

공작기계의 지능형 고장진단과 원격 서비스 모델

김선호*, 김동훈*, 한기상**, 김찬봉**

Model of Remote Service and Intelligent Fault Diagnosis for CNC Machine Tool

Sun Ho Kim*, Dong Hoon Kim*, Gi Sang Han**, Chan Bong Kim**

ABSTRACT

The CNC machine tool has two kinds of fault. One is the fault due to degraded parts and the other is the fault due to operation disability. The phenomena of degradation is predictable but the operational fault is unpredictable because it occurred without any warning. The major faults of CNC machine tool are operational faults which are charged over 70%. This paper describes the model of remote service and the intelligent fault diagnosis system to diagnosis operational faults of CNC machine tools. To generalize fault diagnosis, two diagnosis models such as SF(Switching Function) and SSF(Step Switching Function) are proposed. The SF is static model and SSF is dynamic model for expression of fault. The SF and SSF model can be generated using SFG(Switching Function Generator) which is developed in this research. The three major operational faults such as emergency stop error, cycle start disability and machine ready disability are applied to experiment of fault modeling. To remote service of faults for CNC machine tool, the web server and client system based internet are proposed as the suitable environment. The developed two technologies are implemented with the internal function of open architecture controller. The implemental results for two technologies are presented to validate the proposed scheme.

Key Words : CNC(수치제어기), Fault Diagnosis(고장진단), Remote Service(원격 서비스), Internet(인터넷), Switching Function Model(스위칭 함수 모델), Step Switching Function Model(스텝 스위칭 함수 모델), Switching Function Generator(스위칭 함수 생성기)

1. 서론

CNC 공작기계의 고장은 구성부품의 노화에 따른 기능저하가 원인이 되는 고장과 운용상 발생하는 고장으로 크게 나눌 수 있다. 전자는 주로 기계구조부, 이송부 등에서 발생하며 어느 정도 예측이 가능한 반면, 후자는 구동부, 센서류, 입력 스위치 등의 요소에서

발생하며 예측이 어렵다는 특징을 갖는다. 예고 없이 발생하는 고장 측면에서의 주된 관심분야는 후자가 될 수 있다.⁽¹⁾

고장을 정확하고 효율적으로 진단하기 위한 많은 연구들이 있어 왔다. CNC(Computerized Numerical Control)와 PLC(Programmable Logic Controller)에 의해 제어되는 공작기계에서 운용상

접수: 2001년 8월 20일 접수

* 한국기계연구원 자동화연구부

** (주)터보테크 기술연구소

발생하는 고장을 진단하기 위한 연구로는, 고장을 효율적으로 진단하기 위한 진단 모델에 대한 연구^(2,3), 래더 다이어그램의 해석기 개발을 통해 제어 시스템의 고장을 효과적으로 검출하기 위한 연구⁽⁴⁾, 다수의 센서 신호를 수집하고 지식기반으로 고장을 진단하기 위한 연구⁽⁵⁾들이 이루어지고 있다. 고장발생 정보를 원격지로 전달하거나 원격지에서 고장상태를 진단하기 위한 방법으로는 인터넷을 기반으로 하고자 하는 연구도 이루어지고 있다.^(6,10)

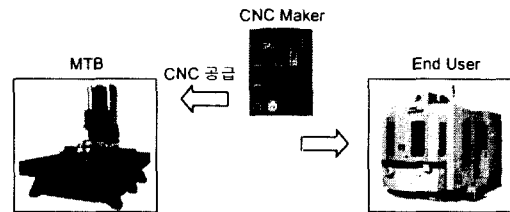
최근에는 고장진단과 원격 서비스 기능을 효과적으로 CNC에 실장하기 위한 방법으로 개방형 CNC를 적용하는 공작기계도 증가하고 있다. 개방형 CNC를 이용한 공작기계는 기능과 성능을 효율적으로 업 그레이드가 가능하며 네트워크를 통해 실시간, 연속적인 감사가 가능하게 된다.^(7,8,9) 개방형 CNC를 갖는 공작기계가 늘어나면서 공작기계, CNC 메이커를 중심으로 원격 서비스가 보편화되고 있다. 그 예로서 Citizen에서는 "FA SOHO Package"를 이용해 생산관리 측면에서의 트래블 해결 서비스를 하고 있으며, MAZAK에서는 "Cyber Factory"를 이용해 메인テナンス(Maintenance), 가공 프로그램 상담 서비스를 하고 있으며, Mori Seiki는 "Factory Windows"를 이용해 메인テナンス, 원격진단 서비스를 하고 있으며, FANUC에서는 "Remote System"을 이용해 원격진단 및 제어 서비스를 하고 있다. 그러나 대부분이 인터넷 환경이 아닌 클라이언트-서버 환경에 의해 기초적인 기술 지원을 하고 있는 것이 특징이다.⁽¹⁰⁾

본 연구에서는 개방형 CNC를 가지는 공작기계의 고장을 지능적으로 진단하고, 공작기계의 운용상태 및 고장상황 정보에 대한 원격 서비스가 가능한 시스템을 개발하기 위한, 고장진단 모델 및 원격 서비스 운용 체계를 제시하고자 했다. 지능형 진단을 위해서는 두가지 진단 모델을 제안하고 실행예제를 수행한 결과를 보여준다. 본 기능은 CNC의 내부기능으로 실장하는 형태를 가진다. 이는 원격 감시진단에서 발생할 수 있는 통신 트래블이나 온 라인 대기시간을 없애기 위한 목적이다. 원격 서비스를 위해서는 인터넷을 기반으로 하는 실시간 서비스, 이벤트 발생시 서비스, 요청시 서비스 등의 체계를 제시하고 실험결과를 제시한다.

