

# 공작기계 상태감시용 진단파라미터 전문가 시스템

신동수\*, 정성종\*\*

## An Expert System Using Diagnostic Parameters for Machine Tool Condition Monitoring

Dong-Soo Shin\*, Sung-Chong Chung\*\*

### ABSTRACT

In order to monitor machine tool condition and diagnose alarm states due to electrical and mechanical faults, an expert system using diagnostic parameters of NC machine tools was developed. A model-based knowledge base was constructed via searching and comparing procedures of diagnostic parameters and state parameters of the machine tool. Diagnostic monitoring results generated through a successive type inference engine were graphically displayed on the screen of the console. The validity and reliability of the expert system was verified on a vertical machining center equipped with FANUC OMC through a series of experiments.

**Key Words :** Condition monitoring (상태감시), Diagnostic parameter (진단파라미터), Expert system (전문가시스템), Fault diagnosis (오류진단), Inference engine (추론기관), Model-based knowledge base (모델 기반형 지식베이스), State parameter (상태파라미터)

### 1. 서 론

산업이 발전함에 따라 모기계 (Mother Machine) 인 공작기계의 자동화, 무인화, 고속화 그리고 고정도화에 대한 연구가 증대되어지고 있다. 그중 자동화와 무인화를 위해서 공작기계의 시스템 상태감시 및 진단기술에 대한 연구가 이루어져 왔다. 시스템 상태감시 및 진단기술은 공작기계, 공구, 공작물 그리고 절삭공정을 대상으로 하는 4 가지 분야로 구분되어 진다. 이중 공구, 공작물 그리

고 절삭공정의 상태감시 및 제어에 대한 연구는 많이 이루어져 왔으나<sup>[1~7]</sup>, 공작기계의 고장원인과 오류회복 등 기계 상태감시에 관한 연구는 미흡한 실정이다<sup>[8~10]</sup>. 공작기계는 열악한 작업환경에서 사용되는 경우가 빈번하며, 사용중 기계적 및 전기적 상태나 절삭상태에 따라서 이상정지가 발생하게 된다. 그러나, 기계 작업자의 경우 일반적으로 NC 나 공작기계의 동작원리 및 구조에 미숙하기 때문에 오류처리, 보수 그리고 오류회복에 효율적으로 대처하지 못하고 있으며, 심지어 작업자가 직접 회복시킬

\* 정회원, 화천기공(주), 기술개발연구소

\*\* 정회원, 한양대학교 기계설계학과

수 있는 간단한 오류에 대해서도 신뢰성을 높이기 위해 제품회사의 After Service (A/S)에 의존하는 경우가 많은 실정이다.

생산공정에 있어서 오류의 상태감시 및 진단에 관한 연구로는 Majstorovic<sup>(11)</sup> 이 유연생산시스템 (Flexible Manufacturing System : FMS)에서 작업스테이션의 진단 및 보수용 전문가시스템들의 예를 비교 평가한 바 있고, Monostori<sup>(12)</sup> 등도 FMS에서 작업현황과 물류흐름에 대한 상태감시를 위한 시뮬레이터 개발에 관한 연구를 수행한 바 있다. 이들의 연구는 FMS 시스템에서 상위 페넬에 해당하는 상태감시 및 진단에 관한 방법론의 연구이며, 연구결과를 충족시키기 위해서는 많은 센서와 PLC 가 필요하게 된다. 그리고 조승현 등<sup>(9)</sup>은 FMS의 고장검출, 원인진단 및 회복지원 전문가시스템 개발을 위한 기초연구로서 하위페넬인 공작기계 자체의 오류감시와 진단을 위해 공작기계 판매회사의 A/S 자료를 분석한 바 있다.

본 논문에서는 FMS 애의 응용이나, 자동화 공작기계에서 발생하는 오류의 감시와 진단 그리고 오류회복의자동화를 위해 필수적인 진단파라미터 전문가 시스템의 개발을 수행하였다. 개발된 전문가시스템은 IBM/PC 와 RS-232C 를 통하여 연결된 공작기계가 자체적으로 보유한 파라미터들을 검색하는 방식을 사용한 내부적인 상태감시 기법이며<sup>(13)</sup>, 전기 및 기계적 오류 등을 감시 및 진단할 수 있다. 오류추론엔진을 통하여 기계의 설정상태와 공작기계의 오류상태를 규명하며, 오류종류의 판정을 위해 모델기반형 지식베이스를 구축하였다. FANUC OMC 가 장착된 수직형 머시닝센터에 적용하였고, 실험과 사례연구를 통하여 개발된 방법론의 타당성과 신뢰성을 입증하였다.

## 2. 진단파라미터 전문가시스템

진단파라미터 전문가시스템이란 공작기계가 정상상태 동작시나 오류발생시 그 사건 (Event)에 대하여 사용자가 시스템의 상태감시, 오류진단 그리고 오류회복을 위한 설명이나 결론적인 대처방안을 답변받고자 할 때, IBM-PC 와 RS-232C 통신을 통하여 연결된 공작기계 NC 내의 상태파라미터와 진단파라미터를 검색 후 추론 (Heuristic Inference) 과정을 통하여 지식베이스 (Knowledge Base) 상의 지식을 획득하여 사용자에게 전달하는 장치이다. 그러므로 진단파라미터 시스템의 개

발을 위해서는 공작기계의 오류상태에 대응하는 NC 내의 상태파라미터와 진단파라미터의 내용분석에 대한 연구가 필요하고, 오류진단을 위한 정상상태의 진단파라미터와 오류발생시의 진단파라미터의 검색과 비교를 통한 오류의 추론과 진단을 위한 지식베이스 구축이 필요하다.

