

## 금형가공을 위한 고속·고정도 가공기술의 연구

### A study on Processing technology of high-speed and high-accuracy for Metal Mold Cutting

박희영\*(기아중공업), 고해주(기아중공업), 윤헌구(기아중공업), 정윤교(창원대학교)

Heeyoung Park\*, Haiju Ko, Heonku Yun(Kia Heavy Industries),  
Yoongyo Jung(Changwon univ.)

#### Abstract

It can be acquired the high effective productivity through of high speed, precision of machine tools, and then, machine tools will be got a competitive power. Industrially advanced countries already developed that the high speed feed is 50m/min using the high speed ball screw. Also, a lot of problems have happened the feed and servo drive system. It is necessary to study about the character of positioning accuracy, heat generation and high speed/accuracy control for feed/servo drive system of high speed/accuracy.

In this study, we make use of high performance vertical machine center with a ball screw of large-scale-lead. Also, we'll apply the high-speed/accuracy control technology in this part of feedforward control, multi-buffering block size, etc. Using the design of the mechanical element and high-speed precision control, the basic design concept can be established.

#### 1. 서론

산업현장의 생산성향상과 품질향상을 위하여 공작기계는 고속화, 고정도화 및 자동화에 대한 연구가 빠르게 발전하고 있으며, 이러한 공작기계

의 성능향상은 여러 가지 측면에서 거론될 수 있다. 특히, 머시닝센터를 이용한 고속고정도 절삭가공에서는 고속가공용 Tool, 고속회전주축, 고정도 서보제어기술 등, 고속고정도 절삭가공에 적합한 가공방법 및 이것을 지원하는 CAD/CAM의 출현에 따라 비약적인 진보를 거듭하고 있다.

이와 같은 기술의 진보에 의해 고속고정도 절삭가공은 가공시간의 단축, 공구수명의 연장 등 종래의 목적뿐만 아니라 사상면의 정도향상에 의한 고품위 가공을 목적으로 한 새로운 차원으로 접근하고 있다.

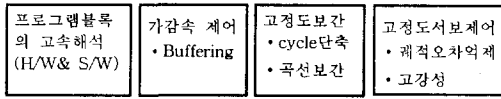
본 연구에서는 고속고정도 가공을 위한 기계요소의 설계, 적용 및 CNC장치 측면에서의 고속고정도 기능구현과 실제 적용한 결과를 토대로 고속고정도 기능의 기본적인 개념과 실제적용에 관한 연구를 목적으로 한다.

#### 2. 고속고정도 가공을 위한 요소기술

일반적인 가공에 비해 고속고정도 가공에는 Fig. 1과 같은 몇가지 요소기술의 적용이 요구된다. 이러한 기술로는 CAD/CAM이 생성하는 Tool path 및 Tool 등의 가공조건, 주축회전수, 서보의 강성, 기계강성 등의 기계요소와 관련된 사항과 다음에 논할 CNC장치 자체의 고기능화에 대한 요소기술로서 크게 구분할수 있다.

구체적으로 살펴보면, 프로그램의 고속처리 및 해석, 가감속 제어기능, 고정도보간/서보제어기술 등의 세부적인 요소기술이 요구된다.

Fig. 1 고속고정도 가공을 위한 요소기술



## 2.1 프로그램 블록의 고속해석기술

금형의 사상가공을 위한 가공프로그램은 일반적으로 단순한 미소선분블록으로 구성되어 있기 때문에 단위 시간당 NC가 해석하는 블록량이 방대하여 그 처리에 고속성이 요구된다.

대표적인 미소선분 블록의 해석처리 능력은 일반적으로 고속고정도 절삭가공용 NC장치성능을 판단하는 지표로 된다. 이 경우 연속되는 1mm단위의 지령블록으로 구성된 미소길이의 가공프로그램을 어느 정도의 이송속도로 실행할 수 있는가가 성능의 지표가 된다. 최근의 경향은 수 10m/min정도의 높은 해석처리 능력이 요구된다.

이와 같은 조건을 만족시키기 위해 고속고정도 기능을 보유한 NC장치는 고속처리가 가능한 H/W와 기능에 따라 최적 설계된 S/W로 구성될 필요가 있다.

## 2.2 가공형상에 따른 가감속 제어기능

고속으로 Tool을 이동시키기 위해서는 코너부분에서 가속도가 커져 Shock가 발생하기 때문에 확실한 감속이 필요하다. 특히, 고속고정도 기능에서는 고정도 서보제어처리에 의해서 추종편차를 거의 0으로 억제하기 때문에 전술의 코너부분 등에 발생하는 Shock는 통상의 서보제어 상태보다 커진다. 따라서, 고속고정도 기능에서는 일반적으로 현재의 위치로부터 다음 가공프로그램을 미리 읽어 프로그램 중에 필요한 개소에서 감속처리하는 기능을 필수적으로 요구한다.

