

개방형 컨트롤러를 갖는 공작기계에 적합한 진단 및 신호점검사례

김동훈*, 송준엽+, 김경돈**, 김찬봉**, 김선호***, 고광식****

A Case Study on Diagnosis and Checking for Machine-Tools with an OAC

D. H. Kim*, J. Y. Song+, K. D. Kim**, C. B. Kim**, S. H. Kim***, K. S. Koh****

Abstract

The conventional computerized numerical controller (CNC) of machine tools has been increasingly replaced by a PC-based open architecture CNC (OAC) which is independent of the CNC vendor. The OAC and machine tools with OAC led to the convenient environment where it is possible to implement user-defined application programs efficiently within CNC. This paper proposes a method of operational fault cause diagnosis which is based on the status of programmable logic controller (PLC) in machine tools with OAC. The operational fault is defined as a disability state occurring during normal operation of machine tools. The faults are occupied by over 70% of all faults and are also unpredictable as most of them occur without any warning. Two diagnosis models, the switching function (SF) and the step switching function (SSF), are proposed in order to diagnose the fault cause quickly and exactly. The cause of an occurring fault is logically diagnosed through a fault diagnosis system (FDS) using the diagnosis models. A suitable interface environment between CNC and developed application modules is constructed in order to implement the diagnostic functions in the CNC domain. The diagnosed results were displayed on a CNC monitor for machine operators and provided to a remote site through a web browser. The result of this research could be a model of the fault cause diagnosis and the remote monitoring for machine tools with OAC.

Key Words : CNC(Computerized Numerical Controller), OAC(Open Architecture Controller), Remote Monitoring, Fault Diagnos

1. 서론

예전에는 공작기계에 주로 사용된 폐쇄형 컨트롤러의 제한성으로 공작기계를 원격으로 감시하는데 어려움이 많았다. 메이커에 종속된 폐쇄형 타입으로 별도의 사용자 기능을 실장하기는 불가능하였다. 반면, 최근 들어서 IT기술의 보급화로 CNC 제어가 pc를 기반으로한 개방형 타입으로 환경이 바뀌면서 개방형 CNC를 적용한 공작기계가 증가되고있다. 개방형 CNC를 이용한 공작기계의 기능과 성능을 효율적으로 업 그레이드가 가능하며 네트워크를 통해 실시간 감시가 가능한 환경을 제공한다[1]. 최근, 원격 서비스가 보편화되고 있는 추세며, 그 예가 Mori Seiki와 FANUC같은 공작기계업체에서 "Factory Windows"나 "Remote System" 을 이용해 원격 서비스를 하고 있다. 그러나 대부분 인터넷 환경이 아닌 클

라이언트-서버 환경에 의해 로컬 영역에서의 기초 기술지원하는 것이 특징이다[2]

본 논문에서는 개방형 CNC 제어를 갖는 공작기계에 고장진단 기능을 실장하고 결과를 웹을 통하여 모니터링하는 공작기계의 웹기반 원격 글로벌 서비스를 기술하고자 한다. 서비스를 위한 내용인 공작기계 고장을 효율적으로 진단하기위해서 두가지 진단 모델을 제안하였고 고장진단 기능은 CNC의 내부기능으로 실장하는 형태를 가진다. 이는 원격 감시진단에서 발생할 수 있는 통신 트래블이나 온라인 대기 시간을 없애기 위한 목적이다. 원격 서비스를 위해서 인터넷을 기반으로 하는 이벤트 발생시 서비스, 요청시 서비스 등의 체계를 제시하고 실험결과를 제시한다. 고장진단은 고장의 70%를 차지하는 운용상의 고장을 대상으로 했다. 대상으로 한 공작기계의 CNC는 윈도즈 NT(Windows NT)를 기반으로

* 주저자. 한국기계연구원 (kdh680@kimm.re.kr)

+ 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부

++ 터보테크(주) 기술연구소

+++ 동의대학교 메카트로닉스공학과

++++ 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부

로 하며[3] 개발된 기술은 특별히 제작된 3축 밀링머신을 이용해 그 운용성과 성능을 테스트하였다.

