

## CNC 실장 고장진단 및 원격 서비스 기술 개발

김동훈\*, 김선호(한국기계연구원), 김도연(충남대학교 대학원), 윤원수, 김찬봉((주)터보테크)

Development of fault diagnosis and tele-service technology for CNC implementation

D.H. KIM\*, S.H. KIM(KIMM), D.Y. KIM(CNU), W.S. YUN, C.B. KIM(TurboTek Co., Ltd)

### ABSTRACT

The diagnosis of faults of machine tool, which is controlled by CNC and PLC, is generally based on ladder diagram of PLC. Because sequential controls for CNC and servo motor are mostly processed in PLC. However, when fault is occurred, a searching for logical relation to fault reasons is required a lot of fault experiences and times, because PLC program has step structure. In this paper, FDS(Fault Diagnosis System) is developed and implemented to machine tool with open architecture controller in order to find the reason of fault fastly and correctly. The diagnosed reasons for fault are tele-serviced on web through developed RSS(Remote Service System). The operationability and usefulness of developed system are evaluated on specially manufactured machine tool with open architecture CNC. The results of this research can be the model of remote monitoring and fault diagnosis system of machine tool with open architecture CNC.

**Key Words** : CNC(수치제어기), PLC(프로그램머블 로직 컨트롤러), Ladder Diagram(래더 다이어그램), FDS(고장진단시스템), RSS(원격서비스시스템), Open Architecture CNC(개방형 수치제어기)

### 1. 서론

일반적으로 CNC(Computerized Numerical Control)와 PLC(Programmable Logic Controller)에 의해 제어되는 공작기계에서 PLC 래더 다이어그램을 기반으로 고장의 원인을 분석하는 이유는 CNC나 서보에서 고장이 발생하더라도 그 정보 처리는 대부분 PLC에서 이루어지기 때문이다<sup>(1,3)</sup>. 그런데 PLC는 우수한 기능과 폭 넓은 사용성에도 불구하고 스텝 형태의 프로그램 구조를 가지기 때문에 프로그램의 오류를 찾을 때 어려움이 있어서 고장이 발생했을 때 고장의 원인이 되는 논리관계를 찾기 위해서는 많은 경험과 시간을 필요로 한다. 따라서 고장 원인이 되는 논리관계를 프로그램적으로 오류 없이 빨리 찾아 주는 기술이 필요하게 되었다<sup>(2,3)</sup>. 이러한 기술은 고도의 논리관계를 프로그램에 의해 알고리즘화 해야 하기 때문에 기존의 폐쇄형 컨트롤러에는 적용하기가 어려움이 있다. 최근에는 이러한 응용 기술을 CNC에 실장하기 위해 개방형 CNC를 채용하는 공작기계가 늘어나고 있는 실정이다<sup>(2,3)</sup>. 공작기계에서 채용되고 있는 일반적인 구조를 갖는 개방형 CNC의 구조를 Fig. 1에 나타내었다. NC 커널(Kernel), MMI(Man Machine Interface), CNC, PLC는 일반적인 NC와 동일하지만, 응용 프로그램의 실장이 용이한 구조를 갖는 것이 특징이다. 본 연구에서는 PLC에 의해 순차제어가 이루어지는 CNC 공작기계에서 비숙련자도 고장원인을 빠르고 정확하게 찾을 수 있는 기능을 가진 FDS(Fault Diagnosis System)를 개발하고 이를 개방형 CNC를 갖는 공작기계에 실장하고자 했다. FDS에 의해 진단된 고장원인 및 결과는 웹상에서 운용되는 RSS(Remote Service System)를 통해 원격 서비스가 이루어지도록 하고자 했다. FDS(Fault Diagnosis System)에서 고장을 진단하기 위한 고장진단 모델은 선행연구 결과<sup>(1)</sup>에서 제시된 두 개의 모델을 이용한

다. 개발된 시스템은 Fig. 2와 같이 특별히 제작된 3축 밀링머신을 이용해 그 운용성과 성능을 평가하였다.

