

# Z-map 기반 NC 검증모델을 이용한 칩부하 제어

백대균\*(안동정보대 기계과), 고태조, 김희술(영남대 기계공학부)

## Chip Load Control Using A NC Verification Model Based on Z-Map

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

### ABSTRACT

This paper presents a new method of tool path optimization. A NC verification model based Z-map was utilized to obtain chip load in feed per tooth. This developed software can regenerate a NC program from cutting condition and the NC program that was generated in CAM. The regenerated NC program has not only all same data of the ex-NC program but also the new feed rates in every block. The new NC data can reduce the cutting time and manufacture precision dies with the same chip load in feed per tooth. This method can also prevent tool chipping and make constant tool wear. This paper considered the effects of acceleration and deceleration in feed rate change.

**Key Words :** Verification(검증), Z-map, Chip load(칩부하), Acceleration length(가속거리), Deceleration length(감속거리), Chipping(칩핑)

### 1. 서론

정밀한 금형을 제작하기 위해서는 다양한 자유곡면을 정밀하게 가공해야 한다. 자유곡면의 가공에서 곡면의 형상과 가공경로 그리고 이전 가공에서 남는 커서프에 따라 낱당 칩부하는(chip load)는 다양하게 변한다. 자유곡면의 황삭과 정삭가공에서 낱당 걸리는 이러한 불규칙한 칩부하로 인해 공구에 칩핑이 발생하고 공구 마모량이 증가한다. 또한 정삭에서 칩부하의 과도한 변화는 공구의 처짐을 발생시켜 가공정밀도를 저하시키고 절삭력의 변화에 의한 강제진동으로 표면조도를 나쁘게 한다. 이러한 문제를 해결하고자 이제까지 연구를 살펴보면 칩단면적을 예측하여 절삭경로를 최적화하였고[1], 절삭부하를 예측하여 이송속도를 변화시키는 연구가 있었다[2]. 그러나 이러한 연구에서는 정확한 낱당 칩부하의 예측이 어려워 정확하게 이송속도를 제어하지 못했다. 자유곡면의 가공에서 절삭력의 예측은 매우 힘들다. 다양한 경로에서 먼저 Z-map을 예측한 후 절삭단면적을 구하여 절삭력을 예측하는 방법을 택하고 있다. 그러나 정확한 절삭력을 예측하기 위해서는 Z-map을 미세하게 나누어야 하

며 또한 절삭력 모델에 Size effect을 고려하여 정확한 비절삭저항을 구해야 한다. 이러한 방법으로 Z-map을 이용하여 절삭력을 정확히 예측하기는 힘들므로 본 연구에서는 낱당 칩체적을 구하여 칩부하를 제어하고자 한다.

본 연구에서 고려한 검증모델은 절삭속도와 이송속도를 고려하여 비교적 정확히 낱당 칩부하를 예측할 수 있다. 자유곡면의 황삭과 정삭가공에서 낱당 칩체거량을 구하여 항상 일정한 칩부하가 걸리도록 이송속도를 변화시켰다. 즉, CAD/CAM에서 생성된 NC데이터로부터 칩부하량을 예측하여 항상 일정한 값이 되도록 이송속도만 변환하여 NC코드를 다시 생성하였다. 이송속도를 변환하지 않은 원래의 NC데이터와 이송속도를 변환하여 새로 생성한 NC데이터로 시뮬레이션하여 그 효과를 비교하여 보았다.

