

공작기계의 지능형 고장진단 및 원격 서비스 모델

김선호, 김동훈(한국기계연구원), 이은애, 한기상, 김주한(터보테크(주))

Model of Remote Service and Fault Diagnosis for CNC Machine Tool

S. H. Kim, D. H. KIM(Automation Eng. Dept., KIMM), E. A. Lee, G. S. Han,
J. H. Kim(TurboTek Ltd.)

ABSTRACT

The major faults of CNC machine tool is operational error which is charged over 70%. This paper describes model of remote service and fault diagnosis for CNC machine tool with open architecture controller. For intelligent fault diagnosis, new model is proposed. In this paper, the three major operational faults, emergency stop error, cycle start disable and machine ready disable, are defined. Two diagnostic models based on the ladder diagram, switching function model, step switching function model, are proposed. For internet based remote service, suitable environment is proposed and implemented with web server and client.

Key Words : Fault diagnosis, Remote service, Switching function model, Step switching function model

1. 서론

CNC 공작기계의 고장은 노화에 따른 기능저하가 원인이 되는 고장과 운용상 발생하는 고장으로 크게 나눌 수 있다. 전자는 주로 기계 구조부, 이송부 등에서 나타나며 이는 정도 예측이 가능한 반면, 후자는 구동부, 센서류, 입력 스위치 등의 요소에서 발생하며 예측이 어렵다는 특징을 갖는다. 따라서 고장의 주된 관심분야는 후자가 될 수 있다.

고장을 정확하고 효율적으로 진단하기 위한 많은 연구들이 있어 왔다. CNC와 PLC에 의해 제어되는 기계의 고장을 진단하기 위한 연구로는 고장을 효율적으로 진단하기 위한 진단 모델에 대한 연구^(1,2), 래더 다이어그램의 해석기 개발을 통해 제어 시스템의 고장을 효과적으로 검출하기 위한 연구⁽³⁾, 다수의 센서 신호를 수집하고 지식기반으로 고장을 진단하기 위한 연구⁽⁴⁾들이 이루어지고 있다. 최근에는 이러한 서비스를 효과적으로 CNC에 실장하기 위해, 개방형 CNC를 적용하는 공작기계가 급격히 증가하고 있다. 개방형 CNC를 이용한 공작기계의 기능과 성능을 효율적으로 업 그레이드가 가능하며 네트워크를 통해 실시간, 연속적인 감사가 가능하

게 된다.^(4,5) 개방형 CNC를 갖는 공작기계가 늘어나면서 공작기계, CNC 메이커를 중심으로 원격 서비스가 보편화되고 있다. 그 예로서 Citizen에서는 FA SOHO Package를 이용해 생산관리 측면에서의 Trouble 해결 서비스를 하고 있으며, MAZAK에서는 Cyber Factory를 이용해 Maintenance, 가공 프로그램 상담 서비스를 하고 있으며, Mori Seiki는 Maintenance, 원격진단 서비스를 하고 있으며, FANUC에서는 Remote System을 이용해 원격진단 및 제어 서비스를 하고 있다. 그러나 대부분이 인터넷 환경이 아닌 클라이언트-서버 환경에 의해 기술지원을 하고 있는 것이 특징이다.⁽⁵⁾

본 연구에서는 개방형 CNC를 가지는 공작기계의 고장을 지능적으로 진단하고, 공작기계의 운용 상태 및 고장을 인터넷 기반으로 감사가 가능한 시스템을 개발하기 위한 진단 모델 및 원격 서비스 운용 체계를 제시한다. 진단대상은 고장의 70%를 차지하는 운영상의 고장을 대상으로 하였다. 본 연구에서 대상으로 한 공작기계는 (주)터보테크에서 생산중인 조각기이며 CNC는 Windows 98을 기반으로 하는 개방형 CNC인 HX 모델을 기반으로 하였다.

