

CNC 호브 릴리빙 선반의 CAM 시스템 개발

양희구* · 김석일** · 박천홍*** · 류근수****

Development of the CAM System for CNC Hob Relieving Lathe

Hee-Goo Yang*, Seok-Il Kim**, Chun-Hong Park*** and Gun-Soo Ryu****

ABSTRACT

The hob is considered as an effective gear cutting tool for achieving the various gears such as spur gear, helical gear, worm gear and so on. To enhance the productivity and precision of hobs and the competitive ability of domestic CNC hob relieving lathes, a CAM system for CNC hob relieving lathe needs to be realized. In this study, the CAM system is developed based on the personal computer and C language. Besides the automatic generation of CNC data, the developed CAM system has the various capabilities related to the generation of tool path, the cutting simulation for verifying the generated CNC data and forecasting the cutting time, the DNC operation for communicating the CNC data with CNC controller by RS232C port, and the estimation of undercut length for verifying the hob cutting conditions.

Key words : Hob, CAM System, Hob relieving lathe, Cutting simulation, CNC, DNC

1. 서 론

일반적으로 기어를 절삭할 수 있는 공구의 형태로는 호브, 파나인 커터, 래크 커터 등이 있다. 특히 호브는 스피어 기어, 헬리컬 기어, 워엄 기어 등을 절삭할 수 있기 때문에 매우 응용범위가 넓은 기어 절삭 공구이며, 다른 기어 절삭공구에 비해서 절삭효율이 좋기 때문에 가장 많이 활용되고 있다⁽¹⁾.

다른 모든 기계 가공분야와 같이 기어 가공분야에서도 최근 팔목할 만한 생산성 향상이 달성되었다. 예를 들면 승용차의 트랜스미션 기어에 대한 가공 사이클 타임은 지난 15년 동안 1/8로 단축되었다. 이것은 호빙 머신의 강성 및 성능의 향상, 기어 절삭법의 발달, 공작물의 효율적 관리 등에 의한 영향도 있지만, 특히 기어 절삭공구인 호브의 발전에 의한 영향을 지배적으로 받았다는 데 기인한다.

이러한 상황 때문에 몇몇 선진국에서는 호브를 정

밀 가공하기 위한 노력의 하나로 최근 CNC 호브 릴리빙 선반(CNC Hob Relieving Lathe)을 개발해서 호브의 생산성과 정밀도의 향상을 도모하고 있다⁽²⁾. 호브의 생산성과 정밀도는 하드웨어적인 측면에서는 릴리빙 선반의 강성, 모터의 동력 등과 같은 기계적인 제원에 의해서 영향을 받지만, 소프트웨어적인 측면에서는 제작할 기어의 제원과 사용조건을 이용하여 호브를 설계하고, 설계된 호브의 제원과 가공조건으로부터 CNC 정보를 생성한 후 그 CNC 정보를 토대로 CNC 호브 릴리빙 선반을 구동시키는 기술에 의해서 영향을 받게 된다. 따라서 소프트웨어적인 측면에서 호브의 생산성과 정밀도를 극대화시키기 위해서는 기어의 제원과 사용조건으로부터 최적의 호브의 제원을 결정하는 CAD 시스템, 그리고 호브의 제원과 가공조건으로부터 CNC 정보를 생성하는 CNC 호브 릴리빙 선반의 CAM 시스템 등을 구현할 필요가 있다.

본 연구에서는 호브의 제원과 가공조건으로부터 호브의 릴리프 선삭용 CNC 정보를 자동 생성하는 기능, CL 정보를 확인하기 위한 공구경로의 생성 기능, 생성된 CNC 정보의 검증 및 가공시간의 예측을 수행하는 절삭 시뮬레이션 기능, 그리고 검증된 CNC 정

*한국항공대학교 기계설계학과 대학원

**동진회원 한국항공대학교 기계설계학과

***한국기계연구원 공작기계그룹

****드레공싱기(주)

보를 컴퓨터로부터 CNC 컨트롤러로 직접 전송시키는 DNC 운전 기능 등을 갖춘 CNC 호브 릴리빙 선반의 CAM 시스템을 구현하였다. 그리고 본 연구에서 구현한 CAM 시스템의 제반 기능들은 CNC 호브 릴리빙 선반에서의 실제 절삭작업을 통해서 검증하였다. 특히 본 연구에서 도출된 연구결과는 호브의 생산성과 정밀도의 향상은 물론 국산 CNC 호브 릴리빙 선반의 고부가가치화에도 크게 기여할 것으로 생각한다.

