

윈도우즈 환경하에서의 Distributed NC 및 공구관리 시스템

(Distributed NC with Tool Management System Under the Windows Environment)

은 윤*(한양대 대학원 기계신개학과), 신동수(한양대 대학원 기계신개학과), 정성중(한양대 기계신개학과)

Yool Un*(HanYang Univ. Graduate School), D.S. Shin(HanYang Univ. Graduate School), S.C. Chung(HanYang Univ.)

Keyword : DNC System (Distributed Numerical Control System), FMS (Flexible Manufacturing System, 유연생산시스템), MMC Board(Machining, Measuring & Control Board), Realtime Control & Monitoring (실시간 제어 및 감시), Tool Management System (공구관리 시스템)

ABSTRACT : In order to achieve computer-oriented control and automation of manufacturing processes, a distributed NC (DNC) system was developed for FMS under the Windows environment. The DNC system consists of conventional DNC, PMC interface and tool management modules. Real-time system condition monitoring and control functions required for machine tools and machining processes were accomplished by developing a PMC interface module called MMC board. Tool condition monitoring and management was performed by the developed tool management module composed of a tool setting probe and softwares. Performance of the DNC system was confirmed on the horizontal and the vertical type machining center equipped with FANUC OMC for the large amount of experiments.

1. 서론

제조업을 중심으로 하는 현대기업의 생산환경은 사회, 강제적 요구에 의하여 급속히 변화하고 있다. 생산형태는 대량생산으로부터 다품종 소량생산으로 변해가고 있으며, 동시에 제품의 수명주기는 급속히 짧아지고 고객의 요구는 매우 다양화 되고 있다. 이에 대처하기 위해 생산공정의 자동화, 유연화, 최적화의 필요성이 제기되었으며, 마이크로컴퓨터나 반도체 등의 전자기술과 통합하여 궁극적으로 가공 및 물류 관리를 기업경영과 통합하는 CIM (Computer integrated manufacturing) 시스템 구축을 목표로 유연생산시스템 및 무인가공시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.⁽¹⁾

일반적으로 FMS 시스템 구축에서는 하위 Cell 레벨의 자동화를 먼저 구축한 뒤 그들을 통합적으로 인터페이스 하는 Bottom-up 방식이 주로 사용되는데, 이 때 DNC (Distributed numerical control) 시스템이 가장 핵심적인 요소가 된다.^(1,2)

본 연구에는 기계가공용 FMS 시스템 구축에서 컴퓨터를 이용한 각종 제어나 자동화를 수행하기 위해 기본적으로 요구되는 DNC 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 종래의 통신기능으로만 제한되어 있던 DNC 개념⁽⁴⁾을 확장하여 기계 및 전사공정의 상태감시 및 제어 기능, 공구 측정 및 관리 기능 등을 갖도록 함으로써 고속 고정밀 가공용 Cell controller로서의 기능을 갖도록 하였다.

2. Distributed NC 의 개발환경 및 구조

본 시스템은 FANUC OMC controller 가 부착된 세일중공업의 수평형 머시닝센터 MCH-5 와 회전가공의 수직형 머시닝센터 VMC-430 을 대상으로 IBM-PC 486 및 MS-Windows 환경에서 Borland C++ 4.0 을 이용하여 개발되었고, 8 개의 serial port를 제공하는 Specialix 사의 I/O8+ 멀티 포트의 MMC Board 로 구성되어 있으며, 공구 관리에는 Renishaw 의 Tool setting probe 를 이용하였다 (Table 1, 참조).

개발된 DNC 시스템은 통신 모듈, 머시닝센터의 상태감시 및 제어를 위한 PMC 인터페이스 모듈, 공구 관리 모듈로 구성되어 있으며 시스템 구성도의 개략도는 Fig. 1 및 Fig. 2 와 같다.

Table 1. List of equipments

Equipments	Specifications
Horizontal Machining Center	FANUC 0M
Vertical Machining Center	FANUC 0M
Computer	IBM-PC 486
Multi-port	I/O8+(Serial 8-port)
Tool Setting Probe	Renishaw TS27

