

NC가공에서 허용오차를 고려한 가공속도 최적화에 관한 연구

이희승^a, 이철수^{a*}, 김종민^b, 허은영^b

A Study of Feedrate Optimization for Tolerance Error of NC Machining

Hee-Seung Lee^a, Cheol-Soo Lee^{a*}, Jong-Min Kim^b, Eun-Young Heo^b^a Dept. of Mechanical Engineering, Sogang University, Republic of Korea^b Sogang Institute of Advanced Technology, Sogang University, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	30	May	2013
Revised	18	July	2013
Accepted	4	October	2013

Keywords:

Tolerance error
Feedrate control
NC machining
Velocity profiles

ABSTRACT

In numerical control (NC) machining, a machining error in equipment generally occurs for a variety of reasons. If there is a change in direction in the NC code, the characteristics of the automatic acceleration or deceleration function cause an overlap of each axis of the acceleration and deceleration zones, which in turn causes a shift in the actual processing path. Many studies have been conducted for error calibration of the edge as caused by automatic acceleration or deceleration in NC machining. This paper describes a geometric interpretation of the shape and processing characteristics of the operating NC device. The paper then describes a way to determine a feedrate that achieves the desired tolerance by using linear and parabolic profiles. Experiments were conducted by the validate equations using a three-axis NC machine. The results show that the machining errors were smaller than the machine resolution. The results also clearly demonstrate that the NC machine with the developed system can successfully predict machining errors induced with a change in direction.

1. 서론

공작기계 분야에서 고속 고 정밀 가공은 지금까지도 꾸준히 연구되고 있는 과제이다. 특히 제품생산시간의 큰 비중을 차지하는 금형 가공 시간감소와 정밀한 가공품을 필요로 하고 있다. 이를 구현하기 위해서는 설계된 자유곡면이나 모서리 부분의 모델을 형상 오차 없이 CNC컨트롤러에 전달 해야 한다. 그리고 NC장비의 특성에 따라 발생할 수 있는 오차도 고려하여 보다 제품의 정밀도를 높일 수 있다.

발표된 논문을 살펴보면, Rahou, M.등은 최소 자승법을 이용한 CNC공작기계에서 허용오차를 최적화하였다^[1]. 또한 선독 알고리즘(look-ahead algorithm)을 이용하여 선형궤도를 보간하는 방법과 고속 CNC머신의 속도프로파일을 생성하는 방법, 그리고 이 알고리즘을 이용하기 위한 최적의 블록수를 결정하는 방법이 연구 되었다^[2,4]. 이 외에도 공작기계의 구조적인 공간오차를 측정하기 위한 연구^[5]와 일반적인 평면 운동에 대한 측정법^[6]도 연구 되었으며, NURBS보간을 이용하여 CNC에서의 윤곽오차와 가공효율의 관계에 관한 연구^[7]와 NURBS보간을 이용한 고속가공에 관한 연구^[8], 신경망을 이용한 공작기계의 진원도 예측방법^[9], 5축 가공 시간

* Corresponding author. Tel.: +82-2-705-8646

Fax: +82-2-705-7968

E-mail address: cscam@sogang.ac.kr (Cheol-Soo Lee).

을 기계특성을 고려한 연구^[10]가 수행되었다. 또한 생산성 향상을 위한 절삭력에 대한 연구^[11]와 NC선반의 위치결정 정도 측정에 관한 연구^[12]를 하였다.

NC가공에서는 이송 지령의 가감속 구간이 중첩되고 이 부분에서 가공형상 오차가 발생하게 된다. 이를 줄이는 방법 중, 지금까지는 숙련된 사용자의 감각을 이용하여 지령속도를 제어하는 방법이 사용되지만 이 방법으로는 많은 시간이 소요되고 정확한 정밀도의 예측이 불가능하여 최적화를 하기 위한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 제품에 허용되는 가공오차를 이용하여 최적의 지령속도를 가공 경로의 방향 변화가 발생하는 부분에 적용하여 가공 오차를 만족하는 가공 방법을 연구하였다. 또한 고속가공에서 모터 사양이나 기구적인 특성에 의하여 결정되는 지령 블록 사이의 최소 속도를 기존의 고정된 방식이 아닌 방향변화에 따른 비례값으로 조정하여 가공오차를 만족하는 가공을 할 수 있다.