2. 새로운 고장진단 체계 제안

일반적인 CNC 공작기계의 제조공정을 Fig 1 (a)에 나타내었다. 공작기계 메이커에서는 적합한 CNC를 구입하여 CNC와 PLC를 이용해 운동제어, 순차제어가 가능한 공작기계를 완성시킨다. 이러한 공작기계에서 고장이 발생했을 때는 A/S 기술자가 현장을 방문하여, 고장원인을 진단하게 된다. 고장원인의 진단은 우선적으로 PLC 레더 다이어그램(Ladder Diagram)을 활용하게 된다. 사용가능한 레더 다이어그램은 고정 어드레스와 독자 어드레스가 있다. 독자 어드레스(Address)를 이용해 순차제어 시스템을 제작한 경우에는 고장진단에 많은 경험과 시간을 필요로 한다

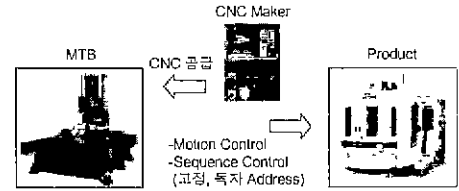
본 연구에서는 지능적으로 고장을 진단하고 원격 서비스를 제공하기 위해 Fig. 1 (b)과 같은 고장진단 체계를 제안한다. ①, ②는 종래의 제조공정과 동일하다. 공작기계 구성에 적용된 PLC 데이터는 고장진단을 효과적으로 하기 위해, 데이터 베이스(Database)를 구축한다. 구성된 DB는 CNC 메이커에 기계구성규격을 등록하여 CNC 공급자, 공작기계 메이커, 사용자 등 3 자 간에 공통 DB를 구축한다. 공작기계가 고장이 발생했을 때 구성된 DB를 이용해 고장항목, 고장요소를 진단하게 된다

이를 위해 PC를 기반으로 하는 CNC는 Fig 2와 같은 구조를 갖는 기능구성이 필요하다. NC 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)이라 한다 FDS는 개방형 CNC에 내장되어 고장이 발생했을 때 고장을 찾아주는 기능을 한다. RSS는 원격 서비스를 위해 공작기계의 가동상태, 고장진단상태 등을 서비스하는 역할을 하게 된다

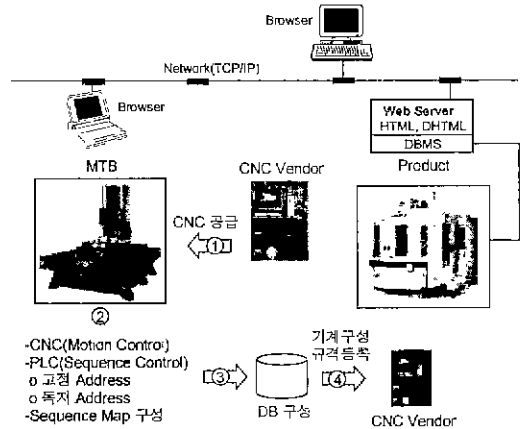
3. 고장의 분류 및 진단절차

공작기계의 고장은 노화에 의한 기능저하와 조작상의 고장에 기인하는 운영상 발생하는 고장으로 분류가 가능하다. 본 연구에서는 운영상 발생하는 고장만을 다루고 있으며 이는 크게 두 가지로 나눌 수 있다

- 첫째, CNC 고장
- 둘째, 운영상 발생하는 고장



(a) Conventional manufacturing process



(b) Proposed manufacturing process
Fig. 1 Manufacturing process

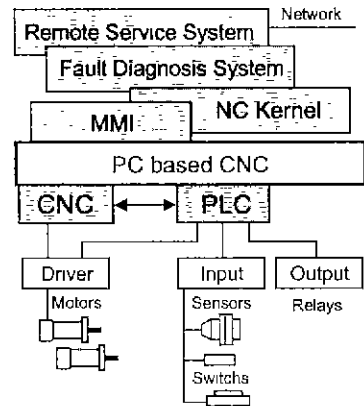


Fig. 2 Diagram of fault diagnosis

운영상 발생하는 고장은 다음 세가지 경우로 나눌 수 있다.