### 2.1 상태파라미터

제어기의 종류에 따라 파라미터의 갯수와 정보에 차이가 있으며, 본 논문에서는 화천기공(주)의 수직형 머시닝센터인 VMC - 430 의 FANUC OMC 를 대상제어기로 선택하였다. 기계의 상태를 나타내는 파라미터는 약 8399 개가 있으며, 각 파라미터에 대해 8 비트를 가지고 있으므로 기계 상태가짓수는 약  $8399 \times 2^8 = 2150144$  개가 된다. 이중 중복되는 상태비트와 사용하지 않는 상태비트를 제외하면 20000 개 정도가 된다. 상태파라미터의 검색결과는 기계의 정상상태 동작시 동작상태 정보를 보여주며 미전문가가 알 수 없는 이진수 혹은 십진수의 형태로 구성되어 있다.

Table 1 은 상태파라미터의 형식을 보인 것이며, Fig. 1 은 공작기계의 상태파라미터를 RS-232C 를 통하여 채취한 결과이다. 채취에 사용된 프로그램은 XON, XOFF 방식의 Flow Control 과 ISO 코드를 사용하였으며 데이터비트 (Data Bit) 는 7 비트, 스탶비트 (Stop Bit) 는 2 비트 및 패리티비트 (Parity Bit) 는 없고 보드레이트 (Baudrate) 는 4800 혹은 9600 그리고 블록의 끝 (End of Block) 은 라인피드 (Line Feed) 를 사용하였다. Fig. 1 과 같이 원하는 파라미터의 번호를 입력하거나 소프트웨어 화면상에 (Return Key) 를 누르면 다음 파라미터 정보를 확인할 수 있게 구성되어 있다. 현재 대상제어기의 초기설정 상태중 1 번 상태파라미터에 대한 의미를 이해할 수 있다. Table 1 에서 1 번 파라미터의 6 번 비트가 '1' 로 설정된 것은 급속이송에서 드라이런 (Dry Run) 이 유용하다는 것이며, 2 번 비트가 '1' 로 설정된 것은 MDI 판넬상의 시작버튼이 기계 측을 경유함이 없이 직접 NC 측에서 기동 가능함을 나타낸다. 또한, 2 번 파라미터의 7 번 비트가 '1' 로 설정된 것은 리더 (Reader) 나 펜쳐 (Puncher) 인터페이스를 사용한 프로그램을 출력할 때 퍼드를 출력하지 않으며 0 비트가 '1' 로 설정된 것은 리더나 펜쳐 인터페이스에서 정지비트 (Stop Bit) 가 2 비트임을 나타낸다. 19 번 파라미터의 7 번 비트가 '1' 로 설정된 것은 진단 디스플레이에서 타이머 카운터 데이터가 10 진수로 디스플레이 됨을 뜻한다.

Table 1. Format of state parameters

N0001 P 0 1 0 0 0 1 0 0
7 bit   ~  0 bit
N0002 P 1 0 0 0 0 0 0 1
N0019 P 1 0 0 0 0 0 0 0

N : sequence number of state parameter  
P : information of 0 to 7 bit

Table 3. Format of wrong diagnostic parameters

↓                  ↓                  ↓
N10332 P 0 0 1 1 0 1 0 0
↓    ↓    ↓
N10333 P 0 0 0 0 0 1 1 0

N : sequence number of diagnostic parameter  
P : information of 0 to 7 bit  
↓ : alarm information bit

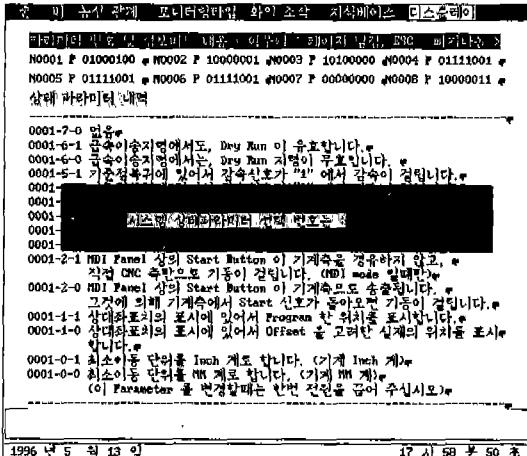


Fig. 1 Parameter list for the specified Machine Tools

## 2.2 진단파라미터

정상상태인 진단파라미터의 형태는 Table 2 와 같은 형식을 취하며 총 300 개의 진단파라미터가 공작기계 메모리 상에 저장되어 있다. 각 파라미터의 비트 (이하 정보비트) 수가 각 진단파라미터 번호마다 8 개씩 있으므로 저장할 수 있는 정보가짓수는  $300 \times 2^8 = 76800$  개이지만, 실제 오류발생의 종류는 310 개 정도이다. 여기서, 각종 오류상태가 발생되면 Table 3 과 같은 형식으로 오류발생 중에 RS-232C 를 통하여 진단파라미터를 수신 할 수 있다.

Table 2. Format of right diagnostic parameters

N10332 P 1 0 0 1 1 1 1 0
7 bit   ~  0 bit
N10333 P 0 0 0 0 1 0 1 1

N : sequence number of diagnostic parameter  
P : information of 0 to 7 bit

진단파라미터를 수신 검색하여 인식할 수 있는 발생오류의 종류는 Table 4 와 같다<sup>[14]</sup>. 본 논문에서는 Table 4에서 나타낸 것처럼 옵션사항인 APC (Automatic Pallet Changer) 오류와 G 코드 편집에 관한 오류 등을 제외한 공작기계 가공작업시 발생되는 중대한 오류발생 31개를 대상으로 하였다. 오류뿐만 아니라 Table 4 의 기타

Table 4. Error code list (VMC - 430 With FANUC OMC)