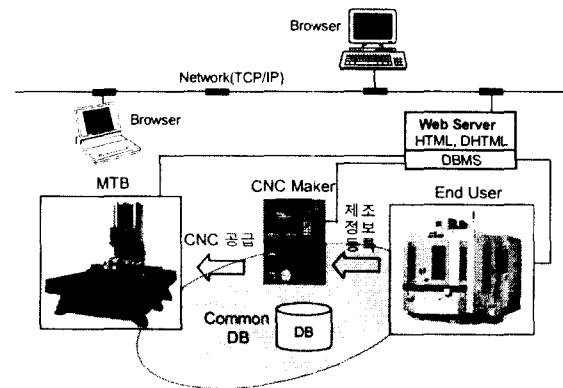
고장진단은 고장의 70%를 차지하는 운용상의 고장을 대상으로 했다. 대상으로한 공작기계는 (주)터보테크에서 생산중인 I=I 형상조각기이며 CNC는 윈도우 NT(Windows NT)를 기반으로 하는 개방형 CNC인 HX 모델을 대상으로 하였다.⁽¹¹⁾

2. 고장진단과 원격 서비스의 이원화 구조

일반적인 CNC 공작기계의 제조공정을 Fig. 1 (a)에 나타내었다. 공작기계 메이커에서는 적합한 CNC를 구입하여 CNC와 PLC를 이용해 운동제어, 순차제어가 가능한 공작기계를 완성시킨다. 그리고 이를 소비자에게 판매하게 된다. 공작기계에서 고장이 발생했을 때는 A/S 기술자가 현장을 방문하여, 고장원인을 진단하게 된다. 고장원인의 진단은 우선적으로 PLC 래더 다이어그램(Ladder



(a) Conventional manufacturing order for machine tool manufacturing



(b) Proposed manufacturing order for machine tool manufacturing

Fig. 1 Manufacturing order

Diagram)을 활용하게 된다. 공작기계 메이커가 사용 가능한 래더 다이어그램은 고정 어드레스와 독자 어드레스가 있다. 독자 어드레스를 이용해 순차제어 시스템을 제작한 경우에는 고장진단에 많은 경험과 시간을 필요로 한다.

본 연구에서는 지능적으로 고장을 진단하고 원격 서비스를 제공하기 위해 Fig. 1 (b)와 같은 고장진단 체계를 제안한다. 제조공정은 동일하지만 공작기계를 구성하는데 사용된 순차제어정보와 각 요소정보를 CNC 메이커에 등록하는 절차가 추가된다. 이를 통해, 제조정보는 CNC 메이커, 공작기계 메이커, 사용자 등이 공유할 수 있도록 한다. CNC 메이커는 등록된 정보를 바탕으로 지능형 고장진단 시스템을 구성하고 이를 CNC에 실장하게 된다. 이는 공작기계가 고장이 발생했을 때 고장을 진단하거나 수리를 하는데 있어 3자간의 역할분담이 용이해지며 효율적이고 신속하게 수리에 응할 수 있게 해준다.

이러한 역할을 수행하기 위해 CNC는 Fig. 2와 같은 기능구성이 필요하다. NC 커널(Kernel), MMI, CNC, PLC는 일반적인 NC와 동일하다. 지능형 고장진단 및 원격 서비스를 위해서는 이러한 기본기능에 두 가지의 부가기능을 필요로 하는데 그것을 FDS(Fault Diagnosis System), RSS(Remote Service System)라 한다. FDS는 개방형 CNC에 내장되어 고장이 발생했을 때 고장이 발생한 요소를 찾아주는 기능을 한다. RSS는 원격 서비스를 위

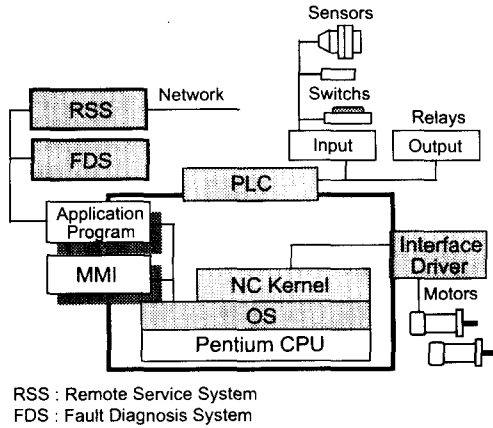


Fig. 2 Function diagram of fault diagnosis and remote service

해 공작기계의 가동상태, 고장진단상태 등을 서비스하는 역할을 하게 된다. 이렇게 FDS와 RSS를 이원화시키는 주된 이유는 FDS를 원격으로 했을 경우, 발생할 수 있는 네트워크 문제 실시간 지원 문제를 고려했기 때문이다.

3. 고장의 정의 및 진단절차

공작기계의 고장은 구성부품의 노화에 의한 기능저하와 운용상 발생하는 고장으로 분류가 가능하다. 본 연구에서는 운용상 발생하는 고장만을 다루고 있으며 이는 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

첫째, CNC 고장

둘째, PLC 조작 운용상 발생하는 고장

CNC의 고장은 대부분의 CNC가 자기 진단기능을 가지고 있기 때문에 본 연구에서는 이를 이용한다.

운용상 발생하는 고장은 구조적 고장 (Structural fault), 조작상의 고장(Operational Fault) 그리고 조건상의 고장(Conditional Fault)으로 나눌 수 있다. 이는 PLC의 순차제어 논리를 통해 진단이 가능하며 PLC상에서 발생하는 고장 중에서 70%가 조작상의 고장으로 보고되고 있다. 이러한 운용상 발생한 고장은 고장이 발생하여 가동이 정지되는 시간의 80%는 고장을 위치를 찾는데 그리고 20%가 고장을 수리하는데 소요된다.⁽²⁾ 따라서, 조작상의 고장을 효과적으로 정확하게 그리고 빨리 그 원인을 진단하는 것이 고장진단에 있어 가장 필요한 기술이라 할 수 있다.

