

금형 가공에 있어서의 공구간섭 제거에 관한 연구
 (A Study on Tool interference avoidance in machining a die cavity)

강 성 기* (전북대 대학원) , 양 균 의 (전북대 기계과)

abstract

When machining a die cavity, many machining conditions must be considered. Especially when using a NC machine, the tool interference is a important problem. In this paper, we consider the tool interference of free-formed surfaces and analytic compound surfaces which having free-formed base and many primitives and present a method checking the tool interference regions and avoiding them.

Key word : die cavity, tool interference

1. 서론

대량 생산을 목표로 하는 자동차, 항공기, 가전제품 등의 제작에서 금형은 중요한 역할을 담당하고 있다. 특히 종래의 노동집약, 기능집약적인 금형 생산체제에서 CAD/CAM을 이용한 기술 집약적인 금형 생산체제로 변화 하는 시기에 NC 기계를 이용한 금형 생산에 대한 연구는 활발히 진행되고 있다. 금형을 제작하기 위해서는 금형의 형상을 모델링하는 효율적인 모델링 기법이 필요하며 이 모델링이 수행된 후에는 공구경로 계산, 후처리, 황삭계획, 정삭계획, 가공조건의 선정 등이 고려되어야 한다. 위와같은 공정계획에 의해 금형을 가공할 때에 가장 심각하게 고려해야 할 문제중 하나는 공구 간섭현상이다. 공구간섭은 생산성의 향상을 위해서 반경이 큰 공구로 황삭을 행할때 자주 발생하는 문제로 공구간섭이 발생하면 공구가 금형의 원하지 않는 부위까지 깎아먹게 되어 금형 가공물의 정밀도를 크게 저하시키기 때문에 금형 가공에서 공구간섭의 제거는 필수적인 사항이다.

공구간섭 해결을 위한 여러 소프트웨어를 상업용 CAD/CAM 시스템에서 제공하고 있지만 루틴의 공개가 되지 않고 또한 완전히 공구 간섭을 제거한 소프트웨어는 없기 때문에 공구 간섭에 대한 연구는 아직 활발히 진행되고있다. 공구 간섭에 대한 기존의 연구 결과로는 APT방식을 이용한 방식[1], 다면체 근사 도형을 이용한 방식[2], inverse offset방식[3] 등 여러가지 방식이 제시되어 있다. 위와같은 방식들은 얻어지는 모든 데이터를 대상으로 간섭을 일괄적으로 제거하는 방식으로 처리하는 데이터가 많고 그에따라 처리시간이 오래 걸리는 단점이 지적되고 있다.

본 연구에서는 offset 곡면의 교차를 이용하여 공구

간섭을 제거한 방식[4]과 Oliver의 논문에서 제시한 데이터간의 기리를 계산하는 방식[5]을 응용하여 공구 간섭을 제거한 방식을 제시하고자 한다. 전자의 방법으로 자유곡면으로 이루어지는 금형의 간섭을 효과적으로 제거하고 후자의 방법으로 해석적 복합곡면으로 이루어지는 금형 제품의 공구 간섭을 효과적으로 제거하고자 한다. 이 방법들은 하나의 공구 진행에 따른 간섭을 검사하는 방법으로 처리하는 데이터의 양을 줄일수 있고 또한 처리시간의 단축을 꾀하는 효과를 기대할 수있는 방식을 제시하고자 한다.

2. 금형의 형상 모델링
 2-1 자유곡면의 모델링

단순히 자유 형상만으로 이루어지는 금형 제품은 매개적 자유곡면의 표현 방법을 이용하여 표현할 수 있다. 매개적 자유곡면을 나타내는 여러가지 방식이 많이 있는데 일반적으로 다음과 같은 식으로 곡면식을 정의할 수 있다.

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

where u, v : 매개변수

즉 매개변수 u, v 의 값이 주어지면 곡면 위의 점의 좌표 값을 알수있다. 또한 이 곡면식에서 곡면의 법선벡터를 계산하여 공구의 위치를 계산하는데 사용할 수 있다. 주어진 곡면식 $\vec{S}(u, v)$ 에서의 법선 벡터는 다음과 같은 식으로 나타낼수 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 식으로 공구 접촉점에서 공구 위치점을 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.

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

where d : tool radius

곡면 생성방식에는 여러가지가 있지만 그것들은 거의 비슷하게 사용될 수 있으므로 본 논문에서는 Ferguson 곡면 생성 방식을 이용하여 자유곡면을 정의하고 공구 접촉데이터와 공구 위치데이터 등을 위에서 정의한 식을 이용하여 구하였다.

