

인터넷 기반의 공작기계 고장 원격 진단시스템에 관한 연구

강대천*, 강무진**

A Study on an Internet-based Remote Diagnosis System for Machine Tool Failures

Dae Chon Kang*, Mujin Kang**

ABSTRACT

In order to remain competitive, a manufacturing company needs to maintain the optimal condition of its manufacturing system. Machine tools as an important element of a manufacturing system consist of complex mechanical as well as electronic components. Therefore, diagnosing the troubles of machine tools is a tricky process which requires a lot of experience and knowledge. Since providing machine tool users with necessary services at the right time is very difficult and expensive, a remote diagnosis system is to be regarded as a good alternative, with which users can diagnose and fix the machine troubles. This paper presents a framework for a remote machine tools diagnosis system by combining the world wide web technology and a backward reasoning expert system.

Key Words : Remote Diagnostist(원격 진단), CNC machine tools(CNC 공작기계), Internet(인터넷), WWW(월드 와이드 웹), Expert System(전문가 시스템)

1. 서론

제조업체는 단납기 생산체제와 낮은 원가 구조를 갖추어 경쟁력을 확보하기 위하여는 생산 시스템의 최적 운용 상태를 유지할 수 있어야 한다. 특히 NC 공작기계는 메카트로닉스기기의 총아로서 유연한 생산 체계 구축에 필요 불가결한 요소이며 매우 복잡한 기계·전기적인 구성요소들로 이루어져 있다. 이와 같은 복잡한 구조로 인해, 기계 고장시에 사용자가 그 원인을 찾아 대처하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서, 고가의 장비인 공작기계의 고장 발생시 그 원인을 신속·정확하게 진단하여 MTTR(Mean Time To Repair)을 최소화할 수 있는 체계적인 시스템을

구축하는 것은 제품 생산 원가의 절감과 제조업 경쟁력 향상을 위하여 대단히 중요한 일이다.

전통적으로 공작기계에 고장이 발생하면 서비스 전문가의 파견을 요청하여 문제를 해결하거나, 간단한 경우에도 전화나 팩스 등을 이용하여 지도를 받는 것이 일반적이다.^[1] 이것은 공작기계 회사의 유지·보수 전문가의 방문에 의존하기 때문에 시간적, 공간적 제한에 따른 지연이 유발되어 그에 따른 업체의 손실은 피할 수 없게 된다. 공작기계 업체로서도 넓은 지역에 퍼져 있는 사용자를 신속히 지원하기에 충분한 서비스 인력을 운용하기는 어려운 실정이다. 따라서, 공작기계 고장 원인을 신속히 진단하고 체계적인 대처 방안을 제시할 수 있는 고장 진단 시스템을 서버에

* 연세대학교 대학원

** 성균관대학교 기계공학부 기계기술연구소

구축하여 일각지에서도 클라이언트가 네트워크를 통해서 이용할 수 있게 된다면, 위의 딜레마를 해결할 수 있는 좋은 방안이 될 수 있다.

한편, 최근 급속히 발전한 정보 통신 기술로 인하여 PC와 모뎀 장비만 갖추고 있으면 언제 어디서 어디서든 웹 브라우저를 통하여 인터넷 환경에 접속함으로써, 편리한 사용자 인터페이스를 제공하는 웹(Web) 서비스를 이용할 수 있게 되었다.

본 연구에서는 기계 고장 발생시 원격지의 공장기계 사용자가 인터넷을 통하여 공장기계 고장 진단 시버의 자원을 공유할 수 있는 원격 고장 진단 시스템 모형(Prototype)을 제시하고자 한다.

2. 기계의 상태 감시와 고장 진단

광의의 기계 진단은 고장 발생시 그 원인을 규명하는 '진단'과 정상 작동 중에 고장이 날 수 있는 이상 징후를 보이는 지를 모니터링하는 '감시'를 포함한다.

