

볼엔드밀 가공에서의 가공물 검증

백대균*(안동정보대 기계과), 고태조, 김희술(영남대 기계공학부)

Verification of Workpiece in Ball End Milling

D. K. Baek(Mech. Eng. Dept., AIT), T. J. Ko, H. S. Kim(Mech. Eng. Dept., Yeungnam U)

ABSTRACT

This paper presented a new model of NC verification in ball end milling. The model verifies the over cut, the under cut and the surface roughness using NC file generated from CAM and cutting condition. The model uses Z-map model to verify workpiece. In this paper, the model used the velocities of x, y and z direction and obtained a center point of a ball end mill for modeling Z-map of workpiece. To investigate the performance of the model, simulation study was carried out. As the results, the model gave geometry accuracy of workpiece, the surface roughness and the chip loads in finish cutting that can predict tool chipping.

Key Words : Verification(검증), Z-map, Over cut(과대절삭), Under cut(과소절삭), Geometry accuracy(기하학적 정밀도), Surface roughness(표면조도), Error map

1. 서론

볼엔드밀을 이용하여 금형을 가공할 때 먼저 공구의 직경, 절삭조건등을 고려하여 CAM시스템에서 NC 데이터를 생성하고, 이 NC데이터를 이용하여 공작물을 가공한다. 그러나 CAM에서 모델링된 형상과 실제로 가공된 공작물을 정확하게 일치하지 않는다. 그 이유는 공구직경에 따라 공작물의 모서리 부분에 간섭이 발생하고, 공구의 경로에 따라 표면 거칠기가 다르게 나타나기 때문이다. 본 연구에서는 CAD/CAM에서 생성된 NC데이터를 이용하여 가공물을 정확히 검증하는 모델을 개발하고, 또한 새로운 검증 방법을 제시하고자 한다.

현재 CAD/CAM 가공에서 NC 공구경로를 검증은 Z-map 모델링을 이용하고 있다. Z-map모델^(1,2)은 NC 공구경로의 검증^(3,4,5), CAPP(Computer Aided Process Planning), 금형가공, 공구경로 생성등의 다양한 분야에 적용되고 있다. Z-map 모델은 간단한 데이터 구조로 인하여 오프셋팅(offsetting), 블렌딩(blending) 등과 같은 곡면조작이 편리하고, 계산이 강건(robust)한 장점이 있으나 정밀도 향상을 위해서는 기억용량이 과다하고, 계산시간이 긴

단점이 있다. 그러나 최근의 컴퓨터 기술의 발전 추세로 보아 이러한 문제는 별로 심각하지 않다.

본 연구에서는 Z-map 모델을 이용하여 볼엔드밀 가공에서 가공물을 간단하게 검증할 수 있는 모델을 개발하고, 실제 공작기계에서 가공할 때 발생할 수 있는 공구간섭과 절삭조건에 따른 표면 형상을 예측할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 가공물의 표면형상에서 가장 크게 영향을 받는 것은 공구반경과 패스간격(Pass Interval)이다.

볼엔드밀 가공에서는 공구반경과 패스간격이 일정하면 표면형상도 어느정도 쉽게 예측할 수 있다. 그러나 볼엔드밀가공은 동일한 공구반경과 패스간격에서 다양한 공구경로와 공작물의 형상에 따라 공작물 부위에 따라 표면형상이 다르게 나타난다. 본 연구에서는 볼엔드밀 가공에서 다양한 절삭조건에서 공작물의 경로에 따라, 공작물의 부위에 따라 다양하는 변하는 공작물의 형상을 예측하고자 한다.

2. 검증 모델링

Z-map은 비매개변수형 곡면의 특수한 형태로서,

xy 평면(domain)에 정의된 격자점(grid-point)에서 높이값을 2차원 배열 $z(i, j)$ 형식으로 저장하고 있다. 본 연구에서는 가공물의 검증에 위해 식 (1)과 같이 $z(i, j)$ 를 정의하였다.

$$z(i, j) \text{ with } x(i) = \Delta x \cdot i \text{ and } y(j) = \Delta y \cdot j \quad --(1)$$

$x(i)$ 와 $y(j)$ 는 다음과 같이 생성하려는 x 방향의 데이터 수에 관련된 n 과, y 방향의 데이터 수에 관련된 m 은 계산속도와 계산양에 따라 결정된다.

$$x(i) = \Delta x \cdot i, \Delta x = \frac{lx}{n}, i = 0, 1, \dots, n \quad --(2)$$

