기술논문 한국정밀공학회지 제15권 제1호 (1998년 1월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 15. No. 1. January. 1998.

NC 공작기계용 원격 고장진단 및 보수 시스템

신 동 수*, 현 웅 근**, 정 성 종***

Remote Fault Diagnosis and Maintenance System for NC Machine Tools

D. S. Shin*, W. K. Hyun**, S. C. Chung***

ABSTRACT

Remote fault diagnosis and maintenance system using general telecommunication network is necessary for an effective fault diagnosis and higher productivity of NC machine tools. In order to monitor machine tool condition and diagnose alarm states due to electrical and mechanical faults, a remote data communication system for monitoring of NC machine fault diagnosis and status is developed. The developed system consists of (1) remote communication module among NC's and host PC using PSTN, (2) 8 channels analog data sensing module, (3) digital I/O module for control of NC machine, (4) communication module between NC machine and remote data communication system via RS-232C, and (5) software man-machine interface. Diagnostic monitoring results generated through a successive type inference engine are displayed in user-friendly graphics. The validity and reliability of the developed system is verified to be a powerful commercial version on a vertical machining center through a series of experiments.

Key Words : PSTN (Public Service Telephone Network ; 일반전화망), FMS (Flexible Manufacturing System ; 유연생산시스템), RFDM (Remote Fault Diagnosis and Maintenance ; 원격고장진단 및 보수)

1. 서 론

최근 통신시스템의 발달로 인하여 일반전화망 (PSTN)을 이용한 원격조회 및 원격모니터링 시스템 등의 사용이 보편화되고 있다. 또한, 기계의 유지보수 및 Down Time을 최소화하고 가동률을 극대화시키며, 기계의 수명연장 및 갑작스런 고장으로 발생되어질 수 있는 인적, 물적 피해를 방지하기 위한 장비가 요구되고 있다[1].

* 화천기공(주), 기술개발연구소
** 호남대학교, 전기전자공학부
*** 한양대학교, 기계공학과

생산공정에 있어서 오류의 상태감시 및 진단에 관한 연구로는 Majstorović[2] 이 유연생산시스템 (Flexible Manufacturing System : FMS) 에서 작업스테이션의 진단 및 보수용 전문가시스템들의 예를 비교 평가한 바 있고, Monostori등[3]도 FMS 에서 작업현황과 물류흐름에 대한 상태감시를 위한 시뮬레이터 개발에 관한 연구를 수행한 바 있다. 이들의 연구는 FMS 시스템에서 상위레벨에 해당하는 상태감시 및 진단에 관한 방법론의 연구이며, 연구결과를 충족시키기 위해서는 많은 센서와 PLC가 필요하게 된다. 그리고 조승현 등[4]은 FMS 의 고장검출, 원인진단 및 회복지원 전문가시스템 개발을 위한 기초연구로서 하위레벨인 공작기계 자체의 오류감시와 진단을 위해 공작기계 판매회사의 A/S 자료를 분석한 바 있다. 신동수 등[5] 은 FMS 에의 응용이나, 자동화 공작기계에서 발생하는 오류의 감시와 진단 그리고 오류회복의 자동화를 위해 필수적인 고장진단 시스템의 개발을 수행한 바 있다. 그밖에 공구, 공작물 그리고 절삭공정의 상태감시 및 제어에 대한 연구는 많이 이루어져 왔으나[6-12], 공작기계의 고장원인과 오류회복 등 기계 상태감시에 관한 연구는 미흡한 실정이다[13].

본 연구에서는 NC 공작기계 시스템의 안정화를 높이고, 오류발생시에 신속한 대처방안과 정기적인 시스템의 상태점검 등의 이용에 비전문가라도 쉽게 접근할 수 있도록, Fig. 1 과 같이 일반전화망 (PSTN)을 이용하여 전국 각지에 판매되어 설치되어 있거나 타지역에 설치된 NC 공작기계의 상태를 원격감시 및 제어하는 시스템을 개발하고자 한다.