### 2. 칩부하 예측

NC데이터의 절삭경로에서 낱당 칩부하 예측은 다음과 같이 할 수 있다. 이전 가공에서 구한 z-map

을  $z(i_a, j_a)$ 라하고 현재 가공에서 구한 z-map을  $z(i_b, j_b)$ 라 하자. 체적소거법에서 현재 가공 데이터  $z(i_b, j_b)$ 가 그전 가공 데이터  $z(i_a, j_a)$ 보다 작으면 그 값이 새로운 z-map으로 치환된다.

$$z(i, j) = z(i_b, j_b) \text{ for } z(i_a, j_a) < z(i_b, j_b) \text{---(1)}$$

$$\text{where, } i = i_a = i_b, j = j_a = j_b$$

식 (1)에서 이 전 가공과 현재가공에서 z-map의 차이값은 다음과 같다.

$$c(i, j) = z(i_b, j_b) - z(i_a, j_a) \text{ for } z(i_a, j_a) < z(i_b, j_b) \text{---(2)}$$

$$\text{where, } i = i_a = i_b, j = j_a = j_b,$$

날당 이송거리 동안 절삭할 칩부하는 각각의 작은 기둥의 체적을 더하여 다음식과 같이 구할 수 있다. 식 (3)에서  $N_s$ 는 날당 가공동안 시물레이션 회수이고  $i$ 와  $j$ 에 관련된 인덱싱들은 참고 문헌 [3]에서 자세히 나타나 있다.

$$s_c = \sum_{i=1}^{N_s} \sum_{j_1}^{j_2} \sum_{i_1}^{i_2} c(i, j) \cdot \Delta x \cdot \Delta y \text{---(3)}$$

$$\text{where, } i_1 = i_b - \frac{r}{2\Delta x}, i_2 = i_b + \frac{r}{2\Delta x},$$

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

따라서 식 (3)에 의해 날당 칩부하를 예측할 수 있고, 칩 loads를 예측하기 위해서 식 (1)에서 보는 것처럼 그 전 가공의 z-map이 항상 있어야 한다. 황삭의 처음가공서는 공작물의 최고 높이가 그 전가공의 Z-map이 된다.

### 3. 이송속도 변화에 의한 칩부하 제어

황삭, 정삭의 가공에서 적절한 절삭조건을 설정하는 것은 매우 힘들다. 피삭재, 공구재료, 기계의 강성, fixture 그리고 피삭재의 형상 등에 의해 최적의 절삭조건을 찾기는 매우 힘들다. 따라서 본 연구에서는 작업자가 정한 절삭조건에서 항상 일정한 칩부하가 유지되도록 이송속도를 변화시키는 방법을 선택하였다. 매 날당 칩부하를 계산하여 이송속도를 변환하는 것은 데이터 양이 방대하여 어려운 일이므로 본 연구에서는 황삭가공에서는 한 블록에서 칩체적을 전부 더하여 평균값을 구하여 새로운 이송속도를 정하였다. 즉 황삭에서는 처음 NC데이터에서 각 블록마다 이송속도만 추가로 생성하여 파일에 저장

하였다.

정삭에서는 절삭효율 못지 않게 정밀한 절삭이 요구되고 모서리 부분에서는 급격한 칩부하의 증가로 공구치침이 발생하여 over cut이나 under cut이 발생하고 경우에 따라서는 chipping도 발생한다. 따라서 정삭에서는 각 날당 칩부하를 고려하여 어떤 범위 이상의 칩부하에서는 이송속도와 함께 NC 데이터를 블록과 블록사이에 새로 첨가하는 방법을 선택하였다.

### 3.1 황삭에서의 칩부하 제어

CAM에서 NC데이터를 생성할 때 입력한 절삭조건으로 곡면이 없는 정삭적인 직선절삭(plain cutting)에서 날당 칩부하  $s_b$ 를 구한다. 한 블록 동안 직선절삭의 총절삭 칩부하  $s_b$ 는 다음과 같다.

$$s_b = \frac{s_{th} \cdot id}{N_s} \text{---(4)}$$

여기서  $id$ 는 한 블록의 가공에서 시물레이션 회수이다. 자유곡면의 실제 절삭에서 한 블록동안 가공해야 할 칩부하  $s_r$ 은 식 (3)을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$s_r = \sum_{i=1}^{id} s_c \text{---(5)}$$