### 2. 고장진단 모델<sup>(1)</sup>

전문가를 대신하여 지능적으로 고장을 진단하기 위하여 입출력 신호간에 논리적 관계를 가지는 두가지 진단모델 사용하였다. 진단 모델을 만드는 주된 이유로는 각 공작기계 메이커마다 기계구성 방법에 고유한 특성을 가지기 때문에 진단 방법에 대한 일반성을 부여하기 위해서이다.

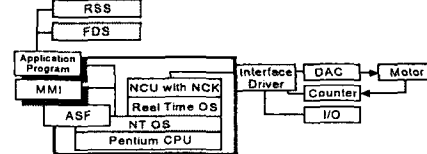


Fig 1. 개방형 CNC 구조



Fig. 2 실험에 사용된 Prototype Machine

① SF(Switching Function) 모델

SF는 고장을 진단하기 위한 정적인 모델로서 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. 즉, 고장의 원인이 된 결과가 발생하기까지의 입출력 신호의 관련성을 표현하는 모델로서  $C(t)=0$  or  $C(t)=1$  이 되는 정적인 모델이다

② SSF(Step Switching Function) 모델

SSF는 고장이 발생한 원인을 만족시키는 조건들을 단계적으로 표현하여 고장이 발생한 스텝을 찾기 위한 모델이다. 식(1)에서  $c(t)$ 가 만족하려면

$$c_1(t), c_2(t), c_3(t) \cdots \text{가 순차적으로 만족을 해야 한다.}$$

여기서 각 스텝이 만족해야 할 조건이 되는  $c_j(t)$ 를 스텝 스위칭 함수(Step Switching Function)라 정의한다. 즉, 고장이 발생한 원인을 만족시키는 조건들을 단계적으로 표현하여 고장이 발생한 스텝을 찾기 위한 모델로서  $C1(t)=1$  then  $C2(t)$  Start Condition 인 동적인 모델이다.

3. FDS와 RSS

FDS(Fault Diagnosis System)는 개방형 CNC에 실장되어 고장이 발생했을 때 고장을 발생시킨 원인이 되는 요소를 찾아주는 기능을 한다. RSS(Remote Service System)는 원격 서비스를 위해 공작기계의 가동상태, 고장진단상태 등을 서비스하는 역할을 하게 된다.

3.1 FDS(Fault Diagnosis System)

FDS의 엔진이라 할 수 있는 SFG는 PLC 래더 다이어그램으로부터 앞서 정의한 두 가지의 진단 모델인 SF, SSF를 자동으로 생성시켜 주는 프로그램이다. Fig. 3은 Fig.2에 나타난 공작기계의 PLC 프로그램을 나타낸 것으로서 래더 다이어그램으로부터 고장의 원인을 진단하는데 있어 어려움을 보여주는 예를 나타낸다. 그림에서 우측 하단의 G8.02, 즉 ESP 신호는 왼쪽의 R0.00 신호와 관련이 있으며, 이 신호는 그림 상단에 원으로 표시된 3개의 입력신호들의 논리조합으로 다시 구성되어 있다. SFG는 이러한 복잡한 추적이 필요한 특정 고장원인에 대한 전후 논리관계를 모델링하여 고장트리를 생성하는 프로그램이다.

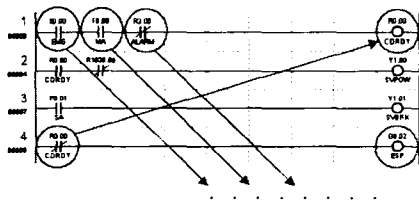


Fig. 3 Ladder Diagram of ESE(Emg. Stop Error)

SFG를 작업 순서를 메커니즘을 통해 살펴보면 Fig. 4처럼 4단계의 과정을 거친다. 이를 단계별로 살펴보면, 1단계는 래더 다이어그램으로부터 생성된 바이너리 코드의 정보를 IL(Instruction List) 언어로 번역하는 단계이다. 바이너리 코드의 구조는 6개의 바이트가 하나의 명령어로 구성된다. Fig 5의 (a)는 6개의 바이트가 하나의 명령어로 바뀌는 예를 보여준다<sup>(4)</sup>. 2단계에서는 1단계에서 제작된 IL을 이용해서 각 출력신호의 SF 리스트를 구하는 단계이다.

