

## 솔리드 모델링 기법을 응용한 공구간섭 제거에 관한 연구

### A Study on Tool Interference Avoidance Using Solid Modeling Method

장 동 규                      양 균 의  
(전북대 대학원              전북대 기계공학과)

#### 1. 서론

금형 제작에는 금형의 형상을 모델링 하는 모델링 기법과 이 모델링 정보로부터 공구의 경로계획, 황삭, 정삭, 잔삭가공과 가공조건등의 여러 가지 고려해야하는 사항이 많이 있다.

근래에 들어 금형은 그 기능적인 측면뿐 아니라 미적 감각 까지 만족시키는 심미안적인 측면이 많이 고려되고 있으며 CAD/CAM 소프트웨어, CNC, 머시닝 센터 등을 이용한 기술 집약적인 생산체제로 변화하는 실정이며 금형의 생산성 향상 및 납기단축에 중점을 두고 있다.

금형은 하나의 단일곡면으로 이루어진 것뿐만 아니라 단일 자유곡면이 여러 가지 결합된 복합곡면과 여러 가지의 해석적 형상이 접합된 해석적 복합곡면으로 이루어져 있다. 복합곡면의 모델링 기법은 해석적 복합곡면에 대한 기법과 매개적 복합곡면에 대한 기법이 연구되어 왔다<sup>2,3</sup>.

가공계획에 의해 금형을 가공할 때 가장 심각하게 발생하는 문제 중의 하나가 공구간섭현상이다. 공구간섭현상은 가공시간, 가공 효율등 생산성의 향상을 고려하여 반경이 큰 공구로 황삭 가공을 할 때 곡면의 곡률보다 공구의 반경이 클 때 발생하는 문제이다. 이와 같은 간섭현상이 생기면 공구가 과절삭하게 되어 금형의 정밀도를 크게 저하시키게 된다. 그러므로, 효과적인 가공효율로 정밀도가 높고 생산성이 뛰어난 금형을 생산하기 위해서는 공구 간섭현상의 제거가 필수적이다.

공구간섭에 대한 Routine은 기존 CAD/CAM 소프트웨어에 포함되고 있으나 공개되어 있지 않고 있으며 사용자의 욕구를 충족시키기 위해서는 개선할 점이 많이 있다. 금형가공에 있어서 공구간섭은 오목한 부위에 의한 간섭과 볼록한 면의 과절삭에 대해 연구되어 왔다.

자유곡면의 공구간섭에 대해서는 Cartesian 또는 parametric 공간상에서 공구경로를 계획하고 이 공구경로에 해당하는 곡면상의 곡선을 구한 다음 여러 개의 선분들로 적절히 보간하여 CC data를 얻고<sup>11</sup> CC data에서 간섭영역에 속하는 부분들을 제거함으로써 간섭을 방지하는 CL data를 얻는 방식과 솔리드 모델링으로 모델을 형성한 뒤 Tool path planning에 의해 간섭을 제거하는 방식<sup>12</sup>이 있으나 이 방식은 공구간섭의 문제가 처리되지 않았다. 한편, Duncan과 Mair<sup>4,5</sup>에 의한 다면체 근사모형을 이용하는 방법은 곡면을 삼각면으로 근사한 뒤 공구가

삼각형과 간섭되는지 여부를 검사하고 간섭의 경우 Z축을 들어 올리는 방식으로 공구간섭을 제거하는데 계산시간이 많고 곡면형상에 따라 비효율적이며 공구의 움직임이 매끄럽지 못한 단점이 있다. 다면체 근사모형 방법과 첫번째의 방법을 같이 사용하여 CC data로 다면체 근사모형을 형성하는 방법<sup>16,7</sup>은 NC정보들이 가공전에 미리 준비되어 있어야 하므로 기억용량이 커야 하는 단점이 있다. 실시간 공구경로의 생성을 실현한 프로그램<sup>18-12</sup>은 offset면의 자기 간섭검사를 통하여 간섭을 제거하는 방식이며 Inverse offset을 이용한 방식<sup>13</sup>은 간섭은 확실히 제거할 수 있으나 근사적인 방법이라는데 문제가 있다. 또한 함몰 탐색에 의한 공구간섭을 제시한 방식<sup>14</sup>은 오목과 볼록간섭이 제거되거나 모든 점에 대해서 간섭을 체크하므로 계산시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 또한 측면간섭에 대해서는 언급되어 있지 않다.