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

운영상 발생하는 고장은 PLC의 순차제어 논리를 통해 진단이 가능하며 PLC상에서 발생하는 고장 중에서 70%가 조작상의 고장이 원인이 되고 있다. 고장이 발생하여 가동이 정지되는 시간의 80%는 고장을 위치를 찾는데 그리고 20%가 고장을 수리하는데 소요된다⁽¹⁾ 따라서, 조작상의 고장을 효과적으로 정확하게 빨리 진단하는 것이 고장진단에 있어 가장 필요한 기술이라 할 수 있다.

본 연구에서는 CNC 고장 외에 발생할 수 있는 고장의 원인 즉, CNC 동작기계가 작동이 불가능한 원인을 조작상의 고장(Operational Fault)이라 정의했으며, 본 연구에서는 이를 다음과 같이 3가지로 정의했다

- ① ESE(Emergency Stop Error)
- ② CSD(Cycle Start Disable)
- ③ MRD(Machine Ready Disable)

이렇게 정의한 고장을 진단하는 절차를 Fig. 3에 나타내었다. 동작기계가 고장이 발생하여 조작이 불가능한 상태가 되면 고장을 진단하게 된다. 고장 진단은 CNC 고장부터 진단하게 되는데 CNC로 부터 고장상태를 전달받게 된다. CNC 고장이 아닌 경우, PLC의 코멘트를 확인하게 된다. 이는 동작기계 메이커에서 특정기능에 대한 고장을 정리한것으로서 이를 확인하게 된다. 이러한 고장이 아닌 경우, 운영상 발생하는 고장으로서 FDS를 통해 고장을 진단하게 된다. FDS에서는 SF 모델을 통해 고장이 발생한 항목을 찾게된다. 항목을 찾은 후에는 SSF 모델을 통해 고장이 발생한 스텝을 찾게 된다. 고장이 발생한 스텝을 찾은 후에는 PLC 입출력 DB 베이스를 이용해 고장이 발생한 요소를 찾게된다

