

CNC 선반 가공용 CAM 시스템 개발에 관한 연구

A Study on the Development of CAM System for CNC Lathe Machining

구 영 회 (충남대학교 기계공학과 대학원), 이 동 주 (충남대학교 기계공학과)
Young-hae Koo (Graduate School, Chungnam Univ), Dong-ju Lee (Chungnam Univ)

ABSTRACT

The purpose of this study is the development of CAM system which can cut any shape by CNC lathe.. The overall goal of the CAM system is to achieve the CNC lathe machining, from roughing through to final measuring. The hardware of the system comprises PC and CNC lathe. There are three steps in the CNC lathe machining, (1) geometric modeling by the shape patterns, (2) NC commands generation by the tool path compensated for tool nose radius, (3) machining and workpiece measuring on the lathe. It is developed a software package, with which can conduct a micro CAM system in the PC without economical burden.

Key Words : CAM system(CAM 시스템), CNC lathe(수치제어 선반), shape pattern(형상 패턴), tool path(공구 경로), tool nose radius(공구 인선 반경)

1. 서론

NC 공작 기계는 이제 현장에서 범용화되다시피 많이 보급되어 있으며, 기계에 부착되어 있는 NC 장치가 기종이나 메이커에 따라 차이가 있으므로, NC의 기본 지식과 관련 지식을 충분히 이해함으로써 다른 시스템이나 기종을 대할 때에는 서로 다른 점만을 파악하여 바로 대응할 수 있는 기술 인력이 필요로 하게 되었다. 그러나 이러한 보급의 추세에 비추어 이들 기술 인력이 따르지 못하고 있는 실정이다.

일반적으로 NC 공작 기계의 가공 명령은 파트 프로그램(part program)으로 작성되는데, G 코드의 숙지와 더불어 수학적인 좌표 계산 등의 어려움으로 인하여 이들 파트 프로그램을 간단히 작성하는 방법으로 자동 프로그래밍 방식이나 대화형 NC와 같은 기술이 개발되었으며, 또한, CAM 시스템을 이용하는 방법이 사용되고 있지만, 경제적인 효율성이나 작업 현장 적응성을 수용하기에는 어려움이 있다. 따라서, 이러한 파트 프로그램 작성이 현장의 작업자에 의해서 직접적으로 이루어짐으로써 최적화된 파트 프로그램의 생성과 프로그램의 초보자도 손쉽게 프로그램을 작성할 수 있는 대화형 프로그래밍 방식에 대한 도입의 필요성이 강조되고 있으며, CAM 시스템과 싸이클 프로그래밍 방식의 장점들을 고려한 새로운 대화형 프로그램(dialogue program) 방식이나 작업 현장 적용에 목적을 두고 개방형 대화식 방법을 이용하는 현장 대응 프로그램(workshop oriented program) 방식이 도입되고 있다[1].

이와 같은 대화형 프로그램 방식은 화면에 제시되는 질문에 답하면 자동적으로 프로그램이 생성되는 방법으로 공작물의 형상 등을 어느 정도 유형화하여 주요 치수 등을 입력하면 전체의 형상이 정의되도록 되어 있는 것이 많다. 예를 들면, 선반 가공 등

에서 많이 볼수 있는 주축 회전 속도나 공구의 이송, 황삭 가공에서 사상 가공에 이르는 절삭 순서 등이 자동적으로 결정되어 가공 명령을 생성하게 된다. 본 연구에서는 이와 같이 가공 도면을 토대로 하여 대화식으로 도면의 형상 데이터를 입력시킴으로써 그 형상에 대한 공구 정보와 공구 경로, NC 명령을 자동적으로 생성하여 NC 기계 가공을 수행하는 CAM 시스템을 개발하고자 한다.