$s_r$ 이  $s_b$ 보다 많을 때에는 이송속도  $F$ 를 낮추어  $s_r$ 과  $s_b$ 가 거의 같게 하고  $s_r$ 이  $s_b$ 보다 작을 때에는 이송속도  $F$ 를 빠르게 한다. 처음 절삭날이 z방향으로 절입할 때는 절삭량이 없으므로  $s_r$ 이 0일 때는 최고의 이송속도를 설정하여 그 값을 출력한다. 새롭게 설정하는 이송속도  $F_n$ 은 다음과 같다.

$$F_n = F \frac{s_b}{s_r}, \text{ for } s_r \neq 0, F_n < F_{max}$$

$$F_n = F_{max}, \text{ if } s_r = 0, \text{ or, } F_n > F_{max} \text{---(6)}$$

### 3.2 정삭에서의 칩부하제어

정삭가공에서 모서리부 가공에서는 칩부하가 증가하여 공구치침이 발생하여 공작물의 정밀도를 저하시킨다. 경우에 따라서는 과도한 칩부하로 칩핑이 발생한다. 정삭에서는 날당 칩부하를 구하여 정상적인 곡면이 없는 직선절삭에서 구한 칩부하와 비교하여 2배 이상에서는 블록과 블록사이에 새로운 NC 데이터와 이송속도를 첨가하여 NC file을 생성하였

다. 칩부하가 어느 범위를 넘으면 칩핑으로 간주하여 정보 메시지를 출력하였다. 2배 이하의 칩부하에서는 황삭과 마찬가지로 항상 일정한 칩부하가 되도록 이송속도를 생성하였다.

### 3.3 절삭이송의 가감속 보정

절삭이송속도가 변화될 때 Fig. 1과 같이 이송속도의 가감속 효과를 고려해야 한다. 절삭이송의 가감속 방법은 Fig. 1에서 보는 것과 같이 두 가지 방법이 있다[4].

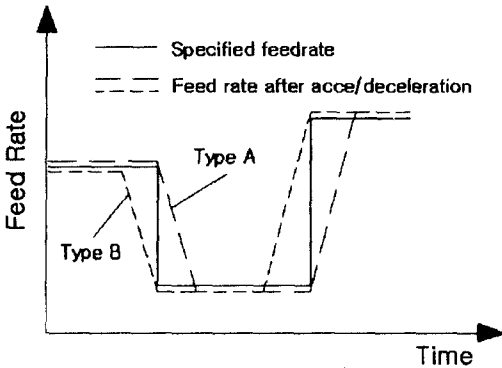


Fig. 1 The method of an feed acc/deceleration

첫 번째 형태는 NC프로그램에서 한 블록을 읽은 후 가감속하는 방식(A)이고 다른 형태는 한 블록을 읽기전에 가감속하는 형태(B)이다. 또한 가감속할 때도 선형 가감속 방식과 지수형 가감속 방법이 있다. 따라서 가속과 감속되는 거리를 구하여 보정해야 칩부하 제어 또는 절삭부하 제어의 효과가 확실하게 나타난다. 가속과 감속되는 거리  $l_{dec}$ 를 구하는 방법은 절삭이송에서 공작기계의 최고 가속도  $a_m$ 을 이용하면 다음과 같다.

$$l_{dec} = \frac{v_{new}^2 - v_{bef}^2}{2a_m} \quad (7)$$

본 연구에서는 감속의 경우에는 Fig. 1에서 형태 A를 선택하고 가속의 경우는 형태 B를 선택하였다. 정삭에서 새로운 NC블럭을 생성할 때 감속의 경우에만 감속거리  $l_{dec}$ 를 구하여 NC데이터를 생성하였다. 가속의 경우는 시간차가 있어도 절삭력이 급격히 증가하지 않으므로 생략하였다. 황삭과 정삭에서 새로운 블록을 생성하지 않고 이송속도만 변화할 때는

가/감속 거리  $l_{dec}$ 를 고려하지 않았다. 왜냐하면 앞에서 언급한 것처럼 감속의 경우는 형태 B는 블록을 읽기에 앞서 감속하므로 절삭력의 급격한 증가는 방지된다. 가속의 경우는 칩부하가 적을 때 가속하므로 블록을 읽은 후에 가속해도 절삭력의 급격한 증가는 없으므로 상관없다. 따라서 칩부하 제어에서는 이송속도 가/감속형태는 가속의 경우는 형태 A가 적합하고 감속의 경우는 형태 B가 적합하다.