본 연구에서는 이러한 공구간섭의 배경을 바탕으로 하여 해석적 복합곡면에서 간섭이 발생하는 부위를 솔리드 모델링 기법을 응용하여 빠르게 간섭역을 찾고 찾아진 간섭역에서의 공구간섭 현상을 검사하고 제거하고자 한다. 이러한 방법은 공구간섭 검사에 필요한 계산시간을 단축하고 소모되는 기억용량의 소모를 줄일 수 있으며 나아가 실시간 가공에도 적용할 수 있으리라 본다.

#### 2. 자유곡면의 모델링

##### 2.1) 자유곡면의 모델링

자유곡면의 모델링은 매개적 자유곡면식으로 표현하여 다음과 같은 곡면식을 사용하여 정의한다.

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

where  $u, v$  : 매개변수

이 주어진 곡면식  $\vec{S}(u, v)$  에서의 법선벡터는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\vec{N}(u, v) = \frac{\frac{\partial \vec{S}(u, v)}{\partial u} \times \frac{\partial \vec{S}(u, v)}{\partial v}}{\left| \frac{\partial \vec{S}(u, v)}{\partial u} \times \frac{\partial \vec{S}(u, v)}{\partial v} \right|}$$

위의 두 식을 사용하여 공구 접촉점(CC Point)에서 공구 위치점(CL Point)을 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$\vec{O}(u, v) = \vec{S}(u, v) + d \cdot \vec{N}(u, v)$$

where  $d$ : tool radius

## 2.2) 해석적 도형의 첨가

기저곡면으로서 자유곡면을 모델링한 후 여러 가지 해석 도형을 첨가하거나 제거하여 해석적 복합곡면을 모델링 한다. 해석적 복합곡면의 모델링은 자유곡면의 모델링에 해석적 도형을 첨가하거나 제거하는 방법으로 정의된다.

자유곡면에 이러한 해석도형이 첨가되거나 제거되는 접합관계를 표시하는 기준을 boolean 관계라 한다. 이 boolean 관계를 가지고 복잡하게 접합된 복합곡면에서의 교점을 계산한다. 그림 [1]은 boolean관계를 나타낸 그림이다. 임의의 복합곡면에서 기저곡면  $\vec{B}(u, v)$ 과 해석도형  $S_1$ 이 제거되어 있고  $S_2$ 가 첨가되었다고 한다면 이 복합곡면의 경우 boolean 표현은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$BP = B - S_1 + S_2$$

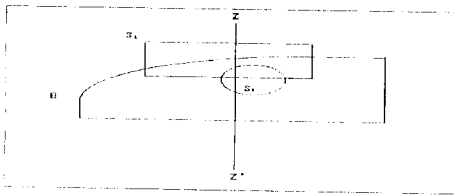


그림 1. 복합곡면의 Boolean 관계

삽입되는 도형의 경우는 교점의 높은 값을 취하고 제거되는 도형의 경우는 교점의 낮은 값을 취하는 방법으로 복합곡면 상에서의 실제 교점을 찾을 수 있다.

$$Z_s = \max(Z_a, \min(Z_b, Z_{s1}))$$

그림 [2]는 기저곡면에 해석적 도형을 boolean연산한 해석적 복합곡면의 모델링을 보여주고 있다. 즉, 기저곡면에 구를 첨가하고 육면체를 제거한 예를 보여주고 있다.

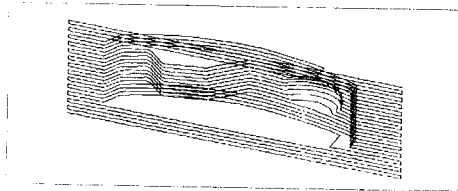


그림 2. BOOLEAN 연산의 예

## 3 공구간섭 검사와 제거

### 3-1 자유곡면에서의 공구간섭 제거

본 연구에서는 자유곡면의 부분은 평활한 자유곡면으로 생각하고 자유곡면의 공구간섭은 생각하지 않는다.