본 연구에서는 CNC 공작기계가 작동이 불가능한 원인을 조작상의 고장(Operational Fault)이라 정의했으며, 다음과 같이 3가지로 정의했다.

- ① ESE(Emergency Stop Error) : 비상정지가 발생하는 경우
- ② CSD(Cycle Start Disability) : 기동이 되지 않는 경우
- ③ MRD(Machine Ready Disability) : 기계준비가 되지 않는 경우

고장을 진단하는 절차를 Fig. 3에 나타내었다.

공작기계가 고장이 발생하여 조작이 불가능한 상태가 되면 고장을 진단하게 된다. 고장진단은 CNC 고장부터 진단하게 되는데 CNC 고장인 경우 CNC로부터 고장상태를 전달받게 된다. CNC 고장이 아닌 경우, PLC의 코멘트를 확인하게 된다. 이는 공작기계 메이커에서 특정기능에 대한 고장을 정리한것으로서 이를 확인하게 된다. 이러한 고장이 아닌 경우, 운용상 발생하는 고장으로서 FDS를 통해 고장을 진단하게 된다. FDS에서는 SF(Switching Function) 모델을 통해 고장이 발생한 항목을 찾게된다. 항목을 찾은 후에는 SSF(Step Switching Function) 모델을 통해 고장이 발생한 스텝을 찾게 된다. 고장이 발생한 스텝을 찾은 후에는 PLC 입출력 DB 베이스를 이용해 고장이 발생한 요소를 찾게된다.

운용상 발생하는 고장을 지능적으로 진단하기 위해서는 순차제어정보로부터 고장항목에 대한 연관성을 제공하는 SF와 SSF를 만들어야 한다. 순차제어정보는 PLC 로직으로 이루어진다. PLC 로직은 IL(Instruction List), ST(Structured Text), FBD(Function Block Diagram), LD(Ladder Diagram) 등 몇가지 표현방법이 있는데 LD가 가장 일반적으로 사용이 되고 있다. CNC의 순차제어에 사용되는 LD로부터 SF와 SSF의 생성은 SFG(Switching Function Generator)를 개발하여 사용했다.

4. 두 개의 고장진단 모델

CNC 공작기계의 운전중에 발생하는 ESE, CSD, MRD의 원인을 진단하기 위해서는 순차제어를 수행하는 래더 다이어그램을 기반으로 해야 한다. 그러나 래더 다이어그램으로부터 고장을 진단하기 위해서는 많은 경험을 가진 보수 기술자를 필요로 한다. 본 연구에서는 전문가를 대신하여 지능적으로 고장을 진단하기 위한 효과적인 방법으로 입출력 신호간에 논리적 관계를 가지는 두가지 진단모델 SS, SSF를 제시한다. 진단 모델을 만드는 주된 이유는 각 공작기계 메이커마다 기계를 구성하는 방법에 고유한 특성을 가지기 때문에 진단 방법에 대한 일반성을 부여하기 위해서이다. 두 진단 모델은 FDS의 고장진단 엔진으로 사용된다.

4.1 SF(Switching Function) 모델

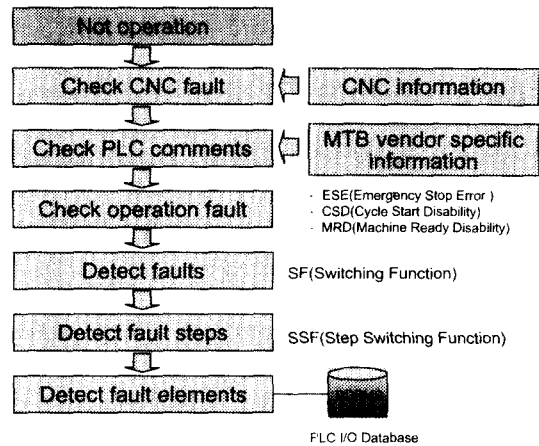


Fig. 3 Step flow of fault diagnosis

공작기계의 고장을 진단하기 위해 고장항목으로 정의한 원인을 논리적 모델로 표현한 것이다. 즉, 고장의 원인이 된 항목이 발생하기까지 관련된 모든 신호의 관련성을 나타내는 모델이다. 여기서 논리란 각 신호에 대한 'AND', 'OR', 'NOT' 등으로 구성된다. SF는 고장을 진단하기 위한 정적인 모델로서 이를 만족시키는 조건들은 많은 경우가 있을 수 있다.

PLC가 하나의 동작을 완성시키기 위해 만족해야 하는 조건은 식 (1)과 같이 정리할 수 있다.

$$c(t) = c_1(t) \cdot c_2(t) \cdot c_3(t) \cdots = \prod_j c_j(t) \quad (1)$$

여기서 $c(t)$ 를 t 번째 스텝의 모든 조건의 조합상태라고 가정하고 t 번을 마지막 스텝이라고 가정하면 $c(t)$ 를 스위칭 함수(Switching Function)라 정의한다.

4.2 SSF(Step Switching Function) 모델

SF는 고장항목에 대한 정적모델로서 동작상태의 동적변화를 표현 할 수 없다. SSF는 고장이 발생한 원인을 만족시키는 조건들을 단계적으로 표현하여 고장이 발생한 스텝을 찾기 위한 모델이다. SSF는 동작 중 고장이 발생한 스텝을 효율적으로 찾을 수 있는 동적모델이다.

PLC로 제어되는 CNC 공작기계의 순차제어는

시퀀서(Sequencer)에 의해 수행된다. SSF는 기계상태와 시간순서에 따른 상태변화로 구성되어 있으며, 순차적인 기계작동 상태 변화를 기술한다. 각 스텝에서의 동작은 단순히 현재 스텝에서의 제어 명령에만 관계된 것이 아니라, 이전 스텝의 조건에도 관계된다. 현재 스텝은 이전 스텝이 종료되고 현재 제어명령이 전달된 후에 수행된다. 어떤 스텝이 종료되었는지 여부는 그 스텝 조건에 의해 결정된다. 따라서 SSF는 다음과 같이 구성될 수 있다.

