

이 논문은 한국과학재단 지정 지역협력연구센터인 조선대학교 수송기계부품  
공장자동화 연구센터의 1995년도 연구비의 지원에 의해 연구되었음

## 비진원 가공용 CNC 선반 개발에 관한 연구

김경석\*, 김종관\*, 김성식\*\*, 양승필\*\*\*, 정현철\*\*\*\*, 김정호\*\*\*\*, 이도윤\*\*\*\*

### A Study on the Development of CNC Lathe for Noncircular Cutting

Keong-suk Kim\*, Jong-kwan Kim\*, Sung-sik Kim\*\*, Seung-pil Yang\*\*\*,  
Hyun-chul Jung\*\*\*\*, Jeong-ho Kim\*\*\*\*, Do-yun Lee\*\*\*\*

#### ABSTRACT

The purpose of this study is the development of a lathe which can cut any pistons of oval shape with high speed, accuracy and precision by CNC (Computer Numerical Control) method. Y axis which is the position determinating mechanism with high speed response was added to the CNC lathe and the ovality and profile was cut under the control of C-Y-Z axes at same time. In the case of ovality of  $\phi 0.2\text{mm}$ , the productivity can be improved up to 2500rpm(Y axis : 83Hz) by high speed cutting than modeling method. Since a personal computer is used, it is easy to change the shape of piston and can be applied promptly to many types of piston shape by only changing data files.

**Key Words** : CNC Lathe(CNC선반), Piston(피스톤), Ovality

#### 1. 서론

자동차 엔진의 피스톤은 핀 구멍의 복잡한 형상과 2사이클 엔진의 경우 실린더쪽 흡기 및 배기 포트의 위치에 따라 균일하지 않은 열이나 응력 등의 영향에 의한 변형을 고려하여, 상온에서의 형상이 각종 평가시험<sup>(1)</sup>을 거쳐 엔진마다 다양한 형상을 갖는 피스톤으로 결정된다. 일반적으로 횡단면 형상은 타원이고 종단면 형상은 테이퍼 및 선형의 프로파일을 갖도록 되어 있다. 그러므로 피스톤의 외경 사상 가공에는 예전부터 마스터 모델(Master Model)을 사용한 모방(Copying)절삭 방식<sup>(2)</sup>이 많이 이용되고 있으며, 현재에도 이 방식이 주류를 이루고 있다.

그러나 모방절삭 방식에는 마스터 챔에 압접하는 스타일러스(Stylus)의 추종성 한계로 가공 회전수(500rpm)에 한계가 있고, 스타일러스의 마모에 의해 외경 형상이 변화하게 되어 정도의 산포가 크며, 마스터 챔의 제작비가 비싸고 장시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 컴퓨터 제어에 의한 방법으로서 타원 형상을 갖는 임의의 피스톤을 고속, 고정도로 가공할 수 있는 선반 개발에 관하여 연구하였다.

CNC(Computer Numerical Control) 선반에 고속 응답성을 갖춘 위치 결정 기구 Y축을 부가하여 C축과 Y축의 제어로 Ovality를, C축과 Z축의 제어로 Profile을 동시가공 함으로써 피스톤 가공이 가능하다. 또한 피스톤

\* 조선대학교 수송기계부품 공장자동화 연구센터  
\*\* 화천기공(주) 연구소  
\*\*\* 동아전문대학 금형설계과  
\*\*\*\* 조선대학교 대학원

데이터를 퍼스널 컴퓨터로 입력하고 CNC 제어하므로 마스터 캠의 제작 불필요, Recess등과 같은 미세가공 가능, 피스톤의 형상 변경 용이, 고속 가공 등으로 모방 절삭 방식보다 훨씬 높은 생산성 향상이 기대된다.

## 2. 이론 해석

### 2.1 가공 원리

C축, Y축, Z축을 동기 시키고 Fig. 2.1과 같이 C축 1회전당 공구가 P<sub>1</sub>에서 P<sub>n</sub>까지 헬리컬 형상의 경로<sup>(11)</sup>를 갖게 되면 이 경로를 피스톤 전 길이에 걸쳐 반복함으로써 타원 가공이 가능하다. Δθ, ΔZ, Δr<sub>i</sub>는 공구가 공구 경로 상의 임의의 점 P<sub>i-1</sub>에서 P<sub>i</sub>로 이동할 때의 각축 이동량이고, 이 값이 고속 가공 프로그램 데이터의 한 블록이 된다.

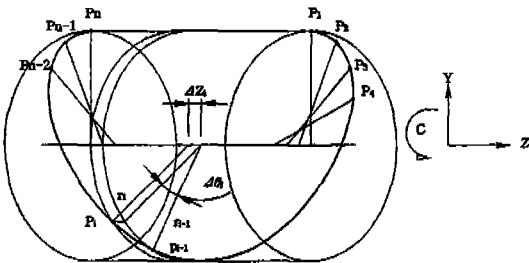


Fig. 2.1 Path of tool

또한 공작물을 회전시켜 타원 형상을 선삭가공하기 위해서는 주축(C축) 1회전당 공구가 2회 왕복해야 한다. 따라서 주축의 회전수를 높이기 위해서는 고속 이송 시스템의 높은 추종성이 요구되고, 그 성능은 모터의 능력이 중요한 요인이 된다. 사인파 형상의 타원을 가공하는 경우 고속 위치 결정축(Y축)의 주파수 f(Hz)는

$$f = \frac{2 \times N}{60} \quad (2-1)$$

이며, 여기서 N(rpm)은 주축(C축)의 회전수이다.