### 4. 칩부하 제어 시뮬레이션

칩부하 제어 시뮬레이션을 위해 튜브형상의 자유곡면을 이용하여 CAM에서 NC데이터를 먼저 생성하였다. 생성된 NC데이터로부터 NC 검증모델[]을 이용하여 가공물을 검증하여 Fig. 2에 나타내었다. 시뮬레이션을 위한 모델의 형상이 크면 그림으로 나타내기가 힘들므로 본 연구에서는 비교적 작은 튜브형상의 모델을 선택하였다. 또한 절삭조건도 이송량을 실제 절삭에서 가공하는 것보다 크게 하여 시뮬레이션하였다. 정삭여유를 0.2 mm로 하였을 때 황삭작업 후 정삭에서 가공해야할 Z-map은 Fig. 3과 같다. 그림에서 보는 것과 같이 정삭작업에서 절삭해야할 가공량은 공구경로에 따라 다양하게 변하는 것을 알 수 있다. 공작물 전체의 칩부하를 계산하여 그림으로 나타내면 해상도가 너무 작아 그림을 알아볼 수 없다. 따라서 전체 피삭재 중에 x방향은 0 mm~5 mm까지 y방향은 10 mm~15 mm의 작은 영역에서 칩부하 제어에 대한 시뮬레이션을 하였다. Fig. 3에서 시뮬레이션을 위한 영역을 확대하여 나타내면 Fig. 4와 같다.

황삭 후 정삭의 절삭조건은 공구경 3 mm 볼엔드 밀로 스피indle속도 3000RPM, 이송속도 300 mm/min, 패스간격(Path interval) 0.3 mm로 직선절삭을 하였다. Fig. 4에서 나타낸 정삭에서 가공해야할 Z-amp를 위의 절삭조건, 즉 동일한 이송속도(300 mm/min)로 절삭했을 때 날당 칩부하를 식 (3)으로 구하여 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보는 것과 같이 곡면부분이 아닌 영역에서는 칩부하가 아주 작게 나타나고 곡면부분에서는 칩부하가 아주 크게 나타난다. 3.1절과 3.2절의 방법으로 Fig. 5의 칩부하를 제어하여 Fig. 6에 나타내었다. 최소 이송속도는 75 mm/min, 최고 이송속도는 500 mm/min으로 하였다. 그림에서 보는 것과 같이 평면부위에서는 칩부하의 변화가 많이 없다. 곡면 부위에서는 이송속도가 작게 되었으므로 날당 칩부하가 크게 작아졌다. 만약 최저 이송속도를 더 낮추면 곡면 부위에서 칩부하는 더욱 작게 된다.

Fig. 4에서 보면 어떤 부위에서는 과도한 칩부하로 칩핑이 일어날 수 있다는 것을 알 수 있다. 칩부하량이 어느 범위를 넘으면 칩핑에 대한 경고 메시지를 발생시킬 수 있다.

따라서 CAM에서 생성된 NC데이터로부터 본 연구에서 제시한 방법으로 새로운 황삭과 정삭의 NC데이터를 생성하여 가공하면 가공시간이 단축되고, 항상 일정한 칩부하의 가공으로 정밀한 금형을 가공할 수 있다. 또한 급격한 공구충돌에 의한 칩핑이 방지할 수 있고 일정한 칩부하로 균일한 공구마모를 이룰 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 Z-map 기반 NC 검증모형을 이용하여 일정한 칩부하를 제어할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. CAM에서 생성된 NC데이터와 절삭조건으로부터 날 당 걸리는 칩부하를 예측하여 이송속도를 변화시켜 새로운 NC프로그램을 생성하여 항상 일정한 칩부하로 가공할 수 있도록 하였다. Z-map으로 절삭력을 예측하여 항상 일정한 절삭력으로 가공하는 것이 이 연구의 최종 목표이나 본 연구에서는 계산시간과 현재의 컴퓨터의 성능을 고려하여 날 당 칩체적을 구하는 방법을 선택하였다.