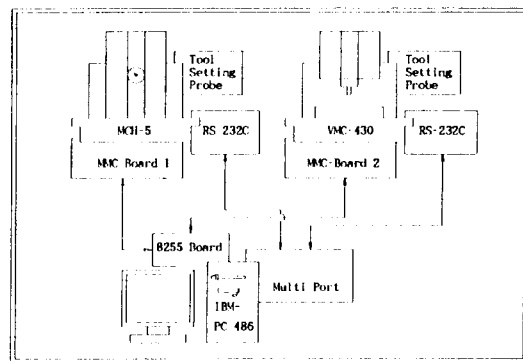


Fig. 1 System configuration

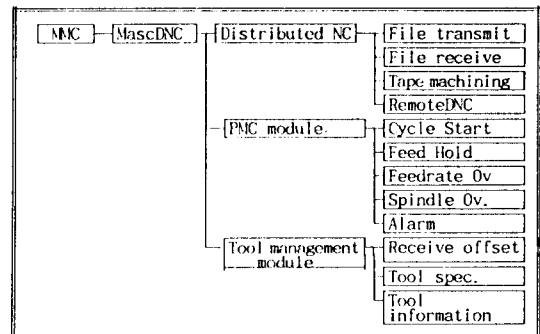


Fig. 2 Schematic diagram of the developed system

3. 멀티포트를 이용한 실시간 다중통신 모듈

PC와 공작기계 제어기의 통신을 위하여 RS-232C 통신 모듈로품을 채용하였다. 통신 라인의 연결은 NULL modem 방식을 이용하였고, 비동기 통신 (asynchronous communication) 방식을 사용하였다.⁽⁶⁾

3.1 하드웨어 구성

기존에 제안된 Distributed NC의 구성 방법은 크게 다음 2가지로 나눌 수 있다 (Fig. 3 참조).⁽⁶⁾ 일반적으로 상용화된 PC에서는 시리얼 포트는 2개 밖에 제공하지 않기 때문에, Fig. 3(a)의 방식을 도입하여 DNC를 구성하기 위해서는 멀티포트를 이용하여야 한다. 본 연구에서는 Fig. 3(a)의 방식을 채택하였다. 그 이유는 첫째, Fig. 3(b)의 방식을 선택했을 때에는 공작기계가 하나 단말기가 설치되어야 하지만, Fig. 3(a) 방식에서는 멀티 포트 하나로 여러개의 단말기를 대체할 수 있으므로 시스템의 가격이 하락한다. 둘째, Fig. 3(b) 방식에 비해 통신 신호가 기저이 되는 하드웨어의 수가 감소하고 신호 처리의 번도가 적어지므로 신호가 훨씬 안정적이라고 볼 수 있다. 셋째, 열악한 생산 환경으로부터 컴퓨터를 분리 설치할 수 있으므로 시스템의 유지, 보수 면에서 유리하다.

3.2 알고리즘

통신 알고리즘의 흐름도와 실제 통신 화면은 각각 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다.

4. PMC 인터페이스를 통한 기계의 상태 감시 및 제어

머시닝센터의 기계상태와 전작상태를 실시간으로 감시하고 제어하기 위하여 PC와 PMC를 직접 연결할 수 있는 방법을 개발하였다. PMC 인터페이스의 특징은 기존의 PMC 프로그램

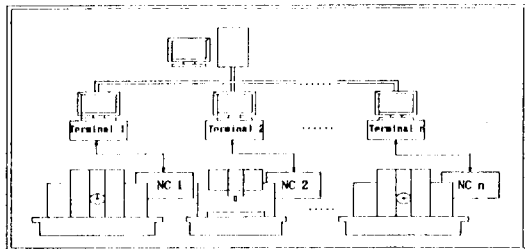


Fig. 3(b) Networking between host computer and machine (Case 2)

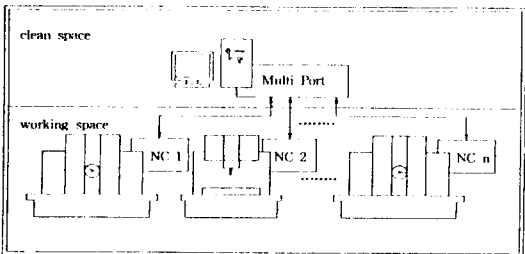


Fig. 3(a) Multi-port (Case 1)

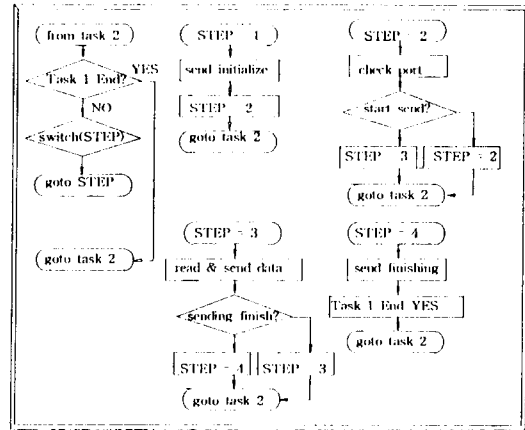


Fig. 4(a) Flowchart of communication algorithm (data transmission routine)