2. 개방형 컨트롤러를 갖는 공작기계의 구조

개방형 CNC는 Fig. 1과 같은 기능구성이 필요하다. NC 커널(Kernel), MMI, CNC, PLC(Programmable Logic Controller)는 일반적인 NC와 동일하지만, 응용 프로그램의 실장이 용이한 구조를 갖는 것이 특징이다. 지능형 고장진단 및 웹 기반의 원격 서비스를 위해서는 이러한 기본기능에 두 가지의 부가기능을 필요로 하는데 그것을 FDS(Fault Diagnosis System), RSS(Remote Service System)라 정의한다. FDS는 개방형 CNC에 내장되어 고장이 발생했을 때 고장이 발생한 요소를 찾아주는 기능을 수행한다. RSS는 원격 서비스를 위해 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

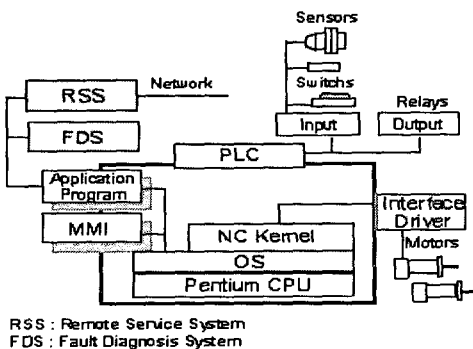


Fig. 1 Function diagram of OAC for machine tool

3. 고장의 원인 진단 및 원격서비스 사례

전체 고장의 70%를 차지하는 운용상의 고장을 대상으로 선행연구 결과에서 제시된 고장 진단시스템[4~5]을 개방형 CNC에 실장하고 이를 통해 진단된 결과 및 상태정보를 웹을 이용해 원격 서비스 받을 수 있도록 원격서비스시스템(RSS)을 구축한 것을 소개한다

3.1 FDS(Fault Diagnosis System)

공작기계의 고장은 구성부품의 노화에 의한 기능저하와 운용상 발생하는 고장으로 분류가 가능하다. 이 중 전자와 달리 후자는 예측할 수 없이 갑자기 발생하는 고장이기에 주된 관심 분야로 볼 수 있다[6]. PLC와 CNC에서 순차제어되는 공작기계가 작동이 불가능한 원인을 운용/조작상의 고장(Operational Fault)이라 정의했으며, 다음과 같이 3가지로 분류했다.

- 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

고장진단은 여러가지 접근 방법이 있지만, PLC를 중심으로 Fig. 2처럼 PLC와 CNC입출력 신호가 연관되어 있으므로 일반적으로 PLC 래더 다이어그램을 기반으로 고장원인을 찾는 것이 효과적이며[7], 선행 연구에서부터 개발 및 보완되어 온 FDS 통합하면 알고리즘에 의해 자동으로 고장원인 신호가 진단된다[4~5].

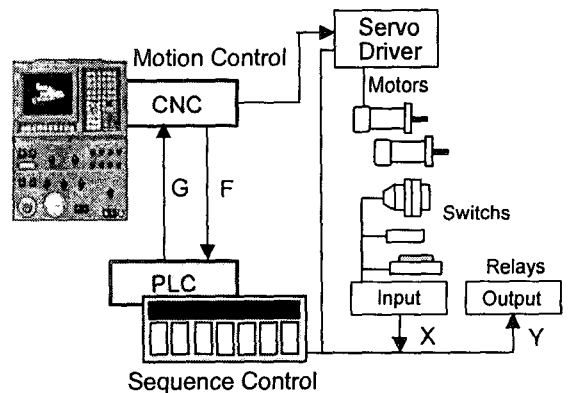


Fig. 2 Interconnected Signals of PLC and CNC

FDS는 효과적인 진단을 위해서 입출력 신호간에 논리적 관계를 가지는 2가지 진단모델을 사용하였다. 진단 모델을 만드는 주된 이유로는 진단 방법에 대한 일반성을 부여하기 위해

서이다[4,6].

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.

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

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 $C1(t), C2(t), C3(t)$ 가 순차적으로 만족을 해야한다. 여기서 각 스텝이 만족해야할 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 Condition인 동적인 모델이다.

SF와 SSF 모델을 프로그램적으로 생성해 주는 FDS를 이용해 대상 머신의 제어기내 PLC의 ESE항목에 대해 SF 모델을 구한 예는 식(2)와 같다.

SF(ESE) =

$$\begin{aligned} & (((-X0.00)+(-F0.00)+((((((-X0.06)+(((X0.1C)+(-X0.1D)+ \\ & (X0.1E))*(((X0.1C)+X0.1D)+(-X0.1E))*(((X0.1C) \\ & +(X0.1D)+(-X0.1E))*((-X0.1C)+(-X0.1D)+X0.1E)))))) \\ &)*(-X1.07)+(-X1.09)+(-X1.0A)+(-X1.0C)+(-X1.0D)+(-X1.0F)))) \quad (2) \end{aligned}$$

식(2)에서 '+' 연산자는 OR, '*' 연산자는 AND 논리를 의미하며, 여러개의 OR 조건과 AND 조건으로 연관되어 있다. 이를 수식을 감싸는 괄호를 기준으로 최소한의 단위 그룹으로 나누면서 여러 단계의 SSF를 구한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 즉, G8.02에 대한 SF 리스트에서 스텝별로 총 11개의 SSF가 생성되었으며, 각 신호들은OR와 AND 조건으로 구성되어 있다. 그중 최종 스텝인 S11부터 조건을 만족하는지 역추적하

며 고장신호를 찾는다.

