

고속 고정도가공에 기인하는 Servo System의 최적화와 기능특성에 관한 연구

이홍길* , 김원일** , 최명환*** , 백상엽****

A Study on the Optimization of Servo System Originating to High-Speed Fixed Duty Processing

Hong-Gil Lee*, Won-il Kim**, Myung-Hwan Choi***, Sang-Yeob Baek****

(Received 5 March 2009; received in revised form 1 June 2009; accepted 24 June 2009)

ABSTRACT

The most dominate aspect in machine works using CNC devices in industrial production processes is the precision of the product and the Cycle Time. To this day, many studies on the external factors of the technology to reduce the Cycle Time have advanced amid to the advancements in cam soft development for manual programs and the numerous studies on high speed and precision machining. This study experimented various functions of the sequence pattern flow and arranged system development technologies of past few years to develop and applicate various usage of adjustment factors within the CNC, so it would be more understandable to the user and would enable them to make high speed and precision products more faster develop and. In order to reduce the Cycle Time, the mechanism of machine tools has to be analysed and applied, in addition to program reduction and improvement of the manufacture process.

Key Words : Cycle time(가공시간), Process(공정), Program(프로그램), Function(서보기능), Speed(속도), Precision(정도), Mechanism(기계장치)

1. 서 론

생산가공의 산업현장에서 CNC장치를 이용한 기계가공에서 가장 크게 좌우되는 점이 가공제품의

정밀도와 제품생산에 소요되는 시간의 단축이다. 싸이클 타임의 단축에 필요한 주요인으로는 프로그램 및 가공 공정도개선과 더불어 동작기계의 메카니즘을 분석 한층 활용해야한다. 동작기계의 고속 메카니즘화와 초정밀가공에 힘입어 한층 고속 고정도가공화 되어 가는 추세이다.^[1] 이와 같은 CNC 장치를 이용한 고속 고정도 가공을 실현하기 위해 이송속도의 고속화, 주축속도의 고속화, Block처리 시간의 고속화, Multi buffering, 가공경로 오차의 감소, 기계에 쇼크를 주지 않는 원활한 이송 등을 연구 검토하여 시스템구동의 최적화를 찾아냄으로써 가공정도는

* 한국화낙주식회사 기술연수소(FANUC KOREA)

E-mail : cncman@hanmail.net

** 경남대학교 기계공학부

E-mail : kimwonil@kyungnam.ac.kr

*** 경남대학교 대학원 기계공학부

E-mail : ttscun@hanmail.net

**** 경남대학교 대학원 기계공학부

E-mail : baeksangy@hanmail.net

물론 최적조건에 맞는 고속가공을 찾아야 한다.^[2] CNC 시스템이 갖고 는 파라미터 테이블을 최적화 시켜 활용함으로써 그 목적을 달성할 수 있다. 내부 파라미터변수를 적극 활용함에 따라 가공속도의 변환, 이송속도의 변환, 가감속의 변환, 위치 편차량의 최소화, 백래시 오차의 최소화 등의 최대 효율화를 이룰 수 있으며 하드웨어적 공정개선과 더불어 소프트웨어적 공정개선을 파라미터를 이용하여 충분히 변화 가감시켜감으로써 고속 고정도 가공의 Servo system의 최적화를 구축하여 정밀도와 생산성을 향상시킬 수 있는 고속, 고정밀 공작기계의 시스템최적화를 위한 Software적 접근이라고 할 수 있다. 최근에는 각종 측정기와 컴퓨터 기술의 발전에 힘입어 절삭속도의 최적화 운동 정밀도의 보상기술, 절삭시의 가감속도의 최적화, 이송 시 발생하는 백래시의 보상 기술 등의 구현이 급진적으로 이루어지고 있다. 본 연구에서는 On-line통신을 통한 직접적 Data보상과 가공시 작용하는 Inertia비를 Servo tuning wave을 가공 전 우선 비교 검증함으로써 가공 시 반복되는 시험가공에 따른 오차와 편차를 용이하게 수정하는 방법으로 Ethernet 및 PCMCIA 통신을 통한 CNC시스템 최적화보상기술을 실현 하였다.^{[3]-[13]}

2. 실험장치 및 방법

2.1 CNC system의 요구기능 및 조건

공작기계에 적용되는 CNC system에는 여러 Maker 가 있으며 Maker별로 종류도 다양하지만 국내 산업 현장에 가장 많이 보급되어 있는 FANUC Control serise에서는 고속 고정도 가공용은 다음 기능이 반드시 구성되어야 한다.

