'93 한국자동제어학술회의논문집 (1993. 10. 20~22)

CNC 제어기와 서보시스템의 연결방식에 따른 특성조사

° 이현철, 윤서영, 이은호
서울대학교 제어계측 신기술연구센터

Performance Investigation of CNC System with Interface Between CNC Controller and Servo System

° Hyun Cheol Lee, Suh Young Yoon, Eun Ho Lee
Engineering Research Center for Advanced Control and Instrumentation, Seoul National University

ABSTRACT

Generally machine tools can be divided into three components : NC Controller, the electrical drives and the mechanical transmission elements. For high speed, high precision machining, high performance control of servo system must be accomodated and one must carefully define the interface among three components. In this paper, we suggest a way to assist future developement of CNC controller by investigating the characteristics resulting from different interface between CNC controller and servo system.

1. 서론

공작기계는 여러가지 기계요소를 가공하는 기계로서, 제조업에 있어서 없어서는 안될 중요한 위치를 차지하고 있다. 특히, CNC 공작기계는 자동차산업, 항공산업등의 고정밀도를 요구하는 부품의 가공, 금형의 가공등에 필수적인 기계이며, 노동절감, 생산성 향상을 가져다 주는 자동화에 있어서 중요한 설비이다. CNC 공작기계는 크게 기계몸체 부분과 제어기 부분으로 구성되어 있다. 그 중에서 제어기 부분은 기계접합부 기술, 서보모터 제어기술, 컴퓨터 설계기술 등이 포함된 공작기계의 성능을 좌우하는 핵심부품이다. 근래에 와서 컴퓨터통합생산시스템(CIM)이 도입됨에 따라서 CAD/CAM 기술, 통신기술, 그래픽기술, 공정 자동 생성기술, 센서기술등의 기계·전기·전자 분야의 중요한 기술이 추가되는 경향이다[1].

CNC 공작기계의 성능은 CNC제어기가 각 축을 제어하는 서보시스템에 얼마나 잘 조화된 위치명령을 보내주느냐 하는 것과 서보시스템의 성능에 달려있다. 최근에는 고성능 제품에 대한 요구가 높아지고, 반도체기술의 발전에 힘입어 고성능 DSP칩을 내장한 소프트웨어 서보시스템이 실용화 되고 있다[2]. 또한 이러한 고성능 서보시스템이 가지는 모든 능력을 잘 사용하기 위해서는 CNC제어기와 서보시스템간의 인터페이스가 잘 정의되어야 한다[3]. 이에 본 논문에서는 최근 사용되고 있는 CNC제어기와 서보시스템간의 인터페이스 방식에 관해 서술하고, 각각의 인터페이스 방식에 관한 특성들을 비교, 설명하였다. 또한 이러한 인터페이스 방식을 적용한 CNC시스템의 성능에 관해 서술하였다.

2. CNC 제어기의 개요

NC 혹은 CNC 공작기계란 수치지령으로 이루어진 정보에 의해서 기계를 조작하여 공작물을 가공하는 기계장치를 말한다[4]. 수치제어장치(NC)는 1952년에 미국에서 최초로 개발되어 컴퓨터기술의 비약적인 진보와 함께 발전되고 있으며, 마이크로프로세서의 출현 이후에 컴퓨터기능을 내장한 NC를 CNC라 부르게 되었다. 그림1에 전형적인 CNC 시스템의 구성을 나타내었다.

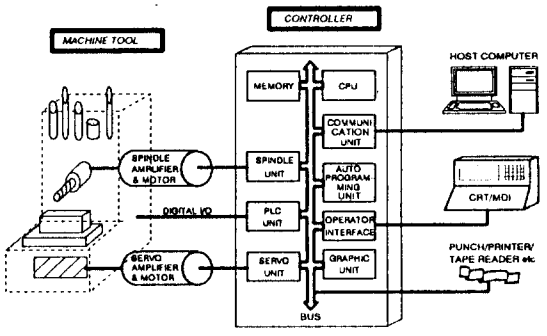

Fig 1. Typical Configration of CNC System

일반적으로 CNC 제어기는 크게 입출력부, 연산제어부, PLC, 서보·스핀들제어부, 그래픽스제어부로 이루어지며, 각 모듈 사이의 간섭을 최소화할 수 있는 분산구조로 설계된다. 입출력부는 NC 프로그램의 입력, 입력된 정보의 변환 및 해석, 기타 외부 입·출력 신호의 처리등을 수행하는 부분으로

