

Z-map 기반 가공 검증모델을 이용한 칩부하 제어기

백대균*, 고태조#, 박정환**, 김희솔**

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

Dae Kyun Baek*, Tae Jo Ko#, Jung Whan Park**, Hee Sool Kim**

ABSTRACT

This paper presents a new method for the optimization of feed rate in sculptured surface machining. A NC verification model based on Z-map was utilized to obtain chip load according to feed per tooth. This optimization method can regenerate a new NC program with respect to the commanded cutting conditions and the NC program that was generated from CAM system. The regenerated NC program has not only the same data of the ex-NC program but also the updated feed rate in every block. The new NC data can reduce the cutting time and produce precision products with almost even chip load to the feed per tooth. This method can also reduce tool chipping and make constant tool wear.

Key Words : Verification(검증), Z-map, Chip load(칩부하), NC(Numerical Control), CAM(Computer Aided Manufacturing), Optimization(최적화)

1. 서론

정밀한 금형을 제작하기 위해서는 다양한 자유곡면을 정밀하게 가공해야 한다. 자유곡면의 가공에서 곡면의 형상과 가공경로, 그리고 이전 가공에서 남는 커섯(cusp)에 따라 날당 칩부하는 다양하게 변한다. 자유곡면의 황삭과 정삭가공에서 날당 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 문

제를 해결하는 방법은 크게 두 가지 방법이 있다. 첫 번째는 절삭력 센서를 사용하여 온라인으로 절삭력을 제어하는 적응제어법이 있고, 두 번째는 가상공작기계에서 절삭력을 예측하여 NC프로그램에서 이송속도를 제어하는 방법이다. 온라인 적응제어도 한 방법이나 절삭력센서의 개발이 아직 미진한 상태이고 응답성에 문제가 있다. 가상공작기계의 활발한 연구로 NC 프로그램에서 이송속도를 변환하는 방법이 많이 연구되고 있다. 이제까지 연구를 살펴보면 칩단면적을 예측하여 절삭경로를 최적화하였고¹, 절삭부하를 예측하여 이송을 변화시키는 연구가 있었다². 그러나 이러한 연구에서는

접수일: 2004년 10월 6일; 게재승인일: 2005년 1월 21일

* Louisiana State University

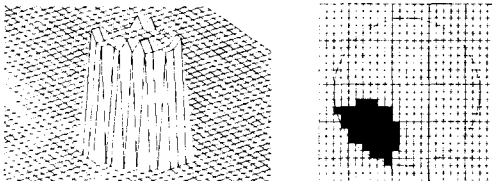
영남대학교 기계공학부

E-mail tjko@yu.ac.kr Tel. (053) 810-2576

** 영남대학교 기계공학부

정확한 날당 칩부하의 예측이 어려워 정확하게 이송을 제어하지 못했다.

자유곡면 가공에서 절삭력의 예측은 매우 힘들다. 많은 경우 다양한 경로에서 먼저 Z-map을 예측한 후 절삭단면적을 구하여 절삭력을 예측하는 방법을 택하고 있다^{3,4}. 그러나 정확한 절삭력을 예측하기 위해서는 Z-map을 미세하게 나누어야 하며 또한 절삭력 모델에 치수효과를 고려하여 정확한 비절삭저항을 구해야 한다. Fig. 1은 정삭에서 한 날이 절삭할 칩부하의 예를 도시하였다. 그림에서 보는 것처럼 Z-map의 해상도가 낮으면 날당 칩체적 계산이나 절삭단면적 계산에서 오차가 많이 발생한다. 물론 Z-map을 더욱 미세하게 나누면 정밀한 계산을 할 수 있으나 계산 시간과 기억용량에 문제가 발생한다. 또한, 고속가공에서는 날당 이송이 더욱 작은 값을 가지기 때문에 Z-map을 이용하여 절삭력을 정확히 예측하기는 힘든 것을 알 수 있다. 더욱 어려운 것은 NC 코드를 이용하여 날당 칩체적을 구하기 어렵다는 점이다.