2. 시스템의 구현 방식

2.1 시스템의 개발

본 시스템은 NC 선반상에서 축 대칭물을 가공하는 것을 목적으로 개인용 컴퓨터(personal computer)와 NC 선반으로 구성되어 있다. 최근의 NC 장치는 종래의 하드와이어드(hardwired) NC에서 마이크로프로세서(microprocessor) 등을 장착하여 하드웨어의 커다란 변경없이 소프트웨어의 변경만으로도 NC 기계의 기능 변경 또는 첨가가 용이한 CNC(computer NC)이며, 여러 종류의 통신 기능을 구비하고 있어서 이를 이용함으로써 간단히 PC와 접속이 가능하여 생성된 NC 명령을 DNC 전송할 수 있다.

시스템의 소프트웨어는 형상 기술, NC 명령 생성, 기계 가공 및 자동 측정으로 크게 나눌수 있다. 형상 기술에 관해서는 부품도 등의 가공 도면으로부터 제품 형상을 PC에 인식시키기 위한 형상 데이터 입력이 주된 내용이다.

NC 선반의 형태에 따라서 여러 종류의 공구를 선택할수 있으며, 가공 가능성을 고려하여 공구 교환이나 공구와 공작물의 간섭 체크(check)를 하고 황삭 가공에서부터 사상 가공에 이르기까지의 NC 가공 정보가 자동적으로 생성된다. 절삭 조건은 작업자(operator)가 직접 지정하거나 재료, 공구 및 기계에 대한

데이터베이스(database)의 분석 처리를 통하여 최적의 절삭 조건을 자동 결정하는 기능이 부가되어 있다.

본 연구에서 개발하고자 하는 시스템은 CAM의 양상이 강하고, 선삭용 자동 프로그래밍 시스템과 큰 차이가 없을지 모르지만, 이 시스템에서는 형상 데이터를 활용하여 공작물의 자동 측정도 가능하다는 것이 특징이다. 형상 데이터로부터 측정용 NC 명령을 생성하여 기계 가공 후에 공작물을 선반상에서 직접 측정하는 것으로, 가공 오차의 평가 및 분석에 위력을 보일수 있다.

특히, 시스템의 개발에서는 가공에 미숙한 NC 초보자라도 가공 도면을 토대로 대화식으로 직접 PC에 가공 도면의 형상 데이터만 입력시켜주면, 공구, 공작물의 재질과 NC 장치 등에 대한 정보의 분석을 통하여 공구의 검색과 결정, 절삭 조건과 가공 공정의 결정을 하고, 그 형상에 대한 공구 정보와 공구 경로(tool path), NC 명령을 자동적으로 생성하여 적절한 기계 가공을 수행할 수 있도록 하는 것에 주안점을 두고 있다. 본 연구에서 개발하고자 하는 NC 선반 가공을 목적으로하는 PC를 이용한 CAM 시스템의 구성도를 Fig. 2.1에 나타내고 있다.

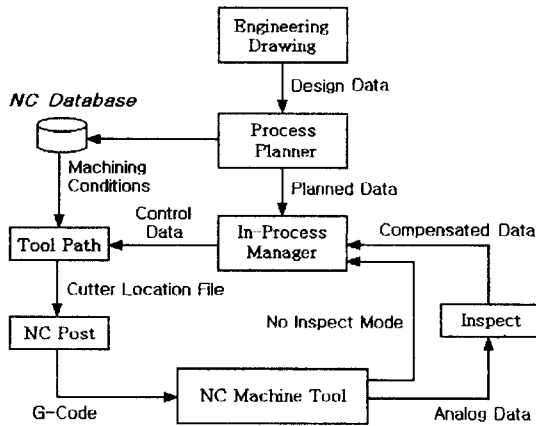


Fig. 2.1 CAM system architecture

2.2 공구 인선 반경의 보정

본 연구에서 공작물의 사상 형상은 형상 입력점 P_i ($i=0 \sim n$)로서 기술되지만, 공구 위치는 공구 인선(tool nose) 원의 중심을 기준으로 표시하므로, 프로그램상에서 계산하는 공구 경로는 인선 원 중심이 통과하는 궤적이 된다. 이 때문에 사상 공구 경로의 경우는 공구 인선 반경 R 에 대해서, 또한 황사상 공구 경로의 경우는 R 에 사상 여유 T 를 감안한 양에 대해서 보정을 하여 절삭하지 않으면 안된다[2,3,4].