여기서, lx 는 x 방향의 공작물의 길이

Δx 는 x 방향의 격자간격(grid-interval)

$$y(j) = \Delta y \cdot j, \Delta y = \frac{ly}{m}, j = 0, 1, \dots, m \quad --(3)$$

여기서, ly 는 y 방향의 공작물의 길이

Δy 는 y 방향의 격자간격(grid-interval)

본 연구에서는 식(2), (3)에서 보는 것과 같이 원점에서 모델링 할 수 있도록 NC데이터의 x, y 좌표를 옮겨서 모델링하고, 다시 원 위치로 되돌려 놓는 방법을 선택하였다. 3차원 형상의 공작물을 가공하기 위하여 CAM에서 NC데이터를 생성하는데, 이 가공 데이터는 직선가공 데이터(G코드에서는 G01)로 이루어져 있다. CAM에서 생성된 NC데이터의 임의의 한 블록을 반경 $r(mm)$ 의 볼 엔드밀로 직선 절삭할 때 Fig. 1과 같이 표현할 수 있다. 가공은 시작점 x_0, y_0, z_0 에서 종점 x_1, y_1, z_1 로 절삭한다. 한 블록의 절삭경로에서 임의의 지점 x_c, y_c, z_c 를 고려하자.

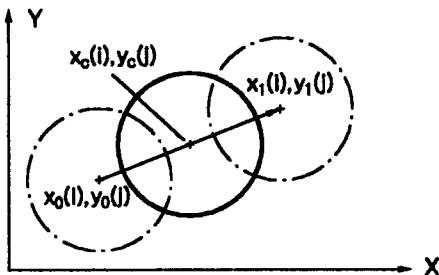


Fig. 1 Top view of a ball endmill during cutting one block

먼저 x_0, y_0, z_0 에서 x_1, y_1, z_1 까지 이송속도 $F(mm/min)$ 로 절삭할 때, 두 점간의 이동거리 $ds(mm)$ 는 다음과 같다.

$$ds = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2} \quad --(4)$$

이 블록에서 공구의 x 방향의 속도 $v_x(mm/sec)$, y 방향의 속도 $v_y(mm/sec)$, 그리고 z 방향의 속도 $v_z(mm/sec)$ 는 다음과 같다.

$$v_x = \frac{(x_1 - x_0)F}{ds \cdot 60}, \quad v_y = \frac{(y_1 - y_0)F}{ds \cdot 60},$$

$$v_z = \frac{(z_1 - z_0)F}{ds \cdot 60} \quad -----(5)$$

그림에서 보는 것과 같이 한 블록의 절삭경로에서 공구의 끝점좌표가 x_c, y_c, z_c 에서 공구의 중심좌표 $x(i_p), y(j_p), z(i_p, j_p)$ 는 다음과 같다.

$$x(i_p) = v_x \cdot dt \cdot i_k + x_0, \quad i_k = 1 \dots id,$$

$$y(j_p) = v_y \cdot dt \cdot i_k + y_0, \quad i_k = 1 \dots id,$$

$$z(i_p, j_p) = v_z \cdot dt \cdot i_k + z_0 + r, \quad i_k = 1 \dots id \quad -----(6)$$

where, $id = \frac{ds \cdot 60}{dt \cdot F}, \quad i_p = \frac{n \cdot x(i_p)}{lx},$

$$j_p = \frac{n \cdot y(j_p)}{ly}$$

식 (6)에서 살펴보면 한 블록의 가공에서 출발점 x_0, y_0, z_0 에서는 인덱싱 i_k 가 1이고 종점에서 인덱싱 i_k 는 id 이다. 즉, 한 블록을 가공할 때 id 값만큼 공구궤적을 시뮬레이션하는데 시뮬레이션 간격을 결정하는 시간 dt 는 절삭 가공 패스간격의 1/2이하이면 충분하다. dt 를 짧게 하면 계산시간이 길어지므로 패스간격의 1/2정도면 될 것이다.

볼엔드밀이 한 블록을 가공할 때 임의의 위치에서 가공물의 형상을 결정하는 x, y 방향의 인덱싱 변수 i, j 는 각각 다음과 같다.

$$i_1 = i_p - \frac{r}{2\Delta x}, \quad i_2 = i_p + \frac{r}{2\Delta x}$$

$$j_1 = j_p - \frac{r}{2\Delta y}, \quad j_2 = j_p + \frac{r}{2\Delta y} \quad -----(7)$$

공구의 중심좌표 $x(i_p), y(j_p), z(i_p, j_p)$ 에서 공구의 궤적은 구의 방정식이고 다음과 같다.

$$z(i, j) = -\sqrt{r^2 - x(i_p)^2 - y(i_p)^2} + z(i_p, j_p),$$

for $x(i)^2 + y(j)^2 < r^2, i_1 < i < i_2, j_1 < j < j_2$

(8)

한 블록의 가공에서 임의 위치 x_c, y_c, z_c 이고, 식 (6)에서 임의의 인덱싱 i_k 에서 가공물의 z-map은 식 (8)과 같다.