식 (1)에서 $c(t)$ 가 만족하려면 $c_1(t), c_2(t), c_3(t) \dots$ 가 순차적으로 만족을 해야한다.

즉, $c_1(t)=1$ 은 그 스텝의 조건을 만족하고 다음 스텝이 시작될 수 있다는 조건을 의미한다. $c_1(t)=0$ 은 그 스텝조건을 만족하지 못하였고, 다음 스텝을 실행할 수 없다는 것을 나타낸다. 따라서 각 스텝이 만족해야할 조건이 되는 $c_j(t)$ 를 스텝 스위칭 함수(Step Switching Function)라 정의한다.

5. SFG(Switching Function Generator) 시스템

PLC는 순차제어에 사용되는 릴레이(Relay), 타이머(Timer), 카운터(Counter) 등과 같은 기능을 마이크로프로세서를 이용해 통합시킨 장치이다. PLC에서 가능한 데이터 처리는 산술연산, 논리연산, 함수연산, 조절연산 등의 처리가 가능하기 때문에 CNC 공작기계에서도 순차제어를 담당하는 중요한 역할을 한다. 이를 Fig. 4에 나타내었다. 공작기계를 제어하는 CNC는 다시 그 기능을 나누어 보면 CNC와 PLC로 분리된다. CNC는 보간과 같은 운동제어(Motion Control)가 주된 기능이며, PLC는 각종 순차제어를 담당하게된다. 두 가지의 제어장치간에는 유기적인 신호처리를 수행하면서 기계를 동작시키게된다. PLC는 프로그램 작성방법이 순차적인 제어에 의존하기 때문에 다음과 같은 두 가지의 불편한 점이 있었다.

첫째, 프로그램 구조가 스텝 구조를 가지기 때문에 프로그램을 개발할 때 발생하는 프로그램의 오류를 찾는 데 어려움이 있었다. 즉, 프로그램의 디버깅(Debugging)과 모디파이(Modify)에 많은 어

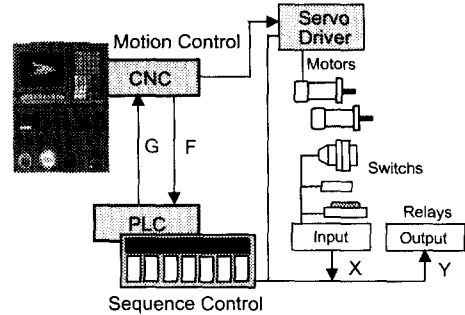


Fig. 4 Functional structure of CNC

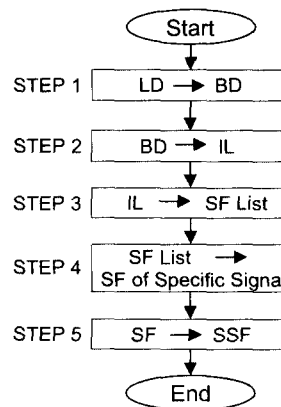


Fig. 5 Data flow of SFG

려움이 있었다.

둘째, 고장이 발생했을 때 고장의 원인이 되는 논리관계를 찾기 위해서는 많은 경험과 시간을 필요로 하다는 것이다.

동일하게 4장에서 정의한 SF 및 SSF를 수작업에 의해 구한다면 경험을 가진 전문가의 도움이 필요하게 되며 오류를 발생시킬 위험성이 높다. 본 연구에서는 SFG를 개발을 통해 SF, SSF를 생성하는데 활용하고자 했다.

SFG 시스템의 작업순서를 Fig. 5에 나타내었다. 1단계는 LD(Ladder Diagram)을 BD(Binary Data)로 바꾸는 과정이다. 2단계에서는 BD를 IL(Instruction List)로 변환을 하고, 3단계에서는 2단계에서 해석한 IL을 이용해 각 출력신호들의 SF를 미리 정한 비퍼에 저장한다. 4단계에서는 3단계에서 만들어낸 SF 리스트들을 이용해서 특정

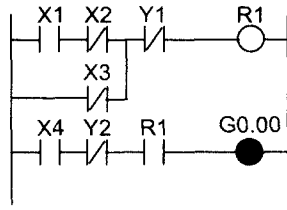


Fig. 6 Simple example of ladder diagram

고장에 대한 SF를 생성하게 된다. 5단계에서는 생성된 SF를 분해하여 SSF를 구하게된다.

여기서는 개발된 SFG 시스템을 효과적으로 설명하기 위해 Fig. 6과 같은 예제 LD를 이용한다. 예제는 입력요소 X1, X2, X3, X4, 출력요소 Y1, Y2, 내부 릴레이 R1 그리고 고장을 정의하는 출력 코일 'G0.0'으로 구성된다. 논리구조는 2개의 'AND'와 2개의 'OR' 요소로 이루어진다.

Fig. 6에서 'AND' 논리를 '*' 'OR' 논리를 '+'로 정리한다면 예제는 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$R1 = ((X1) * (-X2)) + (-X3) * (-Y1) \quad (2)$$

$$G0.00 = (X4) * (-Y2) * (R1) \quad (3)$$

위 두 식은 아래 식과 같이 줄일 수 있다.

$$G0.00 = (X4) * (-Y2) * (((X1) * (-X2)) + (-X3) * (-Y1)) \quad (4)$$

SFG는 (4) 식과 같은 특정 고장원인에 대한 전후 논리관계를 생성하는 프로그램이다. 프로그램 단계는 다음과 같이 5단계로 이루어진다.

