

공정집약형 CNC선반의 설계기술에 관한 연구

박종권*, 최대봉, 황주호
(한국기계연구원 공작기계연구그룹)

A study on the Design Technique of a Process Integration CNC Lathe for High Productivity

Jong-Kweon Park*, Dae-Bong Choi, Joo-Ho Hwang

ABSTRACT

Industrial products are getting more and more complex. The number of parts or components and the variety of manufacturing processes are increasing. This leads to rapid product oriented machine tools. The process integrated CNC lathe is one of the these machine tools which can produce numerous parts and various machining processes and reduce the lead time and non-machining time.

Therefore this study deals with the design technique of a process-integrated CNC lathe which can reduce the tact time and production cost by the speed-up of the tooling system and the high-speed machining oriented construction of 2 spindles and 2 turrets.

Key Words : 공정집약 CNC선반, 유연성구조, 복합가공시스템, 대칭·대향형구조, 동시·동기제어, 표리가공, 공구보정 모니터링, 생산성 효과, 변종변량 생산, Tooling시스템, Loading/Unloading, 회전정밀도,

1. 서 론

최근들어 자동차산업의 발전과 함께 관련의 고부가가치산업이 발달함에 따라 가공방식도 다량생산 방식에서 다중소량생산 방식으로 가공방식이 변화하고 있다. 이는 CNC화의 발전을 가속화 시킴과 아울러 Flexibility가 증대된 가공설비의 이용을 늘어나게 하고 있고 그러므로 가공라인의 단축과 작은공간에서도 생산효율을 극대화할 수 있는 가능성을 가져오게 하였다. 그러나 종래의 생산라인에 비해서 Tact Time이 늘어나는 관계로 가공기와 Tool의 고속화 요구가 높아졌고 이와같은 상황은 가공공정의 집약화에 따른 Tact Time의 단축과 설비Cost의 저감이 해결할 과제로 대두되는 상황에 있기도 하다. 또한 오늘날의 제조업은 시장수요의 다양화에 따라 변종변량(變種變量)생산에 대응에 완전하게 대처하기란 때로는 곤란하므로 생산의 합리화나 CIM에 의한 효율적인 생산관리가 불가피하며 이와같은 배경을 고려한다면 납기의 단축, 가공의 복잡성, 중·소Lot의 생산이 주류를 이루는 현재의 생산현장에서는 리드타임의 단축과 가공속도의 증대방안이 무엇보다도 필요한 실정이다. 이에따라 상기와 같은 상황을 개선시키면서 시장수요의 요구를 충족하는데에는 가공공정이 집약화된 고성능의 CNC선반이 가공설비로서 필요하게 된다.

따라서 본 연구는 공정집약형 CNC선반을 국산화 개발하는 것을 연구의 주요 목표로 하였으며 여기서 가공기의 Tact Time과 생산Cost를 낮추기 위한 방안으로는 공구의 분할시간을 단축시키고 공작물의 Loading시간을 줄이기 위해 대향형의 2-Spindle을 채용하여 동기제어 시키면서 공구대의 각 이송축을 주축Spindle과 동기제어 시켜 가공공정을 단시간내에 이루어지도록 집약화 및 유연성화를 높이는 것에 연구의 주안점을 두었다.

2. 가공기의 구조설계

2-1. 가공공정의 집약화

2-1-1. 공정집약 가공기 체인

본 연구의 모델은 2개의 대향형(對向形) 주축과 2개의 대향형 공구대를 채용하여 가공이 집약화된 가공기가 되도록 하였다. 즉 이송축은 동시제어(X, Z축과 C축) 기능과 2개의 주축(C축)사이를 동기제어(회전속도,회전각)시켜 기계의 유연성을 증대시키고 구조의 안정화를 높여 가공공정을 집약화 시킬 수 있는 CNC선반이 창출되도록 하였다. 이경우 이송축은 제1, 2축 Turret과 제2주축대가 되며 제1공구대(Turret)는 X, Z방향으로 이송운동을 하고 제2공구대(Turret)는 X방향으로 이송운동을 한다. 아울러 제1주축대는 고정이면서 제2주축대는 Z방향으로 이송운동을 하여 종합적으로는 Turning Center로서의 유연성이 증대되도록 하였다.

따라서 본 연구모델에 대한 구조적 특징을 요약하면 우선 칩 배출의 극대화를 도모할 수 있도록 45도 각의 Slant베드로 구조 형상을 설계하고, 다음으로 인간공학적인 측면을 고려한 대칭·대향구조로 주축구조를 설계하여 작업효율을 높임과 동시에 공구대의 배치를 양측으로 분산하여 가공작업의 유연성을 극대화시켰다. Table2-1은 가공기의 주요제원을 나타낸다.

2-1-2. 공정집약 가공시스템

CNC선반에서 생산성 향상을 추구하는 방법은 주축 및 공구이송축의 다축화로 가공속도의 증대와 함께 복합가공을 실현하는 공정의 집약화에 있다. 다축에 의한 표리(表裏)동시가공으로 가공시간의 단축과 함께 공구의 이동 및 착탈시간이 절약되고 전용면적이 줄어들도록 하는 방법은 공정집약형 구조설계에서 중요한 사항이다. 본 연구에서는 가공공정의 집약화를 위해

공구대와 주축대의 배치상태를 Fig.2-1과 같이하여 이송축의 동시제어(X,Z축과 C축) 기능 부여와 함께 2개의 주축(C축)사이가 동기제어(회전속도,회전각)되도록 하여 기계의 유연성을 증대시키고 또한 상호 대칭·대향형으로 배치시켜 구조의 안정화가 도모되어 가공공정의 집약화가 이루어 질 수 있도록 하였다.

