

## 가상 CNC밀링머신 Virtualized CNC Milling Machine

백대균\*, 오명석\*\*

Dae-Kyun Baek\*, Myung-Seok Oh\*\*

### <Abstract>

This paper presented a new model of virtualized CNC milling machine. 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. The virtualized CNC machine can be used a flat end mill, a ball end mill and a rounded end mill.

**Key Words** : *Verification, Z-map, Over cut, Under cut, Geometry accuracy*

### 1. 서 론

CNC 밀링머신은 금형 가공 뿐만 아니라 각종 부품가공 등 생산현장에 광범위하게 사용되고 있다. CNC 밀링머신을 이용하여 공작물을 가공할 때 먼저 공구의 직경, 절삭조건 등을 고려하여 CAM시스템에서 NC데이터를 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. 또한 수동으로 CNC프로그램을 작성할 때 프로그래머의 실수로 불량품을 생산하고 경우에 따라서는 공작기계의 충돌로 큰 위험과 경제적 손실을 가져온다. 본 연구에서는 CAD/CAM에서 생성된 NC데이터를 이용하여 가공물을 정확히 검증하는 가상 CNC 밀링머신을 개발하고, 새로운 검증 방법을 제시하고자 한다.

현재 CAD/CAM 가공에서 NC 공구경로의 검증은 Z-map 모델링을 이용하고 있다. Z-map 모델<sup>(1,2)</sup>은 NC 공구 경로의 검증<sup>(3,4,5,6)</sup>, CAPP

\* 정회원, 안동정보대학 기계과 조교수, 工博  
dkbaek@www.ait.ac.kr

\*\*정회원, 영남이공대학 기계과 부교수  
msoh@ync.ac.kr

\* Assistant Prof. Dept. of Mechanical Technology of  
An-Dong Institute of Information Technology

\*\*Associate Prof. Dept. of Mechanical Engineering of  
Yeungnam College of Science & Technology



(Computer Aided Process Planning), 금형 가공 그리고 공구경로 생성 등의 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 최근 컴퓨터 기술의 발전 추세로 보아 이러한 문제는 별로 심각하지 않다.

본 연구에서는 Z-map 모델을 이용하여 밀링 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. 평엔드밀 가공에서는 공구반경과 패스간격이 일정하면 표면형상도 어느 정도 쉽게 예측할 수 있다. 그러나 볼엔드밀과 라운드엔드밀 가공은 동일한 공구반경과 패스간격에서 다양한 공구경로와, 공작물의 형상에 따라 공작물 부위에 따라 표면형상이 다르게 나타난다. 본 연구에서는 여러 가지 엔드밀 가공에서 다양한 절삭조건에서 공작물의 경로에 따라, 공작물의 부위에 따라 다양하게 변하는 공작물의 형상을 예측하고자 한다.

## 2. 가상 CNC 밀링머신의 모델링

가상 CNC 밀링머신의 모델링을 위해서 본 연구에서는 Z-map을 사용하였다. Z-map은 비매개변수형 곡면의 특수한 형태로서, xy 평면(domain)에 정의된 격자점(grid-point)에서 높이 값을 2차원 배열  $z(i,j)$  형식으로 저장하고 있다. 본 연구에서는 가공물의 검증을 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 같고 생성하려는 x 방향의 데이터 수에 관련된  $n$  과, y 방향의 데이터 수에 관련된  $m$ 은 계산속도와 계산 양에 따라 결

정된다.

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

여기서,  $l_x$  는 x 방향의 공작물의 길이,  $\Delta x$  는 x 방향의 격자간격(grid-interval)

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

여기서,  $l_y$  는 y 방향의 공작물의 길이,  $\Delta y$  는 y 방향의 격자간격(grid-interval)

본 연구에서는 식(2), (3)에서 보는 것과 같이 원점에서 모델링할 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 직경  $D(mm)$ 의 엔드밀로 직선 절삭할 때 Fig. 1과 같이 표현할 수 있다. 가공은 시작점  $x_0, y_0, z_0$  에서 종점  $x_1, y_1, z_1$ 으로 절삭한다. 한 블록의 절삭경로에서 임의의 지점  $x_c, y_c, z_c$ 에서 공구형상의 Z-map을 구하면 다음과 같다.

