

복합곡면 NC 가공에서의 공구간섭 방지†

Cutter Interference Avoidance in NC Machining of Compound Surfaces†

전 차 수*

Cha-Soo Jun*

Abstract

Cutter Interference(or part surface gouging) is one of the most critical problems in NC machining of sculptured surfaces. Presented in this paper is an algorithmic procedure that converts CC data obtained from a compound surface(several surfaces without topological relationship) into interference-free CL data.

The interference handling procedure consists of following steps: (1) Z-map model is constructed from input surfaces. (2) Interference sources are detected using local properties of the sources. (3) Interference regions are completely identified based on global tests for neighboring CC points of the interference sources. (4) Cutter paths are reconstructed after removing the CC data in interference regions, while avoiding any new interferences.

1. 서 론

공구간섭(cutter interference; gouging)이라 곡면의 오목한 부분을 큰 반경의 공구로 가공할 때 공구가 곡면을 과절삭하는 현상을 말한다. 이것은 곡면의 NC 가공에서 가장 중요한 문제 중의 하나이며 여러가지 접근방법들이 소개되고 있다.

APT(automatically programmed tool)[1]에서는 공구의 위치를 결정할 때 part, drive, check surface에 동시에 접하도록 하는데 이때

공구의 세 곡면과의 최근접점 계산을 반복적으로 행한다. Bobrow[2]는 CGS(constructive solid geometry)모형을 평면과 교차시켜 공구 접촉점 곡선을 구한 다음 이 곡선이 다른 곡면(check surface)과 만나는 경우 간섭 검사를 행하여 간섭이 발생하는 곡선구간을 제거하는 방식을 제안하였다. Duncan & Mair[3], Hwang [4]은 곡면을 다면체로 근사하고 하나의 공구 위치를 결정할때 공구가 다면체에 닿는 가장 높은 곳에 위치하도록 하여 공구간섭이 없는 공구경로를 생성하고 있다. Kondo 등[5]과 정연찬[6]은 곡면을 Z-map(xy 평면상의 사각 격자점에 곡면의 z 좌표값을 저장한 모형)으로 근사하고 'Inverse offset' 방법에 의하여 공구경로를 구하고 있다. Aomura 등 [7]은

† 본 연구는 1990년도 한국과학재단의 연구지원(903-909-007-2)에 의한 결과임.

* 경상대학교 산업공학과

offset 곡면의 교선을 구하여 공구 간섭영역을 결정하는 방법을 제안하고 있다.

Choi & Jun[8]은 가공곡면으로 부터 CC 데이터(공구접촉점과 법선벡터)를 구한 다음 이로부터 꼭지점에 법선벡터를 갖는 다면체 모델로 근사하였다. 본 연구에서는 간섭원(interference source)의 개념을 도입하여 간섭원을 발견한 다음 이 주변의 영역에 대해서만 간섭 검사를 함으로써 계산의 효율성을 높였다.

그림 1은 공구간섭의 유형을 보여주고 있는데 (a)는 자체 곡면 내에서 공구간섭이 발생되고 있으며 (b)는 다른 곡면과 간섭이 발생되고 있다. (b)와 같은 경우는 복합곡면의 가공시에

흔히 발생되는데 복합곡면을 형성하는 단위 곡면은 서로 겹쳐있어 가공영역이 명확하지 않거나, 곡면간의 위상학적관계가 주어지지 않은 경우가 많다. 기존 연구[8]는 볼엔드밀을 사용할때 그림 1(a)와 같은 공구 간섭을 효율적으로 방지하는 방안을 제시하였는데 본 연구는 (b)의 경우까지 확장하고 사용 공구도 필렛 엔드밀의 경우도 일반화 하였다. 본 연구에서는 Z-map 모형을 이용하여 복합 곡면의 위상학적인 문제와 계산의 안정성 문제를 해결하였으며, 간섭원의 개념을 이용하여 계산의 효율성을 높이고 있다.

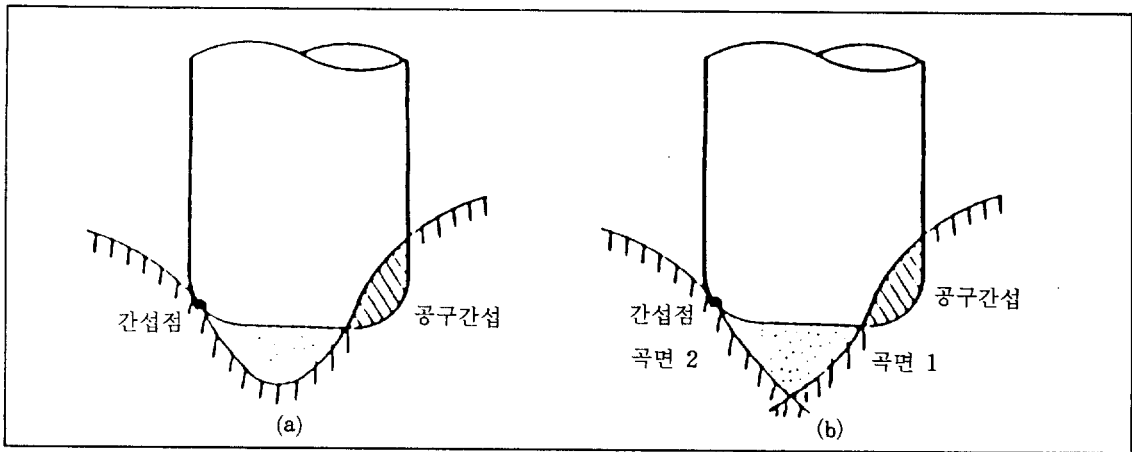


그림 1. 공구간섭의 유형

2. 공구간섭의 미분 기하학적 배경

공구간섭 문제를 보다 효율적으로 해결하기 위해서는 공구간섭에 대한 곡면의 미분기하학적 관계를 살펴 볼 필요가 있다. 본 장에서는 필요한 용어를 정의하고 공구간섭 발생의 조건을 조사한다.

그림 2는 본 연구에서 취급하는 공구인 필렛 엔드밀(filletted endmill), 볼 엔드밀(ball endmill)과 플랫 엔드밀(flat endmill)을 보여주며 본 연구에 필요한 용어를 정의 하고 있다. 공구가 가공 곡면 상의 한점 r에 접해 있을때 그 접점을 CC점(공구 접촉점; cutter contact point)

라 하고, 그 접점에서의 법선벡터 n으로 이루어진 순서쌍(r, n)을 CC데이터라 한다. CC 데이터와 공구 중심점 p는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$p = \begin{cases} r + an + b(uxnxu) / |uxn|, & |uxn| \neq 0 \\ r + an, & |uxn| = 0 \end{cases} \quad (1)$$

