한국 CAD/CAM 학회 논문집
제5권 제4호 2000년 12월 pp. 312-318

기술논문

CNC 만능 원통연삭기의 CAD/CAM 시스템 개발

조재완*, 김석일**

Development of the CAD/CAM System for CNC Universal Cylindrical Grinding Machines

Cho, J. W.* and Kim, S. I.**

ABSTRACT

In this study, an exclusive CAD/CAM system is developed for enhancing the effectiveness and productivity of CNC universal cylindrical grinding machines on which the external/facing/internal grinding cycles and the wheel dressing cycles are integratively carried out. The CAD/CAM system can manage the various processes such as geometry design, NC code generation, NC code verification, DNC operation, and so on. Especially, the feature-based modeling concept is introduced to improve the geometry design efficiency. And the NC code verification is realized by virtual manufacturing technique based on the real-time analysis of NC codes and the boolean operation between workpiece and wheel.

Key words : CNC universal cylindrical grinding machines, Grinding cycle, Dressing cycle, Boolean operation, Virtual manufacturing, DNC Operation

1. 서 론

일반적으로 연삭공정은 절삭공정 후에 수행되는 마무리 공정이기 때문에 높은 정밀도와 우수한 표면조도가 요구되는 제품에 적용되고 있으나, 연삭공정에 사용되는 WA 숫돌, GC 숫돌 등은 입자의 마멸현상, 눈메움 현상 등에 의한 연삭성능의 저하가 큰 문제로 지적되고 있다. 따라서 작업자는 드레싱 작업을 통해서 숫돌의 상태가 양호하게 유지되도록 세심한 주의를 기울이며 연삭가공을 수행해 왔다.

이와 같은 문제 때문에 NC화가 눈부시게 진행된 절삭 공작기계와는 달리 그 동안 외면 원통 연삭기와 간단한 위치결정 제어만을 필요로 하는 평면연삭기를 제외한 대부분의 연삭기들은 NC화가 구현되지 않았고, 수동으로 운전하는 것이 매우 일반적이었다[1-4]. 최근 숙련 작업자의 부족 현상과 NC 기술로 대표되는 기술적 진보는 이러한 문제를 극복시켜서 새로운 개념에 토대를 둔 다양한 형태의 연삭기들을 출현시켰다. 특히 주축, 풀리, 동력축 등과 같은 환형물의 외면/단면/내면 연삭공정과 숫돌의 드레싱 공정을 집약 화하여 하나의 기계에서 모두 처리할 수 있는 CNC 만능 원통연삭기[5,6]는 고생산성, 고정밀도, 그리고 고유연성을 확보할 수 있는 연삭기의 하나로서 머시닝센터, 터닝센터 등과 함께 유연생산시스템에서의 핵심 구성요소의 한 축을 담당하고 있다.

본 연구에서는 CNC 만능 원통연삭기의 효율적인 운용을 도모하기 위한 CAD/CAM 시스템을 개발하는 데 그 목표를 두었다. 특히 본 연구의 CAD/CAM 시스템은 특징형상[3]을 이용한 제품과 공작물의 형상설계, 숫돌, 연삭공정 및 드레싱 공정에 대한 대화식 정보입력, 그리고 NC 코드의 자동생성, NC 코드의 해석과 불리안 연산에 기반을 둔 가상가공[7], NC 코드의 검증, DNC 운전 등과 관련된 기술들을 기반으로 하고 있기 때문에 시스템 사용자의 편의성과 함께 CNC 만능 원통연삭기의 생산성과 정밀도를 크

*학생회원, 한국항공대학교 기계설계학과
**종신회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부
- 논문투고일: 2000. 2. 29
- 심사완료일: 2000. 8. 17

게 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

2. 시스템의 구성 및 내용

2.1 개요

CNC 만능 원통연삭기의 구성은 Fig. 1에서 볼 수 있다. 기본적으로 CNC 만능 원통연삭기는 주축, 풀리, 동력축 등과 같은 환형물의 외면/단면/내면 연삭공정과 숫돌의 드레싱 공정을 하나의 기계에서 모두 수행할 수 있도록 외면연삭용 주축, 단면연삭용 주축, 내면연삭용 주축과 같이 3개의 주축을 가지고 있고, 연삭공정에 적합한 숫돌을 선택하고 드레싱할 수 있는 연삭기이다. 따라서 이러한 CNC 만능 원통연삭기의 작업성을 향상시키기 위해서는 제품과 공작물의 형상설계, 숫돌의 선정, NC 코드의 생성, NC 코드의 검증을 위한 NC 코드의 실시간 해석과 가상가공, 그리고 연삭기의 DNC 운전 등의 기능들을 구비한 CAD/CAM 시스템을 필요로 한다. Fig. 2에는 이러한 개념을 토대로 개발한 CAD/CAM 시스템의 구성과 작업흐름을 나타내었다.