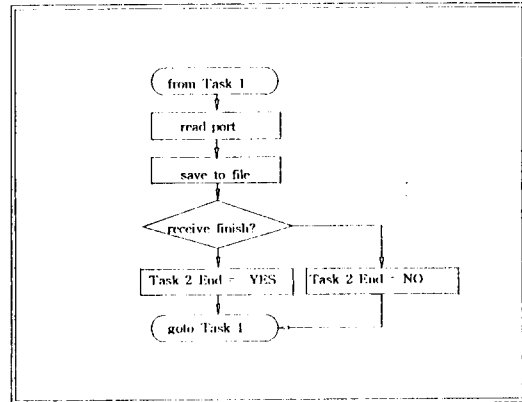


Fig. 4(b) Flowchart of communication algorithm (data receiving routine)

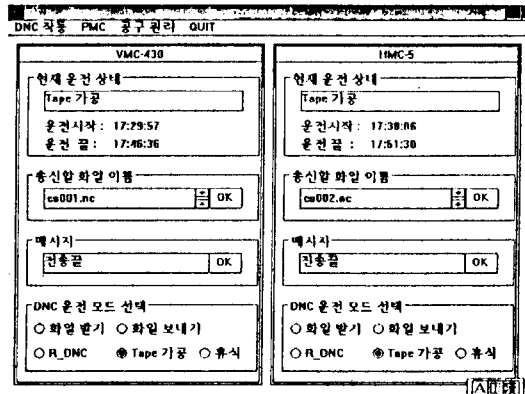


Fig. 5 Screen display of communication module

을 수정하지 않고서도 MMC (Machining, Measuring & Control) Board⁽³⁾의 응용 software 만을 추가함으로써 공작기계의 상태감시 및 제어를 가능하도록 한 것이다.

4.1 PMC 인터페이스의 원리

일반적으로 머시닝센터는 Machine, PMC, NC 의 3 부분으로 구성되어 있다 (Fig. 6 참조).⁽⁷⁾

Machine 은 수치제이기의 지령에 의하여 실제 움직이며 가공이 이루어지는 부분이고, NC 는 기계의 움직임을 계산하고 제어하는 수치제이기를 말한다. PMC 는 Machine 과 NC 를 연결하는 부분으로, Machine 과는 외부 I/O 집합을 통하여, NC 와는 내부 기성 I/O 를 통하여 연결되며, Sequence 프로그램에 의하여 동작한다.

모든 기계 구동 명령과 상태 신호는 PMC 부분을 통케하여 처리되므로 PMC 와 직접 인터페이스가 가능하면 기계의 상태 감시 및 제어가 가능하다. 그러나 본 연구에서 대상으로 하고 있는 FANUC 사의 Controller 에서는 정격적으로 모든 신호를 개방하지 않고 있기 때문에 접근할 수 있는 신호에는 약간의 제한이 있다. 이러한 접근할 수 있는 신호의 제한에도 불구하고 본 연구에서 개발된 MMC Board (Machining, Measuring & Control Board) 를 이용하면, NC 조작만 상에 있는 기능들은 모두 접근할 수 있으므로 충분한 성능 가치가 있다고 판단 된다.

4.2 PMC 인터페이스 모듈의 시스템 구성

PMC 인터페이스 모듈의 구성은 Fig. 7 과 같으며, 사용된 알고리즘 및 화면은 Fig. 8 및 Fig. 9 의 같다. PMC 인터페이스 모듈에서는 제어 및 상태감시의 대상 신호를 Table 2. 와 같이 선정하였다.

4.3 PMC 인터페이스 사례 연구

구축지능제어를 위한 이송속도 Override 제어를 통하여 PMC 인터페이스 모듈의 사례 연구를 수행하였다.⁽³⁾

한양대학교 생산시스템 및 제어실험실에서 신경회로망 (Neural-Networks) 기법은 이용하여 개발된 전삭계수 모형⁽⁸⁾을 통하여 공정초기 전삭계수를 선정할 후, 전삭시간으로 최적의 전삭계수를 추정하면서 PMC 인터페이스를 이용한 Feedrate override 제어를 통하여 안정전삭력 제어를 수행하였다.