일반적으로 NC 동작기계에서는 공구 바닥의 중심점 b를 위치제어의 기준점으로 삼고 CL점(cutter location point)이라 하는데

$$b = p - au \quad (2)$$

와 같이 나타내어지고, 순서쌍 (b, u)를 CL

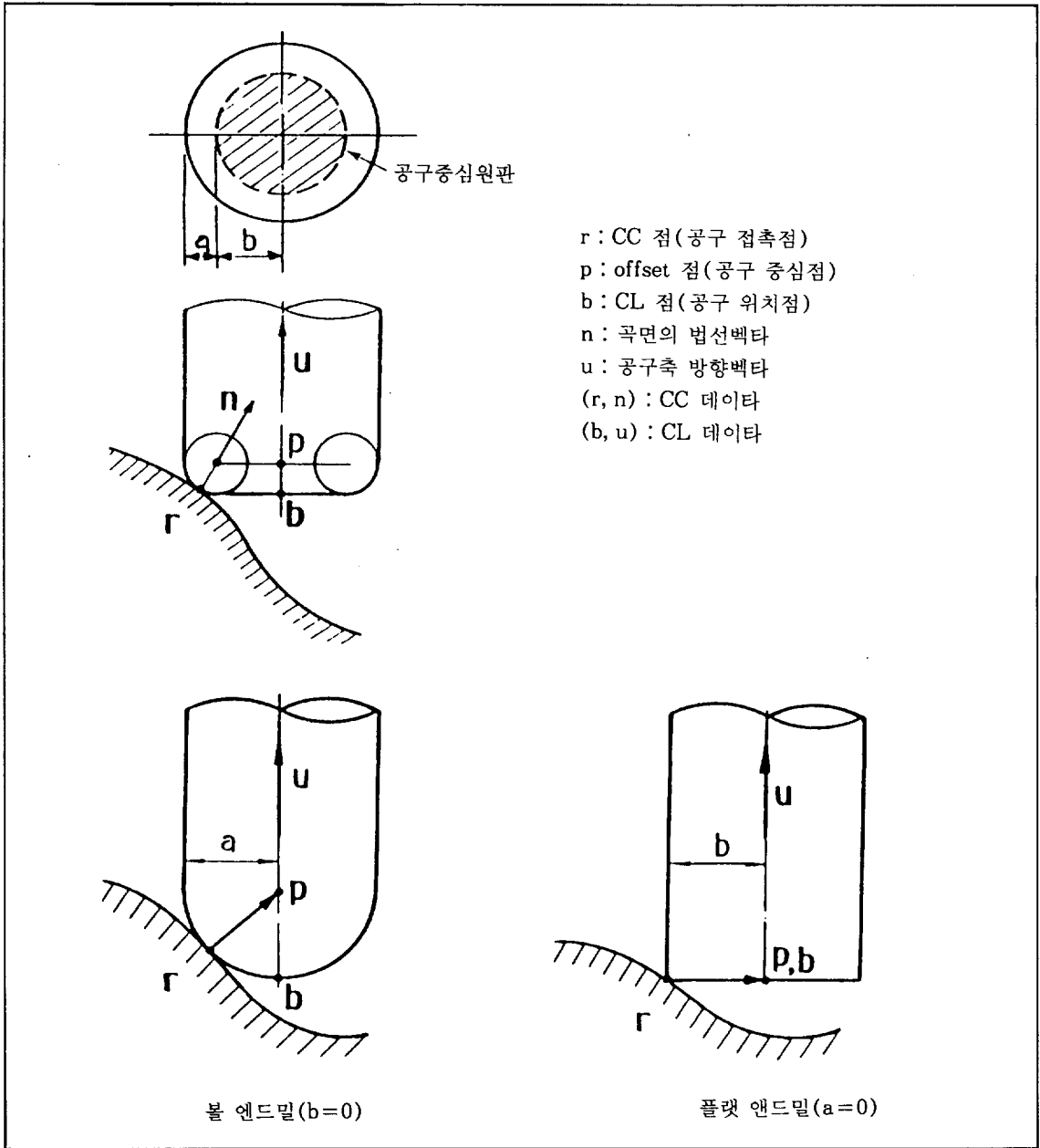


그림 2. 공구접촉점과 공구중심점

데이터(cutter location data)라 부른다.

공구간섭(cutter interference)이란 공구가 가공 곡면에 접해있을때 공구 접촉점 이외의 부분에서 공구곡면과 가공곡면이 교차(intersection)됨을 말한다. 이때 공구 간섭을 일으키는

공구 접촉점을 간섭점(interfering point)이라 한다. 간섭점들은 가공곡면 상에서 연속적으로 모여있게 되는데, 하나의 연속된 간섭점들의 집합을 간섭영역(interference region)이라 부른다. 가공곡면 및 공구곡면의 곡률과 공

구간섭 사이에는 다음과 같은 조건이 성립된다.[9]

정리(공구간섭의 충분조건)

공구접촉점에서 가공곡면의 법선곡률이 공구곡면의 법선곡률보다 크게되는 접선방향이 존재하면 그 공구접촉점은 간섭점이다.

위의 공구간섭조건을 만족하는 간섭점을 **간섭원(interference source)**이라 한다. 간섭원이 갖는 성질을 보다 자세히 살펴보면 다음과 같다.

1) 간섭원에서는 가공곡면의 법선곡률이 공구곡면의 법선곡률 보다 크게되는 접선 방향이

존재한다. 이는 공구접촉점에서 가공곡면과 공구곡면의 Dupin's indicatrix를 겹쳐보면 명확히 알 수 있다. 그림 3(a)는 간섭원이 아닌 경우를, (b)는 간섭원인 경우를 나타낸다.

2) 간섭원에 접한 공구는 간섭원 근방의 곡면과 간섭이 발생된다. 반면에 그림 1에 있는 바와 같이 간섭원이 아닌 일반 간섭점은 공구 접촉점으로부터 떨어져있는 부분과 간섭이 발생된다.

3) 간섭이 발생되면 offset곡면에 간섭 loop가 형성되는데, 이 loop의 바닥부분이 간섭원에 해당된다.

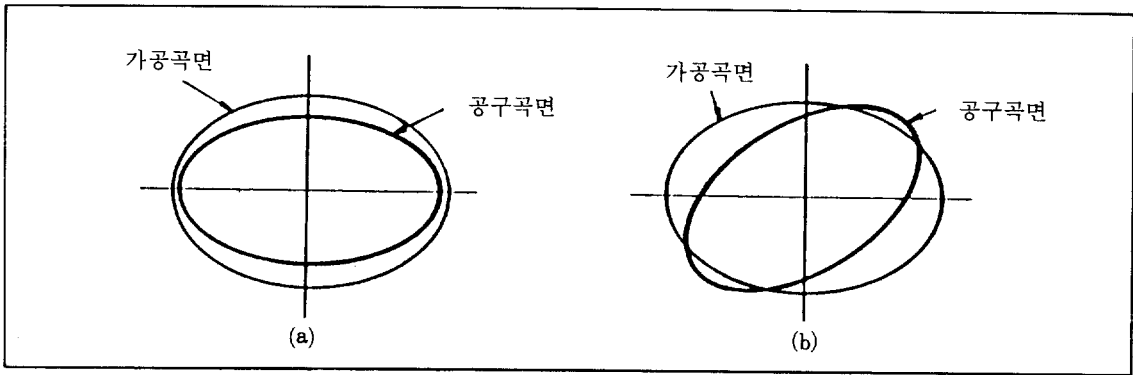


그림 3. Dupin's Indicatrices

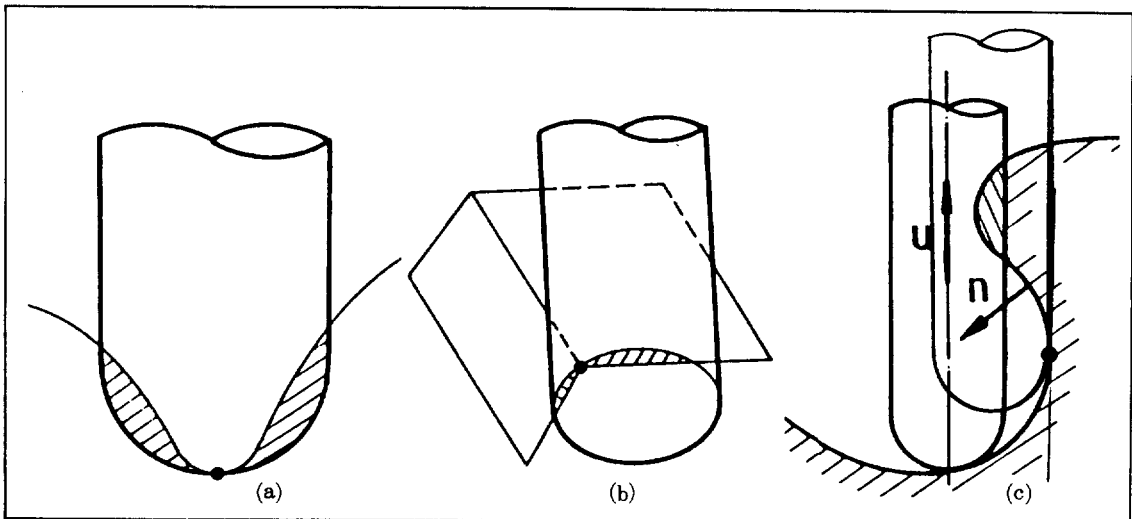


그림 4. 간섭원

이상과 같이 간섭원은 곡면의 국소적 성질 (local properties)이나 곡면의 국소적 탐색에 의해 쉽게 발견할 수 있다.

이제 사용공구와 가공곡면에 대해서 다음과 같은 가정을 추가하자.