Type	Alarm	Contents	Error code No. of Critical error
Electric Alarm	APC (Absolute Pulse Coder) alarm	Manual reference point return is required for the X-axis, ..., the 6th axis : the case when in the past the APC battery voltage is at the level at which it is necessary to change the battery, and so on.	310~368 2 each
	Servo alarm	The overload signal is on, the motor or servo amplifier was overloaded, ..., an alarm occurred in the position detection system of the nth axis pulse coder (Broken wire alarm), and so on.	400~4n6 n : axis
	PMC alarm	Interruption by illegal command is occurred in PMC, ..., ladder contents which can be stored in PMC is exceeded, and so on.	600~605 1 each
	Overheat alarm	Master PCB is overheated and spindle overheat is detected by spindle fluctuation detection.	700, 704 2 each
	Overtravel alarm	Overtravel to exceed the (1) stroke limit of X-axis, ..., the stroke limit in the "-" side of the 8th axis is exceeded, and so on.	510~581 12 each
	P/S alarm	A parameter which requires the power off was input, turn off power, ..., an attempt was made to issue both the tool change command (M06) and the command for moving the machine along the Z-axis (positioning command). The move command cannot be issued together with the M06 command, and so on.	0 ~ 250 5 each
Etc. Alarm	System alarm	RAM parity error, CPU error and the memory PC board was disconnected (For model C), and so on	910~998 1 each
	BP/S alarm	An attempt was made to select or delete a program being selected in foreground.	140
Etc. Normal	ATC operation	M80, M06 signal	2 each

사향층 오류상황이 아닌 정상상태에서도 진단파라미터의 정보비트를 통하여 공작기계의 상태를 감시할 수 있다. 즉, 정상적인 작업 하에서도 진단파라미터의 정보비트가 변화된다. 오류 감시와 진단작업은 Table 4에 정의된 바와 같이 크게 3개의 부분으로 구분하여 감시되며 오류가 발생하였을 경우, 오류발생에 의한 진단파라미터는 하나의 정보비트만이 바뀌는 것이 아니고 다수 진단파라미터의 각 정보비트가 변화하게 된다. 정상상태와 오류와의 관계를 구별하기 위해 정보비트는 추론기관에서 대상변수가 되며, 이를 통해 정보비트를 분석한다.

### 2.3 오류추론

Fig. 2는 x, y 및 z 축에서 지정된 이송거리를 넘은 경우 기계적인 오류발생에 대한 오류추론 과정을 AND/OR Tree 구조로 나타낸 것이다. 부록 1은 정상상태 진단파라미터와 오류발생 진단파라미터를 보여준다. N10300 ~ N10331 까지는 정상상태의 진단파라미터와 오류발생의 진단파라미터 대상변수값에 변화가 없다. 그러나, x, y 및 z 축이 지정된 이송거리를 벗어났을 경우 N10332 부터 정상상태와 오류발생 진단파라미터사이의 정보비트에 변화가 일어난다. 후에 설명되어질 모델플래그는 지식베이스 내의 데이터베이스를 통한 정보비트의 변화에 따른 모델을 가지고 있으며 Fig. 2와 같이 발생된 모델과 비교 평가되어진 Tree 구조를 통해 오류추론을 수행하게 된다. 오류추론 순서는 순차적으로 실행하는 순서 (파라미터의 번호와 관련된 10 진수 형태 탐색방법 : N10300 ~ N10599 등) 와 이진수 형태를 십진수 형태처럼 실행하는 원쪽에서 오른쪽으로의 탐색순서 (파라미터의 정보비트에 관련된 2 진수 형태 탐색방법 : 10110100 등) 를 수행하도록 정의되었다. 추론 대상변수인 파라미터의 정보비트 분석을 AND/OR 의 Tree 구조로 나타내었으며 다수의 오류정보를 통한 추론 Net 이 모여 하나의 추론기관 (Inference Engine) 이 형성되도록 하였다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 특정한 오류모델에 대한 Path 가 3 가지 형태로 형성될 경우, 부록 1의 z 축에 관한 오버트래블 (Overtravel) 의 정보비트에 대한 ① 와 ⑤ 는 실패된 Path 가 되고 ② 는 지정된 z 축 구간을 벗어난 오류상태의 특정한 모델에 대하여 올바른 Path 를 나타낸다. 여기서 AND 역할은 특정한 모델에 꼭 필요한 정보비트의 관계를 특징지어 주며, OR 는 특정한 모델에 대한 정보 비트의 판단관계를 나타낸다.

또한, 추론기관 내에 정상상태와 오류상태 진단파라미

터의 정보비트에 대한 효율적인 십진수형 비교 알고리듬 기능이 추가되어 있어 빠르게 오류추론을 수행하도록 하였다. Table 2와 같이 오류발생 정보비트와 정상상태 정보비트를 각 비트별로 탐색하면 시간이 많이 걸린다. 먼저 진단파라미터 정보비트를 한꺼번에 탐색 (즉, 이진수 형태를 십진수의 형태 값으로 먼저 비교한다) 한 후에 비교한 정보비트가 같으면 다음 정보비트를 탐색하고, 틀리면 그때의 진단파라미터 번호와 정보비트를 포인터 (Pointer ; C 언어) 로 가지고 간다. Fig. 3은 정상상태와 오류발생 진단파라미터의 비교 알고리듬 기능중의 일부를 나타내고 있다.