2. 방향 변화에 따른 속도 프로파일

공작기계에서 가공경로와 속도는 이송지령 코드로 주어진다. 일반적으로 원하는 가공경로를 생성할 때에는 방향이나 속도가 변하는 지점에서 지령을 추가하여 NC코드를 생성하여 기계 가공을 한다. 이렇게 생성된 NC코드는 공작 기계의 자동 가감속 기능을 통하여 블록과 블록이 교차하는 코너구간에서 Fig. 1과 같이 지령한 경로와 가공경로가 차이가 난다. 이와 같이 공작기계는 모서리나 방향변화가 있는 경우 가공오차가 필연적으로 발생하게 되며 이를 줄이기 위하여 코너에서의 가공경로를 왜곡하여 가공오차를 줄이는 연구도 수행되었다^[6].

여기서 가공오차의 가장 큰 원인은 블록과 블록이 교차하는 지점

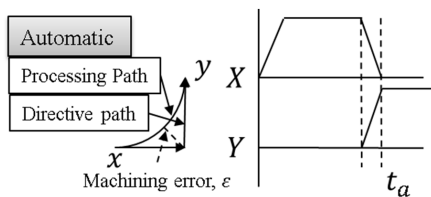


Fig. 1 Processing path and velocity profiles of automatic NC device

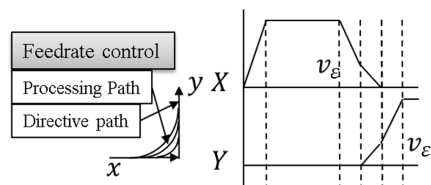


Fig. 2 Processing path and velocity profiles of feedrate controlled NC device

에서 앞쪽 블록의 감속과 뒤쪽 블록의 가속이 동시에 일어나게 되고 이에 따라 가공경로를 벗어나게 된다. 이렇게 동시에 가감속이 되는 구간에서 지령속도를 조정하여 Fig. 2와 같이 가공오차를 조정 할 수 있다.

3. 가공경로 변화에 따른 가공오차를 만족하는 최대 허용 속도

현장에서 주로 사용하는 속도 프로파일은 3차 다항식으로 이루어진 S곡선과 2차 다항식으로 이루어진 사다리꼴 모터 프로파일이다. S곡선 속도 프로파일의 경우, 출발과 가속구간에서의 저크(jerk)가 연속적이기 때문에 모터의 부드러운 동작이 가능하다. 이에 비하여 사다리꼴 속도 프로파일은 2차 다항식으로 이루어져 있어 계산이 간단하고, 같은 거리 이송 시 프로파일 블록의 이송시간이 S곡선 보다 빠르다. 이러한 특성을 고려하여 두 가지 프로파일을 조합하거나 변형된 S곡선 프로파일도 연구 되었다^[8]. 이 중에서 우선 가장 기본적인 선형 프로파일을 이용하여 가공오차에 따라 최대허용속도를 제어하는 방법을 소개한다.

3.1 선형속도 프로파일의 위치 방정식과 가공오차

가장 기본적인 선형 가감속 속도 프로파일은 2차원 평면에서 Fig. 3과 같이 구동축이 바뀌는 지령에 대하여 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$v_1 = -\frac{v_{\epsilon 1}}{t_a}t + v_{\epsilon 1}, v_2 = \frac{v_{\epsilon 2}}{t_a}t \quad (1)$$

$$d_1 = -\frac{v_{\epsilon 1}}{2t_a}t^2 + v_{\epsilon 1}t - \frac{1}{2}v_{\epsilon 1}t_a, d_2 = \frac{v_{\epsilon 2}}{2t_a}t^2 \quad (2)$$

Where, $d_{\epsilon i} = \frac{1}{2}v_{\epsilon i}t_a$

여기서 가공오차는 각 시간당 실제 이송경로에서의 위치와 지령 경로상의 위치의 거리로서 표현 할 수 있다. 최대 가공오차는 지령

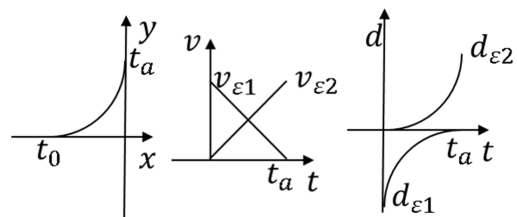


Fig. 3 Processing path and speed in the linear velocity profiles at feed axis shaft.

