

## PLC로 제어되는 기계에서 Fault Tree를 효과적으로 생성하기 위한 LAT(Ladder Analysis Tool) 개발

김선호, 김동훈(한국기계연구원), 김도연(충남대학원), 한기상, 김주한(터보텍(주))

### LAT System for Fault Tree Generation

S. H. Kim, D. H. KIM(Automation Eng. Dept., KIMM), D. Y. Kim(Graduate School CNU), G. S. Han, J. H. Kim(TurboTek Ltd.)

#### ABSTRACT

A challenging activity in the manufacturing industry is to perform in real time the continuous monitoring of the process state, the situation assesment and identification of the problem on line and diagnosis of the cause and importance of the problem if the process does not work properly. This paper describes LAT(Ladder Analysis Tool) system for fault tree generation to improving the fault diagnosis of CNC machine tools. The system consists of of 4 steps which can be automatically ladder analysis from ladder diagram to two diagnosis function models. The two diagnostic models based on the ladder diagram is switching function model and step switching function model. This system tries to overcome diagnosis deficiencies present machine tool.

**Key Words :** Ladder Analysis Tool, Fault diagnosis, Switching function model, Step switching function model

#### 1. 서 론

PLC(Programmable Logic Controller)는 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 가능하다. PLC는 프로그램 변경이 쉽고 시스템 확장이 간편하고 유지보수가 용이하고 신뢰성이 높아 그 적용범위가 대단히 넓다. PLC는 일반 산업용기계, 반도체장비, 자동화장치 등에서는 주제어장치로 이용되며 Motion Control이 중요한 기능을 하는 CNC 공작기계에서도 중요한 역할을 하게된다. 이를 Fig. 1에 나타내었다. 공작기계를 제어하는 CNC는 다시 그 기능을 나누어 보면 CNC와 PLC로 분리된다. CNC는 보간과 같은 Motion Control이 주된 기능이며, PLC는 각종 순차제어를 담당하게된다. 두 가지의 제어장치간에는 유기적인 신호처리를 수행하면서 기계를 동작시키게된다. 이러한 우수한 기능을 이용해 단위기계의

제어뿐 아니라 자동화공정 제어 그리고 다품종소량 생산을 위한 각종 자동화시스템에 폭넓게 사용되고 있으며 특히, CIM을 구축하는데 있어서도 필수 불가결한 요소가 되고 있다.

이러한 장점에도 불구하고 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 어려움이 있었다.

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

일반기계들의 고장시간을 분석해보면 80%는 고장원인을 찾는 데 그리고 20%는 고장을 수리하는데 시간이 소요되고 있기 때문에 고장원인을 빠르고 효율적으로 찾는 기술이 매우 중요하다.

본 연구에서는 PLC에 의해 순차제어가 이루어

지는 CNC 공작기계에서 고장원인을 빠르고 정확하게 찾기 위한 LAT(Ladder Analysis Tool)을 개발하고자 했다. 공작기계는 (주)터보테크에서 생산하는 HX 시리즈를 대상으로 했다.

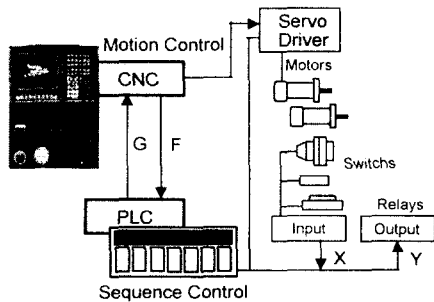


Fig.1 Functional Structure of CNC

## 2. 고장원인 진단 모델

CNC 공작기계의 운전중에 발생하는 고장원인을 진단하기 위해서는 순차제어를 수행하는 래더 다이어그램을 기반으로 해야 한다. 왜냐하면 CNC나 서보에서 고장이 발생하더라도 그 정보들의 처리는 PLC에서 이루어지기 때문이다. 그러나 래더 다이어그램으로부터 고장을 검출하기 위해서는 많은 경험을 가진 보수 기술자를 필요로 한다. 본 연구에서는 전문가를 대신하여 지능적으로 고장을 진단하기 위한 효과적인 방법으로 입출력 신호간에 논리적 관계를 가지는 SF(Switching Function) 모델을 사용한다. 진단 모델을 만드는 주된 이유로는 각 공작기계 메이커마다 기계를 구성하는 방법에 고유한 특성을 가지기 때문에 진단 방법에 대한 일반성을 부여하기 위해서이다.