- ① 선행 Feed forward제어기능 : 많은 양의 Block을 먼저 읽어 이동 지령 전에 가감속을 제어하는 기능
- ② AICC(Artificial intelligence contour control)기능 : 간이 고정도 윤곽제어기능
- ③ AI NANO기능 : 1μm 경우 위치 지령이 1nm단위로 연산제어 하는 기능
- ④ HPCC(High precision contour control)기능 : 고정도 윤곽제어기능
- ⑤ 제진 필터기능과 Backlash가속기능 : 고주파 제거

와 Backlash보상유효기능등과 같은 system software 가 구축되어야하며 고속 고정도 가공용 CNC system 의 software대응 가능 사양은 Table 1과 같다.

Table 1 FS Series & software version

FS 16iMB B0H1/05	FS 16iTB B1H1/06
FS 18iMB BDH1/05	FS 18iTB BEH1/06
FS 21iMB DDH1/05	FS 21iTB BEH1/06
FS P-Mate iD 88E0/18	FS P-Mate iH 88F2/01
FS 0iM D4A1/01	FS 0iTB D6A1/01
FS 0i Mate MB D501/01	FS 0iMate TB D701/01

FANUC System기종해설- FS 16iMB

16i : Series No , M : 설비 기종 / Milling, Turning,
B : Upgrade No : A, B ,C ,D

2.2 Servo system의 필요 기능

고속 고정도 가공용 CNC의 Servo Soft는 아래 기능이 포함 되어야 한다. 고정도 윤곽가공 및 금형 가공에 필요한 기능과 Software가 일치하여야만 On-line Servo dressing에 의한 Servo turning이 가능하다.

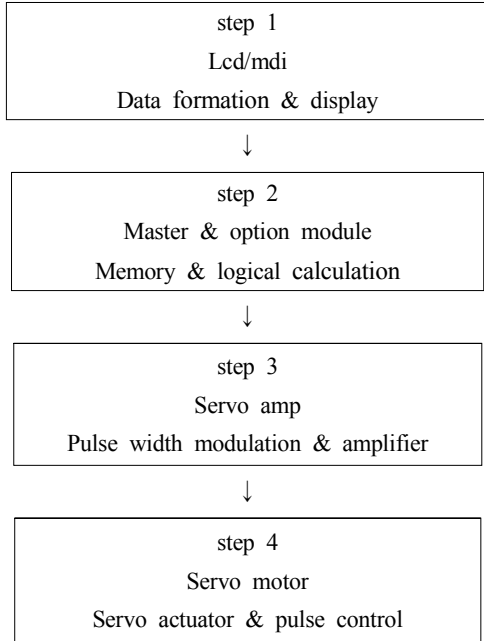
Table 2 System control function

	Part cutting		Mold cutting	
	Basic	High	Basic	High
15iM		RBA +HRV2		FINE HPCC +HRV2
16iM	FFC +HRV1	AI NANO contour control +HRV2	AI NANO contour control	HPCC +HRV2
18iM	FFC +HRV1	AICC +HRV2	AICC +HRV2	

System control의 구성은 기구부 구조(Hardware)와 Control system(software)과의 조합으로 구성되어있다.

Control system은 4단계로 Part process를 실행한다.

Table 3 CNC system control process



위와 같이 4단계 Part Process를 이행할 때 결국 가공에 필요한 치수만큼의 위치 이동 Data를 얻어낼 수 있다. 이때 전류 Gain에 따른 속도 제어는 Servo AMP로부터의 PWM(Pulse width modulation)전압이 Moter에 전달되게 된다. 이 전달과 더불어 위치 제어부로부터 만들어진 motor에 대한 속도지령전압(VCMD)을 기초로 Servo motor에 대한 속도를 제어 한다. 이때 Motor에 내장된 Pulsecoder로부터 속도 귀환(Feedback)을 사용 한다.