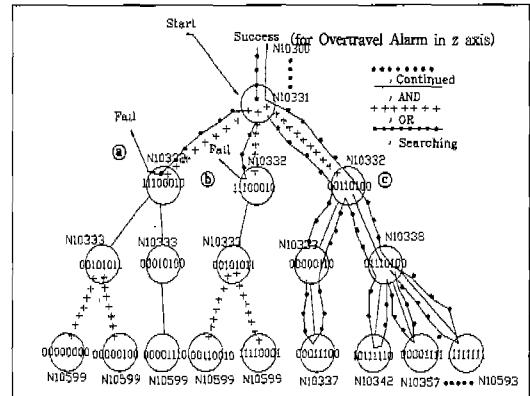


Fig. 2 Inference engine in the developed system

```

while ( forever ) {
    do (
        One block Parsing;
        if( Check End File ) Goto final;
    ) while ( Check the Character in One Block );
    Initialize of Block Position ;
    while( Forever ) {
        Capitalize One Character Selected the File for Comparison;
        switch (Case of Capital Character) {
            case 'N': Save Number of Parameter;
            case 'P': Save Binary or Decimal value of Parameter;
            case 'x0': End of Switch (Check the Character);
            case '\n': Go to CHECK_LINE;
            default : End of Switch (Check the Character);
        }
    )
    Comparison of Decimal types(Successive Type Model based Inference Engine);
    final : End of while ( forever );
}
continued;

```

Fig. 3 A part of comparison algorithm

식 (1) 은 Fig. 2 와 같은 오류처리에 대한 대상변수를 지정한 구조체 형식을 보여준다. 여기서 비교 알고리듬을 통하여 나온 정상상태 파라미터인 parameter\_number1 과 오류발생 파라미터인 parameter\_number2 를 이용하여 정보비트의 정보가 틀리면 포인터에 의해 정보비트 \*information\_bit 의 값을 추론변수로 활용하게 된다.

```
Struct ParaNum {
    int *parameter_number1;
    int *parameter_number2;
    char parameter_Nflag;
    char parameter_Pflag;
    int information_bit(9);
    int model_flag( );
    int net_number;
} ;
```

(1)

정상상태의 진단파라미터 집합을  $P_{nor}^n$  으로 정의하고 오류상태의 진단파라미터를  $P_{abn}^n$  으로 정의하였다. 여기서, 웃첨자는 부록 1 과 같은 기계적인 오류발생의 특정한 모델 Net 넘버를 뜻하며, 아래첨자는 정상 혹은 오류상태를 표시한다.  $P_{nor}^n$  정상상태 사건(Event) 과  $P_{abn}^n$  오류발생 사건이 서로 같지 않을 경우에 식 (2) 는 Fig. 3 과 같은 비교 알고리즘을 통하여 오류추론에서 비교된 Net 사이의 관계를 모델링하는 모델플래그(Model Flag) 를 생성(Update) 시키므로 Fig. 2 와 같은 기계적인 오류모델의 특정화된 형태를 만들어 간다.

$$P_{nor}^N \neq P_{abn}^N \rightarrow \text{Update of Model_flag}$$
(2)

#### 2.4 지식베이스 구축

사용자가 시스템의 상태감시, 오류진단 그리고 오류회복을 위한 설령이나 결론적인 대처방안을 답변받고자 할 때 올바른 지식베이스의 구축 없이는 사용자의 지식획득이 용이하지 못하다. 기존의 지식베이스 구조는 지식베이스의 기반을 어떤 형태로 취할 것인가에 따라 데이터베이스 기반형, 언어기반형 및 모델기반형 지식베이스 시스템으로 나눌 수 있다.<sup>(15)</sup> 종래의 지식은 매뉴얼과 경험적인 방법에 의하여 획득되기 때문에 수반된 전문적 지식은 지식획득에 체계적인 바탕이 없고 전문가의 지식과 경험의 수반이 어려웠다. 여기서는 오류발생 모델에 관한 지

식은 RS-232C 를 통하여 그리고 오류회복에 관한 지식은 아스키 파일로 구축할 수 있으므로 지식획득의 편이성 및 전문가 지식을 충분히 수용할 수 있도록 하였다.

본 시스템에서는 적합한 지식베이스의 구축을 위해 Fig. 4 의 원쪽 부분과 같이 기존의 데이터베이스 관리모듈(정상상태, 오류발생 및 오류회복에 관한 지식) 의 경험적인 탐색 제어(Heuristic Search Control) 와 함께 오른쪽 부분의 사례에 의한 관계 데이터베이스(부록 1. 과 같은 특정한 모델에 관한 지식) 관리모듈을 사용하였고 데이터베이스의 효율성을 위해 자체 개발된 한글폰트(한글 DOS 용 3.0 : Hangul & Computer Co., Ltd., 호환) 에 의한 아스키(ASCII) 파일로 구축할 수 있도록 하였다. Fig. 4 의 진보된 데이터 관리 시스템(Enhanced Data Management System : EDMS) 은 식 (1), (2) 및 Fig. 3 을 통한 추론엔진을 가지고 있으

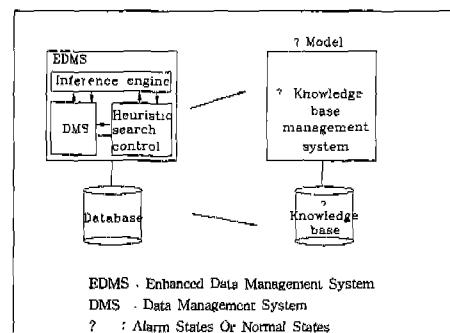


Fig. 4 Structure of knowledge based system in the developed system

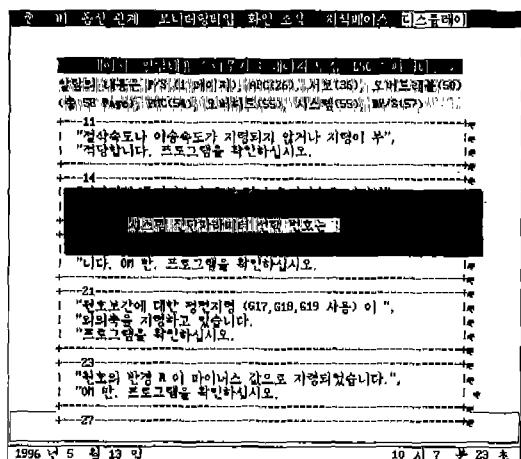


Fig. 5 Alarm list for the VMC - 430

며, 오류회복에 관한 지식을 관리하는 데이터 관리시스템 (Data Management System : DMS) 과 오류발생 모델에 관한 지식을 기반으로 오류추론을 통해 경험적인 탐색어를 수행하는 기능을 갖추고 있다. Fig. 5 는 오류내역 및 오류회복을 위한 데이터베이스를 보여주고 아스키 파일로 구축되어진 데이터베이스를 나타낸 것이다.