## 2.3 고정도 보간기술

가공 절삭 면의 정도향상을 위해서는 몇가지의 요소기술이 필요하다. 이러한 기술로는 CAD/CAM이 생성하는 Tool path 및 Tool 등의 가공조건, 주축회전수, 서보의 강성, 기계강성 등 직접 NC장치에 관계없는 기술이 주목되고 있지

만 특히, NC기술에 있어서는 보간지령의 고속화가 필수적인 과제가 된다.

보간 Cycle의 단축은 NC로부터 서보에 출력되는 이동지령을 작성하는 Cycle의 시간을 단축하는 것을 의미한다.

## 2.4 고정도 서보제어기술

CNC장치에서 가공형상에 최적인 이동지령이 작성된 다음에 필요한 기술과제로서 이동지령에 충실하게 동작하는 서보제어 기술이 요구된다. 통상의 서보제어에서는 이송속도가 높아질수록 이동지령에 대한 추종편차가 커지게 된다. 특히, 코너부분에서는 추종편차에 의한 궤적오차가 문제가 되며 따라서, 추종편차가 생기지 않도록 하는 것이 필요하다.

또한, 높은 절삭면 조도를 얻기 위해서는 Tool, 주축회전수, 가공프로그램 Path, NC의 이동지령 등의 영향도 있지만 최종적으로는 강성이 높은 서보제어 및 기계가 필요하게 된다.

특히, 서보제어에 있어서는 이동지령에 대한 추종성이 높고, 동시에 절삭외란 등의 영향을 적게 받는 고강성이 필요하며, 최근에는 Ball Screw의 High Lead화에 따라 절삭면에 대한 외란의 영향이 커지는 경향이 있어 더욱 높은 서보강성이 요구된다.

## 3. 고속고정도 제어기능의 특징

### 3.1 일반적인 서보제어계 구성

일반적인 공작기계를 구성하는 CNC 장치에 있어서의 위치, 속도제어는 Fig.2와 같은 방식으로 구성된다.

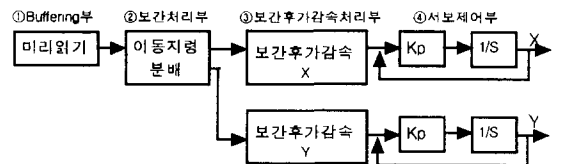


Fig. 2 일반적인 위치, 속도제어 Loop

### 1) Buffering 처리부

가공프로그램에서 산출된 축지령 데이터를 읽고 해석한다. 미소블록의 연속된 프로그램을 위해서는 적절한 가감속을 수행해야 하므로 수십 Block 이상의 멀티 Buffering 기능이 요구된다.

### 2) 보간처리부

보간형상과 속도에 따라 각축에의 이동지령 데이터를 생성한다.

### 3) 보간후 가감속 처리부

급이송, 절삭이송 등에 적합한 가감속 처리를 행한다.

### 4) 서보제어부

위치, 속도, 전류 Loop로 구성된 피드백 제어를 행한다. 위에서 가감속 처리부와 서보 제어부는 각축별로 구성되며, 보간후 가감속 시정수와 위치Loop 계인의 시간지연을 갖게 된다. 각 축마다의 시간지연은 지령속도의 변화에 따른 Shock를 감소시키지만, 코너부나 원호의 가공시 고속이송을 할 때는 경로오차가 커짐을 알 수 있다.

## 3.2 고속고정도 기능을 포함한 제어계

### 1)보간전 가감속 기능

보간후 가감속 처리부에서 지연에 기인한 경로오차를 최소화하기 위해서는 각축마다의 보간후 가감속 시정수를 가능한 한 "0"에 가깝게 하고, 보간전 가감속 기능을 보간처리부에서 실행하여 이론상으로는 경로오차를 제거하게 된다.

보간전 가감속 기능에 대해 간단히 살펴보면, 절삭이송지령에 대해 40 Block을 미리읽어, 보간하기 전에 지령속도에 직선형 가감속을 걸어주며, 보간후 가감속에서는 보간된 데이터에 가감속을 걸어 보간된 데이터를 변경하지만 보간전 가감속에서는 보간전에 이송속도의 데이터에 대해 가감속을 걸어줌으로써 가감속으로 인해 보간데이터의 변화가 없게 된다.