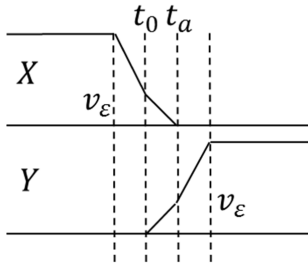


Fig. 4 Controlled velocity profiles at feed axis shaft

경로에서 X-Y평면의 (0,0) 지점을 지날 때의 실제 가공경로의 위치와의 거리이며, 이때의 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\varepsilon = \sqrt{(d_1(v_{\varepsilon 1}, t_p))^2 + (d_2(v_{\varepsilon 2}, t_p))^2} \quad (3)$$

Where, $t_p = \frac{1}{2}t_a$

Fig. 4와 같이 90도로 변하는 경우 $v_{\varepsilon 1}$ 과 $v_{\varepsilon 2}$ 는 같은 값 v_ε 을 가진다. 이송속도와 실제 각 축의 시간에 따른 위치를 이용하여 최대로 지령경로에서 벌어지는 거리를 앞서 구한 위치 방정식 (3)으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\varepsilon = v_\varepsilon \sqrt{\left(-\frac{1}{2t_a}t^2 + t - \frac{1}{2}t_a\right)^2 + \left(\frac{1}{2t_a}t^2\right)^2} \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{2}}{8}t_a v_\varepsilon \left(at, t = t_p = \frac{1}{2}t_a\right)$$

위 식으로부터 90도 코너에서 가공오차를 만족하기 위한 가공속도는 다음 식으로 표현된다.

$$v_\varepsilon = 4\sqrt{2} \frac{\varepsilon}{t_a} \quad (5)$$

3.2 임의의 각을 가지는 코너에서의 최대 허용 속도

Fig. 5 와 같이 90도가 아닌 임의의 각도(θ)로 가공경로가 변하는 경우에는 시작하는 블록의 $v_{\varepsilon 2}$ 이 구동축을 기준으로 $v_{\varepsilon x}$ 와 $v_{\varepsilon y}$ 로 나누어 지며, 이 때 각 축 별 속도는 다음과 같다.

$$v_{sx} = v_s \cos\theta, v_{sy} = v_s \sin\theta \quad (6)$$

위 속도를 각 축의 시간에 따른 위치방정식에 적용하면 다음과 같다.

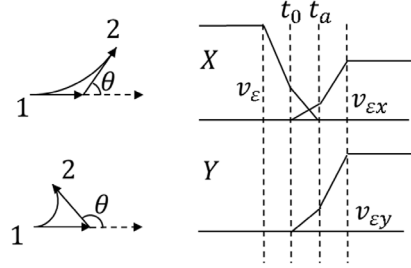


Fig. 5 Processing path and the controlled velocity profiles at direction change of arbitrary angle

$$d_1 = -\frac{v_\varepsilon}{2t_a}t^2 + v_\varepsilon t - \frac{1}{2}v_\varepsilon t_a + \frac{v_\varepsilon \cos\theta}{2t_a}t^2 \quad (7)$$

$$d_2 = \frac{v_\varepsilon \sin\theta}{2t_a}t^2 \quad (8)$$

이 위치방정식을 식 (3)에 적용하면 다음과 같다.

$$\varepsilon = v_\varepsilon \sqrt{\left(-\frac{1}{2t_a}t^2 + t - \frac{1}{2}t_a + \frac{\cos\theta}{2t_a}t^2\right)^2 + \left(\frac{\sin\theta}{2t_a}t^2\right)^2} \quad (9)$$

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{2}}{8}t_a v_\varepsilon \sqrt{1 - \cos\theta} \left(at, t = t_p = \frac{1}{2}t_a\right)$$

따라서 임의의 각으로 가공경로가 변할 때의 가공 속도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$v_\varepsilon = 4\sqrt{2} \frac{\varepsilon}{t_a \sqrt{1 - \cos\theta}} \quad (10)$$