1단계 : LD에서 BD로 변환

1단계에서는 LD로 표현된 순차제어논리를 BD로 바꾸는 일을 수행하게된다. Fig. 6의 LD를 BD로 전환한 예를 다음에 보인다.

```
02 00 00 00 00 01 81 01 00 00 00 04 81 02 00
00 00 08 81 03 00 00 00 15 00 00 00 00 00 04
82 01 00 00 00 1E 85 01 00 00 00 01 81 04 00
00 00 04 82 02 00 00 00 03 85 01 00 00 00 1E
84 00 00 00
```

2단계 : BD에서 IL로 변환

2단계는 BD 정보를 IL 언어로 번역을 하는 단계이다. BD의 데이터 구조는 출력(WR)의 개수를 의미하는 앞부분 4개 바이트와 명령어를 의미하는 6개씩의 바이트로 구성된다. 이러한 규칙을 이용해 BD를 IL 언어로 변환한 결과를 다음에 나타내었다.⁽¹¹⁾

```
RD X1
ANDN X2
RDNS X3
ORS
ANDN Y1
WR R1
RD X4
ANDN Y2
AND R1
WR G0.00
```

3단계 : IL에서 SF 리스트

3단계는 2단계에서 작성한 IL을 이용해 모든 출력신호의 SF를 구하는 단계이다. 여기서 각 출력신호의 SF라고 하는 것은 각 출력신호가 어떤 입력과 출력의 연산관계에 있는지 알려 주는 정보를 의미한다.

4단계 : SF 리스트에서 특정 SF

3단계에서 구한 SF 리스트에는 내부 릴레이 R 신호, CNC에서 PLC로 전달되는 F 신호 그리고 PLC에서 CNC로 전달되는 G 코드 등이 포함되어 있다. 특정출력에 대한 SF를 구하기 위해서는 이러한 신호의 연관성을 풀어야한다. G0.0에 대한 SF를 식 (5)에 나타내었고 이러한 일련의 작업내용을 Fig. 7에 나타내었다.

$$G0.00 = (X4) * (-Y2) * (((X1) * (-X2)) + (-X3) * (-Y1)) \quad (5)$$

'G0.0'를 고장 트리로 표현하면 Fig. 8와 같이 표현이 가능하다. 'G0.0'의 원인이되는 신호의 관련성은 3개의 'AND' 논리와 하나의 'OR' 논리로 이루어진다.

5단계 : SF에서 SSF로

4단계에서 구한 SF를 분해하여 해당되는 SSF

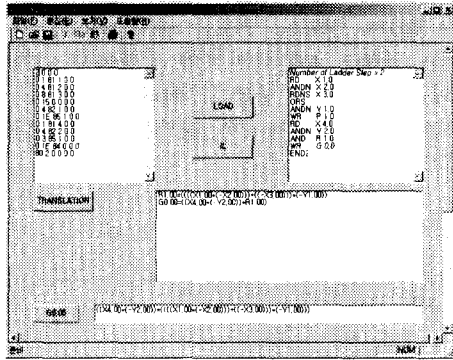


Fig. 7 Operation window of SFG

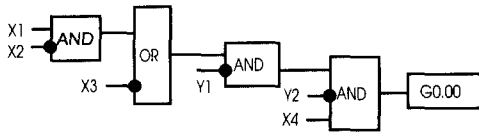


Fig. 8 Fault tree for G0.0

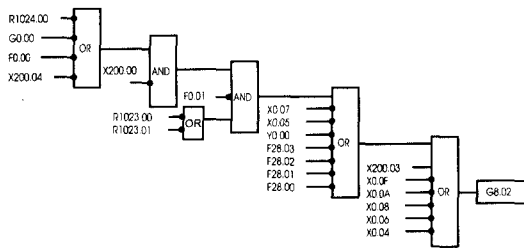


Fig. 9 Fault tree for ESE

를 구한다.

6. SFG를 이용한 고장진단 실행

6.1 SF(Switching Function) 모델의 실행 예제

5장에서 설명된 SFG를 이용해 터보테크에서 생산하는 I=1 형상조각기를 대상으로 SF를 구했다. 구해진 결과를 이용해 ESE에 대한 고장원인을 정리한 트리를 Fig. 9에 나타내었다. 'G8.02'는 ESE가 발생하는 신호를 나타내며, 이러한 조건을 만족하는 논리로는 4개의 'OR' 조건 그리고 2개의 'AND' 조건을 가진다. 각 조건에는 다수의 신호조건이 연결

된다. 그림에서 신호 끝에 도트로 표시한 것은 'NOT' 신호를 나타낸다. 그림에서 R은 내부 릴레이, G는 PLC에서 CNC로 입력되는 신호, F는 CNC에서 PLC로 입력되는 신호, X는 PLC 입력 신호 그리고 Y는 PLC 출력신호를 각각 의미한다. 이에 대한 각 신호 내용을 Table 1에 나타내었다.

ESE에 대한 SF를 나타내면 식 (6)과 같다.

Table 1 Database for ESE

Address	Relay Comment
X0.07	S2 Alarm(B)
X0.05	S1 Alarm(B)
X0.0A	Z2 Over Travel Limit SW(B)
X0.08	Z1 Over Travel Limit SW(B)
X0.06	Y Over Travel Limit SW(B)
X0.04	X Over Travel Limit SW(B)
X200.00	Machine Ready
X200.03	E. Stop Push Button
X200.04	O.T. Release
X0.0F	E. Stop(B)
Y0.00	Servo Ready
F0.01	Servo Ready
F28.03	SVRDY4
F28.02	SVRDY3
F28.01	SVRDY2
F28.00	SVRDY1
F0.00	NC Ready
G0.00	PLC Run

(B)는 Normal Close를 의미함

$$SF(ESE)=(((((-R1024.00)+(-G0.00))+(-F0.00))+(-X200.04)) \cdot (-X200.00)) \cdot (((-R1023.00)+(-R1023.01)) \cdot (-F0.01))+(-X0.07))+(-X0.05))+(-Y0.00))+(-F28.03))+(-F28.02))+(-F28.01))+(-F28.00))+X200.03))+(-X0.0F))+(-X0.0A))+(-X0.08))+(-X0.06))+(-X0.04) \quad (6)$$

여기서 '+'는 'OR' 논리를 '.'는 'AND' 논리를 의미한다.