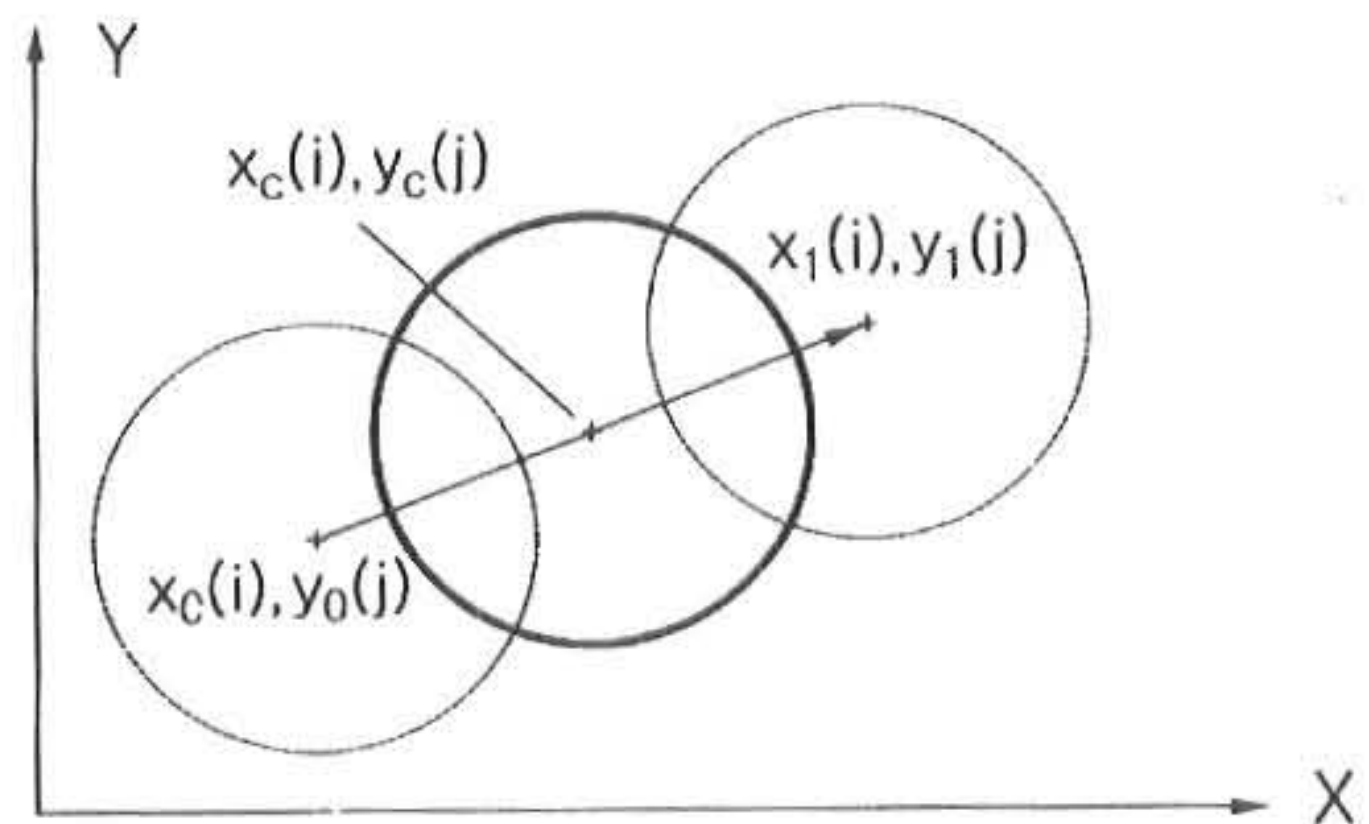


Fig. 1 Top view of an end mill during cutting one block

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 x방향의 속도  $v_x$ (mm/sec), y방향의 속도  $v_y$ (mm/sec), 그리고 z방향의 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 임의의 위치에서 공구좌표  $x(i_p), y(j_p), z(i_p, j_p)$ 는 다음과 같다.

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

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

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

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

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

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 공구궤적의 Z-map을 시뮬레이션한다. 각 위치에서 구한 Z-map은 체적소거법을 적용하여 공작물의 Z-map을 구한다. 시간  $dt$ 는 시뮬레이션 간격을 결정하는데 짧으면 계산시간이 길어지고 크게 하면 정확도가 떨어진다. 기존의 모델에서는 절삭속도와 이송속도를 고려하지 않고 출발점과 종점으로부터 공구궤적을 구하여 모델링 하였다. 본 연구에서는 절삭속도와 이송속도를 고려하여 모델링 하였고 공작물과 공구의 상대변위를 샘플링시간  $dt$ 로 시뮬레이션 하면 동적인 검증모델로 확장이 가능하다. 또한  $dt$ 를 이용하여 날당 절삭해야할 칩부하(Chip load)를 예측할 수 있다.

공구의 중심좌표  $x(i_p), y(j_p), z(i_p, j_p)$ 에서 공구의 곡면은 공구의 직경 내에서 정의되는데 엔드밀의 종류에 따라 다음과 같다.