가정(공구 및 가공곡면에 대한 가정)

- 1) 공구는 필렛, 볼, 그리고 플랫 엔드밀을 사용한다.
- 2) 공구의 축방향이 고정된 3축 NC 가공이다.
- 3) 가공곡면의 경계곡선을 공구 축 방향에 수직인 평면에 투영시켰을때, 투영된 곡선의 곡률반경이 공구의 반경(a+b)보다 큰 점이 존재하지 않으면서, 투영된 곡선을 공구반경 만큼 offset시켰을 때 self intersection이 발생되는 가공곡면은 제외한다.

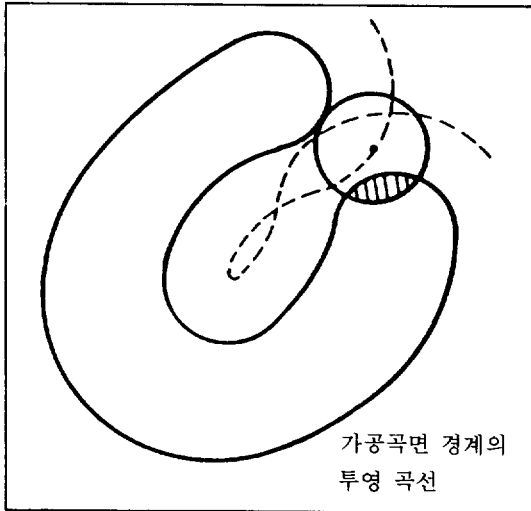


그림 5. 간섭원이 곡면 밖에 존재하는 경우

위의 가정 1), 2)는 일반적인 3축 NC 밀링 작업을 생각할 때 매우 당연한 것이다. 본 연구에서는 가정 3)을 배제한 경우의 문제도 다루고 있다.

이 가정 하에서 공구간섭의 충분조건은 공구간섭의 필요충분조건이 될 수 있다. 즉, 간섭원은 간섭영역에 포함되고 간섭영역에는 항상 간섭원이 존재한다.

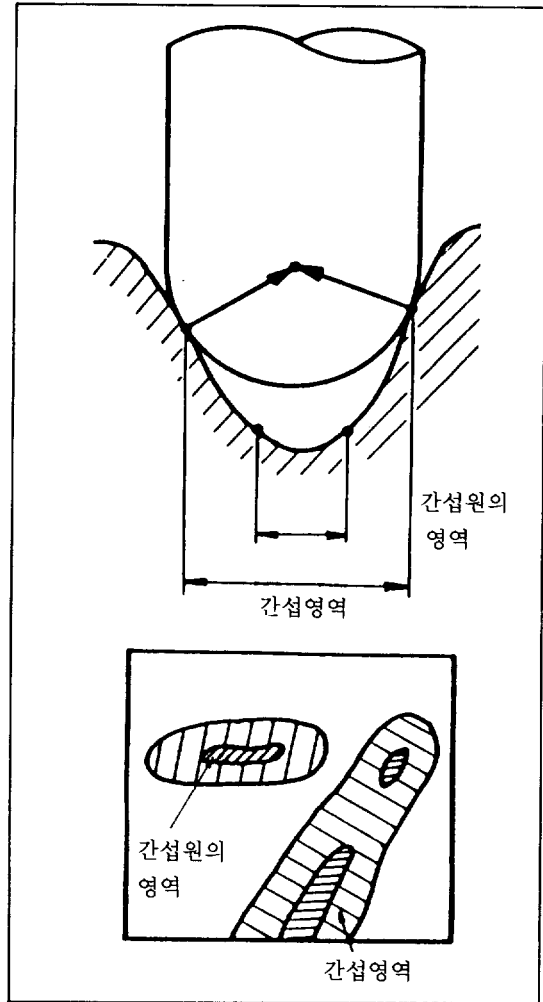


그림 6. 간섭원과 간섭영역

3. 공구간섭 처리를 위한 곡면의 근사 모형

3.1 Z-map 근사 모형

공구간섭 처리에 있어서 가장 중요한 일 중의 하나는 공구와 가공 곡면간의 교차 여부를 계산(또는 최소 거리를 계산)하여 간섭을 확인하는 일이며, 이때 곡면의 표현 방식은 계산속도, 계산의 안정성(robustness), 기억 공간의 크기 및 가공 공차에 많은 영향을 미친다. 표 1에는 간섭처리를 위한 곡면 모형의 종류와 기존의 연구를 정리해 놓았다.

표 1. 간섭처리를 위한 곡면 모형의 종류

분류	곡면 모형	기존 연구	특 징
원래 모형	Parametric surface	APT[1] Aomura[7]	- 원래 곡면과 Newton Raphson Search를 행함 - 수치계산의 안정성을 보장 못함
	Solid model	Bobrow[2] Wang[13]	- Solid model과의 최단거리 계산 - Boolean operation 이용
근사모형	다면체 곡면	Duncan[3] Hwang[4]	- 계산의 안정성 높음
	꼭지점에 원곡면의 법선 벡터를 갖는 다면체 곡면	Choi&Jun[8] 전[9]	- CC path를 따라 triangulation하여 다면체로 근사함 - 원래곡면에 정확히 접함
	Discrete point model	Jerard[12]	- 곡면을 다면체 근사후 꼭지점 data만을 이용 - 계산의 효율을 위하여 Bucket방법 이용
	Z-map model	Choi[10] Kondo[5]	- x y 평면상의 등간격 grid의 z값을 저장하여 이용함
	G-buffer model	Saito[11]	- Z-map에 z값 뿐아니라 법선벡터 등의 Geometric properties를 저장함

Parametric spline surface나 solid model과 같은 원래의 모형을 공구 간섭처리에 이용하는 것은. 별도의 근사모형을 형성하는 번거로움을 피하고 근사모형 형성에 따른 오차의 누적을 막을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 일반적으로 불규칙한 곡면에 대한 수치계산(일반적으로 Newton-Raphson 탐색법 이용)의 안정성에 심각한 문제가 있다[1, 2]. 또한 간섭처리 알고리즘이 곡면의 표현 방식에 의존하는 것도 단점으로 들 수 있다.

원래의 가공곡면으로부터 근사모형을 형성하면 근사절차가 필요하고 근사오차가 발생되며, 데이터 저장공간이 많이 소요되나 일반적으로 수치계산의 단순성과 안정성의 보장과 계산시간의 단축 등을 얻을 수 있으므로 여러가지 근사 모형들이 이용되고 있다. 특히 근래에 와서 computer의 계산속도 및 기억용량의 급속한 발전에 따라 계산에 안정성을 보다 확실히 보장하는 근사 모형이 널리 이용되는 추세이다.

본 연구에서 Z-map을 이용한 근사모형을 이용하고 있다.

Z-map 근사모형은 xy평면 상의 격자점

(grid point)에서 곡면의 z 값을 갖는 z에 관한 양함수형(explicit form)의 곡면 표현방식이다 [10].

Z-map 근사모형은 다음과 같은 장점을 갖고 있다.

① 데이터 구조가 매우 단순하므로 곡면에 대한 조작이 간단하고 계산속도가 빠르며, 계산의 안정성(robustness)이 높다.

② 양함수적 표현 방식이므로 위상학적 문제의 처리, 계산범위의 결정이 용이하다.

그러나 Z-map 근사모형은 다음과 같은 단점도 갖고 있다.

① 양함수적 표현 방식이므로 z축 방향으로 겹치는 곡면의 표현이 불가능하다. 그러나 3축 NC 가공의 경우에 이 단점은 문제가 되지 않는다.

② 일정한 격자점에 대해서만 z값을 저장하므로 곡면 전체에 대해 오차 한계를 보장하기 위해서는 전체의 격자간격을 오차가 가장 큰 곳에 의해 결정되므로 data양이 커지고 따라서 처리시간도 증가된다.

3.2 매개변수형 곡면의 Z-map 변환

CAD/CAM system에서 가장 널리 이용되는 곡면 모델링 방식은 매개변수형 스플라인 곡면(Parametric spline surface)이며 여기에는 Bezier, Ferguson, B-spline, Coons surface 등이 속한다. 본 절에서는 매개변수형 곡면을 Z-map으로 변환하는 효율적인 방법을 제안하고자 한다. 여기서 취급하는 곡면은 z축에서 보았을 때 겹치지않는 곡면으로 제한한다. 여기서는 Z-map 격자점의 시작점 $x(0), y(0)$ 를 각각 $\Delta x, \Delta y$ 의 배수가 되도록 정하여

여러 단위 곡면에 대한 Z-map의 합성을 용이하게 되도록 하였다.