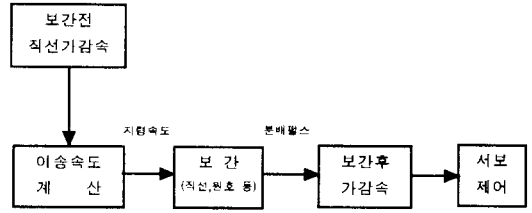


Fig. 3 보간전가감속 처리

### 2) 피드포워드(Feedforward) 제어기능

피드백제어에 의한 위치제어에서는 위치지령과 실제위치와의 차(지연)를 이용해 서보제어계를 구성함으로써 필연적으로 경로오차가 발생하게 된다. 피드포워드 제어에서는, 이에 대해 위치지령의 미분값을 필터링(Filtering)처리후 직접 속도지령에 입력하는 방식으로 이중의 제어계를 구성함으로써 경로오차를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 특히, 금형프로그램과 같이 미소블록이 연속된 프로그램에서는 필수적으로 요구되는 기능이다.

### 3) 자동코너 감속기능

Block간의 X, Y, Z 각 축의 속도 차가 설정치를 넘는 축에서 실제의 속도차와 허용 속도차의 비가 제일 큰 축을 기준으로 하여 코너에 있어서의 속도를 다음과 같이 계산하여 Block의 이음매로 그 속도가 되도록 감속한다. 지령속도 F에서 이동한 경우, 각 축의 속도변화 (Vx, Vy, ...)와 설정치(Vprm-x, Vprm-y, ...)를 비교한다. 어느 1축이라도 속도변화가 파라미터 설정치를 넘어서 있는 경우,

$$R_{max} = \max\left[\frac{V_x}{V_{prm-x}}, \frac{V_y}{V_{prm-y}}, \dots\right]$$

로서, 구하는 속도 (Fc)를 아래와 같이 구하여 코너에서 속도를 감속한다.

$$F_c = F \times \frac{1}{R_{max}}$$

예컨대, X축 방향의 이동에서 Y축 방향의 이동으로 90° 공구 이동방향이 변하는 경우에는 지령 이송속도 1,000mm/min 에서 허용 속도차를 500mm/min로 설정한 경우, Fig. 5와 같이 감속을 행한다.

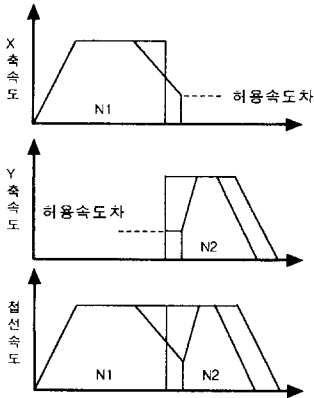
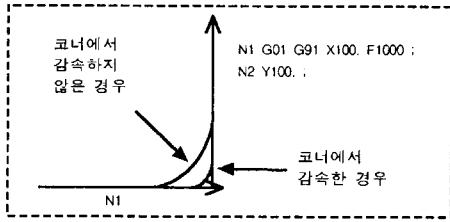


Fig. 4 Corner에서의 감속제어

#### 4) 허용가속도에 의한 속도제어

Fig. 4와 같이 미소한 직선이 연속하여 곡선으로 되어 있는 경우에는 각 코너에서 각 축의 속도 차는 그다지 크지 않다. 그 때문 속도 차에 의한 감속은 유효하지 않으므로, 작은 속도 차가 계속되면 전체 축에 큰 허용가속도가 발생하게 된다. 이러한 경우에 가속도가 지나치게 커짐에 따라 생기는 기계의 Shock나 가공오차를 억제하기 위하여 감속을 행한다. 축마다의 가속도가 모든 축에 대하여 설정된 허용 가속도 이하가 되는 이송 속도로 결정한다.

허용 가속도는 최대 절삭이송속도와 그것에 도달하기까지의 시간으로 설정되며, 감속속도는 코너마다 구할 수 있다. 실제의 이송속도는 그 Block의 시점에서 구한 감속속도와 종점에서 구한 감속속도 중 작은 것을 선택한다.

Fig. 5 에서는 N2~N4 와 N6~N8에서 가속도(속도의 그래프의 접선의 경사)가 너무 크기 때문에 감속을 하는 것을 보여 준다.