기계에 고장이 발생하기 전에 미리 예방적인 보전(Maintenance)을 해 주거나 온라인 감시를 통하여 고장을 방지하는 것이 바람직하므로 상태 감시(Condition Monitoring)나 통계적 공정 제어(SPC: Statistical Process Control) 분야에서 이에 관한 연구가 많았고 어느 정도 실용화가 가능해졌다.^[2,3] 신동수^[4] 등은 공장기계의 콘트롤러에서 발생하는 파라미터 값을 일반 공중전화망(PSTN)을 통해 전송 받아 해석함으로써 이상 상태를 원격에서 감시할 수 있는 시스템을 구현하였다. 전화망을 이용한 원격 접속은 통신 속도의 문제 외에도 이용자의 동시 접속 포트 수가 제한되는 등의 문제점이 남아 있게 된다. Shi^[5] 등은 기계가 공중에 발생하는 계측 데이터를 획득하여 원격 유지 보수를 할 수 있는 시스템의 개념적 틀(Framework)을 제시하였다. 이들의 제안은 인터넷을 기반으로 한다는 것과 획득된 데이터의 가공을 위한 인공 신경망과 통계적 처리 알고리즘을 포함한다는 점에서 전술한 연구와 차별성을 보인다. Lee^[6]는 지능형 에이전트 기술을 응용하여 인터넷 환경에서 가진 제품의 작동 상태를 원격지에서 감시하고, 제품의 라이프 사이클을 좇아 기동 상태를 연속적으로 모니터링할 수 있는 원격 진단 시스템 모형을 제안하였다. 이는 원격 진단

에이전트 모듈로 간주될 수 있기 때문에, 제품 설계 에이전트, 제품 제조 에이전트 등과 협력하는 지능형 생산시스템의 한 요소로 활용될 수도 있다. 하지만 에이전트 기술이 성숙되어 실용화 되기까지는 아직 미해결 과제들이 많다고 할 수 있다.

한편, 기계는 사용 중에 원하던 원하지 않든 간에 고장이 발생하게 마련이고, 기계의 직접적인 고장이 아니라 하더라도 정밀도 불량과 같이 작업 결과가 불량으로 판정받게 되는 간접적인 불량도 빈번하게 발생하게 된다. 이 경우에는 대개 원시적인 Trouble Shooting Sheet를 참조하여 원인을 찾아 조치할 수 밖에 없는 데, 이를 통하여 처리할 수 있는 사안은 극히 제한적이고 불완전한 형편이다. 그럼에도 불구하고, 발생한 고장에 대한 진단 체계에 관한 연구는 찾아보기 힘든 실정이다. 본 연구는 온라인 '감시'와는 보완적인 기능이라 할 수 있는 고장 '진단'을 인터넷 기반 원격 시스템의 대상으로 하고 있다.

Table 1 Example of the classification of defects

대분류	고장부위	증후
HEAD STOCK	SPINDLE	타원궤도 회전 tapering 현상 center 남음 etc.
	BRG	타원궤도 회전 충격에 의한 이동 ball 구르는 소리 열 발생 etc.
	VALVE etc.	chucking 불량 etc.
ATC	ENCODER	turret 미동작 turret pos. alarm etc.
	SPOOL etc.	overrun etc.

3. 공장기계 고장 진단 시스템

고장 진단이란 기계의 이상 증후(Symptoms)를 유발시킨 고장 부위, 고장 원인을 찾아내는 일종의 탐색 절차이다. 이를 위하여는 기계 고장 진단

전문가의 진단 절차 지식을 모사하여 규칙 베이스화 해야 한다.

본 연구의 프로토타입 시스템에서는 고장 진단 지식 베이스를 만들기 위하여 우선 H사의 CNC 공작기계 E 모델을 대상으로 A/S 작업일지를 분석하고 기계 고장 수리 전문가와의 면담을 거쳐 Table 1 과 같이 공작기계를 구성하는 요소들과 각 요소들의 고장으로 발생하는 이상 증후에 관한 고장 부위 분류표를 작성하였다.¹⁾

지식 베이스는 고장 부위 분류표의 대분류 13 항목을 기준으로 만들어 지는 데, 예를 들어 주축대 부위 요소에 관련된 고장 원인을 찾기 위한 진단 수행용 규칙 베이스는 Table 1 에서 분류된 항목들간의 관계와 전문가의 고장 진단 제어 흐름을 표현하는 AND-OR 그래프를 참조하여 작성된다. Fig. 1 은 주축대 부위에 대한 AND-OR 그래프를 보여준다.

