논문, 한국과학기술원, 대전, 1987.
 14. Pratt, M. and Geisow, A., “Surface/Surface Intersection Problems”, in *The Mathematics of Surfaces*(editor : J. A. Gregory), Clarendon Press, 1986.
 15. Peng, Q., “An Algorithm for Finding the Intersection Lines between two B-spline Surfaces”, *Computer Aided Design*, Vol. 16, No.4, pp.191-196. 1984.
 16. Barnill, R. and Kersey, S., “A Marching Method for Parametric Surface/Surface Intersection”, *Computer Aided Geometric Design*. Vol.7, pp.257-280, 1990.
 17. Sederberg, T. and Nishita, T., “Curve Intersection using Bezier Clipping”, *Compter Aided Design*, Vol.22, No.9, pp. 538-549, 1990.
 18. Lee, R. and Fredricks, D., “Intersection of Parametric Surfaces and a Plane”, *IEEE Computer Graphics & Applications*, August 1984.
 19. Michael, J. and Michael, J., “Simplification of Objects Rendered by Polygonal Approximations” *Computers & Graphics*, Vol.15, No.2, pp.175-184, 1991.
 20. Ali, I. and Bedi, S., “NC Controller Surface Machining”, *Int. J. of Advanced Technology*, Vol. 7, pp.150-158, 1992.
 21. 방정식의 이해와 해법, 전파과학사