SF는 공작기계의 고장을 진단하기 위해 고장원인을 논리적 모델로 표현한 것이다. 즉, 고장의 원인이 된 항목이 발생하기까지 관련된 모든 신호의 관련성을 나타내는데 효과적인 모델이다. 이를 통해 고장항목을 논리적으로 찾는다. 여기서 논리란 각 신호에 대한 AND, OR, NOT 등으로 구성된다.

## 3. LAT(Ladder Analysis Tool)

LAT 시스템의 작업순서를 Fig. 2에 나타내었다. 1단계는 래더 다이어그램을 바이너리 파일로 바꾸는 과정이다. 2단계에서는 Binary Data를 IL로 변환을 하고, 3단계에서는 2단계에서 해석한 IL을 이용해 각 출력신호들의 SF를 미리 정한 버퍼에 저장한다. 4단계에서는 3단계에서 만들어낸 SF 리스트들을 이용해서 원하는 고장원인에 대한 SF를

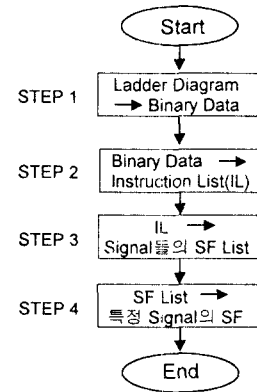


Fig. 2 Flow chart of LAT system

생성하게 된다.

여기서는 개발된 LAT 시스템을 효과적으로 설명하기 위해 Fig. 3과 같은 예제 래더 다이어그램을 이용한다. 예제는 입력요소 X1, X2, X3, X4, 출력요소 Y1, Y2, 내부 릴레이 R1 그리고 고장을 정의하는 출력 코일 G0.0으로 구성된다. 논리구조는 2개의 'AND'와 2개의 'OR' 요소로 이루어진다.

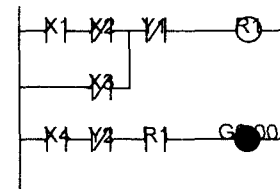


Fig. 3 Sample ladder diagram

Fig. 3에서 'AND' 논리를 '\*' 'OR' 논리를 '+'로 정리한다면 예제는 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$R1 = (((X1) * (-X2)) + (-X3)) * (-Y1) \quad (1)$$

$$G0.00 = (X4) * (-Y2) * (R1) \quad (2)$$

위 두식은 아래 식과 같이 줄일 수 있다.

$$G0.00 = (X4) * (-Y2) * (((X1) * (-X2)) + (-X3)) * (-Y1) \quad (3)$$

LAT는 (3) 식과 같은 고장원인에 대한 전후 논리관계를 프로그램적으로 생성하는 프로그램이다. 프로그램 단계는 다음과 같이 4단계로 이루어진다.

### 1단계 : Ladder Diagram -> Binary Data

1단계에서는 래더 다이어그램으로 표현된 순차제어논리를 Binary Data로 바꾸는 일을 수행하게 된다. Fig. 3의 래더 다이어그램을 Binary Data로 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 : Binary Data -> IL

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

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

## 3단계 : IL -> SF List

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. 이러한 일련의 과정에 대한 흐름도를 Fig. 4에 나타내었다.

## 4단계 : SF List -> SF

3단계에서 구한 SF List에는 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 아래에 나타내었고 이러한 일련의 작업내용을 Fig. 5에 나타내었다.

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

LAT 시스템에서 구해진 논리를 이용한 고장 'G0.0'에 대한 Fault Tree로 표현하면 Fig. 6과 같

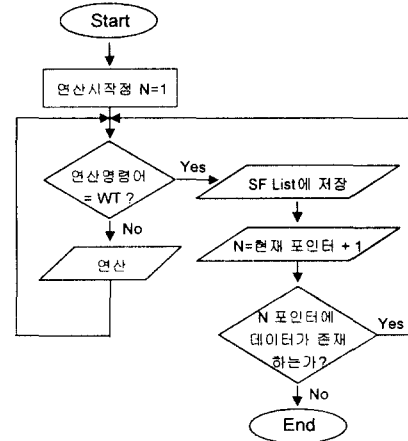


Fig. 4 Flow chart for SF

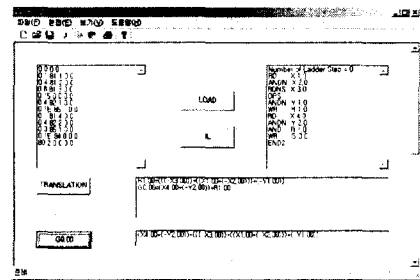


Fig. 5 LAT system

이 표현이 가능하다. 'G0.0'의 원인이되는 신호의 관련성은 3개의 'AND' 논리와 하나의 'OR' 논리로 이루어진다.