3.3 일반적인 최대 허용 속도

Fig. 6 (a)와 같이 2차원 평면에서 일반적인 가공경로는 하나의 축을 기준으로 들어오는 방향(ϕ)과 나가는 방향(θ)으로 표현이 가능하다. 이때, 각 축의 속도 프로파일은 Fig. 6 (b)와 같으며, 각 축의 위치방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$d_1 = \frac{v_\varepsilon \cos(-\phi)}{2t_a}t^2 + v_\varepsilon \cos(-\phi)t - \frac{1}{2}v_\varepsilon \cos(-\phi)t_a + \frac{v_\varepsilon \cos\theta}{2t_a}t^2 \quad (11)$$

$$d_2 = -\frac{v_\varepsilon \sin(-\phi)}{2t_a}t^2 + v_\varepsilon \sin(-\phi)t - \frac{1}{2}v_\varepsilon \sin(-\phi)t_a + \frac{v_\varepsilon \sin\theta}{2t_a}t^2 \quad (12)$$

이 위치방정식을 식 (3)에 적용하면, 가공오차는 다음과 같다.

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{2}}{8} t_a v_\varepsilon \sqrt{1 - \cos(\phi + \theta)} \quad (13)$$

위 식에서 가공속도를 구하는 식은 다음과 같이 표현된다.

$$v_\varepsilon = 4\sqrt{2} \frac{\varepsilon}{t_a \sqrt{1 - \cos(\phi + \theta)}} \quad (14)$$

but, $(-\phi \neq \theta)$

또한, Fig. 7에서처럼 식 (14)는 앞에서 구한 식 (10)과 유사함을 확인 할 수 있다. 모든 2차원 평면상의 방향변화는 구동축과 무관하게 기존 블록의 이송방향에서 변하는 방향의 크기에 따라 그 오차량이 결정됨을 확인할 수 있다.

이와 같은 방법으로 Fig. 8 에서처럼 3차원 공간에서의 기존이송 방향에 대한 방향변화 또한 같은 식으로 표현할 수 있음을 확인할 수 있다.

한편, 식 (10)에서의 $\cos\theta$ 는 앞뒤 두 블록의 방향단위 벡터의 내적($\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$)으로써 계산과정의 편의에 따라 변환하여 사용할 수 있다.

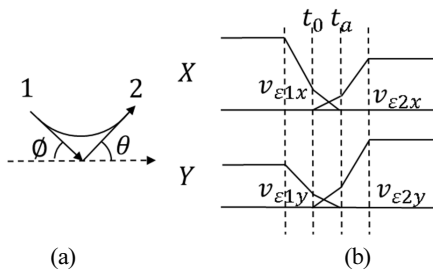


Fig. 6 General processing path and the velocity profile

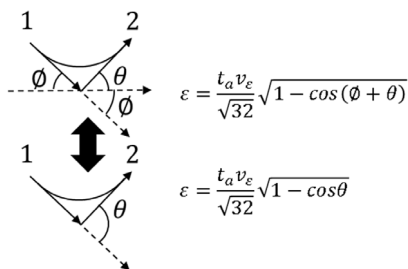


Fig. 7 Generalization of the direction change in the plane

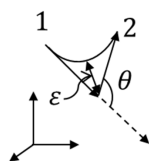


Fig. 8 Change of direction in three-dimensional space

$$v_\varepsilon = 4\sqrt{2} \frac{\varepsilon}{t_a \sqrt{1 - \mathbf{a} \cdot \mathbf{b}}} \quad (15)$$

$\xrightarrow{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \cos\theta} v_\varepsilon = 4\sqrt{2} \frac{\varepsilon}{t_a \sqrt{1 - \cos\theta}}$