### 3-2 복합곡면에서의 공구간섭제거

본 연구에서 공구의 간섭을 제거하는 방식으로는 찾아진 간섭영역에서 크게 세 가지로 나누어 생각한다. 하나는 공구가 오목부위에서 간섭을 일으키는 것과 볼록부위에서 간섭을 일으키는 경우, 공구가 측면간섭을 일으키는 부위로 나누어 고려한다. 곡면의 모델링은 매개곡면으로 표현되는 단일 자유곡면으로 부드러운 곡면으로 모델링 하는 방식을 사용하였으므로 기저곡면에서의 간섭현상에 대해서는 고려하지 않는다. 해석적 복합곡면에서는 자유곡면상에서의 간섭을 고려하지 않는 경우 해석적 도형이 접합된 부위에서 공구의 간섭현상이 발생하므로 솔리드 모델링의 데이터 스트럭처 기법과 In/Out관별법을 이용하여 quadratic도형의 형상정보로부터 공구의 간섭영역을 쉽게 계산할 수 있다.

#### 3.2.1) 오목부위에서의 공구간섭 제거

Oliver[14]는 오목부위에서 생기는 간섭을 나비 형태의 간섭이 생기는 것으로 판단, 이 나비형태의 루프(Butterfly Detection)에서 간섭쌍을 찾아 나비형태의 시작과 끝에 해당하는 곡면점의 매개변수값을 결정하고 그 시작과 끝 사이의 값을 제거하는 방식으로 오목부위의 공구간섭을 제거하는 방식을 취하였다. 본 연구에서는 공구의 오목간섭의 제거방법을 Solid Modeling기법을 응용하여 quadratic도형의 정보가 Solid모델링의 정보구조에 있으므로 공구와 간섭을 일으키는 영역을 찾고 간섭을 제거하는 것이 쉬워진다. 공구의 간섭영역을 해석도형의 초기진입점에서 좌우로 공구의 반경만큼의 부분으로 지정하고 공구가 이 간섭영역에서 시작되는 초기의 오목부위인 quadratic도형의 INNERSIDE부위에서 공구의 반경만큼 더 이송을 하고 공구가 가공경로를 따라 움직이게 한 후 밀면부위에서 공구의 반경만큼을 띄워주는 방식으로서 공구의 간섭현상을 제거하고자 한다. 아래의 그림 [3]은 이 방법을 도식적으로 표현한 것이다. 즉, 그림에서 A점을 A'점으로 공구의 반경만큼 이송을 준 후 B점을 공구의 반경만큼 옆과 위로 이동한 B'점까지 이송을 준 후 같은 방식으로 C'점과 D'점으로 이송을 하여 공구의 간섭을 제거하는 Offset법에 솔리드모델링의 데이터 판별에 의한 간섭체크법으로 공구의 오목간섭을 검사한다. 다면체의 정보는 데이터 스트럭처에 있으므로 공구의 간섭점을 이 다면체 정보의 각 점을 공구의 반경만큼 Offset을 준 구조로 하여 간섭역을 설정하고 그 안에서 공구의 간섭은 도형의 Offset면을 따라가게 하여 빠르게 간섭을 검사하고 회피한다.

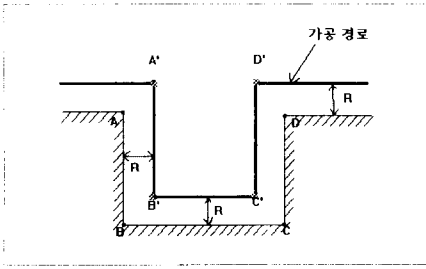


그림 3. 오목간섭의 제거

### 3.2.2) 볼록부위에서의 공구간섭 제거

#### 1) 볼록부위의 과절삭

Oliver의 방식에서는 곡면의 볼록 부위에서 공차한도를 넘어서는 간섭은 다음의 관계가 성립함을 알 수 있다.

- (1)  $|P_{22}P_{23}| > |P_2P_3|$
- (2)  $|P_2P_3| < R$  (tool radius)
- (3)  $H_2 > \text{chordal tolerance limit}$

위의 조건에서 조건(1)은 볼록부위를 나타내고 (2)와 (3)은 급격한 볼록형상으로 인하여 공구가 볼록부위를 깎아먹는 조건을 나타낸다.

본 연구에서는 볼록부위의 판정용 위의 식(1)과 (2)를 이용하여 곡면이 볼록간섭을 일으키는가를 체크한다. 그림 [4]는 볼록간섭의 형태를 보여주고 있다.