Feedrate override 를 위하여 채용하여 머시닝센터 상에서 구현된 본 안정전삭력 구축지능제어(Adaptive control constraints for cutting force regulation) 시스템을 이용하면 Air cutting 시간의 감소, 전삭계수 및 전삭조건의 안정화·최적화, 고속 및 고정상 전삭의 실현, 체티 방지 등의 이익을 얻을 수 있다.

Table 2. Signals for machine condition monitoring & control on MMC board

Signals	Functions
Control	Cycle Start
	Feed Hold
	Feedrate Override
	Spindle Override
Monitoring	Alarm

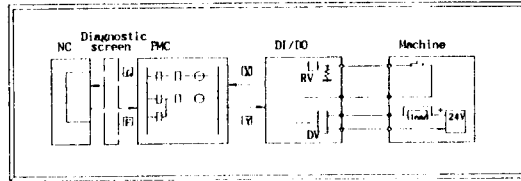


Fig. 6 Interface relationships in machining centers

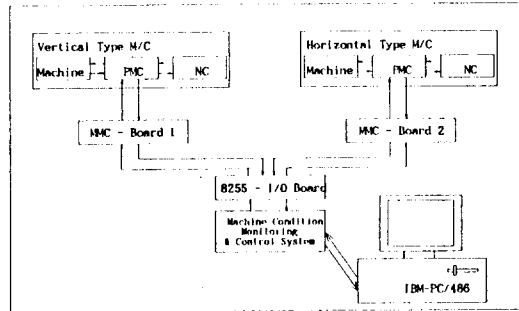


Fig. 7 Configuration of PMC interface module

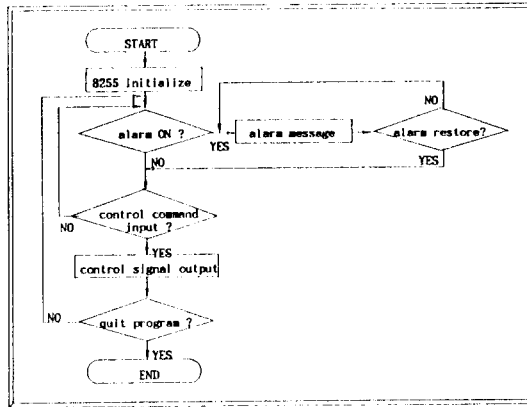


Fig. 8 PMC software algorithm

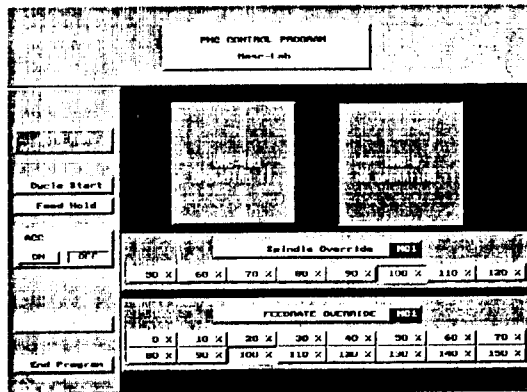


Fig. 9 Screen display of PMC control module

본 연구에서 사용한 머시닝센터의 제어기는 FANUC 0MC 이며, 이송속도는 프로그래머가 입력한 이송속도의 0 ~ 150% 의 16 단계로 변화시킬 수 있다.

사례연구에 이용된 실험장치 및 조건은 Fig. 10 및 Table 3. 과 같고, 사례연구 결과를 Fig. 11 에 나타내었다.

Fig. 11 에 나타난 것처럼, (a) 전삭값이 변화함에 따라 (c) 의 Feedrate 가 제어되며, 이에 따라 (b) 에서 보듯이 일정전삭 력 제어가 잘 수행됨을 알 수 있다.

Table 3. Experimental set-up and conditions for case study

Items	Specifications	Remarks
Machining Center	VMC-430 with FANUC 0MC	Hwacheon Machinery Inc.
Tools	Flat End Mill	Diameter : 16 mm Length : 96 mm Tooth : 4 ca. Material : H.S.S.
Workpiece	SB30	Width : 16 mm
Force Sensor	9257B	KISTLER
Charge Amp.	5019A	KISTLER
Cutting type	Peripheral Milling End Milling	
Reference force	800 N	
Nominal feedrate	200 mm/min	
Spindle speed	600, 800 rpm	
PMC interface	MMC Board	MASC-LAB Hanyang Univ.
μ -computer	IBM PC 486	DX/2, 66MHz
A/D Board	AD1200	Real Time Devices, Inc.