타원의 장경과 단경의 반경 차이인 공구의 이동량 y(mm)와 공구의 이동 가속도  $\ddot{y}(mm/sec^2)$ 는 다음과 같다.

$$y = \frac{Y_1}{2} \times \sin(f \times 2\pi \times t) \quad (2-2)$$

$$\ddot{y} = -\frac{Y_1}{2} (f \times 2\pi)^2 \times \sin(f \times 2\pi \times t) \quad (2-3)$$

여기서, Y<sub>1</sub>(mm) = (타원의 장경 - 타원의 단경) / 2이다. 한편 모터의 가속 능력<sup>(12)</sup>  $\ddot{\theta}(mm/sec^2)$ 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\ddot{\theta} = \frac{T_a - T_f}{J_R - J_P} \quad (2-4)$$

여기서, T<sub>a</sub>(Kg·mm)는 모터의 가속 토크이고 T<sub>f</sub>(Kg·mm)는 절삭 토크이며 J<sub>R</sub>(Kg·mm/sec<sup>2</sup>)은 Rotor Inertia, J<sub>P</sub>(Kg·mm/sec<sup>2</sup>)는 부하 Inertia이다.

식 (2-4)를 직선 왕복 운동하는 공구의 가속도로 나타내면 다음과 같다.

$$\ddot{y} = \frac{\ddot{\theta} \times L_1}{2\pi} \quad (2-5)$$

L<sub>1</sub>은 Ball Screw의 Lead이다.

### 2.2 학습 제어

임의의 주기로 반복되는 지령이나, 주기마다 서서히 변화하는 지령에 대해서 고정도의 제어가 가능한 이 기능은 지령과 피이드백의 편차가 0이 되도록 보정량을 만들고 최종적으로 편차는 0에 근접하도록 한다. 이것은 고속가공 사용 시에 유효하게 되며 보통의 편차에 의한 피이드백 제어에 더해서 1주기 전의 편차를 부가하는 일로서 주기적인 목표 입력에 고정도로 추종시키는 방식이다. 이때 1주기 전의 최종 값이 다음 주기의 초기 값으로 되는 것이 반복 제어이고, 각 주기마다의 초기 값을 같도록 하는 것이 학습제어<sup>(5)</sup>이다. Fig. 2.2는 현재의 서보계의 개략도를 표시한 것이다. 이 제어는 스텝 형태의 위치 지령에 대해서 제어 편차를 발생치 않는다. 1주기 전달 함수가 직류 입력, 즉 s가 0으로 수렴함에 따라 출력이 무한대로 되기 때문이다.

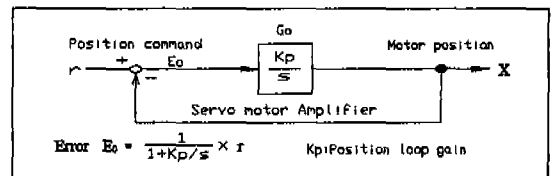


Fig. 2.2 Block diagram of current servo system

여기서, Fig. 2.3에 표시한 주기  $L$ 을 얻는 지령  $r$ 을 Fourier급수로 전개하면  $2\pi/L$ 를 주기로 하여  $\omega_k = 2\pi k/L$ 인 고주파를 갖는 지령이 된다. 이  $\omega_k$  각각의 주파수에 대해 Loop Gain( $k$ )이 무한대가 되는 Controller  $H(s)$ 를 투입하면 각 주파수  $\omega_k$ 성분에 대해서 제어 편차가 0이 되고, 지령에 대해서 고정도로 추종된다.

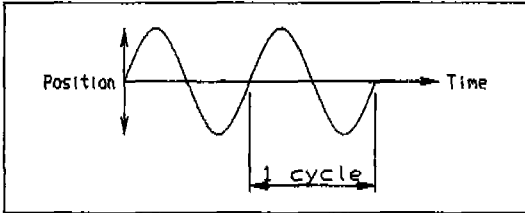


Fig. 2.3 Repeating command

Fig. 2.4에 반복 제어의 개략도를 나타냈다.  $H(s)$ 는 기본 주기인  $L$ 과 같은 지연 시간  $L$ 을 갖는 Controller로 초기 함수 1주기 분으로부터 연속적으로 주기 신호를 발생하는 함수 발생 기구로 된다. 이때  $H(s)$ 는

$$H(s) = \frac{1}{1 - \exp(-sL)}$$

이 된다.

$s$ 에  $j\omega$ 를 대입하면 명확하게  $\omega = \omega_k$ 인 전체 주파수에 있어서 출력이 무한대이므로 시스템이 안정하다면 반복 지령에 대해 편차가 0이 된다. 이것은 주기  $L$ 에 동기한 외란에 대해서도 동일 결과가 되기 때문에 외란에 의한 편차 억제에 대해서도 효과를 기대할 수 있다.

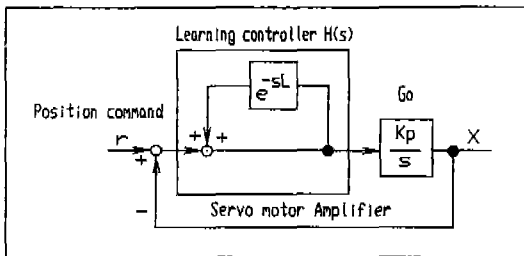


Fig. 2.4 Block diagram of repeating control

Y축에 1주기( $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$ ) 0.04sec이고, 다음 식으로 표현되는 동작을 지령하여 테스트한 결과 Fig. 2.5에 나타

난 것과 같이 약 8회(0.32sec)의 반복 제어이고, 편차는 약 1 $\mu$ m 이하인 위치 오차로 되었다.

$$Y\text{축의 1주기} = -0.15 \times \frac{(1 - \cos 2\theta)}{2}$$

여기서,  $\theta$ (degree)는 C축의 각도이다.

또한 Fig. 2.6은 편차 수렴후 1주기 분의 지령과 실제 모터의 동작을 표시하며, 지령을 표시한 선과 모터 움직임을 표시하는 선이 대부분 겹치게 된다. 따라서 모터의 움직임이 지령에 대해 양호함을 알 수 있다.