2. 시스템의 구성 및 내용

호브는 Fig. 1에서와 같이 나사에 여러 줄의 세로 홈인 플루트(Flute)를 가공해서 많은 절삭날을 나사 위에 만든 것이라고 볼 수 있다⁽¹⁾. 그리고 이러한 호브는 소재 절단, 소재 절삭, 기준면 연삭, 플루트 밀

링, 키홈 슬로팅, 릴리프 선삭, 열처리, 내경 연삭, 측면 연삭, 릴리프 연삭, 품질 검사 등과 같은 여러 가지 공정들을 거쳐서 완성된다. 일반적으로 호브 제작공정에서 가장 많은 시간이 소요되는 공정으로는 릴리프 선삭공정과 릴리프 연삭공정을 꼽을 수 있는데, 본 연구에서는 국내외적으로 그 연구개발이 매우 미흡한 호브의 릴리프 선삭공정을 담당하는 CAM 시스템을 개발하는 데 중점을 두었다.

연속적으로 선삭할 수 있는 일반 나사와는 달리 호브의 릴리프 선삭공정에서는 래크(Rack) 형태의 종형 공구를 사용하여 Fig. 2(a)에서와 같이 호브 날 하나 하나에 대한 단속적인 릴리빙 가공을 황삭, 중삭, 정삭의 순으로 수행하며, 특히 릴리프 연삭공정에서 릴리프 면을 연삭할 때 발생하는 연삭숫돌과 호브 날 사이의 간섭현상을 배제하기 위하여 Fig. 2(b)와 같이 호브 날의 후단부를 절입량 δ_2 만큼 더 깊

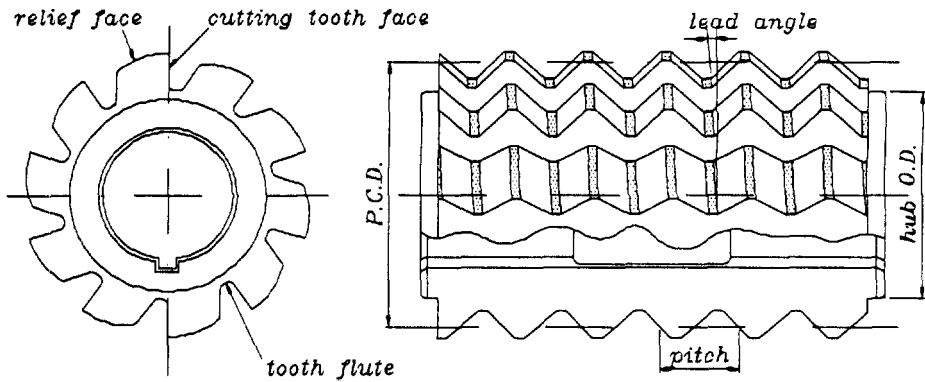
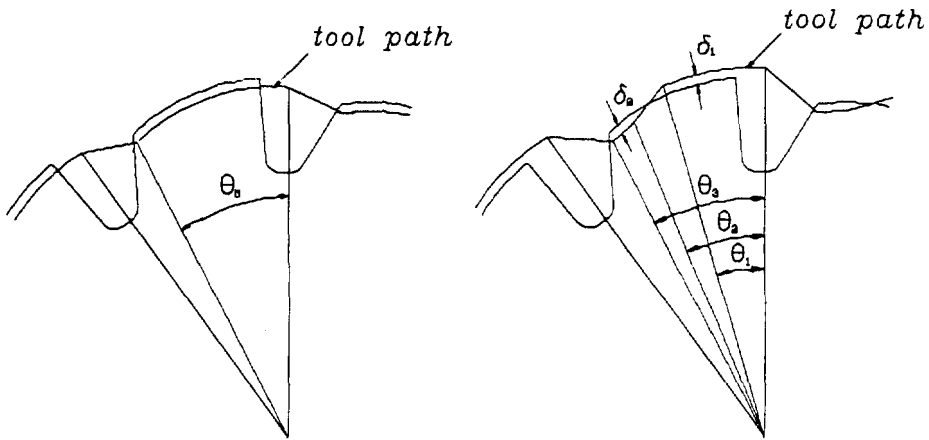


Fig. 1. Sketch of hob.



(a) Tool path for relieving hob

(b) Tool path for undercutting hob

Fig. 2. Tool path for cutting hob.