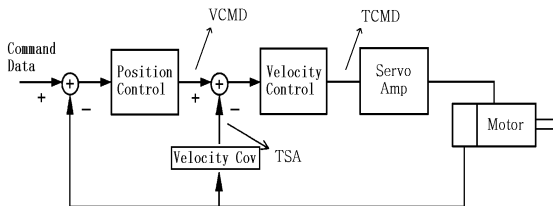


Fig. 1 Servo command block diagram

속도제어는 지령과 동일한 속도로 Servo motor를 회전 시키지만 Servo motor의 전방에는 기계계의 부하를 갖게 되기 때문에 Motor샤프트 자체의 움직임은 기계계의 응답성에 따라 정해지기도 한다. 결국 서보 모터와 기계계의 부하 비율에 따라 좌우된다. 결국 달라지게 되는 부하비율은 절삭공정에서부터 우선적인 전류gain부하의 조건이 되는 것이다. I-P제어(적분 비례제어)와 P-I제어(비례적분 제어)의 선택에 따라 전류gain 조건특성이 달라진다.

I-P제어와 P-I제어의 선택 파라미터는 2003#3을 지정함으로써 선택할 수 있다.

2003#3 0: 속도 제어 방식은 I-P제어 사용

1: 속도 제어 방식은 P-I제어 사용

I-P제어는 통상 비교적 응답성이 좋고 기계 강성이 높은 소형 기계용으로 사용되며 P-I제어는 통상 응답성이 좋지 않고 기계 강성이 적은 대형 기계에 사용 된다. 시스템 지원 소프트웨어에 있어서는 정지 시 비례gain 가변기능, 속도 loop 비례항고속 처리기능, 가속도 Feedback기능, Torque command filter기능, HRV2 제어기능이 있으며 제진 Filter (고주파 제거 Filter) 기능으로서 고속 고정도 가공용인 HRV2를 사용하면 전류loop gain이 올라가고 속도 gain을 보다 높게 잡는 것이 가능하게 되고 기계에 따라서는 특정 고주파 영역에 강한 진동이 발생하는 일이 있습니다. 이와 같은 고주파의 공진을 없앨 수 있고, 속도 loop gain을 더욱 더 높게 설정하는 것이 가능하게 된다.

2.3 Servo guide system의 구동 조건

Servo guide soft program은 사용기계와 Top manager간에 Remote진단이 가능하도록 Computer와 CNC간에 LAN cable을 연결하여 CNC측으로부터 파라미터 Data를 상호 Interface가 가능하고 또한 목적하는 검사 프로그램을 직접 작성하여 기계로 보낼 수 있으며 검사 목적에 따라 일반 가공, 고속가공용등 CNC servo최적화 조건에 맞는 프로그램을 형성 자동 전송하여 원하는 파형을 Real time으로 검증해볼 수 있는 Servo 부하 특성 그래프를 분석하는 프로그램으로써 PC의 사양은 Table 3의 조건을 만족하여야 한다.

Table 4 Basic configuration of computer

Computer	Ibm pc/at system
CPU	Pentium 200M hz
Os	Microsoft windows 98/me
	Microsoft windows nt4.0/2000/xp
	Internet explore 4.01 or later
Memory	64Mbyte and over(128Mbyte encourage)
Graphic	SVGA(800*600)이상(XGA1024*768)

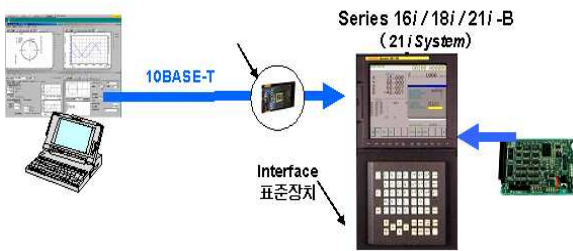


Fig. 2 Ethernet LAN cable wiring

2.4 Servo loop gain 측정

표준 파라미터를 고속 고정도용 HRV2 (High response vector 2)고응답성 전류 제어 방식으로 Servo dressing을 위하여 2축에 대한 제어 프로그램을 이용하여 X축과 Y축에 걸리는 교차부하 파형 그래프를 검사한다. Network통신을 통하여 Host 컴퓨터로부터 원하는 기계와의 TCP/IP설정을 맞추면 여러 대의 기계를 원하는 시간에 원하는 기계의 Servo gain dressing을 실시할 수 있다. 직접 기계에서 수동적으로 파라미터를 설정하지 않아도 원하는 기능의 관련 파라미터를 일목요연하게 설정 및 조정이 가능하며 측정 그래프의 분석은 직교좌표축 방향으로 원호 파형이 찌그러짐 현상이 일어나는 경우 파라미터 조정을 통한 Servo tuning

process를 실행해야 한다. Servo tuning process flow는 Table 5와 같다.