개발된 시스템은 진단데이터를 신호처리하여 대처방안

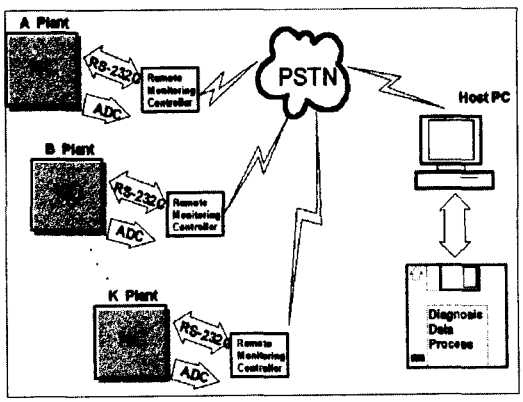

Fig. 1 Network structure for remote monitoring system via PSTN

을 제시하는 NC 공작기계 진단데이터 처리 소프트웨어[5], 외부 Device 혹은 센서와의 신호해석을 위한 12 비트 (Bit) A/D 변환기, 통신준비 설정신호를 위한 Digital I/O 를 이용하는 고장발생감지부, Dial Up 방식의 내장형 모뎀제어부, 데이터 디스플레이를 수행하는 LED, 그리고 이들을 제어하기 위한 8 비트 MPU (Micro Processor Unit) 등으로 구성되어 있다. 개발된 시스템은 FANUC 0MC 가 장착된 수직형머시닝센터에 적용되었으며, 실험과 사례연구를 통하여 개발된 방법론의 타당성과 신뢰성을 입증하였다.

2. 원격고장진단 시스템

2.1 이론적 배경

Fig. 1 에서와 같이 수신된 NC 제어기의 정상상태 파라미터를 PSTN 을 통해 입력받아 특정회사 공작기계의 초기 설정상태를 파악할 수 있으며, 오류발생 상태에서 진단파라미터를 수신한다. 이 수신된 데이터는 진단데이터 처리를 나타내는 Fig. 2 의 비교 알고리즘과 오류추론기관의 추론과정을 거쳐 기계, 전기적 및 다른 오류를 판별하고 "IF - THEN - ELSE" 의 지식획득 방법론을 통해 오류회복 방안을 찾고 유저 인터페이스 모듈을 통해 화면상에 그래픽으로 보여준다.[5]

오류회복 방안을 찾기 위한 종래의 지식은 매뉴얼과 경험적인 방법에 의해 획득되기 때문에 수반된 전문적 지식은 지식획득에 체계적인 바탕이 없고 전문가의 지식과 경험의 수반이 어려웠다. 여기서는 오류발생 모델에 관한 지식은 Fig. 1 의 공작기계의 RS-232C 및 PSTN 을 통해 수신되며, 오류회복에 관한 지식은 Fig. 2 와 같이 대처방안을 아스키 파일로 구축할 수 있으므로 지식획득의 편이성 및 전문가 지식을 충분히 수용할 수 있도록 하였다.

진단데이터처리를 위한 구성은 Fig. 3 에 나타내었으며, 크게 지식획득을 위한 관리모듈, 경험적인 탐색과 오류추론을 위한 데이터 관리모듈, 오류발생 및 오류회복을 위한 데이터베이스 모듈 그리고 유저 인터페이스 모듈로 구성되어 있다. 오류추론의 대상 입력치는 진단파라미터의 번호와 이진수 형태의 정보 비트가 되며 여기서 지식획득 기구관리 (Knowledge Acquisition Tool Management ; KATM) 는 지식획득을 위한 모듈로서 "IF-THEN-ELSE" 방법론을 통하여 기계 및 전기적인 오류모델에 대하여 오류회복 방안을 찾는 일을 수행한다.