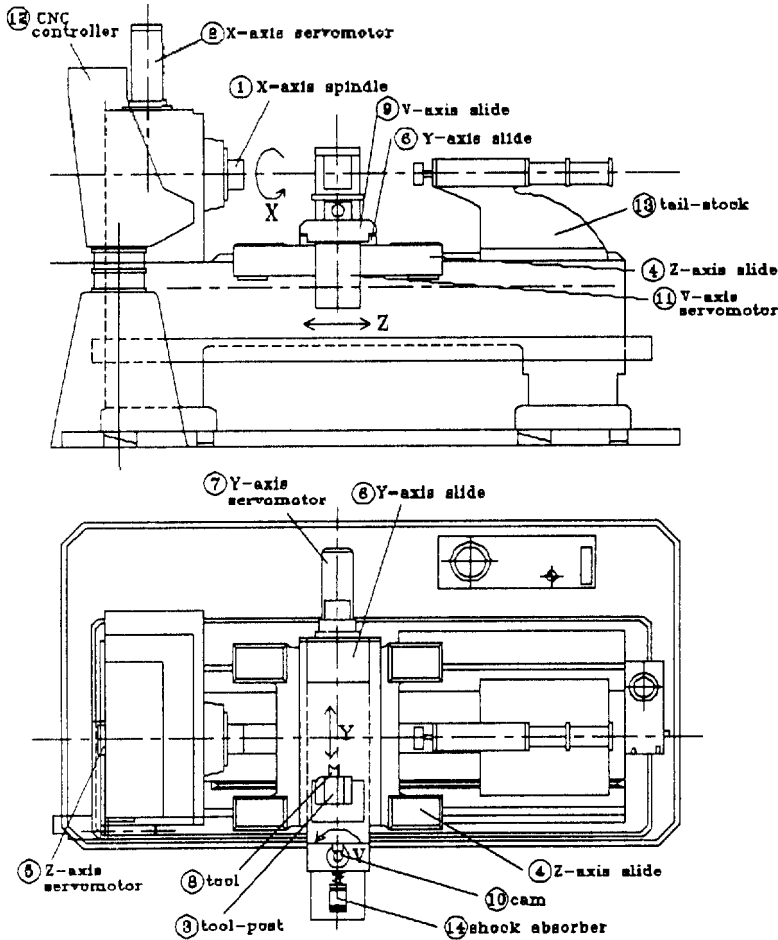


Fig. 3. Sketch of CNC hob relieving lathe.

게 가공하는 언더컷 가공이 마무리 가공으로 수반된다는 점에서 그 특징을 찾을 수 있다. 이러한 릴리프 선삭을 구현할 수 있는 CNC 호브 릴리빙 선반은 호브 소재의 회전을 담당하는 X축, 공구의 절입방향 이송을 담당하는 Y축, 공구의 길이방향 이송을 담당하는 Z축, 그리고 호브 날의 릴리빙 가공을 담당하는 V축으로 이루어진 4개의 제어축을 동시 제어할 수 있도록 구성되어 있다. 이와 관련된 CNC 호브 릴리빙 선반의 구조와 제어축들의 관계는 Fig. 3에 제시하였다⁽³⁾. 제어축 중에서 X축과 Z축은 나선 또는 링 형태로 배열되어 있는 호브 날의 형상을 추종하기 위해서, V축은 호브 날의 릴리프 면을 가공하기 위한 캠을 회전시키기 위해서, 그리고 Y축은 절입량을 부여하거나 언더컷 가공시에 공구를 절입방향으로 이송시키기 위해서 각각 사용된다. 이러한 가공방법의 차이점 때문에 동시 제어축의 수가 2개인 일

반적인 CNC 선반과는 완전히 다른 형태의 가공이 이루어지며, 그 결과 CNC 호브 릴리빙 선반의 CAM 시스템은 CNC 선반의 CAM 시스템과는 그 개념이 매우 다르게 된다. 따라서 CNC 호브 릴리빙 선반의 CAM 시스템을 개발하기 위해서는 호브의 설계 및 제작에 대한 내용을 충분히 인지하고, CNC 호브 릴리빙 선반의 구조적 제원과 CNC 컨트롤러의 기능을 모두 고려해야 한다.