Table 5 Servo tuning process of CNC

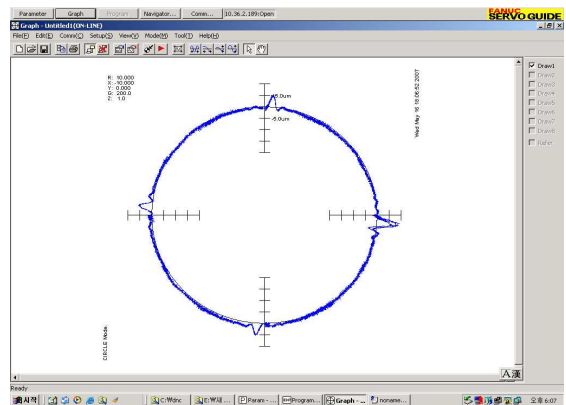
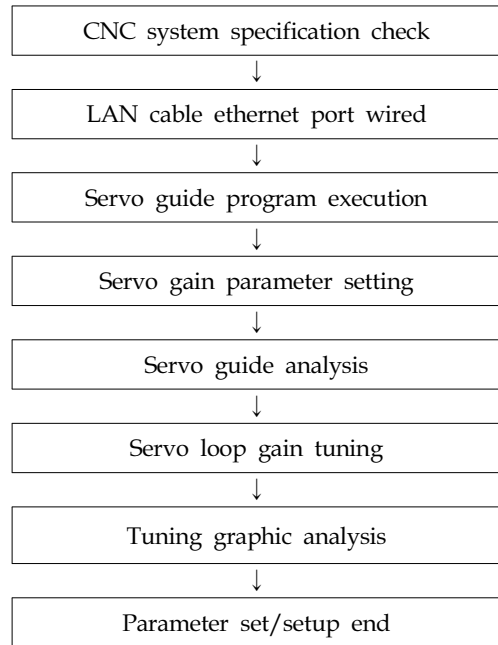


Fig. 3 Servo tuning graph

동시 2축 원호 프로그램을 이용한 각축의 가공 지령을 걸었을 때의 위치 Feedback에 의한 Tuning을 gain오차가 발생한 상태를 파라미터 미조정 상태에

서 Servo guide 프로그램을 이용하여 측정하면 직교 방향의 gain 부하 특성이 나타나는 것을 알 수 있으며 원호 그래프의 진원을 중심으로 얻어진 그래프 파형에서 직교 방향으로 커지는 파형의 크기에 따라 Servo loop gain값을 올려 가며 반복 조정 실행한다. 검사측정 그래프를 Fig.3에 나타낸다.

2.5 표준 Parameter table

Servo dressing하기 전에 초기설정 파라미터 데이터를 Table 6에 나타낸 Data와 같이 표준 파라미터를 설정 했더라도 고속 고정도 관련 각 데이터를 한계 범위 내에서 조정하는 것으로 정확한 고속 고정도 가공이 실현 가능하다.

Table 6 Basic configuration of computer

Parameter No.	Data set	Contents
16i/18i/21i/0i		
2004	0*000011	HRV2 control enable
2040	760	Current loop IP gain
2041	-3743	Current loop PI gain
2003#3	1	PI control enable
2017#7	1	Velocity loop PI high speed control
2006#4	1	Velocity feedback check lms
2016#3	1	stop PI gain change function
2119	2	PI gain level check
1825	3000	Servo loop gain
2021	300	Inertia ratio
2202#1	1	Cut/feed velocity loop change
2107	150	Cutting velocity loop gain ratio

