

# 선삭 가공 부품의 생산 시간 분석 툴 개발

최진우<sup>1,†</sup>

한국폴리텍대학 스마트제조기계설계과<sup>1,†</sup>

## Development of an Analysis Tool for Production Time for Components Machined by Turning

Jin-Woo Choi<sup>1,†</sup>

Department of Smart Manufacturing Machine Design, Korea Polytechnics College<sup>1,†</sup>

(Received May 23, 2024 / Revised May 24, 2024 / Accepted June 30, 2024)

**Abstract:** In this study, a tool was developed for analyzing production lead time in turning operations. It is expected to help to reduce machining time and to identify, for example, tool change intervals. The tool was developed using Visual Basic.Net and features a user-friendly graphical user interface (GUI) that allows users to easily input cutting conditions and calculate the usage time and feeding distance for each cutting tool based on a G-code program. Object-oriented programming techniques were also used to encapsulate and classify complex logic, thereby efficiently organizing and managing the functions and data structures of this analysis tool. The analysis tool provides various outputs. It calculates the use time of each detailed process of the turning operation, the use time of each tool, the use time of each type of feeding, and also generates the data needed for cutting time analysis, which can be visualized in charts. The analysis tool developed in this study is expected to significantly contribute to improving the efficiency of manufacturing processes and increasing productivity, particularly, in the manufacturing of components requiring massive material removal, such as aircraft parts.

**Key Words:** Tool Development, Production lead time analysis, Turning operations, Visual Basic.Net, Object-oriented programming

### 1. 서론

선삭 가공은 회전하는 작업물의 외경이나 내경을 가공하거나 표면을 정밀하게 마무리하는 데 사용되는 중요한 제조 공정 중 하나이다. 이 공정은 절삭 공구가 회전하는 작업물의 표면을 절삭하면서 재료를 제거하여 원하는 형상이나 치수를 가진 부품을 만들어내는 방식으로 작동한다<sup>1)</sup>. 선삭 가공에서 사용되는 절삭 공구는 작업물의 형태와 가공 재료의 특성에 따라 다양한 종류가 있으며, 나사 가공, 홈 가공 등을 위한 특수한 절삭 공구들도 포함된다.

선삭 가공은 다양한 산업 분야에서 널리 사용되며, 대표적으로 자동차 산업, 항공우주 산업, 기계

제조 산업 등이 있다. 다양한 산업 분야에서 활용되는 선삭 가공은 부품의 정밀도와 품질을 유지하는 동시에 생산성을 높이는 데 중요한 역할을 한다. 따라서 선삭 가공 기술은 현대 제조 산업에서 필수적인 기술로 인식되며, 지속적인 기술 개발과 최적화가 필요하다.

대량의 소재를 제거해야 하는 부품은 예를 들어 Fig. 1 (a)와 (b)에서 보는 것처럼 항공기 착륙 장치의 스트러트와 같은 긴 튜브 형태의 제품과 사출 금형 등이 여기에 해당하며, 가공 시간이 많이 소요됨으로 가공 시간을 최소화하기 위해 절삭 조건의 최적화가 필수적이다. 절삭 속도와 이송 속도와 같은 최적의 절삭 파라미터를 찾는 것은 고품질을 유지하면서 생산 시간을 단축하는 데 핵심적인 요소입니다. 또한, 가공 시간을 절감하기 위해 효율적인 절삭 전략과 도구 사용의 최적화를 통해 전체 생산 공정을 더욱 신속하게 완료할 수 있다.

<sup>†</sup> 교신저자: jinwochoi@kopo.ac.kr

\* 본 논문에 대한 저작권은 저자들에게 있으며 CC BY-NC-SA를 만족하는 조건으로 이용할 수 있습니다.