Fig. 4에 운용상의 고장 중, CSD 즉, Cycle start가 안 되는 원인을 진단한 결과인 원인 발생 신호와 관련 이미지 정보를 나타내었다.

3.2 RSS(Remote Service System)

RSS는 FDS에 의해 진단된 고장 진단결과 등의 원격서비스를 지원해주는 기능이다. RSS는 데이터 인터페이스를 위한 RSSI(Remote Service System Interface) 모듈과 웹서비스를 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. CNC에서 원격지에 있는 데이터베이스(DataBase)에 컨넥션하는 방법으로는 표준화된 규약인 ODBC (Open Database Connectivity)를 이용한다. 데이터 처리는 DB 핸들링을 위한

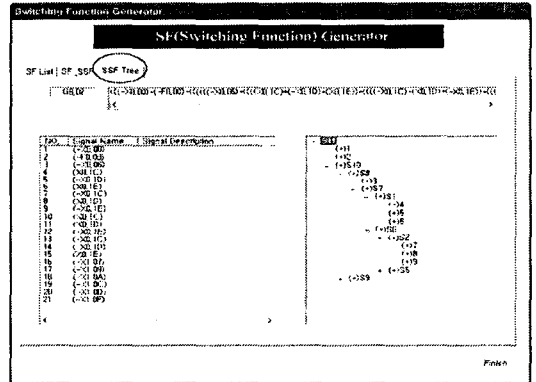


Fig. 3 SF and SSF tree

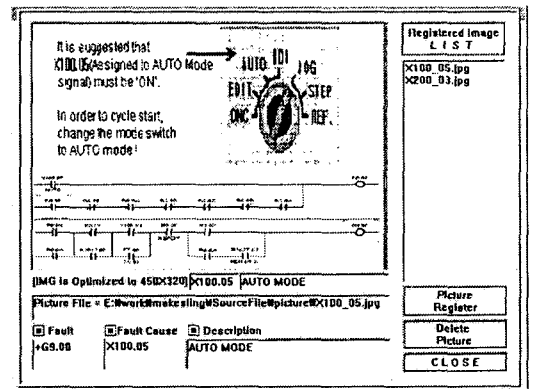


Fig. 4 Diagnosing the cause of CSD(G9.00)

표준 언어인 SQL(Structured Query Language)의 질의 Query 문을 통하여 웹 서버 데이터베이스에 감시 및 진단 결과를 생성한다. RSS의 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 각자의 클라이언트에게 응답한다. 이러한 과정을 통해 RSS는 공작기계의 가동상태, 고장진단상태 등을 서비스하는 역할을 하게 된다.

CNC 공유메모리를 오픈한다음, PLC의 입출력 신호인 X, Y, G, F 등의 맵 데이터를 읽어온다. 추출된 실제 데이터와 SF의 수식 값을 이용해 FDS 진단이 수행된 후, 결과인 고장원인 정보의 웹을 통한 원격 서비스 지원을 위해 필요한 기능이 바로

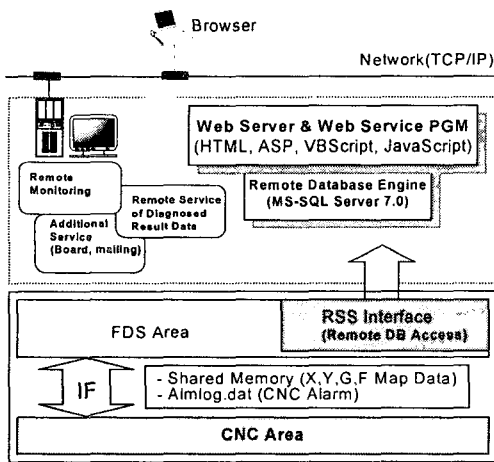


Fig. 5 Interface between RSS and FDS on CNC

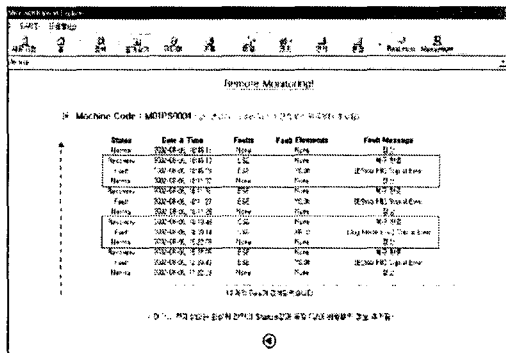


Fig. 6 Web Service application for monitoring fault

RSSI이다(Fig. 5 참조). 이것은 웹 서버에 있는 원격지 DB에 데이터를 교환하는 통신용 인터페이스 모듈로써 FDS 프로그램 내에 실장된다.