사용자 인터페이스 unit, 통신 unit이 해당된다. 연산제어부는 입출력부로부터 NC 프로그램을 받아서 위치결정, 보간등의 연산을 수행하며, 마이크로프로세서와 각종 데이타 및 프로그램을 저장하는 메모리로 이루어 진다. PLC는 CNC 장치와 공작기계 사이의 인터페이스 역할을 하며, 기계의 동작제어를 CNC 측과 분담, 처리한다. 즉, 공구교환, 터릿회전, 절삭유의 공급, 램프의 점등, 팔렛의 교환등 주로 ON/OFF 제어를 수행한다. 서보제어부는 연산처리부로부터 이동지령을 받아서 서보 모터를 제어하는 부분이다. 이것은 인간의 손발에 해당하는 부분으로서, 두뇌에 해당하는 연산제어부로부터 이동지령을 받아서 공작기계의 테이블이나 가공물을 움직이는 역할을 한다. 스핀들제어부는 공작기계의 주축의 회전을 제어하는 부분이며, 그래픽스제어부는 2D 또는 3D 영상을 계산하여 화면에 표시하는 기능을 수행한다.

3. CNC제어기와 서보시스템간의 인터페이스

3.1 개요

CNC 공작기계는 크게 CNC제어기, 서보제어기, 기계몸체로 구성되며 CNC제어기는 NC 프로그램을 해석하여 여러가지 연산처리를 행한 후, 서보제어기에 이송지령을 내림과 동시에 여러가지 주변기기를 동작시키는 기능을 수행하고 있다. 또한 서보제어기는 CNC제어기로부터 위치지령을 받아서 서보모터를 제어하는 부분으로 공작기계의 테이블이나 가공물을 움직이는 역할을 한다.

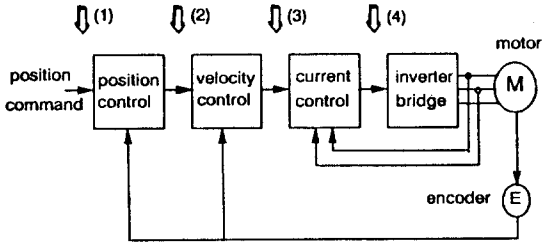

Fig 2. Configuration of Servo System

서보모터의 위치제어시 그림2와 같이 속도제어루프 및 전류제어루프를 내부루프로 하는 직렬구성의 제어계가 통상적으로 많이 쓰이고 있으며, 이와같이 제어계를 구성하면 내부루프의 응답을 바깥측 루프의 응답보다 충분히 빠르게 설계하여 바깥쪽 루프의 응답성이나 안정성을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 그림2의 제어계를 이용하여 CNC시스템을 구성할 때 CNC제어기에 포함되는 부분과 서보시스템에 포함되는 부분으로 나눌수 있다. 지금까지 널리 이용되던 아날로그 서보시스템에서는 위치제어부가 CNC제어기에 포함되고 속도제어부부터가 서보시스템에 포함되어(그림2), 서보시스템은 상위제어기로부터 아날로그 속도지령을 받아 속도 및 전류제어를 수행한다. 그러나 최근들어 서보시스템의 소프트웨어화로 서보시스템은 위치·속도·전류제어를 하나의 프로세스로 처리하게됨에 따라 상위제어기에서 위치명령만 생성해 주면 서보시스템에서 위치·속도·전류제어를 수행하는 구조(그림1) 또는 속도·전류제어까지 CNC제어기에서 처리를 하고 PWM 인버터 부분만을 분리시키는 구조(그림4)가 이용되고 있다. 여기서 주의해야 할 점은 CNC제어기와 서보시스템의 구분 위치, 즉 인터페이스 위치에 따라 교환되는 데이터의 비트수나 필요한 데이타 교환 시간도 달라진다는 점이다. 인터페이스 위치가 내부루프쪽으로 갈수록 데이타 교환에 필요한 비트수는 적어지나 데이타 교환 주기는 빨라지게 된다

지금까지는 상위제어기로부터 아날로그 속도지령을 받아 속도·전류제어를 아날로그 회로로 수행하는 아날로그 서보시스템이 주로 이용되었으나, 최근에 들어 보다 유연성이 있는 제품, 보다 고성능의 제품, 보다 인텔리젠트화된 제품에 대한 요구가 높아지면서 제어 대상인 위치·속도에 부가하여 전류도 포함하는 소프트웨어 서보시스템이 실용화되고 있다. 이러한 추세에 따라 CNC 공작기계에서의 서보시스템도 고속, 고정밀 제어를 위해 소프트웨어 서보시스템으로 대치되고 있다.