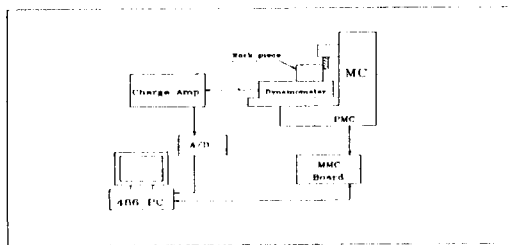


Fig. 10 Experimental set-up for PMC interface

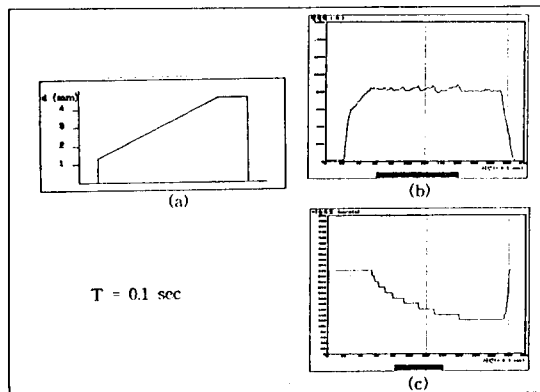


Fig. 11 Results of case study for PMC interface module (ACC for cutting force regulation)

5. 공구관리

현대의 생산환경이 다품종 소량생산을 지칭하는 FMS 형태로 급속도로 이전되고 있고, 생산환경의 자동화가 가속됨에 따라 생산시스템의 체계적인 관리가 강하게 요구되어 진다.

특히 FMS 의 핵심적인 요소인 DNC 시스템을 이용하여 운전하는 경우에는 이리대의 기계를 동시에 제어, 관리하게 되는데, 이 때 사용되는 공구의 수량이 많지므로 (일반적인 경우 8 대의 머시닝센터를 관리한다면 240 ~ 2400 본 이나 된다) 작업자가 수동으로 관리하는 체계식 공구관리 방식으로는 체계적인 관리가 불가능하다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 공구 특성 지인 공구형태, 공구제식, 날수, 직경, 길이 및 보정량 등을 관리할 수 있는 공구관리 모듈을 개발하였다.

5.1 공구관리 모듈의 시스템 구성

공구관리 모듈은 Renishaw 사의 Tool setting probe, NC 와 프로그램의 인터페이스를 위한 MIR, 그리고 NC 와 컴퓨터사이의 인터페이스를 위한 DNC 시스템의 RS-232C 통신 모듈로 구성되어 있다. (Fig. 12 참조)

(1) 공구 offset 데이터 수신

Tool setting probe로부터 측정된 offset 데이터를 수신한다. 수신되는 offset 데이터에는 공구길이 offset 과 공구경 offset 데이터가 있으며, offset 양은 KS/JIS 규격인 7 회 측정 평균값을 선택한다.

(2) 공구 데이터 입력 (Fig. 13 참조)