여기서 각 출력신호의 SF 리스트라고 하는 것은 각 출력신호가 어떤 입력과 출력의 연관관계에 있는지 알려주는 정보를 의미한다. 예를 들어, 출력신호 G8.02의 경우에 IL에서 SF 리스트로 바뀌는 과정을 Fig 5의 (b)에 나타내었다. 여기서 IL의 AND는 '\*', OR는 '+' 연산 논리를 의미하며, RD는 값을 Load/Read, ANDS는 앞서 논리적으로 연산된 묶음을끼리 '\*\*', WR은 지금까지 연산된 값을 변수에 Write 하라는 것을 각각 의미이다<sup>(4)</sup>. 이러한 명령어와 논리 연산자대로 수식화된다. 2단계에서 구한 SF 리스트의 SF에는 내부 릴레이를 의미하는 R 신호와 PLC에서 CNC로 전달되는 G 신호가 포함되어 있으므로 특정 출력신호에 대한 SF를 구하기 위해서는 이러한 신호들의 연관성을 푸는 과정이 필요하다. PLC에서 CNC로 입력되는 신호인 G8.02에 대한 SF를 구하는 과정을 Fig 5의 (c)에 나타내었다. 여기서 내부 릴레이 R0.00은 PLC의 입력신호인 X와 CNC에서 PLC로 입력되는 신호인 F 외에도 또다른 내부 릴레이 신호인 R3.00과 연관되어 있으며, R3.00은 R3.01과 연관되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 G8.02라는 일종의 PLC의 특정 출력신호에 대한 입출력 신호들의 하부 연관관계를 최대한 추출해 내는 과정이 3단계이다. 4단계에서는 3단계에서 생성된 특정신호의 SF를 이용해서 SSF를 만든다. Fig 5의 (d)와 같이 SF에서 SSF의 Step은 신호들의 연산이 많은 괄호들과 연산자로 이루어져 있을 때 '\*\*에서 '+'로 또는 '+에서 '\*\*로 바뀔 때를 기준으로 그룹핑하여 동일한 단계의 입력 신호들로 구분하여 결정된다.

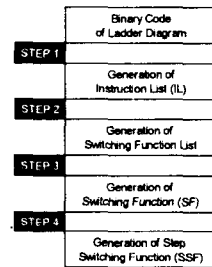
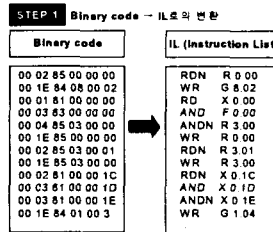
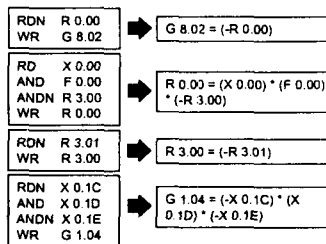