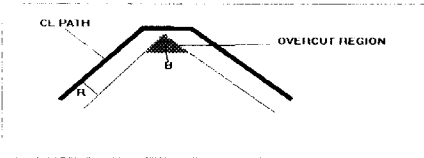


그림 4. 볼록간섭의 형태

#### 2) 볼록간섭의 제거

그림 [5]는 볼록간섭을 제거하는 그림을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 삼각형 형상의 ABC도형에서 선분  $\overline{AB}$ 의 법선방향으로 점 A와 B를 Offset시켜 점 A'와 B'를 구하고 선분  $\overline{BC}$ 의 법선방향으로 점 B와 C를 offset시켜 점 B'와 C'를 구한다. 이렇게 구한 Offset점 A', B', B', C'점을 가지고 선분  $\overline{A'B'}$ 와 선분  $\overline{B'C'}$ 를 그린다. 이때, offset된 이 점들로 구한 선분의 교차점 D를 두 직선의 교차점을 찾는 방식으로 찾아 그 교차점을 삽입해주거나 점 B'와 B''사이를 원호보간하는 G-code를 삽입하는 방식과 원호보간된 데이터를 삽입하는 방식으로 볼록부위에서 공구의 간섭을 제거한다.

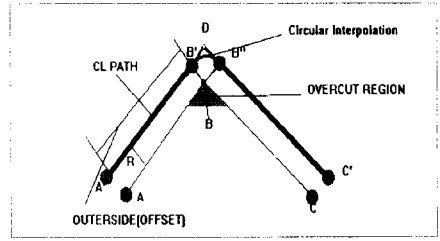


그림 5. 볼록간섭의 제거

### 3.2.3) 공구의 측면간섭 제거

#### 1) 측면간섭의 현상

공구의 측면간섭 현상을 그림 [6]에 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 공구가 선분  $\overline{AB}$ 를 지날 때는 공구의 간섭이 일으키지 않으나 공구가 선분  $\overline{CD}$ 를 지날 때는 공구가 도형의 측면을 파먹는 공구의 측면간섭현상이 발생하게 된다. 이러한 측면간섭은 Oliver의 방식으로는 법선벡터의 여러 모습에 따라 구 부분에서는 간섭을 제거하기가 어렵다.

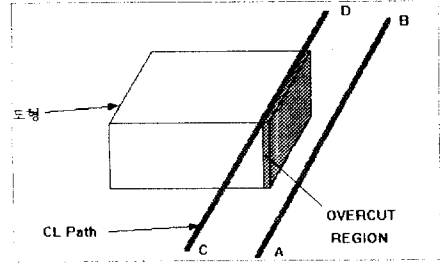


그림 6. 측면간섭의 예

#### 2) 측면간섭의 제거

공구의 측면간섭의 경우는 공구의 볼록간섭현상과 마찬가지로 솔리드 모델링 기법중 해석도형의 Data Structure를 이용 이 해석도형의 offset윤곽을 구하고 이 offset윤곽과 기저곡면의 Offset도형의 만나는 부위에서 해석도형의 Offset윤곽을 공구의 가공경로에 대체시킴으로써 공구의 측면간섭현상을 제거하고자 한다. 그림 [7]은 측면간섭의 제거를 도식화한 것이다.

그림에서 보듯이 진행의 측면에서 발생하는 간섭의 경우에는 도형의 각 모서리점 A,B,C,D를 공구의 반경만큼 Offset시킨 점 A',B',C',D'를 구하여 이 네개의 점으로 새로운 도형의 외곽을 만든다. 이 외곽라인 안쪽이 바로 간섭을 일으키는 시작점이 되므로 공구가  $\overline{CD}$ 를 지날 때 공구의 진행방향을 그림에서 보듯이 검사상자와 가공 CL 라인이 만나는 점 E와 F를 찾고 그 점에서 선분  $\overline{CD}$ 의 외곽윤곽선인  $\overline{GH}$ 를 지나가게 데이터를 치환함으로써 공구의 측면간섭을 제거하고자 한다. 또한, 공구의 진행방향에서 발생하는 공구의 측면간섭 역시 이 방식을 도입하여 공구를 외곽라인의 최상의 Z값으로 들어올림으로써 공구의 측면 간섭을 제거하고자 한다.