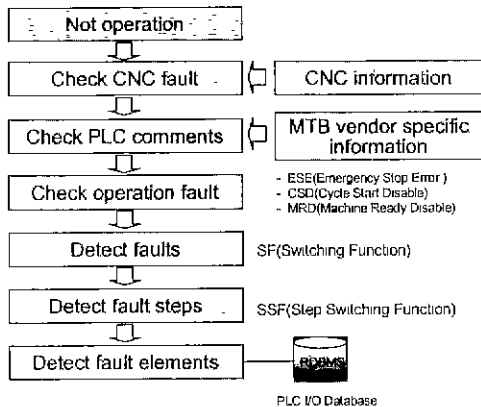


Fig. 3 Step flow of fault diagnosis

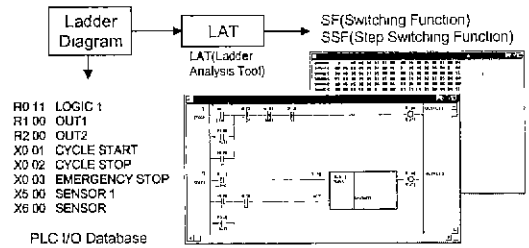


Fig. 4 Technical elements of fault diagnosis

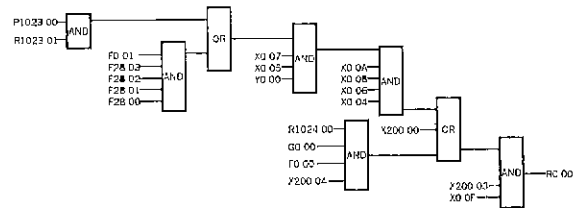


Fig. 5 Fault tree for MRD

4. 지능형 고장진단을 위한 모델

CNC 동작기계의 운전중에 발생하는 ESE, CSD, MRD를 검출하기 위해서는 동작기계의 순차제어를 수행하는 레더 다이어그램을 기반으로 해야 한다. 그러나 레더 다이어그램으로부터 고장을 검출하기 위해서는 많은 경험을 가진 보수 기술자를 필요로 한다. 본 연구에서는 고장을 검출하기 위한 효과적인 방법으로 두가지 진단 모델 SS, SSF를 제시한다.

4.1 LAT(Ladder Analysis Tool)

PLC 프로그램은 IL(Instruction List), ST(Structured Text), FBD(Function Block Diagram), LD(Ladder Diagram) 등 몇가지 표현방법이 있는데 LD가 가장 일반적으로 사용이 되고 있다 그러나 LD는 그래픽 표현에는 유리하지만 상관관계의 논리적 표현에는 불편함이 많다 LAT는 동작기계 메이커에서 작성한 순차제어 LD로부터 ESE, CSD, MRD와 같은 고장 원인을 찾기 위한 분석도구이다.

4.2 SF(Switching Function) 모델

동작기계의 고장을 진단하기 위해, 고장항목으로 정의한 원인을 논리적 모델로 표현한 것이다 이를 통해 고장항목을 효과적으로 찾는다 여기서 논리란 각 신호(Signal)에 대한 AND, OR, NOT 등으로 구성

된다. SF는 고장을 진단하기 위한 정적인 모델로서 이를 만족시키는 조건들은 많은 경우가 있을 수 있다. 아래 식은 Fig. 5의 MRD에 대한 SF를 정의한 것이다

$$R0.00 = (((R1023.00 \cdot R1023.01) + (F0.01 \cdot F28.03 \cdot F28.02 \cdot F28.01 \cdot F28.00)) \cdot X0.07 \cdot X0.05 \cdot Y0.00 \cdot X0.0A \cdot X0.08 \cdot X0.06 \cdot X0.04) + X200.00 + (R1024.00 \cdot G0.00 \cdot F0.00 \cdot X200.04) \cdot X200.03 \cdot X0.0F$$

4.3 SSF(Step Switching Function) 모델

SF는 고장항목에 대한 정적모델로서 동작상태의 동적변화를 표현할 수 없다. 고장이 발생한 원인을 만족시키는 조건들을 단계적으로 표현하여 고장이 발생한 스텝을 찾기 위한 모델로서 SSF를 이용한다. SSF는 동작중 고장이 발생한 스텝을 효율적으로 찾을 수 있는 동적모델이다. 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. SSF라 불리우는 진단모델의 기본원리는 입력신호로부터 야기되는 상태 변화의 순서와 동일하다. 따라서 순차 제어되는 기계들의 고장을 찾아내는데 효과적이다

PLC로 제어되는 CNC 공작기계의 순차제어는 시퀀서(sequencer)에 의해 수행된다. SSF는 몇 가지 기계상태와 시간순서에 따른 상태변화로 구성되어 있다. 이것은 순차적인 기계작동 상태변화를 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.

$C(t)$ 를 t 번째 스텝의 모든 스텝의 조건의 조합된 상태라고 가정하고, 각각의 스텝을 $c_1(t)$, $c_2(t)$, .. 라 하면,

$$C(t) = c_1(t) \cdot c_2(t) \cdot c_3(t) \cdots = \prod c_i(t)$$

$c_1(t) = 1$ 은 그 스텝의 조건을 만족하고 다음 스텝이 시작될 수 있다는 것을 의미한다. $c_1(t) = 0$ 는 그 스텝조건을 만족하지 못하였고, 다음 스텝을 실행할 수 없다는 것을 나타낸다. Fig 5의 MRD는 다음과 같은 8개의 스텝으로 정의가 가능하다