(a) 3 dimensional view (b) plane view

Fig. 1 Chip amount of a tooth

본 연구에서는 한 날당 걸리는 칩체적을 계산하여 칩부하를 제어하고자 한다. 이송을 고려한 검증모델은 실제 밀링가공을 표현하여 비교적 정확히 날당 칩부하를 예측할 수 있다⁵. 자유곡면의 황삭과 정삭가공에서 날당 칩체거량을 구하여 항상 일정한 칩부하가 걸리도록 이송을 변화시켰다. 즉, CAD/CAM에서 생성된 NC데이터로부터 칩부하량을 예측하여 항상 일정한 값이 되도록 이송만 변환하여 NC코드를 다시 생성하였다. 이송을 변환하지 않은 원래의 NC데이터와 이송을 변환하여 새로 생성한 NC데이터로 시뮬레이션하여 그 효과를 비교하여 보았고, 또한 절삭실험을 통하여 비교하였다.

2. 칩부하 예측

이제까지 NC검증모델에 주로 채택되고 있는 체적소거법은 날당 칩체적을 구하기에는 불합리하다. 왜냐하면 NC 데이터 한 블록 전체의 가공 체적을 구하여 공작물의 Z-map을 소거하기 때문이다. 본 연구에서는 이송을 고려한 가공검증모델⁵을 이용하여 날당 칩부하 예측을 다음과 같이 하였다. Fig. 2와 같이 NC 데이터의 한 블록의 가공에서 스핀들 회전수를 $S(\text{rpm})$ 그리고 절삭날 수를 n_{th} 라고 할 때 날당 이송거리 동안 절삭하는 데 걸리는 시간 $t_{th}(\text{sec})$ 는 다음과 같다.

$$t_{th} = \frac{60}{S \cdot n_{th}} \quad (1)$$

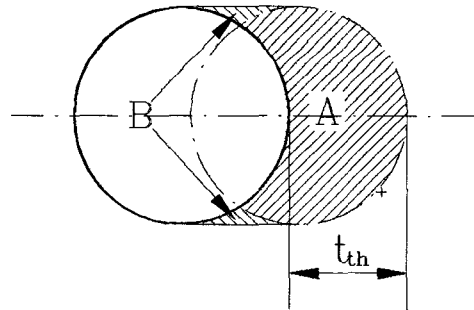


Fig. 2 The domain of chip volume in feed per tooth

이송을 고려한 가공 검증모델⁵에서 체적을 소거해 나가는 간격을 조정하는 dt 를 식 (1)의 t_{th} 와 동일하게 두면 날당 칩체적은 영역 A부분의 체적이다. 그러나 Fig. 2에서 보는 것처럼 실제 절삭량은 A+B 영역이므로 B만큼 오차가 발생한다. 보통의 가공조건에서는 B영역은 아주 작은 값으로 x, y 방향의 격자 간격보다 더 작아서 문제가 되지 않는다. 만약 더욱 정밀한 칩체적을 구하려면 체적소거 간격의 시간인 dt 를 다음과 같이 짧게 하여 체적을 소거해나가면 된다. 물론 짧은 dt 는 많은 계산시간이 필요한 단점이 있다.

$$dt = \frac{t_{th}}{n_c} \quad (2)$$

여기서, n_c 는 날당 체적소거 회수이다. 이전의 가공에서 구한 Z-map을 $z_p(i,j)$ 라하고 현재 가공에서 구한 Z-map을 $z_n(i,j)$ 라 하자. 체적소거법에서 현재 가공 데이터 $z_n(i,j)$ 가 그전 가공 데이터 $z_p(i,j)$ 보다 작으면 그 값이 새로운 Z-map으로 치환된다.

$$z(i, j) = z_n(i, j) \quad \text{if} \quad z_n(i, j) < z_p(i, j) \quad (3)$$

식 (2)에서 이 전 가공과 현재가공에서 Z-map의 차이값($c(i,j)$)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$c(i, j) = z_p(i, j) - z_n(i, j) \quad \text{if} \quad z_n(i, j) < z_p(i, j) \quad (4)$$

공구 끝점의 x, y 방향 인덱스⁵가 각각 i_p, j_p 일 때, 현재의 절삭지점에서 절삭체적(s_{q_k})은 각각의 작은 기둥의 체적을 더하여 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$s_{q_k} = \sum_{i=i_1}^{i_2} \sum_{j=j_1}^{j_2} c(i, j) \cdot \Delta x \cdot \Delta y \quad \text{for} \quad h \leq g, \quad i_1 < i < i_2, \quad j_1 < j < j_2 \quad (5)$$

여기서 $h = \sqrt{x(i)^2 + y(j)^2}$, $i_1 = i_p - \frac{g}{\Delta x}$,

$$i_2 = i_p + \frac{g}{\Delta x}, \quad j_1 = j_p - \frac{g}{\Delta y}, \quad j_2 = j_p + \frac{g}{\Delta y}$$