식 (3) 은 식 (2) 에서 개선되어진 모델플래그를 이용하여 부록 1 과 같은 특정한 오류발생 모델에 대하여 오류회복 모델을 획득하는 방법론으로써 일반적인 "IF - THEN - ELSE" 법칙 (Rule)<sup>(15)</sup> 을 서술한 것이며, 여기서  $\neg$  기호는 not 이라는 뜻으로 정의되고<sup>(15)</sup> 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 (  $\neg$  Model_flag )
{ event_B ; }
ENDIF
```

(3)

지식베이스의 형태는 기호 "," 와 "." 사이의 "NULL" 기호로 지식베이스를 구분하며 한글로 구축되어 있다. 식 (3) 을 본 시스템에 맞는 형태로 나타내면, 다음 식 (4) 와 같이 표현된다. 여기서 Net i ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) 는 특정모델을 구축하기 위한 진단파라미터의 그룹들이며,  $K_k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ) 는 모델기반형 지식베이스이다. Screen Display Function 은 자체적으로 개발된 유저인터페이스 내의 함수로써, 오류발생 부분과 오류회복에 관한 대처방안을 시작적인 화면을 통해 도스상에 표현되는 부분이다.

```
IF ( Model_Based_Knowledge ( $K_k$ ) == Successive Type Inference
      ( Net1  $\wedge$  Net2  $\vee$  Net3  $\dots \dots$  ) )
THEN
{ Search  $K_k$  ;
  Beep function;
  update model_flag;
  Screen display function; }
ELSEIF (  $\neg$  ( $K_k$ ) == Successive Type Inference
        ( Net ) )
```

{ Beep function;
 Next IF-THEN rule ; }

(4)

식 (1) ~ (4) 는 사용자가 시스템의 상태감시, 오류진단 그리고 오류회복을 위한 설명이나 결론적인 대처방안을 답변받고자 할 때 오류발생에서부터 유저 인터페이스 모듈까지 수행되어지는 수식적인 부분이다.

## 2.5 전문가시스템의 구성

전문가시스템의 개략도는 Fig. 6 과 같다. 개발된 시스템은 NC 제어기에서 정상상태 파라미터를 RS-232C를 통하여 입력받아 공작기계의 초기 설정상태를 파악할 수 있으며, 오류발생 상태에서 진단파라미터를 수신하여 비교 알고리듬과 오류추론기관의 추론과정을 거쳐 기계, 전기적 및 그 밖의 특정한 오류발생임을 판별하고 식 (4) 의 "IF - THEN - ELSE" 의 지식획득 방법론을 통해 오류회복 방안을 찾고 유저 인터페이스 모듈을 통해 화면상에 그래픽으로 보여준다.

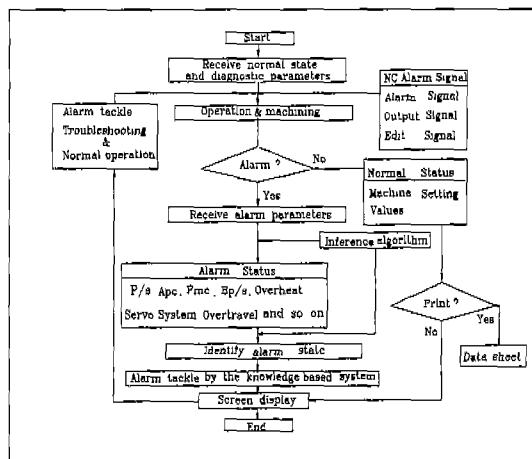


Fig. 6 Schematic diagram of the system

개발된 전문가 시스템의 구성을 Fig. 7 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 정보비트가 되며 여기서 KATM (Knowledge Acquisition Tool Management : KATM) 은 지식획득을 위한 모듈로서 "IF-THEN-

“ELSE” 방법론을 통하여 부록 1 과 같은 기계적인 오류 모델에 대하여 오류회복 방안을 찾는 일을 수행한다. 그리고 오류회복 대책을 유저 인터페이스 모듈로 넘겨준다. DMS (Data Management System; DMS) 는 데이터를 관리하는 시스템으로 간신되어진 플래그를 통해 특정화된 오류모델을 관리하며 오류추론을 통해 추론된 오류 모델을 유저 인터페이스 모듈로 넘겨준다. 데이터베이스는 Borland C++ 도스버전 4.0 을 이용하여 자체적으로 구성하였으며 유저 인터페이스 모듈은 공작기계의 초기 설정에 관한 정보를 파악할 수 있는 상태파라미터, 오류 발생에 관한 정보를 파악할 수 있는 전단파라미터 등을 입출력할 수 있으며, 사용자의 편의를 위한 도스기능 및 파일편집기능 등을 갖추고 있다. Fig. 7 과 같이 상태파라미터의 수신을 통한 스픈들유의 작동시간, 스픈들과부하 한계치 (Machine Tool Builder 의 경험치) 등의 지식을 습득할 수 있으며, 이를 바탕으로 오류대처 방안에 필요한 전문가 지식으로 활용 (후에 3.1 절에서 사례연구로 설명) 되며 또한 필요시에는 상태파라미터의 검색을 통하여 이송계의 피치오차 명부를 유저인터페이스 모듈에서 사용자에게 보여줌으로써 사용편의성을 도모하고 있다.