본 연구에서 구축한 CNC 호브 릴리빙 선반의 CAM 시스템의 전체 구성과 주요 기능은 Fig. 4에서 볼 수 있다. 특히 본 연구에서 개발한 CAM 시스템은 시스템 사용자가 입력한 호브의 제원 및 가공조건으로부터 CNC 정보를 자동 생성하는 기능, CL 정보를 확인하기 위한 공구경로의 생성 기능, 생성된 CNC 정보의 검증 및 가공시간의 예측을 수행하는 절삭 시뮬레이션 기능, 검증된 CNC 정보를 RS232C를 통해

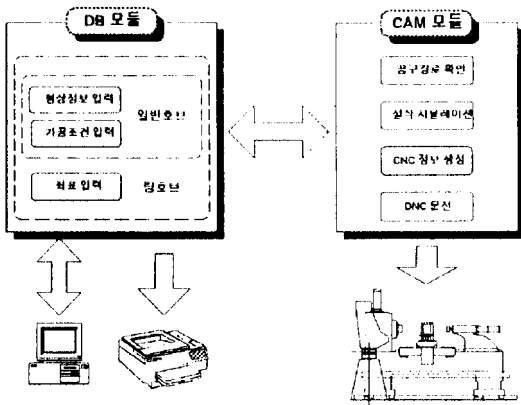


Fig. 4. Layout of CAM system.

서 컴퓨터로부터 CNC 컨트롤러로 직접 전송시키는 DNC 기능 등을 갖추고 있다.

3. 호브 날의 릴리빙 가공 및 언더컷 가공의 원리

호브의 형태는 호브 날의 배열이 나선 형태인 일반 호브와 링 형태인 링 호브로 크게 분류되고 있다. 일반 호브의 경우에는 공구가 나선 형태로 배열된 호브 날의 궤적을 추종하기 위해서 호브 소재의 회전(X축)과 공구의 길이방향 이송(Z축)이 동기 되어야 하지만, 호브 날의 리드 각(Lead Angle)이 0°인 링 호브의 경우에는 호브 소재가 1회전할 때마다 간헐적으로 공구가 길이방향 이송을 수행한다는 점에서 가공방법의 차이가 있다.

3.1 일반 호브

호브 날의 피치(Pitch)가 p 이고 줄수가 n 인 일반 호브를 가공하기 위해서는 호브 소재가 1회전하는 동안, 즉 X축이 360° 회전하는 동안 공구는 호브 날의 리드에 해당되는 np 만큼을 Z축 방향으로 이동해야 한다. 따라서 이 관계는 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta Z = \frac{np}{360} \cdot \Delta X \quad (1)$$

여기서 호브 날의 피치 p 는 호브 날의 나선 방향이 우나사 방향이면 양수값이고, 좌나사 방향이면 음수값을 갖는다.

또한 호브 1회전당의 호브 날수가 m 이고, 플루트

가 직선 형태로 이루어진 경우에는 호브 날의 릴리빙 가공을 위해서 X축이 1회전하는 동안 V축은 m 회전을 하게 된다. 그러나 호브 날의 강도를 높이기 위해서 플루트를 나선 형태로 가공하는 경우에는 플루트의 나선이 호브 날의 나선과 서로 반대방향으로 진행하기 때문에 플루트의 리드 g 에 의해서 V축이 m 회전을 할 때 X축은 1회전을 하지 못하게 된다. 이러한 X축과 V축의 관계는 식 (2)와 같이 주어진다.

$$\Delta X = \left(1 + \frac{np}{g}\right) \cdot \frac{1}{m} \cdot \Delta V \quad (2)$$

여기서 플루트의 리드 g 는 플루트의 나선 방향이 우나사 방향이면 양수값이고, 좌나사 방향이면 음수값을 갖는다.

일반 호브의 릴리빙 가공시에는 Y축이 X축, Z축 및 V축과 관계없이 가공시작점에서 절입량만큼씩 공구를 이송시키기 위해서 사용되지만, 언더컷 가공시에는 4축 모두가 동시 제어되어야 한다. 특히 Fig. 2(b)에서 볼 수 있듯이 비절삭구간 ($0 < V \leq \theta_1$), 진입구간 ($\theta_1 < V \leq \theta_2$), 절삭구간 ($\theta_2 < V \leq \theta_3$), 복귀구간 ($\theta_3 < V \leq 360^\circ$)으로 구분되어 있는 언더컷 가공과 관련된 Y축의 위치는 호브 날 하나 하나에 대해서 식 (3)과 같은 형태로 제어될 필요가 있다.

$$\text{if } (V \leq \theta_1) \text{ then } \Delta Y = 0 \quad (3)$$

$$\text{else if } (V \leq \theta_2) \text{ then } \Delta Y = -2 \cdot \frac{\delta_1 + \delta_2}{\theta_2 - \theta_1} \cdot \Delta V$$

$$\text{else if } (V \leq \theta_3) \text{ then } \Delta Y = 0$$

$$\text{else } \Delta Y = 2 \cdot \frac{\delta_1 + \delta_2}{360 - \theta_3} \cdot \Delta V$$

여기서 δ_1 은 언더컷 가공에서의 비절삭구간에서 유지해야 할 공구와 호브 사이의 틈새를 의미하며, δ_2 는 절삭구간에 대한 공구 절입량을 의미한다.

