

CNC 가공시 복합 자유곡면상에서의 공구간섭 탐지와 수정

이성근*(경북대 대학원 기계공학과), 양승한(경북대 기계공학과)

Interference avoidance in CNC machining of compound free-form surfaces

Sung-Gun Lee (Graduate School, Kyungpook National University)

Seung-Han Yang (Kyungpook National University)

ABSTRACT

Free-form surfaces arise in shipbuilding, automotive and aerospace industries. Specially compound free-form surfaces so do. Machining complicated products consist of compound surface, it is very important to avoid and remove tool interferences. By the way, in compound surfaces the tool interference can occur not only in the tool path direction but also in the other direction. A new tool interference detection and correction using tool interference conditions is suggested to identify and correct the tool interference in compound surfaces.

Key Words . Compound free-form surface (복합자유곡면), Tool interference (공구간섭), Tool path (공구경로), Overcut error (과도절삭오차), Undercut error (미절삭오차)

1. 서론

CAD/CAM 시스템의 발전과 더불어 소비자들은 다양한 형상의 제품을 원하고 있고, 이러한 제품들은 단순한 하나의 곡면이 아닌 복합자유곡면(Compound free-form surface)을 이루게 된다. 이런 복합자유곡면을 얻기 위해서는 CNC 가공에서 효율적인 공구경로가 중요시되고 있고, 그에 따르는 공구간섭문제가 중요시되고 있다.

공구간섭은 공구가 공구경로를 따라 가공을 하면서 절삭재의 원하지 않는 부분을 가공할 경우 발생한다. 특히 여러 개의 단위곡면(face)이 모여서 이루어진 복합자유곡면에서는 자신의 곡면보다는 다른 곡면과의 간섭이 발생할 수 있는 가능성이 매우 크다. 일반적으로 공구간섭은 자유곡면의 곡률이 크고 공구의 직경이 클 경우, 또한 복합자유곡면에서는 곡면들이 만나는 경계지역에서 급격한 형상변화로 인하여 발생한다. 공구간섭에 의한 가공 후의 오차는 과도절삭오차(Overcut error)와 미절삭오차(Undercut error)로 나뉘어질 수 있다. 미절삭오차는 직경이 더 작은 공구를 사용하여 줄어들 수 있지만 전체 공정시간이 증가한다. 하지만 미절삭오차는

생산성은 떨어지지만 제품을 사용하지 못하는 것은 아니다. 이에 반해 과도절삭오차는 제품의 사양을 만족시킬 수가 없으므로 과도절삭오차의 제거는 아주 중요하다.

이러한 공구간섭을 해결하는 공구경로 생성에 관한 연구는 여러 분야에서 이루어지고 있는데, CC(Cutter Contact)점으로부터 CL(Cutter Location)점을 얻는 경우⁹, Offset 곡면을 통한 연구, 다면체 가공(Polyhedral machining)에서의 연구^{7,8}, Z-map 분할에 의한 연구¹⁰ 등 여러 방법이 있다. Offset 곡면을 이용하는 경우는 많은 이점이 있지만 간섭을 해결하는 정확한 Offset 곡면을 구하기가 어렵고, 다면체 가공이나 Z-map 분할은 정확한 CL 점을 구하기 위해 많은 데이터가 필요하다. CC 점으로부터 CL 점을 구하는 방식은 가장 많이 사용되고 있지만 기존의 방법들에서는 단일곡면에서의 해결방법이 대부분이었고, 복합자유곡면에서의 간섭 해결을 위해서는 부족한 점이 있다. 예를 들면 복합자유곡면에서 간섭을 피하기 위하여 새롭게 이동한 점들은 또 다른 곡면과 간섭이 일어날 가능성이 있는 것이다.

본 연구에서는 단일곡면보다는 복합곡면에서 다른 곡면들과의 간섭을 해결하는 문제를 해결하는

방안을 제시하는데 중점을 두고 있다. 이것은 먼저 공구경로에서 간섭이 일어나는지를 먼저 파악한 후 주변의 어떤 곡면과도 간섭이 일어나지 않는 공구경로점을 찾아내는 방법을 사용한다. 그리고 본 연구에서는 CAD 데이터를 직접 이용하여 공구경로를 바로 생성할 수 있는 매개변수방식을 이용하였다.