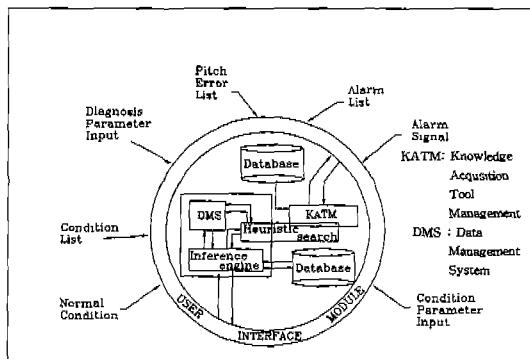


Fig. 7 Architecture of the developed expert system

### 3. 상태감시 및 진단 예

Fig. 8 은 Borland C++ 도스 버전 4.0 으로 프로그래밍된 진단파라미터 시스템의 기동시 화면을 보여준다. 사용환경은 IBM-PC 386 급이상 (Co-processor 장착), MS-DOS 버전 6.0 사용, VGA 그래픽 카드, 하드 메모리 용량 540 Mbyte 및 Ram 메모리 4 Mbyte이며, 주

메뉴는 공작기계와의 인터페이스를 위한 DNC 기능, 정보비트의 분석과 해석을 위해 오류추론 기능을 가진 시스템 상태메뉴 그리고 지식베이스 구축을 위한 지식베이스 메뉴로 크게 분류할 수 있다.

시스템 상태메뉴에는 공작기계와 컴퓨터간의 통신을 위한 파일 업 / 다운 로드 기능과 신호 수신기능이 있으며, 공작기계의 정상상태 파라미터와 오류 발생상태의 진단파라미터를 저장하는 기능이 있고 비교 알고리듬과 오류 추론에 의한 해석기능을 가지고 있다. 기타 파일의 수정 및 편집기능인 파일 조작메뉴가 있으며, 수직형 머시닝센터 VMC - 430 의 상태감시를 위한 모니터링메뉴로 구성되어 있다. 오류발생 지식, 오류대처 지식을 통한 오류회복 및 정상상태 시스템 지식 등의 전문가 지식을 획득하기 위한 지식베이스 구축메뉴가 있다. 주요 메뉴 중 Fig. 9 에서는 오류발생시 진단파라미터의 수신과정을 보여주고 있다.

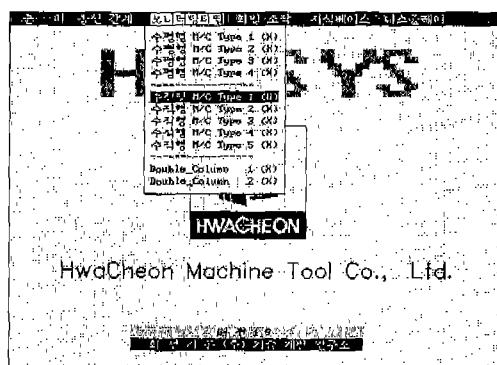


Fig. 8 Initial screen display of the developed software

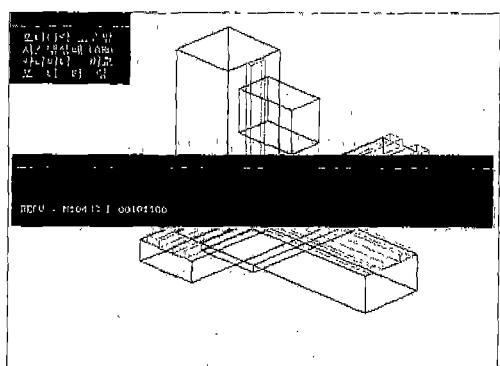


Fig. 9 Receiving procedure of diagnostic parameters

### 3.1 오류상태 감시 예

이상정지는 공작기계 오류상태의 경우에 해당되는 상황이다. 공작기계의 Z 축 단선의 원인으로 전기적인 오류가 발생되어진 경우에 오류경고음과 더불어 오류부위의 깜빡임 그리고 오류회복을 위한 대처방안을 제시한 상태를 Fig. 10에 나타내었다. 식 (2)의 개선된 모델플래그를 가지고 지식획득 모듈에서 식 (4)의 "IF-THEN-ELSE" 법칙에 따라 그 오류회복에 해당하는 대처방안을 통하여 살펴본 결과 스펜들유의 부족으로 인한 오류가 발생되었음을 알 수 있었고, 스펜들유를 보충한 결과 오류가 해제되었다. Fig. 11은 기판을 냉각시켜 주는 메커니즘의 문제로 인하여 오류가 발생한 경우를 나타내고 있으며, 또한 대처방안을 제시하고 있다.

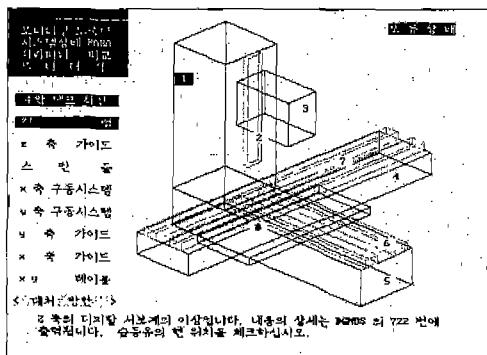


Fig. 10 Alarm tackle and alarm signal for open circuit in z-axis

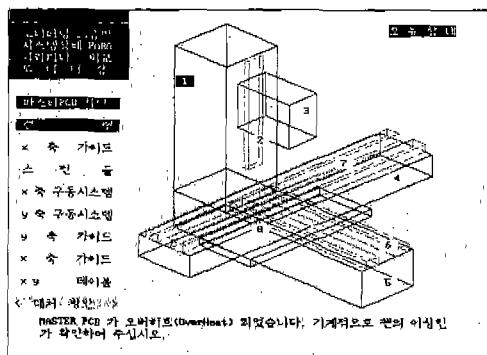


Fig. 11 Alarm tackle and alarm signal for overheating of master PCB

Fig. 12는 공작기계가 가공중이나 이송시에 스트로크 범위를 벗어난 경우에 발생된 기계적인 오류상태를 보여주고 있다. 지식획득 모듈에 의한 대처방안에 따라 수동

으로 MPG (Manual Pulse Generator)를 사용하여 공작기계 헤드부분을 스트로크 범위에 위치시킴으로써 오류가 해제되었다. Fig. 13은 z 축의 과부하(Overload)로 인한 이상정지로 기계원점을 잊어버리는 현상 중의 하나이며 하드 OT 오류가 발생된 경우 기계적인 제한거리를 소프트웨어로 조절할 수 있는 소프트 OT의 상태파라미터를 통해 오류를 해제시켰다.

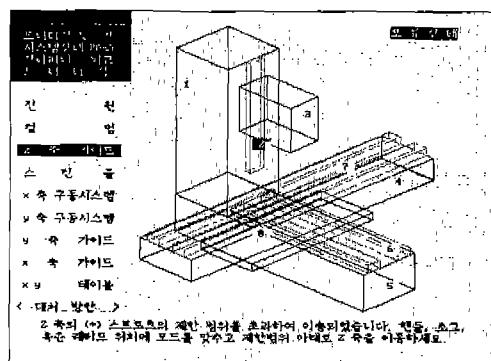


Fig. 12 Alarm tackle and alarm signal for overtravel in z-axis

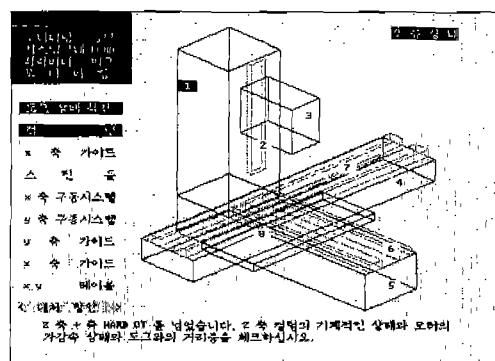


Fig. 13 Alarm tackle and alarm signal for Hard OT in z-axis