동일한 기계에 대해 CSD에 대한 고장원인을 정리한 트리를 Fig. 10에 나타내었다. 'G9.00'은 사이클 스타트가 가능한 조건을 나타내며, 이러한 조건을 만족하는 논리로는 5개의 'OR' 조건 그리고 4개의 'AND' 조건을 가진다. 각 조건에는 다수의 신호조건이 연결된다. 이에 대한 각 신호 내용을 Table

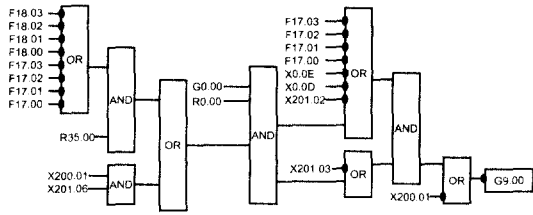


Fig. 10 Fault tree for CSD

Table 2 Database for CSD

Address	Relay Comment
X0.0D	S1 Auto
X0.0E	S2 Auto
X200.01	Cycle Start
X201.02	Auto Mode
X201.03	MDI Mode
X201.06	JOG Mode
F17.00	X-Axis Ref. Finish
F17.01	Y-Axis Ref. Finish
F17.03	Z1-Axis Ref. Finish
F18.00	Z2-Axis Ref. Command
F18.01	X-Axis Ref. Position
F18.02	Y-Axis Ref. Position
F18.03	Z1-Axis Ref. Position
G0.00	PLC Run

2에 나타내었다. CSD에 대한 SF를 나타내면 식 (7)과 같다.

$$SF(CSD) = ((((((((-F17.00) + (-F17.01) + (-F17.02) + (-F17.03) + (-F18.00) + (-F18.01) + (-F18.02) + (-F18.03)) \cdot (R35.00) + ((X200.01) \cdot (X201.06))) \cdot (G0.00) \cdot (R0.00) + (-X0.0E) + (-X0.0D) + (-X201.02) + (-F17.03) + (-F17.02) + (-F17.01) + (-F17.00)) \cdot ((((((((-F17.00) + (-F17.01) + (-F17.02) + (-F17.03) + (-F18.00) + (-F18.01) + (-F18.02) + (-F18.03)) \cdot (R35.00) + ((X200.01) \cdot (X201.06))) \cdot (G0.00) \cdot (R0.00) + (-X201.03))) + (-X200.01))))) (7)$$

6.2 SSF(Step Switching Function) 모델의 실행 예제

6.1절과 동일하게 SFG를 이용해 SSF를 구했다. 스텝 블록(Step Block)의 수는 'OR' 및 'AND'의 논리수와 같다. 즉, ESE는 6개의 스텝 블록을 가지며 CSD은 9개의 스텝 블록을 가진다. ESE에 대한

SSF를 나타내면 다음과 같다.

$$SSF(ESE)_{16} = (-R1024.00) + (-G0.00) + (-F0.00) + (-X200.04) \quad (8)$$

$$SSF(ESE)_{26} = SSF_{16} \cdot (-X200.00) \quad (9)$$

$$SSF(ESE)_{36} = (-R1023.00) + (-R1023.01) \quad (10)$$

$$SSF(ESE)_{46} = SSF_{26} \cdot SSF_{36} \cdot (-F0.01) \quad (11)$$

$$SSF(ESE)_{56} = SSF_{46} + (-X0.07) + (-X0.05) + (-Y0.00) + (-F28.03) + (-F28.02) + (-F28.01) + (-F28.00) \quad (12)$$

$$SSF(ESE)_{66} = SSF_{56} + X200.03 + (-X0.0F) + (-X0.0A) + (-X0.08) + (-X0.06) + (-X0.04) = G80.2 \quad (13)$$

Table 1을 참조하여 식 (8) 즉, SSF(ESE)₁₆이 1이 되는 조건을 정리해 보면, R1024.00, G0.00, F0.00 그리고 X200.04 중 1개 이상의 신호가 NOT이 되는 조건이다. 이러한 조건이 만족되어 SSF(ESE)₁₆=1이 되면 ESE를 발생시키는 6개의 스텝 블록 중 하나의 만족 조건이 되는 것이다.

동일하게 CSD에 대한 SSF를 나타내면 다음과 같다. 9개의 스텝 블록으로 구성된다.

$$SSF(CSD)_{19} = (-F17.00) + (-F17.01) + (-F17.02) + (-F17.03) + (-F18.00) + (-F18.01) + (-F18.02) + (-F18.03) \quad (14)$$

$$SSF(CSD)_{29} = SSF_{19} \cdot R35.00 \quad (15)$$

$$SSF(CSD)_{39} = X200.01 \cdot X201.06 \quad (16)$$

$$SSF(CSD)_{49} = SSF_{29} + SSF_{39} \quad (17)$$

$$SSF(CSD)_{59} = SSF_{49} \cdot G0.00 \cdot R0.00 \quad (18)$$

$$SSF(CSD)_{69} = SSF_{59} + (-X0.0E) + (-X0.0D) + (-X201.02) + (-F17.03) + (-F17.02) + (-F17.01) + (-F17.00) \quad (19)$$

$$SSF(CSD)_{79} = SSF_{69} + (-X201.03) \quad (20)$$

$$SSF(CSD)_{89} = SSF_{69} \cdot SSF_{79} \quad (21)$$

$$SSF(CSD)_{99} = SSF_{89} + (-X200.01) \quad (22)$$

CSD가 발생한 경우, 그 고장의 원인을 추적하기 위해 SSF 모델을 적용하여 고장이 발생한 스텝을 추적하게 된다. C(t)를 t 번째 스텝의 모든 조건이 조합된 상태라고 가정한다. 식 (17)을 나타내는 스텝 4를 현재의 스텝이라고 가정하면, 스텝 4의 만족조건은 식 (16)을 나타내는 스텝 3이 1이 되는 상태이다. 스텝 3으로부터 현재의 동작 스텝 4의 만족조건은 다음과 같이 표현 가능하다.