제품과 공작물의 형상설계는 특징형상개념을 토대로 수행되며, 그 관련정보들은 GUI를 통해서 입력된다. 특히 특징형상 DB에는 환형물의 형상을 표현하는 데 필요한 정보들이 탑재되어 있다. 제품의 형상설계가 완료된 후에는 제품의 3차원 가시화를 통해서 설계결과를 검증하게 된다. 그리고 숫돌과 관련된 정보들도 GUI를 통해서 입력되고, 숫돌의 3차원 가시화를 통해서 정보의 입력결과를 검증하게 된다. 또한 NC 코드는 GUI에서 대화방식으로 입력되는 연삭공정의 형태와 연삭조건을 토대로 자동생성되도록

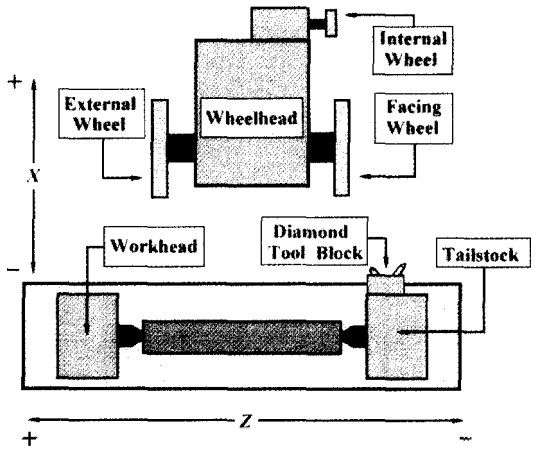


Fig. 1. Configuration of grinding machine.

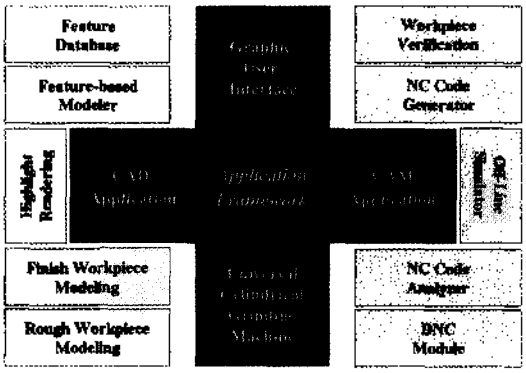


Fig. 2. Structure of CAD/CAM system.

하였으며, NC 코드의 검증을 위해서 NC 코드의 해석을 수행하고, 그 결과를 이용해서 가상가공을 수행하는 개념을 사용하였다. 특히 가상가공은 숫돌과 공작물 사이의 불리안 연산을 통해서 실시간으로 수행되며, 숫돌의 드레싱 공정도 이러한 개념을 통해서 검증하도록 되어 있다. 아울러서 이와 같은 가상가공에 의해서 검증이 완료된 NC 코드는 RS232C 기반의 DNC 기능을 통해서 연삭기의 CNC 컨트롤러로 전송된다.

2.2 제품과 공작물의 형상설계

제품과 공작물의 형상을 쉽게 설계하고, NC 코드를 자동생성하기 위해서는 체계적인 형상 표현방법이 요구된다. 본 연구에서는 CNC 만능 원통연삭기의 가공대상인 환형물이 Z축을 회전축으로 하는 회전대칭형이기 때문에 Z-X 좌표계에서의 2차원 도형으로 표현 가능하다는 개념을 토대로 공작물의 형상을 설계하였다. 먼저 제품의 형상을 Z-X 좌표계에서 모두 직선으로 모델화하고, 두 직선 사이의 교점을 결정한 후 형상요소의 특징형상값을 형상정보 입력점인 교점에 부여함으로써 설계도면으로부터 제품의 형상을 쉽게 설계할 수 있는 방법을 사용하였다. 그리고 공작물의 형상은 제품의 형상을 연삭부위별로 연삭여유만큼 옵셋시키는 방법으로 자동생성하였다.