2. 공구간섭의 탐지와 수정

2.1 공구간섭의 정의와 공구경로의 생성

복합자유곡면은 gab 또는 overlap 을 포함할 수 있고, 단일 face 내에서 loop 를 가질 수 있다. Fig. 1 은 이러한 예를 보여주고 있으며, 이러한 요인들을 제거하기 위해서는 데이터를 삭제하거나 수정하여 삽입하여야 한다

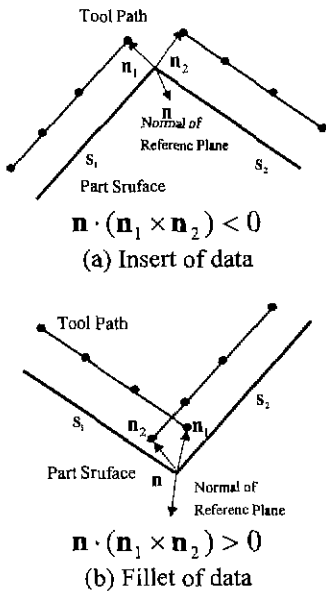


Fig 1. Insert and fillet of data

본 연구에서는 공구경로를 매개변수를 이용하여 구하였기 때문에 공구경로를 생성하는 CL 점은 CC 점으로부터 생성이 쉽게 된다. Fig. 2 은 이러한 그림을 나타내는데 CL 점을 구하는 식¹은 (1)과 같다.

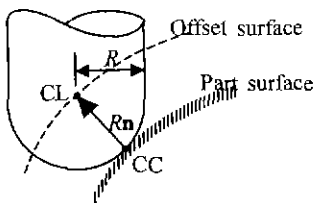


Fig. 2 CC point and CL point

$$CL(u, v) = CC(u, v) + Rn(u, v) \quad (1)$$

2.2 공구간섭의 탐지와 수정

복합자유곡면에서의 공구간섭 중에 gab 에 의한 간섭은 그 경계면에서 데이터를 Z 축으로 평행이동시킨 점을 대입하면 간단히 해결할 수 있으나 overlap 이나 loop 인 경우에는 데이터를 삭제하고 새로운 데이터를 넣기가 쉽지가 않다. 하지만 이런 경우 간섭이 일어나기의 직전의 조건은 다음의 세 조건⁵을 만족시킨다.

$$|S_2(u, v) - O_1(u(t), v(t))| = R \quad (2)$$

$$\frac{\partial S_2(u, v)}{\partial u} \cdot (S_2(u, v) - O_1(u(t), v(t))) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial S_2(u, v)}{\partial v} \cdot (S_2(u, v) - O_1(u(t), v(t))) = 0 \quad (4)$$

Fig. 3 은 간섭이 일어나는 경우에 간섭이 일어나지 않는 새로운 공구경로점을 찾는 과정을 보여준다.

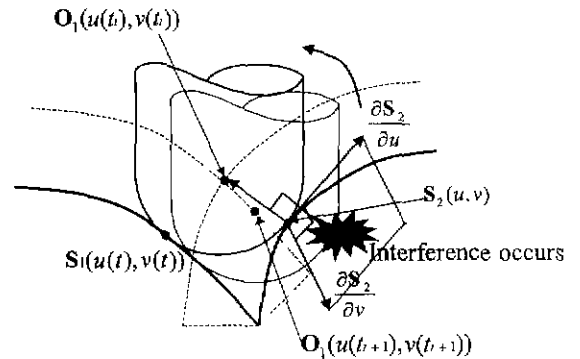


Fig. 3 Detection of Tool Interference and Finding a new CL-Point

복합자유곡면에서 공구경로를 수정할 경우에는 간섭이 일어날 수 있는 다른 모든 곡면들을 고려하여야 한다. 따라서 곡면의 각 경계면에 있는 곡면들을 검사하여 간섭이 일어나는 지를 검사하여야 한다. 다음의 단계는 공구간섭을 해결하는 단계를 나타낸다.