Table2-1 개발모델의 주요사항

번호	구분	항목	단위	사항
1	가공능력	최대 가공径	mm	240
		최대 가공길이	mm	220
		앞 주축 센터간 거리	mm	1,090
2	주축시스템	최고 회전속도	rpm	4,500
		제1주축 판동직경	mm	61
		제2주축 판동직경	mm	52
		제1주축 Chuck Size	inch	8
		제2주축 Chuck Size	inch	8
		제1 주축 끝단 형상	KS	A ₁ -6
3	이동방	제2 주축 끝단 형상	KS	A ₂ -6
		제1 Turret X축방향	mm	185
		Z축방향	mm	275
		제2 Turret X축방향	mm	225
4	공구대	제2주축대 Z축방향	mm	820
		공구대 형식	-	드럼형 Turret
		공구수	개	124x2
5	급이송 속도	사용Bite Size	mm	□25
		제1 Turret X축방향	mm/min	12,000
		Z축방향	mm/min	15,000
		제2 Turret X축방향	mm/min	12,000
		제2주축대 Z축방향	mm/min	20,000
6	구동모터	제1주축(연속/30분)	KW	7.5/11
		제2주축(연속/30분)	KW	7.5/11
		제1 Turret X축방향	KW	0.9
		Z축방향	KW	1.8
		제2 Turret X축방향	KW	0.9
		제2주축대 Z축방향	KW	1.8



Fig. 2-1 공정집약 CNC선반의 주축대와 이송대의 배치상태

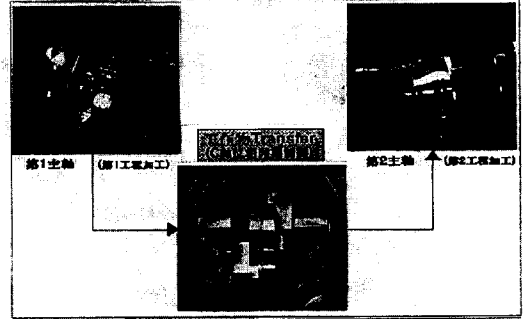


Fig.2-2 제1주축과 제2주축사이의 공작물 Loading원리 (동시·동기 제어)

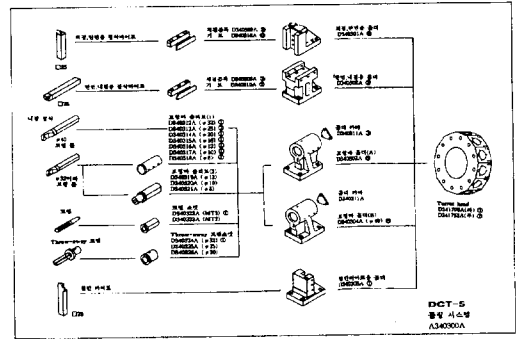


Fig.2-3 공정집약 CNC선반의 Tooling시스템

2-2. 가공기의 구조요소 설계

2-2-1. 주축시스템

공작기계의 구조에서 가공정밀도 및 가공능률에 결정적인 영향을 주는 요소는 대부분 주축유닛 부분이며 최근과 같이 고속·고정밀과 유연성을 추구하는 공작기계에서 주축시스템이 수행하는 역할이란 매우 중요한 위치를 갖는다. 본 연구에서는 다양한 가공물을 고정밀로 가공처리할 수 있도록 하는 데 주안점이 있기때문에 가공의 유연성과 인간공학적인 측면을 고려하여 대칭·대향형의 제1,제2주축 구조로 설계를 하였으며 여기에 고속·고정밀과 유연성 측면에서 많은 장점이 있는 모터내장형(Built-in Motor Spindle System)을 채용하였고 이 경우 베어링은 정밀성과 고강성을 유지시키기 위하여 전반부는 배면에 압(Back-to-Back)구조의 Angular Contact Ball 베어링과 원통 Roller베어링을 복합하여 사용하고 후반부는 원통Roller베어링을 사용하였으며 베어링의 윤활은 최고 운전속도가 4,500rpm까지의 보통급 속도이므로 그리이스 윤활방식에 정위치 예압방식을 이용하면서 주축계의 하우징에 오일냉각 자켓을 설치하여 냉각하는 방법으로 하였다. Table 2-2은 연구모델의 주축시스템에 대한 설계계원을 나타낸다.