$$SSF_{18} = R1023.00 \cdot R1023.01$$

$$SSF_{28} = F0.01 \cdot F28.03 \cdot F28.02 \cdot F28.01 \cdot F28.00$$

$$SSF_{38} = SSF_{18} + SSF_{28}$$

$$SSF_{48} = SSF_{38} \cdot X0.07 \cdot X0.05 \cdot Y0.00$$

$$SSF_{58} = SSF_{48} \cdot X0.0A \cdot X0.08 \cdot X0.06 \cdot X0.04$$

$$SSF_{68} = R1024.00 \cdot G0.00 \cdot F0.00 \cdot X200.04$$

$$SSF_{78} = SSF_{58} + SSF_{68} + X200.00$$

$$SSF_{88} = SSF_{78} \cdot X200.03 \cdot X0.0F = R0.00$$

MRD이 발생한 경우, 그 고장의 원인을 추적하기 위해 SSF 모델을 적용하게 되는데 Fault Tree를 이용하여 고장이 발생한 스텝을 추적하게 된다.

$C(t)$ 를 t 번째 스텝의 모든 조건이 조합된 상태라고 가정한다. 스텝 3을 현재의 스텝이라고 가정하면, 스텝 3의 만족조건은 스텝 4가 1이 되는 상태이다. 스텝 4로부터 현재의 동작 SB3의 만족조건은 다음과 같이 표현 가능하다.

$$C(t-1) = SSF_{38} \cdot X0.07 \cdot X0.05 \cdot Y0.00$$

이것이 만족되면 스텝 3의 실행조건이 만족된다.

$$C(t-1) = SSF_{18} + SSF_{28}$$

이러한 스텝 상관관계에 의해 고장이 발생한 스텝을 찾게된다.

4.4 Database

DB베이스는 고장이 발생한 스텝에서, 고장이 발생한 요소를 찾는데 사용된다. Table 1은 Fig. 5 MRD에 대한 요소를 DB로 정리한 것이다.

Table 1 Database for MRD

Address	Relay Comment
X0.07	S2 Alarm
X0.05	S1 Alarm
X0.0A	Z2 Over Travel Limit SW
X0.08	Z1 Over Travel Limit SW
X0.06	Y Over Travel Limit SW
X0.04	X Over Travel Limit SW
X200.00	Machine Ready
X200.03	E Stop Push Button
X200.04	OT Release
X0.0F	E Stop
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

5. 원격 서비스 모델 및 실험

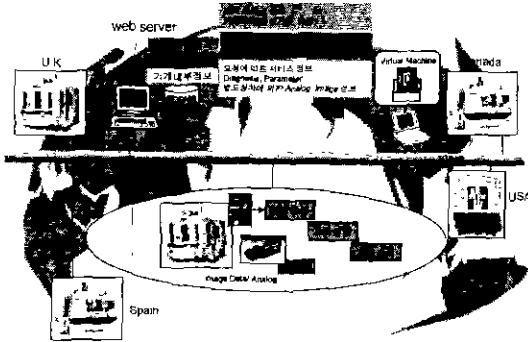


Fig. 6 REMOND(REmote MONitring and Diagnosis)system

공작기계 원격 상태감시 및 원격 서비스 체계를 Fig 6에 나타내었다. 서비스는 크게 3가지로 나뉘어 가동상태감시, 고장이력관리, 기계내부정보 등이 서비스 된다. 가동상태 감지정보는 상시 서비스 정보로서 정상가동과 고장내역을 서비스하게 된다. 고장이력관리는 고장 이벤트가 발생할때마다 서비스하게 되는데 고장시간, 고장내역, 고장부위, 복구정보를 서비스하게 된다. 기계내부정보는 CNC에서 FDS를 통해 고장진단이 불가능한 경우를 대비해 CNC의 진단정보나 파라미터 정보를 제공하게 된다.