본 연구에서 공구 인선 반경의 보정을 통하여 이루어지는 공구 경로점의 산출은 직선, 원호 등으로 구분되어 처리하는데, 우선, 기본적인 직선의 경우에 Fig. 2.2에 나타낸 바와 같이 형상 입력점 P_i, P_{i+1} 에 대해서는 공작물 형상으로 부터의 S 만큼 떨어진 직선을 구한다.

P_i, P_{i+1} 의 좌표는 선반의 주축 중심에서 십압대 방향으로 Z 좌표를, 그것과 직각 방향으로 공작물 직경이 증가하는 방향을 X

좌표로 하면, 각각 $P_i(Z_i, X_i), P_{i+1}(Z_{i+1}, X_{i+1})$ 로 나타낼수 있다. 이들 P_i, P_{i+1} 을 연결하는 직선의 방정식은

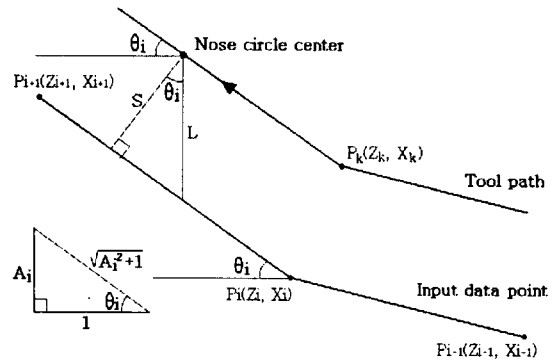


Fig. 2.2 Diagram of tool nose radius compensation

$$X = A_i Z + B_i \quad (2.1)$$

로 된다. 여기에서 기울기 A_i 와 절편 B_i 는

$$A_i = \frac{X_{i+1} - X_i}{Z_{i+1} - Z_i}$$

$$B_i = X_i - \frac{X_{i+1} - X_i}{Z_{i+1} - Z_i} Z_i \quad (2.2)$$

로 된다. 형상 입력점을 지나는 직선을 기준으로 하여 S 만큼 떨어진 보정 직선은 식 (2.1)에 X 방향의 거리 L 만큼 증가시킨 것과 같게 되므로,

$$L = \frac{S}{\cos \theta_i} = S \sqrt{A_i^2 + 1} \quad (2.3)$$

의 관계를 이용하여, 다음과 같이 구해진다.

$$X = A_i Z + B_i + S \sqrt{A_i^2 + 1} \quad (2.4)$$

여기에서, 사상 공구 경로의 경우는 $S = R$, 황사상 공구 경로에는 $S = R+T$ 를 대입함으로써, 공구 인선 반경을 보정한 직선의 식이 얻어진다. 원호의 경우도 같은 방식으로 직선의 식과 함께 원호의 시작점과 끝점을 결정할 수 있다.

공구 경로점의 산출은 점 P_i 와 그 전후의 2점인 P_{i-1}, P_{i+1} 을 고려한 3개의 점과 P_i 에 있어서 직선과 직선 또는 직선과 원호의 조합이 어떠한 형태인가에 따라 이루어진다.