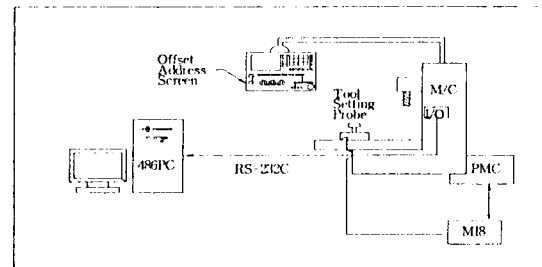


Fig. 12 Configuration of tool management system

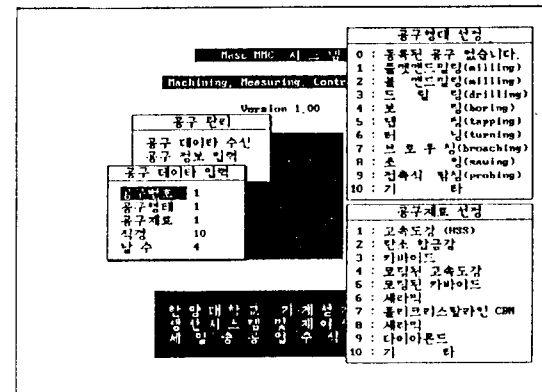


Fig. 13 Input of tool specification

공구의 특성 데이터를 입력한다. 입력되는 데이터에는 공구 번호, 공구형태, 공구재질, 공구직경, 날 수 가 있다. 이기 시 공구형태는 볼엔드밀링 (Ball end milling), 플랫 엔드밀링 (Flat end milling), 드릴링 (Drilling), 보링(Boring), 탭핑 (Tapping), 디닝 (Turning), 브로우징 (Broaching), 쏘잉 (Sawing), 그라인딩 (Grinding), 접촉식 탐침 (Touch probing) 및 기타사항으로 설정폭을 넓게 하였다. 공구재질은 많이 쓰이는 고속도강 (High speed steel), 탄소합금강 (Carbon alloy steel), 초경 (Carbide), 코팅된 고속도강 (Coated HSS), 세라믹 (Ceramic), 폴리크리스탈라인 CBN (Polycrystalline CBN), 다이아몬드 (Diamond) 및 기타사항으로 구분하였다.

(3) 공구관리 정보 확인

(1), (2) 항목으로부터 입력된 값을 기초로 한 공구관리 정보를 보여주고 표시되는 정보에는 공구번호, 공구형태, 공구재질, 날수, 공구직경, 기준길이, 길이 및 직경의 7 회 평균치의 측정량이 있다.

5.2 공구관리 알고리즘

작업공간 전역위치에 Tool setting probe 를 설치하고 Fig. 14 와 같은 흐름도를 통하여 공구관리를 수행한다.

Fig. 14 에서와 같이 측정용 주 프로그램 O0077 (길이 측정용 프로그램), O0078 (직경 측정용 프로그램), O0079 (길이 및 직경 측정용 프로그램) 를 NC 로 전송한다. 주 프로그램은 공구의 길이, 직경, 길이 및 직경 측정량을 측정하기 위한 것이며, O0079 주 프로그램의 한 예를 Table 4. 에 나타내었다. 주 프로그램에서 호출되어지는 서브 프로그램 O9851 과 O9852 의 측정수단을 통하여 길이 측정량과 직경 측정량이 NC 컨트롤러의 offset 어드레스와 키퍼디의 메모리에 저장된다.

한편, 컴퓨터에 저장된 데이터는 측정 수식 식(1) 과 식(2) 을 통하여 길이 및 직경 측정치를 계산하고 계산된 결과는 RS-232C 케이블을 통하여 NC 로 전송되어 offset 파라메타에 저장된다.

$$Offset_{length} = Mea_{length} - Ref_{length} \quad (1)$$

여기서,

Ref_{length} : 측정된 스펜들의 Z 축 위치 데이터

Mea_{length} : 측정된 공구길이 데이터

이다. 측정치 $Offset_{length}$ 이 (+) 값으로 계산된다면 측정공구 길이가 기준 공구길이보다 더 길다는 것을 뜻한다.

$$Offset_{dia.} = Mea_{dia.} - Ref_{dia.} \quad (2)$$

여기서, $Ref_{dia.}$ 는 운영 소프트웨어에 의하여 입력된 직경 데이터, $Mea_{dia.}$ 는 Tool setting probe 에 의하여 측정된 공구 직경 데이터가 된다. 계산된 측정치 중 $Offset_{dia.}$ 가 (+) 값이면 측정공구가 입력된 공구직정보다 더 크다는 것을 나타낸다. 각각의 계산된 측정량은 NC 로 전송되어 가공에 이용된다.

5.3 공구관리 사례연구

개발된 시스템의 유용성을 검증하기 위하여 11 개의 공구를 대상으로 사례연구를 수행하였다. 대상 공구의 특성은 Table 5. 와 같으며 실험에 사용된 공구의 사진은 Fig. 15 에 나타내었다. 사례연구의 결과를 Fig. 16 에 표시하였다.

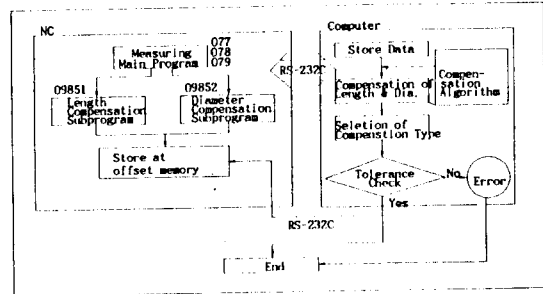


Fig. 14 Tool management algorithm

Table 4. Main part program for measuring

```

:0079(TOOL SETTING MAIN)
(OPERATION)
#520=1.0
#522=1.0
#523=2.0
(TOOL NUMBER: MAX. 32)
#521=7.0 <----- measuring iteration number
(FILE OPEN)
POPEN <----- transmission ready
WHILE[#520LE#521]DO1 <----- checking of iteration number
G91G28Z0.
G01Z-410.0F1000 <----- setting value for measurement
G64P9851T#522 <----- call for length compensation
G64P9852S10.0D#523 <----- call for diameter compensation
#520=#520+1.0 <----- iteration number
#522=#522+2.0
#523=#523+2.0
G91G28Z0.0
END1 <----- end of iteration loop
PCLOS <----- transmission close
M30
  