4. S자형 가감속 프로파일의 경우 가공오차를 만족하는 최대허용속도

S자형 속도 프로파일의 경우 Fig. 9와 같은 속도프로파일을 가진다. 이 프로파일은 가속과 감속 구간 내에서 다시 증가속구간, 등가속구간, 감가속구간의 3가지 구간으로 나뉘게 되며 각각 다른 위치 방정식을 가지게 된다. 이 중 가속구간은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\left(0 < t < \frac{1}{3} t_a\right) d_{a1} = \frac{3v_\varepsilon t^3}{4t_a^2} \quad (16)$$

$$\left(\frac{1}{3} t_a < t < \frac{2}{3} t_a\right) d_{a2} = \frac{3v_\varepsilon t^2}{4t_a} - \frac{1}{4} v_\varepsilon t + \frac{1}{36} v_\varepsilon t_a \quad (17)$$

$$\left(\frac{2}{3} t_a < t < t_a\right) d_{a3} = -\frac{3v_\varepsilon t^3}{4t_a^2} + \frac{9v_\varepsilon t^2}{4t_a} - \frac{5}{4} v_\varepsilon t + \frac{9}{36} v_\varepsilon t_a \quad (18)$$

이때, 가공오차가 최대가 되는 시간은 $t=1/2 t_a$ 일 때이며, 이는 정가속 구간($1/3 t_a < t < 2/3 t_a$)에 해당한다. 여기서 방향변화를 고려하여 S자형 가속과 감속 프로파일의 정가속 구간 위치방정식은 식 (17)을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

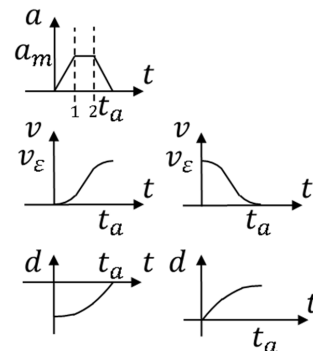


Fig. 9 Acceleration, velocity, and displacement profiles of S-type

$$d_1 = \frac{3v_\varepsilon}{4t_a}t^2 - \frac{1}{4}v_\varepsilon t + \frac{1}{36}v_\varepsilon t_a + \frac{3v_\varepsilon \cos\theta}{4t_a}t^2 - \frac{5}{4}v_\varepsilon \cos\theta t + \frac{19}{36}v_\varepsilon \sin\theta t_a \quad (19)$$

$$d_2 = \frac{3v_\varepsilon \sin\theta}{4t_a}t^2 - \frac{5}{4}v_\varepsilon \sin\theta t + \frac{19}{36}v_\varepsilon \sin\theta t_a \quad (20)$$

선형 가감속 프로파일과 같은 방법으로 이 위치방정식을 이용하여 가공오차를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\varepsilon = \sqrt{(d_1(v_\varepsilon, t_a))^2 + (d_2(v_\varepsilon, t_a))^2} \quad (21)$$

$$\varepsilon = \frac{13\sqrt{2}}{144}v_\varepsilon t_a \sqrt{1 - a \cdot b}$$

이 식으로부터 S형 가감속 프로파일에서 가공오차에 따른 가공 속도는 다음과 같다.

$$v_\varepsilon = \frac{72\sqrt{2}}{13} \frac{\varepsilon}{t_a \sqrt{1 - a \cdot b}} \quad (22)$$

5. 실험을 통한 오차 분석

지금까지 설명한 이론을 바탕으로 실제 가공오차를 FANUC사의 30i제어가 장착된 3축 머시닝 센터를 이용하여 2D형상 가공으로 확인한다. 실험에서 사용한 이송속도는 5000 mm/min와 1000 mm/min, 100 mm/min 로 설정하였고, 이송경로는 Fig. 10 과 같이 120도와 135도, 150도, 90도 등의 방향변화가 있는 경우를 고려하여 비교한다. 그리고 가감속 구간의 시간은 48 ms의 동일한 조건으로 실험하였다.

Fig. 11는 선형프로파일 모드로 F100와 F1000, F5000로 가공하였을 때의 가공형상과 전체 F5000로 가공하면서 각 방향변화에 따라 허용오차 10 μm를 만족하는 이송속도를 적용하여 실험을 진행하였다.

Fig. 12과 같이 지령 가공경로와 실제 가공경로 사이의 최대오차 거리를 측정하여 Table 1의 실험값을 구하였으며, 실험값과 각 이송속도에서의 예측값과의 차이는 0.1~0.9 μm이다. NC장비의 분해능 1 μm를 고려하면 매우 정밀한 예측이 가능함을 확인 할 수 있다.