2-2 복합곡면의 모델링

자유형상을 가지는 기저곡면에 여러가지 해석 도형이 첨가 또는 제거되는 방식으로 결합된 금형의 모델링에는 해석적 복합곡면의 모델링 기법을 사용하여 금형 제품의 형상 표현을 행할 수 있다. 해석적 복합곡면의 모델링은 앞절의 자유곡면의 모델링에 해석적 도형을 결합하는 방법으로 정의된다.

해석도형은 크게 다면체 도형과 quadratic 도형으로 나누어지는데 도형의 구분에 따라 도형 표현을 위한 기억 정보가 다르다. 다면체 도형은 edge와 face로 구성되므로 모서리와 면, 꼭지점과 모서리의 위상관계를 나타낼 필요가 있고 도형의 각 성분인 꼭지점의 좌표, 모서리의 직선식, 면의 평면식등의 정보를 따로 기억할 필요가 있다. 그리고 도형의 정의영역과 측면간섭의 검사를 위한 간섭영역등을 따로 기억해야 한다. 사용되는 다면체의 정보는 solid 데이터로 기억시켜야 한다.

quadratic 도형은 기준 위치에서의 표준 방정식이 제공되므로 공간의 임의 위치에 있을때의 공간 방정식을 계산하는 절차가 필요하다. 그리고 도형의 정의 영역과 간섭영역을 따로 기억해야 한다.

자유곡면에 해석도형이 결합되는 관계를 표시하는 기준을 boolean 관계라 한다. 이 boolean 관계를 가지고 복잡하게 결합된 복합곡면의 점을 계산한다. 그림 1에 임의의 복합곡면에서 기저곡면 $\vec{B}(u, v)$ 와 여러 해석도형 S_1, S_2 등이 어떤 boolean 관계를 가지고 접속되어 있는지를 보여준다. 이 복합 곡면의 경우 boolean 표현은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$BP = B - S_1 + S_2$$

위의 boolean 관계를 식으로 표시하면 다음의 식으로 표시할 수 있다. 즉 삽입되는 도형의 경우는 교점의 높은 값을 취하고 제거되는 도형의 경우는 교점의 낮은 값을 취하는 방법으로 복합곡면 위의 실제 교점을 찾을 수 있다.

$$Z_c = \max(Z_a, \min(Z_b, Z_{d1}))$$

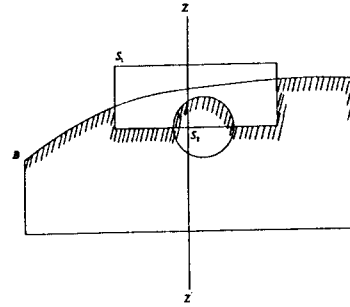


그림 1 복합곡면의 boolean 관계

3. 공구간섭 검사와 제거

3-1 자유 곡면에서의 공구간섭 제거

매개변수로 표현되는 곡면식을 공구 반경만큼 offset 시킨 offset 곡면을 형성하면 아래의 그림 2와 같이 곡면의 곡률 반경이 작은 오목부분에서 원래의 곡면에서는 보이지 않던 교선 loop가 발생하는 경우가 발생하게 되고 그 loop를 제거해 주지 않으면 가공시 overcut이 발생하게 된다.

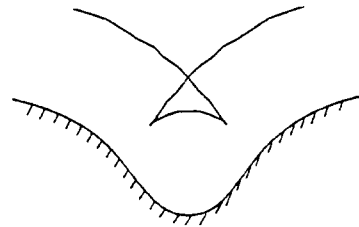


그림 2. 간섭이 발생하는 offset 경로

이와같이 loop가 발생하여 overcut이 발생하는 공구경로가 생기지 않게 하는것이 간섭방지이다. offset곡면이 서로 교차하여 loop가 발생하는 경우 이 loop의 교점을 찾아서 교점 이하의 데이터를 제거함으로써 자유곡면의 오목부위의 간섭을 제거할 수 있다. 그런데 그림 3에서 보는바와같이 이 loop의 교점은 항상 2차원 적으로 교차하지 않고 때로는 3차원적인 교차를 일으킬 때도 있다. 따라서 곡면의 교차 loop의 탐색은 3차원적인 loop의 교차까지 고려한 곡면과 곡면의 교차를 구하는 SSI 알고리즘을 이용하여 교차곡선을 찾는다. 이 교차곡선을 가지고 loop의 교차를 없앨수 있다.