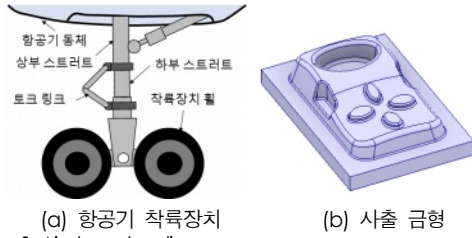


Fig. 1 Airplane landing gear

컴퓨터 수치 제어(CNC, Computer Numeric Control)를 사용하는 CNC선반은 원통가공, 절단, 홈가공, 드릴링과 같은 다양한 공정을 통해 공작물을 원하는 형상으로 가공한다. 이러한 공정에는 각기 다른 공구가 사용되며, 공구 수명을 파악하기 위해서는 각 공구의 사용량을 추정할 필요가 있다. 이를 통해서 공구 교체 시기를 미리 파악하여 제품 불량을 예방할 수 있다.

CNC(Computer-Numeric Control) 공작기계의 이송축 성능은 운동 물성치에 의해 결정된다. 운동 물성치에는 저크(Jerk), 가속도, 속도가 포함된다. 이송거리가 주어지면, 저크, 가속도, 속도에 따라 이송거리 프로파일이 생성된다. 따라서 이송 시간 또는 가공 이송 시간을 최소화하기 위해서는 운동 물성치를 바탕으로 이송 시간을 정확히 추정할 필요가 있다.

본 연구에서 선삭 가공의 생산 소요시간 분석을 위한 툴을 개발하였다. 절삭에 대한 연구는 많이 진행되어 왔지만<sup>2,3)</sup>, 가공 시간에 대한 연구는 상대적으로 부족하며<sup>4,5)</sup>, 분석 툴에 관한 연구도 필요하다.

대량 생산 공작물의 생산성을 향상시키기 위해 전체 가공 소요시간을 분석하고, 이를 바탕으로 생산 시간을 줄여 생산성 향상을 추구하여야 한다. 또한, 공구 수명 예측을 위한 공구 사용량 확인이 필요하며, 이를 통해 보다 효율적인 가공 공정을 설계할 수 있다. 본 연구는 이러한 목표를 달성하기 위한 실질적인 해결책을 제공하며, 제조 산업에서의 선삭 가공 공정의 최적화에 기여하고자 한다.

본 분석 툴을 위해서 사용자 친화적인 그래픽 유저 인터페이스 (GUI)가 개발되었으며, 사용자는 이 GUI를 통해서 툴과 상호 작용할 수 있다. GUI는 크게 운동 물성치 입력, G코드 프로그램 입력, 그리고 일련의 생산 단위 (Production lot)에 대한 소요시간 (Lead time, 리드 타임) 계산과 차트 생성으로 구성되어 있다. 본 툴은 G코드 프로그램을 기반으로 가

공 시간을 계산하고, 절삭 공구 사용 시간과 각 세부 공정별 시간도 계산한다. 이를 통해서 사용자는 생산 스케줄 관리가 가능할 것으로 기대한다.

## 2. 생산 소요시간 해석 툴 개발

본 분석 툴은 그래픽 유저 인터페이스(GUI) 제작을 용이하게 해주는 컴퓨터 언어인 Visual Basic.Net (VB.Net)<sup>6)</sup>으로 개발되었으며, 또한, 객체지향 프로그래밍(OOP) 기법을 사용하였다. OOP는 복잡한 로직을 객체화하고 캡슐화하여 쉽게 관리하고 이해할 수 있도록 도와준다. VB.Net과 OOP를 활용함으로써, 본 분석 툴의 기능과 데이터 구조를 효율적으로 조직화하고 관리할 수 있다.

### 2.1. 운동 물성치

Fig. 2는 운동 물성치 입력을 위한 GUI를 보여준다. 사용자는 이 GUI를 통해서 각 축에 대한 저크, 한계 가속도, 한계 속도를 정의할 수 있다. 저크를 적분하여 가속도를 구하고, 가속도로부터 속도를 구하고, 그리고, 속도로부터 이송 거리를 구할 수 있다<sup>7)</sup>. 본 분석 툴은 이송 거리와 속도를 이용하여 이송 시간을 계산하게 된다.