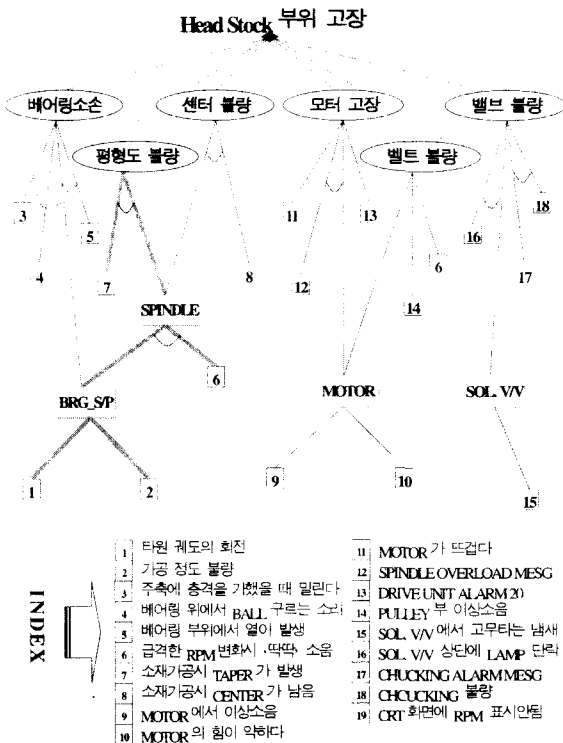


Fig. 1 AND-OR graph for head stock failure

Fig. 1 에서 '주축의 평형도 불량'이란 고장 원

인을 도출하기 위한 진단 제어 흐름은 굵은 선을 따라 하위 수준으로부터 상위 수준으로 진행된다. 이를 논리식으로 표현하면

$$((1 \vee 2) \wedge 6) \wedge 7)$$

과 같다. 결국 '주축대의 평형도 불량'에 관한 규칙 베이스는 Fig.2 와 같이 표현된다.

```

:: Head Stock 부위의 주축 평형도
(BWD-RULE HS-1
IF ("타원궤도의 회전" IS TRUE)
THEN (고장부위.1 층 IS `BRG_S/P 와 관련있음))
(BWD-RULE HS-3
IF (고장부위.1 층 IS `BRG_S/P 와 관련있음)
("급격한 RPM 변화시 '딱딱'소음 IS TRUE)
THEN (고장부위.2 층 IS `주축과 관련있음))
(BWD-RULE HS-9
IF (고장부위.1 층 IS `BRG_S/P 와 관련있음)
(고장부위.2 층 IS `주축과 관련있음)
("소재가공시 TAPER" IS TRUE)
THEN (고장부위 IS `주축 평형도 불량))
    
```

Fig. 2 Example of the rule base for fault diagnosis in case of Head Stock

4. 원격 진단을 위한 서버-클라이언트 연동

서버에서 작동되는 고장 진단 시스템 자원을 원격지에서 공유하기 위해서는 서버/클라이언트 네트워크 구조를 구현하여야 한다. 특히, 인터넷 웹 프로토콜(HTTP:Hyper Text Transfer Protocol)을 적용하면 여러 사용자의 접속 요구를 수용할 수 있으며 사용자 중심의 인터페이스를 쉽게 개발할 수 있다.