본 연구에서 사용한 특징형상들은 Table 1에 제시한 8가지 형태로 분류된다. 특징형상 0번은 두 직선이 교차하는 경우를 의미하고, 특징형상 1번부터 6번까지는 원호와 직선이 접하거나 원호와 직선이 교차하는 경우를 나타내며, 특징형상 7번은 특징형상 5번과 6번의 조합이다. 형상정보 입력점의 수가 n개인 경우에는 공작물의 형상을 표현하기 위해서 n개

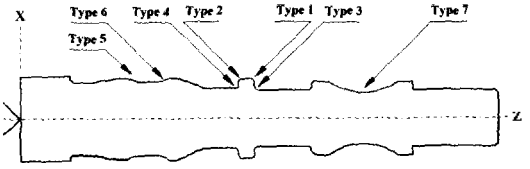


Fig. 3. Design of product shape.

Fig. 4. 3D visualization of product.

의 좌표값들을 입력하게 된다. 형상정보 입력점의 좌표는 워크헤드(workhead)의 센터 선단점을 원점으로 하는 절대 좌표계에서의 위치값이 되며, 워크헤드의 센터 선단점에서 시작되는 형상정보 입력점의 번호는 공작물의 단면형상을 따라가며 순차적으로 부여된다. 따라서 공작물의 외면과 단면의 형상은 물론 내면의 형상까지도 일률적으로 표현이 가능하게 된다.

형상설계를 위해서 입력해야 할 정보는 형상정보 입력점의 번호와 좌표값, 특징형상 번호 등으로 구성된다. 특징형상 0번의 경우는 하나의 점을 의미하기 때문에 형상정보 입력점의 번호와 좌표값, 특징형상의 번호에 의해서 생성되지만, 특징형상 1번부터 7번까지는 형상정보 입력점의 번호와 좌표값, 필렛 반경, 특징형상의 번호에 의해서 생성된다. 특히 특징형상 정보의 입력 오류를 방지하기 위해서 각 형상정보 입력점의 전 후에 위치하는 형상정보 입력점 사이의 상관관계를 이용해서 자동적으로 형상을 인식하도록 하였다. Fig. 3과 4는 이러한 형상설계방법을 토대로 Table 1에 제시한 8가지 형태의 특징형상들을 이용하여 제품의 형상설계와 3차원 가시화를 수행한 예를 보여주고 있다.

Table 1. Classification of features

Type = 0	Type = 1	Type = 2	Type = 3
Type = 4	Type = 5	Type = 6	Type = 7

Table 2. Classification of grinding wheels

Straight wheel	Slotting wheel	Angled facing wheel
Facing wheel	Vee-formed wheel	Internal wheel

2.3 숫돌

본 연구에서는 환형물 가공에 필수적인 슬로팅(slotting), 페이싱(facing), 스트레이트(straight), 앵글드 페이싱(angled facing), 브이폼드(vee-formed) 숫돌 등과 같은 외면/단면연삭용 숫돌과 내면연삭용 숫돌을 CNC 만능 원통연삭기의 표준 숫돌로 선정하였는데, 그 형상과 치수의 내용은 Table 2에서 볼 수 있다. 그리고 GUI를 통해서 입력된 숫돌의 형상과 치수는 공작물을 가공하기 위해서 생성한 NC 코드를 검증하는 가상가공에서도 사용되지만, 숫돌을 드레싱하기 위해서 필요한 NC 코드를 자동생성할 때에도 이용된다.