3. 형상 정의와 NC 명령의 생성

3.1 공작물의 형상 기술

공작물의 가공 형상을 원통부, 테이퍼(taper)부, 원호(circular)부 등의 기본 요소로 나누어 그들의 조합으로서 표현하는 방법이나 3차원 형상 모델링(modeling)의 형상 기술 방식과 CAD 상의 도면 정보 등의 형상 데이터베이스(database)를 이용하는 것 등이 있지만[5], 본 연구에서는 공작물이 Z 축을 회전축으로 하는 회전 대칭형이라는 것을 이용하여 그 단면 형상을 Z - X 좌표계(선반에서의 좌표계)에서 2차원 도형으로서 표현하는 것으로 한다. 즉, Fig. 3.1에서와 같이 도면으로 표시되는 공작물의 사상

형상을 모두 직선으로 모델화한다. 이때에 각 직선의 교점 P_i ($i=0 \sim n$)가 사상 가공 형상을 표현하기 위한 형상 데이터의 입력점이 된다.

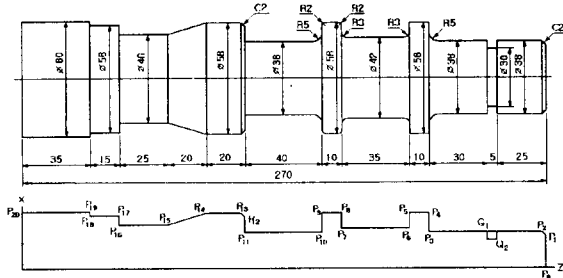


Fig. 3.1 Workpiece drawing and geometric modeling

이와 같이 공작물의 사상 가공 형상을 직선으로 모델화하면 도면으로부터 간단하게 형상 모델과 입력 데이터가 얻어지지만, 원호 가공에 관한 정보는 빠지게 된다. 이 때문에 형상 입력점 P_i 에 부가하여 Fig. 3.2에 나타낸 것처럼 형상 패턴(pattern)을 사용한다.

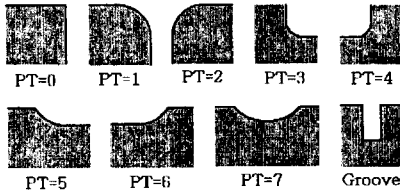


Fig. 3.2 Shape patterns for data input

형상 패턴은 직선과 원호의 조합을 분류하여 PT=0인 경우는 2개의 직선의 교점으로, PT=1~4의 경우는 2개의 직선에 접하는 원호로, PT=5, 6은 1개의 직선에 접하고 다른 방향에서는 또다른 1개의 직선과 교차하는 원호로 형상이 이루어진 것을 의미하고, PT=7은 형상 패턴 5, 6이 조합된 경우의 형상을 나타내게 된다. 우선은 이와 같은 7가지 형상 패턴의 종류를 사용하고 있으며, 형상 패턴상에 원호 가공이 포함되어 있는 PT=1~7의 경우에는 패턴 번호와 함께 그 원호의 반경이 형상 데이터로서 입력된다. 홈이나 나사 가공 등에 대해서는 사상 가공 후에 처리하므로, 형상 데이터 입력시에는 지정하지 않고 별도로 입력 처리를 한다.

형상 데이터의 입력은 입력점 P_0 에서 P_n 까지, 그 좌표값 $P_i(Z_i, X_i)$ 과 형상 패턴 PT_i , 원호 반경 R_i 를 각각의 점에 대하여 입력하게 된다. P_0 는 심압대(tail stock) 쪽에 P_n 은 척(chuck) 쪽으로 정해지며, 절대(absolute) 좌표계로 입력 데이터를 기술한다.

3.2 사용 공구

공작물의 형상에 따른 형상 데이터의 입력이 끝나면, 공구 정보를 토대로 공구 검색이 이루어져 사용 공구를 선택하고, 형상상과 사상 가공에 따른 공구 경로를 결정하게 된다. 본 연구에

서 PC와 DNC 결합시키고 있는 NC 선반은 터렛에 공구 홀더(tool holder)를 8개까지 장착할 수 있지만, 선반의 종류에 따라 장착할 수 있는 공구의 수가 다르므로, 가능한한 광범위한 형상의 공작물을 취급하는 것을 염두에 두어 Fig. 3.3에 표시한 것과 같이 5개의 기본적인 공구를 사용하고 있다.