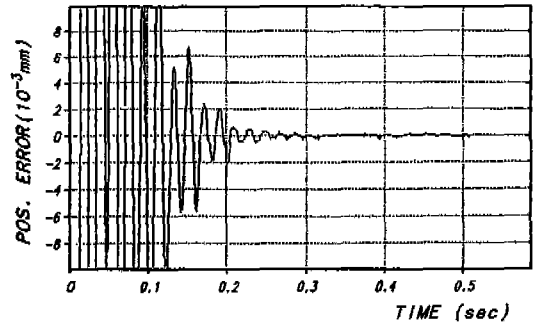


Fig. 2.5 Results of repeating control(position error)

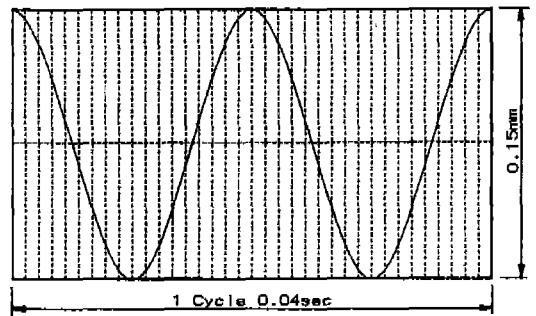


Fig. 2.6 Command and practical motion of motor

### 3. 실험

#### 3.1 실험장치

피스톤의 외경을 가공하기 위해서는 3축 동시 제어가 필수라 할 수 있으며 동시 제어를 위해서는 몇 가지 조건이 필요하다. 첫째, 고속 위치 결정을 할 수 있는 축 구성

들째, 피스톤의 형상 데이터를 처리하고 기계어로 변환할 수 있는 Software 셋째, 많은 양의 데이터를 고속으로 전송 넷째, 피스톤의 형상에 맞는 Jig&Fixture 및 절삭 공구 등이다. 본 실험 장치는 일반적인 CNC 선반에 주축을 C축으로 하고 고속 위치 결정을 위한 Y축을 부가하였으며 네개의 축을 제어할 수 있는 Controller를 이용하여 C-Y-Z축 동시 제어로 비원형 절삭을 할 수 있다. 또한 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 피스톤 형상을 데이터화하고 기계측 리모트 버퍼(Remote Buffer)로 고속 전송하도록 하였다. 고속 위치 결정 장치에 이용되는 구동 방식에는 전기 유압서어보 방식, Servo Motor-Ball Screw 방식<sup>(6)</sup>, Linear Motor 방식, 압전 Actuator 방식, 전자 흡인력 방식<sup>(5)</sup>이 있으나 본 실험 장치에서는 제어가 용이하고 강성이 크며 실용성이 높은 Servo Motor-Ball Screw 방식을 이용하였다. Photo. 3.1에 실험 장치의 외관, Photo. 3.2에 가공부의 구성을 나타내고, Table 3.1에 실험 장치의 주요 사양을 나타냈다.

Table 3.1 Main specification of experimental apparatus

사	양	단	위	크	기
가공 능력	베드스윙	mm		φ 400	
	최대가공경	mm		φ 220	
	표준가공경	mm		φ 165	
	최대가공길이	mm		400	
주 축	주축태이프	-		MT No.5	
	최고회전수	rpm		3000	
심 압 대	직 경	mm		φ 60	
	이 동 거 리	mm		100	
	테 이 프	-		MT #3	
공 구 대	공 구 수	EA		3 개	
	공 구 크기	mm		φ 8	
이 송 범 위	X 축	mm		130	
	Y 축	mm		20	
	Z 축	mm		445	
급 이 송 속 도	X 축	mm/min		20,000	
	Y 축	mm/min		6,000	
	Z 축	mm/min		20,000	
설 치 면 적	기 계 높 이	mm		1540	
	길 이 × 폭	mm		1700 x 1365	
	기 계 중 량	Kg		2200	

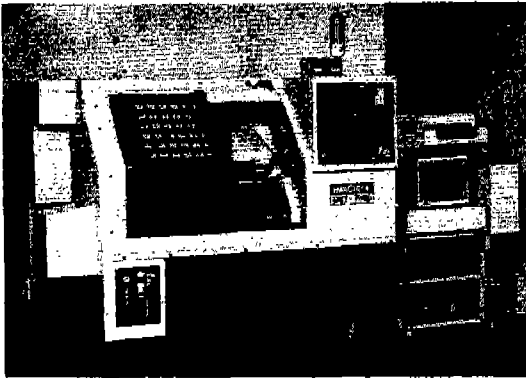


Photo. 3.1 Experimental apparatus

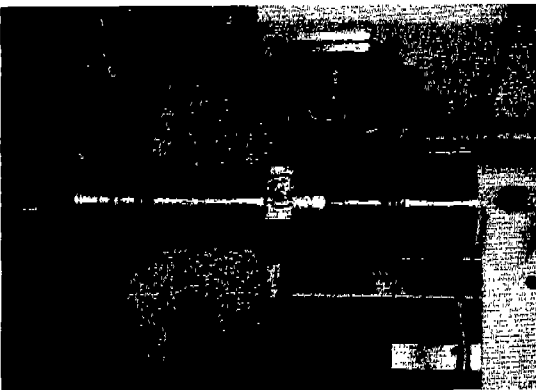


Photo. 3.2 Construction of cutting part

### 3.1.1 C축 구성 및 Chucking

본 실험 장치에서는 주축을 서보 모터에 의해 직접 구동되는 C축 제어로 하여 C-Y-Z축 동시 제어로써 하였다. 또한 피스톤의 형상은 특이한 관계로 각 모델별로 Chucking 방법이 다르고 CNC 선반에 사용되는 유압척과 유압 방식의 심압대로 Chucking할 경우 연결인 알루미늄 합금의 피스톤에는 심한 변형을 일으켜 정밀 가공이 불가능하게 되므로 별도의 Chucking 시스템을 필요로 한다. Chucking에 의한 변형을 최소화하기 위해서 피스톤을 고정하지 않고 주축과 심압대의 양단에 지지하는 방식으로 설계하였다. 심압대는 5kg/cm<sup>2</sup>의 압력을 유지하는 공기압 시스템으로 하였고 소재를 밀착시킬 때 심압대의 축선에 일치되도록 유연성 있게 설계하였다.