Fig. 4 Flow Chart of SFG



(a) 래더다이어그램의 바이너리코드를 IL로 변환

STEP 2 IL -> SF List로의 변환



(b) 각 출력신호들의 SF List 생성

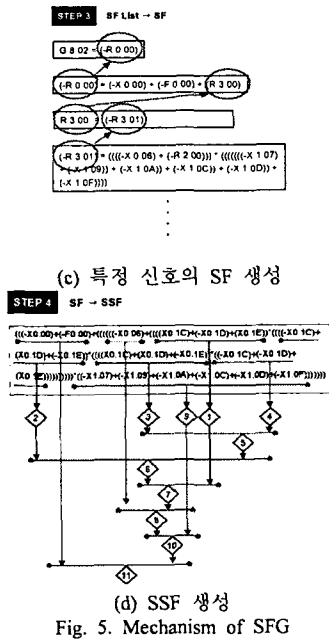


Fig. 5. Mechanism of SFG

### 3.2 RSS(Remote Service System)

RSS는 FDS에 의해 진단된 고장 진단결과 등의 원격서비스를 지원해 주는 기능이다. RSS는 데이터 인터페이스를 위한 RSSI(Remote Service System Interface) 모듈과 웹 서비스를 위한 웹서버상의 웹 스크립트 프로그램으로 구분될 수 있다. RSSI라는 인터페이스 모듈은 FDS내에 구현되어 있으며, FDS의 출력 정보를 웹서버로 업로드함으로써, 원격지의 다수의 클라이언트가 웹서버에 접속하여 공작기계의 상태를 감시할 수 있도록 데이터를 인터페이스 시키는 역할을 한다. 이의 구조를 Fig. 6에 나타내었다. CNC에서 원격지에 있는 데이터베이스(DataBase)에 컨넥션하는 방법으로는 표준화된 규약인 ODBC(Open Database Connectivity)를 이용한다. 데이터 처리는 DB 핸들링을 위한 표준 언어인 SQL(Structured Query Language)의 질의 Query 문을 통하여 웹 서버 데이터베이스에 감시 및 진단결과를 생성한다. 웹 서버의 웹 서비스 어플리케이션 프로그램에서는 웹 서버에 접속한 클라이언트들에게 각각의 사용자 인터페이스에 따른 반응으로 웹 상에서 감시 및 진단 정보의 관련 지원 서비스를 수행한다. 그리고 그 결과를 HTML 문서로 웹 브라우저를 통하여 각각의 클라이언트에게 응답한다.

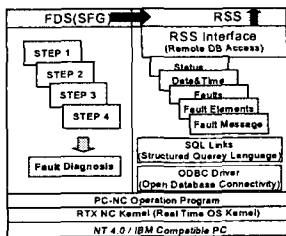


Fig. 6 RSS의 인터페이스

### 4. 개방형 CNC에의 실장

FDS를 CNC에 실장하기 위한 전체적인 환경은 개방형 구조를 가진 CNC 컨트롤러상에서 PLC의 입출력 신호정

보를 가진 CNC의 셰어드 메모리(Shared Memory) 영역과 CNC 알람 정보를 가진 알람 로그 데이터 파일을 공유함으로써 실시간으로 데이터 공유가 가능한 형태로 하나의 플랫폼 형태를 취한다. FDS 영역과 CNC 영역의 인터페이스를 구체적으로 살펴보면, Fig. 7처럼 RTX Development Kit에서 제공하는 RTX API Functions을 이용한 어플리케이션으로 신호 맵(Signal Map) 데이터와 CNC 알람 데이터로의 접근이 가능하게 된다. 이는 CNC가 속도 저하 문제를 해결하고 실시간 데이터 처리를 위해 리어타임 커널인 RTX Kernel을 사용하기 위한 목적이다. 즉, 대상기계인 HX(터보테크의 CNC 모델명)를 구동한 후 RTX API 함수를 응용하여 메모리를 오픈한 다음, PLC의 입출력 신호인 X, Y, G, F 등의 맵 데이터를 읽어온다. 예를 들어 원하는 신호가 X206.16이면, 맵의 PLC 입력신호 X 영역의 206번째 열의 16번째 행의 점점 정보를 액세스 하여 그 점점의 On/Off를 감지한다. 또한 마지막으로 발생한 알람데이터를 저장하고 최근에 발생한 CNC 알람과 비교하여 CNC 알람이 발생했는지 여부를 결정한 후, 적절한 포맷으로 필요한 알람 데이터를 추출한다.

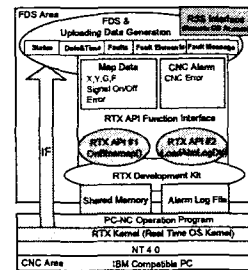


Fig. 7 FDS와 CNC 영역의 인터페이스 구조

### 5. FDS 실행 예제

Fig. 8는 CNC에 실장된 FDS 운용 화면을 나타내었다. 본 장에서는 3장에서 설명된 SFG 알고리즘을 이용해서 ESE(Emergency Stop Error)가 발생했을 때 두가지 고장진단 모델인 SF와 SSF를 이용해서 고장 원인을 찾아가는 과정을 설명한다.

앞서 Fig. 3의 래더 다이어그램에서 G8.02는 ESE가 발생하는 논리를 나타내는데 래더 다이어그램의 정보를 가지고 있는 바이너리 코드로 SF 리스트를 생성하는 결과를 Fig 9에 나타내었다. 왼쪽부터 바이너리 코드, IL 및 SF List로의 변환된 결과를 나타낸다.