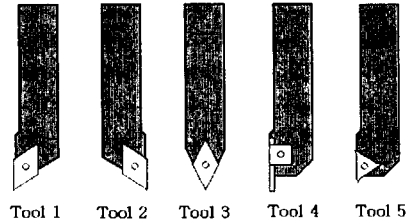


Fig. 3.3 Tool selection

·형상 가공에서 사상 가공까지를 공구1로 행하는 것이 기본이지만, 그것이 불가능한 경우에는 공구2, 3을 사용하여 처리하며, 공구4는 홈 가공시, 공구5는 나사 가공시에 사용한다.

3.3 공구의 선택과 공구 경로

공구 경로를 결정하는데에는 공작물의 형상이 주축으로 향하는 방향(-Z방향)에 대하여 단순히 직경값이 증가하는 경우에는 공구1을 주로 사용하지만, 공구1로서 절삭이 불가능한 경우에 대해서는 공구2, 3, 4 등을 사용한다. 이 경우는 공작물의 형상이 -Z방향에 대하여 직경값이 증가와 감소를 반복하는 경우로서 그 반경 방향(X방향)으로 어떠한 형태를 가지고 증감하는가에 따라 사용되는 공구의 선택 방법이 달라지게 된다.

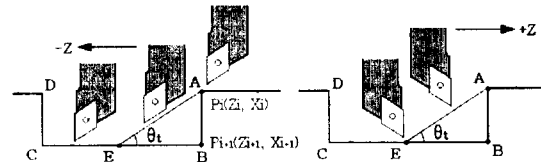


Fig. 3.4 Tool selection rules (Tool 1, 2)

최초로 X축 방향으로 공작물의 형상에 어떠한 변화가 있는가를 검토하기 위해서 입력점 P_i 와 P_{i+1} ($i=1 \sim n-2$)의 X좌표 X_i 와 X_{i+1} 를 비교하여 $X_{i+1} < X_i$ 이면, 이때에는 공구1로서만 절삭이 가능한가를 판단할 필요가 있다. 이를 위해서 Fig.3.4에 표시한 바와 같이 공구의 부절입각 θ_i 의 감소 테이퍼(taper) AE에 대하여 선분 $\overline{P_i P_{i+1}}$ 의 기울기 A_i 가 공구의 부절입각의 기울기 $A_c = \tan \theta_c$ 보다 급격한 경우는 공구1로서는 절삭할 수 없게 된다. 즉, $X_{i+1} < X_i$ 일 때 $A_i > A_c$ 이 되어 공구1에 의한 절삭은 불가능하다고 판단되면, Fig. 3.4에서와 같이 공구1로 가공을 한후에 공구를 교환하여 공구2로서 감소 테이퍼부의 가공이 안된 영역 ABE를 제거한다.

이와 같이 공구1, 2만으로 가공이 가능한 경우도 있지만, 공구나 공구 홀더의 형상, 공작물의 단이 깊거나 폭 등의 관계로 공구2만으로도 테이퍼부의 가공이 가능한가를 판정할 필요가 있다.

이 상태를 Fig. 3.5에 나타낸다. 즉, 공구1에서 남은 영역 ABE를 공구2로 절삭시에 공구2로 나타나는 감소 테이퍼 DF가 공구1의 감소 테이퍼 AE와 교점으로 나타날때에는 영역 GEF는 절삭할 수 없어 잔류량으로 남게된다. 이와 같은 경우 Fig. 3.5에 표시한 것과 같이 공구2의 가공이 완료된 후에 공구를 교환하여 공구3에 의한 절삭이 이루어진다.