### 3.1.2 Y 축 구성

CNC 선반으로 원통 절삭시 이송 방향이 반전하는 경우 X축에서의 백래쉬 발생으로 그 부분에 형상 오차가 발생한다. 이 형상 오차를 줄이기 위해 X축 방향으로 고속 왕복 운동 축인 Y축을 설치하였고, Y축의 고속 위치 결정을 위해서 고강성, 낮은 열팽창, 낮은 관성 및 내마모성에 중점을 두어 설계하였다.

안내 면은 미끄럼 베어링 방식을 채용하여 경계 윤활 조건하에서의 마찰계수, 경계 윤활 조건하에서의 비마모량을 고려하여 슬라이드는 두랄루민(A17075)에 파인 세라믹스인 알루미나( $Al_2O_3$ )를 코팅하였고, 알루미나의 기계적 성질을 Table 3.2에 나타냈다. 지지대는 구상 흑연 주철(GC300)에 1964년 미국 SHAMBAN社와 미 항공국 NASA에서 공동 개발한 불화 중합 탄소 중합체에 촉진제를 넣은 일명 Turcite "B" HP를 부착하였다. Turcite "B" HP<sup>(13)</sup>의 마모 및 수명 관계는 식(3-1)과 같다. 여기서, PV값은 실험과 경험에 의해 결정되며 일반적으로 한계 PV값으로 230이고 K는 평균치로써  $4 \times 10^{-8}(\text{cm}^3 \cdot \text{sec}/\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{hr})$ 이다. Table 3.3에 Turcite "B" HP의 기계적 성질을 나타냈다.

$$W = KPVT \quad (3-1)$$

- 여기서, W : 마 모 (cm)
- K : 마모계수 ( $\text{cm}^3 \cdot \text{sec}/\text{Kg} \cdot \text{m} \cdot \text{hr}$ )
- P : 단위면적당 하중 ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )
- V : 속 도 (m/min)
- T : 시 간 (hr)

Table 3.2 Mechanical property of Alumina

특 성	단 위	알루미나 ( $Al_2O_3$ )
밀 도	$\text{g}/\text{cm}^3$	3.94
경 도	Hv	1650
세로탄성계수	$10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$	3.8
비 열	$\text{cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$	0.19
열팽창율	$\times 10^{-6} \text{ cm}/\text{cm}/^\circ\text{C}$	7.5
인장강도	$\text{kgf}/\text{cm}^2$	2500
굽힘강도	$\text{kgf}/\text{cm}^2$	3500
압축강도	$\text{kgf}/\text{cm}^2$	21000

Table 3.3 Mechanical property of Turcite "B" HP

특 성	단 위	ASTM 검사방법	Turcite "B" HP
비 중		D1457-62	3.12
인장강도	$\text{kg}/\text{cm}^2$	D1457-62	165
굽힘강도	$\text{kg}/\text{cm}^2$	D790-59T	100
압축강도	$\text{kg}/\text{cm}^2$	D695-54	157
경 도	Hs		69
선팽창계수 (150 $^\circ\text{C}$ )	$\times 10^{-5} \text{ cm}/\text{cm}/^\circ\text{C}$	D696-90	11
열전달율	$\text{cal}/\text{sec} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$		$1.8 \times 10^{-2}$
마 모 율	$\text{cm}^3 \cdot \text{sec}/\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{hr}$		$3.7 \times 10^{-8}$

슬라이드부 중량은 5kg 이내로 설계하여 관성을 최소화 하였고 구동에는 100 Hz까지 응답하는 High Response Motor이며 관성 모우멘트가 낮은 모터를 사용하였으며 그 관성 모우멘트를 구하는 식은 다음과 같다.

모터에 걸리는 관성 모우멘트  $J_M(\text{kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2)$ 은

$$J_M = J_B + J_S + J_C = 0.00548 \text{ kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2$$

- 여기서  $J_B$ : Ball Screw에 걸리는 관성 모우멘트
- $J_S$ : 슬라이드 부에 걸리는 관성 모우멘트
- $J_C$ : 커플링에 걸리는 관성 모우멘트

이며, 모터(AC 6L)의 관성 모우멘트는  $0.01 \text{ kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2$  이므로 55% 이내에 들도록 설계하였다. 또한 Ball Screw의 Backlash 및 국부 마모를 줄이기 위하여 Over Size 예압방식과 마이크로 프로그램으로 보울의 위치를 바꿈으로서 국부 마모를 해결하였다. Ball Screw의 열에 의한 치수의 영향(자유 팽창량)  $\Delta l$  은

$$\Delta l = \alpha \times L_1 \times \Delta t$$

여기서,  $L_1$ : Ball Screw Lead (mm)

$\alpha$ : 재료의 선 팽창계수 ( $\text{cm}/\text{cm}/^\circ\text{C}$ : 철의 경우  $1.15 \times 10^{-5}$ )

$\Delta t$ : 온도 변화량 ( $^\circ\text{C}$ )

이고, Fig. 3.1에 Y축의 구조를 나타냈다.

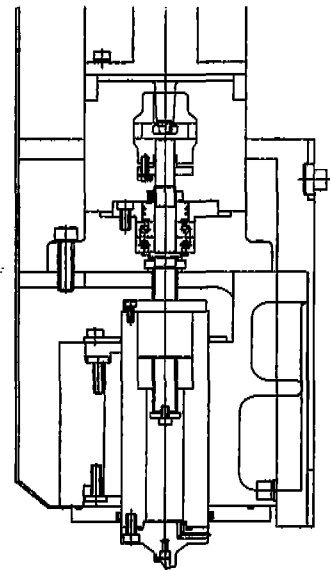


Fig. 3.1 Schematic of Y-axis structure

### 3.1.3 타원 가공 Software

일반적으로 피스톤의 형상은 도면상의 단편적인 정보로써 타원의 종류, 장경과 단경의 차(Ovality), 길이 방향의 기준 원으로부터의 편차(Profile) 등으로만 표현된다. 모방 절삭 방식에서는 마스터 캠에 의해 가공을 하므로 별도의 프로그램을 필요로 하지 않았다. 그러나 CNC 선반에서는 절삭 조건에 맞추어 피스톤의 형상을 가공하기 위한 프로그램이 필요하다. C축의 분할 각도와 각 축의 이동 량이 한 블럭이므로 도면상의 정보에서 수십만 블럭의 가공 프로그램 데이터를 손으로 계산하여 입력한다는 것은 거의 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 피스톤의 데이터를 피스톤 가공 프로그램으로 변환시켜 주는 Software를 구성하여 퍼스널 컴퓨터(486DX2)로 운전하도록 하였다.