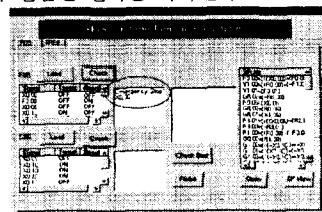


Fig. 8 CNC 컨트롤러에 실장된 FDS 운영화면

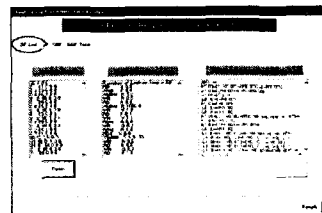


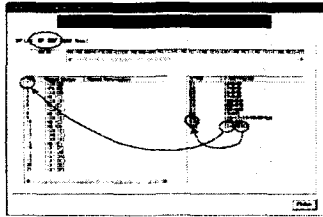
Fig. 9 Operation Window of SFG

SFG에 의해 구해진 ESE에 대한 SF 모델은 다음과 같다.

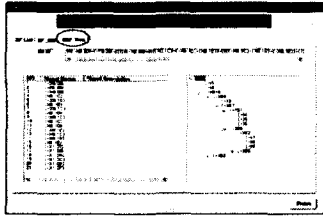
$$SF(ESE) = ((((-X0.00)+(-F0.00)+(((((-X0.06)+(((X0.1C)+(-X0.1D)+(-X0.1E))*(((X0.1C)+(-X0.1D)+(-X0.1E))*(((X0.1C)+(-X0.1D)+(-X0.1E)))))))*((-X1.07)+(-X1.09)+(-X1.0A)+(-X1.0C)+(-X1.0D)+(-X1.0F)))))) (2)$$

식(2)에서 '+' 연산자는 OR, '\*' 연산자는 AND 논리를 의미하며, 여러개의 OR 조건과 AND 조건으로 연관되어 있다. 수식에서 밖의 괄호부터 차례차례 떼어서 보면 '+'와 '\*' 연산자가 서로 교차되는 부분에서 단위 묶음으로 구분할 수 있다(Fig. 5d참조). 여러 단계의 SSF를 구한 결과를 Fig. 11의 (a)에 나타내었다. G8.02에 대한 SF 리스트에서 총 11개의 SSF가 생성되었으며, 각각 신호들은 OR와 AND 조건으로 구성되어 있다. 그림에서 11번째 SSF인 S11은 (1+2+S10)으로 구성되어 있다. 여기서 1과 2는 -X0.00과 -F0.00 신호를 의미하며, S10은 (S8+S9), 즉 각각 다른 단위 신호들의 집합들이 OR 논리로 연관되어 있는 것을 의미한다.

이들 단계별 표현기법으로 변환하면 Fig. 10의 (b)처럼 SSF Tree로 표현이 가능하다. SSF Tree내에서 'S1', 'S2'같이 'S#'은 SSF의 스텝번호, 즉 하나의 SSF의 번호를 의미하고, 'S'없이 숫자만 있는 것은 그림 좌측 박스 안의 Table에 정의된 입력 신호를 의미한다. R은 내부 릴레이, G는 PLC에서 CNC로의 입력신호, F는 CNC에서 PLC로의 입력신호, X는 PLC 입력신호, Y는 PLC 출력신호를 각각 의미한다.



(a) SF -> SSF



(b) SSF Tree

Fig. 10 SSF 생성

Fig. 10의 (b)는 SSF 트리(Tree)의 실체를 보는 것으로 최상위 스텝 11에 연관된 아래 스텝으로의 논리 관계를 단계별 트리 형식으로 표현해 가는 것을 나타낸 것이다. S11은 SF에서 분리된 여러개의 SSF중 최상위의 SSF로서 신호 1, 2와 S10이라는 하위 SSF가 '+'연산자인 OR로 묶여있다는 것을 의미한다. 이는 고장원인이 될 수 있는 신호가 매우 많기 때문에, 이를 오류없이 빨리 수작업으로 추적해가기가 불가능하므로 복잡한 신호의 논리관계를 SF와 SSF라는 스텝구조를 가지는 모델링을 통해서 고장 발생시, 고장원인이 될 수 있는 신호를 효과적으로 찾는 것이 가능하다는 것을 의미한다. 이렇게 제작된 SSF 트리를 블록 다이어그램의 형태로 표현하자면 Fig. 11과 같은 형태가 된다. 그림에서 신호선 끝의 도트는 'NOT' 신호를 나타낸다. 결과적으로 ESE의 SSF 모델은 AND 4개, OR 7개 총 11개의 스텝 블록을 가지는 것을 알 수 있다.