Table 2는 여러 방향변화에 따라 가공오차 10 μm를 만족하는 이송속도를 적용한 실험이다. 각 조건에서의 예측값과 실험값의 오차는 0.2~0.9 μm로 역시 정확한 예측이 가능함을 확인하였다.

이로써 원하는 가공오차를 만족하는 가공을 위하여 일반가공에서의 적정 이송속도 결정과 고속가공에서의 속도 제한 값을 보다 정밀하고 유효한 설정이 가능함을 확인 하였다.

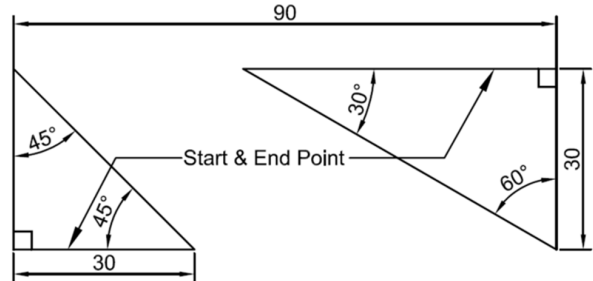


Fig. 10 Processing path in the direction of change.

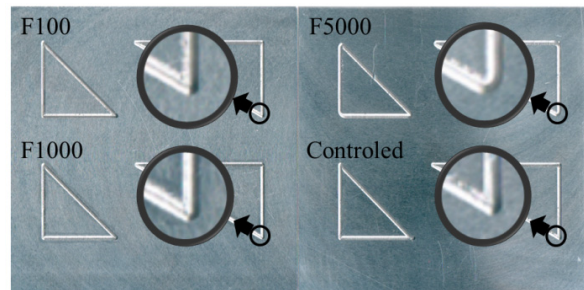


Fig. 11 Test Results of machining error of NC device

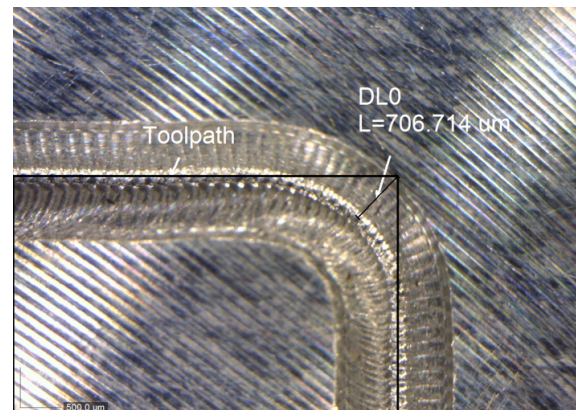


Fig. 12 Machining error at direction change area taken by a microscope

Table 1 Compare prediction error to machining error

	Change of direction	90°	120°	135°	150°
F5000	Prediction error	707.1	866.0	923.9	965.9
	Machining error	706.7	865.2	923.8	965.0
F1000	Prediction error	141.4	173.2	184.8	193.2
	Machining error	140.8	173.5	183.9	194.1
F100	Prediction error	14.1	17.3	18.5	19.3
	Machining error	13.5	16.9	18.0	19.1

Table 2 The optimum feedrate obtained by tolerance and the angle

Tolerance	Change of direction [degree]	Feedrate [mm/min]	Test error
10	90	70.711	9.7
	120	57.735	9.1
	135	54.120	9.8
	150	51.764	10.2