1 단계 : 각 공구접촉점보다 작은 미소단위로 공구간섭이 일어나는지 확인한다. 다른 곡면과의 간섭은 경계에 위치한 모든 곡면을 다 고려하여야 하며 현재 공구의 위치에서 다른 곡면과의 수직을 이루는 다른 곡면상의 점을 구한 다음 그 점과의 거리

가 공구길이보다 작으면 일어난다. 이 과정에서 현재 공구위치와 수직을 이루는 다른 곡면의 점을 구하는 방법은 다른 곡면의 조정점보다 많은 수로 곡면을 분할하여 그 중에 거리가 가장 가까운 점을 찾아 이것을 Newton method의 초기값으로 주어 찾는다. 이렇게 하는 이유는 곡면의 조정점은 그 곡면의 형상을 좌우하는 큰 요인이고 조정점에 따라 형상의 변화가 있기 때문이다. 그리고 초기값이 원하는 해에 근접하기 때문에 빠르게 수렴할 수 있다.

2 단계 : 각 미소위치에서 간섭이 둘 다 일어나면 그 사이에 있는 공구의 CL 점은 삭제되고 간섭이 일어나지 않으면 그냥 다음 과정으로 넘어가게 된다. 이 과정은 공구경로의 끝인 loop가 1인 위치에서 중단된다.

```
while(loop<=1 0){
    if(interfere1==true && interfere2==true)
        Delete_CL_Point
    else if(interfere1==false && interfere2==false)
        Next
    else
        Detect_Interfere_Point
}
```

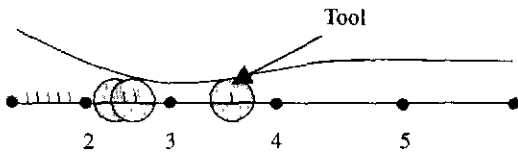


Fig. 4 Interference in the tool path

Fig 4 에서 CL 점 2 번과 3 번 사이에서 간섭이 시작되고 3 번과 4 번 사이에서 간섭이 끝나는 것을 보여주고 있다. 2 번과 3 번점 사이의 미소부분에서는 처음 미소점에서는 간섭이 일어나지 않다가 두 번째 미소점에서는 간섭이 일어난다. 두 미소점 사이에서 간섭이 일어나는 정확한 위치는 3 단계에서 계산한다.

3 단계 : 식 (2), (3), (4)를 만족하는 공구경로상의 새로운 CL 점을 구하게 된다. 이것은 Fig. 3 에서 t 와 t_{+1} 사이의 t_i 점을 찾는 과정이다.

4 단계 : 3 단계에서 간섭이 일어나는 공구경로 상에서의 정확한 t 값을 찾으면 그 지점에서 공구경로를 분할하고 분할된 나머지를 다시 간섭 확인한다. Fig. 5 에서 보면 CL 점 3 과 4 사이에서 s 라는 간섭이 끝나는 점을 찾게 되었다. 그래서 최종적으로

공구경로는 2 개로 나오게 되는 것이다.

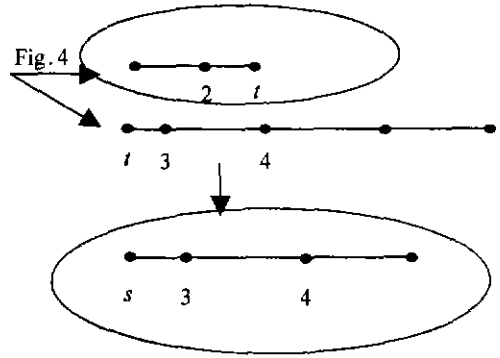
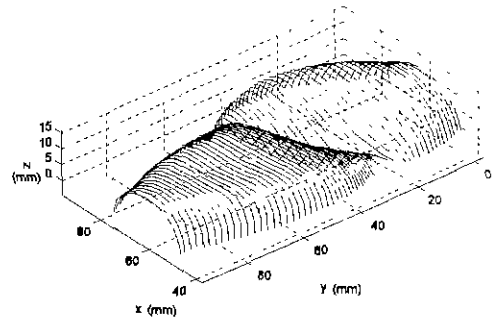


Fig. 5 Division of tool path

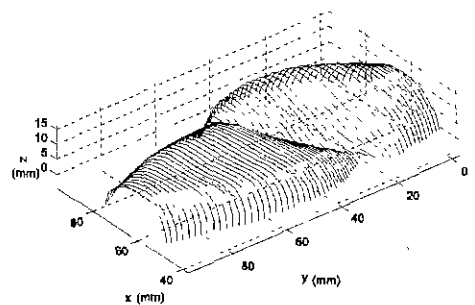
3. Simulation

공구는 직경 10mm 인 볼엔드밀이 사용되었고, 허용오차는 0.1mm 로 주었다.