본 연구에서 제시한 방법으로 새로운 황삭과 정삭의 NC데이터를 생성하여 가공하면 가공시간이 단축되고, 항상 일정한 칩부하의 가공으로 정밀한 금형을 가공할 수 있다. 또한 급격한 공구충돌에 의한 칩핑을 방지할 수 있고 일정한 칩부하로 균일한 공구마모를 이룰 수 있다. 또한 이송속도의 변화에 따른 공작기계의 가감속 효과를 고려하였다.

#### 참고문헌

1. 이기우, 노상도, 신동목, 한형상, "절삭부하 예측을 통한 NC코드 후처리시스템," 한국정밀공학회지, 제17권, 제5호, pp 116-123, 2000.
2. Bergs, T., Rodriguez, C., Altan, T., and Altintas, Y., "Tool path optimization for finish milling of die and mold surfaces-software development," *Transactions of NAMRI/SME*, Vol.24, pp.81-86, 1996.
3. 백대균, 고태조, 김희술, "볼엔드밀 가공에서의 가공물 검증," 한국정밀공학회 2000년도 춘계학술대회논문집, pp. 725-729, 2000.
4. FANUC LTD, *parameter manual - Fanuc Series 180-Model C*, pp. 72-89, 1995.

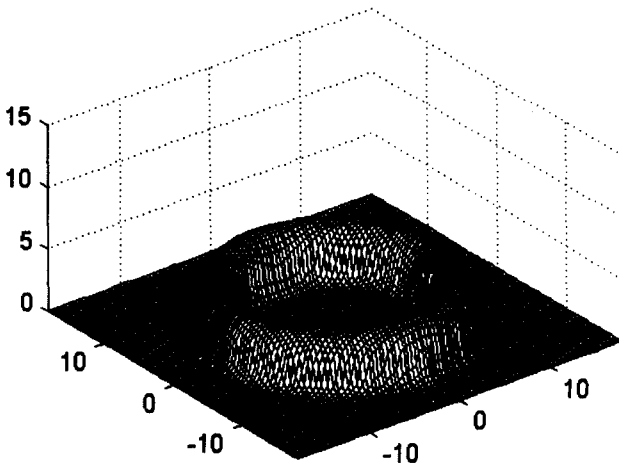


Fig. 2 Verification of a surface in finish cutting.

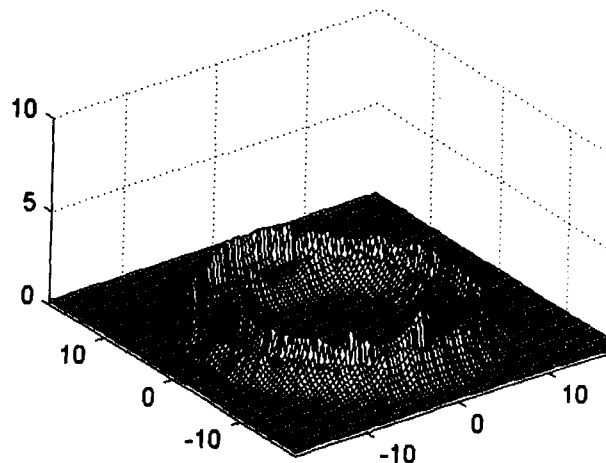


Fig. 3 Z-map in finish cutting.