이상과 같은 모델링 방법으로 다음과 같이 CAM에서 생성한 NC데이터로 Z-map 모델링을 한다.

3. 가공물 형상의 시뮬레이션

CAD/CAM에서 모델링한 Surface로부터 NC데이터를 생성하여 본 연구에서 개발한 검증모델에 적용하였다. 본 연구에서는 모델링은 MDT R4.0으로 하였고 NC데이터 생성을 위한 CAM은 SPEED+를 사용하였다. 먼저 CAD에서 전자손목시계를 Fig. 2와 같이 모델링하였다. CAM에서 Fig. 2의 Surface로부터 황삭, 정삭의 NC데이터를 생성하여 File에 저장하였다. NC데이터와 절삭조건으로부터 정삭의 가공물 형상을 예측하여 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 4는 Fig. 2의 본래 Surface와 Fig. 3의 최종 정삭 공작물과의 Error map를 나타내었다. Fig. 4에서 보는 것과 같이 Z-map의 (+)영역은 과소절삭(under cut)부분이고 (-)부분은 과대절삭(over cut)하여 발생한 Error부분이다. 그림에서 보는 것과 같이 본 모델을 이용하여 가공물의 표면거칠기도 검증할 수 있다. Fig.5는 또다른 Concax모델의 검증결과를 나타내었고, Fig.6은 Convax모델에서 정삭과정에서 절삭해야할 절삭량을 구하여 도시하였다. Fig.6에서 보는 것과 같이 정삭에서 과절삭에 의한 Chipping

을 예측할 수 있다. Fig. 7은 Error map으로 Convex을 모델의 가공에서 문제가 될 수 있는 표면 거칠기와 과소절삭을 검증할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 블렌드밀 가공에서 Z-map을 이용하여 가공물 검증모델을 개발하였다. CAM에서 생성된 NC데이터와 절삭조건으로부터 가공물의 형상, 표면거칠기 그리고 과소절삭(under cut)을 검증할 수 있다. 본 모델을 이용하여 자유곡면 가공에서 다양하게 변하는 절삭경로에서 가공물을 검증할 수 있고, 공구경로와 패스간격(pass interval)에 따라 다양하게 변하는 표면거칠기도 예측할 수 있다. 황삭가공과 정삭가공물의 검증으로부터 정삭가공에서 발생하기 쉬운 과절삭을 검증하여 공구의 파손을 방지하고, 또한 과도한 공구의 휨도 방지할 수 있다.

참고문헌

1. Choi, B. K., Surface modeling for CAD/CAM. Elsevier, New York, 1991.
2. 박정환, 정연찬, 최병규, "Z-map 모델을 이용한 정밀형상 모델링," 한국정밀공학회지, 제15권, 제11호, pp 180-188, 1998.
3. Hsu, P. L. and Yang, W. T., "Realtime 3D simulation of 3-axis milling using isometric projection," Computer-Aided Design, Vol.25 NO.4, pp.215-224, 1993.
4. 김찬봉, 박세형, 양민양, "NC파트프로그램의 검증 및 오류 수정에 관한 연구," 대한기계학회지, 제17권, 제5호, pp. 1074-1083, 1993.
5. 정연찬, 최병규, "모의가공을 위한 공구 이동 계획면의 비매개변수형 모델링," 한국CAD/CAM학회지, 제1권, 제1호, pp. 45-55, 1996.