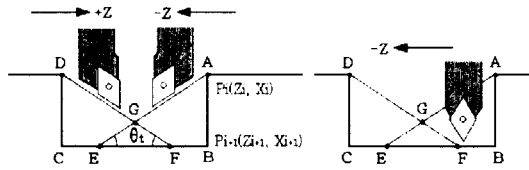


Fig. 3.5 Tool selection rules (Tool 1, 2, 3)

3.4 절삭 조건

공작물의 형상 기술이 끝나고, 사용 공구의 선택과 공구 경로의 생성이 이루어지면, 공작물의 재료 정보를 토대로 절삭 조건의 자동 결정이 이루어지게된다.

황삭 및 사상 가공에서의 절삭 속도, 이송과 같은 절삭 조건을 자동 결정하기 위해서 입력이 필요한 사항은 공작물의 재질이나 직경과 길이, 사상 가공의 여유량, 황삭 가공에서의 절입량 등이다. 이들의 사항은 PC의 지령에 따라 사전에 미리 재료 정보로서 입력처리되어 사용되지만, 이들의 값은 사용 공구에 따른 추천값을 사용하는 것이 좋다[6].

사상 가공의 경우 공구 경로 산출시에 다음질 기호에 대응하는 가공면 조도 R_{max} 를 제어할 수 있도록 이송(feed)의 이론식 $f = \sqrt{8 R R_{max}}$ 에 보정 계수(강 1.5~3배, 주철 3~5배)를 고려하여 시스템이 결정하게 된다. 여기에서 R은 공구 인선 반경이다.

3.5 NC 명령의 생성

위에서 설명한 바와 같이 가공 도면을 토대로 하여 대화식으로 도면의 형상 데이터를 입력시키는 공작물의 형상 기술, 공작물의 재료와 공구, NC 기계 정보를 토대로 하여 사용 공구의 선택과 공구 경로의 생성, 절삭 조건의 자동 결정 등을 거친후에 NC 장치에 따라 적합한 처리를 통하여 공구 경로로부터 NC 장치에 입력이 가능한 NC 데이터, 즉, G 코드 형태로 이루어진 NC 명령을 작성하게된다.

G 코드나 그 지정 방법은 NC 장치의 형태에 따라서 차이가 있으므로, 이러한 차이점들이 NC 기계 정보 형태로서 데이터베이스(database)화되어 NC 명령을 작성하는 과정에서 사전에 처리되도록 하고 있다. NC 명령의 자동 생성 과정의 개략적인 흐름도를 Fig. 3.6에 표시하고 있다.

본 연구에서는 NC 기계와 RS-232C 인터페이스(interface)를 통하여 연결되어 있는 PC 상에서 NC 명령이 자동적으로 생성되고, NC 장치로 데이터를 직접 전송하는 DNC(direct NC) 방식을 이용하여 플로피 디스크 등의 중간 매체를 사용하지 않으므로, NC 데이터의 관리와 취급이 용이하다.

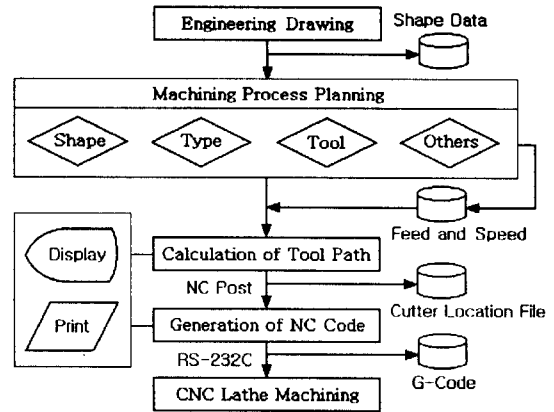


Fig. 3.6 NC commands generation flow chart

4. 기계 가공 및 측정

4.1 기계 가공의 예

본 연구에서 개발된 시스템을 이용하여 공작물의 형상 기술에서 기계 가공까지를 수행한 예를 보면, Fig. 3.1에 나타낸 부품 도면과 같은 형상은 21개의 형상 입력점으로 Fig. 3.1에서와 같이 모델화하여, PC에 형상 데이터를 입력한다. 그밖에도 절삭 조건의 최적화 등 약간의 데이터 처리 작업이 필요하지만, 작업자(operator)의 부담이 되는 정도의 것은 아니다. 가공 시간의 측면에서는 수동 프로그램(manual programming)에 비하여 커다란 변화는 없지만, NC 명령 작성 시간은 상당히 단축되었다.