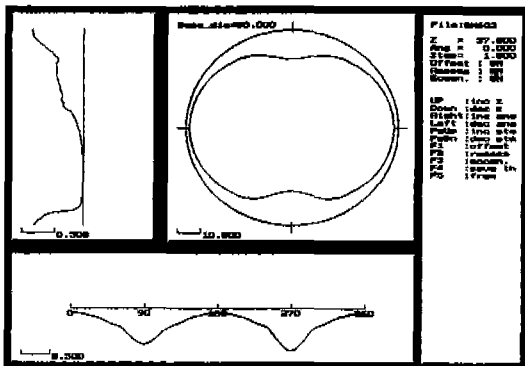


Fig. 3.2 Window of graphic output

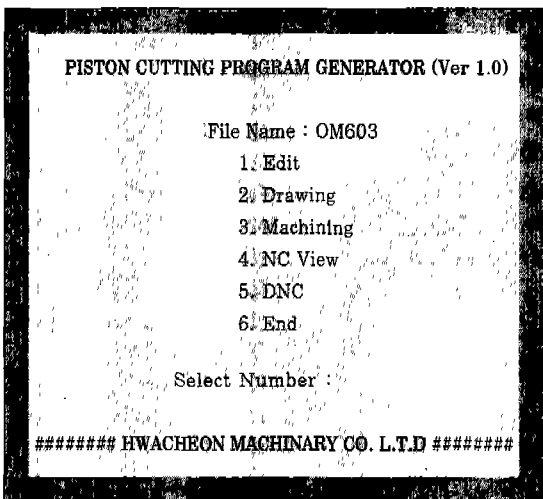


Fig. 3.3 Window of display input

### 3.2 실험 방법

실험에 사용한 시험편 재료는 자동차 디젤 엔진에 사용되는 피스톤으로 알루미늄을 주성분으로 한 합금(AC8A)이며 화학적 성분을 Table 3.4, 기계적 성질을 Table 3.5에 나타냈다. 또한 엔진의 내마모성을 향상시키기 위한 니켈계 오스테나이트(Austenite) 주철링이 삽입된 피스톤을 열처리 한 후 장경을 기준으로 가공 여유가  $\phi 0.3\text{mm}$ 인 진원이 되도록 황삭가공한 소재이며, 피스톤의 형상 및 치수의 예는 Fig. 3.4와 같다. 본 실험에서 가공한 형상은 Ovality, Profile, Recess, Serration이며, 사용 공구는 멀티(Multi) 방식으로 Ovality, Profile, Recess를 가공하는 다이아몬드 공구, 오스테나이트 주철링 부를 가공하는 초경 공구, Serration을 가공하는 전용 공구로 구성하였다. 위 네 가지 형상의 가공은 한 프로그램 내에서 완성되고 절삭 저항에 의한 형상 오차의 변화를 줄이기 위하여 황삭가공한 후 사상가공시  $\phi 0.1\text{mm}$ 를 가공했다. 또한 C축의 회전수 1500rpm, 2000rpm, 2500rpm과 타원량  $\phi 0.2\text{mm}$ ,  $\phi 0.4\text{mm}$ ,  $\phi 0.6\text{mm}$ 의 형상을 각각으로 가공하였다. 가공이 완료된 피스톤을 전용 측정기를 이용하여 각 위치별 데이터와 그래프를 출력하고 설계값과 측정값의 오차가 허용 영역 내에 있는지를 확인했다. 또한 다량의 피스톤을 가공하여 공정능력지수값을 평가했다.

Table 3.4 Chemical Composition of Aluminum alloy (AC8A)

성분	함량(%)
Cu	0.8 ~ 1.3
Si	11.0 ~ 13.0
Mg	0.7 ~ 1.3
Zn	< 0.1
Fe	< 0.8
Mn	< 0.1
Ni	1.0 ~ 2.5
Ti	< 0.2

Table 3.5 Mechanical properties of Aluminum alloy (AC8A)

평균비중	선팽창계수 $\times 10^{-6}$	열전달율	열처리 (뜨임)	인장 강도 최소 $\text{Kg/mm}^2$	표준경도 $H_{\text{RB}}$
2.7	20~21	0.32	200°10HR	22	약60

Table 4.1 Measuring results of ovality ( $\phi 0.2$  mm,  $\phi 0.6$  mm)