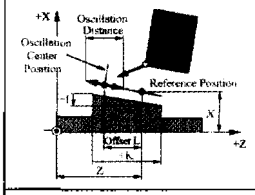
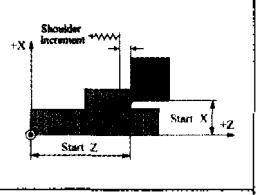
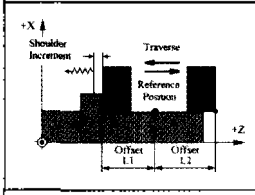
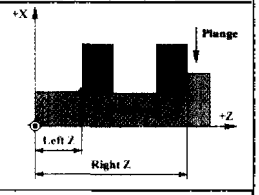
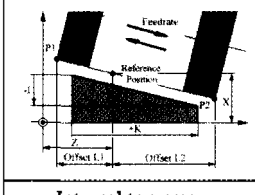
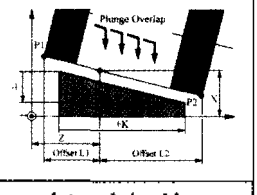
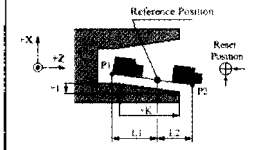
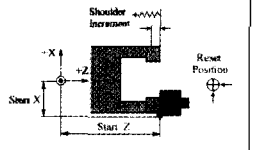
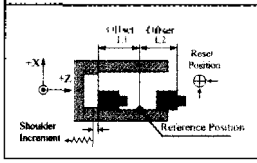
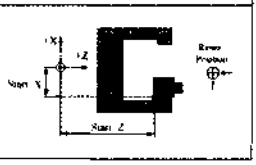
2.4 연삭공정

CNC 만능 원통연삭기의 연삭공정은 크게 외면, 단면 및 내면 연삭공정으로 나눌 수 있다. 또한 외면/단면 연삭공정은 플런지(plunge), 트레버스(traverse), 숄더(shoulder), 플런지-필(plunge-peel), 멀티플런지-트레버스(multiplunge-traverse), 트레버스-숄더(traverse-shoulder) 연삭공정 등으로 분류되고, 내면 연삭공정은 플런지, 트래버스, 숄더, 트레버스-숄더 연삭공정 등으로 분류되는데, 이러한 연삭방법들의 내용은 Table 3에 제시하였다.

2.5 드레싱 공정

숫돌 표면의 마모된 입자를 조정하여 예리한 입자로 만드는 드레싱 방법에는 여러 가지가 있지만, CNC 만능 원통연삭기에서는 바이트 형상의 다이아몬드 드레서를 채용하고 있다. 따라서 원래의 숫돌 형상을 유지하면서 마모된 입자를 제거하기 위해서는 숫돌의 형상과 치수를 토대로 드레서의 이동경로

Table 3. Classification of grinding cycles

Angled plunge	**Should**
	
Traverse-shoulderer	**Plunge-Peel**
	
Traverse	**Multiplunge-traverse**
	
Internal traverse	**Internal shoulder**
	
Internal traverse- shoulder	**Internal plunge**
	

를 자동생성할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 숫돌을 선정할 때 GUI를 통해서 입력한 숫돌의 형상과 치수를 토대로 드레싱을 위한 드레서의 이동경로는 물론 그에 대응되는 NC 코드를 자동생성할 수 있는 기능을 구축하였다. 특히 본 연구의 CAD/CAM 시스템은 Table 2에 제시한 숫돌들의 드레싱을 위해서 스트레이트, 슬로팅, 앵글드 페이싱, 페이싱, 브이폼드, 인터널 드레싱 공정 등을 수행할 수 있는 기능을 보유하고 있으며, 드레싱 공정에서는 3단계(황삭, 중삭, 정삭)로 드레싱 회수, 이송속도, 절입량을 설정할수 있도록 하였다.

2.6 가상가공

본 연구에서 개발한 CAD/CAM 시스템은 NC 코드를 검증하기 위한 가상가공기능을 내장하고 있다. CNC 컨트롤러가 NC 코드를 입력받아서 기계를 움직이듯이 3차원 가상공간에서 NC 코드로 가상기계를 움직이기 위해서는 먼저 NC 코드의 실시간 해석이 요구된다. 그리고 실제 가공에 대응되는 가상가공을 위해서는 NC 코드의 실시간 해석을 통해서 얻어진 제어정보를 토대로 숫돌과 공작물의 상대운동을 부여하면서 숫돌과 공작물 사이의 접촉상태를 검사하고, 접촉이 일어나는 경우에는 불리안 연산을 통해서 공작물의 형상을 변화시키는 과정이 필요하다.

이러한 가상가공기능은 CNC 만능 원통연삭기로 제품을 가공하기 전에 NC 코드에 의한 연삭결과를 컴퓨터 화면에서 미리 확인할 수 있는 기회를 제공한다. 따라서 실제의 연삭과정에서 발생할 수 있는 치명적인 위험을 사전에 발견하여 그 원인을 제거할 수 있기 때문에 기존의 시험연삭에 필요한 시간과 비용을 줄일 수 있고, 결과적으로 신뢰성이 있으면서 경제적인 CNC 연삭작업을 가능하게 만들어준다.