3.2 링 호브

링 호브의 가공에서는 호브 소재가 1회전하는 동안, 즉 X축이 360° 회전하는 동안 Z축 방향으로의 공구 이송이 없기 때문에 일반 호브와는 달리 X축과 Z축의 이송은 독립적으로 이루어진다. 그러나 호브 1회전당의 호브 날수가 m 이라면, 호브 날의 릴리빙 가공을 위해서 X축이 1회전하는 동안 V축은 m 회전을 하게 된다. 이러한 관계는 단순히 식 (4)와 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta X = \frac{1}{m} \cdot \Delta V \quad (4)$$

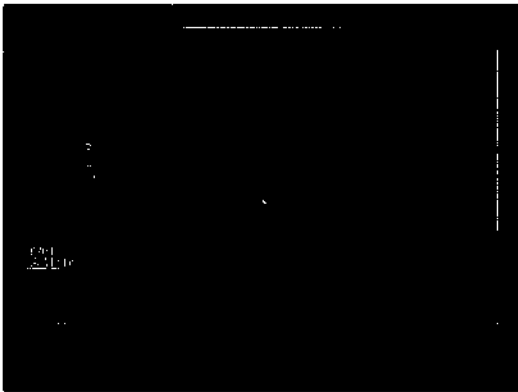


Fig. 5. Input of hob and machine setup data.

또한 링 호브의 플루트는 대부분 직선 형태로 가공되지만, 필요에 따라서 플루트를 나선 형태로 가공하는 경우도 있다. 이 경우에는 플루트의 리드 g 때문에 링과 링 사이의 호브 날에 대한 절삭시작점의 X축 좌표값이 달라지게 된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 링과 링 사이를 공구가 Z축 방향으로 급속 이송하는 구간에서 다음과 같은 X축의 위치 보상이 필요하다.

$$\text{if } \left(\frac{1}{g} \cdot \Delta Z < 0\right) \text{ then } \Delta X = -\frac{360}{m} \cdot \frac{1}{g} \cdot \Delta Z \quad (5)$$

$$\text{else } \Delta X = \frac{360}{m} \cdot \left(1 - \frac{1}{g} \cdot \Delta Z\right)$$

여기서 플루트의 리드 g 는 플루트의 나선 방향이 우나사 방향이면 양수값이고, 좌나사 방향이면 음수값을 갖는다.

링 호브의 릴리빙 가공시에는 Y축이 X축 및 Z축과 관계없이 가공시작점에서 절입량만큼씩 공구를 이송시키기 위해서 사용되지만, Fig. 2(b)와 같은 형태의 언더컷 가공시에는 Z축을 제외한 3축 모두가 동시 제어될 필요가 있다. 링 호브의 언더컷 가공과 관련된 Y축의 위치는 일반 호브의 경우와 마찬가지로 호브 날 하나 하나에 대해서 식 (3)과 같은 형태로 제어되어야 한다.

4. 시스템의 적용 사례 및 고찰

본 연구에서 개발한 CNC 호브 릴리빙 선반의 CAM 시스템은 호브의 생산성과 정밀도를 향상시킬 수 있도록 시스템 사용자가 입력한 호브의 제원 및 가공조건으로부터 CNC 정보를 자동 생성하는 기능,

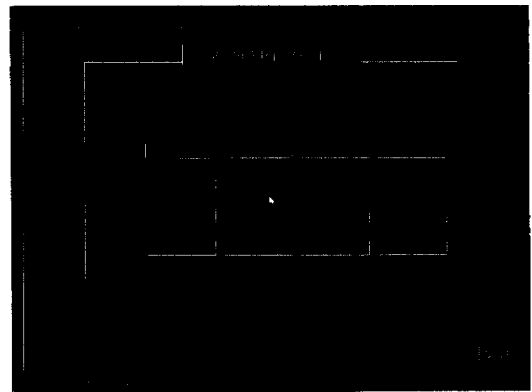


Fig. 6. Input of cutting conditions.

CL 정보를 확인하기 위한 공구경로의 생성 기능, 생성된 CNC 정보의 검증 및 가공시간의 예측을 수행하는 절삭 시뮬레이션 기능, 검증된 CNC 정보를 RS232C를 통해서 컴퓨터로부터 CNC 콘트롤러로 직접 전송시키는 DNC 기능 등을 갖추고 있다. 특히 시스템의 전체 운영은 기본적으로 풀다운 메뉴상에서 이루어지기 때문에 초보자인 경우에도 쉽게 이해할 수 있으며, 숙련자는 단축 키를 사용하여 빠른 운영을 할 수 있도록 구성되어 있다.

