

# 절삭력 모델 기반의 소프트웨어를 이용한 선삭가공최적화

안광우\*, 전언찬\*\*, 김태호\*\*\*,#

\*동아대학교 기계공학과 대학원, \*\*동아대학교 기계공학과, \*\*\*티엔에스머시닝

## Turning Machining Optimization using Software Based on Cutting Force Model

Kwang-Woo Ahn\*, Eon-Chan Jeon\*\*, Tae-Ho Kim\*\*\*,#

\*Graduate of School of Dong-A UNIV, \*\* Department of Mechanical Engineering, Dong-A UNIV.,

\*\*\*T&S Machining Co.

(Received 16 July 2015; received in revised form 11 August 2015; accepted 20 August 2015)

### ABSTRACT

Increased productivity and cost reduction have emerged as the main goals of the industry due to the development of the machinery industry, and mechanical materials with excellent properties with the development of the machine tool industry are widely used in machine parts or structures.

In addition, the cutting process of production plays a pivotal role in the production technology. Studies on cutting have involved a lot of research on the material, the cutting tool, the processing conditions, and numerical analysis. Due to the development of the computer through numerical analysis, cutting conditions, the assessment of cutting performance, and cutting quality could be predicted. This research uses the creation of the material model and AdvantEdge Production module for the NC code analysis. To improve the productivity, this research employs the optimization method to reduce cutting time.

**Key Words** : Turning(선삭), Cutting Force(절삭력), Cycle Reduction Simulation(사이클 단축 시뮬레이션)  
NC Code Optimization(NC 코드 최적화), Virtual Machining(가상가공)

### 1. 서 론

기계공업의 발달로 인하여 생산성 향상 및 원가절감이 산업체의 주요목표로 대두 되고 있으며, 공작기계 공업의 발달과 더불어 우수한 기계적 성질을 갖는 기계재료들이 기계 부품이나 구조물에 많이 사용되고 있다. 그리고 제품생산에 있어서 절삭가공은 생산기술의 중추적인 역할을 하고 있다.<sup>1)</sup>

기존의 절삭관련 연구는 크게 재료, 공구, 가공 조건, 수치해석에 대하여 활발하게 이루어져 왔다. 그중에서도 절삭가공분야에도 컴퓨터의 발달로 수치해석이 활발하게 이루어지고 있으며, 절삭 조건, 절삭성 평가 및 절삭품질 등을 미리 예측할 수 있게 되었다.<sup>2)5)</sup> 가공조건선정의 연구논문은 대부분 주요인자를 파악하기 위하여 가공실험을 수행하였으며, 시간과 비용을 줄이기 위해서 다구찌방법, 요인배치법, 반응표면법 같은 실험계획법을 사용하여 비교분석하여 조건선정을 하였다.<sup>6)8)</sup>

# Corresponding Author : [kth0110@gmail.com](mailto:kth0110@gmail.com)

Tel:+82-51-201-4078 , Fax:+82-51-201-4041

하지만 국내에서는 NC code 전체 최적화에 대한 연구는 절삭력 모델을 기초로 엔드밀에 대한 연구에 국한되어 있으며<sup>9)</sup> 국내에서 사용되는 NC code 최적화는 소재제거율을 일정하게 유지하기 위하여 칩제거단면적에 따라 이송속도를 변화시킴으로써 가공의 최적화를 수행하고 있다. 본 연구에서 사용한 AdvantEdge Production module은 다양한 기준으로 최적화를 수행한다. 소재제거율이 아닌 Tangential force, axial force radial force, 공작기계의 power 등 다양한 기준으로 최적화를 수행할 수 있는 특징이 있다.<sup>12)</sup>

본 연구에서는 NC code 분석을 위한 물성모델 생성 및 AdvantEdge Production module을 이용하여 분석한 절삭력 중 Tangential force를 기준으로 최적화를 수행하여 절삭시간을 단축시켜 생산성을 향상 시키는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 가공공정 분석

본 연구에서는 선박에서 사용되는 배선용 자동 차단기 내부에 들어가는 커넥터를 시편으로 사용하였다. 재료는 동을 사용하였으며 환봉을 이용하여 재료를 가공하여 완성한다. Fig. 1은 가공공정 분석을 위한 제품의 형상으로 a)는 외부형상으로