분할각도 (degree)	$\phi 0.2$ mm - 2500 rpm			$\phi 0.6$ mm - 1500rpm		
	설계값 (mm)	측정값 (mm)	편 차 (mm)	설계값 (mm)	측정값 (mm)	편 차 (mm)
0	0.000	0.005	-0.005	0.000	-0.007	0.007
5	-0.001	0.000	-0.001	-0.005	-0.011	0.006
10	-0.006	-0.005	-0.001	-0.018	-0.022	0.004
15	-0.013	-0.011	-0.002	-0.040	-0.044	0.004
20	-0.023	-0.023	0.000	-0.070	-0.074	0.004
25	-0.035	-0.034	-0.001	-0.107	-0.110	0.003
30	-0.050	-0.048	-0.002	-0.150	-0.156	0.006
35	-0.066	-0.064	-0.002	-0.197	-0.205	0.008
40	-0.083	-0.080	-0.003	-0.248	-0.255	0.007
45	-0.100	-0.100	0.000	-0.300	-0.308	0.008
50	-0.117	-0.116	-0.001	-0.352	-0.359	0.007
55	-0.134	-0.131	-0.003	-0.402	-0.409	0.007
60	-0.150	-0.151	0.001	-0.450	-0.458	0.008
65	-0.164	-0.165	0.001	-0.492	-0.499	0.007
70	-0.177	-0.179	0.002	-0.529	-0.535	0.006
75	-0.186	-0.188	0.002	-0.560	-0.565	0.005
80	-0.194	-0.193	-0.001	-0.582	-0.584	0.002
85	-0.198	-0.198	0.000	-0.595	-0.595	0.000
90	-0.200	-0.200	0.000	-0.600	-0.600	0.000
95	-0.198	-0.198	0.000	-0.595	-0.598	0.003
100	-0.194	-0.195	0.001	-0.582	-0.585	0.003
105	-0.186	-0.184	-0.002	-0.560	-0.562	0.002
110	-0.177	-0.175	-0.002	-0.529	-0.532	0.003
115	-0.164	-0.164	0.000	-0.492	-0.497	0.005
120	-0.150	-0.147	-0.003	-0.450	-0.455	0.005
125	-0.134	-0.132	-0.002	-0.402	-0.406	0.004
130	-0.117	-0.113	-0.004	-0.352	-0.354	0.002
135	-0.100	-0.096	-0.004	-0.300	-0.300	0.000
140	-0.083	-0.083	0.000	-0.248	-0.245	-0.003
145	-0.066	-0.061	-0.005	-0.197	-0.195	-0.002
150	-0.050	-0.047	-0.003	-0.150	-0.151	0.001
155	-0.035	-0.033	-0.002	-0.107	-0.108	0.001
160	-0.023	-0.020	-0.003	-0.070	-0.070	0.000
165	-0.013	-0.013	0.000	-0.040	-0.043	0.003
170	-0.006	-0.003	-0.003	-0.018	-0.023	0.005
175	-0.001	0.000	-0.001	-0.005	-0.012	0.007
180	0.000	0.002	-0.002	0.000	-0.009	0.009

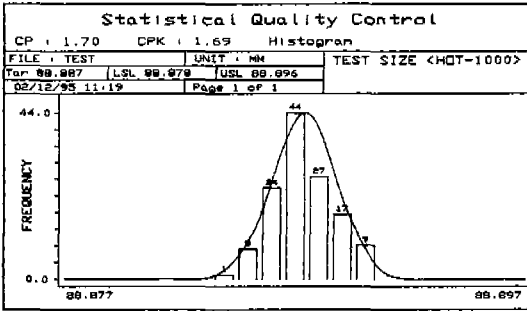


Fig. 4.1 Histogram of process capability

#### 4. 실험 결과 및 고찰

##### 4.1 실험 결과

본 연구에서는 장경을 기준으로 가공 여유가  $\phi 0.3\text{mm}$  이고 니켈계 오스테나이트 주철링이 삽입된 피스톤을 가공함에 있어서 C축 회전수 1500rpm, 2000rpm, 2500rpm에서 타원량  $\phi 0.2\text{mm}$ ,  $\phi 0.4\text{mm}$ ,  $\phi 0.6\text{mm}$  가 되도록 가공하였으며, Ovality, Profile, Recess의 형상을 동시 가공하였다. 가공 완료된 피스톤을 전용 측정기를 이용하여 설계값과 데이터를 분석한 결과 허용 영역 내에 있음을 확인하였다. 또한 130개의 피스톤을 연속으로 가공하여 측정하고 공정능력지수(CP : Process Capability)값을 다음 식에 의해 산출한 결과 CP = 1.70을 얻었다.

$$CP = \frac{USL - LSL}{6\sigma(n-1)}$$

여기서, USL : 규격 상한  
 LSL : 규격 하한  
 $\sigma$  : 표준편차

공정능력지수값의 분석 그래프를 Fig. 4.1에 히스토그램으로 나타냈으며,

Ovality 측정 결과를 Table 4.1과 Fig. 4.2, Fig. 4.3에 나타냈다. Profile 측정 결과를 Table 4.2와 Fig. 4.4, Fig. 4.5에 나타냈으며 Recess 측정 결과를 Fig. 4.6에 나타냈다.

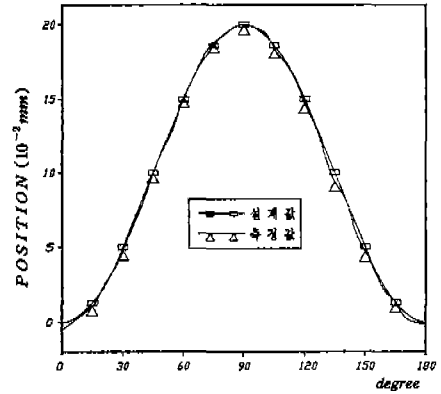
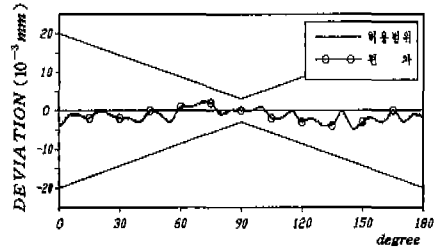


Fig. 4.2 Measuring results of ovality ( $\phi 0.2\text{mm}$  2500rpm)

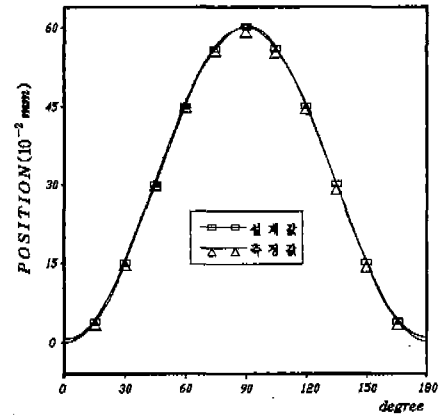
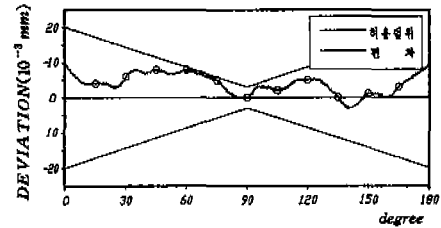