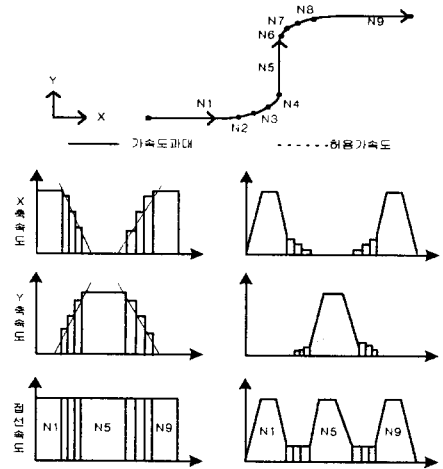


Fig. 5 허용가속도에 의한 속도제어

### 4. 적용 기계 구성 및 사양

#### 4.1 시스템 구성

본 기능을 적용한 소형 수직형 머시닝센터인 Hi-Center V30의 기본적인 구조는 기계적 강성이 우수한 문형구조를 채택하였고, 각축의 급이송 속도를 50m/min, 공작물 교환장치(APC)의 속도를 향상시켜 고속가공에 대응 가능하도록 하였다.

고속고정도를 실현하기 위해서는 리드가 큰 볼스크류로 너트부를 2조 나사로 적용하여 유효권수의 증가에 따라 고강성 및 고부하의 용량을 실현할 수 있으며, 동시에 주축회전수도 고속으로 10,000rpm을 적용하였다.

이송 안내면은 고속의 이송에서 미끄럼 안내면보다는 강성 및 밸런스가 우수하고 신뢰성이 뛰어난 불형 구름 안내면을 적용하였다.

주요특성으로는 4열의 구를 가지고 예압설정에 따른 볼이 구와 4점 접촉하므로 부하를 받는 점의 수가 많고 하중을 지지하기 위해 적정한 예압으로도 고강성을 얻을 수 있는 장점이 있다.

## 5 고속고정도 기능적용 및 성능평가

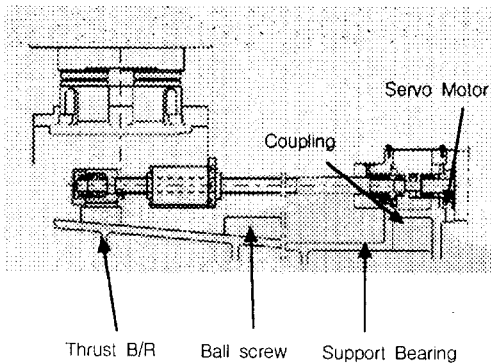


Fig. 6 X축 이송체 설계

이와 같이, 전체적인 시스템의 구성은 대리드의 볼스크류를 적용하여 고속화를 실현하고 X, Y, Z 각 축의 스크로크를 600/600/400mm/min으로 이송계를 위의 Fig.6과 같이 설계, 제작하였다.

공작기계 이송계의 구성요소로는 서보모터, 커플링, 볼스크류, 지지베어링, 리니어가이드 및 각 축 이송체로 구성되고, 제어계는 고속고정도 기능을 적용한 FANUC 18M CNC장치로 구축하였다. 부가적으로 멀티 Buffering기능을 위한 별도의 H/W가 요구된다.

Table 1 Machine Specifications

ITEM			Hi-Center V30
Table	Size	mm	650×450
	최대적재중량	kg	400
주 축	주축회전속도	rpm	10,000
	주축모터	kw	7.5/5.5
이동량	x/Y/Z축 이동량	mm	600/600/400
이송속도	급이송속도	m/min	50/50/40
	절삭이송속도	m/min	20,000
ATC	공구수	EA	12
	최대공구경	mm	φ 100
	공구교환(T-T)	sec	2.5
APC	Pallet교환시간	sec	6.0
CNC 장치			FANUC 18M

본 연구에서는 문형구조를 채택한 고강성/고속형 수직형 머시닝센터에 고속고정도 제어기능을 부가하여 실제 가공을 수행하였다. 우선, CAD/CAM을 통해 산출된 가공프로그램을 RS232C 시리얼통신을 이용하여 DNC가공을 수행한다.

본 시스템은 가공프로그램 운전시 40 Block의 멀티Buffering이 가능하며, 통신속도가 19,200Bps로 실행되어진다. 실제 이송속도는 4,000mm/min 주축 10,000rpm을 기준으로 가공형상에 따라 조정항목을 변경하며 가공을 수행하였다.