Fig. 6 은 간섭이 일어나는 경우와 일어나지 않는 경우의 공구경로를 보여준다.



(a) with interference



(b) without interference

Fig. 6 Tool path generation

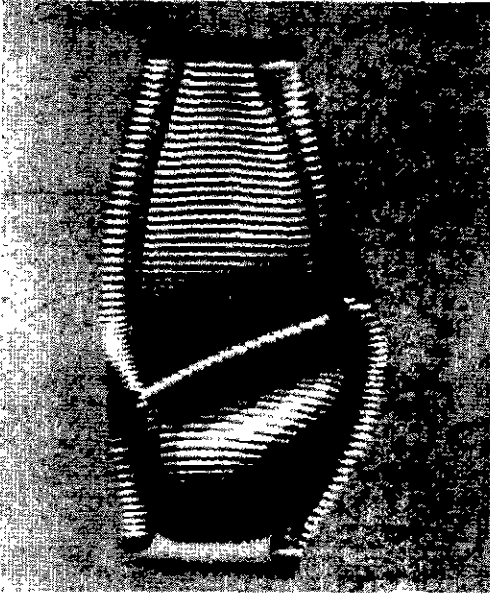


Fig. 7 Work piece

4. 결론

본 연구에서는 CAD 데이터를 바로 이용할 수 있는 매개변수방식을 사용하여 공구경로를 생성하였고, 그 공구경로 상에서 공구간섭이 일어날 경우 간섭을 제거할 수 있는 방법을 제시하였다. 공구간섭을 제거할 경우의 이점은 제품의 원하는 형상을 얻을 수 있다는 것이다. 특히 과도절삭이 일어나는 경우에는 제품을 사용하지 못하게 되는데 이것을 방지할 수 있는 것이다. 또한 본 연구에서 제시된 방법은 주변의 모든 곡면들과 간섭이 일어나는지의 유무를 판단하기 때문에 복합자유곡면에서 공구경로에서만 아니라 공구경로 밖의 간섭 또한 확실히 제거할 수 있다. 또한 이 방법은 3 축 공작기계 뿐만 아니라 공구의 자세까지 포함하면 5 축 공작기계까지 적용, 확대할 수 있다.

참고문헌

1. I.D. Faux and M.J. Pratt, "Computational geometry for Design and manufacture", Ellis Horwood, Chichester, UK, 1980.
2. S. Kawabe, F. Kimura and T. Sata, "Generation of NC commands for Sculptured Surface Machining from 3-Coordinate Measuring Data", CIRP, Vol. 130, pp. 369-327, 1981.
3. G.C. Loney and T.M. Ozsoy, "NC machining of free form surfaces", Computer-Aided Design, Vol. 19, No.

- 2, pp. 85-90, March, 1987
4. Y.D. Chen, J. Ni and S.M. Wu, "Real-Time CNC Tool Path Generation for Machining IGES Surfaces", Journal of Engineering for Industry, Vol. 115, No. 4, pp. 480-486, 1993.
5. L. Piegl and W. Tiller, "The NURBS Book", Springer, 1997.
6. Y. Koren and R.S. Lin, "Efficient Tool-path planning and machining for free-form surface", Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 118, pp. 20-28, February, 1996.
7. Choi, B.K., Lee, C.S., Hwang, J.S. and Jun, C.S., "Compound Surface Modeling and Machining", Computer-Aided Design, Vol.20, No.3, pp. 127-136, April, 1988
8. Hwang, J.S., "Interference free Tool Path Generation in the NC Machining of Parametric Compound Surface", Computer-Aided Design, Vol.24, No.12, pp. 667-676, Dec., 1992
9. Oliver, J.H., Wysocki, D.A. and Goodman, E.D., "Gouging Detection Algorithms for Sculptured Surface NC Generation", Journal of Engineering for Industry, Vol. 115, pp.139-144, Feb., 1993
10. 송수용, 김석일, "Z-map 모델을 이용한 3 차원 CNC 가공계획 및 절삭시뮬레이션에 관한 연구", 한국정밀공학회지 제 13 권 제 5 호, pp. 115-121, 1996년 5월