```

Table 5. Tool specifications for case study

Kinds of Tool	Diameter (mm)	Number of teeth	Tool ID	Remarks	
Flat end mill	10	4	1	Different Tool Length	
	12	2	2		
	14	2	3		
Ball end mill	5	2	4	*	
	8	2	5		
	10	2	6		
Drill	6	0	7	*	
	8	0	8		
	11.9	0	9		
Comparison Data for and Breakage				Tool wear	
Flat end mill	16	4	10		Severe Wear
	16	4	11		
	16	4	12		
	16	4	13		
	16	4	14		
	16	4	15		
	16	4	16		
	16	4	17		
	16	4	18		
	16	4	19		
16	4	20			

Fig.15 의 시제안구에서 사용된 공구의 재료는 고속도강이며 플랫엔드밀, 볼엔드밀, 드린가공에 사용하여 마모가 심한 공구, 봉개선 공구 등을 사용하였다. Tool setting probe 로 측정된 스핀들 축의 위치값인 -570.3 mm 를 기준 길이로 하여 공구길이 보정을 수행하였다. 데이터중에 공구 1 ~ 9 는 플랫 엔드밀, 볼 엔드밀, 드린에 대하여 길이와 직경이 다른 경우를 선택하여 측정을 수행하였다. Fig. 15 에서 볼 수 있듯이, 길이 보정량은 6 번 공구가 138.481 mm 로 가장 짧으며 3 번 공구가 228.666 mm 로 가장 길게 나타났고, 경 보정량은 1 번 공구가 57 μ m 로 마모량이 가장 적으며 8 번 공구가 120 μ m 로 가장 큰 마모량을 나타냈다.

공구번호 10~20 은 피손검사를 위하여 피손된 공구를 이용하여 실험하였다. 공구 10 은 공작물의 잔삭깊이를 깊게 주어 날이 통개선 플랫 엔드밀로써, 지름이 원래 16 mm 인 경우인데, -3.433 mm 가 마모된 것으로 측정되었다. 따라서 피손된 공구로 판정 가능하다. 공구 11~20 은 날이 부분적으로 잃게 깨진 경우의 공구로 지름이 16 mm 인 플랫 엔드밀이다. 공구 날은 아래, 중간, 윗 부분으로 나누어 보았을 때, 아래와 윗부분이 깨진 공구이다. 시제안구결과인 Fig. 15 에서 11, 12, 13 이 아래부분이며, 18, 19 및 20 이 윗부분의 날을 측정할 것인데, 아래부분과 윗부분에서 마모량이 많음을 확인할 수 있다. 이 경우, 공구직경이 전체적으로 고르지 못하므로 파손공구로 판정 가능하다.