Fig. 5는 가공할 호브의 제원과 릴리빙 선반의 셋업 정보를 입력하는 예를 보여주고 있다. 컴퓨터 화면의 상단부에는 호브의 릴리프 선삭과 관련된 개념도가 정보 입력의 편의성을 제공하기 위해서 표시되었으며, 하단부에는 정보 입력란들이 배치되어 있다. 릴리빙 선반의 셋업과 관련된 입력 정보로는 주축 원점에서 공구의 초기 위치까지의 거리(중심 거리), 호브의 가공을 시작할 Z축 좌표(Z축 시작점)가 있으며, 호브의 제원과 관련된 입력 정보로는 축방향 피치, 플루트의 리드(홈 리드), 줄수, 가공분할수, 플루트의 개수(홈수), 캠의 편심량, 가공시작시의 직경(시작 직경), 가공종료시의 직경(종료 직경), 언더컷 가공시의 비절삭구간에 대한 캠의 각도(언더컷 시작), 진입구간에 대한 캠의 각도(언더컷 구간), 절삭구간에 대한 캠의 각도(언더컷 길이), 비절삭구간에서의 공구와 호브 사이의 틈새(언더컷 높이), 호브 외경의 테이퍼(호브 테이퍼), 절삭공구의 치형 높이(공구 높이) 등이 있다. 특히 입력 정보 중에서 가공분할수는 일반 호브의 줄수보다 절삭날의 수가 작은 총형 공구로 호브를 전체적으로 가공하는 데 필요한 동일 절삭깊이에서의 반복 가공회수를 나타내며, 또한 호브의 줄수가 0인 경우에는 가공할 호브가 링 호브임

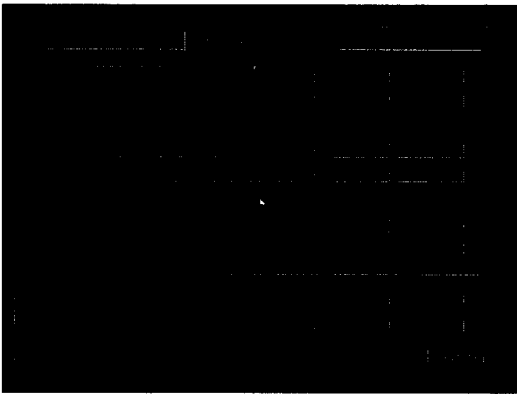


Fig. 7. Input of position data for ring hob tooth.

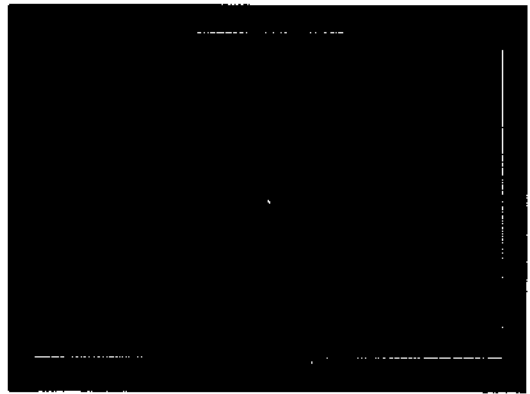


Fig. 9. Verification of CL data for ring hob.

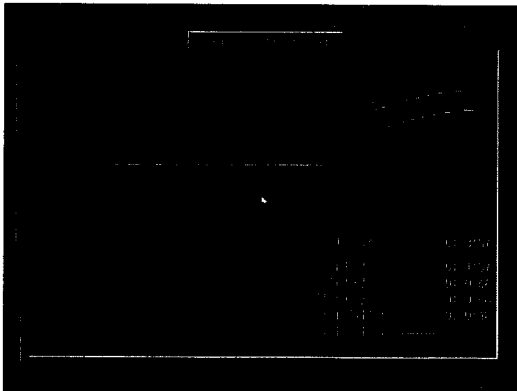


Fig. 8. Verification of CL data for general hob.

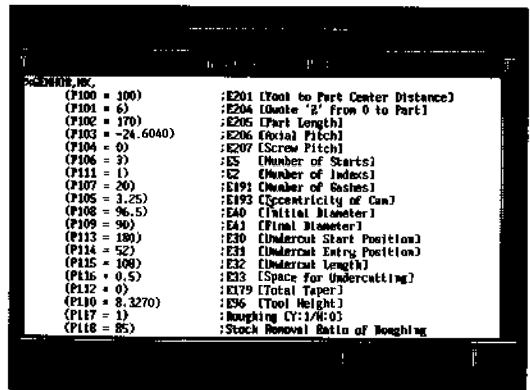


Fig. 10. Verification of CNC data.