서보시스템의 소프트웨어화 추세와 함께 CNC제어기와 서보시스템 사이의 연결방식은 크게 두가지로 나눌 수 있다. 그 한가지는 현재 일본과 구미등에서 널리 사용되는 방법으로 병렬 시스템 bus를 이용하여 CNC제어기와 서보시스템간의 통신이 이루어지는 구조이다. 이러한 시스템은 CNC제어기와 서보시스템간의 통신에 독자적인 통신규약을 가지고 있으므로 사용자가 일반적인 사용을 위해 CNC제어기와 서보시스템의 인터페이스에 직접 관여할 수 없다. 또 한가지는 CNC제어기와 서보시스템 사이의 정보교환이 시리얼 통신을 이용하여 이루어지는 방법으로 독일등 유럽에서 표준화를 추진하고 있으며, 다른 여러국가에서도 이러한 개방된 통신규약에 관한 많은 연구결과가 나오고 있다[5,6]. 이러한 시스템은 CNC제어기와 서보시스템간의 연결에 표준화된 시리얼 통신을 이용함으로써 서로 다른 업체들에서 공급된 요소들을 결합하기가 용이하게 되어 CNC시스템 구성시에 사용자의 요구를 보다 잘 만족하는 시스템을 구성할 수 있는 유연성이 제공된다.

3.2 병렬 버스 형태의 인터페이스

지금까지 가장 보편적으로 이용되는 아날로그 서보시스템을 이용하는 경우의 CNC제어기와 서보시스템간의 연결구조는 그림3과 같이 나타난다. 그림3에서는 속도제어용 아날로그 서보시스템이 이용되고, CNC제어기에서 위치제어 기능을 수행한다. CNC제어기측에서는 위치제어를 수행한 후 속도명령을 D/A 컨버터를 통해 ±5V~±12V의 전압으로써 각 서보 드라이브에 전송한다. 최근에 들어 고성능의 제품에 대한 요구가 높아지면서 소프트웨어 서보시스템이 실용화 되고 있다. 소프트웨어 서보시스템은 드리프트, 오프셋이 없어 고속·고정밀도의 위치결정제어가 가능하고, 상위 컴퓨터와의 통신과 기능의 확장이 용이하며, 일체화, ASIC화등으로 저가격화가 가능하다는 장점을 가진다.

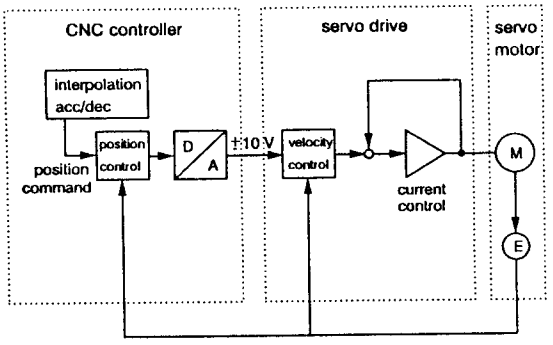

Fig 3. CNC System with Analog Servo

소프트웨어 서보시스템을 이용하고 CNC제어기와 서보시스템 간의 인터페이스 방식으로 병렬구조의 시스템 버스를 이용하는 경우의 전체 시스템의 개략도는 아래 그림 4와 같다.