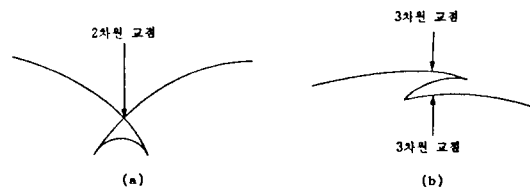


그림 3. 2차원 loop와 3차원 loop

아래의 그림 4는 Ferguson 곡면식으로 만든 곡면의 CC 데이터와 그 데이터를 공구 반경만큼 offset 시킨 offset 곡면을 보여주고 그림 5는 곡면의 입력점을 offset시켜 만든 Bezier 조정점과 이 조정점으로 생성한 CC 데이터를 보여준다. 그림에서 보듯이 offset 곡면은 원래의 입력점들을 공구 반경만큼 offset시킨 data들로 만들어진 CC data들과 근사적으로 일치하므로 이를 이용해 교차 가능 영역을 검사하고 교차를 계산하여 처리시간의 단축을 꾀할 수 있다.

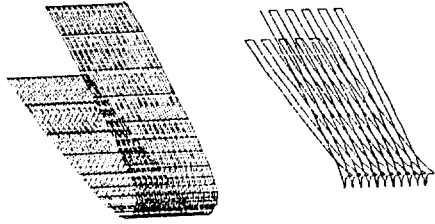


그림 4. 원 곡면과 간섭이 있는 offset 곡면

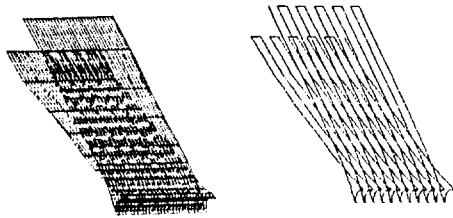


그림 5. 입력점을 offset시켜 만든 bezier 조정점과 CC data

offset곡면의 교차 곡선을 찾고 이 교차곡선 이하의 데이터를 제거하여 간섭이 발생하지 않는 데이터와 연결함으로써 오목부위에서 간섭을 제거할 수 있다. 다음의 그림 6은 간섭이 발생하는 간단한 오목부위 형상에서 CC 데이터와 loop가 발생하는 offset 데이터를 보여주고 있다. 여기서 offset곡면의 교차곡선을 찾아서 연결하고 교차곡선 이하의 데이터를 제거하여 새롭게 얻어지는 offset곡면을 그림 7에 보인다.

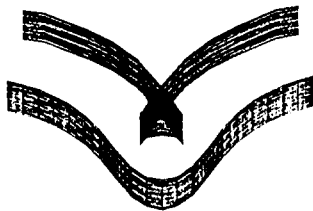


그림 6 간섭이 발생하는 CC 데이터와 offset데이터

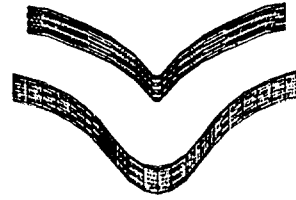


그림 7 간섭을 제거한 offset 데이터

3-2 복합 곡면에서의 공구간섭 제거

해석적 복합곡면의 경우 곡면의 offset곡면을 얻어서 간섭을 제거하는 방법만으로 공구 간섭을 제거하기 어렵기 때문에 공구 접촉데이터와 공구 위치데이터와의 거리를 계산하는 방법을 사용하여 간섭을 제거한다. 이 방식은 매개 자유곡면에 대해 Oliver가 제시한 방법을 응용하여 해석적 복합곡면에 적용한 것이다. 이 방식은 한번의 공구 진행에 따라 얻어진 데이터를 대상으로 간섭을 제거한 새로운 데이터를 얻을수 있으므로 처리시간의 단축과 메모리의 감축을 기대할 수 있다.