### 2.1.1 평엔드밀(Flat end mill)

평엔드밀은 바닥이 평평하기 때문에 공구의 반경만으로 공구를 정의할 수 있다. 공구의 반경을  $g$ 라할 때 공구의 중심점  $x(i_p), y(j_p), z(i_p, j_p)$ 에서 공구의 z-map은 다음과 같다.

$$z(i, j) = z(i_p, j_p),$$

for  $h \leq g, \quad i_1 < i < i_2, \quad j_1 < j < j_2 \quad (7)$

여기서,  $h = \sqrt{x(i)^2 + y(j)^2},$

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

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

식 (7)에서  $i_1, i_2, j_1$  그리고  $j_2$ 는 공구의 직경 내에서 공구의 곡면을 모델링하기 위한 인덱싱 변수이다. 식 (7)에서 보는 것과 같이 평엔드밀의 z-map은 공구직경내에서 절삭공구의 z좌표와 같다.

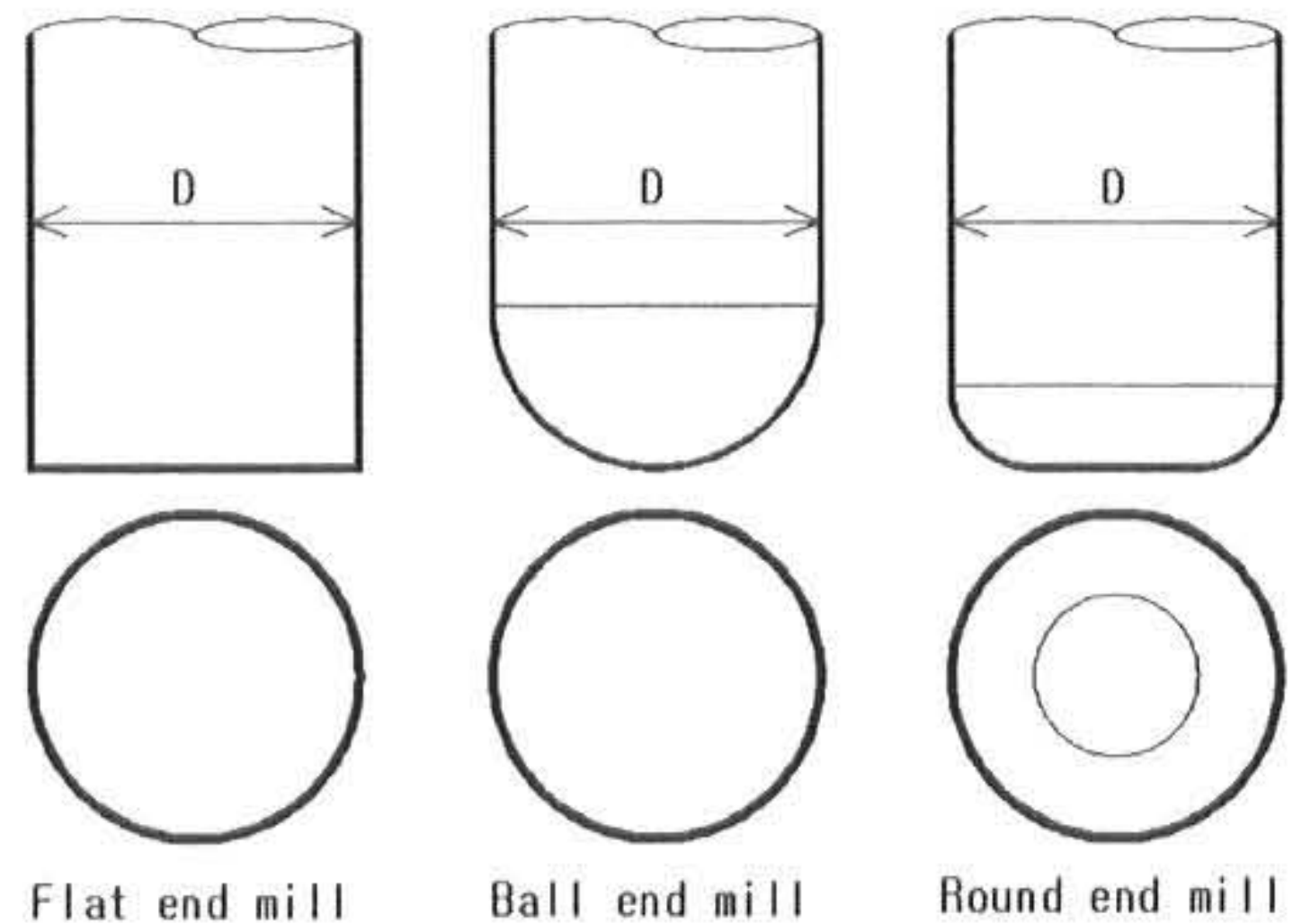


Fig. 2 The types of end mills

### 2.1.2 볼엔드밀(Ball end mill)

볼엔드밀은 구의 형상이다. 공구의 반경을  $r$ 이라 할 때 공구직경내에서 공구의 곡면은 다음과 같다.