2.7 NC 코드의 검증

NC 코드의 실시간 해석과 불리안 연산을 토대로 숫돌에 의한 공작물의 가상가공을 수행하면 가공물의 형상을 도출할 수 있다. 그리고 이러한 가공물과 제품의 형상을 비교하면 NC 코드에 의한 연삭오차를 평가할 수 있다.

본 연구에서는 제품 형상요소에 위치한 한 점을 기준점으로 하고, 그 기준점에서의 제품 형상의 법선 벡터와 가공물의 형상요소 사이의 교점을 계산한 후, 기준점과 교점 사이의 거리를 연삭오차로 산정하는 방법을 사용하였다. 특히 이러한 연삭오차를 컴퓨터 화면에 가시화시킴으로써 NC 코드의 검증이 용이하도록 하였다.

2.8 DNC 운전

본 연구에서는 가상가공을 통해서 검증된 NC 코드를 CAD/CAM 시스템이 탑재된 컴퓨터로부터 CNC 만능 원통연삭기의 컨트롤러로 송신하기 위하여 RS232C 기반의 DNC 기능을 CAD/CAM 시스템 내에 구축하였다.

3. 적용실례 및 고찰

본 연구에서는 CNC 만능 원통연삭기의 효율적인

운용을 도모하기 위해서 윈도우즈 98/NT 기반의 전용 CAD/CAM 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 제품과 공작물의 형상설계, 연삭공정과 드레싱 공정에 대한 NC 코드의 생성, 가상가공, NC 코드의 검증, DNC 운전 기능 등을 내장하고 있기 때문에 CNC 만능 원통연삭기의 생산성과 정밀도를 크게 향상시킬 수 있다. 특히 용이한 제품과 공작물의 형상설계가 가능하도록 특징형상개념을 도입하였으며, 사용자의 편의성을 고려하여 대화형 입력방식으로 숫돌의 선정, 연삭/드레싱 공정의 정보 설정이 가능하도록 하였다. 그리고 NC 코드의 검증을 위한 가상가공은 NC 코드의 실시간 해석과 불리안 연산을 토대로 수행하였다.

Fig. 5는 특징형상들을 이용한 공작기계 주축의 형상설계 사례를 3차원적으로 가시화한 것이다. 본 연구의 CAD/CAM 시스템에서는 숫돌의 형상과 관련치수를 설정하고, 숫돌을 드레싱하기 위해서 필요한 황삭/중삭/정삭 공정의 절입량, 이송속도, 그리고 드레싱 회수를 입력하는 것으로 숫돌과 드레싱 공정에 대한 정보 설정이 완료된다. 그리고 드레싱 공정용 NC 코드는 이러한 입력정보를 토대로 자동생성된다. Fig. 6은 화면 우측에 표시된 드레싱 공정용 NC 코드를 실시간적으로 해석하면서 드레싱 공정을 가상적으로 수행하는 예를 보여준다. 드레싱 공정에서는 우측 드레서가 숫돌의 외면과 좌측 단면, 좌측 드레서가 숫돌의 우측 단면을 담당하고 있다.

Fig. 5에 제시한 주축의 연삭작업은 내면 테이퍼부, 베어링 설치부, 내장형 모터 설치부 등을 가공하기 위해서 내면 트레버스, 페이싱, 앵귤드 플런지, 플런지-숄더, 트레버스, 멀티플런지-트레버스, 플런지, 페이싱 연삭공정 등을 필요로 한다. 본 연구의 CAD/CAM 시스템은 대화형 입력방식으로 연삭공정에 대한 정보들을 모두 입력하면 FANUC 16-TB 컨트롤러[8]에 대응되는 NC 코드를 자동생성시킨다. Fig. 7, 8, 9에는 연삭공정용 NC 코드를 실시간적으로 해석하면서 연삭공정을 가상적으로 수행하는 예를 나타내었다. Fig. 7은 트레버스 연삭에 의한 내면 테이퍼부의 가상가공, Fig. 8은 앵귤드 플런지 연삭에 의한 주축 선단부 외면의 가상가공, 그리고 Fig. 9는 멀티플런지-트레버스 연삭에 의한 내장형 모터 설치부의 가상가공을 각각 보여주고 있다.