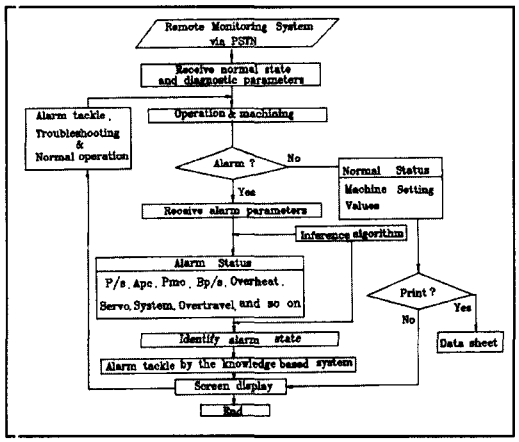

Fig. 2 Flowchart of diagnosing data process

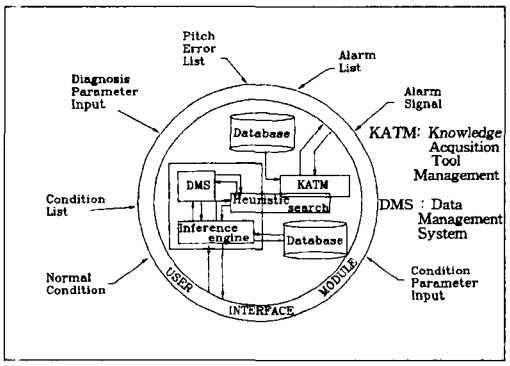

Fig. 3 Architecture of diagnosis data process

그리고 오류회복 대책을 유저 인터페이스 모듈로 넘겨준다. 데이터 관리기구 (Data Management System ; DMS) 는 데이터를 관리하는 시스템으로 갱신되어진 플래그를 통해 특정화된 오류모델을 관리하며 오류추론을 통해 추론된 오류모델을 유저 인터페이스 모듈로 넘겨준다. 데이터베이스는 Borland C^{++} 도스버젼 4.0 을 이용하여 자체적으로 구성하였으며 유저 인터페이스 모듈은 공작기계의 초기설정에 관한 정보를 파악할 수 있는 상태파라미터, 오류발생에 관한 정보를 파악할 수 있는 진단파라미터 등을 입출력할 수 있으며, 사용자의 편의를 위한 도스기능 및 파일편집기능 등을 갖추고 있다[5].

Fig. 2 에서 발생된 오류발생 모델에 대하여 오류회복 모델을 획득하는 방법론으로서 일반적인 "IF - THEN - ELSE " 규칙 (Rule) 을 식 (1) 에 서술한 것이며, 여기서 ¬ 기호는 not 이라는 뜻으로 정의되고 event_A 와 event_B 는 특정한 오류회복 모델이 된다. IF 문장의 제한조건이 만족되면 event_A 가 수행되고 그렇지 않으면 event_B 가 수행된다.

```
IF (Constraint conditions of Model_flag == OK)
        THEN { event_A ; }
        ELSE ( ¬Model_flag )
                { event_B ; }
        ENDIF                                    (1)
```

지식베이스의 형태는 기호 "," 와 "," 사이의 "NULL" 기호로 지식베이스를 구분하며 한글로 구축되어 있다.

식 (1) 을 본 시스템에 맞는 형태로 나타내면, 다음 식 (2) 와 같이 표현된다. 여기서 $Net^{PSTN}\ i$ (i = 1,2,3, ···) 는 특정모델을 구축하기 위해 PSTN 을 통해 수신된 진단파라미터의 그룹들이며, K_k(k= 1,2,3, ···) 는 모델기반형 지식베이스이다. Screen Display Function 은 자체적으로 개발된 유저 인터페이스 내의 함수로서, 오류발생 부분과 오류회복에 관한 대처방안을 시각적인 화면을 통해 도스 상에 표현하는 부분이다.

식 (1) ~ (2) 는 사용자가 시스템의 상태감시, 오류진단 그리고 오류회복을 위한 설명이나 결론적인 대처방안을 답변 받고자 할 때 오류발생에서부터 유저 인터페이스 모듈까지 수행되어지는 부분이다.

```
IF ( Model_Based_Knowledge ( K_k ) ==
     Successive Type Inference ( Net^PSTN 1 ∧ Net^PSTN 2
     ∨ Net^PSTN 3 ····· ) )
THEN        { Search K_k ;
              Beep function;
              update model_flag;
              Screen display function; }
ELSEIF ( ¬K_k == Successive Type Inference
              ( Net ) )
              { Beep function;
              Next IF-THEN rule ; }              (2)
```

2.2 하드웨어 구성

본 시스템의 구성은 12bit ADC, 디지탈 I/O, 그리고 PSTN 망을 이용한 통신을 위한 내장형 모뎀과 이를 제어하기 위한 8 bit MPU 등으로 구성되어 있으며, 프로그램 저장용 ROM 32K와 Data 저장 및 External