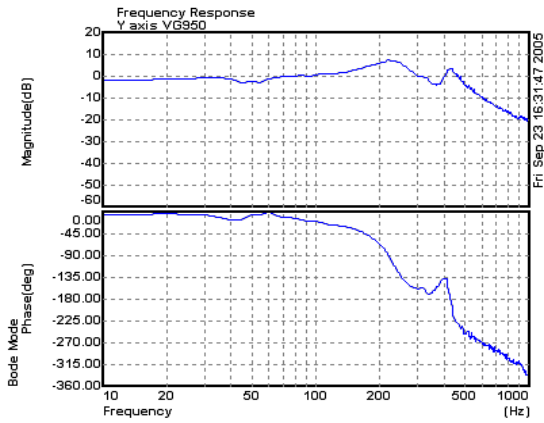
3. 실험결과 및 고찰

3.1 전류 gain조정과 graph분석

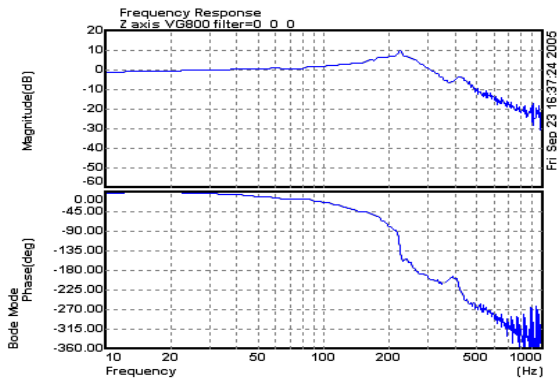
Servo 한축을 전류 loop gain을 다르게 하여 Servo motor의 전류 부하치를 검사 하였다. 200Hz를 넘어서면 부드러운 가감속 현상을 유지하며 그래프곡선이 완만하고 지속적인 하향 곡선을 그려야 하는데 그래프를 분석해보면 200[Hz]범위 내에서 완만한 직선형 그래프를 유지하고 그 이후 가감속에서 얻어지는 파형에는 그래프에 나타난 것처럼 위로 산처럼 튀는 모양의 그래프가 속도 저항의 불완전에서 얻어지는 파형이다. Fig.4의 (a)와 같이 Servo loop gain값을 100에서 200으로 올려주면 가감속에서 얻어지는 파형이 Fig.4의 (b)와 같이 완만하게 얻어지는 결과를 볼 수 있으며 속도 저항이 현저히 좋아지며 이때 Fig.4의 (c)와같이 가공 시 양호한 가공정도 효과를 Servo tuning 분석 그래프로 확인할 수 있었다.

보통 Servo계의 지연으로부터 형상오차가 발생하기 때문에 원호 절삭시의 반경이나 속도에의 한 형상오차가 크게 되는 원인이 되며 이 때문에 원호 절삭시의 실제 기계위치가 Program지령과의 차이가 생기게 된다. 이 형상오차를 작게 하기 위하여 Feed forward기능을 사용하여 속도 제어의 응답성을 향상시킬 수 있었다. 고정도 위치제어를 목적으로 위치 Feedforward계수를 Gain그래프를 관찰하면서 보다 높게 설정해가며 Backlash 기속 기능을 병행 사용하면서 Circle 프로그램을 실행하여 전류 gain 그래프를 관찰 하였을 때 형상오차가 줄어들며 정상적 고정도 Servo 이송을 확인할 수 있었다. Servo guide 측정 그래프로 분석한 결과 Fig.5의 (a)의 Backlash 가속 무효일 때의 불규칙 Servo이송 파형이 (b)의 Backlash가속 기능 유효일 때 정확한 Servo이송이 얻을 수 있음을 확인 하였다.