Algorithm(매개변수형 곡면의 Z-map) 변환

- ① 곡면의 경계곡선을 모두 선분의 연속으로 근사하고, 이때 곡면의 최대, 최소점 $X_{min}, X_{max}, Y_{min}, Y_{max}$ 를 구한다.
- ② /* Z-map의 범위를 결정한다. */
 $X_0 = \text{Trunc}(X_{min}/\Delta X - 1) * \Delta X$
 $Y_0 = \text{Trunc}(Y_{min}/\Delta Y - 1) * \Delta Y$
 $N_i = \text{Trunc}(X_{min}/\Delta X) - \text{Trunc}(X_{min}/\Delta X) + 2$

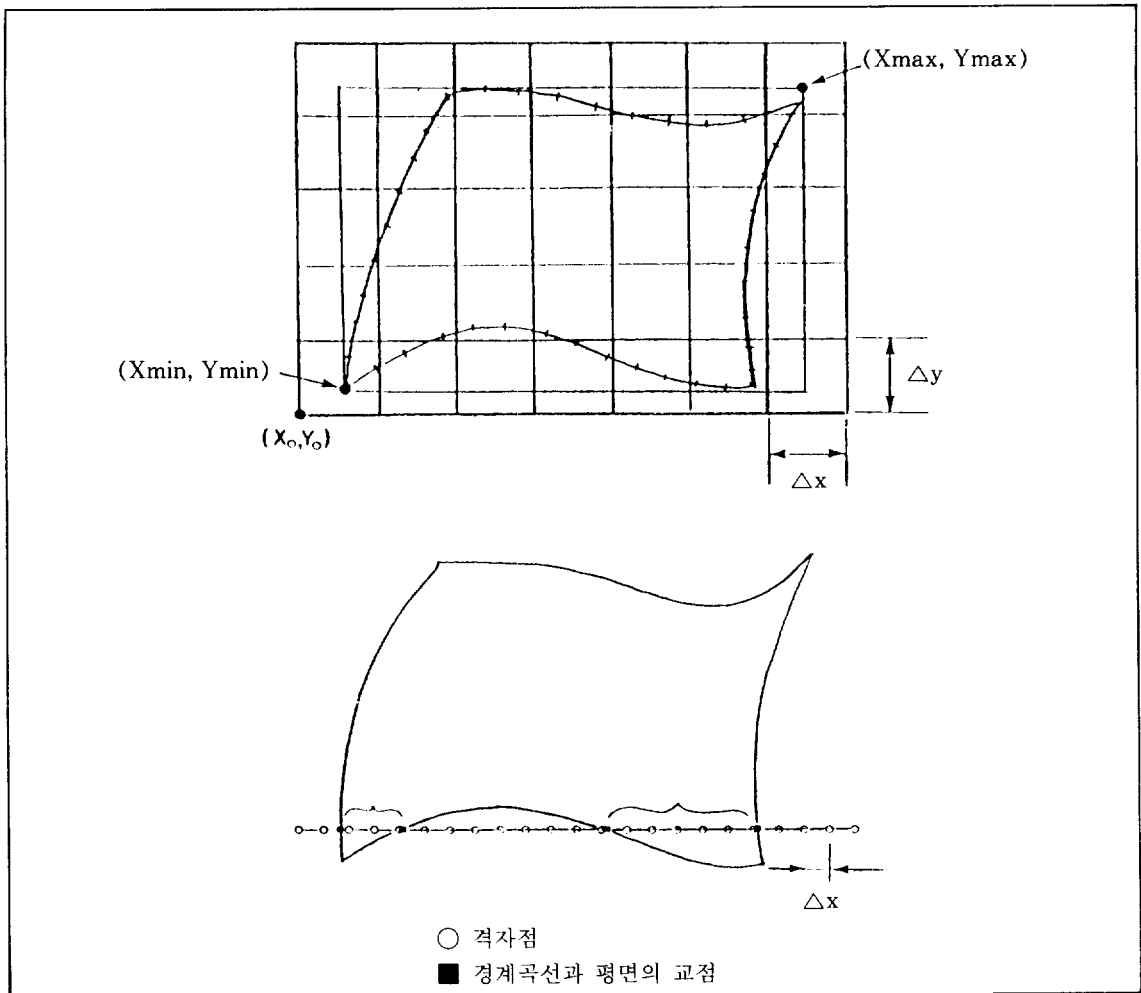


그림 7. 매개변수형 곡면의 Z-map 변환

$$N_j = \text{Trunc}(Y_{min}/\Delta Y) - \text{Trunc}(X_{min}/\Delta Y) + 2$$

/ * 여기서 Trunc는 주어진 실수보다 작은 가장 큰 정수를 계산하는 함수이다. * /

③ for j=0 to N_{j-1}

(a) $y = y_0 + \Delta y * j$ 인 평면과 모든 경계곡선과의 교점을 구한다.(line segment와의 교점을 먼저 구하고, 이를 Newton-Raphson 탐색의 출발점으로 하여 정확한 점을 찾는다.)

(b) (a)에서 구해진 교점들을 x증가 방향으로 sorting한 다음 홀수번째와 다음의 짝수번째 점을 입출구 쌍으로 묶는다. / * 교점은 언제나 짝수개이며, 위의 쌍은 곡면의 입출구가 된다. * /

(c) 입출구 쌍의 밖에 놓인 grid point의 z값은 모두 null로 setting한다.

(d) 모든 입출구 쌍의 내부에 속한 격자점에 대해서, 쌍의 내부에 속한 맨처음의 격자점에 대해서는 경계곡선과 평면과의 교점을 출발점으로, 나머지 격자점은 바로앞의 격자점을 출발점으로하여 Newton-Raphson 탐색을 행한다.

3.3 복합 곡면과 Z-map

하나의 제품형상은 일반적으로 여러개의 단위 곡면(composite surface)들로 모델링된다.

이때 이들 곡면은 서로 겹쳐 있어 해당 영역이 명확하지 않을 뿐 아니라 위상학적 관계도 명확히 정의되어 있지 못한 경우가 많다. 이러한 여러 곡면의 복합체를 복합곡면(compound surface)이라 한다.

본 연구에서는 각 곡면들이 Z-map로 변환된 경우 간단한 방법으로 복합곡면을 정의하고 가공하는 방안을 제안하고자 한다.

Z축 방향으로 겹치지 않는 곡면들에 대해서 solid modeller의 Boolean operation과 유사한 방식으로 복합곡면을 명확히 정의할 수 있다. 양함수식으로 표현된 두곡면 $z = z_1(x, y)$, $(x, y) \in D_1$ 과 $z = z_2(x, y)$, $(x, y) \in D_2$ 에 대해서 곡면복합 연산자(surface compounding operator) '⊕'와 '⊖'를 다음과 같이 정의 하자.

$$z_1(x, y) \oplus z_2(x, y) = \begin{cases} \text{not defined if } (x, y) \in D_1 \cup D_2 \\ z_1(x, y) \text{ if } (x, y) \in D_1, (x, y) \in D_2 \\ z_2(x, y) \text{ if } (x, y) \in D_1, (x, y) \in D_2 \\ \min\{z_1(x, y), z_2(x, y)\} \text{ if } (x, y) \in D_1 \cap D_2 \\ \text{not defined if } (x, y) \in D_1 \cup D_2 \end{cases}$$

$$z_1(x, y) \ominus z_2(x, y) = \begin{cases} z_1(x, y) \text{ if } (x, y) \in D_1, (x, y) \in D_2 \\ z_2(x, y) \text{ if } (x, y) \in D_1, (x, y) \in D_2 \\ \min\{z_1(x, y), z_2(x, y)\} \text{ if } (x, y) \in D_1 \cap D_2 \end{cases}$$