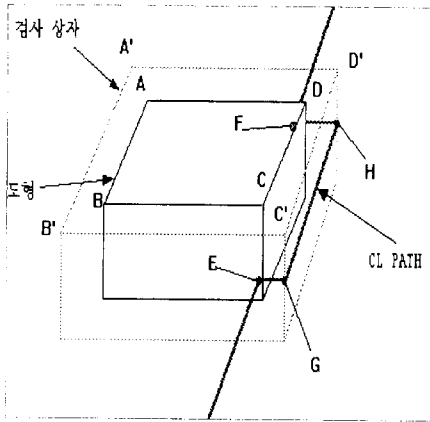


그림 7. 측면간섭의 제거

#### 4. 결론

해석적 복합곡면에서의 금형의 가공에서 발생하는 공구간섭 현상을 솔리드 모델링에서의 In/Out판별에 의한 방식과 Data Structure개념을 도입하여 Boolean연산된 부위에서의 Offset법을 이용하여 공구의 오목간섭 및 볼록간섭, 측면간섭현상을 제거하였다. 이러한 공구의 간섭제거는 공구의 진행방향에서만 검사하고 제거하므로 처리하는 데이터 양이 적어 계산시간과 메모리를 줄일 수 있었으며 접합되는 도형의 정보를 Data Structure화하여 외곽윤곽을 구하므로 쉽게 간섭역을 검사하고 그 부분에서만 공구의 간섭을 제거함으로 빠른 공구간섭 검사 방식이 되어 실시간 가공이 가능할 수 있도록 하였다.

추후 연구과제로는 자유곡면에서의 공구간섭 제거와 해석적 복합곡면이 아닌 임의의 자유곡면으로 이루어진 복합곡면에서도 본 연구에서 행한 기법을 응용하여 공구의 간섭을 제거하는 것이 필요하겠다.

#### 5. 參考文獻

[1] 전차수, '3차원 측정데이터로 부터 자유곡면의 NC가공', 석사학위논문, KAIST, 1985.  
 [2] Choi B.K. Hwang J.S. and Jun C.S. 'Compound Surface Modelling and Machining', CAD, vol.20, No.3, pp127-135, 1988.  
 [3] Hwang J.S. 'Interference free tool path generation in the NC machining of parametric compound surfaces', CAD, vol.24, No.12, pp667-676, 1992.  
 [4] J.P. Duncan and S.G. Mair, 'The Anti-interference Features of Polyhedral Machining', in Advances in Computer-Aided Manufacture, North-Holland Pub. pp 181-195, 1977.  
 [5] J.P. Duncan and S.G. Mair, 'Sculptured Surfaces in Engineering and Medicine', Cambridge Univ. Press, 1983.

[6] 전차수, 자유곡면 NC 가공에서의 공구간섭 방지, 박사학위 논문, KAIST, 1989.

[7] B.K. Choi and C.S. Jun, 'Ball-end cutter interference avoidance in NC machining of sculptured surface', CAD, pp371-378, 1989.

[8] S. Aomura and T.Uehara, 'Intersection of Arbitrary Surfaces', JSPE, pp 153-159, 1991.

[9] R.E. Barnhill etc, 'Surface/Surface Intersection', CAGD, pp 3-16, 1987.

[10] S. Aomura and T. Uehara, 'Self-intersection of and Offset Surface', JSPE, pp 417-422, 1990.

[11] Y.D. Chen, J.Ni, and S.M. Wu 'Real time CNC Tool path Generation for machining IGES Surface', ASME 1991.

[12] H.Suzuki, K. Yamazaki, T.Hoshi and M.Futagawa, 'Real Time Numerical Control System for Metal Molds and Dies Machining - High Speed Algorithm for Calculating Intersections and its Application', JSPE, pp 49-54, 1987.

[13] T.Kishinami, T.Kondo and K.Saito, 'Onverse Offset Method for Cutter Path Generation', Proceeding of the 6th International Conference on Production Engineering, pp. 115-120, 1987

[14] J.H.Oliver, D.A.Wysocki and E.D.Goodman, 'Gouge Detection Algorithms for Sculptured Surface NC Generation', Journal of Engineering for Industry, pp. 139-144, Vol. 115, Feb. 1993