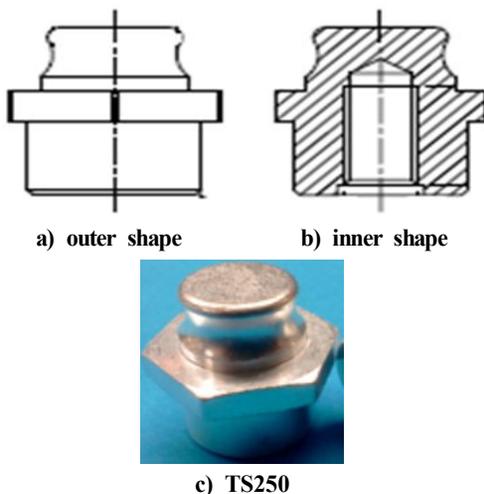


Fig. 1 Machining shape for process analysis

Table 1 Tool number for manufacturing

No.	가공	모델명
1	절단	GDM 2020 N-020PM RR1225
2	외경	DCGM 11T 302 HPD020
3	드릴	N01ø5.5
5	엔드밀	초경 7.0

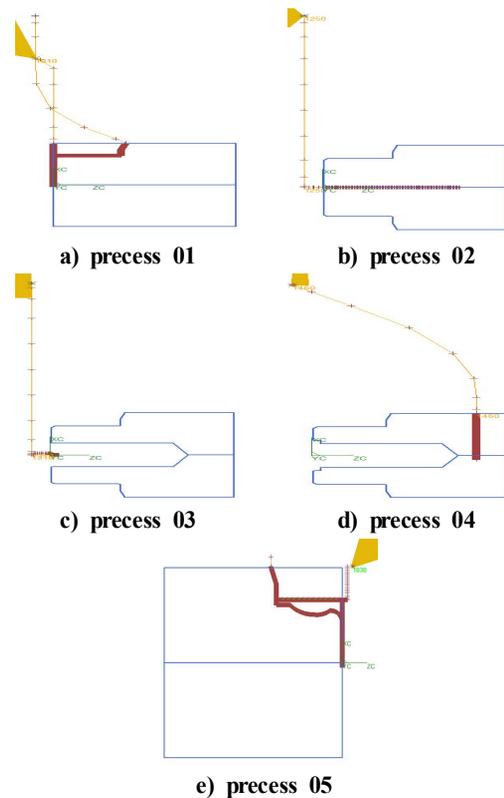


Fig. 2 Toolpath analysis of each process

주로 바이트에 의한 외부 가공이 이루어지고 있으며 b)는 내부의 형상으로 드릴링과 카운터 보링 그리고 나사절삭가공으로 제품을 완성한다. c)는 가공 후 커넥터의 최종형상을 나타내었다.

본 연구에서는 나사가공을 제외한 5개의 공정으로 제품을 가공하였으며 4개의 공구를 사용하였다. Table 1은 공구별 가공방법과 공구 모델을 나타내었다. Fig. 2는 각 공정별 가공경로를 나타내었다. 외부 형상가공은 공정 1번a)과 공정 5번e)으

로 2번 공구를 사용하였으며 내부 드릴링은 2번 공정b)을 3번 공구를 사용하여 가공하였다. 공정 4번c)은 5번 공구를 사용하여 카운터 보링 가공을 수행하였으며, 공정 4d)는 공구 1을 이용하여 절단작업을 수행하는 공정을 이루고 있다.

### 3. AdvantEdge Production module에 적용할 물성 모델 생성

AdvantEdge Production module에서는 물성 모델을 생성하기 위하여 식1)과 2)의 관계식을 사용한다.  $K_n$ 은 normal pressures를 나타내고 있으며  $K_f$ 는 frictional pressures를 나타내고 있다.  $A$ ,  $B$ ,  $C$  는 constant,  $t$ 는 average uncut chip thickness,  $V$ 는 cutting speed,  $\alpha$ 는 rake angle를 나타내고 있다. 상수값을 구하기 위하여 feedrate, cutting speed, side rake angle, back rake angle 등 4가지 인자를 선택적으로 설정하고 각 요인에 대한 설정을 3가지 조건으로 설정할 수 있다. 설정된 조건에 의하여 절삭 실험 또는 AdvantEdge FEM을 통하여 각 조건의 절삭력을 획득하여 최종 물성모형을 완성할 수 있다. 본 연구에서는 feedrate를 0.1mm/rev과 0.5mm/rev 2조건으로 cutting speed는 100m/min과 500m/min 2조건, 마지막으로 rake angle은 0°와 6° 2조건으로 조합하여 8가지 조건을 선정하였으며 이를 Table 2에 나타내었다.