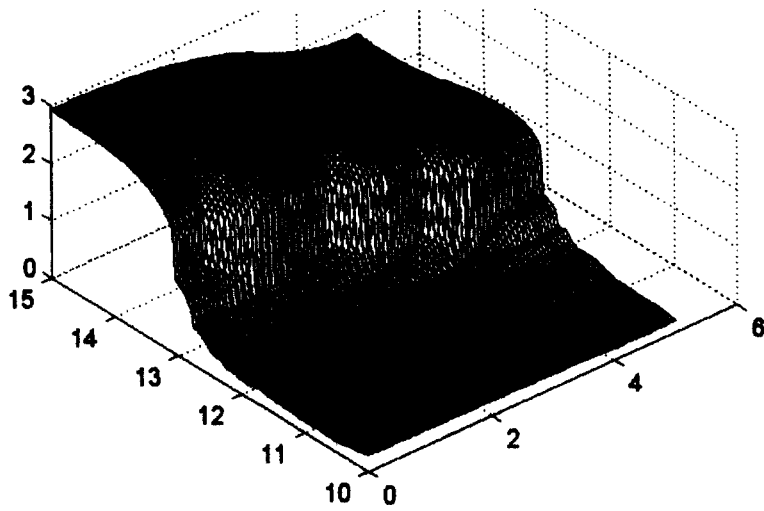


Fig. 4 Z-map of local area in finish cutting(x-dir.:0~5mm, y-dir.:10~15mm)

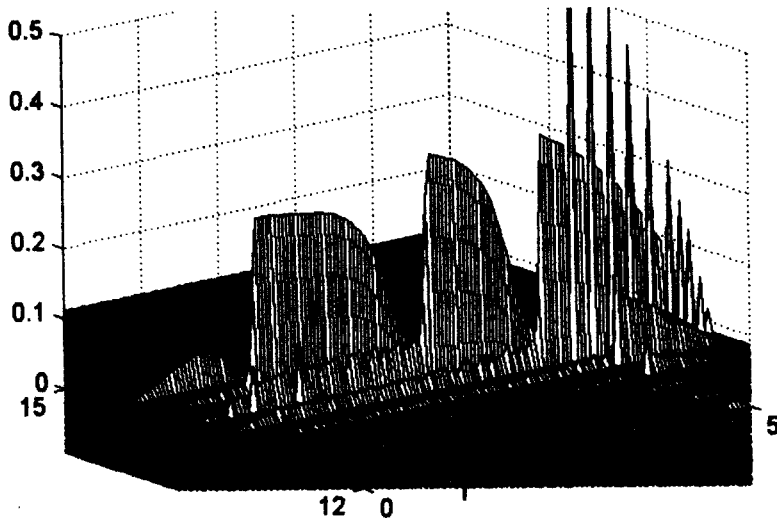


Fig. 5 Chip loads in feed per tooth before controlling feed rate.

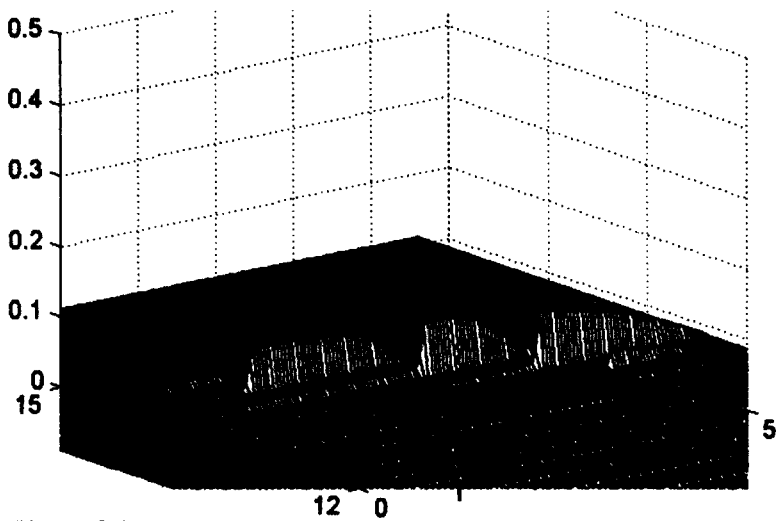


Fig. 6 Chip loads in feed per tooth after controlling feed rate.