을 의미한다.

호브의 릴리프 선삭공정은 크게 황삭, 중삭, 정삭, 그리고 언더컷 가공으로 나누어진다. 따라서 각각의 절삭작업에 대한 수행 여부(작업 유무), 절삭비율, 절입량, 절삭속도 등과 같은 가공조건에 대한 입력이 필요하다. Fig. 6은 이러한 가공조건에 대한 정보 입력의 예를 보여주고 있다. 황삭, 중삭, 정삭을 통해서 절삭해야 할 호브의 총절입량(반경값)은 $0.5 \times (\text{시작 직경} - \text{종료 직경}) + \text{캠의 편심량}$ 으로 주어지는데, 각각의 절삭작업에서 절삭해야 할 절삭작업별 총절입량은 호브의 총절입량에 절삭비율을 곱해서 결정한다. 그러나 언더컷 가공의 경우에는 절삭비율이 아닌 언더컷 가공에서의 총절입량(반경값)을 입력하도록 되어 있다. 그리고 절삭작업별 총절삭회수는 절삭작업별 절입량으로 절삭작업별 총절입량을 나누어 줌으로써 계산된다. 또한 여기서의 절삭속도는 1분 동안에 가공되는 호브 날의 수(회수)를 의미한다. 즉

V축에 부착된 캠의 회전수(rpm)와 같은 값이다.

호브의 줄수가 0인 경우, 즉 링 호브의 경우에는 호브 날의 리드 각이 0°이기 때문에 일반 호브와 달리 각각의 링에 대한 기준 호브 날의 Z축 좌표값과 X축 좌표값에 대한 정보가 별도로 요구된다. 따라서 본 연구에서는 인접한 두 링의 기준 호브 날에 대한 Z축 방향과 X축 방향의 좌표 증분값들을 입력하는 방법을 통해서 이와 관련된 정보를 산출하였는데, Fig. 7은 그 좌표 증분값의 입력 예를 보여주고 있다.

이상과 같은 제반 정보의 입력이 완료되면, 입력 정보에 대응되는 공구경로인 CL 정보를 생성할 수 있는데, Fig. 8과 9에서는 각각 일반 호브와 링 호브의 황삭, 중삭, 정삭, 그리고 언더컷 가공에 대한 CL 정보를 컴퓨터 화면상에 나타낸 예를 볼 수 있다. 특히 호브 날의 릴리프 면이 가공되는 형태는 컴퓨터 화면의 우측 상단에서 볼 수 있다. 그리고 가공조건을 검증할 수 있도록 컴퓨터 화면의 우측 하단에는

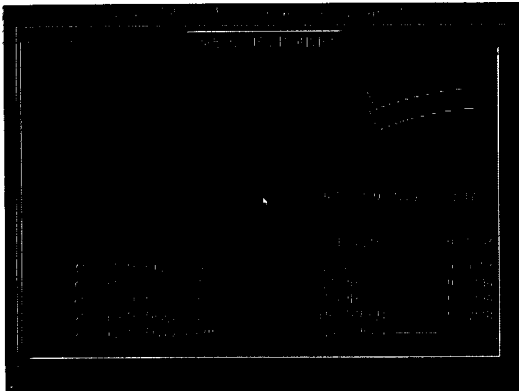


Fig. 11. Cutting simulation of general hob.



Fig. 13. Cutting operation and product.

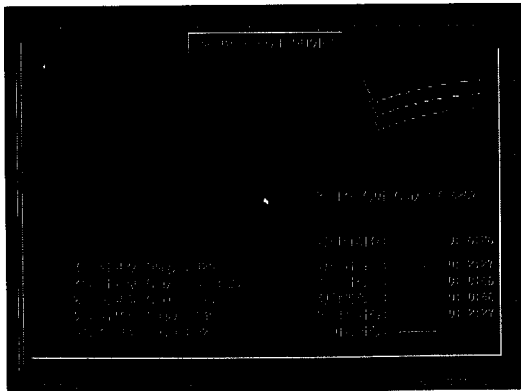


Fig. 12. Cutting simulation of ring hob.