3-2-1 오목부위에서의 간섭

그림 8은 오목부위에서의 공구 간섭이 발생하는 경우에 나비형 루프가 발생하는 모습을 보여준다. 오목부위에서 루프가 발생하면 이 루프의 시작과 끝점을 구하여 루프를 제거하는 방법이 필요하고 이 방법으로 주어진 데이터 간의 거리를 계산하는 방법을 사용한다. 즉, 현재의 CL데이터에서 다음의 CC데이터와의 거리를 계산하여 이 거리가 공구반경보다 크면 간섭이 없지만 그 반대로 공구반경 보다 작은 경우는 오목간섭이 발생하는 부위로 판단한다. 그림 8에서 P_2 에서 거리계산을 했을때 P_3 와 간섭이 발생하는 것을 알수있다. 따라서 P_2 와 그 전단계인 P_1 을 한쌍으로 하고 P_2 와 간섭을 일으키는 P_3 와 그 뒷단계인 P_4 를 한쌍으로 하는 간섭쌍을 선택한다. 이와같이 간섭이 발생하는 간섭쌍이 선택되면 이 쌍의 거리가 최소가 되는 위치에서 간섭루프의 시작과 끝이 된다고 볼수있으므로 두 직선간의 간격이 최소가 되는 위치를 구한다. 공간 상에서 양 직선간의 거리가 최소가 되는 위치가 구해지면 그 위치를 루프의 시작과 끝나는 데이터로 대체시킴으로 루프를 제거할 수 있다.

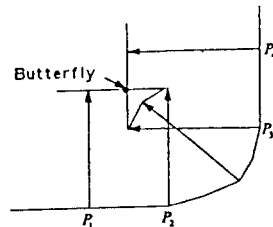


그림 8 오목부위의 간섭

3-2-2. 볼록부위에서의 간섭

그림 9는 볼록 부위에서의 간섭 현상을 보여준다. 볼록 부위에서의 간섭의 검사는 다음의 조건들을 만족해야 한다.

- (1) $|P_m P_{m+1}| > |P_2 P_3|$
- (2) $|P_2 P_3| < R$ (tool radius)
- (3) $H_2 > chordal tolerance limit$

위의 조건에서 조건(1)은 볼록부위를 나타내고 (2)와 (3)은 급격한 볼록형상으로 인하여 공구가 볼록부위를 깎아먹는 조건을 나타낸다. 만일 현재 검사중인 데이터를 가지고 위의 볼록간섭 조건을 만족하는 경우가 발생하면 그 데이터에서 쌍방으로 각각 한쌍의 검사 데이터를 가지고 볼록부위에서의 간섭을 제거하기 위한 추가점 계산을 행한다. 추가점 계산의 방식은 오목 부위에서의 간섭투프 제거 방식과 동일하게 두쌍의 직선 벡터의 거리가 최소가 되는 위치를 구하여 그점을 추가점으로 선택한다.

특수한 경우의 볼록 간섭으로 구 형상의 모형을 가공할 때 발생하는 간섭을 생각할 수 있다. 구 형상에서 발생하는 볼록 간섭은 직선 보간으로는 처리할 수 없으므로 후처리시 원호보간 코드를 삽입함으로써 제거하는게 바람직하다.

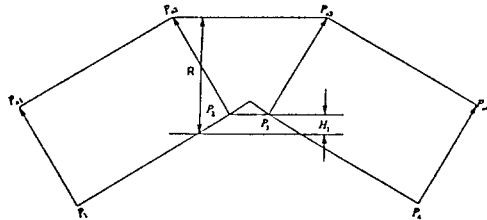


그림 9 볼록부위의 간섭

3-2-3. 측면에서의 간섭

공구진행 방향을 따라서 공구가 진행할 때 진행 방향의 측면에 있는 도형과 측면 간섭을 일으킬수 있고 이 경우에 대한 간섭을 검사하고 제거하는 방법이 필요하다. 이것을 위해 도형의 세부정보에 offset영역을 지정하여 공구가 이 영역에 들어오면 이 간섭을 검사하는 과정이 필요하다. 그림 10에 공구진행 방향을 지나는 공구와 이 진행 방향에서 도형의 간섭관계를 나타내고 이때의 간섭조건을 나타낸다. 그림에서 공구가 P₁의 위치에 있을때는 도형과 간섭이 없지만 P_{1,1}의 위치에 있을때는 도형과 간섭이 발생하는걸 알수있다. 측면 간섭의 검사를 위해서는 다면체의 경우는 도형의 해당하는 한면을 선택하고 이 면과 공구 위치점과의 거리 계산법이 강구되어야 한다. quadratic 도형의 경우는 해당하는 한면을 선택할 필요가 없으므로 도형의 면과의 최단거리를 계산하여 간섭여부를 검사한다. 그림 11에 다면체의 경우의

해당하는 면의 선택과 그면과의 최단거리 계산의 방법을 보이고 있다. 그림에서 공구위치 P에서 각면으로 그은 벡터 P₁, P₂, P₃를 가지고 각면의 법선벡터와 dot적을 행하여 그 결과가 (-)가 되는 면이 바로 고려해야할 면이 되는걸 알수있다.