예를 들어 그림 8에서와 같이 3개의 단위곡면 S1, S2, S3로 형성된 복합곡면 S_{comp1} 과 S_{comp2} 는 각각

$$S_{comp1} = (S1 \oplus S2) \ominus S3$$

$$S_{comp2} = S1 \oplus (S2 \ominus S3) \ominus S3$$

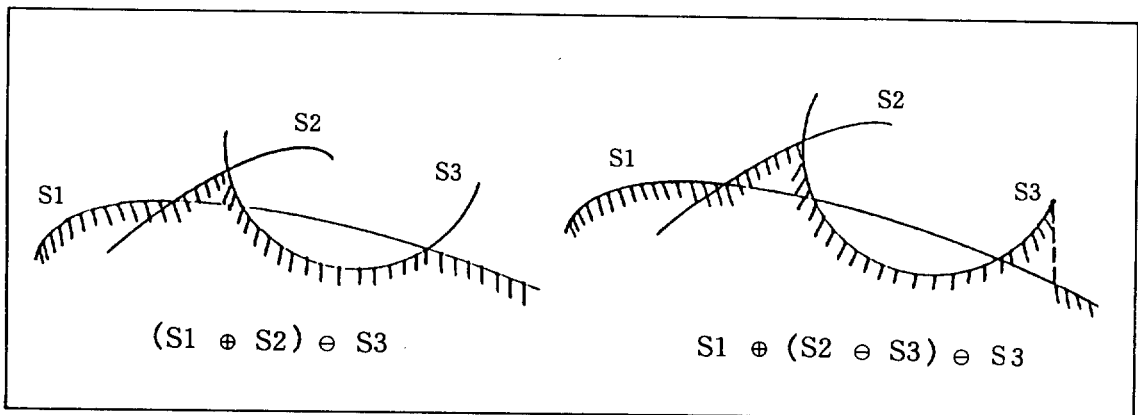


그림 8. 곡면 복합 연산

로 정의할 수 있다.

이런 식으로 정의된 복합곡면은 B-rep solid modeller에서와 같이 곡면간의 교선을 구하여 vertex, face, edge들 간의 topology정보를 갖지 않고도 NC 가공을 수행하는데 전혀 어려움이 없다. 이는 Z-map이 양함수형의 곡면 표현 방식이기 때문이다.

4. 복합곡면의 NC 가공시 공구간섭 처리

4.1 공구간섭 처리의 전반적 절차

복합곡면의 NC 가공시 공구간섭 처리를 위한 전반적 절차는 다음과 같다.

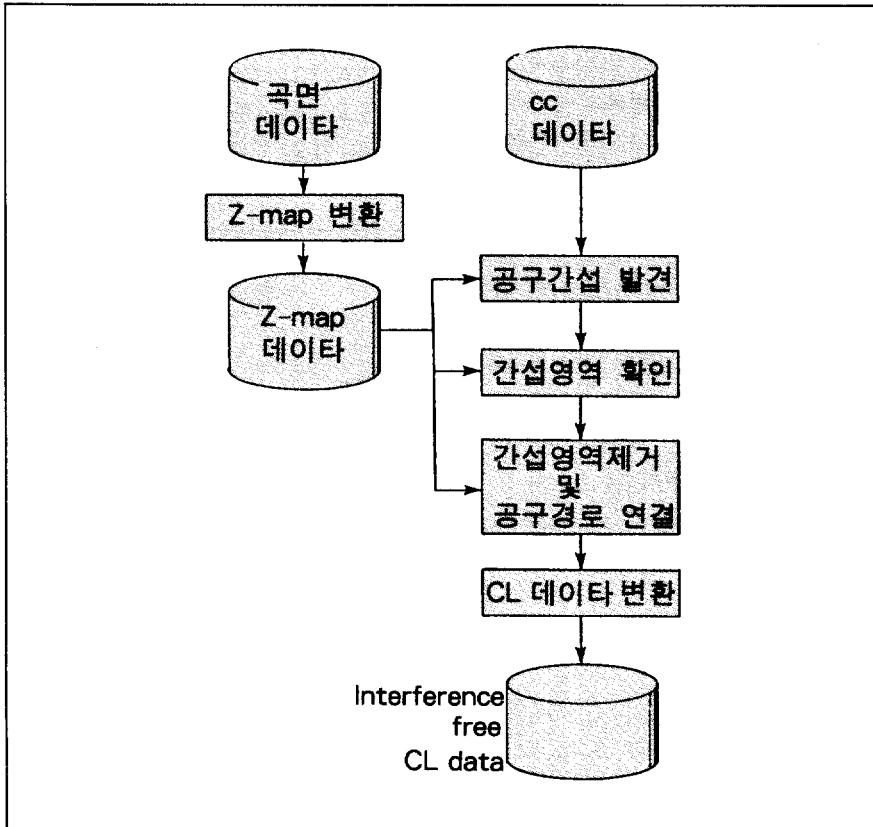


그림 9. 공구간섭 처리의 전반적 절차

① 단위곡면 모델로부터 공구간섭을 고려하지 않고 CC data(공구 접촉점과 법선벡터)를 생성하거나, 외부로부터 입력을 받는다.

② 각 단위곡면에 대한 CC data를 triangulation한다.[9]

③ 단위곡면 각각에 대해서 Z-map 변환을 행한다.

④ 모든 단위곡면에 대해서

(a) 한 CC점에서 곡면의 국소적 성질

(local properties)를 이용하여 간섭원(interference source)를 발견한다.

(b) 간섭원 주변의 CC 점들에 대한 광역의 간섭검사를 통하여 간섭영역(interference region)을 확인한다.

(c) 간섭영역에 포함된 CC 데이터를 제거하고 공구경로를 연결한다.

⑤ CC 데이터를 CL데이터로 변환 한다.

4.2 공구 간섭 발견

가. 곡면 내부에서의 간섭원 발견

2장에서 '가정'(공구 및 가공곡면에 대한 가정)에 적합한 자유곡면의 NC 가공에서는 간섭 영역 내에 항상 간섭원(interference source)이 있음을 밝혔다.

본 과정에서는 CC data domain에서 한 CC 점의 근방에 있는 Z-map의 격자점들에 대한 국소적 검사(local test)에 의하여 간섭원에 해당하는 CC점들을 발견한다. 이렇게하여 발견된 점들은 간섭영역을 결정하는 초기점 역할을 한다. 본 과정의 목표는 하나의 간섭영역 내에서 한 점 이상의 CC점을 발견하는 것이다.

본 연구에서는 2장에서 언급한 간섭원이 갖는 2)의 성질을 이용한다. 이는 Z-map이 갖는 양함수적 특성 때문에 매우 간단하다. 그림 10과 같이 한 CC점 r이 속해 있는 격자의 네 격자점에서 Z-map의 Z값과, 공구곡면의 높이를 비교하여 공구곡면의 높이가 낮은 격자점이 한개라도 있으면 이점은 간섭원이다.

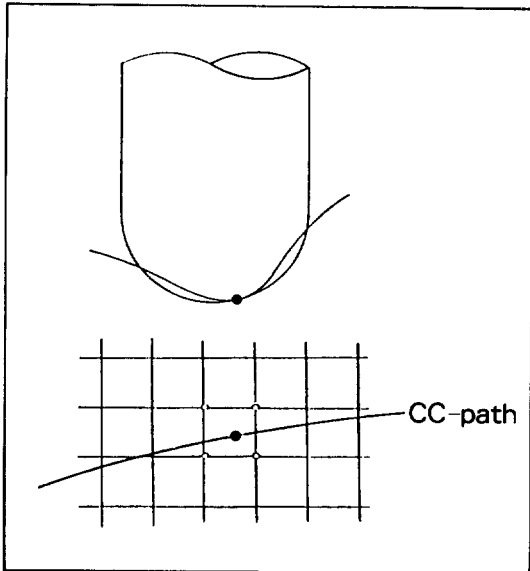


그림 10. 곡면 내부에서의 간섭원의 발견

나. 곡면 경계점과 간섭 검사

그림 11의 단위곡면 1과 같이 가정의 3)항

에 위배되는 곡면의 경우에는 간섭원에 해당되는 부분이 곡면의 영역 밖에 있게 되는 셈이므로 간섭원이 존재하지 않는 간섭영역이 있게 된다. 또한 복합곡면 전체로 보면 간섭영역 내에 간섭원이 존재하나 단위곡면의 영역 내에는 간섭원이 없는 간섭영역이 있을 수 있다(그림 11의 단위곡면 2). 그런데 우리는 복합곡면을 구성하는 단위곡면 간에는 명시적인 위상학적 정보를 갖고 있지 않고, 각 단위 곡면 내의 CC 다면체 domain 상에서 간섭 영역을 확장해 나가므로(다음 항 참고) 한 단위곡면에서의 간섭원을 이웃 단위곡면으로 확장하는 것이 쉽지 않다.