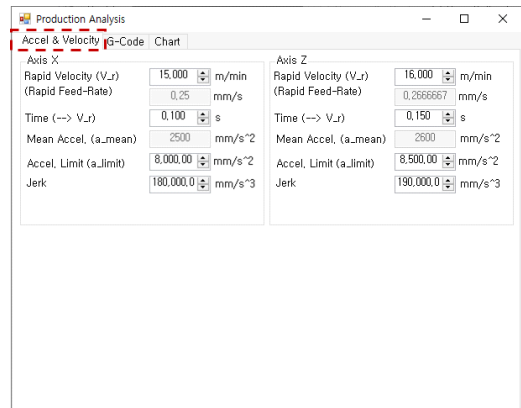


Fig. 2 GUI for motion properties

### 2.2. G코드 프로그램

Fig. 3는 선삭 가공 G코드 프로그램을 입력할 수 있도록 도와주는 GUI를 보여준다. G코드는 공작물의 가공 경로, 절삭 공구의 이동, 속도, 공구 교환, 가공 조건 등을 명령어 형식으로 지정한다. 사용자는 G코드 프로그램 작성 시, 가공 공정의 세부 과정

(Process)를 ‘CutProcName’을 이용하여 입력할 수 있다. 예를 들어, 황삭 과정, 흠 절삭 과정 등의 이름을 사용하여 결과 데이터 정리에 활용할 수 있다. 만약 세부 과정을 입력하지 않으면, 기본적으로 ‘Certain\_Process’가 사용된다. 이것을 활용하여 세부 과정 내의 공구 사용 시간 등을 정리할 수 있다.

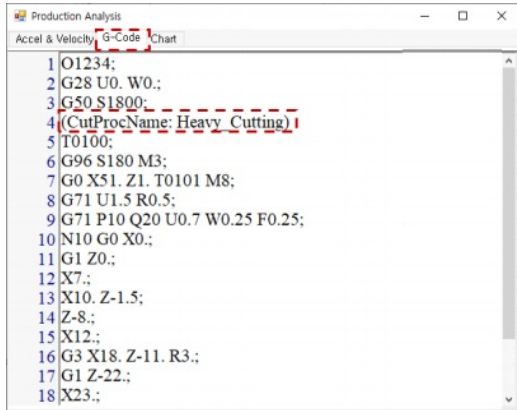


Fig. 3 GUI for a G-Code program

### 2.3. 생산 소요시간

Fig. 4는 일련의 생산 단위(Production lot)에 대한 생산소요시간(lead time)을 계산하고 그것의 결과를 보여주기 위한 GUI를 나타낸다. 생산소요시간(lead time)은 제조 공정에서 특정 작업이나 제품이 시작되어 완료되기까지의 총 시간을 의미하지만, 본 연구에서는 공작물 교체와 툴 교환 시간만을 이용하여 생산소요시간을 계산하며, 이것은 생산 효율성을 평가하고 개선하는 데 중요한 지표로 사용된다.

본 연구에서 생산소요시간을 계산하기 위해서 공구 교환 시간, 공작물 교환 시간, 부품 수량을 사용한다. 분석의 결과 중에서 가공 시간을 차트로 보여주기 위해서 공구번호와 G코드, 가공의 세부 과정과 G코드, 세부 과정과 공구번호 이렇게 세 가지 차트를 생성할 수 있다.

먼저 공구 번호와 G코드 차트는 각 G코드에서 각 공구의 사용 시간을 보여주며, 이를 통해 각 G코드에 대한 특정 공구의 사용량을 한눈에 파악할 수 있다. 그리고, 가공의 세부 과정과 G코드 차트는 각 세부 과정에서 각 G코드의 이송 시간을 보여주는 차트이며, 이를 통해 가공의 각 세부 과정의 각 G코드의 사용 시간을 명확히 이해할 수 있다. 마지막으로 세부 과정과 공구 번호 차트는 각 세부 과정에서

각 공구의 사용 시간을 보여주며, 이를 통해 세부 과정별 특정 공구의 사용량을 쉽게 알 수 있다. 이와 같은 차트를 통해 가공 과정의 세부 사항을 시각적으로 분석하고, 시간 효율성을 높이기 위한 데이터 기반의 결정을 내릴 수 있다.

또한 Fig. 4에 있는 GUI는 결과를 Fig. 5와 같이 텍스트 파일로 저장한다. 저장되는 결과는 가공 시간, 각 이송 유형별 총 가공 시간, 각 세부 과정별 가공 시간, 각 공구별 가공 시간, 그리고, 생산소요 시간(Production lead time)이다.