Stack 용 RAM 32 K 가 부착되어 있다. 기능으로는 NC 와 규격 Serial 통신, NC 에 부착된 아날로그 신호 센싱 및 송신, 특정 상태를 읽기 위한 디지털 I/O 등을 수행한다. 한번에 송 · 수신할 수 있는 데이터 블록 크기는 최대 30 K Byte 까지이며, 아날로그 신호의 경우 특정 채널 데이터의 원격 모니터링이 가능하다. Fig. 1 은 PSTN 망을 이용한 NC 원격 모니터링 시스템의 Network Layout 이다. Fig. 1 에서 보는 바와 같이 Host PC 는 특정 지역의 제작된 원격 모니터링 Controller 를 Dial-Up 방식으로 접속함으로써 지역적으로 떨어진 여러 NC 중의 한 시스템과 선택적으로 통신이 가능하다. 또한, PSTN 망을 이용한 Dial-Up 방식의 통신을 이용하므로 기존 전화망을 그대로 사용하게 되어 추가 통신설비가 필요 없으며, 제어기의 크기가 작아 (120 × 150 × 50 mm) NC 내부에 부착이 가능하다. 통신 속도는 현재 14400 bps 에 맞추어져 있으며, PC AT Bus 의 데이터 억세스 (Data Access) 방식을 이용하므로 28800 bps 등 그 이상의 내장형 부착의 추가작업과 S/W 수정없이 가능하다. 전체 원격 데이터 통신 시스템의 H/W 블록도는 Fig.4와 같고 모뎀의 H/W 구성은 Fig. 5 와 같다.

Fig. 4 와 Fig. 5 에서 보는바 와 같이 전체 원격 데이터 통신 시스템은 LCD, ADC, 24V 디지털 I/O, NC 와 직렬 통신을 위한 8250 및 내장형 모뎀 등을 제어하며 데이터 억세스 방법은 8 bit MPU 의 전용 I/O port 가 아니라 어드레스 억세스 (Address Access) 방법을 사용한다.

2.3 소프트웨어 구성

본 시스템의 소프트웨어 모듈은 (1) MPU 에서의 PSTN 망을 이용한 화일통신 제어 모듈,(2) NC 데이터 해석 모듈, (3) NC 와의 직렬 통신 모듈, (4) 8 채널 A/D 콘버터 신호 해석 및 S/W 필터 모듈, 그리고 (5) LCD, keyboard, 그리고 디지털 I/O 를 제어하는 I/O 제어 모듈 등으로 구성된다. 전체 시스템 프로그램의 플로우 차트는 Fig. 6 과 같다. 이를 간략히 설명하면 다음과 같다. 시스템 초기화를 한후, 원거리의 Host PC 로부터 PSTN 망을 이용하여 송신해 오는 통신 개시 신호를 기다리다가, 통신 개시 신호가 들어오면, 다음 신호인 NC 의 아날로그 센서 전송 명령 혹은 NC 진단 화일 전송 명령 신호를 수신하고, 각각의 전송 신호명령에 따라 데이터 파일을 전송한다. 만일 센서 신호 전송 명령인 경