그림 12은 오목과 볼록부위를 가지는 다면체 형상을 대상으로 공구 접촉데이터와 offset 데이터 그리고 간섭을 제거한 공구 위치데이터의 그림이다. 그림에서 보듯이 오목부위의 loop, 볼록부위의 과질삭, 그리고 도형의 측면을 깎아먹는 측면간섭을 제거한 모습을 볼수 있다.

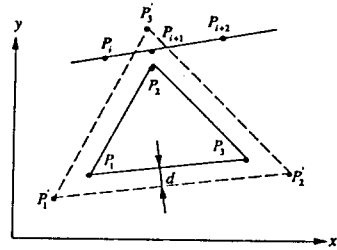


그림 10 측면간섭

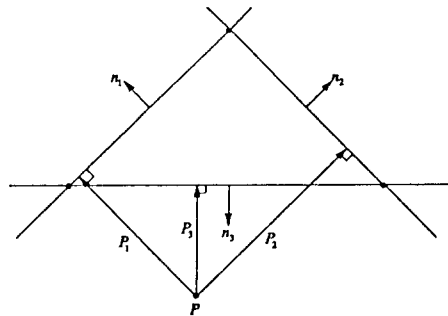


그림 11 측면 간섭면의 선택

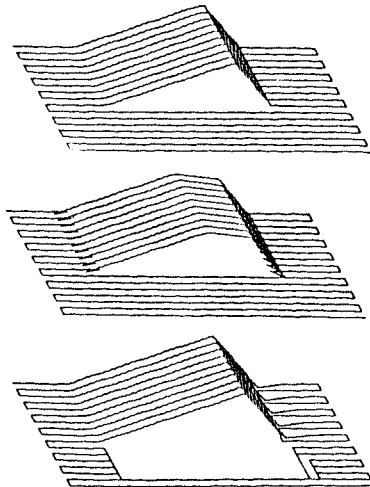


그림 12 간섭발생과 제거에

4. 결론

자유곡면에서의 공구간섭을 SSI 알고리즘에 의한 교차 검사 방법을 이용하여 구현하였고 해석적 복합곡면의 공구간섭을 가공데이터 간의 거리 검사를 이용한 방법을 적용하여 구현하였다. 금형이 자유곡면 만으로 이루어진 경우 곡면의 오목부위에서 발생하는 간섭을 offset곡면의 교차 성질과 Bzier 곡면의 볼록 폐포성을 이용하여 빠르게 교차가능 영역을 검사하고 교차곡선을 찾아내는 방법으로 간섭검사와 제거에 필요한 처리시간을 줄일수 있었고 등매개 변수를 따르는 공구경로를 선택하는 경우 한 경로에 대해서 간섭을 제거한 공구경로를 얻을수 있어서 필요한 메모리의 절약 효과를 기대할수 있게되었다. 금형이 자유곡면 뿐아니라 다면체를 포함하는 경우 한 공구의 진행에 따라 얻어진 공구 접촉데이터와 공구 위치데이터를 가지고 행하는 거리 검사를 통하여 오목과 볼록 뿐아니라 측면에서의 간섭까지도 제거한 데이터를 얻을수 있다. 이 방식은 한 공구 진행에 따른 처리를 따로 행하므로 처리 시간의 단축과 메모리의 절약을 기대할수 있다.

5. 참고문헌

- [1] I. D. Faux, etc 'Computational Geometry for Design & Manufacture', Ellis Horwood Pub, 1981.
- [2] B K Choi, C S Jun, 'Ball-end cutter interference avoidance in NC machining of sculptured surface', CAD, PP 371-378 8, 1989
- [3] K Saito 외, '금형설계 제작용 CAD/CAM 시스템의 통합화에 관한 연구' 일본 북해도 대학 정밀기계과 소화 61년도 과학연구비 보조금 연구성과 보고서, 1990
- [4] 박운섭, 양균의, '자유곡면 가공에 있어서 SSI 알고리즘을 이용한 공구간섭 체크에 관한 연구', 한국정밀공학회 12. 1993
- [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, C S Jun, 'Compound Surface Modelling and Machining', CAD Vol. 20 No 3 April 1988
- [7] Y D Chen, J Ni, S M Wu, 'Real-time CNC Tool Path Generation for Machining IGES Surfaces', ASME 1991