Fig. 7은 CAD/CAM에서 생성된 전자기 금형 가공프로그램의 경로를 시뮬레이션한 것이며, Fig. 8는 동일한 조건하에서 일반적인 샘플가공을 고속고정도기능을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우를 비교하여 나타내었다. 이 경우, 면조도와 코너부의 상태등에서 많은 차이가 남을 알 수 있다

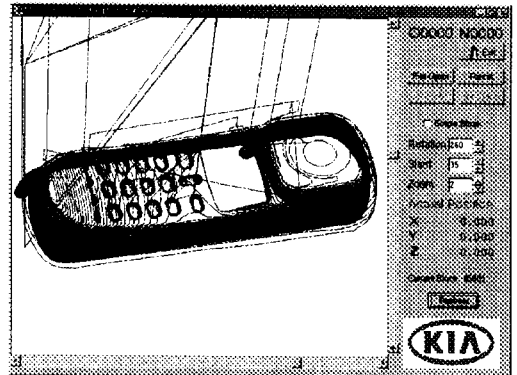


Fig. 7 전자기금형 가공경로 시뮬레이션

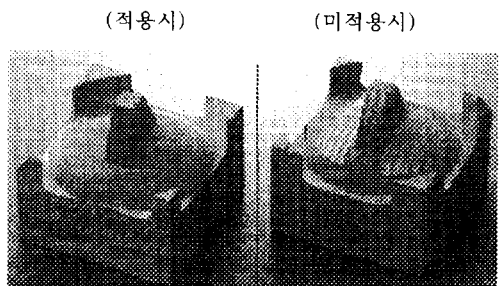


Fig. 8 샘플가공물의 실제 형상오차

금형가공과 같이 미소블럭 프로그램의 고속고정도가공 처리를 위해서는 실제로 요구되는 가공시간과 가공정도에 맞추어 이송속도와 주축회전수를 선정하고 Table 2에 주어진 것과 같이 기능별 검토사항에 따라 관련 파라미터를 조정할 필요가 있다.

Table 2 고속고정도가공시 조정항목

검토사항	조정항목
가공 소요시간	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 보간전 가감속 파라미터</li> <li>• Corner감속시 감속속도</li> <li>• 가속도에 의한 감속조정</li> </ul>
Corner의 Overshoot	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corner감속시 감속속도</li> <li>• 보간후 가감속시정수</li> </ul>
면정도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 속도Loop Gain값 조정</li> <li>• 지령단위 조정</li> </ul>
물결무늬발생	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 속도Loop Gain값 조정</li> </ul>

## 6. 결론

본 연구에서는 금형시장 및 고정밀부품 가공을 위한 공작기계 개발을 위해서 이송계의 고속화와 더불어 고정도의 가공 구현을 목적으로, 고속 고정도의 S/W기능 적용 및 기계요소의 고속화, 고정밀화를 목표로 하여 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 기계적인 요소로, 리드가 큰 볼스크류의 적용으로 급이송 50m/min 실현과 고정도 위치결정기구 및 10,000rpm이상의 주축 적용을 통해 고속고정도 가공의 실현이 가능하게 하였다.
- (2) CNC장치에서는, 대용량의 미소블럭 프로그램의 처리를 위해 최대 40 Block의 멀티 Buffering기능, 미리읽기 보간전가감속 기능, 선행 feedforward 제어기능, 자동코너 감속기능, 가감속에 의한 속도제어 기능 등을 적용하여 고속고정도의 가공성능을 구현하였다.

(3) 실제의 기계조건과 가공프로그램에 따라 절삭이송속도, 주축회전수를 최적으로 조정하여, 금형샘플가공을 한 결과 면조도와 코너부에서 고속고정도 기능의 차이가 크게 나타났으며, Servo제어 시스템 및 고속고정도 기능관련 변수를 최적화하는 것이 필수적임을 확인하였다.

이상과 같은 사항의 연구를 통해, 공작기계의 고속화 및 정밀도 향상을 실현함으로써 생산성 향상과 고부가가치 제품생산에 기여할 것으로 기대한다.

## 후기

본 연구는 한국과학기술원 지정 창원대학교 공작기계연구센터의 지원에 의한 것입니다. 관계자에게 감사드립니다.

## 참고문헌

1. M.Ninomiya and K.Miyaguchi, "Recent Development of Ball Screws", NSK Technical Journal No. 664, pp.1-4, 1997.
2. S.Yabe, "Development of NSK Linear Guides", NSK Technical Journal No. 664 pp.14-16, 1997
3. 玉置明, "超高速, 低雑音 テーブルとその要素" 自動化技術, 25-3, 1993
4. SEIKI TECHNICAL NEWS Vol.95, pp.62-71, 1998
5. SEIKI TECHNICAL NEWS Vol.91, 1998
6. 安川電氣 TECHNICAL NEWS Vol.62, 1998
7. 井澤 實, "工作機械の送り駆動系の運動精度", 機械の研究, 42-1, PP.181-182, 1990