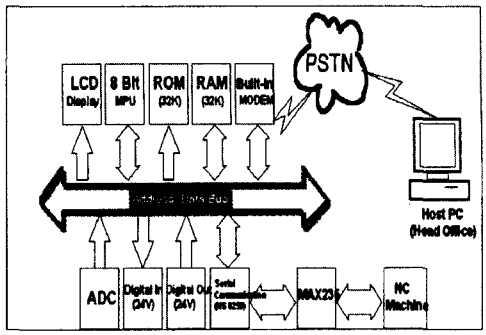

Fig. 4 H/W structure of remote data communication system

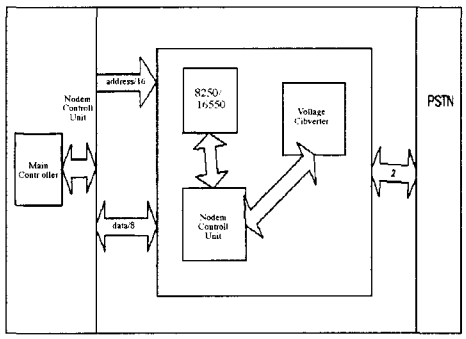

Fig. 5 H/W configuration of modem

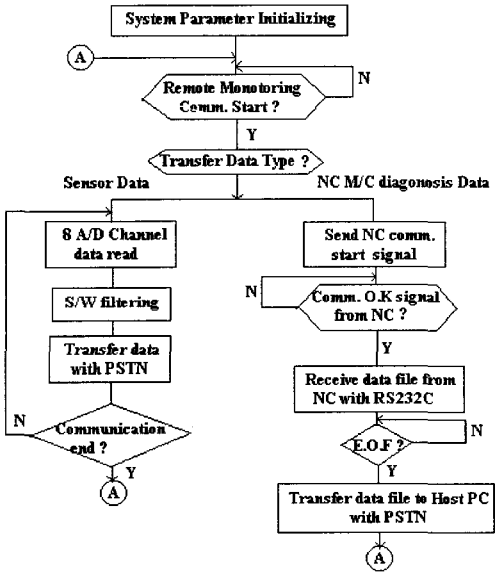

Fig. 6 Flowchart of the remote data communication system

우, 5 msec 를 사이클 타임으로 하여 8 개의 A/D 콘버터를 스캐닝한후 S/W 필터를 거쳐 원격 데이터 통신 시스템의 메모리에 저장한다. 그리고 메모리 내의 데이터를 PSTN 을 이용하여 Host PC 에 전송한다. 데이터 저장 및 엑세스 구조는 링버퍼구조를 사용한다. 그리고 NC 진단 파일 전송인 경우, NC 와 RS232 형식으로 4800 bps로 통신을 하며, 원격 데이터 통신 시스템이 NC 진단 파일을 모두 전송 받은 후 이를 PSTN 을 이용하여 Host PC 에 전송한다.

그러나, 통신 접속방식이 일반전화망의 Dial-Up 방식이기 때문에 Host PC 와의 접속 시에 시간지연이 있으며, 신호음의 발생시 내·외선전화에 의한 상황인지 아니면 상태감시를 위한 상황인지에 대한 정보가 없어 통신단락을 초래할 수 있다. 주위상황에 의한 통신단락 혹은 하드웨어에 의한 통신단락 등의 전송정보가 없어 이에 대한 상태감시가 어렵다. 그리고 외부와의 통화중인 경우, 상태감시를 위한 동시 정보전달이 불가능하며 또한 열악한 작업장 환경 내에 전화선이 있기 때문에 잡음 등의 문제가 예상된다.

Fig. 7은 개발된 시스템의 표지를 나타내고 있다. Fig. 7에서와 같이 유닛 고장진단 메뉴와 다중 고장진단 메뉴를 가지고 있으며, 상태감시를 수행할 공작기계의 등록 및 알람정보이력을 보여주는 메뉴로 구성되어 있다.

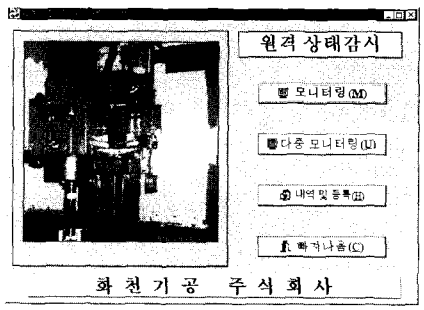

Fig. 7 Screen display of the developed system

3. 원격고장진단 시스템 사례연구

3.1 원격 데이터 통신시스템 검증

Fig. 8 은 제작된 원격 데이터 통신 시스템이다. Fig. 9 는 ADC, 모뎀제어부 기판을 나타낸다. 제작된 원격 데이터 통신 시스템의 중간 결과에 대한 실험으로 Host

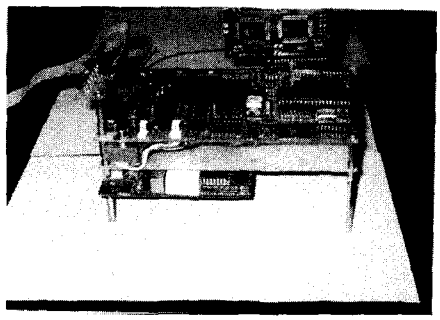

Fig. 8 Remote data communication system

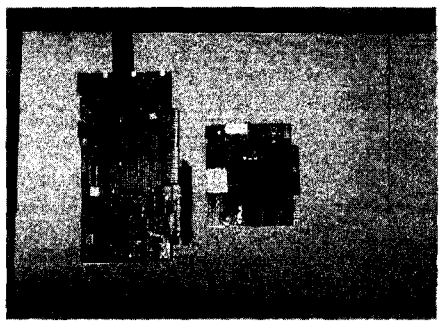

Fig. 9 H/W module of analog data sensing

PC 측에서 PSTN 망을 통하여 NC 측에 데이터 전송을 위한 특정 코드를 전송하면, 원격 데이터 통신 시스템이 데이터를 받아 명령어 코드를 해석한 후, NC 와의 직렬 통신으로 NC 의 진단 데이터 파일 블록 (약 20 K Byte)을 Host PC 측에 전송한다. 이때 개발된 원격 데이터 통신 시스템은 NC 통신 규약에 따라 데이터를 송수신 한다. NC 데이터 통신 프로토콜은 4800 bps, 1 start bit, 7 data bit, 2 stop bit, even parity이다.