### 3.2 정상상태 감시 예

Fig. 14의 경우는 공구를 교환하기 전에 공구매거진(Automatic Tool Changer : ATC)의 원점복귀를 위하여 M80 코드를 사용하였을 때 공작기계 정상상태의 감시를 수행한 결과이다. 정상부위의 깜빡임과 정상음을 들려주며 현재의 상태를 화면상에 보여주고 있다.

Fig. 15의 경우는 공구매거진상의 공구를 스펜들에 장착하고자 할 경우 M06 코드를 사용한 상태를 나타낸다. 공구관리를 수행하기 위하여 정상상태 신호를 수신 받고

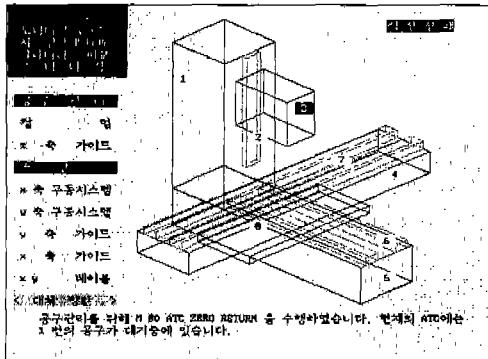


Fig. 14 Monitoring for M80 code

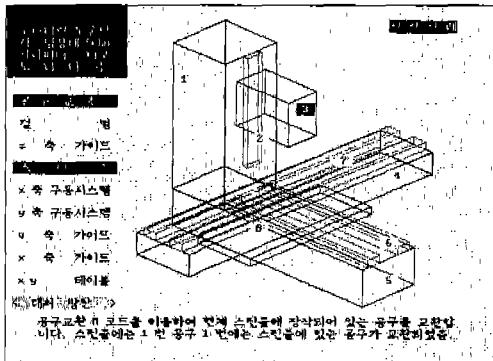


Fig. 15 Monitoring for M06 code (Case 1)

수신된 신호는 현재의 공구교환 상태를 알려주고 정상부위 (Z 축 해드)의 깜빡임과 정상을 들려준다.

Fig. 16은 현재의 공정과는 다른 가공공정을 위하여 공구매거진상의 공구를 교환하고자 할 경우 M06 코드를 재 사용한 경우이다.

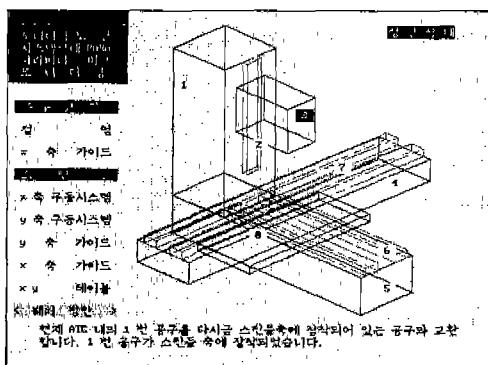


Fig. 16 Monitoring for M06 code (Case 2)

### 3.3 그 외의 감시 예

Fig. 17은 공작기계의 기능 중에 하나인 Tape 모드를 이용하여 DNC 운전을 수행하는 경우로 옵션 (Option) 사항이 없는 NC에 마크로 프로그램 (Macro Program)을 사용하여 오류가 발생한 경우를 나타내고 있다.

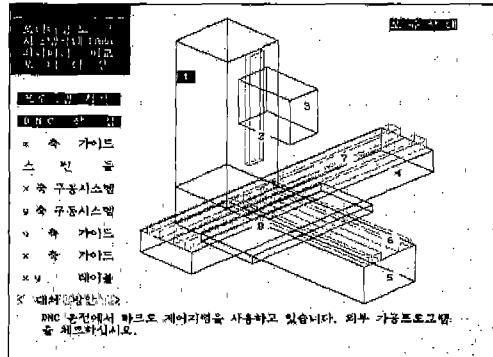


Fig. 17 Alarm tackle and alarm signal for part program through DNC operation

## 4. 결 론

공작기계 상태감시용 진단파라미터 전문가 시스템을 개발함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) RS-232C 통신을 이용한 NC 내 파라미터의 검색만으로 기계의 오류상태와 정상상태의 감시 및 진단을 수행할 수 있는 전문가 시스템을 개발하였다.
  - 2) 정상상태와 오류상태 진단파라미터 간의 빠른 비교검색과 판정을 위해 10 진수형 탐색방법을 사용하였고, 정보비트의 논리적 판별 방법론을 제시하였다.
  - 3) 문제영역을 파악하고 전문적인 지식을 토대로 지식영역을 구축할 수 있는 인공지능 기법의 개념을 상태감시에 적용하였다.
  - 4) 공작기계 상태 및 기능을 표시하는 상태 파라미터의 내용 및 오류내용을 지식베이스화하여 열악한 현장에서 손쉽게 대처할 수 있도록 ASCII화일화 하였다.
  - 5) 오류부위의 시각적인 표현을 통한 오류발생 현황과 진단결과 제시로써 이해의 편의성을 도모하였다.
  - 6) 여러 가지 기계 및 전기적 오류발생 사례를 통하여 개발된 방법론의 타당성과 신뢰성을 입증하였다.
- 또한, 향후 연구방향으로 열악한 환경하에서 PC의 불안정성과 RS-232C의 통신거리에 대한 불안정성의 극복을 위해서 적절한 하드웨어 설계와 모뎀통신을 이용하는 방법에 대하여 연구할 필요가 있다.

## 참 고 문 헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Dornfeld, D.A., "In Process Recognition of Cutting States", JSME International Journal, Series c, Vol. 37, No.4, pp. 638 - 650, 1994.
6. Wright, P.K. , and Bourne, D.A., Manufacturing Intelligence, Addison - Wesley, Reading, MA, 1988.
7. Smith, G.T., Advanced Machining, Springer-Verlag, Berlin, 1989.
8. Pandelidis, I.O., "Machine Diagnostics", Intelligent Design and Manufacturing, John Wiley & Sons, Inc., pp. 523 - 543, 1992.
9. 조승현외 3명, "FMS 고장진단기술", 제 2 회 첨단 생산시스템 Workshop 논문집, pp. 270 - 273, 1994.