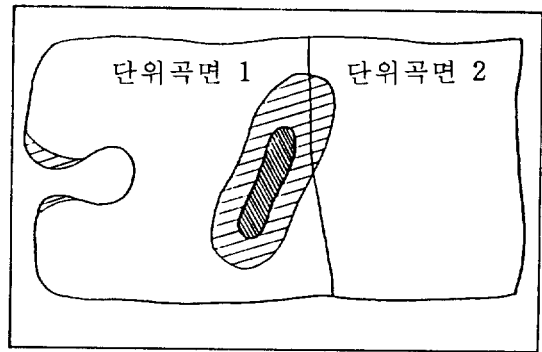


그림 11. 곡면 경계에서의 간섭점 발견

따라서 이문제를 해결하기 위하여 각 단위곡면 경계곡선에 있는 CC점(즉, 처음과 마지막 CC 경로의 모든 점과, 중간 경로의 시작점과 끝점)에 대해서 광역의 간섭 검사(4.3의 가항 참조)를 행한다. 이때 간섭점으로 확인된 경계점은 간섭원과 같은 역할을 한다.

4.3 간섭영역 확인

본 과정에서는 간섭원 주변의 점들을 검사하여 간섭영역 내의 모든 CC 점을 찾아낸다. 간섭영역에 속하는 점들은 CC 데이터 레코드에 표시해 두었다가 공구경로 연결시 제거한다.

가. 한 CC 점의 간섭 검사

그림 12(a)의 r_i와 같이 간섭원이 아닌 간섭점(interfering point)은 CC점 근방의 국소적

인 검사만으로는 확인되지 않는다. 한 CC점이 간섭점인가를 확인하기 위해서는 그 점에 공구를 접하게 놓고 가공곡면을 광역 탐색(global search)하여 공구와의 intersection이 있는가를 확인해야 한다.

그림 12(b)는 CC점 r_j 에 접해있는 공구와 Z-map을 XY평면에 투영시킨 모습을 보여주고 있다. CC점 r_j 를 둘러싸고 있는 격자점(간섭원 검사에 이용된 점)을 제외한 공구 외곽원에 포

함된 모든 격자점(○ 표시된 점)에 대해서 높이 검사를 하고, 공구 곡면의 높이가 곡면의 높이 보다 낮은 점이 한 점이라도 있으면 CC점 r_j 는 공구 간섭점이다. 간섭 검사시 곡면상의 탐색 범위를 쉽게 찾을 수 있는 것은 Z-map이 갖는 양함수적 표현 방식의 장점 때문이다.

그런데 우리가 간섭원 발견 과정을 도입하지 않으면 모든 CC 점에 대해서 이와 같은 간섭 검사를 행해야 할 것이다.

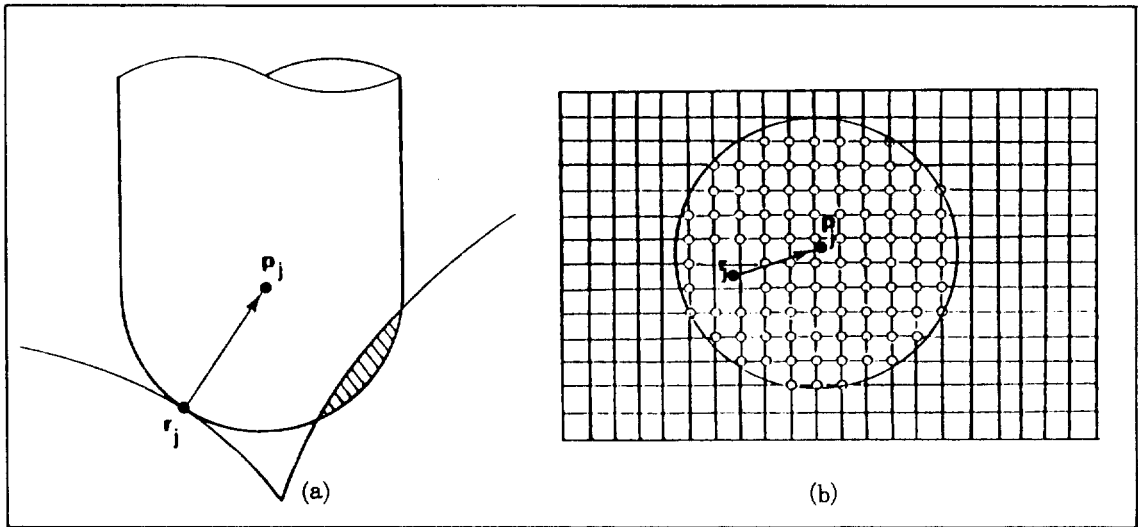


그림 12. 한 CC점의 간섭 검사

나. 간섭영역 확인 절차

그림 13(a)는 간섭원과 간섭영역을 2차원의 CC 다면체 domain상에서 보여주고 있다. 간섭영역에는 항상 한 점 이상의 간섭원(곡면 경계에서의 간섭점 포함)이 존재한다. 따라서 간섭영역에 있는 모든점을 확인(indentification)하기 위해서는 간섭원에서 출발하여 이웃점들에 대한 간섭 검사를 확장해 나가고, 간섭점들이 '비간섭점'들로 둘러싸일 때까지 계속하면 된다.

간섭 검사의 확장을 효율적으로 수행하기 위하여 하나의 CC 경로상에서 연속되어 있는 간섭점(간섭원 포함)들을 하나의 group으로 만들면 유용한데, 이를 IPGroup(Interfering

point group)이라 하며 간섭점의 시작점과 끝점의 정보를 갖는다. 하나의 간섭점(간섭원 포함)의 이웃점에 대해서 간섭 검사를 확장해 가는 과정은 경로를 따라가는 것 그림 13(b)과, 이웃 경로로 확장해 가는 것 그림 13(c)의 두 가지가 있다.

경로를 따라가는 것은 IPGroup의 시작점과 끝점의 경로상 이웃점에 대해서 간섭점이 아님을 확인할 때까지 간섭검사를 반복한다. 이웃 경로로 확장하는 과정은 그림 13(c)와 같이 CP_i 상의 IPGroup을 GP_{i+1} 에 projection시킨 후 그림의 k_1 과 k_2 사이에 속한 점들에 간섭 검사를 행하고 간섭점이 있는 경로를 따라 가면서 확장한다. IPGroup을 이웃 경로로 projec-