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

for  $h \leq g, i_1 < i < i_2, j_1 < j < j_2$  (8)

여기서,  $h = \sqrt{x(i)^2 + y(j)^2}$ ,

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

$$j_1 = j_p - \frac{r}{2\Delta x}, \quad j_2 = j_p + \frac{r}{2\Delta x}$$

### 2.1.3 라운드 엔드밀 (Round end mill)

라운드 엔드밀은 평엔드밀의 가장자리를 일정한 반경으로 라운딩한 공구다. 공구의 라운드 반경을  $r$ 이라 하고,  $r$ 과 바닥의 평평한 부분의 반경을  $e$ 라 할 때 공구의 곡면은 다음과 같다.

$$z(i, j) = z(i_p, j_p),$$

for  $h \leq e, i_1 < i < i_2, j_1 < j < j_2$

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

for  $e < h \leq e + r, i_1 < i < i_2, j_1 < j < j_2$  (9)

여기서,  $h = \sqrt{x(i)^2 + y(j)^2}$ ,

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

$$j_1 = j_p - \frac{r}{2\Delta x}, \quad j_2 = j_p + \frac{r}{2\Delta x}$$

### 3. 가상 CNC밀링머신의 시뮬레이션

CAD/CAM에서 모델링한 Surface로부터 NC 데이터를 생성하여 본 연구에서 개발한 검증모델에 적용하였다. 먼저 CAD에서 마우스(mouse)를 Fig. 3과 같이 모델링하였다.