Fig. 10 은 NC 의 진단 파일과 PSTN 망을 통한

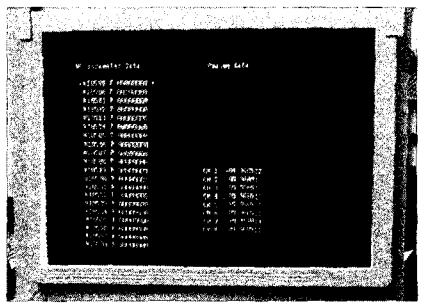

Fig. 10 Data format of NC diagnosis file

Host PC 에서의 데이터 수신 결과이다. AD converter 는 8 channel 이며, -10 ~ +10 V 의 아날로그 데이터를 12 Bit Resolution 으로 송신한다. 이때 데이터 송·수신은 원격 모니터링 제어기와 Host PC 와 PSTN 망을 통하여 하게 되는데 통신속도는 14,400 bps 이다. Fig. 10 의 NC 진단파일의 데이터 형식을 통해 다음 3.2 절의 공작기계 상태를 모니터링 할 수 있다.

3.2 공작기계의 정상상태

Fig. 11 의 경우는 공구매거진상의 공구를 스핀들에 장착하고자 할 경우 M06 코드를 사용한 상태를 나타낸다. 공구관리를 수행하기 위하여 정상상태 신호를 수신 받고 수신된 신호는 현재의 공구교환 상태를 알려주고 정상부위 (Z 축 헤드) 의 깜빡임과 정상음을 들려준다.

3.3 공작기계의 오류상태

Fig. 12 는 z 축의 과부하 (Overload) 로 인한 이상정지로 기계원점을 잃어버리는 현상중의 하나이며 하드 OT (Overtravel) 오류가 발생된 경우, 기계적인 제한거리를 소프트웨어로 조절할 수 있는 소프트 OT를 이용한 상태 파라미터를 통한 오류해제를 보인 것이다.

Fig. 13 은 기판을 냉각시켜 주는 메커니즘의 문제로 인하여 Master PCB 가 과열된 오류가 발생한 경우를 나타내고 있으며, 또한 대처방안을 제시하고 있다.

5. 결 론

공작기계에서의 원격고장진단 시스템을 개발함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) RS-232C 통신을 이용한 NC 내 파라미터의 검색만으로 기계의 오류상태와 정상상태의 감시 및 진단을 수행할 수 있는 시스템을 개발하였다.

2) 일반전화망 (PSTN) 을 이용하여 거리에 제한없이 타지역에 설치된 NC 공작기계의 상태감시 및 제어를 수행할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이로써, 시스템의 안정화를 높이고, 오류발생시에 신속한 대처방안과 이를 대비하기 위한 정기적인 시스템의 상태점검 등의 이용에 접근할 수 있는 기초기술을 확보하였다.

3) 12 bit A/D Converter 와 Digital I/O 를 통한 고장발생감지부, Dial Up 방식의 내장형 모뎀제어부, 데이터 디스플레이를 수행하는 LED 그리고 이들을 제어하기 위한 8 비트 MPU 로 구성된 하드웨어를 개발하였다.

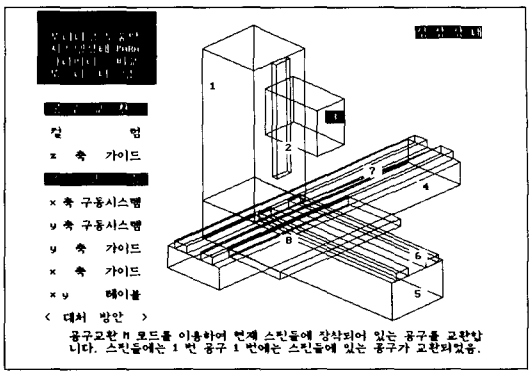

Fig. 11 Monitoring for M06 code (Case 1)