단순한 데이터 공유를 위한 서버/클라이언트 시스템은 비교적 간단히 구현될 수 있지만, 고장 진단 시스템을 인터넷상에서 이용할 때는 한번의 트랜잭션으로 작업이 완료되지 않으므로 별도의 연동 메커니즘을 구현하여야 한다. 즉, HTTP 는 비연결 지향 프로토콜(Connectionless oriented protocol)이기 때문에 진단 과정 중에 발생하는 사실 베이스가 유지되어야 하는 것이다. 웹 프로토콜의 비연결성은 OSI 네트워크 7 계층 참조 모델이나 TCP/IP 네트워크 4 계층 참조 모델에서 최

상위 계층의 응용 계층(Application layer)인 HTTP가 하위 계층인 전송 계층(Transport layer)의 프로토콜인 T/TCP(Transaction TCP)를 바탕으로 구현되었기 때문이다.¹⁸⁾ T/TCP는 하나의 트랜잭션, 즉 클라이언트의 요청과 그에 대한 서버의 응답이 이뤄지면 클라이언트 측의 종료 신호(FIN signal) 전송 없이도 연결이 끊어진다. 이는 웹 시스템이 최대한 많은 클라이언트의 접속 요구를 받을 수 있도록 설계된 데에 기인한다. 또한 다수의 사용자가 진단 시스템에 동시에 접속하려 하면 서버측에 과부하가 발생할 수 있으므로 계산 능력을 적절히 분배할 수 있는 네트워크 구조가 필요하다. 이상의 요구 사항을 만족하면서 고장 진단 서버와 웹 기반의 클라이언트 시스템을 연동시킬 수 있는 방안으로는 다음의 세 가지 방법을 생각할 수 있다.

CGI를 이용한 연동

CGI(Common Gateway Interface)는 웹 서버의 기능을 확장하기 위해서 종래부터 사용되던 기술이다. Fig. 3에 도시된 바와 같이 이용자는 웹 브라우저에서 제공되는 FORM 기반의 인터페이스에 form-filling만으로 서버와 상호 작용을 하고, 고장 진단 기능과 데이터베이스 등 그 외의 모든 작업은 서버측에 할당되므로 서버측의 부담이 커진다. 클라이언트와 서버의 상태 정보 관리는 FORM의 hidden type 또는 클라이언트 영역의 쿠키(Cookies)파일을 이용한다.

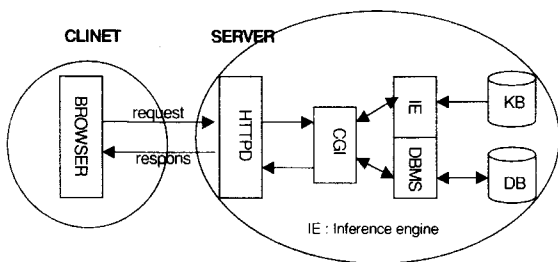


Fig. 3 Server-client model using CGI

JAVA를 이용한 연동

Fig. 4는 자바를 이용한 서버/클라이언트 연동의 개념도인데, 자바 애플릿(JAVA applet)이라는 웹 전용 프로그램을 이용하여 요청한 클라이언트

에게로 바이트코드가 전송되어 클라이언트 측에서 실행될 수 있게 하는 방법이다. 이를 위해서는 자바 가상 기계(JVM:Java Virtual Machine)가 설치되어 있어야 하는데, 대부분의 웹 브라우저에 내장되어 있다. 자바를 이용한 웹 응용 프로그램은 서버/클라이언트간의 상시 연결이 보장되므로 상태 정보에 대한 별도의 관리가 필요 없다. 또한 클라이언트 측에서 실행 가능한 코드가 전송되므로 웹 기반의 고장 진단 시스템 구조를 다양하게 구성할 수 있다. 즉, 고장 진단 시스템을 구성하는 지식 베이스와 추론 엔진 등의 위치를 서버 또는 클라이언트측에 전략적으로 분배할 수 있어, CGI에 의한 방법보다 강력한 사용자 인터페이스와 유연한 서버/클라이언트 구조를 구현할 수 있다. 그러나, 자바 코드가 전송되어야 하므로 네트워크 트래픽이 문제가 될 수 있다.