$$C(t-1) = X200.01 \cdot X201.06 = 1 \quad (23)$$

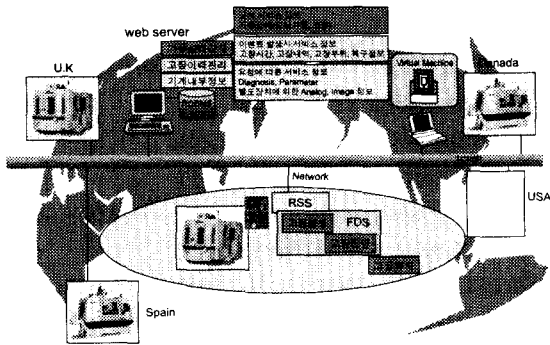


Fig. 11 REMOND(ReMote MONitoting and Diagnosis) system

기능적으로 본다면 조그 모드에서 사이클 스타트(Cycle Start)가 온(On)되게 되면 CSD가 된다는 의미가 된다. 이것이 만족되면 스텝 4의 실행조건이 만족된다.

$$C(t) = SSF_{29} + SSF_{39} \quad (24)$$

이러한 원리에 의해 스텝 하나 하나씩 그 조건을 체크하면서 고장을 찾게된다.

이러한 스텝 상관관계에 의해 고장이 발생한 스텝을 찾은 후에는 그 스텝에서 어떤 요소가 고장이 발생했는가를 찾게된다. 이러한 고장요소를 찾는 데는 미리 구성되어 있는 데이터 베이스를 활용하게 된다. Table 1 그리고 Table 2는 ESE와 CSD에 대한 고장요소를 DB로 정리한 것이다. 각 스텝 단위에서의 고장요소의 검출은 고장발생시 저장된 PLC의 각 접점상태의 확인을 통해 이루어진다.

7. 원격 서비스 모델 및 실험

원격 상태감시 및 서비스 체계를 Fig. 11에 나타내었다. 서비스는 크게 3가지로 나뉘어 가동상태감시, 고장이력관리, 기계내부정보 등이 서비스 된다. 가동상태 감시정보는 상시 서비스 정보로서 정상가동인가 고장상태인가를 서비스하게 된다. 고장이력 관리는 FDS에 의해 진단이 이루어지는 ESE, CSD, MRD를 대상으로한다. 이는 고장 이벤트가 발생할 때마다 서비스하게 되는데 고장시간, 고장내역, 고장부위, 복구정보를 서비스하게 된다. 기계내부정

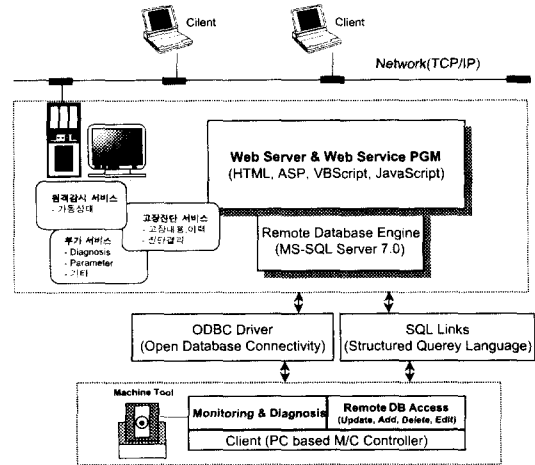


Fig. 12 Environment for remote service

보는 CNC에서 FDS를 통해 고정진단이 불가능한 경우를 대비해 CNC의 진단정보나 파라미터 정보를 제공하게 된다.

원격 서비스를 구현하기 위한 환경을 Fig. 12에 나타내었다. 환경은 웹 서버, 원격지 공작기계 클라이언트, 서비스를 요구하는 클라이언트 등 세 부분으로 나눌 수 있다.

웹 DB는 웹 서버 내부에 있을 수도 있고 별도 DB 서버에 있을 수도 있다. 사용자 인터페이스와 DB 엔진 처리는 ASP나 ISAPI, CGI 등으로 처리한다. 웹에서 사용자에게 최종적으로 전달되는 서비스는 데이터의 처리에 의해 생성된 HTML 문서이다. 웹 서버 응용 프로그램의 대표적인 특징은 이러한 사용자 인터페이스가 웹으로 구성되어 있다는 것이다. 사용자의 요청을 받아 데이터의 보관 및 수정 등 체계적인 데이터 처리를 위해서는 File System이나 DB 엔진을 필요로 한다. 이것은 ASP내의 ADO(Active Data Object) 컴포넌트로 처리했다. ADO 컴포넌트는 DB에 연결할 수 있는 연결(Connection) 기능과 DB를 질의하는 질의 실행(Query Execution) 기능, 웹으로 보고하는 기능들을 제공한다. CNC는 표준화된 규약인 ODBC(Open Database Connectivity)를 이용해 원격지에 있는 DB와 연결하여 공작기계의 상태 정보와 진단정보를 전송, 수정, 삭제 등의 작업을 한다. 데이터의 실질적인 처리는 DB 핸들링을 위한 표준 언어인 SQL(Structured Query Language)