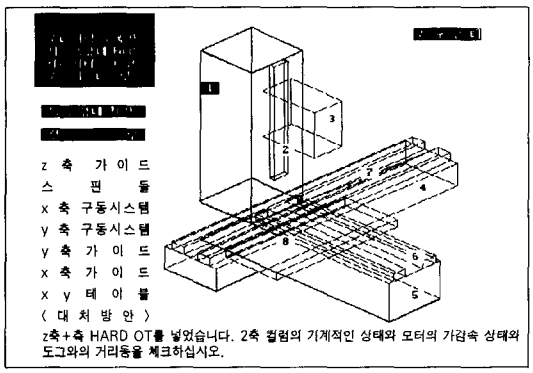

Fig. 12 Alarm tackle and alarm signal for Hard OT in z-axis (Case 2)

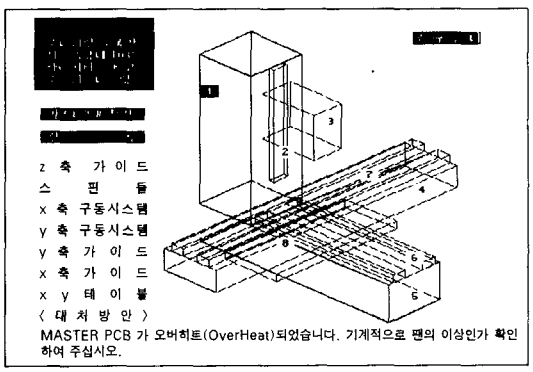

Fig. 13 Alarm tackle and alarm signal for overheat of master PCB (Case 3)

4) 공작기계 상태 및 기능을 표시하는 상태 파라미터의 내용 및 오류내용을 지식베이스화하여 열악한 현장에서 손쉽게 대처할 수 있도록 ASCII 화일화 하였다.

5) 오류부위의 시각적인 표현을 통한 오류발생 현황과 진단결과를 제시함으로 이해의 편의성을 도모하였다.

6) 여러 가지 기계, 전기적 오류발생 사례 및 검증을 통하여 개발된 방법론의 타당성과 신뢰성을 입증하였다.

참 고 문 헌

1. 권영관, "원격통신 서비스," 한국통신학회지, 제 12 권, 7 호, pp. 66 - 79, 1995.
2. Majstorovi , V.D., "Part Two : Maintenance Expert Systems", Research, Development and Applications , Elsevier Science Publishers B.V., pp. 43-68, 1991.
3. Monostori, L., Bartal, P. and Zsoldos, L., Part Two : Maintenance Expert Systems, Research, Development and Applications, Elsevier Science Publishers B.V., pp. 95-102, 1991.
4. 조승현외 3명, "FMS 고장진단기술," 제 2 회 첨단생산시스템 Workshop 논문집, pp. 270-273, 1994.
5. 신동수, 정성종, "공작기계 상태감시용 진단파라미터 전문가시스템," 한국정밀공학회지 제 13 권, 제 10 호, pp. 112 - 122, 1996.
6. Tlusty, J. and Andrews, G.C., "A Critical Review of Sensors for Unmanned Machining," Annals of the CIRP, Vol. 32, No.2, pp. 563 - 572, 1983.
7. Shraishi, M., "Scope of In-Process Measurement, Monitoring and Control of Techniques in Machining Processes-Part 1: In Process Techinques for Tools," Precision Engineering, Vol. 10, No. 4 , pp. 179 - 189, 1988.
8. Shraishi, M., "Scope of In-Process Measurement, Monitoring and Control of Techniques in Machining Processes-Part 2: In Process Techinques for Tools," Precision Engineering, Vol. 11, No. 1 , pp. 27 - 37, 1989.
9. Shraishi, M., "Scope of In-Process Measurement, Monitoring and Control of Techniques in Machining Processes-Part 3: In Process Techinques for Tools," Precision Engineering, Vol. 11, No. 1 , pp. 39 - 47, 1989.
10. Dornfeld, D.A., "In Process Recognition of Cutting States," JSME International Journal, Series c, Vol. 37, No.4, pp. 638 - 650, 1994.
11. Wright, P.K. , and Bourne, D.A., "Manufacturing Intelligence", Addison - Wesley, Reading, MA, 1988.
12. Smith, G.T., "Advanced Machining", Springer-Verlag, Berlin, 1989.
13. Pandelidis, I.O., "Machine Diagnostics," Intelligent Design and Manufacturing, John Wiley & Sons, Inc., pp. 523 - 543, 1992.