

공작기계 원격감시를 위한 진단모델

김선호(한국기계연구원), 이은애(충남대 대학원), 김동훈(한국기계연구원)
한기상, 권용찬(터보테크(주))

Diagnosis Model for Remote Monitoring of CNC Machine Tool

S. H. Kim(Automation Eng. Dept., KIMM), E. A. Lee(Gratuate School CNU),
D. H. KIM((Automation Eng. Dept., KIMM), G. S. Han, Y. C. Kwon(TurboTek Ltd.)

ABSTRACT

CNC machine tool is assembled by central processor, PLC(Programmable Logic Controller), and actuator. The sequential control of machine generally controlled by a PLC. The main fault occurred at PLC in 3 control parts. In PLC faults, operational fault is charged over 70%. This paper describes diagnosis model and data processing for remote monitoring and diagnosis system in machine tools with open architecture controller. Two diagnostic models based on the ladder diagram, Logical Diagnosis Model(LDM), Sequential Diagnosis Model(SDM), are proposed. Data processing structure is proposed ST(Structured Text) based on IEC1131-3. The faults from CNC are received message form open architecture controller and faults from PLC are gathered by sequential data.. To do this, CNC and PLC's logical and sequential data is constructed database

Key Words : Monitoring, Diagnosis Mechanism, Logical Diagnosis Model(LDM), Sequential Diagnosis Model(SDM), IEC1131-3, CNC, PLC

1. 서 론

공작기계는 열악한 작업환경에서 사용되는 경우가 빈번하며, 사용 중 기계적 및 전기적 상태나 결삭상태에 따라서 이상상태가 발생하게 된다. 그러나, 기계 작업자의 경우 일반적으로 NC나 공작기계의 동작원리 및 구조에 미숙하기 때문에 오류처리, 보수 그리고 오류회복에 효율적으로 대처하지 못하고 있으며, 심지어 작업자가 직접 회복시킬 수 있는 간단한 오류에 대해서도 A/S에 의존하는 경우가 많다. 이는 시간적인 경제적인 손실이 될 수 있어 개선의 필요성이 대두되어 왔다. 또한, 컴퓨터의 많은 보급과 네트워크 환경의 조성으로 시간과 장소에 구애받지 않고 네트워크이 가능한 컴퓨터를 장착한 기계라면 언제 어디서나 간편하게 A/S가 행해 질 수 있는 원격 감시 및 진단 시스템은 시대의 흐름이라고 할 수 있다. 공작기계를 원격으로 감시하고 고장을 진단하기 위해서는 이를 지원할 수 있

는 진단 모델과 진단의 기초가 되는 데이터 운용기술이 필요하게 된다. 본 연구에서는 개방형 CNC를 가지는 공작기계의 상태를 원격으로 감시하고 이상 발생시 진단이 가능한 시스템을 개발하기 위한 진단 모델 및 데이터 운용 방법을 제시하고자 한다.

2. 원격 감시진단을 위한 기술체계

본 연구에서는 원격으로 공작기계의 상태를 감시하고 진단하기 위해 Fig. 1과 같은 운영 체계를 제안한다. 우선, ① 종래의 방법과 동일하게 CNC 메이커로부터 CNC를 공급받는다. ② 공급받은 CNC를 이용해 공작기계 메이커에서는 공작기계를 제작한다. 기계를 제작할 때는 기존의 방법과 동일하게 순차제어(Sequence Control)는 CNC 메이커에서 정의하는 고정 어드레스 코드와 공작기계 메이커에서 독자적으로 정의하여 사용이 가능한 독자 어드레스 코드를 이용해 구성한다. ③ 이렇게 제작