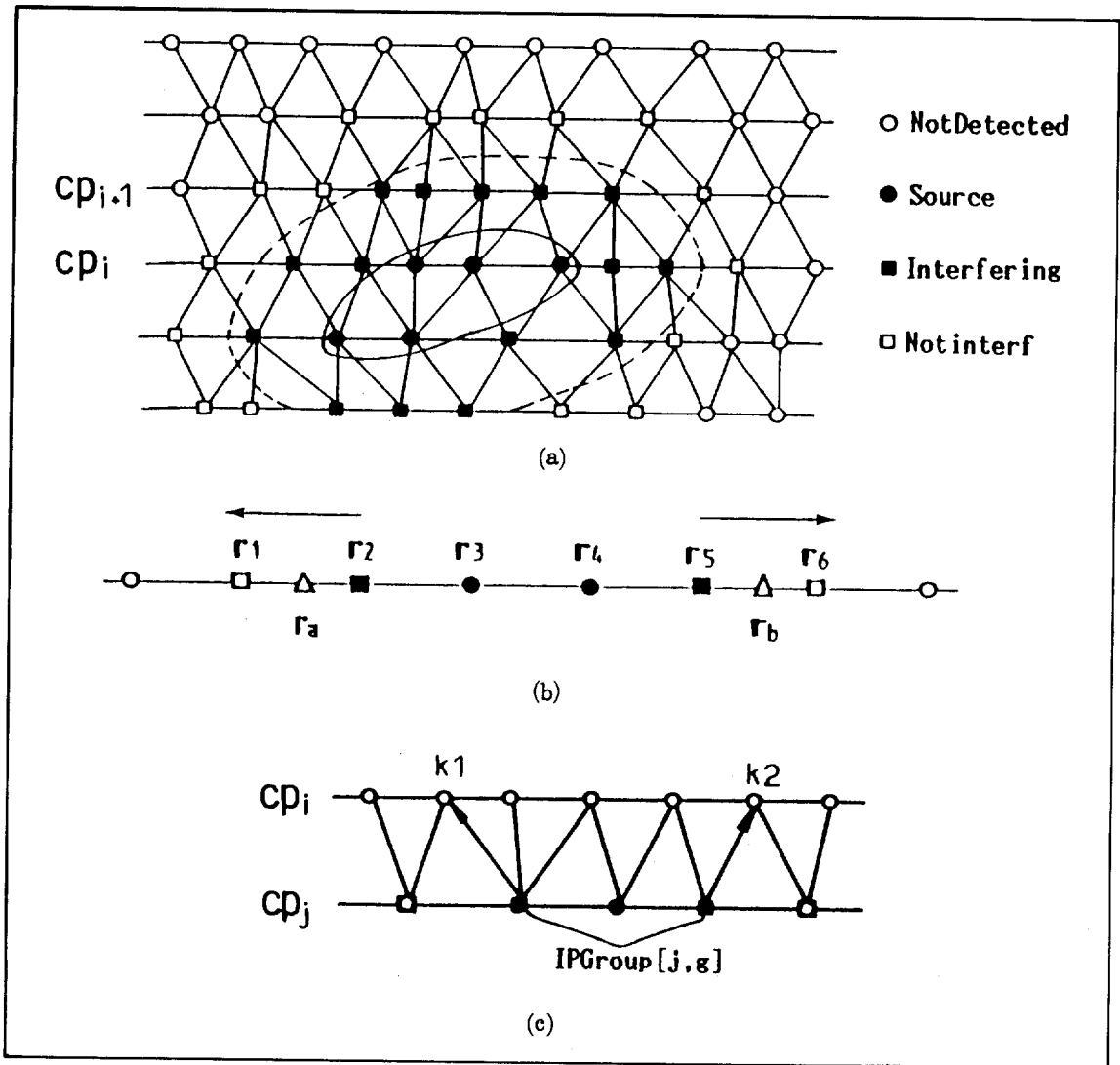


그림 13. 간섭영역 확인

tion시키기 위하여 CC 데이터의 triangulation 정보가 이용된다[9].

4.4 공구 경로의 연결

하나의 CC 경로에서 간섭점을 제거한 다음에는 이를 적절히 연결하여야 한다. 이 과정은 두가지 과정으로 구분할 수 있는데, 첫째는 그림 14와 같이 간섭점과 비간섭점 사이의 경계점 r_a 와 r_b 를 찾는 것이며, 둘째는 경계점 r_a 와 r_b 에서의 공구중심점 p_a 와 p_b 사이를 공구가 지

나 갈때 새로운 공구간섭이 발생되지 않도록 일련의 연결 점들을 만들어 공구경로에 삽입하는 것이다. 자세한 절차는 참고문헌[9]에 소개되어 있다.