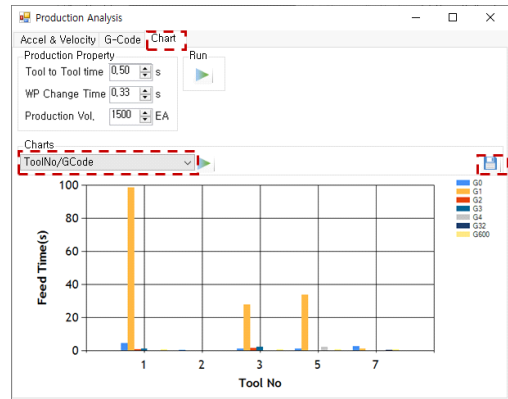


Fig. 4 GUI for production lot and charts

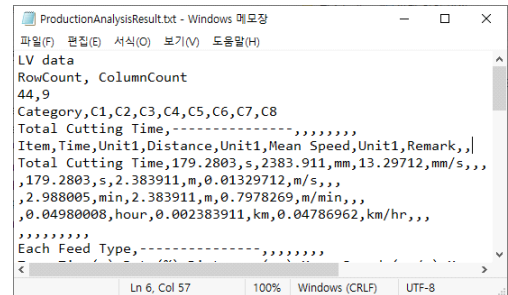


Fig. 5 Output data of production analysis

## 3. 분석 툴 활용

### 3.1. 공작물 및 가공조건

본 연구에서 개발된 분석 툴을 활용하여 선삭 가공의 소요시간을 평가하였다. Fig. 6은 선삭 가공 부품의 형상과 치수를 보여준다. 부품의 전체 길이는 100 mm이고, 외경은 50 mm입니다. 그리고, 흠의 폭은 5 mm이고 직경은 22 mm이다. 그리고, 나사의 크기는 M26이다.

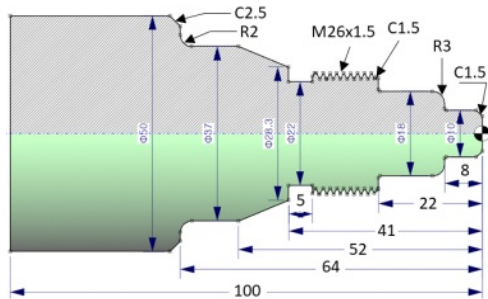


Fig. 6 Drawing of a part for turning

Table 1은 Fig. 6에 소개된 부품을 가공하기 위한 가공 조건을 보여준다. 가공 조건은 4개의 세부 과정(황삭, 정삭, 홈 가공, 나사 가공)으로 구성된다. 황삭은 1회 절입량 1.5 mm로 여러 번의 절삭이 필요하며, 정삭 작업은 표면 마감이 중요하므로 이송 속도 0.1 mm/rev로 작업을 수행한다. 홈 가공은 공구 폭 3 mm를 사용하여 2회 진행한다. 나사 가공은 M26 나사를 1.5 mm 피치로 4회 반복하여 절삭한다.

Table 1 Cutting condition for the turning

Cutting process type	Cutting condition	Value (Unit)
Profile rough cutting (Cyclic cutting)	1회 cutting depth	1.5 (mm)
	Retreat	0.5 (mm)
	Feed-rate	0.25 (mm/rev)
	Amount for finishing in X axis	0.3 (mm)
	Amount for finishing in Z axis	0.1 (mm)
Profile fine cutting	Feed-rate	0.1 (mm/rev)
	Tool No.	1
Groove cutting	Repetition count	2 (time)
	Tool No.	5
	Tool Width	3 (mm)
Thread cutting	Thread size	M26
	Pitch	1.5 (mm)
	Repetition count	4 (time)
	Tool No.	7

Fig. 7은 Fig. 6에 소개된 부품을 Table 1의 조건을

이용하여 가공할 때의 공구 경로를 보여준다. 황삭은 부품의 대략적인 형상 가공을 위하여 여러 번 수행하고 정삭은 부품의 모양 (프로파일)을 마무리하기 위한 가공이며, 홈가공과 정삭 가공이 끝난 후에 수행되며, 나사 가공은 홈 가공이 끝난 후에 마지막으로 수행한다.