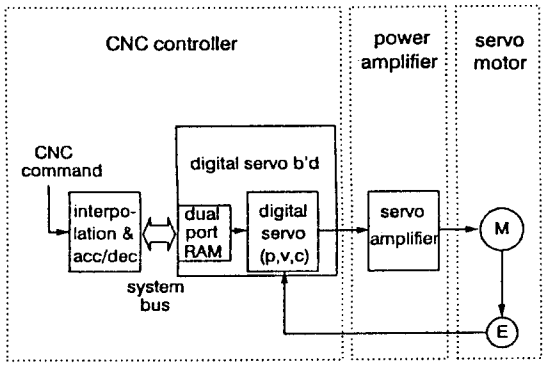

Fig 4. CNC System with Bus Interface

위의 시스템은 CNC제어기의 시스템버스 슬롯에 디지탈 서보보드가 장착되는 구조로 되어 있으며, 시스템버스를 통해 서보보드와 매 주기 마다 통신을 주고 받는다. CNC 제어기에서는 NC문을 해석하여 보간 및 가감속을 행한 후 그 결과를 매 주기마다 서보보드에 전달하여 모터를 구동하며, 모터의 회전상태 및 위치값은 서보보드에서 읽어서 그 데이타를 CNC제어기에 전달한다. 디지탈 서보보드의 내장 타이머를 이용하여 CNC제어기에 인터럽트를 걸어 정보를 주고 받음으로써 동기화를 이룬다. 서보보드와 CNC제어기 사이의 통신은 dual port RAM을 이용하므로 충분히 빠른 통신특성을 얻는다. 이와 같은 구조에서는 서보시스템이 CNC제어기측의 슬롯에 장착되므로 CNC 시스템의 일체화가 이루어지게 되며, 서로간의 통신이 병렬구조의 시스템버스를 이용하여 이루어지므로 충분히 빠른 통신특성이 얻어진다. 그러나 인터페이스 구조가 복잡해지며 CNC제어기와 서보시스템의 인터페이스에 생산업체의 독자적인 통신규약이 사용되므로 사용자가 일반적인 사용을 위해 CNC제어기와 서보시스템의 인터페이스에 직접 접근할 수 없다.

현재 사용되고 있는 병렬버스 형태의 고성능 CNC 제어기의 가공성능을 알아보면 다음과 같다. 밀링용 CNC제어기를 사용하여 자유곡면과 같은 복잡한 표면을 가공할 경우 짧은 미소 블록을 연속적으로 가공하여야 한다. 병렬버스 형태의 고성능 CNC제어기의 미소연속 블록의 고속가공 능력을 살펴보면 표 3.1과 같다[7].

표 3.1 고성능 CNC제어기 가공성능(1mm 블록 가공시)

data 형태 \ 사양구분		고속사양	초고속사양
동시 3축	NC문	15 m/min	60 m/min
	2진 data	30 m/min	120 m/min

표 3.1을 이용하여 미소연속 블록 가공시 하나의 미소블록의 가공 소요시간을 계산해 보면 표 3.2와 같다.

표 3.2 가공 소요시간 (1mm 블록 가공시)

구분 \ 가공속도			가공속도	가공소요시간
동시 3축	고속 사양	NC문	15 m/min	4 ms
		2진 data	30 m/min	2 ms
	초고속 사양	NC문	60 m/min	1 ms
		2진 data	120 m/min	0.5 ms

표 3.2에서 계산한 가공소요시간은 병렬버스 형태의 CNC제어기에서 서보시스템에 위치명령을 전달하는데 필요한 시간은 아니다. 하지만 1mm 짧은 블록 연속가공시 최대허용 위치명령 전달시간은 1mm 블록가공시 소요시간보다는 적어야 함을 알수 있다.

3.3 시리얼 통신 형태의 인터페이스

최근 소프트웨어 서보의 사용이 확대되고 타사제품의 CNC제어기와 서보시스템의 인터페이스시에 trouble-free가 요구됨에 따라 이에 적합한 통신규약이 필요하게 되었다. 이에 독일의 공작기계협회와 업체들을 중심으로 CNC제어기와 서보시스템 사이의 연결을 시리얼통신을 이용하는 SERCOS (Serial Real-Time Communication System) 인터페이스에 관한 표준화가 이루어졌다[8]. 시리얼 인터페이스 방식을 이용할 경우의 CNC시스템의 전체적인 구조를 그림5에 나타내었다[9].

시리얼 인터페이스의 경우는 동기화가 용이하고 구조가 간단하며 인터페이스가 단순·용이하다는 장점을 가진다. CNC 시스템의 인터페이스에서는 높은 데이타 throughput 보다는 응답성과 지연시간에 더 비중을 두어야 한다. CNC제어기와 서보시스템의 인터페이스에서 주의 깊게 고려되어야 할 조건은 아래와 같이 정리된다.

(1) 위치명령은 모든 드라이버에 동시에 전달되어야 한다.
(2) 데이타전송이 CNC제어기의 샘플링 주기에 정확히 동기되어야 한다.