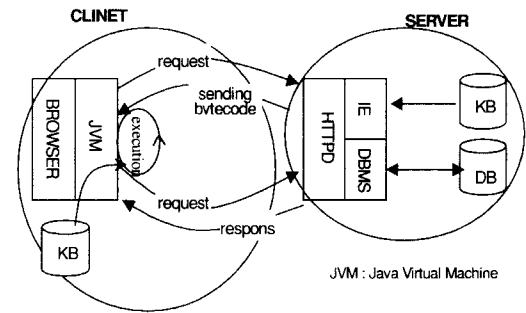


Fig. 4 Server-client model using JAVA

External Helper 프로그램을 이용한 연동

Visual C++ 또는 자바등 클라이언트 운영환경에서 실행 가능한 언어로 작성된 웹 브라우저의 Helper 응용 프로그램이나 Plug-Ins 프로그램처럼 독립적인 클라이언트 전용 프로그램을 제작하는 방법으로, 서버측 URL의 특정 MIME type에 대하여 웹 브라우저의 특정 External Helper 프로그램이 수행되는 데(Fig. 5 참조), 이 방안은 프로그램 배포와 설치, 응용 프로그램의 변경에 대한 업그레이드 관리가 문제가 될 수 있다.

Fig. 6은 본 연구에서 구현한 서버/클라이언트 구조를 보여준다. HTTP의 서버와 클라이언트간의 비연결성을 극복하기 위해서 전송 계층에서 연결 지향 프로토콜인 TCP를 바탕으로 구현

된 응용 객체의 Telnet 프로토콜을 적용하면 진단 전문가 시스템과 웹 서버 연동시 모뎀과 제약들을 피할 수 있으므로, 자바의 Telnet 애플릿을 이용하여 클라이언트가 웹 서버를 통해 진단용 전문가 시스템의 자원을 이용할 수 있게 하였다.

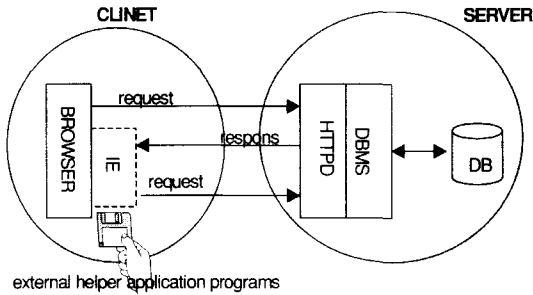


Fig. 5 Server-client model using external helper

데이터베이스와 웹 서버의 연동은 상대적으로 트랜잭션이 적으므로 서버와 클라이언트 간의 상태관리 기능이 중요하지 않다. 자바를 이용한 2-tier 구조로 이들을 연동할 때에 발생하는 수행 속도가 저하 문제는 CGI를 이용함으로써 해결하였다. 서버측은 기계 고장 진단용 추론 엔진(IEFD), 데이터베이스 시스템, 웹 서버로 구성된다. 원격지의 모든 사용자(Client)는 웹 서버에의 연결을 통해서만 서버측 자원 이용을 요청할 수 있다. 진단 시스템에 대한 이용 요청이 인지되면, 웹 서버는 진단 추론 엔진과 연결된 자바 애플릿을 클라이언트로 전송하고 해당 규칙 베이스를 추론 엔진에 적재한다. 이용자는 전송된 자바 애플릿 인터페이스를 통해 상호 질의·응답 방식으로 진단 추론을 수행하게 된다. 추론의 결론으로 기계 고장 원인이 언어나치면 부합기(Matcher)는 고장 원인을 검색어로 하여 처방안을 기계 고장 처방안 데이터베이스(Treatment DB)로부터 가져온다. 그리고 기계 고장 처방안 데이터베이스의 검색에 대한 고객의 이용 요청이 오면, 웹 서버는 고객의 검색어와 검색 조건을 가지고 CGI를 실행시켜 데이터베이스를 검색한다.