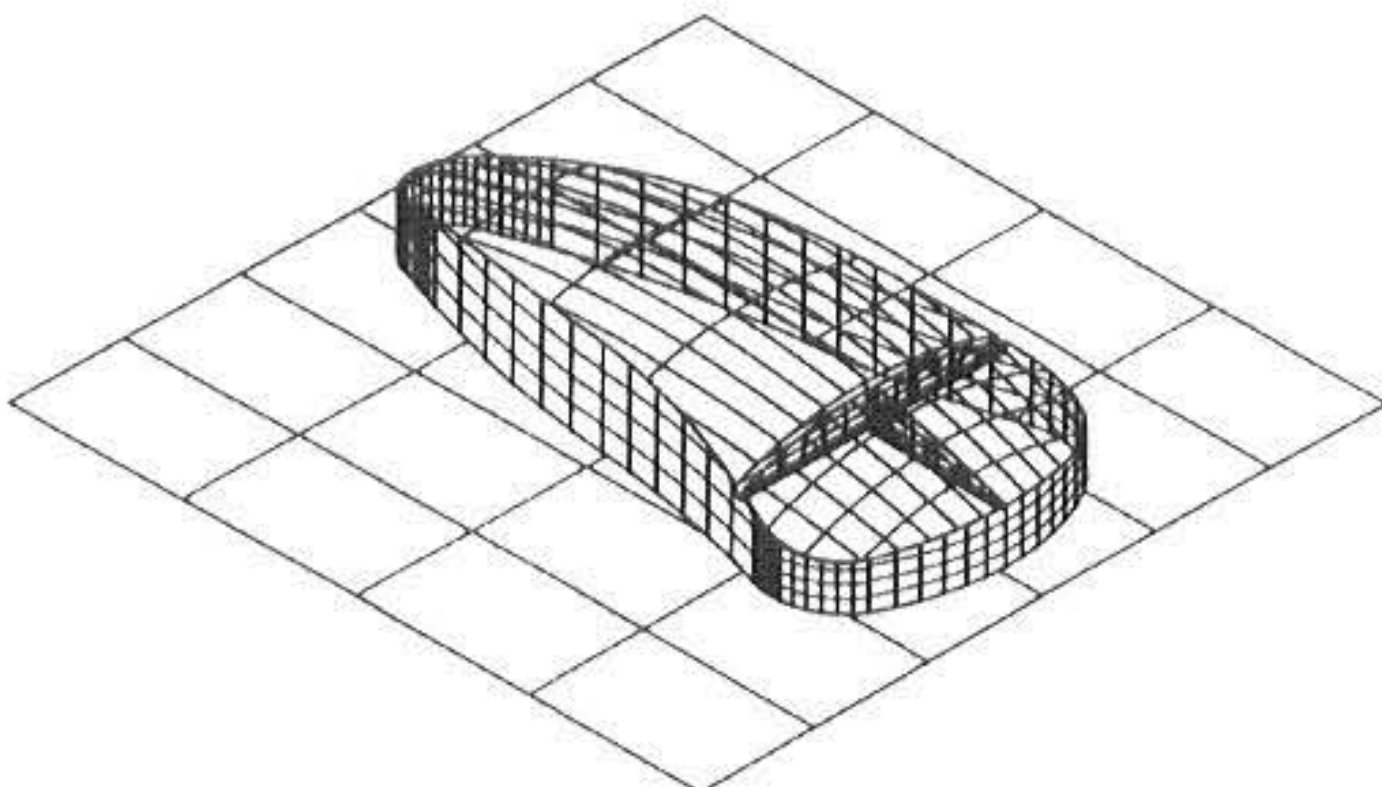


Fig. 3 CAD surface of a mouse

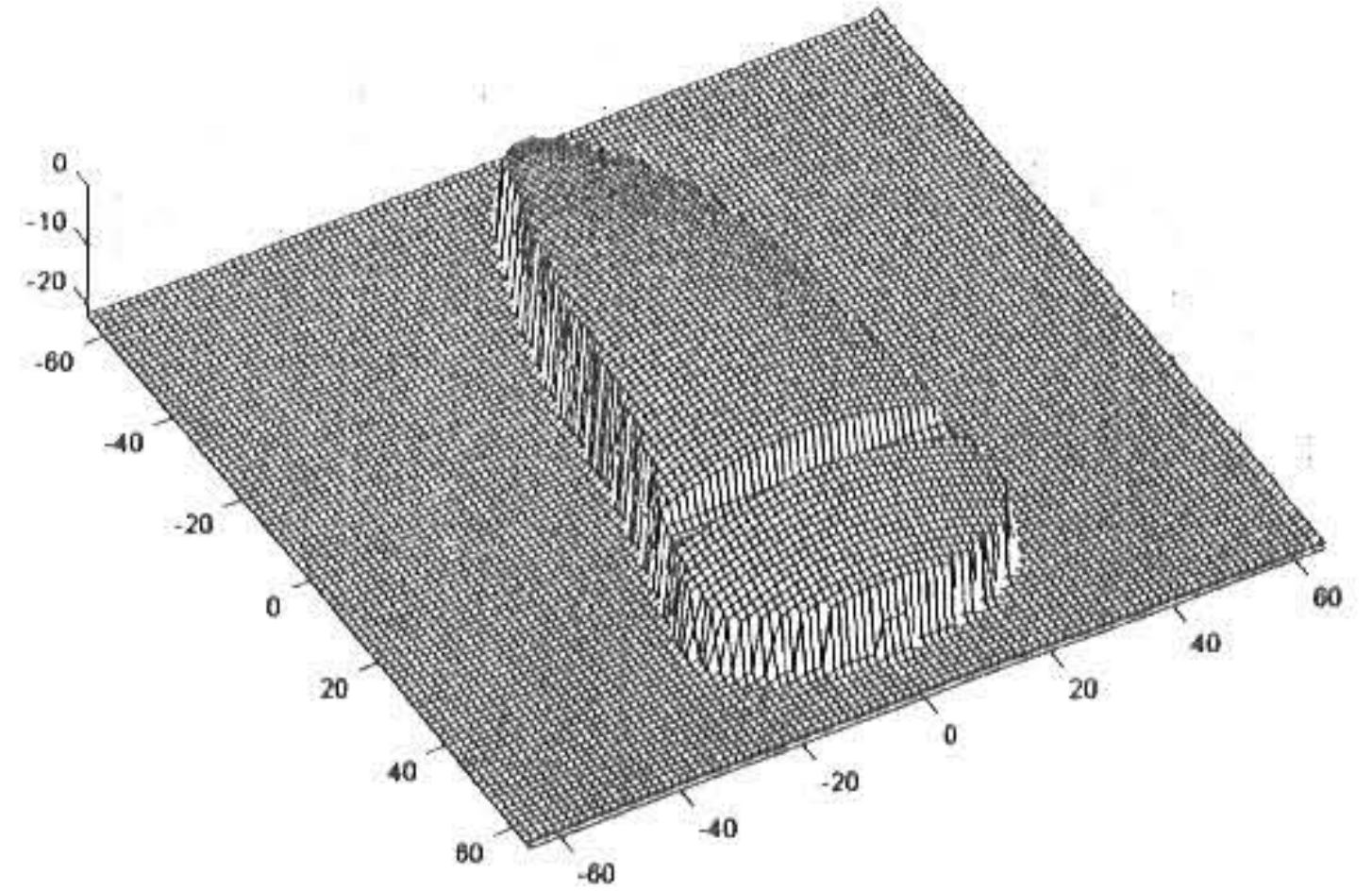


Fig. 4 Verification of the surface in finishing cutting

CAM에서 Fig.3의 Surface로부터 정삭의 NC 데이터를 생성하여 파일(File)에 저장하였다. NC 데이터와 절삭조건으로부터 정삭의 가공물 형상을 예측하여 Fig.4에 나타내었다.

Fig.5는 자동차 차체모델의 NC데이터를 시뮬레이션 하여 나타내었다.