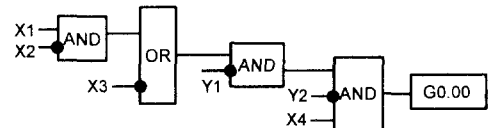


Fig. 6 Fault tree for G0.0

## 4. 복잡한 실행예제

다음은 이러한 예제를 바탕으로 (주)터보테크에서 생산하는 I=I 형상조각기의 ESE(Emergency Stop Error)에 대한 고장원인을 LAT 시스템을 이용해 구한결과를 보여준다.

Fig. 7은 E-STOP과 관련이 있는 래더 다이어그램을 나타낸 그림이다.

LAT 시스템의 운용 예를 Fig. 8에 나타내었다. G8.02는 ESE가 발생하는 신호를 나타내며, 이러한

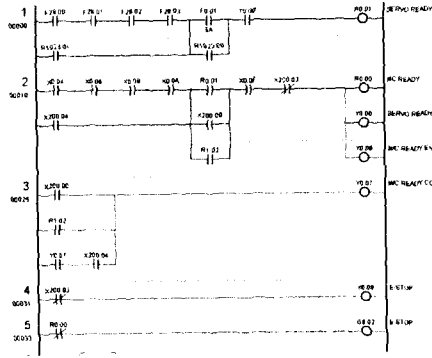


Fig. 7 Ladder diagram for ESE

조건을 만족하는 논리로는 4개의 OR 조건 그리고 2개의 AND 조건을 가진다. 각 조건에는 다수의 신호 조건이 연결된다.

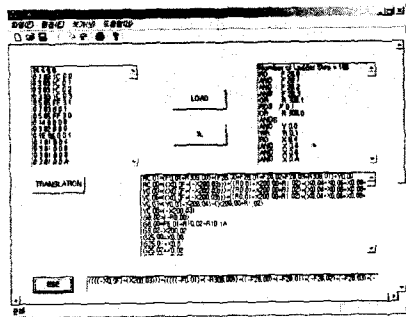


Fig. 8 Fault tree for ESE

LAT에 의해 구해진 ESE에 대한 SF를 정리하면 다음 식과 같다.

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

LAT에 의해 구해진 SF를 이용해 Fault Tree를 만들면 Fig. 9와 같다. 스텝 블록(Step Block)의 수는 OR 및 AND의 논리수와 같다. 즉, ESE는 6개의 스텝 블록을 가지며 CSD은 9개의 스텝 블록을 가진다. 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.

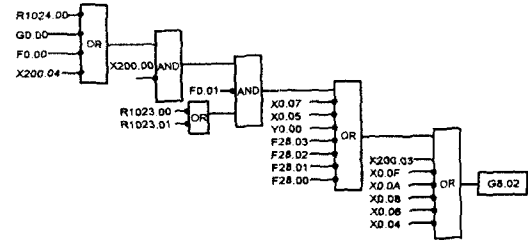


Fig. 9 Fault tree for ESE

이에 대한 각 신호 내용을 아래에 나타내었다.

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

## 5. 결론

본 연구에서는 PLC에 의해 순차제어가 이루어지는 CNC 공작기계에서 고장의 원인을 빠르고 정확하게 찾기 위한 LAT(Ladder Analysis Tool)을 개발하고자 했다. 본 연구에서 개발된 LAT 시스템은 PLC 프로그램을 작성할 때 디버깅, 모디파이 작업에 많은 도움을 줄수있으며, 기계가 고장이 발생했을 때 고장원인을 진단하는데 많은 도움을 줄수있을 것이다.

## 참고문헌

1. 터보테크, HX-PLC 기능 명령어 Rev. 0.2, 2000.
2. Guasch, A., Quevedo, J., Milne, R. "Fault diagnosis for gas turbines based on the control system," Eng. application of artificial intelligence, Vol. 13, pp.477-484, 2000.

외 다수 논문