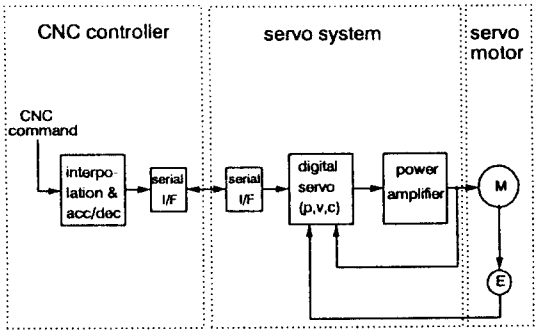

Fig 5. CNC System with Serial Interface

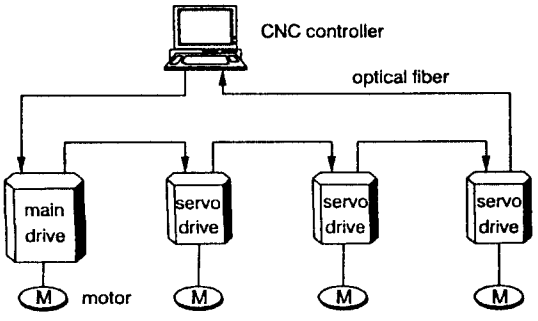

Fig 6. CNC System with SERCOS Interface

그림 6은 SERCOS 인터페이스를 이용한 CNC시스템의 전체 구성도를 보여준다. SERCOS 인터페이스는 CNC제어기와 서보시스템 사이의 데이타 교환에 관한 형식을 표준화하였으며, 그 물리계층의 규격은 다음과 같다.

- 데이타 전송속도 : 2 *Mbit*/sec
- 전송로 구성 (Topology) : Ring Topology
- 전송매체 : Optical fiber

SERCOS 인터페이스의 데이타 프레임의 구조는 다음과 같다.

Opening flag	Address field	Data field (CNC →drives)	Cyclic error check	Closing flag
01111110	8 bits	8 bits	16 bits	01111110

(a) sync-frame

Opening flag	Address field	Data field (drive →CNC)	Cyclic error check	Closing flag
01111110	8 bits	n*8 bits	16 bits	01111110

(b) drive's data frame

Opening flag	Address field	Data field (CNC →drives)			Cyclic error check	Closing flag
		n*8 bits/each				
01111110	8 bits	#1	···	#n	16 bits	01111110

(c) CNC's data frame

Fig 7. Data Frame Structure

(a)는 CNC가 모든 드라이브에 보내는 sync 데이타를 나타내고, (b)는 드라이브가 CNC에 보내는 실제위치값에 대한 정보로서 각 드라이버의 주소와 함께 보낸다. (c)는 CNC가 각 드라이브에 보내는 위치명령으로 하나의 데이타 필드에 모든 드라이브에 보내는 명령을 같이 실어 보낸다. (a), (c)에서 CNC로부터 시작되는 telegram의 주소는 하나의 특정한 주소가 CNC에 의해 독점적으로 사용된다. 또한 SERCOS 인터페이스에서의 한 싸이클 동안의 데이타 전송방법을 그림 8에 나타내었다.

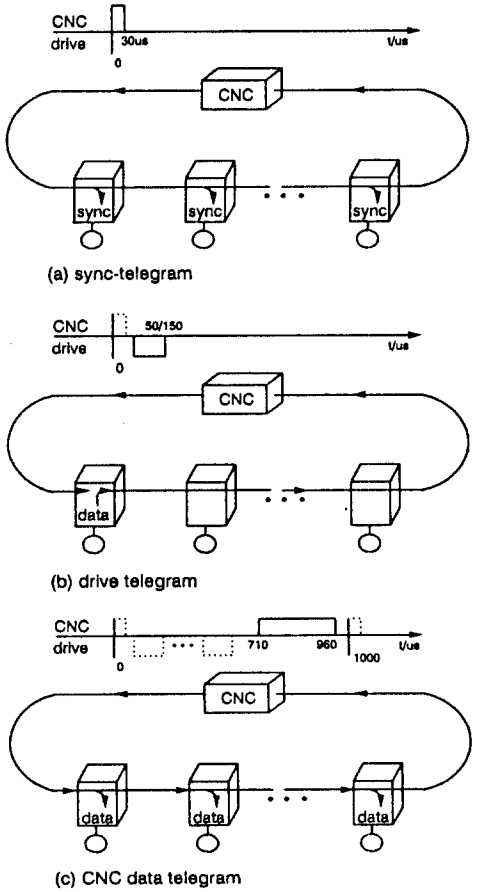

Fig 8. Communication Cycle

전송 사이클은 CNC가 모든 드라이브들에 sync-telegram을 보낼때 시작되며 모든 드라이브는 이 데이타를 거의 동시에 받는다. (b)에서 처럼 첫번째 드라이브의 시간대가 되면 첫째