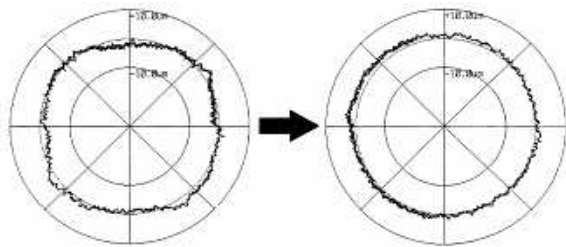
< Servo축의 전류 loop gain조정 >



(a) Loop gain at the time of 100 day

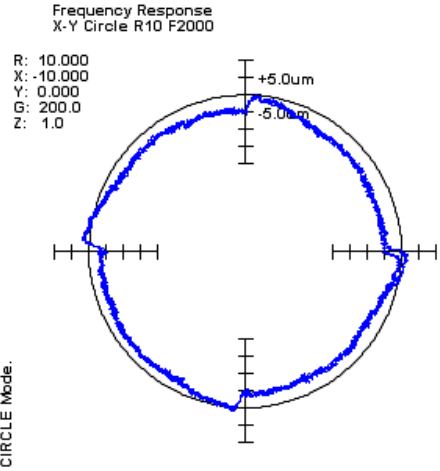


(b) Loop gain at the time of 200 day

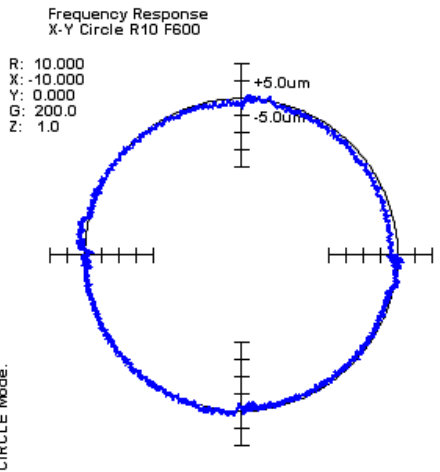


(c) Gain adjust before & after

Fig. 4 Servo guide analysis graph



(a) Invalid one time of Backlash accelerative functions



(b) At the time effective work of Backlash accelerative functions

Fig. 5 Servo guide analysis graph

4. 결론

본 연구에서는 고속 고정도 가공에 적용하는 CNC에 있어서 가공 전 정도향상을 위한 Servo 조건의 최적화를 구축하기 위하여 고속 미세 가공시 가장 큰 영향을 미치는 Servo부하 특성에 대한

실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

13. 손명환 “정삭가공론” 1992

1. Servo 부하 특성으로 가장 중요한 것이 Servo loop gain이며 이 값의 변화에 따라 부하 변동 곡선이 변하는 것을 알 수 있으며 이는 곧 Servo 제어에 오차를 유발하게 되며 이러한 오차 보상에 필요한 조건 및 속지 조정해야한다.
2. 가공속도와 가공정도의 향상은 동전의 양면과 같아서 동시에 만족될 수 없다. 따라서 가공 형태의 종류와 Work종류에 따라 속도와 정도를 최적화 함으로써 고속 고정도 가공을 실현할 수 있다.
3. 외적은 요소의 프로그램 기술도 중요하지만 내적으로 Servo soft기술을 충분히 활용하면 가공 효율도 높일 수 있고 반면에 반복적인 오차가공을 미연에 방지할 수 있도록 Servo guide를 통하여 기계적 부하를 완화 시켜줌으로써 고속 고정도 가공을 최적화 할 수 있다.
4. 고속 고정도 가공에 있어서는 프로그램 작성과 조작기술 뿐만 아니라 요소적 관련 파라미터를 정확히 조정하고 Servo tuning을 분석하여 정확한 Servo dressing이 이루어져야 한다.

참고문헌

1. FANUC Servo Technical center "SERVO GUIDE", 2001.
2. FANUC Servo technical center "Servo tuning", 2001.
3. FANUC Servo motor α i parameter manual, 2000.
4. FANUC 16i/18i/21i/0i maintenance manual, 2000.
5. FANUC AC Servo motor α is/ β is series servo調整, 2003.
6. 이광현 “Servo motor 제어 기술”, 1994.
7. HEIDENHAIN "iTNC530", 2005
8. Yoshiaki K., "A Study on the Motion Accuracy of NC Machine Tools(7th Report)", JSPE, Vol. 52, No. 7, pp. 85-86, 1986
9. 이성준 “CNC5축 가공”, 2007
10. 화천기공(주)염규용 “5축가공기의 금형 슬라이드 코어 가공사례 및 기술”, 2008
11. 염영하 “신편기계공작법”, 1996
12. 강명오,손명환 “최신기계공작법” 1991