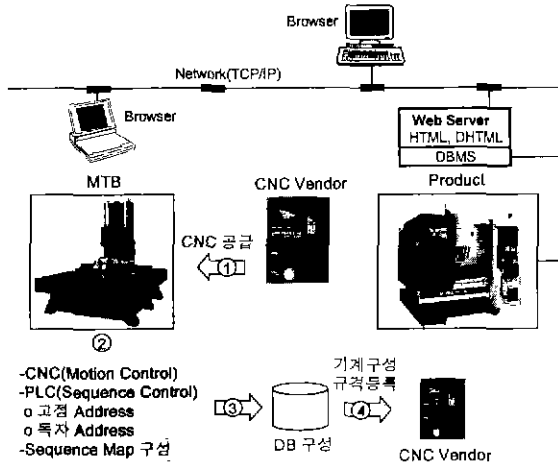


Fig. 1 원격감시진단 위한 공작기계 제작 흐름

된 순차제어 데이터는 데이터 베이스를 구축한다. ④ 구성된 데이터 베이스는 다시 CNC 메이커에 기계구성 규격을 등록하여 CNC 공급자, 공작기계 메이커, 사용자 등 3자 간에 공통 데이터 베이스를 구축한다. 이를 이용해 공작기계가 고장이 발생했을 때 원격지에서 고장원인을 찾기 위한 Sequence 검색을 하게된다. 이러한 체계를 통해 이루어질 원격 감시진단에 대한 개념도를 Fig. 2에 나타내었다. 즉, 제어기 종류에 따라 파라미터의 수와 정보 차이가 있지만 감시 데이터와 진단 정보의 정립이 필요하다.

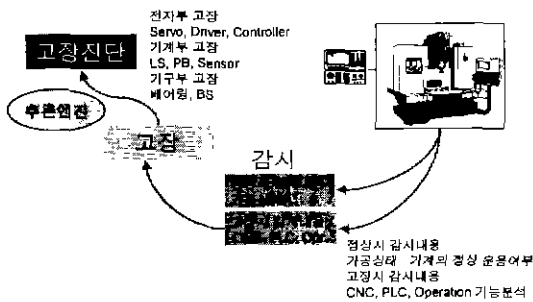


Fig. 2 원격 감시진단 정보체계

3. 원격 감시 진단 내용

원격 고장감시를 위해서는 감시의 범위를 정하는 것이 중요하다. CNC 공작기계에서 고장의 원인 추정은 크게 두 가지로 나누어 생각할 수 있다.

첫째, CNC 자체의 고장(CNC제조업체를 통해 제공)

둘째, Sequence Control상에서 발생하는고장

- ① 구조적 고장 (Structural fault)
- ② 조작상의 고장(Operational fault)
- ③ 조건상의 고장(Conditional fault)

두 번째의 PLC상에서 발생하는 고장 중에서 70%가 조작상의 고장이 차지하고 있으며, 일반적으로, 고장이 발생하여 가동이 정지되는 시간의 80%는 고장을 위치를 찾는데 그리고 20%가 고장을 수리하는데 소요된다. 따라서, 조작상의 고장을 집중적으로 진단하고 모니터링 할 필요가 있다.

본 연구에서는 CNC Fault, PMC Fault 외에 발생할 수 있는 고장의 원인 즉, CNC 동작기계가 작동이 불가능한 원인을 조작상의 고장(Operational Fault)이라 정의한다. 본 연구에서는 이를 다음과 같이 4가지로 정의했다.

- ① CS(Cycle Start) Disable
- ② EM(Emergency Stop)
- ③ MR(Machine Ready) Disable
- ④ MA(Machine Alarm)

4. 원격감시진단을 위한 진단 모델

NC 공작기계의 동작중에 발생하는 운전고장을 확인, 분류하기 위한 효과적인 방법으로 두가지 진단 모델을 제시한다.

- LDM(Logical Diagnosis Model) : PLC로 부터의 신호 사이에 논리 변환관계(Logical Transformation Relationship)에 따라 고장의 여부를 판단한다.
- SDM(Sequential Diagnosis Model) : 순차적 컨트롤 명령의 실행을 추적하고, 고장이 일어난 단계를 확인한다.

대체로 PLC는 다음과 같은 알고리즘으로 실행된다.

```
For (ever) {
    Read all PLC inputs;
    Evaluate the PLC Program;
    Set all PLC Output; }
```

PLC는 컨트롤러에 심겨져 있는 사용자 프로그램에 따라서 동작을 컨트롤 한다. 사용자 프로그램은 논리적(Logical), 순차적(Sequential) 동작을 포함한 일련의 동작을 정의한다. 고장이 발생하면 모든 센서와 액추에이터의 현재의 상태는 PLC 메모리의

입력 Array나 프래그 Signal에 저장된다.

4.1 LDM(Logical Diagnosis Model)

LDM은 기계를 구성하는 장치의 고장여부를 판단한다

4.1.1 LDM의 구축

LDM에서 LFC와 관련된 모든 변수들은 이진수의 형태로 기술된다 이러한 이진 변수는 입력 시그널, 출력 시그널, 프래그 시그널, 타이머 시그널, 카운터 시그널, 데이터 시그널과 같은 PLC의 모든 시그널을 포함한다. LDM은 LFC에 따른 이러한 변수들로부터 만들어진다. 상세한 알고리즘은 다음과 같다.