감소 테이퍼(taper)부가 있어서 공구 교환이 여러번 필요한 경우로서 6개의 원호 입력점을 가지고 있으며, 홈가공을 기술하는 좌표점 Q_1, Q_2 를 추가 입력점으로 하고있다. 생성된 NC 명령으로 화면상에서 확인한 절삭 경로를 나타낸 Fig. 4.1에서 볼수 있듯이 감소 테이퍼부가 공구2로서 가공이 이루어지고 있다. 또한 오른쪽 끝부분의 수직선은 공구4를 사용하여 홈 가공을 수행하고 있는 것을 나타낸다.

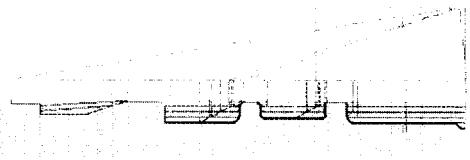


Fig. 4.1 NC tool path simulation

본 연구에서 개발된 시스템이 가지고 있는 형상 패턴을 전부 사용한 예를 보면, Fig. 4.2에 나타낸 가공 도면이 19개의 형상 입력점으로 모델화되어 형상 데이터로 입력 되는데, 실제로는 형상 패턴 7과 홈가공, 나사 가공 등의 처리를 위하여 이들 형상을 기술하는 입력점이 추가된다. 이들 형상 데이터로부터 생성된 NC 명령은 직접 전송 처리되거나 파일로 저장하게 되며, 이들 NC 명령을 화면상에서 절삭 경로의 확인 과정을 거쳐서

가공된 공작물은 가공 종료시 NC 선반상에 그대로 장착되어 측정을 하게 된다.

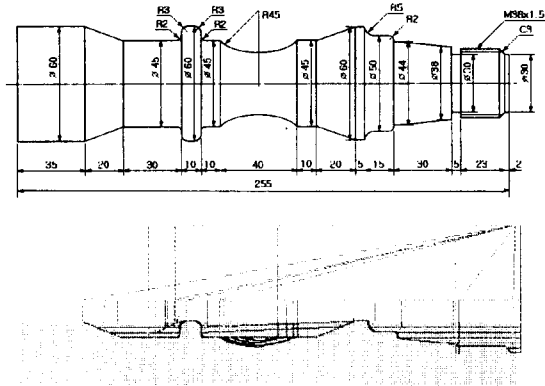


Fig. 4.2 Workpiece drawing and NC tool path simulation

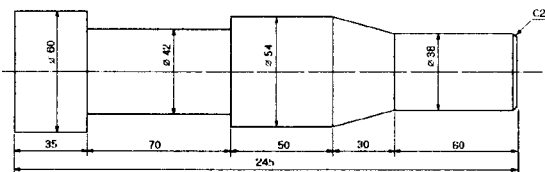
이상에서와 같이 본 연구에서 개발된 시스템은 상당한 종류의 부품 형상에 대응할 수 있으며, 더구나 사용되기에 따라서는 작업 현장에서 NC 선반 가공용 시스템으로서의 이용 가치가 충분하다.

4.2 측정 경로에 의한 계측의 예

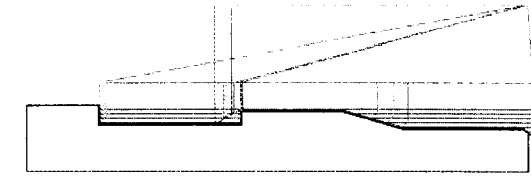
측정용 NC 명령은 형상 데이터로부터 자동 생성되고 측정도 자동적으로 진행됨으로써, 작업자가 공작물의 가공 오차를 보정하기 위하여 1차적으로는 해당 공구 보정값의 증감 처리를 수동으로 행함으로써 손쉽게 이루어질수 있다.