특히 가상가공에서는 연삭공정별 가공부위의 색을 달리하여 사용자가 쉽게 연삭방법을 구별할 수 있도록 하였으며, 화면 우측에는 실시간적으로 해석되고 있는 NC 코드의 위치를 표시하였고, 우측 상단에는 작업상태를 확인할 수 있도록 숫돌의 X축과 Z축의 좌표값, 이송속도, 회전속도를 나타내었다. 또한 Fig.

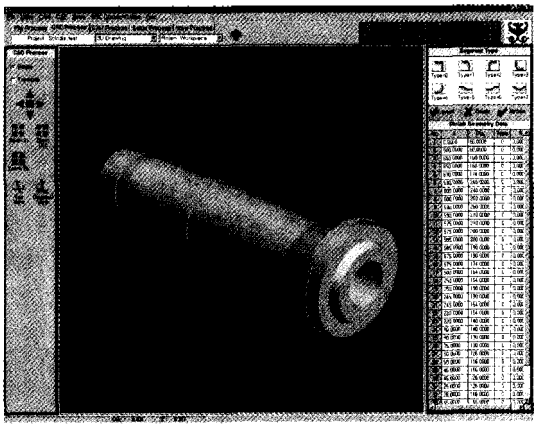


Fig. 5. 3D visualization of product (spindle).

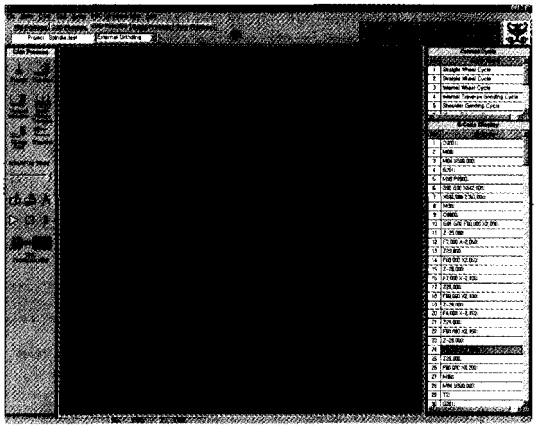


Fig. 6. Virtual dressing.

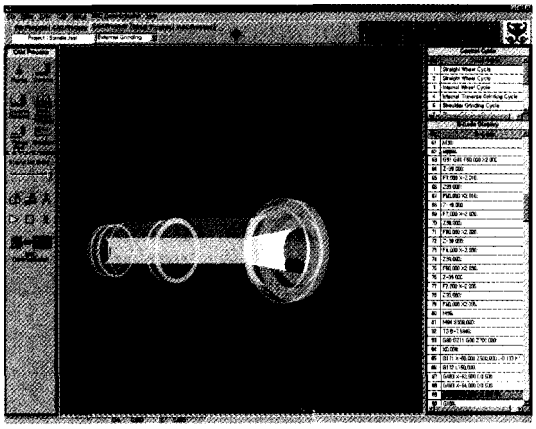


Fig. 7. Virtual internal grinding.

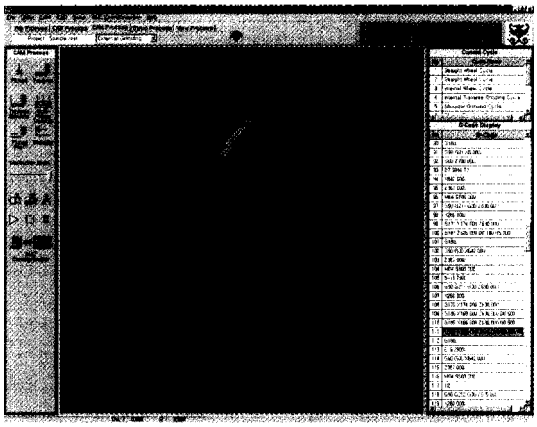


Fig. 8. Virtual external grinding #2.

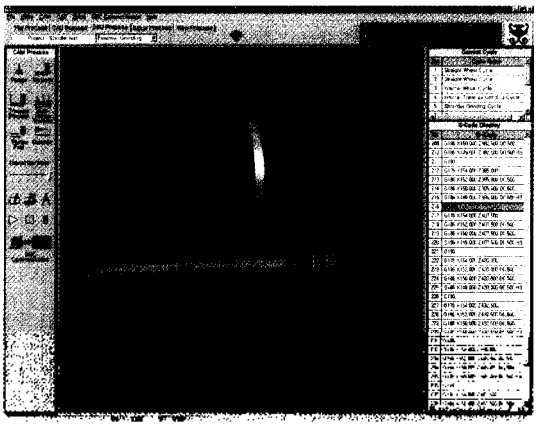


Fig. 9. Virtual external grinding #3.