$S(x)$ 를 기계의 동작상태 시그널라고 가정하면, $S(x) = 1$ 은 $S(x)$ 와 관련된 동작이 On 되었다는 것을 의미하고, $S(x) = 0$ 은 $S(x)$ 와 관련된 동작이 Off 되었다는 것을 의미한다. $\{s(k)\}$ 의 모델 표현은 논리적으로는 "AND", " \cdot "로 표기되는 PLC 시그널의 조합으로 표시되고, $\phi\{s(k)\}$ 는 $\{s(k)\}$ 의 상태이다. 이렇게 되면,

$$\{s(k)\} = s_1 \cdot s_2 \cdots s_k$$

실제 문제로서, $S(x)$ 의 논리적 표현은 LFC에 따른 시그널의 분석에 의해서 주어진다. 따라서, $\phi_{ji}(\{s_{ki}\})$ j 번째 레벨에서 $S(x)$ 의 i 번째 항으로 정의한다면 첫 번째 레벨에서 $S(x)$ 의 분석의 결과는

$$S(x) = \phi_{11}(\{s_{k1}\}) + \phi_{12}(\{s_{k2}\}) + \dots \\ = \sum_i \phi_{1i}(\{s_{ki}\})$$

where, $\phi_{1i}(\{s_{ki}\})$ 는 $S(x) = 1$ 로 만들어주는 요소

이는 논리적으로 "AND" 인 PLC 시그널 또는 몇 개 시그널의 조합이다. 분해 할 수 없거나 분해 할 필요가 없는 입력 시그널 또는 프래그 시그널로써 표현되는 항을 제외한 다른 항은 보통 LFC에 따라서 분해될 수 있다. 이러한 항들의 분해는 두 번째 레벨에서의 $S(x)$ 의 분해이다. 다시 말해서,

$$\phi_{1i}(\{s_{ki}\}) = \phi_{21}(\{s_{k1}\}) + \phi_{22}(\{s_{k2}\}) + \dots \\ = \sum_j \phi_{2j}(\{s_{ki}\})$$

n 번째 레벨에서 일반적인 표현은 다음과 같다.

$$\phi_{(n-1)i}(\{s_{ki}\}) = \phi_{ni}(\{s_{k1}\}) + \phi_{ni}(\{s_{k2}\}) + \dots \\ = \sum_m \phi_{mi}(\{s_{ki}\})$$

지금까지, 모든 레벨에서 분해 표현을 더 높은 레벨로 치환함에 따라 다음과 같은 결과를 얻을 수

있다.

$$\phi_{ni}(\{s_{ki}\}) \Rightarrow \phi_{(n-1)i}(\{s_{ki}\}) \\ \phi_{(n-1)i}(\{s_{ki}\}) \Rightarrow \phi_{(n-2)i}(\{s_{ki}\}) \\ \vdots \\ \phi_{2i}(\{s_{ki}\}) \Rightarrow \phi_{1i}(\{s_{ki}\}) \\ \phi_{1i}(\{s_{ki}\}) \Rightarrow S(x)$$

끝으로, $S(x)$ 의 분해할 수 없고, 최소화된 논리적 표현을 얻을수 있다.

$$S(x) = \phi_1(\{s_{k1}\}) + \phi_2(\{s_{k2}\}) + \dots \\ = \sum_i \phi_i(\{s_{ki}\})$$

where, $\phi_i(\{s_{ki}\})$ 는 $S(x) = 1$ 로 만들어주는 요소이고 입력 시그널과 분해할 수 없는 프래그 시그널인 $\phi(\{s_{ki}\})$ 로 구성된다. $F(x)$ 를 기계의 고장상태 함수로 가정하면, $F(x) = 1$ 이면 고장이 일어난 것을 의미하고, $F(x) = 0$ 은 고장이 없는 상태를 나타낸다. 만약 $F(x)$ 와 $S(x)$ 가 같다면, $S(x) = 1$ 로 만드는 모든 고장 항이 결정될 수 있고 이것은 각각 $f_1(\{s_{k1}\})$, $f_2(\{s_{k2}\})$, ... 으로 표현된다. 이러한 항은 결국 기계의 논리적 고장 상태를 표현하는데 사용된다. 즉,

$$F(x) = f_1(\{s_{k1}\}) + f_2(\{s_{k2}\}) + \dots \\ = \sum_i f_i(\{s_{ki}\})$$

$F(x)$ 가 $S(x)$ 의 역(inverse) 상태이면 첫 번째 단계는 $S(x)$ 의 역의 논리적 표현을 끌어내야 할 것이다. 표현의 각 항은 기계 고장 원인의 결합된 패턴이다. 즉,

$$\overline{S(x)} = \overline{\sum_i \phi_i(\{s_{ki}\})} = \overline{f_1(\{s_{k1}\}) + f_2(\{s_{k2}\}) + \dots} = \sum_i \overline{f_i(\{s_{ki}\})}$$