2-2-2. 가공기 구조물

대부분의 공작기계 구조물은 굽힘과 비틀림을 받는 Beam으로 표현이 된다. 그러므로 구조설계에는 굽힘과 비틀림에 의한 변형상태를 고려하여 설계를 하여야 한다. 이 경우 변형하중은 기계의 운동부분에 작용하는 중량과 공작물의 중량 및

Table 2-2 주축시스템의 설계제원

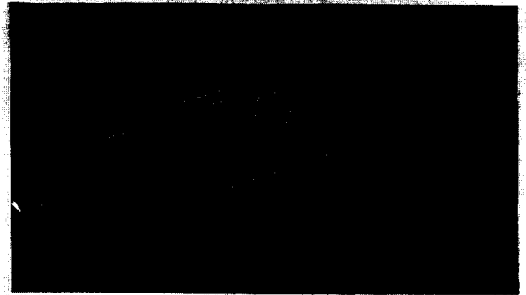
항 목	설 계 제 원	
	제1주축	제2주축
DmN치(rpm)	56x10 ⁴ (4,500)	56x10 ⁴ (4,500)
모 터 내장형 출력 (Kw)	30분정격	11.0
	연속정격	7.5
베어링	전 반부	110BA10XDBELP4A NN3022MBKRCC1P5
	후 반부	NN3019MBKRCC1P5
윤 활 방 식	그리이스	그리이스
예 압 방 식	정위치예압 (Back-to-Back)	정위치예압 (Back-to-Back)
하우징 냉각방식	자켓 유냉각	자켓 유냉각
Chuck크기(inch)	유압척, 8.0	유압척, 8.0

절삭작업이 대표적이며 이들은 힘의 크기와 방향 및 작용점의 변화 등 변형조건에 따라 여러형태로 변형을 하게 된다. 특히 공작기계의 구조물은 구조형태가 갖는 단면형상과 벽면의 구멍 및 결합부의 강성에 따라 변형되는 양이 달라지게 된다. 본 연구에서에서의 베드구조물은 공정이 집약화된 가공을 수행하는 구조물이므로 가공시에는 굽힘과 비틀림이 동시에 받는 경우도 발생이 될 수 있기때문에 정밀도 유지를 위해 원형과 사각단면 형상을 동시에 만족하는 구조로 설계를 하였다. 또한 절삭Chip 이 공구 및 피가공물과 공구대 및 척 등에 부착하지 않고 Chip 받이에 용이하게 떨어지면서 절삭중에도 발생하는 열을 칩과함께 배출하여 기계본체에의 열적영향을 배제시킬 수 있도록 하고 아울러 인간공학적인 측면을 고려한 대칭·대향주축 구조로하여 작업효율을 높임과 동시에 공구대의 배치를 양측으로 하여 가공작업의 유연성을 극대화시킬 수 있는 구조로 설계를 하였다.

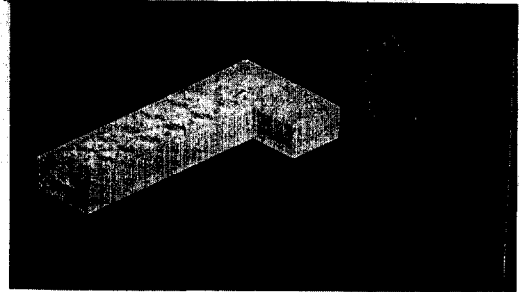
따라서 베드구조물은 Chip배출의 극대화를 도모할 수 있는 45도 각도의 경사(Slant Bed)구조 상태에서 단면 중앙에는 원형 Beam형태의 보강재(Rib)와 외각에는 삼각형 형태의 Box형 Beam이 2중으로 복합 구성되고 이들 내·외부 Beam구조는 7개의 Plate형 Rib에 의해 견고히 연결되는 구조로 설계를 하였다. 그리고 설계된 몸체구조물에 대하여 유한요소법(FEM)을 이용한 이론해석과 시제품(Proto-Type)몸체부의 주요부에 대하여 Modal Testing방법을 이용한 동특성 평가를 수행한 후 설계보완을 실시하여 최종모델로 정립하였다. Fig.2-4는 이론해석 과정에서 있어서의 유한요소모델을 나타낸다.

2-2-3. 이송계 및 안내면

공작기계의 이송시스템은 주축시스템과 더불어 공작기계의 운동을 결정해주는 중요한 구성요소이다. 즉 구동체의 안내면은 왕복대가 회전축 중심선에 대해 평행하게 운동할 수 있도록 하고 수평이송대에 대해서도 주축중심선상에 직각으로 운동할 수 있도록 하여야만 이송대에 장착된 공구가 원하는 운동을 하여 가공정밀도가 요구조건을 만족시킬 수 있게 된다. 본 연구의 이송계는 가공공정을 집약화할 수 있도록 하는데 역점을 두고 유연성을 증대시키기 위해 4축제어의 서-보 이송계로 설계하였으며 이를위해 제1공구대의 X, Z축방향이송과 제2공구대의 X축방향이송 및 제2주축의 Z축방향 이송운동이 이루어지도록 하였다. 이경우의 구동방식은 Ball Screw에 의한 구동과 동압방식의 미끄럼 안내면에 의해 이송에 대한 운동정밀도가 고정도로 유지되도록 하였다. 특히 미끄럼 안내면은 가공Chip으로부터 안내면이 보호되도록 하기위해 45°경사각(Slant)을 갖는 베드위에 설치하고 이송축의 면압은 약 0.4~1.2Kgf/cm²에서 유지되도록 하였다.