10은 일련의 가상가공이 모두 완료된 주축(가공물)의 모습을 보여주고 있고, Fig. 11은 제품(Fig. 5)과

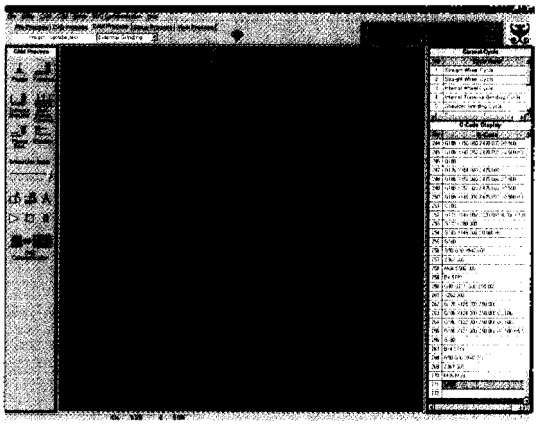


Fig. 10. Final shape of ground workpiece.

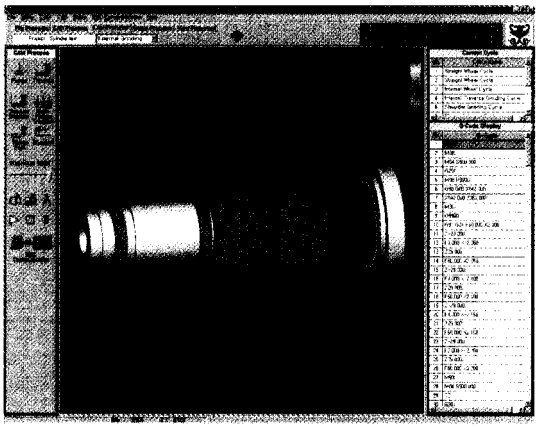


Fig. 11. Verification of NC codes.

가공물(Fig. 10)의 형상을 비교해서 도출한 가공물의 형상오차를 가시화한 예를 보여주고 있는데, NC 코드는 이러한 가공물의 형상오차를 토대로 검증할 수 있다. 이와 같이 NC 코드의 자동생성, NC 코드의 실시간 해석, 가상가공, NC 코드의 검증 등과 관련된 작업 수행을 통해서 입력정보의 오류 및 연삭공정의 타당성에 대한 사전 검증이 가능하고, 결과적으로 숫돌과 기계의 충돌문제를 미연에 방지할 수 있으며, 가공준비를 위한 시간과 노력이 대폭 절감되는 효과를 얻을 수 있다.

또한 본 연구에서는 CAD/CAM 시스템과 CNC 컨트롤러 간의 NC 코드 전송을 위해서 RS232C 기반의 DNC 기능을 구축하였다. Fig. 12는 DNC 운전을 위해서 필요한 COM 포트, 보드레이트, 패리티,

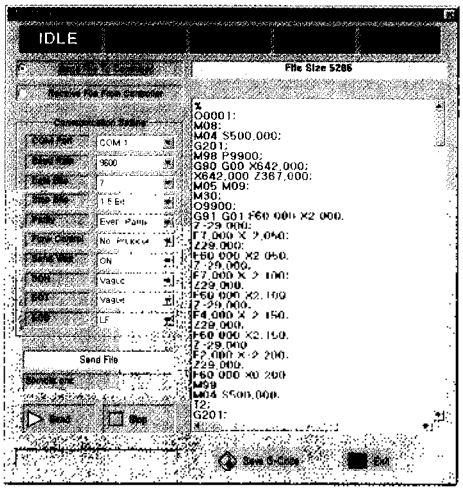


Fig. 12. DNC operation.