이고, $\Delta x, \Delta y$ 는 각각 x, y 방향의 격자간격, 그리고 g 는 공구반경을 나타낸다. 날당 이송거리 동안 절삭할 칩부하(s_c)는 각 지점의 체적을 더하여 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$s_c = \sum_{k=1}^{n_c} s_{q_k} \quad (6)$$

따라서, 식 (5)와 (6)에 의해 날당 칩부하를 예측할 수 있다. 칩 부하를 예측하기 위해서 식 (3)에서 보는 것처럼 그 전 가공의 Z-map이 항상 있어야 한다. 황삭의 처음 가공에서는 공작물의 최고 높이가 그 전가공의 Z-map이 된다.

자유곡면의 가공은 Fig. 1에서 보는 것처럼 상향 또는 하향절삭을 수행하므로 한 날이 절삭에 참

가하고 두 날이 동시에 절삭하는 경우는 거의 없다. 그러나 2날 이상을 가진 평엔드밀을 이용하면 두 날이 동시에 가공하는 경우가 발생하므로 공구의 회전각을 고려하여 각 날의 절삭부하를 합하여 최종 절삭부하를 구해야 한다. 또한 정밀한 절삭부하를 구하기 위해서는 앞에서도 언급한 것처럼 Z-map을 미세하게 나누고 공구의 회전각을 고려하여 각 날의 절삭단면적에 비절삭저항 저항을 곱해야 한다. 본 연구는 식 (6)에서 보는 것처럼 자유곡면 가공의 상향과 하향절삭에서 채터가 발생하지 않는 정상상태에서 날 당 칩체적으로 절삭부하를 평가하였다.

3. 이송 변화에 의한 칩부하 제어

황삭, 정삭의 가공에서 적절한 이송을 설정하는 것은 매우 힘들다. 피삭재, 공구재료, 기계의 강성, 고정구 그리고 피삭재의 형상 등에 의해 절삭현상이 다양하게 변하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 작업자가 정한 절삭조건에서 항상 일정한 칩부하가 유지되도록 이송을 변화시키는 방법을 선택하였다. Fig. 3은 시스템 개략도인데 그림에서 보는 것과 같이 CAM에서 생성된 NC 데이터를 읽어 들여 이송을 각 블록마다 새로 첨가하여 새로운 NC 파일을 생성하였다. 가공물의 Z-map 생성 방법은 이송을 고려한 가공 검증모델⁵을 이용하였고 매 날당 이송시간동안 Z-map의 체적을 식 (5)와 (6)을 이용하여 구하였다.

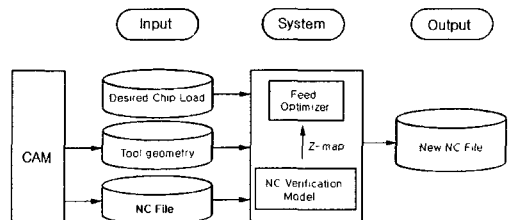


Fig. 3 Schematic diagram of overall configuration

매 날당 칩부하를 계산하여 이송을 변환하는 것은 데이터 양이 방대하여 어려운 일이므로 본 연구에서는 황삭가공에서는 한 블록에서 칩체적을 전부 더하여 평균값을 구하여 새로운 이송을 결정하였다. 즉 황삭에서는 처음 NC데이터에서 각 블

록마다 이송만 추가로 생성하여 파일에 저장하였다.

정삭에서는 절삭효율 못지않게 정밀한 절삭이 요구되고 모서리 부분에서는 급격한 칩부하의 증가로 공구치집이 발생하여 과절삭이나 미절삭이 발생하고 경우에 따라서 칩핑도 발생한다. 따라서 정삭에서는 각 날당 칩부하를 고려하여 어떤 범위 이상의 칩부하에서는 이송과 함께 NC 데이터를 블록과 블록사이에 새로 첨가하는 방법을 선택하였다.

절삭 가공중 채터의 발생으로 절삭부하가 급격히 증가할 경우가 발생하는데 이러한 경우는 센서를 이용하여 이상상태를 감지하고 스피들의 회전수나 이송을 on-line으로 변화시켜야 한다. 본 연구는 채터가 발생하지 않는 정상상태라고 가정하여 절삭 작업전에 NC코드에서 이송을 변환하여 칩부하가 일정하도록 하였다.