원격지의 인터넷에 연결된 임의의 클라이언트에서는 웹을 통해 공작기계의 현재상태 및 고장발생시 FDS에서 생성한 고장진단 결과를 웹서비스 받을 수 있다. 이러한 웹 서비스 어플리케이션 운영 사례를 Fig. 6에 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. 예를 들면, ESE 관련 고장이 발생하였을 때, Fig. 6의 박스 표시 영역처럼 시간 정보와 함께 현재 상태 정보로 'Fault'가 나타나고, 고장(Fault) 정보로는 'ESE', 고장 원인이 되는 신호를 진단한 결과는 PLC 입력신호인 'X0.00'이라는 것이 고장요소 항목으로 제공되었다. 이는 ESE가 발생한 것을 FDS가 감지하고 원인을 진단해 본 결과, X0.00이라는 EStop PB 신호가 직접적인 원인인 것을 알아냈다는 것이다. 또한, CSD(Cycle Start Disable) 고장이 발생했을 경우, 진단 결과가 'X0.1D'이며, 이는 Jog Mode로 스위치가 되어있는 것이 원인이라는 것을 알 수 있었다.

4. 이기종 CNC 공작기계의 인터넷기반 입출력 신호점검 사례

이기종 타입의 제어기를 가진 공작기계의 원격점검을 위한 전체적인 환경 구성을 Fig. 7에 제시하였다. CAC(Closed Architecture Controller) Machine은 Embedded Device Server와 I/O Interface 방식으로 연결되어 Digital Data를 점검하도록 구성되었으면 OAC(Open Architecture Controller) Machine은 DAU와 연결되어 Analog Data와 Digital Data를 점검하도록 환경 구성이 이루어졌다. 이러한 환경 구축을 통하여 이기종 공작기체인 CAC와 OAC Machine에 대하여 원격점검을 위한 웹 서비스를 사례를 Fig. 8에 나타내었다. CAC의 경우, 자바 애플릿을 이용해 구성한 스크립트의 웹 운영화면 예를 나타내었다.

자바 애플릿 코드에서 지정된 I/O 번지를 읽고 쓰는 방식이다. Cycle Start Command 버튼을 이용하여 머신을 가동했을 때 가공중이라는 모니터링된 점검 결과를 나타낸 것이다. OAC의 경우, DAU를 통해 얻어진 점검 결과가 시스템에 코딩

5. 결론

개방형 컨트롤러를 갖는 공작기계의 고장 중 다양한 공작 기계 및 머신 샷 현장의 적용/운용 방법에 따라 CNC 자체에서 진단하기 힘든 운용상의 고장이 발생하기 마련이다. 이러한 운용상 발생 고장에 대한 다양한 원인을 빠르고 정확하게 진단하고 그 결과를 웹을 통하여 제공 및 서비스 하는 연구를 수행하였다. 본 논문의 결과로는 첫째, 공작기계의 운용/조작상의 고장내용을 대상으로, 효과적인 고장 원인 진단방법을 제시하였으며, 이를 위해 FDS는 SF와 SSF라는 2가지 진단 모델 만들어 이용하였다. 둘째, RSS를 통하여 원격감시 등 웹 서비스 기능을 제공 하였으며 웹 카메라를 이용해 시각적인 모니터링 기능도 구현하였다. 전체적으로 선행 개발된 FDS를 보완 및 업그레이드 하였으며, 부가적인 연구로 서로 다른 CNC 환경을 갖는 공작기계에 대해 효과적으로 인터넷 기반으로 I/O 신호를 통해 기계를 점검하는 기초연구를 PC기반에서 수행하였다.