### 6. RSS 실행 예제

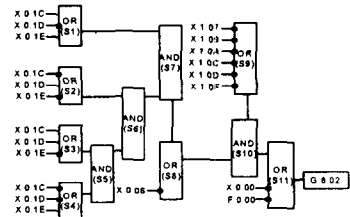


Fig. 11 Expanding of SSF Tree

원격지의 인터넷에 연결된 임의의 클라이언트에서는 웹을 통해 공작기계의 현재상태 및 고장발생시 FDS에서 생성한 고장진단 결과를 웹서비스 받을 수 있다. 이러한 RSS의 운영 화면을 Fig. 12에 나타내었다. 웹서버에서는 기계상태 정보와 진단결과 정보를 일정 주기로 업데이트 하여 클라이언트에게 서비스한다. 클라이언트에서 제공 받을 수 있는 정보로는 기계의 상태(Status) 정보와 시간(Time) 정보, 고장(Faults) 정보, 고장요소(Fault Elements) 및 고장 메시지(Fault Message) 정보가 있다. ESE 관련 고장이 발생하였을 때, Fig. 12의 박스 표시 영역처럼 시간 정보와 함께 현재 상태가 'Fault' 상태인 것이 나타나고, 고장 정보로는 'ESE', 고장 원인이 되는 신호를 진단한 결과는 PLC 입력신호인 'X0.00'이라는 것이 고장요소 항목에 제공되었다. 이는 ESE가 발생한 것을 FDS가 감지하고 원인을 진단해 본 결과, X0.00이라는 EStop PB Signal이 원인인 것을 알아 냈다는 것이다. 또한, CSD(Cycle Start Disable) 고장이 발생했을 경우도 시간 정보와 함께 상태 정보가 표시되고, 진단 결과는 고장원인 신호로 'X0.1D'가 표시, Cycle Start가 안되는 이유가 Jog Mode로 스위치가 되어있기 때문이라는 것을 알 수 있었다. 공작기계에서 모드 선택 스위치를 Auto 모드나 MDI 모드로 바꾸고 Cycle Start를 하면 에러 없이 기계가 가동되며, 웹상에서는 CSD가 해제되었기에 복구시간과 함께 상태표시인 Recovery가 표시되며, 이후 Normal 상태로 바뀌는 과정이 제시된다.

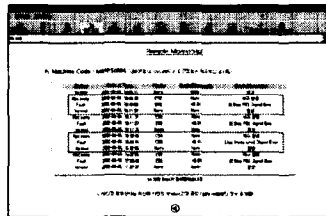


Fig. 12 RSS에 의한 Web Service 운영화면

### 7. 결론

본 연구에서는 PLC에 의해 순차제어가 이루어지는 CNC 공작기계에서 비숙련자도 고장원인을 빠르고 정확하게 찾을 수 있는 기능을 가진 FDS(Fault Diagnosis System)를 개발하고 이를 개방형 CNC를 갖는 공작기계에 실장하는 방법론과 실행 예를 제시하고 운용성을 평가하였다.

### 참고문헌

1. 김선호, 김동훈의, "공작기계의 지능형 고장진단과 원격서비스 모델", 정밀공학회지, Vol.19, No.4, pp.168-178, 2002.
2. 김선호, "공작기계의 원격감시, 원격고장진단 및 원격조작 기술", 정밀공학회지, Vol. 18, No. 10, pp.33-44, 2001.
3. 김동훈, 김도연, 김선호의, "공작기계의 고장원인을 효과적으로 생성하기 위한 SFG 개발", 정밀공학회 춘계학술대회는문집 pp. 48-52, 2002.
4. TurboTek, Turbo HX-M 조작 매뉴얼, 2001.