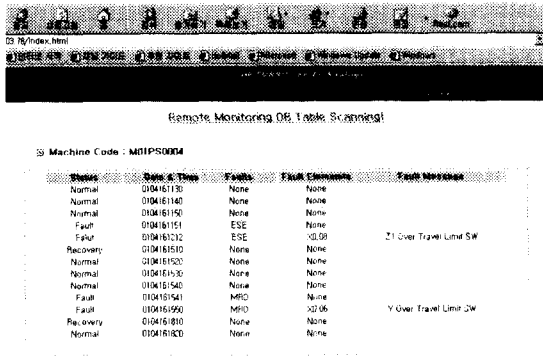


Fig. 13 Remote service for client request

로 Query 문을 통하여 수행한다. 웹 서버의 웹 서비스 어플리케이션 프로그램은 웹 서버에 접속한 클라이언트들에게 감시 및 진단 정보의 제공 서비스를 수행한다. 따라서, 웹 브라우저로 웹 서버에 접속한 클라이언트는 웹상의 사용자 인터페이스를 통하여 원격 서비스를 받게된다.

Fig. 13는 클라이언트가 웹상의 사용자 인터페이스를 통해 특정 공작기계에 대한 원격 서비스를 요청한 결과를 보여준다. 그림은 M01PS0004에 대한 상태정보와 고장진단정보를 제공해 주고 있다. 2001년 4월 16일 11시 50분까지는 정상가동이 이루어 졌다. 2001년 4월 16일 11시 51분에 고장이 보고되었다. FDS를 이용한 고장진단 결과 ESE가 발생하였다는 내용이다. 2001년 4월 16일 12시 12분에 ESE가 발생한 원인으로는 X0.06에 있다고 진단되었다. 이는 Z1 Over Travel Limit Switch에 문제가 있다는 것을 의미한다. 수리를 통해 2001년 4월 16일 15시 10분에 정상복구되었다는 보고되었다. 이러한 정보들은 기계의 ID를 안다면 언제 어디서나 누구나 제공 받을수 있다.

8. 결 론

본 연구는 개방형 CNC를 가지는 공작기계에서 고장을 지능적으로 진단하고, 공작기계의 상태를 인터넷을 기반으로 원격서비스할 수 있는 시스템을 개발하기 위한 진단모델 및 원격 서비스 모델을 제시하고자 했다. 지능형 고장진단을 위해서는 진단모델이 적용된 FDS를 CNC에 실장시키는

방법을 선택했다. 원격서비스를 위해서는 웹 서버, 원격지 공작기계 클라이언트, 서비스를 요구하는 클라이언트로 구성되는 시스템을 구축하고 이의 운용결과를 제시했다. 본 연구를 통해 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 개방형 CNC를 갖는 공작기계에 적합한 고장진단 체계를 제안했다. 제안된 시스템은 네트워크의 불안정성 및 실시간처리 지연의 문제점을 해결하기 위해 FDS(Fault Diagnosis System)와 RSS(Remote Service System)를 이원화시켰다.
- 2) 지능형 고장진단을 위해 SF(Switching Function) 및 SSF(Step Switching Function)라는 두 개의 진단모델을 제안하고 이의 적합성을 실행예제를 통해 확인했다.
- 3) 래더 다이어그램으로 부터 SF와 SSF를 자동으로 생성시킬 수 있는 SF&G(Switching Function Generator)을 개발하고 그 기능성을 실행예제를 통해 확인했다.
- 4) 지능형 고장진단 및 인터넷을 기반으로 원격서비스가 가능한 시스템을 구축하는 그 운용성을 확인했다.

참고문헌

1. 김선호, "공작기계의 원격감시, 원격고장진단 및 원격조작 기술," 한국정밀공학회지, 제18권 제10호, pp. 33-44, 2001.
2. Hu, W., Starr, A. G. and Leung A. Y. T., "Two diagnostic models for PLC controlled flexible manufacturing systems," International J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 19, pp. 1979-1991, 1999.
3. Hu, W., Starr, A. G., Zhou, Z. and Leung A. Y. T., "A systematic approach to integrated fault diagnosis of flexible manufacturing systems," International J. of Machine tools & manufacture, Vol. 40, pp. 1587-1602, 2000.
4. Guasch, A., Quevedo, J. and Milne, R., "Fault diagnosis for gas turbines based on the control system," Eng. Application of Artificial Intelligence, Vol. 13, pp. 477-484, 2000.
5. Zhou, Z. D., Chen, Y. P., Fuh, J. Y. H. and

- Nee, A. Y. C., "Integrated condition monitoring and diagnosis for modern manufacturing systems," *Annals of the CIRP*, Vol. 49, pp. 387-390, 2000.
6. 강대천, 강무진, "인터넷 기반의 공작기계 고장 원격 진단시스템에 관한 연구," *한국정밀공학회지*, 제16권 제9호, pp. 75-81, 1999.
 7. 김선호, 박경택, 이태역, "개방형 구조를 갖는 CNC의 연구 동향," *제어 · 자동화 · 시스템공학회지*, 제3권, 제5호, pp. 17-30, 1997.
 8. 김선호, 김동훈, 박경택, "생산장비 객체화와 개방형 가공 셀 구축 연구(I) -생산장비 객체화-," *한국정밀공학회지*, 제16권 제5호, pp. 91-97, 1999.
 9. 김선호, 김동훈, 박경택, "생산장비 객체화와 개방형 가공 셀 구축 연구(II) -개방형 가공 셀 구축-," *한국정밀공학회지* 제17권 제10호, pp. 41-48, 2000.
 10. 關川勝秀, "中小企業向け遠隔診断の提案," *機械と工具*, pp. 59-63, 2000.2.
 11. 터보테크, Turbo HX-M 조작 매뉴얼, 2001.