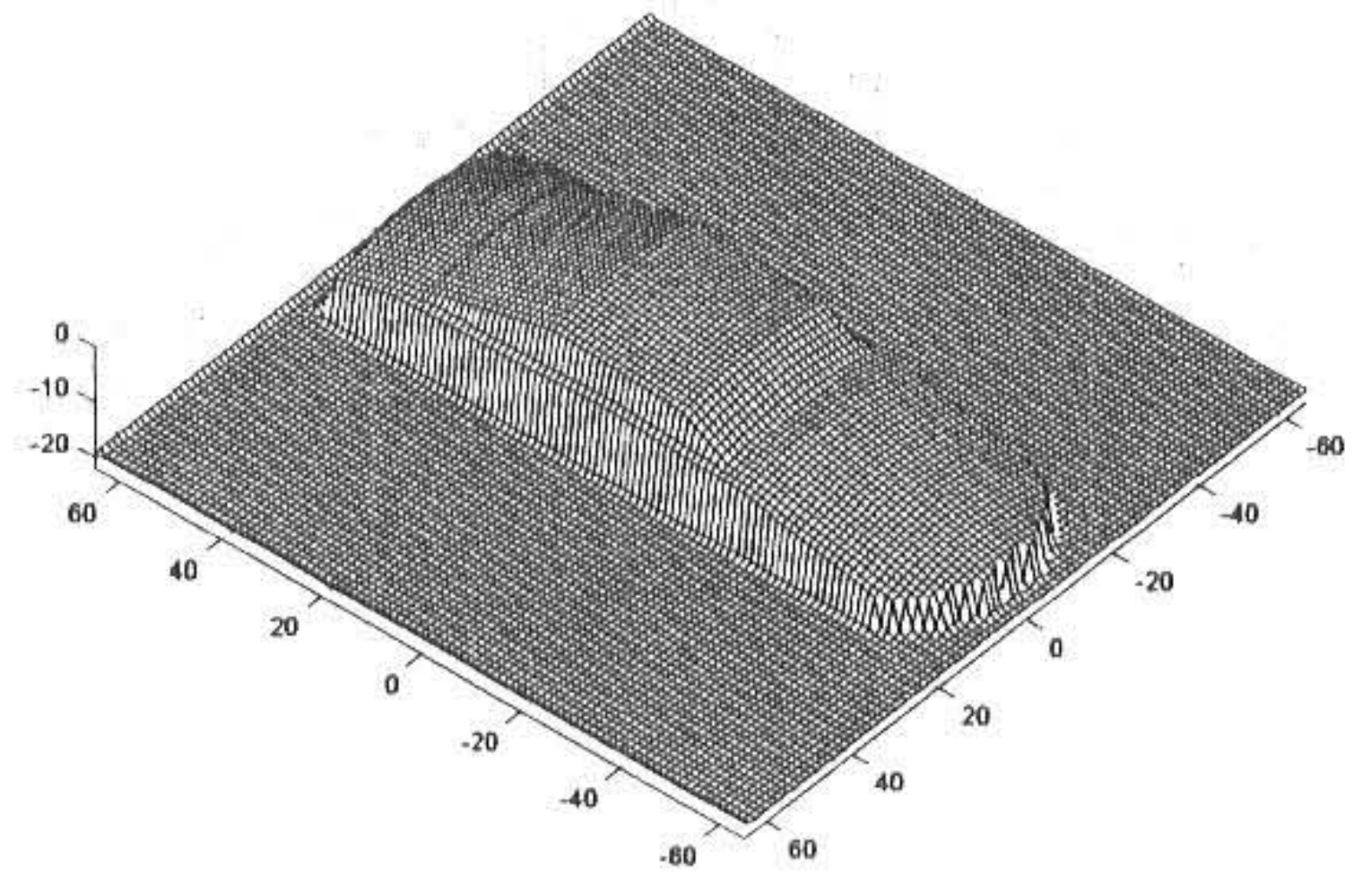


Fig. 5 Verification of a car body in finish cutting

Fig.6은 튜브모델의 검증결과를 나타내었다. Fig.7은 튜브모델에서 정삭과정에서 절삭해야 할 절삭량을 구하여 도시하였다. 황삭의 Z-map과 정삭의 Z-map으로부터 Fig.7에서 보는 것과 같이 정삭에서 과절삭에 의한 칩핑(Chipping)을 예측할 수 있다. 그림에서 보는 것과 같이 곡면의 가공에서는 공구경로에 따라 절삭량이 다양하게 변하는 것을 알 수 있다. 이러한 불규칙한 절삭량은 가공정밀도를 저하시키고 불균일한 공구마모와 경우에 따라서는 칩핑을 발생시킨다.