총절삭시간과 절삭작업별 절삭시간이 표기되어 있다. Fig. 10은 컴퓨터에서 CNC 콘트롤러로 전송할 CNC 정보를 보여주고 있다. 본 연구에서 개발한 CAM 시스템은 CNC 호브 릴리빙 선반의 CNC 콘트롤러인 FAGOR CNC8050M에서 요구하는 형태로 CNC 정보를 출력하고 있다^{(4), (5)}. 그리고 생성된 CNC 정보는 절삭 시뮬레이션 기능을 통해서 검증할 수 있는데, Fig. 11과 12에는 일반 호브와 링 호브에 대한 절삭 시뮬레이션의 예를 제시하였다. 컴퓨터 화면의 좌측 하단에는 현재의 가공상태를 나타내는 X축, Y축, Z축 및 V축에 대한 좌표값들과 V축의 회전수가 표시되어 있다. 또한 호브의 릴리프 면을 연삭할 때 발생하는 연삭수들과 호브 날 사이의 간섭을 배제하기 위해서 수행하는 언더컷 가공과 관련된 정보를 검증할 수 있도록 호브의 제원과 가공조건으로부터 언더컷 길이를 계산하여 그 결과를 컴퓨터 화면의 우측 중단부에 제시하였다. 특히 이러한 언

더컷 길이에 대한 계산결과는 지금까지 작업자의 직관에 의해서만 결정되었던 언더컷 가공과 관련된 정보를 체계적으로 설정할 수 있도록 만들어 주기 때문에 요구되는 언더컷 길이를 얻는 데 소요되는 시간과 노력을 크게 줄일 수 있다.

그리고 절삭 시뮬레이션 기능을 통해서 검증된 CNC 정보는 DNC 기능을 이용하여 CNC 콘트롤러로 직접 전송시킬 수 있는데, Fig. 13은 컴퓨터로부터 전송 받은 CNC 정보를 이용해서 CNC 호브 릴리빙 선반으로 호브의 릴리프 선삭을 수행하는 모습과 릴리프 선삭이 모두 완료된 상태의 호브를 보여주고 있다.

5. 결 론

본 연구는 호브의 생산성과 정밀도를 향상시키기 위한 노력의 일환으로 CNC 호브 릴리빙 선반의 CAM 시스템을 구현하는 데 그 목적을 두었다. 이를 위해서 호브의 제원과 가공조건으로부터 호브의 릴리프 선삭용 CNC 정보를 자동 생성하는 기능, CL 정보를 확인하기 위한 공구경로의 생성 기능, 생성된 CNC 정보의 검증을 수행하는 절삭 시뮬레이션 기능, 검증된 CNC 정보를 RS232C를 통해서 컴퓨터로부터 CNC 콘트롤러로 직접 전송시키는 DNC 기능 등을 개발하였다. 아울러서 가공조건을 검토할 수 있도록 호브의 릴리프 선삭에 소요되는 총절삭시간과 절삭작업별 절삭시간의 자동 계산, 그리고 언더컷 길이의 자동 계산 등과 같은 여러 가지 부가 기능들을 제공하고 있다. 이러한 제반 기능들은 작업자의 경험에 의해서만 결정되었던 가공조건을 체계적으로 설정할 수 있도록 만들어 주기 때문에 원하

는 형태의 호브를 릴리프 선삭하는 데 소요되는 시간과 노력을 크게 감소시킬 수 있다. 그리고 본 연구를 통해서 정립된 연구결과는 국산 CNC 릴리빙 선반의 고부가가치화에도 크게 기여할 것으로 판단한다.

참고문헌

1. 기어편람편집위원회, "기어편람", 技多利, pp.923-939, 1987
2. Samputensili, "SW Manual for CNC Relieving Lathe (TSCR CNC)", 1993
3. 한국기계연구원, "CNC Relieving Lathe 개발", 통상산업부 연구보고서, 1995
4. Fagor Automation, "Programming Manual (FAGOR 8050)", 1993
5. Fagor Automation, "Operation Manual (FAGOR 8050)", 1993



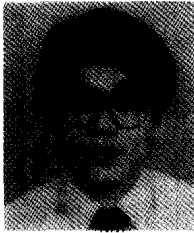
양희구

1995년 한국항공대학교 기계설계학과 학사
 1995년~현재 한국항공대학교 기계설계학과 석사
 관심분야: CAD/CAM, 솔리드모델링, Virtual Manufacturing



김석일

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



박천흥

1983년 한양대학교 정밀기계학과 학사
 1985년 한양대학교 정밀기계학과 석사
 1985년~현재 한국기계연구원 선임연구원
 관심분야: 정밀, 초정밀공작기계 요소설계/성능평가



류근수

1973년 인하대학교 기계공학과 학사
 1973년~1977년 (주)동양기계공업
 1977년~현재 (주)드래곤정기
 관심분야: Hob 설계, CAD/CAM, FA