(a) Bed구조물 모델링



(a) Leg구조물 모델링

Fig.2-4 베드구조물의 유한요소모델

2-2-4. 공구의 보정시스템

공정집약 가공시스템에서 중요한 역할을 하는 것은 공정상에서의 공구를 보정하는 기능이다. 이를위해 제1, 제2 공구대에 Tool Setter를 설치하여 가공준비 작업이 용이하도록 하였다. 즉 Tool Setter의 Sensor가 공구인선에 접촉되면 X축, Z축의 공구좌표 보정치가 설정되며 이경우 각 공구의 공구좌표 보정이 설정된후 공작물의 단면을 절삭하면서 Tool Setter의 측정 스위치(PST)를 누름에 의해 Z축의 Work Shift보정치가 설정 완료 된다. Fig.2-5에 공구형상을 보정하는 원리에 따른 순서도를 나타낸다.

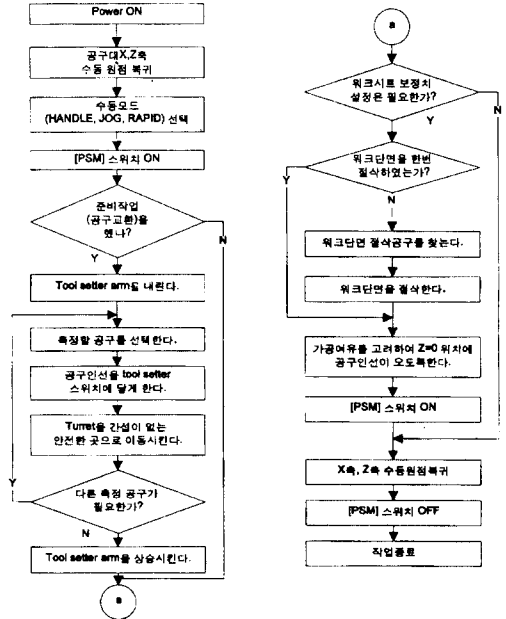


Fig.2-5 Tool Setter에 의해 공구형상을 보정하는 흐름도

3. 성능평가 및 고찰

3-1. 주축계의 성능평가

3-1-1. 주축구조의 정·동적 성능

설계된 주축시스템에 대한 정·동적 성능평가는 설계 도면에 유한요소법을 적용한 이론해석 결과를 토대로 제작된 시제품 모델에 대하여 실험평가를 함으로써 이루어졌다. 이에의해 주축 선단부에서의 정강성은 Fig.3-1에서와 같이 제1주축의 경우 60.9Kgf/μm, 제2주축의 경우에는 57.1Kgf/μm로 측정되었으며 주축계의 고유진동수는 Table 3-1과 같이 측정되었다. 여기서볼 때 제1주축이 제2주축보다 정·동강성 측면에서 우수함을 볼수 있으며 이에대한 경향은 회전 정밀도에 영향을 줄것으로 예측된다.

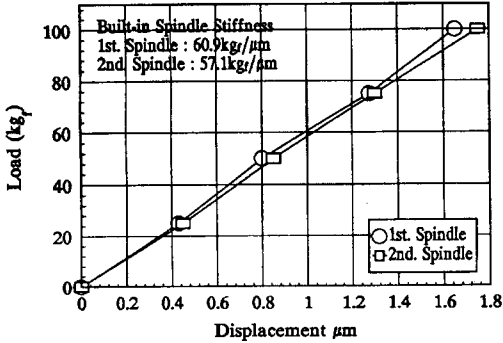


Fig.3-1 제1,2주축계의 정강성 실험결과

Table 3-1 주축계의 고유진동수 측정결과

Mode	제1주축[Hz]	제2주축[Hz]
1	690	856
2	1,144	1,016
3	1,944	1,528
4	2,244	2,152

한편, 설계된 주축모델에 대하여 ISO1940에 의한 Unbalancing 크기를 검토해 보면 Table 3-2와 같으며 이는 시제품 제작시 가공 및 조립공정에서 고려해야 될 축계의 불균형량에 대한 허용한계 값이 된다.

Table 3-2 주축계의 Unbalancing 허용치

항 목	제1주축	제2주축
주축 회전수 : ω rpm	4,500	4,500
ω rad/sec	471.2	471.2
Grade(G)	1.0	1.0
Specific Unbalance(ε)	2.12	2.12
회전체 무게(Kg)	80	67
허용 Unbalance크기(gmm)	169.6	142.04

3-1-2. 주축의 회전정도

주축의 회전정도는 공작물 또는 공구의 회전운동이 그대로 또는 증폭되어 전달되므로 결과적으로 가공물의 형상정도에 직접적으로 영향을 미치는 가장 중요한 인자라고 할 수 있다. 본 실험에서는 Fig.3-2에서와 같이 주축 선단의 형상오차를 줄이기 위

해 마스터볼(진원도 0.11μm)을 스피들에 장착하고 비접촉 변위계(Pioneer PDG500, Res.=10nm)를 서로 직각이 되게 설치한 후 마스터 볼의 회전에 따라 변위계에 의해 발생된 전압을 오실로스코프로 관찰하면서 이의 아날로그 신호(R_A, R_B)를 A/D Convert(RT1860, 250kHz)를 통해 IBM PC에 저장하여 Fig. 3-3의 흐름도에 따라 회전정도를 계산함으로써 측정하였다.