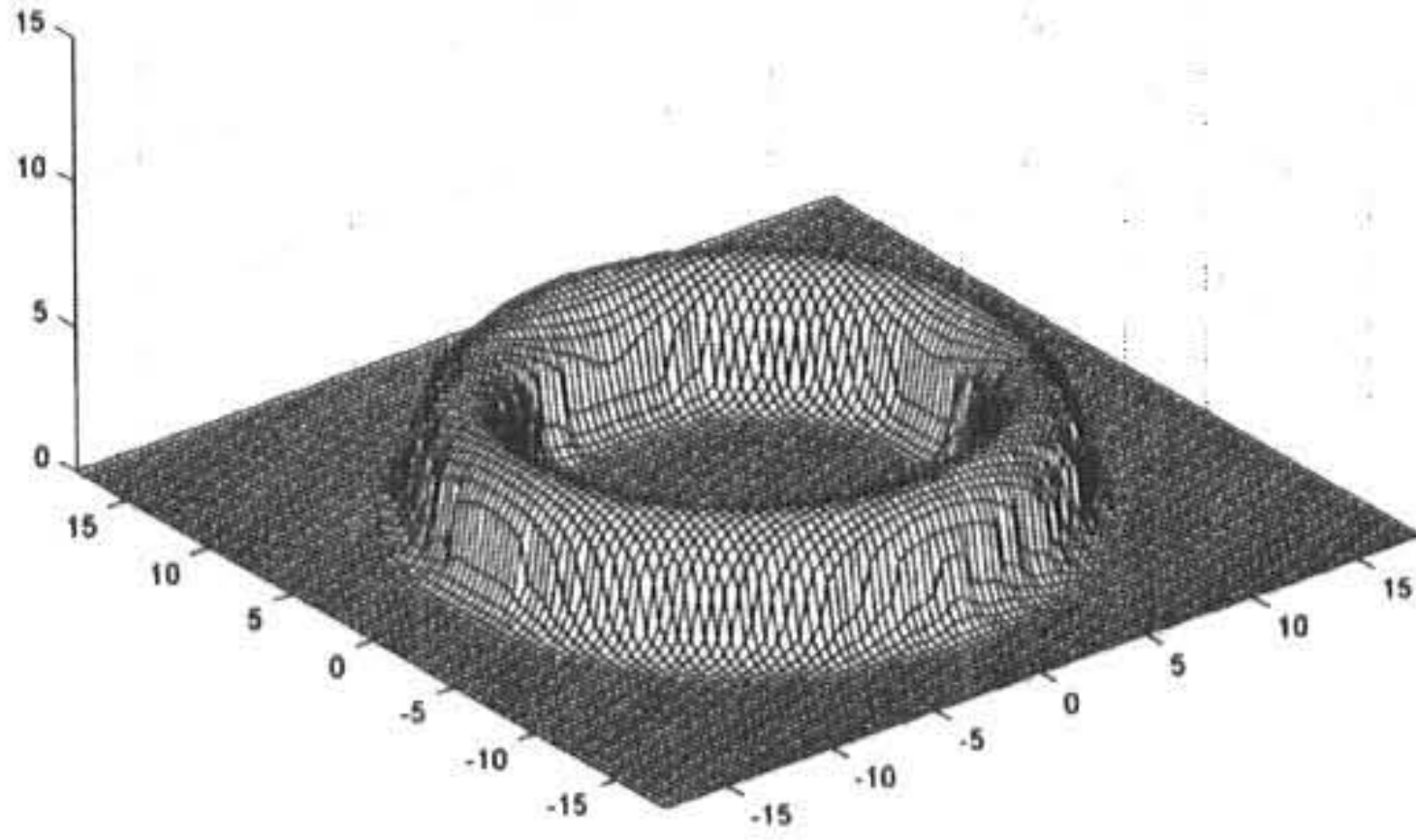


Fig. 6 Verification of an half tube in finish cutting

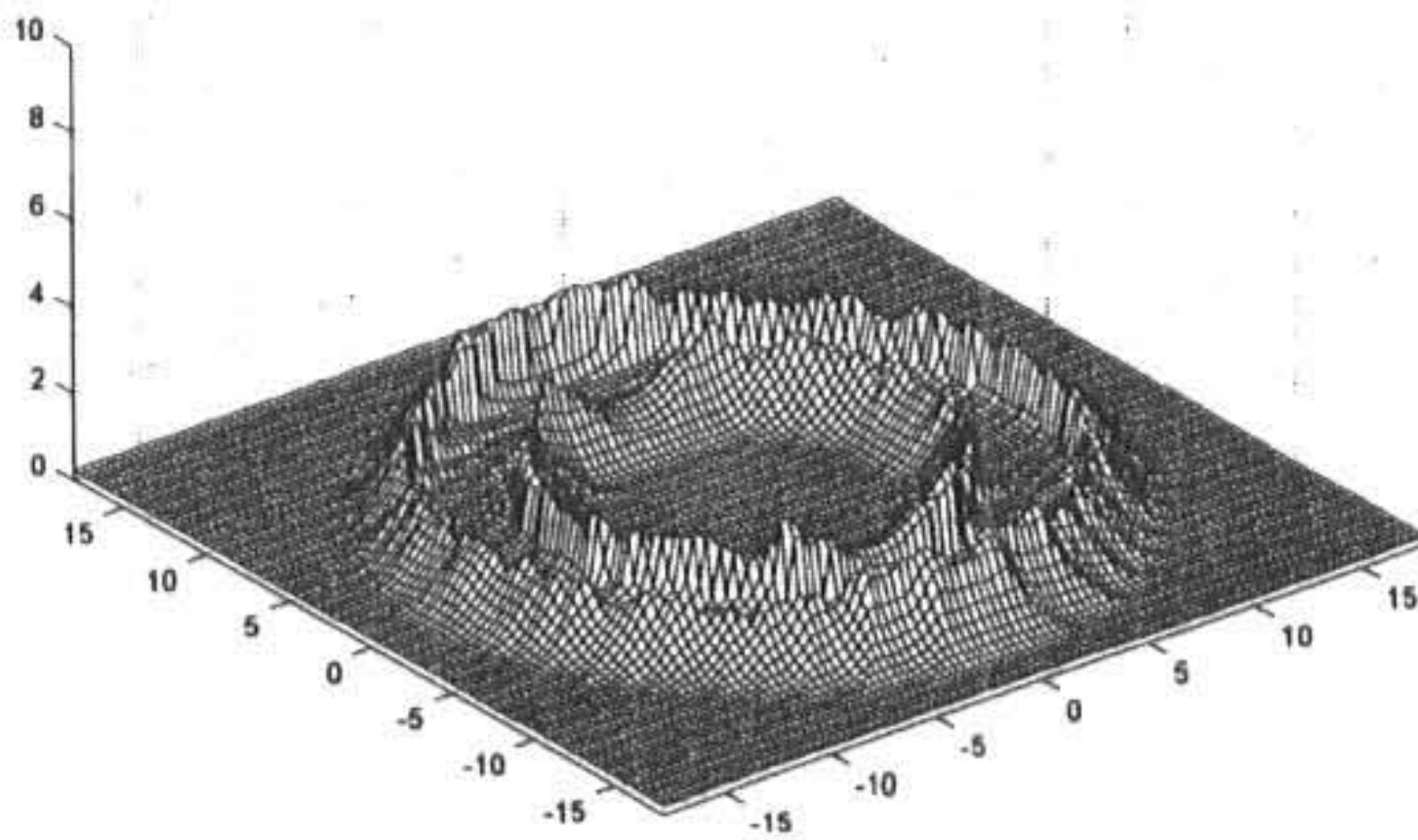


Fig. 7 Chip loads of the half tube in finish cutting

#### 4. 결론

본 연구에서는 Z-map을 이용하여 가공물을 검증할 수 있는 가상 CNC 밀링머신을 개발하였다. CAM에서 생성된 NC데이터와 절삭조건으로부터 가공물의 형상, 표면 거칠기 그리고 파소, 과대 절삭을 검증할 수 있다. 본 모델을 이용하여 자유곡면 가공에서 다양하게 변하는 절삭경로에서 가공물을 검증할 수 있고, 공구경로와 패스간격(pass interval)에 따라 다양하게 변하는 표면 거칠기도 예측할 수 있다. 황삭가공과 정삭가공물의 검증으로부터 정삭가공에서 발생하기 쉬운 과절삭을 검증하여 공구의 파손을 방지하고, 또한 과도한 공구의 휨도 방지할 수 있다.

이제까지의 가상 CNC머신은 단지 가공물의 기하학적 형상만 예측할 수 있었으나 본 연구에서 개발된 가상 머신은 절삭경로에 따른 칩부하를 예측하여 절삭동력을 검증할 수 있고 실제 가

공에서 발생할 수 있는 충격력에 의한 공구파손도 예측할 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 N0.4, pp.215-224, (1993)
- 4) Jerard, R. B., Drysdale, R. L. and Hauck, K.: Geometric Simulation of Numerically Control Machining, Proc. ASME Int. Computer in Engineering Conf., ASME, New York, pp. 129-136, (1988)
- 5) Oliver, J. H.: Efficient Intersection of Surface Normals with Milling Tool Swept Volumes for Discrete Three-Axis NC Verification, Journal of Mechanical Design, Vol. 114, pp.283-287, (1992)
- 6) Wang, W. P. and Wang, K. K.: Geometric Modeling for Swept Volume of Moving Solids, IEEE CG&A, Vol.6, No.12, pp.8-17, (1986)

(2001년 5월 17일 접수, 2001년 11월 22일 채택)