5. 적용 사례 및 고찰

본 연구에서 제안된 알고리즘은 IBM/PC 386에서 FOTRAN77과 Turbo-Pascal로 구

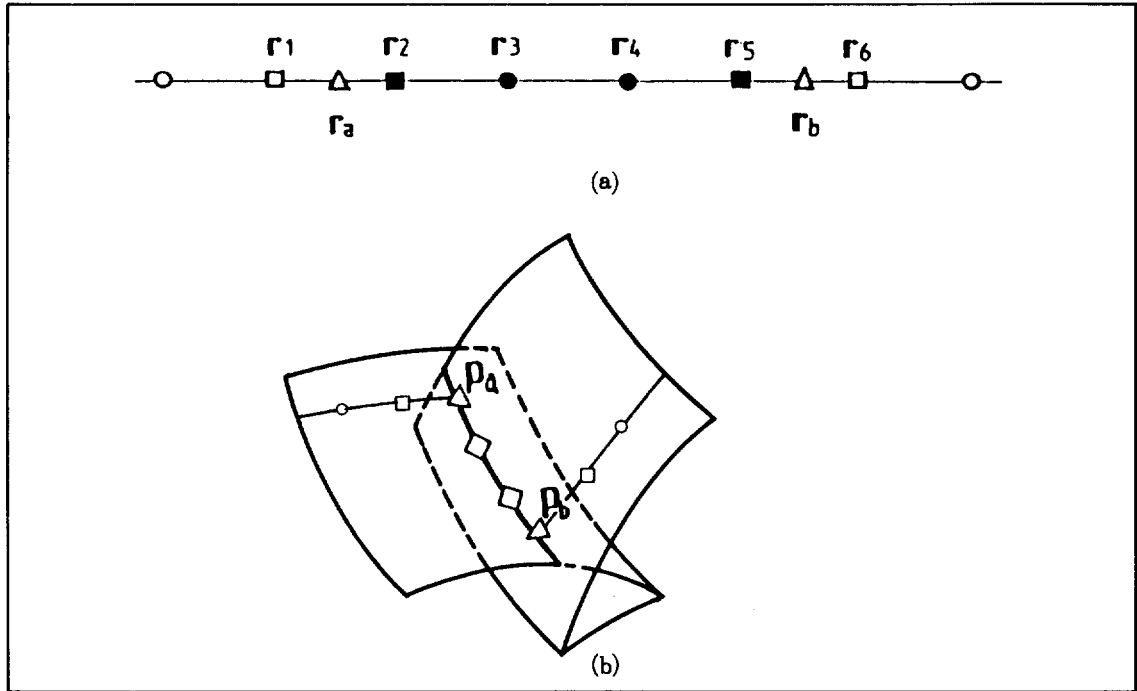


그림 14. 공구경로의 연결

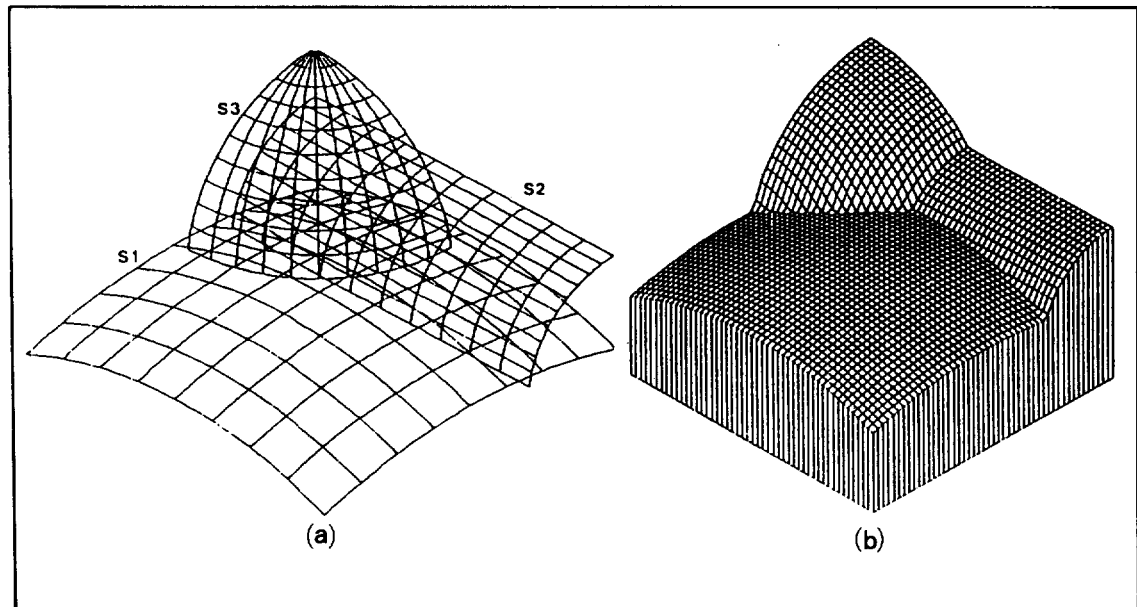


그림 15. 복합곡면과 Z-map의 예

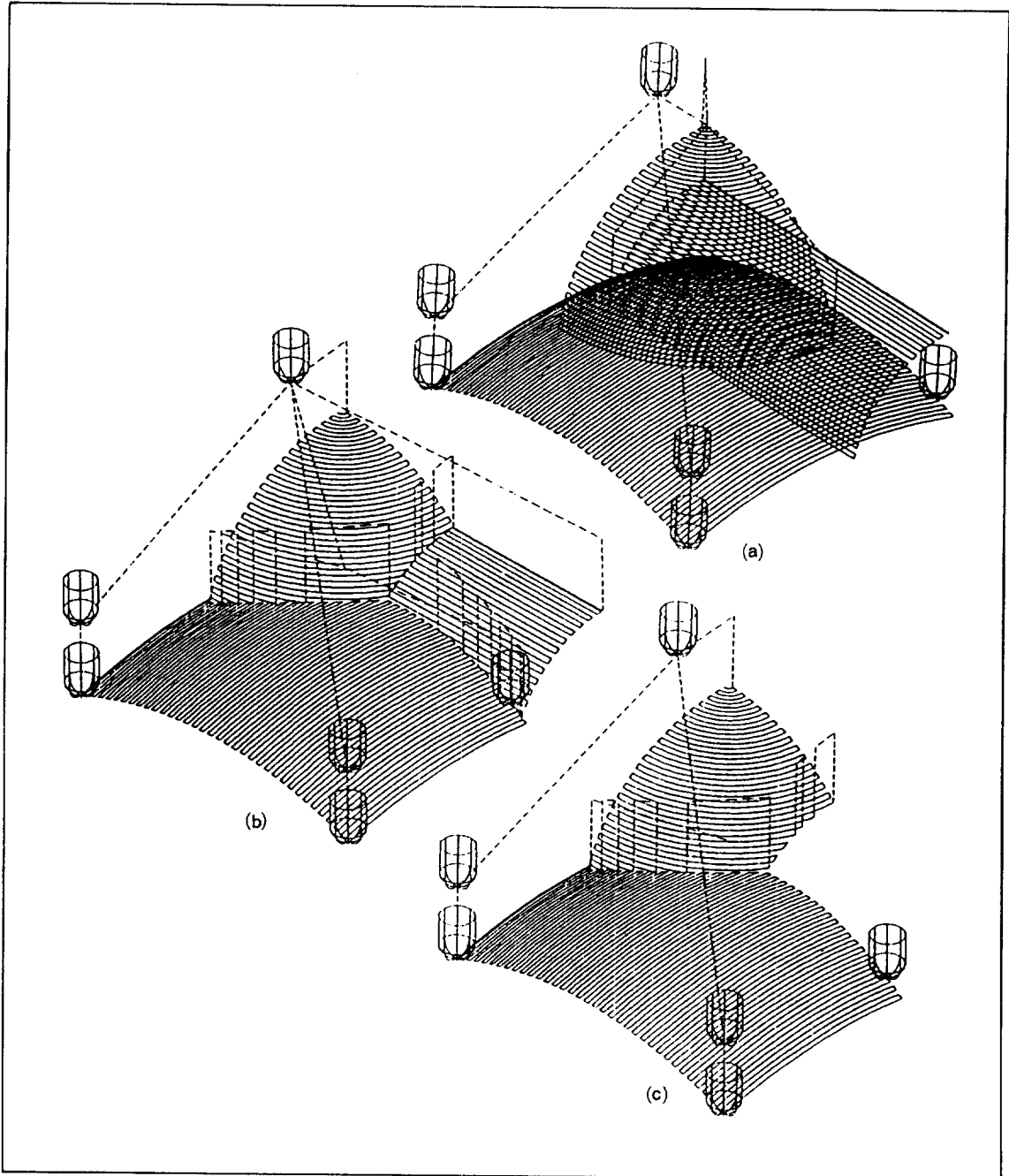


그림 16. 공구경로의 예

현하였다. 그림 15는 Ferguson 곡면 (S1)과 운동면(S2) 및 구면 (S3)로 구성된 복합곡면이다. 그림 (b)는 각 단위곡면들을 “ $S_{comp} = S1$

$\oplus S2 \oplus S3$ ”로 복합된 곡면의 Z-map 곡면을 보여주고 있다. 그림 16(a)는 각 단위 곡면에 대해 별도로 얻은 공구 경로(CL data)를 보여

주며, 그림 16(b)는 이웃곡면들 간의 공구간섭을 제거한 공구경로이다. 그림 16(c)는 Ferguson 곡면과 구면에 대한 공구 경로만을 보여주고 있는데 여기서 원통면은 check 곡면으로 이용되고 있다.

본 연구에서 제안된 방법은 각각의 단위곡면을 사상하기 용이한 방향으로 독립적으로 공구 경로를 생성해도 된다는 잇점을 갖고 있으며 이는 특히 정삭 가공시 유용하다. 또한 본 연구는 Z-map 곡면을 'Inverse offset'하는 방법 [5, 6]과 비교 하면 간섭원 발견과정을 이용하므로 처리속도가 보다 빠르고, 공구간섭이 없는 곳에서는 CC 데이터로 부터 CL 데이터로 직접 변환을 하므로 Inverse offset 과정에서 발생하는 오차 [6]가 전혀 없다는 장점이 있다.

6. 결론

본 연구에서는 여러개의 단위 곡면들로서 위상학적 관계없이 형성된 복합곡면(compound surface)의 NC 가공시 발생하는 공구 간섭을 방지하는 효율적인 알고리즘을 제시하고 있다.

본 연구의 특징은 다음과 같다.

(1) 곡면에 대한 Z-map 근사모형을 이용하여 복합곡면 가공시 공구간섭을 용이하게 처리하였으며, 이는 또한 계산의 안정성을 높여주었다.

(2) 복합곡면을 형성하는 단위곡면들 간에 위상학적 관계를 부여하는 매우 간단한 곡면복합연산자를 도입하였다.

(3) 곡면에 대한 미분기하학적 검토를 바탕으로 간섭원 발견 과정을 도입하여 간섭처리 계산의 효율성을 향상시켰다.

(4) 복합곡면을 형성하는 단위곡면으로 부터 독립적으로 CC 데이터를 형성하므로 각곡면의 가공에 가장 적합하게 공구경로계획이 가능하고, CC 데이터로부터 CL데이터를 직접 변환하므로 오차의 누적이 없다.

참고 문헌

1. Faux, I.d. and Pratt, M.J., *Computational Geometry for Design and Manufacture*, Ellis Horwood Ltd. 1981.
2. Bobrow, J.E., "NC Machining tool Path Generation from CSG Part Representation," *Computer-Aided Design*, Vol.17, No.2, pp.69-76., 1985.
3. Duncan, J.P. and Mair, S.G., *Sculptured Surfaces in Engineering and Medicine*, Cambridge Univ. Press, 1983.
4. Hwang, J.S., "Interference-Tool Path Generation in NC Machining of Parametric Compound Surfaces," *Computer-Aided Design*, Vol.24, No.12, pp.667-675, 1992.
5. Kondo, T., Kishinami, T. and Saito, K., "Machining System Based on Scanning Data," *J. of Japanese Society of Precision Engineering*, Vol.54, No. 6, pp. 1070-1075, 1988, (in Japanese).
6. 정연찬, Z-map 곡면의 오프셋과 블렌드 곡면의 형성에 관한 연구, 석사학위 논문, 한국과학기술원, 1991.
7. Aomura, S. and Uehara, T., "A Method for Identification of Complete Interference Regions in NC Machining," *Pacific Graphics '93*, to appear, 1993.
8. 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, pp.371-278, 1989.
9. 전차수, 자유곡면 NC 가공에서의 공구 간섭 방지, 박사 학위 논문, 한국과학기술원. 1989.
10. Choi, B.K., *Surface Modelling for CAD/CAM*, Elsevier. 1991.
11. Saito, T and Takahashi, T., "NC Ma-

-
- chining with G-buffer Method," *Computer Graphics*, Vol.25, No. 4, pp.207-216, 1991.
12. Jerard, R.B. and Drgsdale, R.I., "Geometric Simulation of Numerical Control Machining of Sculptured Surface," *IEEE Computer Graphics & Applications*, Jan. pp.26-39, 1988.
 13. Wand, W.P. and Wang. K.K., "Geometric Modelling for Swept Volume of Moving Solids," *IEEE Computer Graphics & Applications*, Dec., pp.8-17, 1986.