참고문헌

1. 김선호, 김동훈, 박경택, "생산장비 객체화와 개방형 가공 셀 구축 연구(II) - 개방형 가공 셀 구축", 한국정밀공학회지, 제17권, 제10호, pp.41-48, 2000.
2. 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.
3. TurboTek, Turbo HX-M 조작 매뉴얼, 2001.
4. 김선호, 김동훈 외, "공작기계의 지능형 고장진단과 원격서비스 모델", 정밀공학회지, 제19권, 제4호, pp.168-178, 2002.
5. 김동훈, 김도연, 김선호 외, "공작기계의 고장원인을 효과적으로 생성하기 위한 SFG 개발", 공작기계공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 48-52, 2002.
6. 김선호, "공작기계의 원격감시, 원격고장진단 및 원격조작기술", 한국정밀공학회지, 제18권, 제10호, pp.33-44, 2001.
7. 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.
8. S. J. Rober and Y. C. Shin, "Modeling and control of CNC machines using a PC-based open

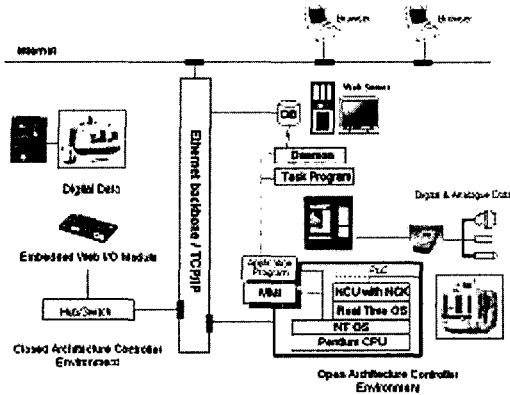


Fig. 7 Internet-based checking environment for variant CNC machines

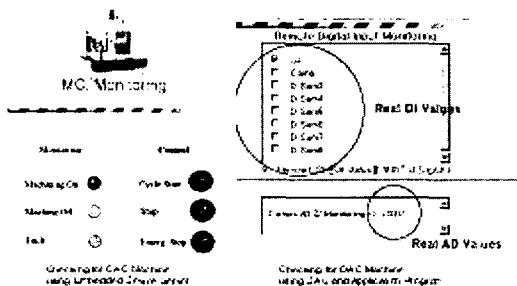


Fig. 8 Example of Internet-based remote checking for variant CNC machines

된 통신모듈을 통하여 서버로 전달되고 서버의 웹 스크립트 코드에 의해 원격지 환경에서 모니터링이 가능하다. 즉 웹 브라우저를 통하여 Oil 센서가 On이 되었으며, 현재 Spindle Temperature의 Analog input값이 0.0007이라는 것을 알 수 있다.

시스템 운용 결과로 전자의 경우, 하드웨어적인 측면에서 인터넷 기반의 원격점검을 위한 시스템 환경구축이 용이한 장점이 있는 반면, 소프트웨어 실장 측면에서 응용프로그램과 데이터의 크기가 제한된 단점이 있었다. 후자의 경우, 소프트웨어 측면에서 다양한 개발 환경과 응용 프로그램의 구현 및 실장이 용이한 장점이 있는 반면, 통신과 웹 서비스를 위한 응용 프로그램 작업이 더 많이 요구된다는 점이 특징이다.

- architecture controller", *Mechatronics*, 5(4), pp. 401-420, 1995.
9. Y. C. Kwon, G. S. Han and J. H. Kim, "The implementation of modularized open CNC", *Journal of KSPE*, 17(5), pp. 34-40, 2000.
 10. P. K. Wright, "Principles of open-architecture manufacturing", *Journal of Manufacturing Systems*, 14(3), pp. 187-202, 1995.
 11. K. D. Oldknow and I. Yellowley, "Design, implementation and validation of a system for the dynamic reconfiguration of open architecture machine tool controls", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 41, pp. 795-808, 2001.
 12. D. C. Kang and M. J. Kang, "A study on an internet-based remote diagnosis System for machine-tool failures", *Journal of KSPE*, 16(9), pp. 75-81, 1999.
 13. D. H. Kim, D. Y. Kim, S. H. Kim and K. S. Koh, "Web service application for machine-tool failure with open architecture CNC", *Proceeding of KSPE Spring Conference*, pp. 29-32, 2003.
 14. M. S. Jung, H. S. Park and B. S. Kim, "Architecture of web-based real-time monitoring system", *Journal of ICASE*, 7(7), pp. 632-639, 2001.
 15. W. K. Hyun, S. C. Chung and D. S. Shin, "Remote fault diagnosis and maintenance system for NC machine tools", *Journal of KSPE*, 15(1), pp. 19-25, 1998.
 16. Sena Technologies, *Starter's Kit for Hello Device 사용자 매뉴얼*, 2000.
 17. Advantech , *Total solution for PC-based automation, Solution Guide Vol. 20*, 2002.