6. 결론

본 연구는 NC가공을 할 때 방향이 급격히 변하는 부분에서 발생하는 1~1000 μm 오차를 효율적으로 예측하고, 허용오차를 만족하기 위한 이송속도를 조정하는 방법을 제안하였다. 검증에 위한 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) NC장비의 경우 장비구동방식과 구동축의 특성에 의하여 가공 방향이 변하는 경우 오차가 발생한다. 이를 기존에는 숙련된 조작자의 경험으로 최소이송속도를 결정하였고 이로 인해 방향이 변하는 크기에 따라 일정한 오차를 유지할 수 없었다.
- (2) 따라서, 장비의 방향변화 크기에 따라 오차를 원하는 양으로 조절하기 위한 이송속도를 결정하는 방법을 제안하였고, 이 이송속도를 방향이 변하는 지령 사이에 적용하고 실제 가공 오차를 통하여 검증하였다.
- (3) 각 이송속도와 방향변화에 대한 예측 오차 값은 실제 오차와 0.1~0.9 μm 의 차이가 있으며, 일정한 가공 오차를 위하여 이송속도를 조절한 경우 0.2~0.9 μm 의 오차를 가진다. 이는 장비의 분해능 1 μm 수준 이하의 오차로 정확한 예측이 되었음을 확인하였다.
- (4) 가장 기본적인 선형 속도프로파일로 그 적용 방법을 나타내고, 유사한 방법으로 기타 다른 속도프로파일의 적용 가능성을 S형 속도프로파일을 이용하여 설명하였다.

이처럼 지금까지 정립되지 않았던 오차의 발생원인을 분석함으로써, 기존 감각적인 이송속도의 적용이 아닌, 가공상황에 따른 정확한 예측이 가능하며 이를 제안된 식을 통하여 허용오차를 만족하는 이송속도를 구하여 적용하여 보다 정밀한 가공이 가능하다.

References

- [1] Rahou, M., Cheikh, A., Sebaa, F., 2009, Real Time Compensation of Machining Errors for Machine Tools NC based on Systematic Dispersion, World Academy of Science, Engineering and Technology. 32 10-16.
- [2] Ye, P., Shi, C., Yang, K., Lv Q., 2008, Interpolation of continuous micro line segment trajectories based on look-ahead algorithm in high-speed machining, Int J Adv Manuf Technol. 37 881-897.
- [3] Luo, F. Y., Zhou, Y. F., Yin, J., 2007, A universal velocity profile generation approach for high-speed machining of small line segments with look-ahead, Int J Adv Manuf Technol. 35 505-518.
- [4] Hu, J., Xiao, L., Wang, Y., Wu, Z., 2006, An Optimal Feedrate Model and Solution Algorithm for a High-Speed Machine of Small Line Blocks with Look-Ahead, Int J Adv Manuf Technol. 28 930-935.
- [5] Park, D. G., Lee, E. S., 2006, Volumetric Error Calibration of NC Machine Tools using a Hole-Plate Artifact, Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers. 15:1 1-7.
- [6] Qiu, H., Li, Y. B., Li, Y., 2001, A new method and device for motion accuracy measurement of NC machine tools Part : 2 device error identification and trajectory measurement of general planar motions, International Journal of Machine Tools & Manufacture. 41 535-554.
- [7] Tsai, M.C., Cheng, M.Y., Lin, K.F., Tsai, N.C., 2005, On Acceleration-Deceleration Before Interpolation for CNC Motion Control, International Conference on Mechatronics. 382-387.
- [8] Lee, D.Y., Kim, H.C., Yang, M.Y., Choi, I.H., 2004, High speed machining using a NURBS interpolator, Proceeding of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers Spring Conference. 323-328.
- [9] Lee, H.G., Yoo, S.M., Park, H.S., Roh, D. H., 2006, A study on the prediction of NC Machine Roundness using Neural Network, Proceeding of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers Spring Conference. 403-408.
- [10] Jung, Y. H., So, B. S., Yeo, K. D., 2006 5-axis Machining Time Estimation based on Machine Characteristics Proceeding of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers Spring Conference. 208-214.

- [11] Jeon, E.C., Lee, S.Y., Lee, W.H., Kim, D. H., Chun, J. D., 2011 A Study on the Improvement of Productivity and Surface Roughness in Mold Machining using the Optimization of Cutting Force Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers. 20:6 824-829.
- [12] Kim, Y.S., Kim, J.Y., Song, I.S., Kwac, L.K., Jung, J.P., Han, J.H., 2002 The Organization of Measuring Systems of Linear Cycle Plane Positioning Accuracy on NC Lathes Proceeding of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers Autumn Conference. 387-392
- [13] Rew, K. H., 2005, Comparison Study on Various Motor Profiles, The Journal of Research Institute for Engineering & Technology. 24 101-111.
- [14] FANUC n.d., PARAMETER MANUAL, FANUC Series 30i