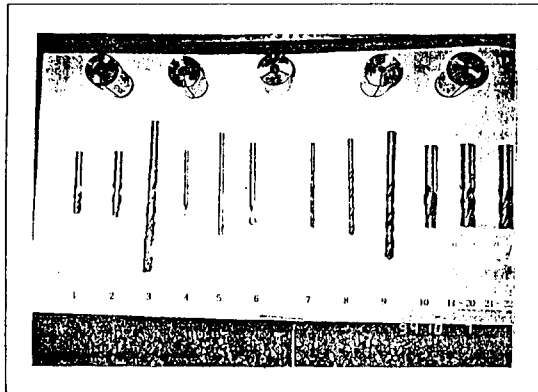


Fig. 15 Tools for experiments

공구 관리 정보 (같이보실: (A)→ 더 신 공구, 안경보실: (B)→ 더 큰 지름)							
공구번호	공구형태	공구재료	날수	기준직경	기준길이 7회보정량(길이,경)		
1	플랫엔드밀	고속도강	4	10.000	570.300	149.264	0.057
2	플랫엔드밀	고속도강	2	12.000	-570.300	147.308	-0.097
3	플랫엔드밀	고속도강	2	14.000	-570.300	228.666	-0.096
4	볼엔드밀	고속도강	2	5.000	-570.300	152.075	-0.103
5	볼엔드밀	고속도강	2	8.000	-570.300	182.544	-0.120
6	볼엔드밀	고속도강	2	10.000	-570.300	130.481	0.019
7	볼엔드밀	고속도강	0	6.000	-570.300	181.491	0.020
8	볼엔드밀	고속도강	0	8.000	-570.300	181.538	0.125
9	볼엔드밀	고속도강	0	11.900	-570.300	211.726	0.105
10	볼엔드밀	고속도강	4	16.000	-570.300	149.475	-3.433
11	볼엔드밀	고속도강	4	16.000	-570.300	149.510	0.103
12	볼엔드밀	고속도강	4	16.000	-570.300	149.508	-0.119
13	볼엔드밀	고속도강	4	16.000	-570.300	149.507	-0.109
14	볼엔드밀	고속도강	4	16.000	-570.300	149.505	-0.095
15	볼엔드밀	고속도강	4	16.000	-570.300	149.508	-0.071
16	볼엔드밀	고속도강	4	16.000	-570.300	149.505	0.054
17	볼엔드밀	고속도강	4	16.000	-570.300	149.505	-0.059
18	볼엔드밀	고속도강	4	16.000	-570.300	149.508	-0.090
19	볼엔드밀	고속도강	4	16.000	-570.300	149.503	-0.104
20	볼엔드밀	고속도강	4	16.000	-570.300	149.508	-0.117
21	플랫엔드밀	고속도강	4	16.000	-570.300	149.508	-0.117
22	플랫엔드밀	고속도강	4	16.000	-570.300	149.508	-0.117

Fig. 16 Case study

6. 결론 및 향후 과제

윈도우즈 환경 및 멀티 포트를 이용하여 Distributed NC 를 구현하였다. 본 실험실에서 개발한 MMC Board 를 이용하여, PC 와 머시닝 센터의 PMC 를 직접 인터페이스 함으로써 머시닝센터의 On-line 실시간 상태감시 및 제어를 가능하게 하였다. 본 기능을 개발함으로써 키펀드 중심의 생산환경 구현을 가능하게 하였고, NC 조치판과 PC 사이를 이동하며 낭비하는 시간을 해소하였다.

Tool setting probe 및 개발된 DNC 의 통신기능을 이용한 공구관리 기능을 개발하였다. 공구형태, 공구재질, 날 수, 공구 직경 등의 공구특성 데이터를 관리할 수 있도록 하였으며, 공구길이 보정, 공구경 보정, 공구피손 인식 등을 On-line 으로 데이터베이스화 할 수 있도록 하이 효율적인 공구관리를 가능하게 하였다.

마우스 인터페이스 및 Graphic user interface 를 도입함으로써 편리한 사용자 환경을 구축하였다.

본 시스템은 MascMC, MascCAM 에 연계된 MMC 시스템 환경 하에서 인원회하여 감시 및 제어될 수 있도록 함으로써 작업의 효율성을 극대화 하였다.

참고문헌

- (1) 정성중, 박우연, 박영진, 김승천, 공민규, 은 율, 양중태, 1993, "시스템 상태감시 및 진단기술", G7 프로젝트 1 차년도 중간보고서, 세원중공업(주).
- (2) 정성중, 박영진, 공민규, 은 율, 인종용, 1994, "고속, 고정밀 가공용 FMS 를 위한 시스템 상태감시 및 진단기술", 제 2 회 G7 첨단생산 시스템 Workshop, 생산기술연구원, pp. 282 - 289.
- (3) 정성중, 박영진, 김승천, 공민규, 은 율, 양중태, 김창성, 안중용, 1994, "시스템 상태감시 및 진단기술", G7 프로젝트 2 차년도 중간보고서, 세원중공업(주).
- (4) 신동수, 정성중, 1992, "NC 공작기계용 DNC SYSTEM 개발", 한국자동제어학술회의논문집, pp 887 - 891.
- (5) 황희용 편지, 1992, "C" 프로그램 이렇게 쓴다, 교하사.
- (6) 김정호, 최정인, 구윤희, 공석광, 1992, "CNC 공작기계용 실시간 다중 데이터 통신 시스템", 정밀공학회 추계학술대회 초록집, pp 251 - 257.
- (7) FANUC MANUALS.
- (8) 정성중, 1992, "지능제어 수치제어 시스템의 개발 (I) - 신경회로망 기법에 의한 잔삭계수의 실시간 추정", 대한기계학회 논문집, 제 16 권, 제 7 호, pp. 1223-1233.