따라서, 기계 고장상태에서 논리적 표현은 다음과 같이 얻어진다.

$$F(s) = \overline{S(x)} = \sum_i \overline{f_i(\{s_{ki}\})}$$

4.1.3 논리적 모델을 사용하는 진단 과정

논리 진단 모델에서 고장상태에서 논리적 표현의 각각의 항은 가능한 고장 시그널 패턴을 표현한다. 다음 스텝은 고장을 야기시키는 입력 시그널나 분해할 수 없는 프래그 시그널이 발견될때까지 모든 가능한 조합된 패턴을 분석하여 고장이 위치를 찾아내는 것이다. 상세한 진단 과정은 다음과 같다.

- $S(x)$ 의 고장상태를 PLC에서 현재 상태 시그널과 비교한다 : 같다면, 고장이 발생된 것을 의미한다.

- 고장상태에 대한 논리 방정식을 세운다.

$$F(x) = \sum_i f_i(\{s_{ki}\}) = 1$$

- $f_i(\{s_{ki}\}) = 1$ 이면 PLC에서 실제의 상태 값을 위의 방정식에 대입하여 계산한다
- $f_i(\{s_{ki}\}) = 1$ 항에 상응하는 조합된 패턴을 얻는다. 이 패턴은 정확한 고장의 원인을 보여준다.

4.2 SDM(Sequential Diagnosis Model)

LFC 기반 LDM은 정적 모델(Static Model)로서 동작상태의 동적변화를 기술할 수 없다. 즉, 일련의 동작들은 앞 동작들이 진행이 완료된 후에야 일어나게 된다. 첫째 동작이 완료되지 않은 상태에서는 두 번째 동작은 시작되지 않는다. 이는 수많은 논리적 연관성들이 존재한다는 것을 의미한다. SDM이라 불리는 SCP 기반 진단 모델의 기본원리는 입력신호로부터 야기되는 상태변화의 순서와 동일하다. 따라서 순차제어되는 기계들의 고장을 찾아내는데 효과적이다.

4.2.1 SDM의 구축

PLC로 컨트롤 되는 NC 공작기계의 순차제어는 시퀀서(sequencer)에 의해 수행된다. SCP 기반 SDM은 몇 가지 기계상태와 시간순서에 따른 상태변화로 구성되어 있다. 이것은 순차적인 기계 작동 상태 변화를 기술한다. 각 스텝에서의 동작은 단순히 현재 스텝에서의 컨트롤 명령에만 관계된 것이 아니라, 이전 스텝의 조건에도 관계된다. 현재 스텝은 이전 스텝이 종료되고 현재 컨트롤 명령이 전달된 후에 수행된다. 어떤 스텝이 종료되었는지 여부는 그 스텝 조건에 의해 결정된다. 따라서 SDM은 다음과 같이 구성될 수 있다

$C(t)$ 를 t 번째 스텝의 모든 스텝의 조건의 조합된 상태라고 가정한다. 각각의 조건이 보통 $f_i(\{s_{ki}\})$ 는 PLC 시그널이기 때문에 $c_1(t), c_2(t), \dots$ 로 기록하면,

$$C(t) = c_1(t) \cdot c_2(t) \cdots = \prod_j c_j(t)$$

$c_1(t) = 1$ 은 그 스텝의 조건을 만족하고 다음 스텝이 시작될 수 있다는 것을 가르킨다. $c_1(t) = 0$ 는 조건을 만족하지 못하였고, 실행 순서를 이행할 수 없다는 것을 나타낸다. 유사하게, 이전 스텝의 조건은 다음과 같이 표현된다.

$$C(t-1) = c_1(t-1) \cdot c_2(t-1) \cdots = \prod_j c_j(t-1)$$

위에서 언급한 것처럼, t 번째 스텝에서 고장은 컨트롤 명령어를 받아들이지 않기 때문이거나, 명령은 받아들였으나 이전의 실행 스텝이 끝나지 않았음을 의미한다는 것을 알 수 있다.