원격 서비스를 구현하기 위한 환경을 Fig 7에 나타내었다. 환경은 웹 서버, 원격지 공작기계, 서비스를 요구하는 클라이언트 등 세 부분으로 나눌 수 있다.

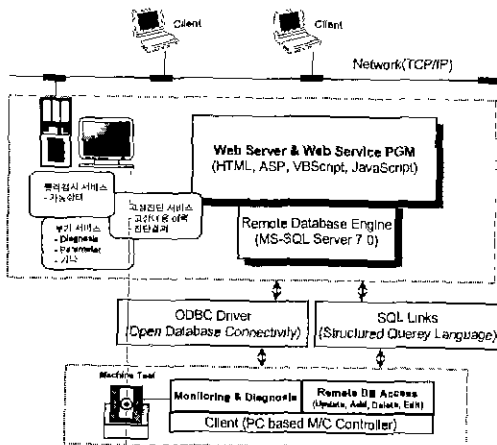


Fig. 7 Environment for remote service

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 상태정보와 진단정보를 전송, 수정, 삭제 등의 작업을 한다. 데이터의 실질적인 처리는 DB 핸들링을 위한 표준 언어인 SQL(Structured Query Language)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. 8은 클라이언트가 웹상의 사용자 인터페이스를 통해 특정 공작기계에 대한 원격 서비스를 요청한 결과를 보여준다. 그림은 M01PS0004에 대한 상태정보와 고장진단정보를 제공해 주고 있다.

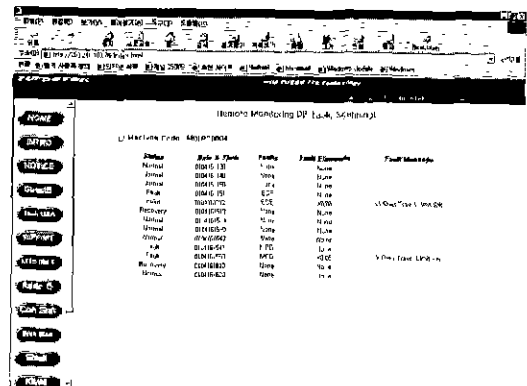


Fig. 8 Remote service for client request

6. 결 론

본 연구에서는 개방형 CNC를 가지는 공작기계에서 고장을 지능적으로 진단하고 이를 인터넷을 기반으로 원격으로 서비스할 수 있는 시스템을 개발하기 위한 진단 모델 및 원격 서비스 모델을 제시하고자 했다. 고장으로는 CNC 고장 및 운영상 발생할 수 있는 3가지 고장을 대상으로 했다. 본 연구를 통해 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 개방형 CNC를 갖는 공작기계에 적합한 고장진단 체계 제안했다.
- 2) 지능형 고장진단을 위한 진단체계를 제안하고 이를 위한 두가지 진단 모델 제안했다.
- 3) 인터넷을 기반으로하는 원격 서비스 모델 제안하고 이를 구축했다.

향후 연구내용으로는 LAT 시스템 개발과 이를 CNC에 실장하는 연구를 추진중이다.

참고문헌

- 1 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.
2. 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.
3. 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.
4. Zhou, Z. D., Chen, Y. P., Fuh, J. Y. H., Nee, A. Y. C., "Integrated condition monitoring and diagnosis for modern manufacturing systems," Annals of the CIRP, Vol 49, pp.387-390, 2000
4. 김선호, 김동훈, 박경택, "생산장비 객체화와 개방형 가공 셀 구축 연구(I) -생산장비 객체화-," 한국정밀공학회지, 제16권 제5호, pp.91-97, 1999.
5. 김선호, 김동훈, 박경택, "생산장비 객체화와 개방형 가공 셀 구축 연구(II) -개방형 가공 셀 구축-," 한국정밀공학회지 제17권 제10호, pp.41-48, 2000

6 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.