10. 정성종 외 4명, "고속 고정밀 가공용 FMS를 위한 시스템 상태감시 및 진단기술", 제2회 첨단 생산시스템 Workshop 논문집, pp.282-289, 1994.
11. Majstorovic', V.D., Part Two : Maintenance Expert Systems, Research, Development and Applications, Elsevier Science Publishers B.V.. pp. 43 - 68, 1991.
12. 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.
13. 신동수, 박영진, 정성종, "공작기계 상태감시용 진단 파라미터 전문가 시스템 개발", 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 770 - 774, 1994.
14. FANUC LTD., FANUC Series0-MC/00-MC/0-Mate MC OPERATOR'S MANUAL. Appendix V., A10-1 - A10-15, 1994.
15. Donald A. Waterman, A Guide to Expert Systems, Addison Wesley, pp. 63 - 151, 1986.

Appendix 1

Mechanical Alarms of Overtravel in x, y and z axis &amp; Diagnostic Parameters of Normal State

No. of Parameter	Overtravel in x	Overtravel in y	Overtravel in z	Normal state
N10332	11100010	11100010	00110100	10011110
N10333	00101011	00101011	00000110	00001011
N10337	01101011	01101011	00011100	00011100
N10338	00011011	00011011	01110100	01110100
N10342	11100010	11100010	10111110	11001010
N10357	10110001	10110001	00001111	00011000
N10358	11111101	11111101	00000110	00001100
N10382	01011000	01011000	00110100	01000000
N10383	00001001	00001001	00000101	00001011
N10387	01101011	01101011	01000111	01010100
N10388	00001001	00001001	00000101	00001011
N10392	10000010	10000010	01011111	01100010
N10393	00001001	00001001	00000101	00001011
N10397	10001110	10001110	01101011	01110110
N10398	00001001	00001001	00000101	00001011
N10402	10100001	10100001	01111110	10001001
N10403	00001001	00001001	00000101	00001001
N10407	10111011	10111011	10011001	10100100
N10408	00001001	00001001	00000101	00001011
N10412	11001101	11001101	10101100	10110110
N10413	00001001	00001001	00000101	00001011
N10417	11011010	11011010	10111001	11000010
N10418	00001001	00001001	00000101	00001011
N10422	11011010	11011010	10111001	11000010
N10423	00001001	00001001	00000101	00001011
N10427	11100101	11100101	11000100	11001101
N10428	00001001	00001001	00000101	00001011
N10432	00001110	00001110	11101101	11110111
N10433	00001010	00001010	00000101	00001011
N10487	01010111	01010111	00100010	00100010
N10488	00001010	00001010	00000000	00000000
N10592	00000000	00000000	11111111	11111111
N10593	00000000	00000000	11111111	11111111