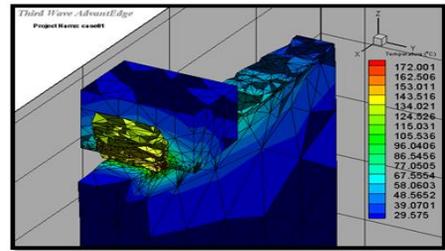
$$K_n = BC_1 \times t^{B_1} \times V^{A_1} \times [1 - \sin\alpha]^{C_1} \quad \dots\dots\dots 1)$$

$$K_f = BC_2 \times t^{B_2} \times V^{A_2} \times [1 - \sin\alpha]^{C_2} \quad \dots\dots\dots 2)$$

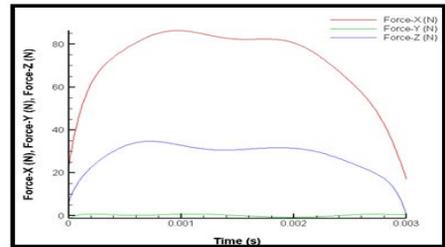
상수값을 구하기 위하여 8가지 조건으로 AdvantEdge FEM을 이용하여 절삭력을 분석하였으며 case 1의 결과를 Fig.3에 나타내었다. a)는 case 1번의 절삭조건에 따른 가공 후 형상을 나타내었으며, b)는 X axis force는 주분력, Y axis force는 배분력, Z axis force는 이송분력으로 각 축방향에 나타나는 절삭력을 그래프로 나타내었다.

**Table 2 Simulation conditions for cutting force model**

case	condition		
	feedrate (mm/rev)	cutting speed (m/min)	side rake angle ( ° )
1	0.1	100	0
2	0.1	100	0.6
3	0.1	500	0
4	0.1	500	0.6
5	0.5	100	0
6	0.5	100	0.6
7	0.5	500	0
8	0.5	500	0.6



a) shape of case 01



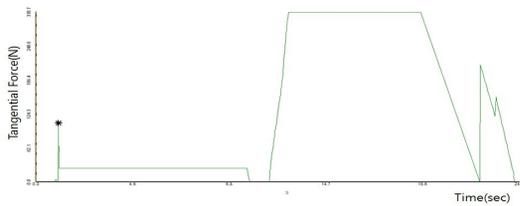
b) force of case 01

**Fig.3 Cutting force analysis of each axis using AE FEM (case 1)**

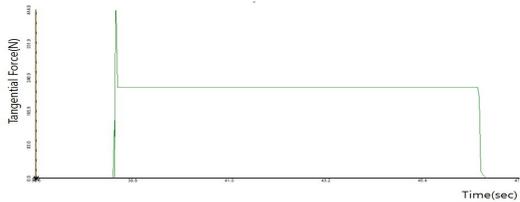
Table 3은 각 조건에 따른 절삭력을 나타낸 것으로 6번과 8번 조건의 (-)값은 방향성을 나타내고 있다. 8가지 조건을 이용하여 획득한 상수값은  $BC_1$ 는 1407.4478,  $A_1$ 는 0.1742,  $B_1$ 는 0.4385,  $C_1$ 은 -3.4896,  $BC_2$ 는 0.059,  $A_2$ 는 -0.0981,  $B_2$ 는 -1.1005,  $C_2$ 은 0.2043을 획득할 수 있었다.