4.2.2 순차 모델을 사용한 진단과정

고장이 발견되면 SDM을 사용하여 진단을 수행한다. 첫 번째로 PLC의 모든 시그널의 현재의 값이 읽힐 것이고, 모든 스텝의 시동 조건이 컨트롤 시퀀스와 관련하여 이 값들에 따라서 분석되어진다. 이렇게 함으로써 고장이 발견되는 스텝을 결정할 수 있게 된다. 정확한 고장의 위치를 알아낼때까지 이러한 컨트롤 명령과 고장 스텝의 조건이 체크되어진다.

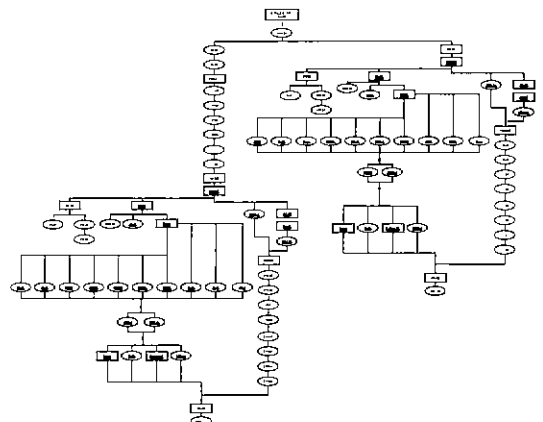
4.3 적용 예제

적용성을 평가하기 위해, TurboTek의 얼굴 조각기 I-1 가공기에 사용된 HX 시리즈 PLC를 대상으로 하였다. 3장에서 정의한 고장내용은 크게 2가지로 분류할 수 있다. 고장내용을 시그널 상태를 확인하여 체크가 가능한 것이 있고, 그렇지 못한 것이 있다. 시그널 상태를 통해 고장상태를 확인 가능한 고장으로는 ES, MR, MA가 있으며 CS는 논리적 조건을 통해 확인이 가능하다.

4.3.1 LDM의 예

CS의 고장을 원격으로 감시하기 위해서는 CS 버튼을 작동시켰을 때 CS에 대한 LDM 정의 함수가 1인지 0인지를 판단해야 한다

- ① Cycle Start
Logical Tree:



가장 고장 빈도가 높은 조작상의 고장을 대상으로 했으며, 진단모델로는 LDM, SDM을 제시했으며, 데이터 베이스를 구축하기 위한 효율적인 접근방법으로는 IEC1131-3을 제안했다. 이를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 동작기계 원격감시 및 진단을 위한 고장 정의
- 2) 원격감시 및 고장진단을 위한 진단 모델 설계
- 3) PLC 정보를 이용한 데이터 베이스 구축 방법론 설계

이러한 모델을 이용해 원격으로 고장을 감시하고 진단하기 위해, PLC로부터 고장 트리를 자동으로 구성하는 연구와 데이터 베이스를 구축하는 연구를 수행중에 있다.

참고문헌

1. Houten, F and Kimura, F., "The virtual maintenance system: a computer-based support tool for robust design, product monitoring, fault diagnosis and maintenance planning," *Annals of the CIRP*, Vol. 49, pp.91-94. 2000
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. 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. Shalley Powers, *Developing ASP Components*, O'Reilly, 1999.
5. R.W.Lewis, "Programming Industrial Control Systems using IEC1131-3 Revised edition", *The Institution of Electrical Engineers*, 1998.
6. 김선호, 박경택, 이태역, "개방형 구조를 갖는 CNC의 연구 동향," *제이·자동화·시스템공학* 회지, 제3권, 제5호, pp. 17-30, 1997.
7. 김선호, 김동훈, 박경택, "생산장비 객체화와 개방형 가공 셀 구축 연구(I) -생산장비 객체화-," *한국정밀공학회지*, 제16권 제5호, pp. 91-97, 1999.
8. 김선호, 김동훈 "생산장비의 Client/Server화 연구," *대한산업공학지*, 제12권 제2호. pp. 329-336, 1999.
9. 김선호, 이후상, "차세대 제조 시스템(1)," *한국정밀공학회지*, 제17권 제1호, pp 11-20, 2000.
10. 김선호, 이후상, "차세대 제조 시스템(2)," *한국정밀공학회지*, 제17권 제2호, pp.11-18, 2000. 2
11. 김선호, 김동훈, "STEP-NC를 기반으로 하는 생산 시스템," *한국정밀공학회지*, 제17권 제5호, pp. 41-50, 2000
12. 김선호, 김동훈, 박경택, "생산장비 객체화와 개방형 가공 셀 구축 연구(II) -개방형 가공 셀 구축-," *한국정밀공학회지* 제17권 제10호, 2000.