3.1 황삭에서의 칩부하 제어

CAM에서 NC데이터를 생성할 때 입력한 절삭 조건으로 곡면이 없는 정상적인 직선절삭(plain cutting)에서 임의의 절삭지점에서 칩부하 s_p 를 구한다. 한 블록 동안 직선절삭의 총절삭 칩부하 s_b 는 다음과 같다.

$$s_b = s_p \cdot id \quad (7)$$

여기서 id 는 한 블록의 가공에서 체적소거 회수이다. 자유곡면의 실제 절삭에서 한 블록동안 가공해야 할 칩부하 s_r 은 식 (6)을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$s_r = \sum_{k=1}^{id} s_{a_k} \quad (8)$$

s_r 이 s_b 보다 클 때에는 이송 F 를 낮추어 s_r 과 s_b 가 거의 같게 하고 s_r 이 s_b 보다 작을 때에는 이송 F 를 빠르게 한다. 처음 절삭날이 z 방향으로 절입할 때는 절삭량이 없으므로 s_r 이 0일 때는 최고의 이송을 설정하여 그 값을 출력한다. 새롭게 설정하는 이송 F_n 은 다음과 같다.

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

$$F_n = F_{\max}, \quad \text{if } s_r = 0, \text{ or, } F_n > F_{\max} \quad (9)$$

3.2 정삭에서의 칩부하 제어

정삭가공에서 모서리부 가공에서는 칩부하가 증가하여 공구치집이 발생하여 공작물의 정밀도를 저하시킨다. 경우에 따라서는 과도한 칩부하로 칩핑이 발생한다. 정삭에서는 날당 칩부하를 구하여 정상적인 곡면이 없는 직선절삭에서 구한 칩부하와 비교하여 2배 이상에서는 블록과 블록 사이에 새로운 NC 데이터와 이송을 첨가하여 NC 파일을 생성하였다. 칩부하가 어느 범위를 넘으면 칩핑으로 간주하여 경보 메시지를 출력하였다. 2배 이하의 칩부하에서는 황삭과 마찬가지로 항상 일정한 칩부하가 되도록 이송을 생성하였다. 물론 이 값은 임의적으로 정한 값이며, 상황에 따라서 수정 가능한 값이다.

4. 절삭이송의 가감속 보정

절삭이송이 변화될 때 Fig. 4와 같이 이송의 가감속 효과를 고려해야 한다. 절삭이송의 가감속 방법은 Fig. 4에서 보는 것과 같이 두 가지 방법이 있다⁶.

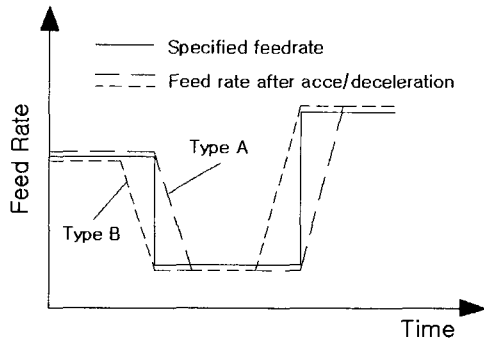


Fig. 4 The method of a feed acc/deceleration

첫 번째 형태는 NC프로그램에서 한 블록을 읽은 후 가감속하는 방식(A)이고 다른 형태는 한 블록을 읽기 전에 가감속하는 형태(B)이다. 또한 가감속할 때도 선형 가감속 방식과 지수형 가감속 방법

등이 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.

$$l_{dec} = \frac{v_{new}^2 - v_{bef}^2}{2a_m} \quad (10)$$

본 연구에서는 감속의 경우에는 Fig. 1에서 형태 A를 선택하고 가속의 경우는 형태 B를 선택하였다. 정상에서 새로운 NC블럭을 생성할 때 감속의 경우에만 감속거리 l_{dec} 를 구하여 NC데이터를 생성하였다. 가속의 경우는 시간차가 있어도 절삭력이 급격히 증가하지 않으므로 생략하였다. 황삭과 정상에서 새로운 블럭을 생성하지 않고 이송만 변화할 때는 가/감속 거리 l_{dec} 를 고려하지는 않았다. 왜냐하면 앞에서 언급한 것처럼 감속의 경우는 형태 B는 블럭을 읽기에 앞서 감속하므로 절삭력의 급격한 증가는 방지된다. 가속의 경우는 칩부하가 적을 때 가속하므로 블럭을 읽은 후에 가속해도 절삭력의 급격한 증가는 없으므로 상관없다. 따라서 칩부하 제어에서는 이송 가/감속형태는 가속의 경우는 형태 A가 적합하고 감속의 경우는 형태 B가 적합하다.