절삭 가공에서 측정까지의 상황을 Fig. 4.3을 이용하여 설명하면, (a)의 도면을 근거로 하여 형상 데이터의 입력을 통하여 자동 생성된 NC 명령을 화면상에서 확인한 절삭 경로가 (b)이고, (c)는 공작물의 가공 오차를 측정하기 위한 측정용 NC 명령의 경로이며, DNC 전송에 의해서 선반상에서의 자동 측정을 수행하게 된다.

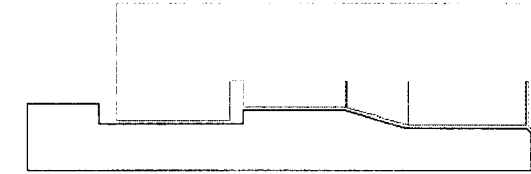
이와 같은 과정을 거침으로써 가공 오차가 절삭 가공후에 곧바로 측정될수 있으므로, 가공 오차와 그 원인을 검토하여 작업자가 바로 오차의 수정 작업을 하거나 계측 데이터로부터 가공 오차를 보정하는 사상용 NC 명령을 생성하여 정확한 치수의 공작물을 얻는 작업에 위력을 발휘할 수 있다. 이와 같은 것이 가능하게 된 것도 PC를 이용하여 형상 데이터로부터 공구 경로, 절삭 가공 경로 및 측정 경로에 이르기까지의 관련 정보들을 일관되게 관리함으로써 생산 가공 현장의 생략화, 생산성 향상 등의 면에서 그 효과를 증대시킬수 있다.



(a) Workpiece drawing



(b) NC tool path



(c) Measuring path

Fig. 4.3 Example of CNC lathe machining

5. 결론

본 연구에서는 가공 도면을 토대로 하여 공작물의 사상 형상 데이터를 입력하고, 공작물의 재질과 공구, NC 기계 정보를 이용하여 사용 공구와 절삭 조건을 결정하고, 사상 가공면 상태와 공구 인선(tool nose) 반경을 고려한 공구 경로를 산출하여 NC 명령을 자동 생성, DNC 전송하여 가공을 수행하고, 가공된 공작물을 자동 측정하는 과정으로 이어지는 일련의 시스템을 구축하였다.

NC 가공에 미숙한 초보자라도 대화식 방법으로 가공 도면의 형상 데이터만 입력시켜주면, 공구 정보와 공구 경로, NC 명령을 자동적으로 생성하여 간편하게 NC 선반 가공을 수행할 수 있었다.

형상 데이터로부터 측정용 NC 명령을 생성하여 기계 가공후에 공작물을 선반상에서 직접 측정함으로써, 가공 오차의 평가 및 분석이 손쉽게 이루어졌으며, 이 시스템을 확장하여 가공 오차를 보정하는 사상용 NC 명령을 생성하여 정확한 치수의 공작물을 가공하는 것도 가능하다.

참고 문헌

1. 한국 후지쯔, "실전 CAD/CAM 기술 입문", 한국 능률 협회 컨설팅, 1995
2. R.S. Pressman and J.E. Williams, "Numerical Control and Computer Aided Manufacturing", John Wiley & Sons, 1977
3. K. Yoram, "Computer Control of Manufacturing System", McGraw Hill, 1983
4. 정진식, "CNC 선반, 기초에서 현장 응용까지", 성안당, 1992
5. T.C. Chang, R.A. Wysk, H.P. Wang, "Computer-Aided Manufacturing", Prentice Hall, 1991
6. 코로이, "KORLOY Catalogue", 한국야금(주), 1994