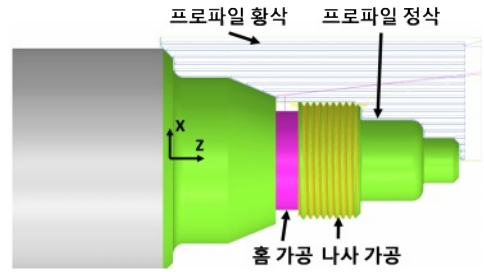


Fig. 7 Drawing of a part for turning

### 3.2. 가공 시간

본 연구에서 개발된 분석 틀은 여러 가지의 결과 데이터를 생성할 수 있다. Fig. 8과 9는 가공 시간 또는 이송 시간을 나타낸다. 일반적으로 G00은 급이송, G01은 직선 이송, G02는 시계방향 원호 이송, G03는 반시계방향 원호 이송, G04는 지연을 의미하며, G32는 나사 가공을 나타내며<sup>7)</sup>, 여기서, G600은 공구교환을 의미한다.

Fig. 8는 공구별 각 이송 종류에 대한 소요시간을 보여준다. 공구는 직선 이송(G01)에서 가장 많이 사용되고, 그 다음으로 급이송(G00)에서 많이 사용된다. 급이송 속도가 빠르기 때문에 같은 거리라도 급이송 시간이 절삭 이송 대비 훨씬 적게 소요된다. 황삭 과정이 제일 많으므로 공구 1번이 가장 많이 사용된다.

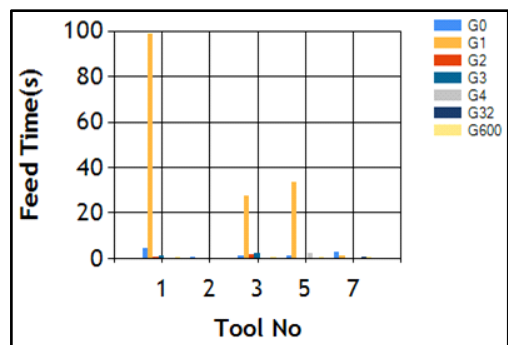


Fig. 8 Cutting time for tools and G code

Fig. 9는 각 세부 과정에 대한 각 이송 종류에 대한 소요시간을 나타내며, Fig. 8의 결과와 유사하다. 이는 각 세부과정에 대해서 1개의 공구만 사용되었기 때문이다.

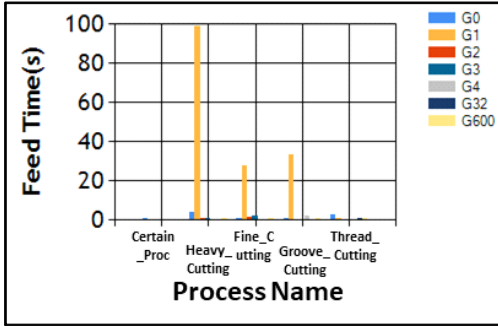


Fig. 9 Cutting time for processes and G code

Table 2는 공구 사용 시간, 비율 이송 거리를 보여 준다. 황삭용 1번 공구는 총 1,490 mm를 이송하였으며, 사용 시간은 105.1 s이며 비율은 전체의 58.6%에 해당한다. 이는 가장 많이 사용된 공구임으로 상대적으로 빠른 공구 교체가 필요할 것이다. 정삭용 3번 공구는 두 번째로 많이 사용된 공구로, 전체 시간의 18.0%를 차지하고 있다. 이송 거리는 비교적 짧다. 홈 가공용 5번 공구는 세 번째로 많이 사용된 공구로, 전체 시간의 20.6%를 차지하고 있다. 이송 거리는 짧지만 작업 시간이 긴 편입니다. 나사 가공용 7번 공구는 가장 적게 사용된 공구로, 전체 시간의 2.5%를 차지하고 있다. 사용 시간은 짧지만 이송 거리는 상대적으로 길어 특정 작업에 특화된 공구임을 나타낸다. 이 데이터를 기반으로 공구의 효율성을 평가하고, 필요한 경우 공구 사용 전략을 조정하여 가공 효율을 높일 수 있다.