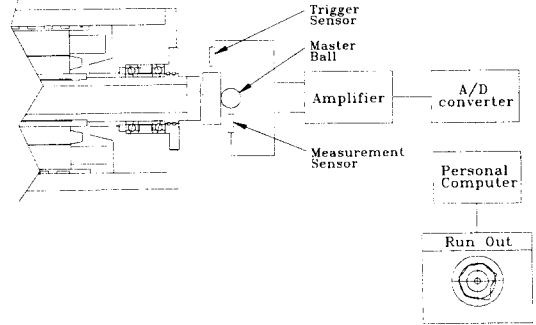


Fig.3-2 회전정도 측정을 위한 실험장치

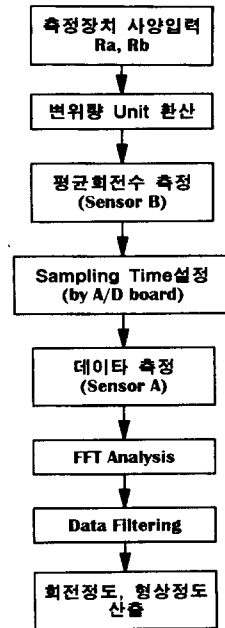


Fig.3-3 회전정도 측정을 위한 계산 순서도

여기서 측정조건은 기저회전수(제1주축500rpm, 제2주축550rpm)를 시작으로 해서 4000rpm까지 500rpm 간격으로 측정하였으며 데이터는 각 회전수에 있어 15회전 값을 연속 측정하여 얻었다. 데이터 수는 센서의 주파수 특성과 측정회전수를 고려하여 1회전당 128개로 하였으며 15회전성분을 연속측정하고 각각 FFT분석을 통하여 편심성분인 1㎐성분 및 정도에 영향을 거의 미치지 못하는 20㎐ 성분이상을 제거한 후 15회전 성분의 평균값을 구해 이를 회전정도(Run Out)로 하였다. 이에대한 측정결과가 Table 3-3에서 보여준다.

Table 3-3 회전정도 측정결과

rpm	주축	제 1 주축	제 2 주축
1000		0.15 μm	0.28 μm
2000		0.13 μm	0.25 μm
4000		0.26 μm	0.41 μm

한편 15회전 성분을 모두 중첩하여 극좌표계로 나타내보면 2,000rpm 4,000rpm에 대한 결과는 Fig.3-4와 같다. 즉 15가지 회전으로 표현된 정밀도의 밴드폭은 회전정도의 재현성을 의미하는 것으로서 비반복 오차(Non-repeatable Error)라고 일컬어지며 제1,2주축에서 각 회전수 증가에 따른 비반복오차의 측정결과는 Fig.3-5와 같다. 이를 관찰할때 회전정밀도의 재현성은 회전속도의 증가에 따라 낮아지는 경향을 보이고 있으며 이는 회전수의 증가에 따른 원심력의 증가로 베어링내부의 볼에 대한 운동력이 증가한 영향으로 해석되고, 특히 제1주축보다 제2주축의 비반복오차가 더욱 큰 것은 회전수의 증가에 따른 축계 강성이 낮은 이유 때문인것으로 생각된다.

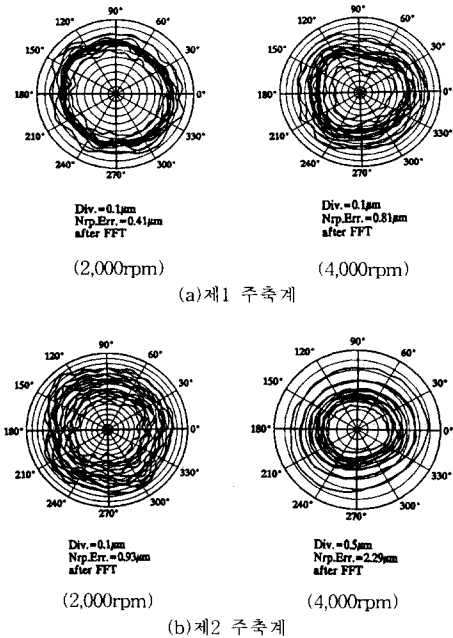


Fig. 3-4 주축계 회전정도의 비반복오차(재현성)

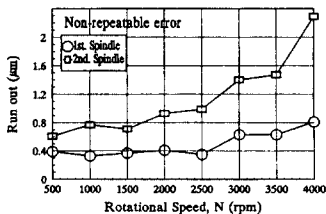


Fig. 3-5 회전수에 따른 비반복오차

3-2. 이송계의 운동정도 평가

이송운동계에 대한 평가항목은 제1공구대의 X축, Z축 방향과 제2공구대의 X축방향 및 제2주축의 Z축 방향에 대한 위치결정 및 반복정밀도, 미소이송정도, 진직도 등으로 하였다. 측정장치