Fig. 4.3 Measuring results of ovality ( $\phi 0.6\text{mm}$  1500rpm)



Table 4.2 Measuring results of profile( $\phi$  0.2mm,  $\phi$  0.4mm,  $\phi$  0.6mm)

측정높이 (mm)	설계값 (mm)	$\phi$ 0.2mm 2500rpm		$\phi$ 0.4mm 2000rpm		$\phi$ 0.6mm 1500rpm	
		측정값 (mm)	편 차 (mm)	측정값 (mm)	편 차 (mm)	측정값 (mm)	편 차 (mm)
0	-0.500	-0.498	-0.002	-0.497	-0.003	-0.495	-0.005
1	-0.200	-0.199	-0.001	-0.198	-0.002	-0.193	-0.007
2	-0.100	-0.100	0.000	-0.099	-0.001	-0.097	-0.003
3	-0.050	-0.051	0.001	-0.050	0.000	-0.048	-0.002
4	-0.030	-0.029	-0.001	-0.030	0.000	-0.030	0.000
5	-0.016	-0.018	0.002	-0.018	0.002	-0.017	0.001
8	-0.004	-0.005	0.001	-0.006	0.002	-0.006	0.002
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.001	0.000	0.000
24	-0.004	-0.003	-0.001	-0.005	0.001	-0.006	0.002
27	-0.016	-0.017	0.001	-0.018	0.002	-0.019	0.003
29.3	-0.034	-0.034	0.000	-0.034	0.000	-0.033	-0.001
32.3	-0.070	-0.071	0.001	-0.068	-0.002	-0.066	-0.004
34.8	-0.106	-0.107	0.001	-0.104	-0.002	-0.104	-0.002
36.8	-0.142	-0.144	0.002	-0.139	-0.003	-0.142	0.000
38.8	-0.184	-0.185	0.001	-0.184	0.000	-0.185	0.001
40.8	-0.238	-0.238	0.000	-0.240	0.002	-0.241	0.003
42.4	-0.290	-0.292	0.002	-0.291	0.001	-0.292	0.002
44.2	-0.380	-0.384	0.004	-0.383	0.003	-0.385	0.005
45.7	-0.600	-	-	-	-	-	-
47.7	-0.614	-	-	-	-	-	-
53.7	-0.718	-	-	-	-	-	-
55	-0.740	-0.738	-0.002	-0.740	0.000	-0.739	-0.001
58.5	-0.800	-0.798	-0.002	-0.800	0.000	-0.800	0.000
59.2	-0.812	-	-	-	-	-	-
61.7	-0.800	-	-	-	-	-	-
62.6	-0.800	-	-	-	-	-	-
64.5	-0.800	-	-	-	-	-	-
64.7	-0.720	-0.721	0.001	-0.722	0.002	-0.725	0.005
67.3	-0.830	-0.832	0.002	-0.829	-0.001	-0.831	0.001
72.8	-1.300	-1.302	0.002	-1.302	0.002	-1.305	0.005
74.7	-1.462	-1.463	0.001	-1.465	0.003	-1.464	0.002
76	-1.573	-1.576	0.003	-1.575	0.002	-1.577	0.004

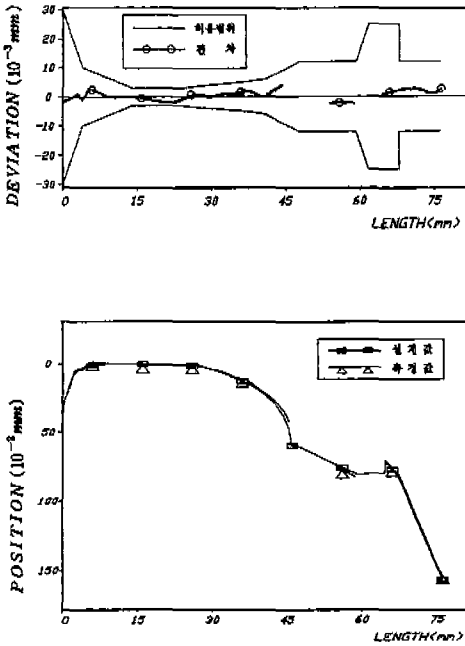


Fig. 4.4 Measuring results of profile ( $\phi 0.2\text{mm}$  2500rpm)

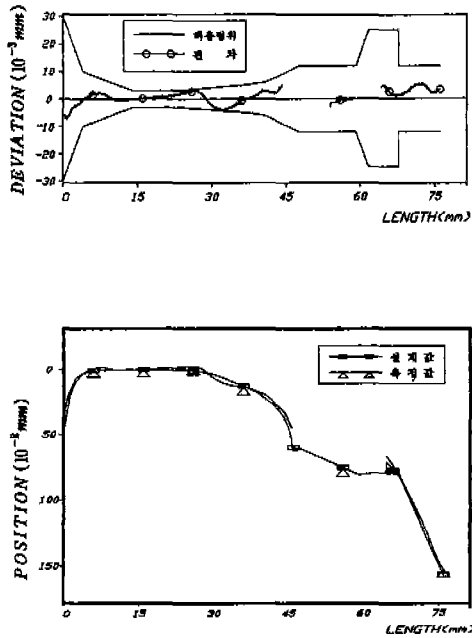


Fig. 4.5 Measuring results of profile ( $\phi 0.6\text{mm}$  1500rpm)