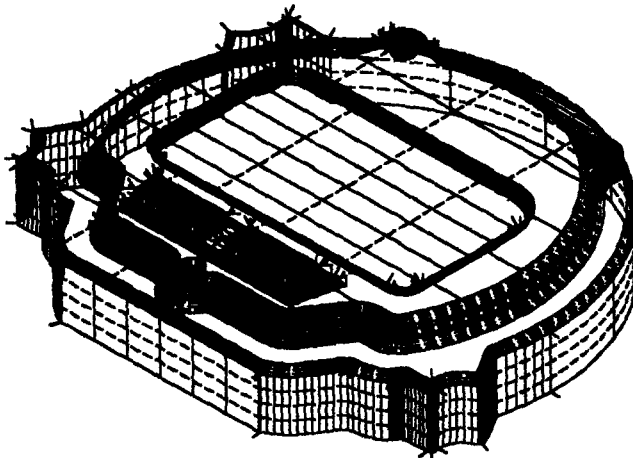


Fig. 2 CAD surface of a watch

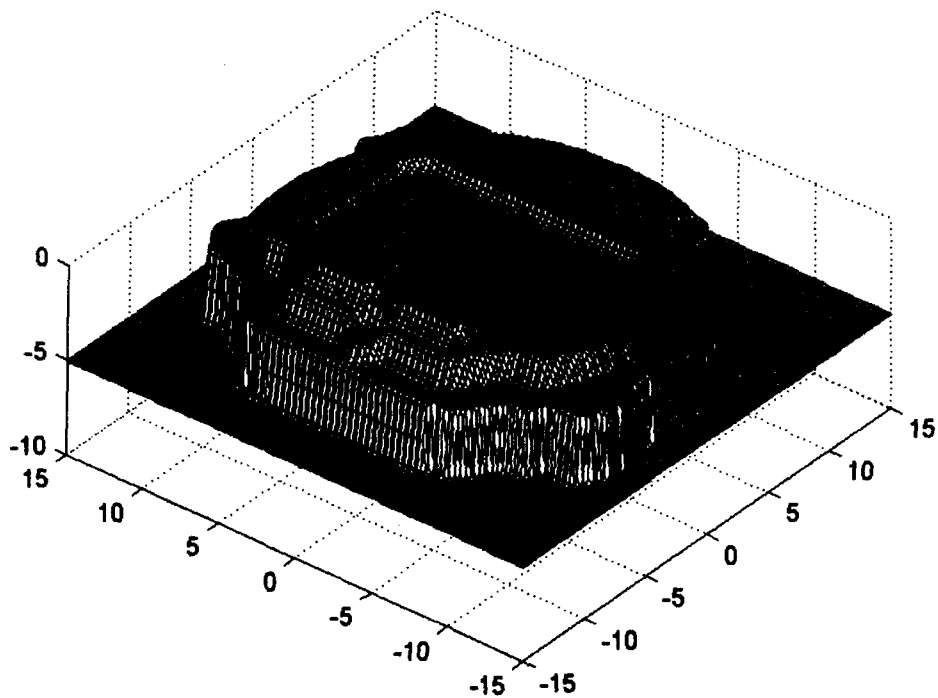


Fig. 3 verification in finish cutting of the surface

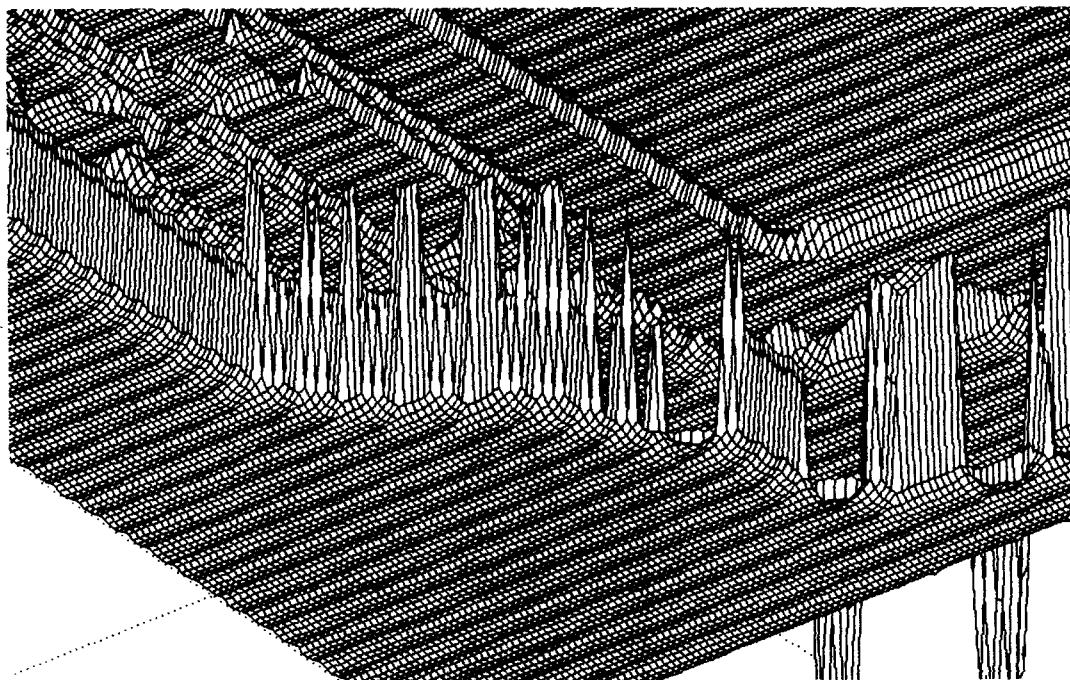


Fig. 4 Error map at local areas of the surface