드라이브가 자신의 주소와 실제위치값의 telegram을 CNC에 보낸다. 이러한 telegram은 다른 드라이브를 그냥 통과하여 CNC에 도달한다. 첫번째 드라이브의 telegram이 도착하면 CNC는 바로 다음의 위치명령 생성을 위한 작업을 시작한다. 또한 CNC는 모든 드라이브들의 전송 에러를 계속 모니터링 하고 있다. 다음에 나머지 드라이브들이 그들의 결정된 시간대 동안 telegram을 CNC에 보낸다. 싸이클의 마지막으로 CNC가 모든 드라이브들에 위치명령을 보낸다. 한 싸이클 시간이 끝난후에 CNC는 즉시 sync-telegram으로 다음 싸이클을 시작하고 이 telegram에 모든 드라이브는 동기된다.

이와같은 SERCOS 인터페이스를 적용한 시스템의 성능을 알아보자. SERCOS 인터페이스에서 CNC와 드라이브 각각의 데이타 telegram의 전송시간은 아래와 같이 구해진다.

sync-telegram의 전송시간

$$(2*8+4*9.6)/baud$$

drive's data telegram의 전송시간

$$(2*8+11*9.6)*N/baud$$

CNC's data telegram의 전송시간

$$(2*8+3*9.6+8*N*9.6)/baud$$

위에서 N은 서보드라이브의 갯수를 나타내며, $baud$는 전송속도를 의미한다. 또한 opening, closing flag를 제외한 나머지 바이트들은 bit stuffing을 고려하여 한 바이트를 9.6 bits로 하여 계산하였다. SERCOS 인터페이스에 연결된 서보드라이브 갯수에 따른 최소 싸이클 시간을 표 3.3에 나타내었다. 단, 여기에서 위치 입·출력은 32비트의 해상도를 가지며, 데이타 전송속도는 2 Mbit/sec로 가정하였다.

표 3.3 서보드라이브 갯수에 따른 최소 싸이클 시간

SERCOS에 연결된 드라이버 수	한싸이클 동안의 data 수 (bit)	싸이클 시간 (ms)
1	256	0.1488
2	424	0.2480
3	592	0.3472
4	760	0.4464
⋮	⋮	⋮
8	1432	0.8432

이 방식을 이용하여 3개의 드라이브가 연결되어 1mm의 짧은 블록을 연속적으로 3축 동시가공하게 될 경우의 SERCOS 인터페이스로 구현이 가능한 싸이클시간을 알아보자. SERCOS에서 구현 가능한 싸이클 시간(t_{cyc})은 다음과 같다.

$$t_{cyc} = \begin{cases} 2^n \ ms & , n:integer < 0 \\ n \ ms & , n:integer \geq 0 \end{cases}$$

즉, t_{cyc} = ... 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 3, ...ms로 구현이 가능하다. 그러므로 표 3.3을 보면 3축 동시제어의 경우의 최소 싸이클 시간은 0.3472ms로 나타나므로 이 경우 0.5ms의 싸이클 시간으로 SERCOS에서 구현이 가능하다.

3.4 성능비교

앞 절에서 병렬버스 형태의 인터페이스와 시리얼 통신 형태의 인터페이스 방식에 대해 알아보았다. 그 두가지 인터페이스 방식에 대해 통신방식에 따른 속도측면만을 비교하면 당연히 병렬버스 형태가 우수하다는 결론을 얻는다. 그러나 실제 CNC제어기에서는 NC프로그램의 한 블록 실행시 CNC 제어기에서 서보시스템으로 위치명령을 전송하는데 소요되는 시간보다는 NC 프로그램을 번역하고 서보이동치를 계산하는데 소요되는 시간이 훨씬 길다. 그러므로 서보시스템으로 위치명령을 전송하는 속도만 빠르다고 CNC제어기가 그 만큼 빠른 고속 가공 특성을 얻는것은 아니다.