Table 2 Time of tool use

Tool No.	Use time (s)	Rate (%)	Feeding distance (mm)
1	105.15	58.6	1,490.5
3	32.36	18.0	279.8
5	37.00	20.6	197.2
7	4.61	2.5	377.8

Table 3은 생산소요시간을 나타낸다. 1개 부품 가공에 필요한 시간은 179.2 s이며, 공작물 교환 시간을 1.2 s로 하면, 1,500개의 부품을 가공하는데 걸리는 시간은 총 75.2 hr이 된다. 이 시간은 생산 계획 및 자원 할당에 영향을 미치며, 향후 생산 과정의 최적화 및 효율성 향상을 위한 개선 기회를 제시할 것으로 기대된다.

Table 3 Production lead time

Item	Value (Unit)
Part count	1500 (parts)
Workpiece change time	1.2 (s)
Part cutting time	179.2 (s)
Production lead time	270,720 (s)
	75.2 (hour)

#### 4. 결론

본 연구에서는 선삭 가공의 생산소요시간 (Production lead time) 분석을 위한 툴을 개발하였다. 본 분석 툴을 활용하면 대량 생산 공정의 효율성을 높이기 위한 방안을 마련할 수 있을 것으로 기대한다. 이 분석 툴은 컴퓨터 언어인 VB.Net을 사용하여 개발되었으며, 객체지향 프로그래밍(OOP) 기법을 사용하여 복잡한 로직을 쉽게 관리하고 이해할 수 있도록 하였다.

사용자 친화적인 그래픽 유저 인터페이스(GUI)를 통해 사용자가 쉽게 가공 조건을 입력하고, G코드 프로그램을 기반으로 각 공구의 사용 시간과 이송 거리를 예측할 수 있도록 설계되었다. 이 분석 툴을 이용한 결과로서 공구 사용 시간과 이동 거리 데이터를 통해 가장 많이 사용되는 공구를 확인하였고, 따라서 빠른 교체가 필요한 것으로 판단된다. 그러므로 본 해석 툴을 통해 공구 교체 주기와 가공 전략을 최적화할 수 있는 방안을 마련할 수 있을 것으로 기대한다.

이 분석 툴을 활용하여 생산소요시간을 계산하였으며, 각 이송 종류별 소요시간, 공구별 소요시간, 세부 과정별 소요시간 등 생산성을 분석할 수 있는 데이터를 제공하였다. 이 결과는 생산 계획 및 자원 할당에 유용하게 활용될 것이다. 또한, 향후 생산 공정의 최적화와 효율성 향상을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

## 참고문헌

- 1) Weck, M., “Handbook of Machine Tools”, Vol. 1, English translation, John Wiley, New York, pp. 1-229, 1984.
- 2) Lee, M.G., Yun, J.W., A study on the minimization of deformation by milling of plate-shaped parts, Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol.15:3 32-38, 2021.
- 3) Park, S.O., Kim, M.H., Lee, S.K., Jung, S.T., Development of tool-life prediction program to determine the optimal machining conditions in mold machining, Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol.17:1 7-12, 2023.
- 4) Lee, C.Y., Hwang, S.H., Min, B.K., Oh, J.S., Simulation-based Machining Time Estimation of Machine Tool, Proceedings of Korean Society for Precision Engineering 2021 Spring Meeting, 2021.
- 5) Kim, K.H., Improvement of the Machining Time Prediction of a Three-Axis Milling Machine Using Genetic Algorithm, Master Thesis, Library of Hanyang University, 2019.
- 6) Seo, J.S., “Visual Basic.Net: Reference Book of Object Oriented Programming and Visual Basic”, OK Press, Seoul, 2004.
- 7) Altintas, M., “Manufacturing Automation”, Cambridge University Press, 2000.

## 저자 소개

### 최진우(Jin-Woo Choi)



- 1999년 2월 : 경남대학교, 공학사, 공학석사
- 2006년 12월 : University of New South Wales (공학박사)
- 2020년 현재 : 한국폴리텍대학 창원 캠퍼스 스마트제조기계설계과 교수

< 관심분야 >

기계설계, CAE, 인공지능