5. 이송 제어 시뮬레이션

칩부하 제어 시뮬레이션을 위해 튜브형상의 자유곡면을 이용하여 CAM에서 NC데이터를 먼저 생성하였다. 생성된 NC데이터로부터 NC 검증모델을 이용하여 가공물을 검증하여 Fig. 5에 나타내었다. 시뮬레이션을 위한 모델의 형상이 크면 그림으로 나타내기가 힘들므로 본 연구에서는 비교적 작은 튜브형상의 모델을 선택하였다. 또한 절삭조건에서 이송량과 날당 칩부하가 실제 절삭에서 가공하는 것보다 크게 하여 시뮬레이션하였다. 정상여유를 $0.2mm$ 로 하였을 때 황삭작업 후 정상에서 가공해야할 Z-map은 Fig. 6과 같다. 그림에서 보는 것과 같이 정상작업에서 절삭해야 할 가공량은 공구경로에 따라 다양하게 변하는 것을 알 수 있다. 공작물 전체의 칩부하를 계산하여 그

림으로 나타내면 해상도가 너무 작아 그림을 알아볼 수 없다. 따라서 전체 피삭재 중에 x방향은 $0\sim 5mm$ 까지 y방향은 $10\sim 15mm$ 의 작은 영역에서 칩부하 제어에 대한 시뮬레이션을 하였다. Fig. 6에서 시뮬레이션을 위한 영역을 확대하여 나타내면 Fig. 7과 같다.