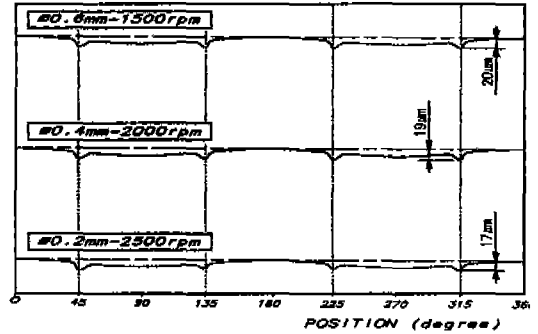


Fig. 4.6 Measuring results of recess (1500rpm, 2000rpm, 2500rpm)

#### 4.2 고찰

가공 소재와 형상을 임의로 결정하고 결과값을 판단하기에는 평가 기준이 막연하므로 자동차 엔진에 사용되는 피스톤을 가공 소재로 하였고 C축 회전수 1500rpm, 2000rpm, 2500rpm과 타원량  $\phi 0.2\text{mm}$ ,  $\phi 0.4\text{mm}$ ,  $\phi 0.6\text{mm}$ 로 변경하며 실험하였다. 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 도면의 단편적인 데이터를 형상 데이터화하고, 기계어로 변환시킨 후 피스톤 형상의 이상 여부를 그래픽화된 화면과 NC 프로그램으로 확인했다. 입력 완료된 데이터를 RS-422 케이블을 이용하여 DNC(Direct Numerical Control) 방식에 의해 NC축의 리모트 버퍼로 고속 전송하여 가공했다. 프로그램은 C축의 분할 각도에 따라 고속위치결정축(Y축)의 동시 제어로 Ovality를, C축의 회전과 Z축 이동의 동시 제어로 Profile가공을 기본으로 하여 C-Y-Z축 동시 가공하였다. 가공 결과값은 진원도 측정기로 측정하였으나 형상차원의 그래프는 목측으로 평가할 수밖에 없고 장경과 단경의 차만 출력되므로 각 위치별 데이터를 알 수 없었다. 따라서 설계값과 측정값을 해석하고 각 위치별 데이터를 확인할 수 있는 전용 측정기를 이용하여 비교한 결과, 두 값은 거의 일치하고, 편차가 허용 영역 내에 있음을 확인하였다. 또한 2500rpm의 고속 가공과 퍼스널 컴퓨터에 입력되어 있는 File만의 변경으로 다종의 피스톤을 쉽게 가공할 수 있었으며 데이터 수정도 짧은 시간에 행할 수 있었다.

본 연구에서는 생산성 향상에 치중하였고, 130개의 연속 가공으로 치수의 산포가 크지 않음을 확인하였다.

향후 C축 회전의 고속화, 가공 형상 정도의 향상으로 더블 타원, 비대칭 타원 등의 각종 피스톤은 물론 타원량이 많은 Pump Shaft와 초정밀을 요하는 비디오 드럼 가공도 가능하게 될 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

CNC 선반에 고속 응답성을 갖춘 위치 결정 기구 Y축을 부가하여 C축과 Y축의 제어로 Ovality를, C축과 Z축의 제어로 Profile을 한 프로그램 내에서 동시 가공하였으며, 데이터를 퍼스널 컴퓨터로 입력하여 고속 가공하고 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 타원량  $\phi 0.2\text{mm}$ 인 경우 2500rpm(Y축 83 Hz)까지 고속 가공하였으며 500rpm 정도인 모방 절삭 방식보다 생산성을 훨씬 향상시킬 수 있었다.

2. 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 단편적인 피스톤 데이터를 형상 처리하고, 기계어로 변환시킨 후 입력 형상을 확인할 수 있으므로 형상 변경이 용이하고, 다종의 피스톤에 대해 Data File의 변경만으로 바로 적용할 수 있었다.

3. 모방 절삭 방식에서는 가공이 불가능한 Recess 등과 같은 미세 가공이 가능함을 확인할 수 있었다.

4. 가공 Cycle Time을 줄임으로써 다량의 피스톤을 짧은 시간에 가공할 수 있었으며, 130개의 피스톤을 연속 가공하여 측정된 결과 공정능력지수 CP = 1.70을 얻었다.

5. C축의 회전수와 형상 정도를 더욱 향상시킴으로써 더블 타원, Eccentricity, Offset, 비대칭 타원의 피스톤은 물론 Pump Shaft와 같은 비진원 형상 가공도 가능하게 될 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 山本英繼, "고성능화 · 고신뢰화에 대응한 기계장치의 열대척 설계", 機械設計技術, Vol. 7, No. 4, pp. 41-45, 1992.
2. 田中實, "ピストン外形 加工用 高速 CNC 旋盤の開発", 内燃機関, Vol. 29, No. 12, pp. 72-80.
3. G.Betz, H.Zellbeck, "Untersuchung zur Reibleistung der Kolbengruppe", MTZ, Vol. 47, No. 10, p. 433, 1986.
4. R.Munro, "Fuel Economy-Its Influence on Diesel Piston Design Features", SAE Paper, 830067.
5. 山口智實, 東京大學 博士論文, 1988.
6. 三宅秀彦, "CNC 피스톤 가공기 TPS-3000과 가공용 프로그램 데이터 작성 시스템", 기계기술, pp. 42-46, 1992.
7. 渡邊政治, 松崎哲夫, "AP2V CNC 高速 ピストン 旋盤", 豊田工機技報, Vol. 31, No. 2, pp. 82-92, 1990.
8. 星野幸雄, 豊田工機技報, Vol. 32, No. 2, pp. 108-109, 1991.
9. 平野秀和, "AP2V-C II 兩ドライブ形 CNC ピストン 旋盤", 豊田工機技報, Vol. 35, No. 1, pp. 32-40, 1994.
10. 화천기공(주) 기술개발연구소, "CNC 피스톤가공기 HOT-1000과 가공용 프로그램 S/W HOTS", 기계자동화, Vol. 4, pp. 36-40, 1994.
11. 안 병규, "SPINDLE 포함한 多軸 MOTION 制御", CNC 콘트롤러 WORKSHOP 논문집, pp. 3-18, 1993.
12. FANUC LTD, FANUC Series 0 (Catalog), Oct. 1990.
13. 한성상사, "Turcite "B" HP Catalog", 1994.