1 mm의 짧은 블록을 현재 사용되는 고성능 CNC의 고속 사양인 30m/min의 가공속도로 3축 동시가공을 하기 위해서는 2 ms의 시간이 소요된다. 이때 이동지령의 중단없이 미소블록을 연속적으로 가공하기 위해서는 다음 블록을 처리하여 위치명령을 전송하는데 걸리는 시간이 2ms보다 적어야 한다.

병렬버스 형태의 인터페이스 방식 CNC제어기에서 2ms동안에 전송가능한 데이타는 20~30 Kbyte정도가 되므로 이 시간내에 표 3.3에 나타나는 한 싸이클 동안에 전송해야될 데이타인 592bits 정도의 데이타를 전송하는 것은 충분히 가능하다[10].

시리얼통신 형태의 인터페이스 방식 CNC제어기에서 SERCOS 인터페이스 방식을 사용하여 3축 동시제어가 이루어지고 있는 경우에서의 구현가능한 싸이클 시간은 0.5 ms이다(표3.3 참조). 그러므로 이송속도 30 m/min으로 1 mm의 짧은 블록 연속가공을 하는 고속·고정밀 CNC 시스템에서 CNC제어기와 서보시스템간의 인터페이스 방식으로 시리얼통신 방식(SERCOS)을 이용하였을 경우에도 전송속도에 따른 성능의 저하는 없음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 NC제어기와 서보시스템간의 연결방법에서 병렬버스 방식과 표준화된 시리얼 통신 방식에 관해 비교·검토하였다. 비교, 검토된 표준화 시리얼 통신 방식으로는 독일의 SERCOS를 사용하였다. 또한 병렬버스 구조의 고성능 CNC 시스템의 사양을 시리얼 통신 형태의 CNC 시스템과 비교하여 그 성능에서 차이가 없음을 보였다. 병렬버스를 이용한 인터페이스 방식은 CNC제어기와 서보시스템의 일체화가 이루어져 한 업체에서 CNC 시스템 전체를 공급한다. 또한 시리얼 통신을 이용한 인터페이스 방식은 CNC제어기와 서보시스템을 모듈화하고 서로 교환되는 데이타를 표준화함으로써 다른 업체들에서 공급된 각 모듈들을 인터페이스 하기가 용이하여 사용자의 요구를 잘 만족시킬 수 있는 유연성이 제공된다. 이와같은 시리얼 통신 인터페이스 방식은 표준화와 모듈화가 가능하면서도 성능면에서 뒤지지 않는다. 그러므로

국내에서도 시리얼 통신 인터페이스 방식의 CNC제어기와 서보드라이브에 대한 연구가 필요하며, 이를위한 통신규약에 관한 연구도 이루어져야 하겠다.

참고문헌

[1] 현용탁, 윤서영, 이은호, " CNC제어기의 기술현황 및 국산제품 개발 방향," 대한기계학회 추계학술대회, pp.350-355, 1992.

[2] 平野勝 外, "디지털 서보를 용이하게 사용한다," 월간자동화기술, 1992년 10월호.

[3] P. Mutschler, "Open System for Communication in Machine Tools," *EPE Aachen*, 1989.

[4] Yoran Koren, *Computer Control of Manufacturing Systems*, McGRAW-HILL, 1983.

[5] D.C. Levy, M.R. Webster, " Applicability of Transputers for Distributed Multiple AC Drive Control Systems," *EPE'91 4th Conf. on Power Electronics and Application*, Italy, vol 3, pp.603-606, 1991.

[6] J.B. Mitchell, T. Baughman, " Motor Drives in Factory Communication," *Proc. IEEE IAS Annual Meeting*, pp. 354-360, Oct., 1991.

[7] FANUC LTD, *FANUC Catalog : F15-06*, Japan, 1991.

[8] SERCOS Interface, " Digital Interface for Communication Between Controls and Drives for Numerically Controlled Machines," Fördergemeinschaft SERCOS interface c.V., 1991/9.

[9] J. Best, K. Peters, " Novel Generation of Drives for Numerically Controlled Machines," *EPE'91 4th Conf. on Power Electronics and Application*, Italy, vol 1, pp.407-412, 1991.

[10] W.D. Peterson, " The VMEbus Handbook," VITA, 1992.