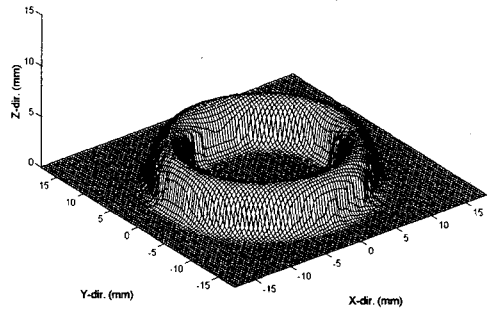


Fig. 5 Verification of a surface in finish cutting

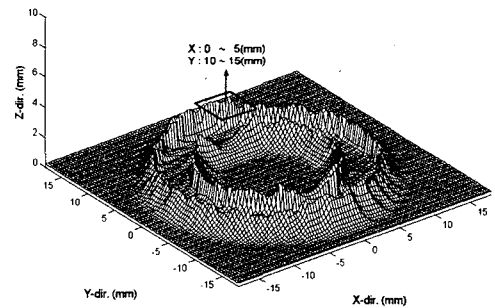


Fig. 6 Z-map in finish cutting

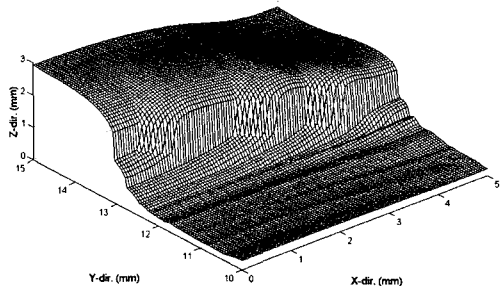


Fig. 7 Z-map of local area in finish cutting

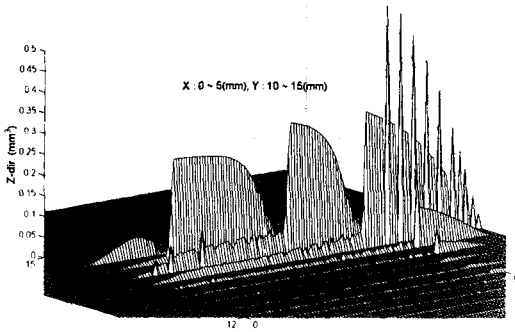


Fig. 8 Chip loads per tooth before controlling feed rate

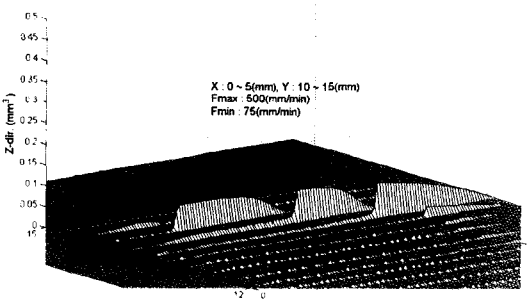


Fig. 9 Chip loads tooth after controlling feed rate

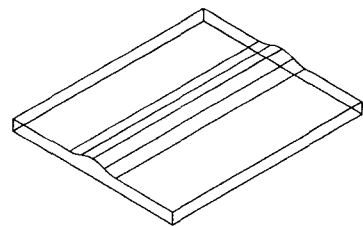
황삭 후 정삭의 절삭조건은 공구경 3mm 볼엔드밀로 스피들 회전수 3000rpm, 이송 300 mm/min, 패스간격(Path interval) 0.3mm로 직선절삭을 하였다. Fig. 7에서 나타낸 정삭에서 가공해야 할 Z-amp를 위의 절삭조건, 즉 동일한 이송 300mm/min로 절삭했을 때 날당 칩부하를 식 (6)으로 구하여 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 보는 것과 같이 곡면부분이 아닌 영역에서는 칩부하가 아주 작게 나타나고, 곡면부분에서는 칩부하가 아주 크게 나타난다.

3.1절과 3.2절의 방법으로 Fig. 8의 칩부하를 제어하여 Fig. 9에 나타내었다. 최소 이송은 75mm/min, 최고 이송은 500mm/min으로 하였다. 그림에서 보는 것과 같이 평면부위에서는 칩부하의 변화가 많이 없다. 곡면 부위에서는 이송이 작게 되었으므로 날당 칩부하가 크게 작아졌다. 만약

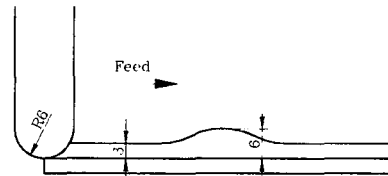
최저 이송을 더 낮추면 곡면 부위에서 칩부하는 더욱 작게 된다. Fig. 7에서 보면 어떤 부위에서는 과도한 칩부하로 칩핑이 일어날 수 있다는 것을 알 수 있다. 칩부하량이 어느 범위를 넘으면 칩핑에 대한 경고 메시지를 발생할 수 있다. 따라서 CAM에서 생성된 NC데이터로부터 본 연구에서 제시한 방법으로 새로운 황삭과 정삭의 NC데이터를 생성한 후 가공하면 가공시간이 단축되고, 항상 일정한 칩부하의 가공으로 정밀한 금형을 가공할 수 있다. 또한 급격한 공구충돌에 의한 칩핑을 방지할 수 있고 일정한 칩부하로 균일한 공구마모를 이룰 수 있다.

6. 실험 결과

절삭 부하에 따른 이송 변화의 효과를 살펴보기 위하여 실험을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 그림으로 잘 표현하기 위하여 실제 절삭조건보다 과도하게 설정하였다. 절삭실험은 시편을 Fig. 10과 같



a) An isometric view



b) A front view

Fig. 10 Diagram of workpiece

이 제작하여 절삭을 하였다. 본 연구의 주요 관심사는 볼엔드밀을 이용한 자유곡면 가공이므로 시편을 그림과 같은 곡면으로 제작하였다.

Fig. 10의 b)에서 보는 것처럼 일정한 이송으로

가공하는 NC데이터를 Fig. 3과 같은 절차로 이송이 칩부하에 따라 변하는 새로운 NC데이터를 생성하였다. 절삭회전수 8000rpm, 이송 2400mm/min, 그리고 패스간격이 0.3mm일 때, 곡면이 없는 평면부에서 칩체적은 0.135mm³이다. 따라서 Fig. 3에서 목적의 칩체적을 0.135mm³로 설정하여 항상 일정한 칩체적이 되도록 새로운 NC데이터를 생성하였다.

먼저 일정한 이송으로 가공할 때 공구동력계를 이용하여 절삭력을 측정하였다. 다음으로 새로 생성된 NC데이터로 가공할 때 공구동력계로 절삭력을 측정하여 서로 비교하여 보았다. 실험조건은 Table 1에 자세히 나타내었다.