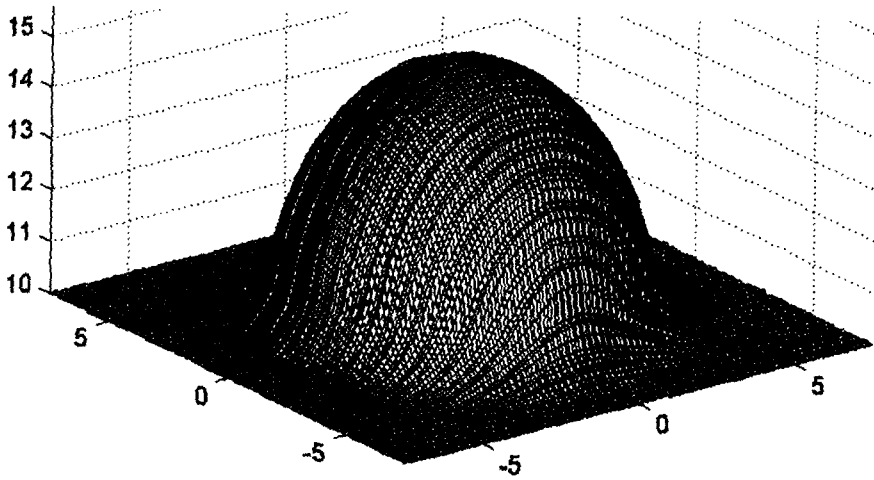


Fig. 5 Verification in finish cutting of a convex model

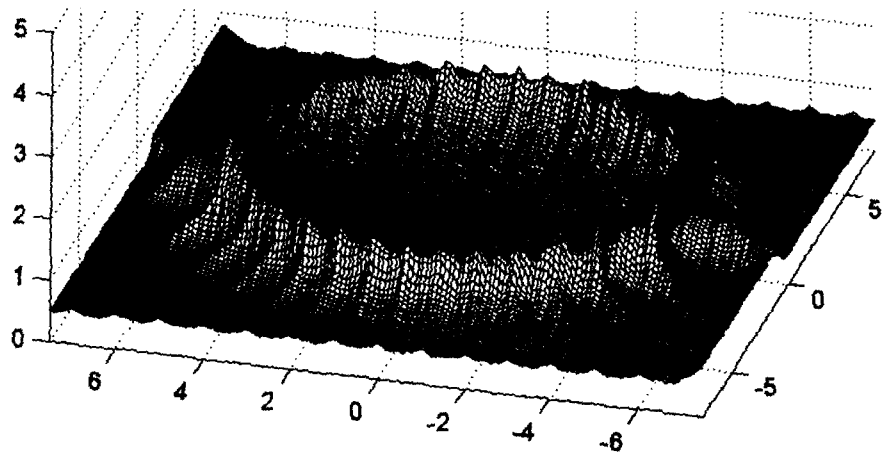


Fig. 6 Chip loads in finish cutting

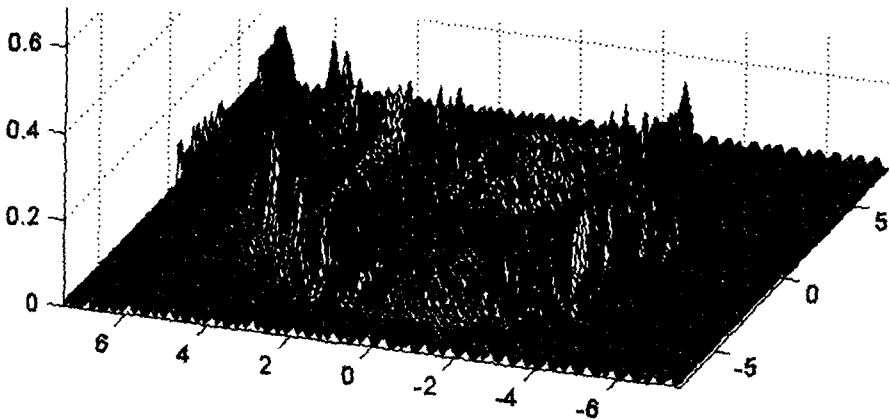


Fig. 7 Error map of the convex model