**Table 3 Cutting force of each condition**

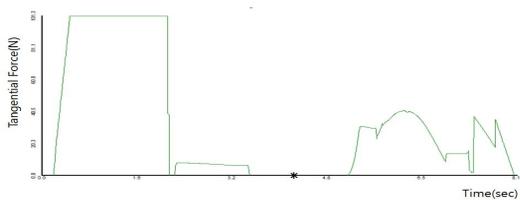
case	condition		
	X axis force (N)	Y axis force (N)	Z axis force (N)
1	86.286	0.744	32.840
2	79.453	1.000	26.346
3	83.483	0.157	34.204
4	77.025	0.380	28.509
5	409.726	7.155	37.096
6	881.601	-0.309	-14.238
7	650.358	6.890	48.675
8	1816.920	10.089	-102.165



a) tangential force of process 01



b) tangential force of process 04

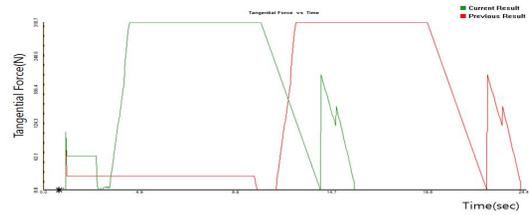


c) tangential force of process 05

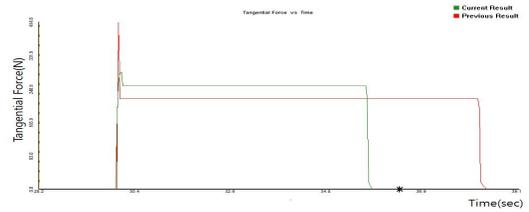
**Fig. 4 Tangential force model analysis of each process**

**Table 4 Saving time of process after optimization**

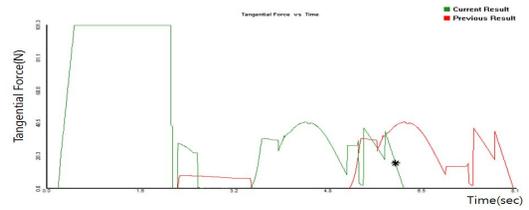
	before of optimization (sec)	after of optimization (sec)	saving time (sec)
process 01	24	16	8
process 04	11	7.2	3.8
process 05	8.1	6.1	2



a) tangential force of process 01



b) tangential force of process 04



c) tangential force of process 05

**Fig. 5 Optimization Force model analysis of each process**

#### 4. AdvantEdgeProduction module을 이용한 NC code 절삭력 분석 및 최적화

본 연구에서 사용된 AdvantEdge Production Module 은 가공장비와 NC데이터로 가공시간, 소재제거율, 축방향 절삭력 분포, 공구부하 등 가공에서 발생하는 데이터를 분석하여 절삭력 및 장비의 가공 상태를 최적화함으로써 장비 사용의 효율성을 극대화하여 생산성 향상, 생산비용 절감 및 균일한 제품의 정도를 구현할 수 있다.

Fig. 4는 전체 공정에서 가장 많은 부분을 차지하는 외경가공을 중심으로 분석을 수행하였으며 a)는 면취가공과 외경가공 2가지 가공이 진행되며

가공시간은 24초가 걸리는 것을 확인할 수 있었다. 면취가공에서 발생하는 피크는 가공 진입시 발생하는 것으로 가공시 발생하는 열연화현상이 일어나기 전에 발생하여 열연화현상이 진행되면 안정화된다. 진입시 107N의 절삭력이 발생하였다가 안정화되면서 25N의 절삭력으로 안정화되고

있으며 외경가공에서는 면취가공으로 인하여 절입시 발생하는 피크가 발생하지 않았으며 최대 310N의 힘이 발생하는 것을 확인하였다. b)는 파이프에서 제품을 제거하는 절단가공으로 11초의 가공시간이 걸리는 것을 확인할 수 있었다. 면취와 동일하게 414N의 피크치가 발생하고 224N의 절삭력으로 안정화되는 것을 확인할 수 있었다. c)는 외경, 면취, 그리고 프로파일 세 가지 가공으로 이루어지고 있으며 8.1초의 가공시간이 걸리는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 프로파일 가공에서는 최대 41N의 힘이 발생하였으며 프로파일로 인한 절입량 변화에 따라 절삭력의 변화가 생기는 것을 확인할 수 있었다.