Table 1 Experimental condition

RPM	8,000rpm
Feed Rate	2,400mm/min
Path Interval	0.3mm
Ball End Mill	Φ 12mm
Workpiece	SM45C
Machine Tool	High Speed Machining Center (V55, Makino)
Tool Dynamometer	Kiessler(9257A)

Table 1과 같은 실험조건으로 일정한 이송으로 절삭할 때 공구동력계로 x, y, z 방향의 절삭력을 측정 후 절삭합력을 Fig. 11에 나타내었다. 그림에서 보는 것처럼 곡면부의 형상과 유사한 형태로 절삭력이 나타남을 알 수 있다. 또한, 그림의 원안에서 보는 것처럼 시편을 제작하기 위해 가공할 때 발생한 커셉(Cusp)의 영향에 의해 절삭력이 변하는 것을 알 수 있다. Fig. 12은 새롭게 생성한 NC데이터로 절삭할 때의 합력이다. 그림에서 보는 것처럼 절삭력이 비교적 일정함을 알 수 있다. Fig. 11에서도 언급한 것처럼 자유곡면 가공의 절삭력은 Z-map의 해상도에 의해 많은 영향을 받고, 또한 Fig 11과 12에서 보는 것처럼 그 전가공의 커셉의 높이에 많은 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 절삭력 예측에서 발생하는 오차와 계산시간을 줄이고자 칩체적으로 절삭부하를 평가하였다. 이송을 변화시켜 일정한 칩체적으로 절삭하여 비교적 절삭력이 일정한 실험 결과를 얻을 수 있었다.

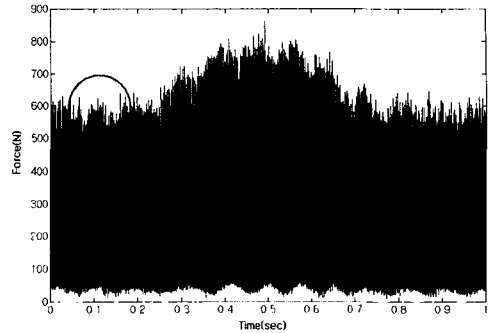


Fig. 11 Measured resultant cutting force before controlling feed rate

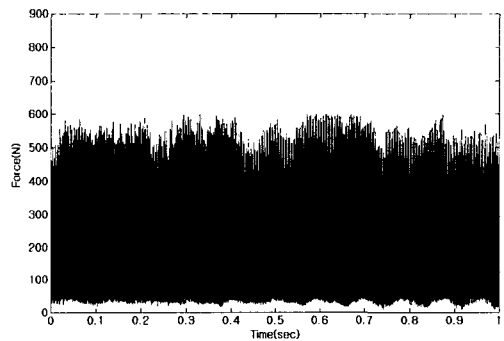


Fig. 12 Measured resultant cutting force after controlling feed rate

7. 결론

본 연구에서는 Z-map 기반 NC 검증모델을 이용하여 일정한 칩부하를 제어할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. CAM에서 생성된 NC데이터와 절삭조건으로부터 날 당 걸리는 칩부하를 예측하여 이송을 변화시켜 새로운 NC프로그램을 생성하여 항상 일정한 칩부하로 가공할 수 있도록 하였다. Z-map으로 절삭력을 예측하여 항상 일정한 절삭력으로 가공하는 것이 이 연구의 최종 목표이지만, 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 이송의 변화에 따른 공작기계의 가감속 효과를 고려할 수 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었으며, 영남대학교 BK21 사업단의 일부 지원이 있었음.

참고문헌

1. 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.
2. Lee, G. W., Rho, S. D., Shin, D. M., Han, H. S., "NC Code Post-Processor Considering Metal Removal Rate," J. of KSPE, Vol. 17, No. 5, pp. 116-123, 2000.
3. Bae, D. W., Ko, T. J., Kim, H. S., "Development of a virtual machining system by a CAD model based cutting simulation," J. of KSMTE, Vol. 8, No. 3, pp.83-91, 1999.
4. Kim, K. M., Cho, P. J., Kim, B. H., Chu, J. N., "The study on the cutting force prediction in the ball end milling process at the random cutting area using Z-map," Proc. of KSPE spring meeting, Vol. 1, pp. 125-129, 1996.
5. Baek, D. K., Ko, T. J., Kim, H. S., "Machining Verification Model Considering Feed Rate for Virtual Milling," J. of KSPE, Vol. 19, No. 12, pp.86-92, 2002.
6. FANUC LTD, Parameter manual - Fanuc Series 180-Model C , pp. 72-89, 1995.