는 Laser Interferometer(HP5527A, 분해능 0.001 μm)를 사용하였고, 측정DATA는 GPIB Board(Philips)를 이용하여 PC에 저장한후 각 측정항목의 측정방법에 따라 별도의 해석 프로그램을 개발하여 최종DATA를 산출하였다. 이에따라 이송계에 대한 운동정밀도를 측정된 결과 X축의 경우 제1공구대는 위치결정정도 3.41 $\mu\text{m}/65\text{mm}$, 반복정도 2.9 $\mu\text{m}/65\text{mm}$, 진직도 3.20 $\mu\text{m}/75\text{mm}$, 제2공구대는 위치결정정도 6.39 $\mu\text{m}/90\text{mm}$, 반복정도 3.82 $\mu\text{m}/90\text{mm}$, 진직도 4.35 $\mu\text{m}/100\text{mm}$ 로서 양호한 결과를 나타내고 있고 Z축의 경우 제1공구대는 위치결정정도 8.9 $\mu\text{m}/200\text{mm}$, 반복정도 4.36 $\mu\text{m}/200\text{mm}$, 진직도 2.07 $\mu\text{m}/220\text{mm}$, 제2주축은 위치결정정도 10.16 $\mu\text{m}/600\text{mm}$, 반복정도 5.28 $\mu\text{m}/600\text{mm}$, 진직도 5.08 $\mu\text{m}/720\text{mm}$ 로서 양호한 상태를 나타내고 있다. Fig.3-6은 각 이송축의 미소이송에 대한 정밀도 측정상태를 보여주고 있다.

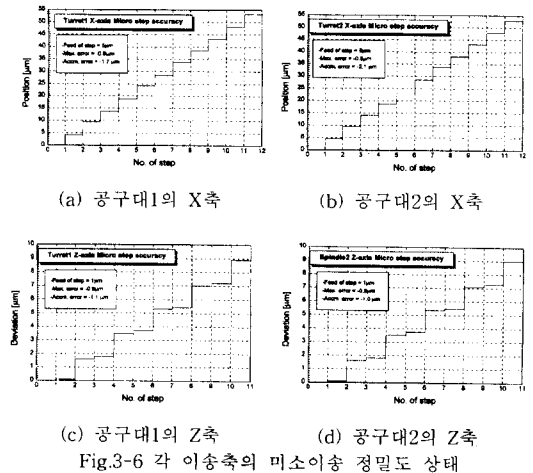


Fig.3-6 각 이송축의 미소이송 정밀도 상태

3-3. 질삭 성능평가

기계의 운동정밀도가 유지되고 구조체의 강성이 충분히 확보되면 가공성능도 양호하게 나타난다. 본 연구모델은 소정의 가공조건에서 가공정밀도를 시험해보고 아울러 동일 크기의 유사기종과 보유기능 측면에서의 성능을 비교하여 생산성예측 등에 관하여 분석을 해보았다.

3-3-1. 가공정밀도

본 연구모델 기계에서의 가공정밀도는 외경의 진원도와 표면거칠기 상태에 대하여 평가를 하였다. 이경우 가공조건은
 ○ 재 질 : 황동 ○ 주속도 : 300m/min
 ○ 절입량 : 0.025mm ○ 이송량 : 0.025mm/rev
 ○ 공 구 : 다이아몬드 바이트(Nose R1.0mm)
 로 하였으며 측정결과 진원도와 표면거칠기 상태는 Fig.3-7 및 Fig.3-8과 같이 각각 1.0 μm , R_{max} 1.09 μm 로서 양호하게 나타났다.

3-3-2. 가공효율

최근의 생산시스템은 다중소량 생산방식으로 변화해감에 따라 가공라인의 단축과 생산효율을 증대시킬 수 있는 방향으로 기계의 특성이 변화되기를 요구하고 있다. 이는 리드타임의 단축과 가공속도의 증대 방안이 무엇보다도 필요한 것을 의미하는 것으로 가공공정의 집약화에 따른 비절삭 시간의 단축을 가져올 수 있는 공정집약형 CNC선반과 같은 새로운 개념의 가공기라던 생산성 향상을 기대할 수 있는 장점을 보유하고 있으므로 이의 필요조건을 만족할 수 있다.

따라서 본 개발기종에 대하여 생산성 향상을 위한 기능측면에서의 고속화를 살펴보면 Fig.3-9와 같이 Chip to Chip time이

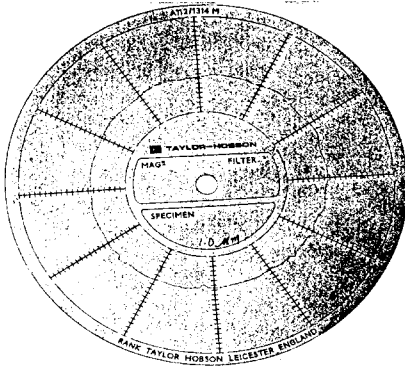


Fig.3-7 가공정밀도 측정결과(진원도)

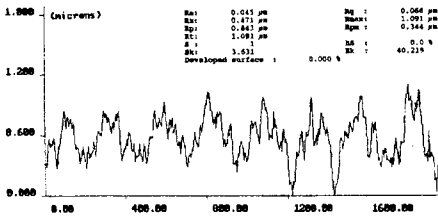


Fig.3-8 가공정밀도 측정결과(표면거칠기)