AdvantEdge Production module의 2차원 NC code 최적화는 Tangential force, Radial force, Axial force, Load per unit length, Spindle power 등 5가지 중 하나의 조건을 선정하여 최적화를 수행하였다.

본 연구에서는 전체 5가지 공정에서 공정 01, 04, 05의 세 가지 공정을 tangential force를 기준으로 최적화를 수행하였다. 공구 2번을 이용한 공정 01은 최소 70N, 최대 400N의 조건으로, 공구 1번을 이용한 공정 04는 최대 291N, 공구 2번을 이용한 공정 05는 최소 30N, 최대 130N을 기준으로 최적화를 수행하여 기존 가공시간과 tangential force를 비교한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Table 4는 최적화 후 각 공정의 단축가공시간을 나타내고 있다. 공정 01은 총 가공시간이 24초에서 16초로 8초가 단축되었으며, 공정 02는 11초에서 7.2초로 3.8초가 단축되었다. 그리고 공정 05는 8.1초에서 6.1초로 2초 단축되었으며 세 가지 공정시간은 43.1초에서 31.3초로 11.8초(28%)의 가공시간을 단축시킬 수 있었다.

## 5. 결론

NC code 분석을 위한 물성모델 생성 및 AdvantEdge Production module을 이용한 최적화를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. NC code 전체공정에 대한 절삭력 분석을 통하여 가공시 발생하는 공구 부하의 정도를 파악할 수 있었으며 최적화에 적용할 수 있었다.
2.  $K_n$  과  $K_f$  관계식을 완성하기 위하여 8가지 가공조건을 하였으며 이를 AdvantEdge FEM을 이용하여 절삭력을 분석 AdvantEdge Production Module에서 사용할 수 있는 물성모델을 완성하였다.
3. 최적화 전 공정 01에서 05까지 가공시간은 55.5초가 걸렸으나 절삭력을 기준으로 최적화 후 13.8초가 단축된 41.7초로 전체 가공시간을 14.7%를 단축시켰으며 최적화 공정을 수행한 공정 시간은 43.1초에서 31.3초로 11.8초(28%)의 가공시간을 단축시켜 생산성을 향상 시켰다.

## REFERENCES

1. Hwang, B. C., Effects of the Cutting Condition on Tool Life and Surface Roughness in CNC Turning, A Thesis for a Master, Kyungpook University, 1993.
2. Özel, T. and Karpat, Y., "Identification of Constitutive Material Model Parameters for High-strain Rate Metal Cutting Conditions Using Evolutionary Computational Algorithms," Materials and Manufacturing Processes, Vol. 22, No. 5, pp. 659-667, 2007.
3. Shrot, A. and Bäker, M., "Determination of Johnson-Cook Parameter from Machining Simulation," Computational Material Science, Vol. 52 pp. 298-304, 2012.
4. Özel, T. and Zeren, E., "Determination of Work

- Material Flow Stress and Friction for FEA of Machining Using Orthogonal Cutting Tests," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 153-154, pp. 1019-1025, 2004.
5. Hwang, J., "Determination of Mechanical Properties of Materials Under Extreme Deformation Conditions Using 2-D Orthogonal Machining," Workshop of Ultra Micro Production Technology, 2013.
  6. Kim, Y. S. and Kwon, W. T., "Determination of Optimal Cutting Conditions in Milling Process using Multiple Design of Experiments Technique" The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 20, No. 3, pp. 232-238, 2011.
  7. Kwak, J. S., "Applcation of Taguchi and Prspose Surface Methodologied for Geometric Error in Surface Grinding Process" International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 45, No. 3, pp. 327-334, 2005.
  8. Hou, T. H., Su, c. H. and Liu. W. L., "Parameters Optimization of a Nano Particle Wet Milling Process using the Taguci Method Response Surface Method and Genetic Algorithm" Power Technology, Vol. 173, No. 3, pp. 153-162, 2007.
  9. Lee, H. U., Ko, J. H. and Cho, D. W., "NC Code Optimization Based on an Improved Cutting Force Model", Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, pp. 37-42, 2001.
  10. Kim, S. H., Cho, H. D. and Kim, T. H. "Cycle Reduction Simulation for Turning Process" Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 1, pp. 1-8, 2015.