데이터 비트, 스톱 비트, 프로토콜 등과 관련된 통신 환경을 설정한 후 NC 코드를 CNC 컨트롤러로 전송시키는 예를 보여준다. 또한 본 연구에서는 사용자의 편의성을 고려하여 DNC 모듈에서도 화면 우측에 위치한 NC 코드 리스트 상에서 직접적인 NC 코드의 수정이 가능하도록 하였으며, 통신상태를 쉽게 확인할 수 있도록 전송되고 있는 NC 코드를 실시간적으로 화면 중앙에 표시하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 주축, 풀리, 동력축 등과 같은 환형물의 외면/단면/내면 연삭공정과 숫돌의 드레싱 공정을 집약적으로 수행하는 CNC 만능 원통연삭기의 CAD/CAM 시스템을 개발하였다. 특히 본 연구의 CAD/CAM 시스템은 특징형상들을 이용한 제품과 공작물의 형상설계부터 연삭기의 DNC 운전까지를 통합적으로 수행할 수 있기 때문에 시스템 사용자의 편의성과 함께 CNC 만능 원통연삭기의 생산성과 정밀도를 크게 향상시킬 수 있다. 그리고 본 연구를 수행하는 과정에서 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

① 효율적인 제품과 공작물의 형상설계를 위해서 환형물의 특징형상을 설정하고, 특징형상기반의 형상설계기능과 형상검증을 위한 3차원 가시화 기능을 구현하였다. 특히 환형물의 외면 및 단면 형상은 물론 내면 형상도 일관성을 가지고 설계할 수 있도록 하였다.

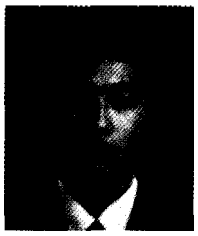
② 대화방식으로 입력되는 연삭 및 드레싱 공정 정보, 그리고 숫돌 정보 등을 토대로 연삭공정용 NC 코드와 드레싱 공정용 NC 코드를 자동생성하는 기능을 구축하였다.

③ NC 코드의 실시간 해석, 숫돌과 공작물 사이의 불리안 연산 등을 이용한 가상가공기능을 개발하였다. 이러한 가상가공기능은 실제의 연삭과정에서 발생할 수 있는 문제점을 사전에 검토할 수 있는 기회를 제공하기 때문에 연삭작업의 신뢰성과 효율성을 크게 향상시킬 수 있다. 또한 숫돌의 드레싱 작업도 동일한 개념의 가상가공기능을 통해서 검증할 수 있도록 하였다.

④ 제품과 가공물의 형상 비교를 통해서 가공물의 형상오차를 산정하고, 그 결과를 이용해서 NC 코드를 검증하는 기능을 구현하였다.

참고문헌

1. Zeid, I., *CAD/CAM Theory and Practice*, McGraw-Hill, 1991.
2. Groover, P.M. and Emory, W.Z., Jr. *CAD/CAM-Computer Aided Design and Manufacturing*, Prentice Hall of India Pvt. Ltd., 1987.
3. 竹內芳美, パソコンCAD/CAM - 機械加工への 用.
4. 黑河久男, 嘉數侑昇, 冲野教郎, 菊地千之, 旋削オペレーションプログラミングの研究, 精密機械, 第49卷, 第2號, (1983), pp. 169.
5. Format 15 CNC Cylindrical Grinding Machine ISO Training - User's Manual, Jones & Shipman, 1992.
6. KELCO-90 Control System Manual, Kellenberg.
7. Bayliss, G.M., Bowyer, A., Taylor, R.I. and Willis, P.J., "*Virtual Manufacturing, CSG 94 - Set- Theoretic Solid Modelling Techniques and Applications*, Winchester", UK, 1994.
8. FANUC Series 16-TB Programming Manual, FANUC, 1994.10.FANUC Series 16-TB Operator Manual, FANUC, 1994.



조 재 완

1998년 한국항공대학교 기계설계학과 학사
2000년 한국항공대학교 기계설계학과 석사
2000년~현재 (주)이엔소프트사 기술연구소 연구원
관심분야: CAD/CAM, Geometric Modeling, Virtual Manufacture

김 석 일

1981년 한국항공대학교 기계공학과 학사
1983년 한국과학기술원 기계공학과 석사
1990년 한국과학기술원 기계공학과 박사
1983년 한국과학기술연구원 정밀기계기술센터 연구원
1983년~1991년 한국기계연구원 공작기계실 선임연구원
1992년~현재 한국항공대학교 기계설계학과 부교수
관심분야: CAD/CAM/CAE기술, 공작기계 설계 및 해석, 차량 동역학 및 제어