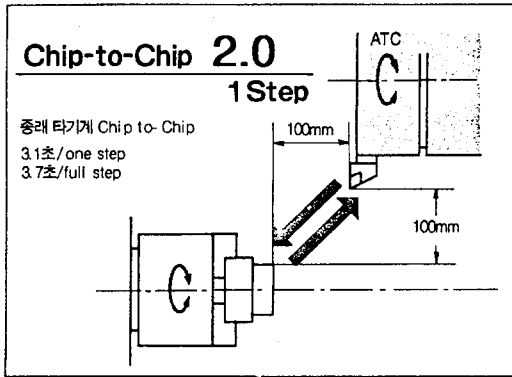


Fig.3-9 공구대 운동의 고속화 기능(Chip to Chip time)

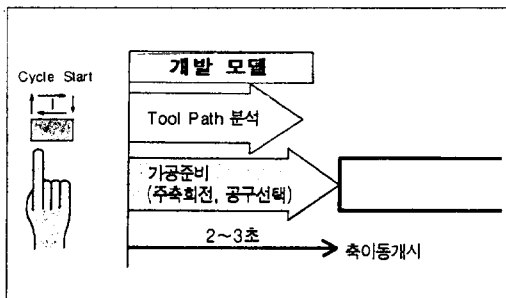


Fig.3-10 가공 준비시간의 단축과정

2.5sec/step로서 종래의 기계에 비하여 최소화 된 Mechanism을 보유하고 있으며 CNC장치가 공구경로(Tool Path)를 해석하고 가공준비(주축회전,공구선택)를 신속히 하기 때문에 Cycle Start 에서 가공 개시까지의 시간이 유사기종에 비해 Fig.3-10과 같이 단축되고 있고 또한 종래에는 원통가공을 할 경우 B면에 대해서는 모방가공을 하여야 했으나 본 개발품은 항상 Full 마력으로 고속 주절삭을 실현하는 황삭 전용Cycle을 보유하고 있으므로 Fig.3-11과 같이 가공시간을 단축할 수 있는 장점을 갖고 있다.

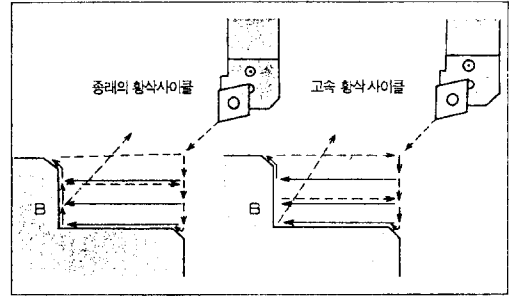


Fig.3-11 고속황삭Cycle에 의한 가공시간 단축과정

이밖에 본 시스템에 Microprocessor를 탑재시키면 Fig.3-12 와 같이 공구대(Turret)의 선회위치가 자동결정 되므로 공구의 길이에 따라 공작물과 간섭되는 경우가 없고 아울러 Tool Path Control기능을 할 수 있어 공구대의 선회위치가 Tooling과 공작물형상에 맞추어 공구마다 자유로이 설정할 수 있다. 이는 Cycle Time을 줄일 수 있는 효과를 가져와 Chip to Chip Time을 현재보다 더욱 최소화할 수 있다.

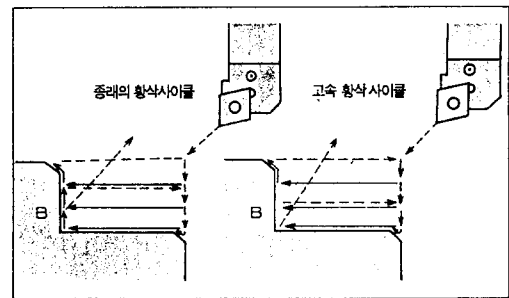


Fig.3-12 Turret 선회위치의 자동결정기능

이상으로 본 개발기종에 대하여 급이속속도(15m/min), Turret Index속도, 주축 출력(max. 11Kw), CNC장치(32bit CPU) 등의 기능을 토대로 생산성 향상의 효과를 분석해 보면 Fig.3-13과 같이 종래의 유사기종과 비교시 약 20%향상의 효과를 가져올 수 있다.

여기서 1개의 주축에 의해 가공하는 경우를 생각해볼때 약 20%의 생산성 향상을 기대할 수 있었으나 본 개발기종은 기존의 기계보다 1대의 기계가 추가된 것과 같은 이른바 2-Spindle/2-Turret이 대칭·대향으로 배치된 것으로서 회전중 공작물을 제1주축에서 제2주축으로 옮기면서 가공하는 공정집약형 가공기이므로 작업자의 수(數)가 반(半)으로 줄어들 뿐만 아니라 공작물의 Set-Up Time과 기계의 설치면적이 줄어드는 등 Table 3-4에서 보는바와 같이 본 기계에서 기대할 수 있는 생산성 효

과의 총화(Total Product Capability)는 기존기계를 100(%)으로 할때 약 240(%)로서 약2.4배 이상의 생산성 증대를 기대할 수 있는 기계가 된다.

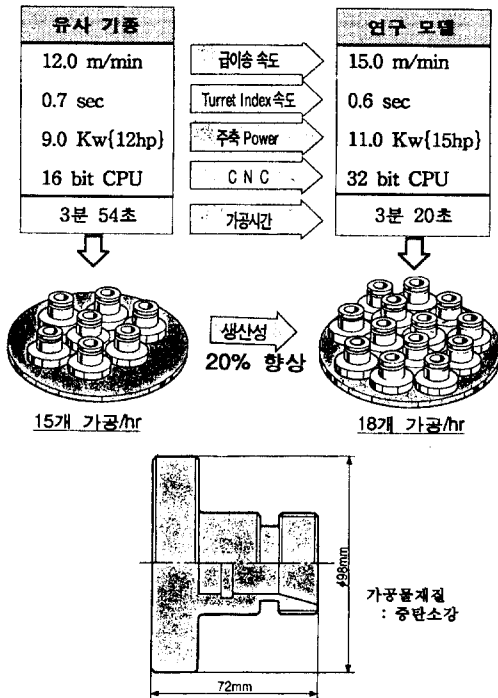


Fig.3-13 생산성향상 평가

Table 3-4 개발기종의 생산성(Total Product Capability)효과

항 목	기존 기계	개발 모델		비 고
		제1주축	제2주축	
가공 능력(個/時間)	15	18	18	Fig.3-13
생산성 향상(%)	100	120	120	참고
합 계	100%	240%		증대효과 2.4배

4. 결 론

본 연구의 수행 결과 다음과 같이 정리해 볼 수 있다. 우선, 가공시스템 전반에 대한 종합적인 결과로서

(1) 본 개발기종은 가공공정이 복합적으로 집약화되고 유연성을 높이기 위해 기계의 전체적 구성을 Slant Bed(45deg.)와 제1, 및 제1, 2주축대의 대칭·대향형 구조로 설계한 후 6축제어(4축 동시제어) 기능으로 시스템화 하였고

(2) 이 경우 제어기능은 동시 및 동기제어가 되도록 하였으며, 여기서 동시제어기능은 주축시스템(主軸)과 공구대의 이송시스템(X, Z축)사이에 이루어지도록 하고, 동기제어기능은 주축(主軸)의 회전수와 회전각(위상각)을 제1및 제2주축에 대해 이루어지도록 하여 회전중에도 제1,2주축 사이에 공작물의 Loading/Unloading이 이루어져 고정도의 복합가공을 수행할 수 있도록 하였다.

다음으로 개발기종의 요소부설계에 관한 연구결과로서

(1) 제1, 2주축 시스템은 DDS(Direct Drive System) 방식인 모터내장형(Built-in Motor)으로서 56×10^4 DmN을 목표로 설계 하였으며

(2) 이송시스템에 있어서는 각 미끄럼안내면의 面壓을 $0.4 \sim 1.2$ Kgf/cm²로 기준하여 안내면 치수를 결정하였고 이를 토대로 급이송속도 20m/min을 목표로 각 이송축의 Ball Screw 및 Servo-Motor의 사양을 결정하였다.

(3) 시제품에 대한 종합평가를 실시한 결과 기계의 정밀도는 모든 항목에서 KS 및 JIS에서 규정한 기준치 이내를 만족하고 있었으며, 특히 기존의 유사기종과 생산성을 비교해본 결과 2-Spindle/2-Turret의 보유로 약 2.4배의 생산성 향상 효과가 있을 을 판단해 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) M.Yoshimura, "Computer Aided Design Improvement of Machine Tool Structure Incorporating Joint Dynamics Data", Annals of the CIRP, Vol. 28/1/179, PP 241-246.
- (2) G.Schlesinger, "Die Werkzeug Maschinen," Springer 1930.
- (3) H.Schulz, "Current State of Art Concerning HSC-Machine Tools", 5-th IMEC Session II, 1992.
- (4) Manfred Weck and H. Bibring "Hand Book of Machine Tool, Vol.2, Construction and Mathematical Analysis" John Wiley & Sons, 1984
- (5) J.Thusty, "Experimental and Computational Identification of Dynamic Structural Models", Annals of the CIRP, Vol.25, No.2, 1976.
- (6) J.Thusty, "Dynamic Structural Identification Tasks and Methods ", Annals of the CIRP, Vol.29, No.1, 1980.
- (7) K.J.Bathe, "Finite Element Procedures In Engineering Analysis", Prentice-Hall, Inc, 1982, Chapter 10-11.
- (8) Y. Shuzi, "A Study of the Static Stiffness of Machine Tool Spindle," Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol.21, No.1, 1981, PP23-40.
- (9) J.G.Bollinger and G. Geiger, "Analysis of the Static and Dynamic Behavior of Lathe Spindle," Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol.3, 1964, PP193-209.
- (10) S.M.Said, "Static Compliance of the Center Lathe Processing System," Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol.4, 1965, PP223-241.
- (11) T.SATA, N.OKUBO, Y.TAKEUCHI, "Computer System for Analysis of Machine Tool Structure(1st Report)", 日本精密機械 42권 10호, 1976. 10, PP 43-48.
- (12) Craig, R.R., Jr., "Structural Dynamics, An Introduction to Computer Method," John Wiley & Sons, New York, 1981.
- (13) M. W. Badawi and R. H. Thornley "Comparison of Static and Dynamic Characteristics of Closed Box Section Beam" Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 6, 1966
- (14) F. Koenigsberger and J. Thusty, "Machine Tool Structure. Volume 1." Pergamon Press, 1970.
- (15) 三井公之 "精度診断 技術の研究(3点式 主軸回轉精度 測定装置の開発)" 日本機械學會 論文集(C編), 48-425, 1982