5. 공작기계 고장 원격 진단 시스템 WASS(Web-based After Service System)

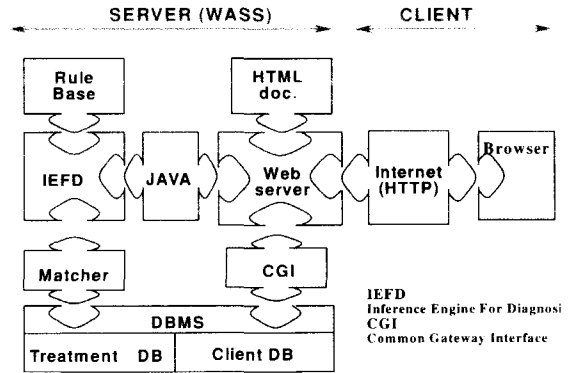


Fig. 6 Schema of the web based remote diagnosis system

공작기계 고장 원격 진단 시스템 WASS는 Table 2와 같은 환경에서 개발되었고, Fig. 7과 같이 8개의 기능들로 구성된다.

Table 2 Development Platform of the WASS

Server Side	Hardware	Sun Sparc 20
	Operating System	Solaris 2.5.1
	Expert System Shell	UNIK
	DBMS	mSQL 2.1
	Web Daemon	Apache 1.2
Client Side	Language	Perl, Java, C, Lite
	Web Browser	Netscape(3.x upper)
	Modem bps	14.4 kbps upper

공작기계 고장 진단 시스템의 추론 엔진과 연결하여 사용자가 상호 질의와 응답을 통해서 고장 부위와 고장 원인을 찾고 기계 고장 진단에 관한 기술 정보(consultation)를 제공 받을 수 있는 '진단 수행'과 고장 원인에 관한 간단한 입력으로 고장 수리에 필요한 처방안을 검색하여 제공해주는 'DB 검색' 등의 주기능 외에, 공작기계 메이커에서 제작, 판매하고 있는 제품을 소개하는 기능이 있다. 관리자창 메뉴에서는 고장 진단 처방안 데이터베이스의 갱신, 각 지역에서 수행된 고객 지원 업무 보고서의 전송, 고장 수리중 요청되는 부품의 발주 등을 수행하는 고장 진단 서버의 원격 관리 기능을 제공한다.

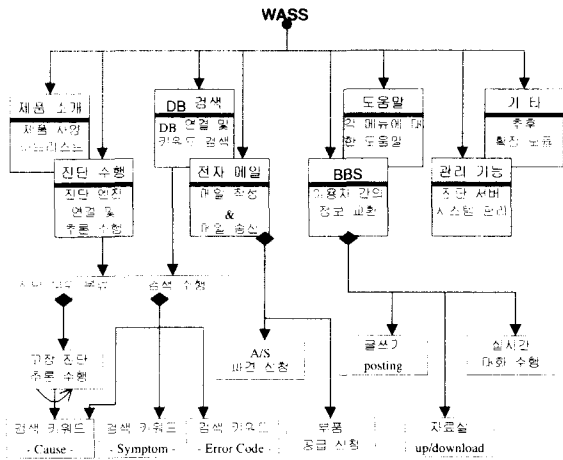


Fig. 7 Functions of the WASS system

른 사용법을 안내하는 도움말 메뉴와 서버 접속 통계 정보를 제공함으로써 이용자의 이용 시간 조절을 권장하는 등의 기타 기능이 있다.

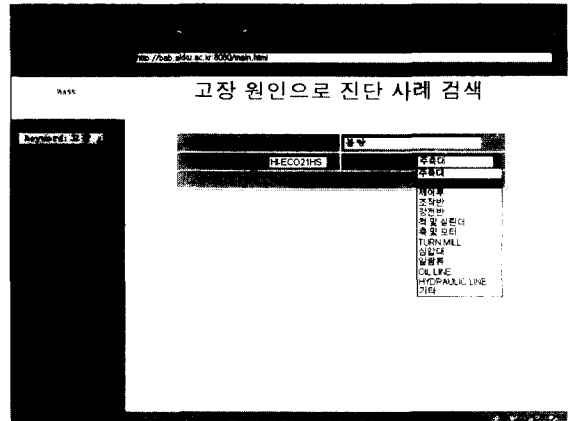


Fig. 9 Window for database retrieval

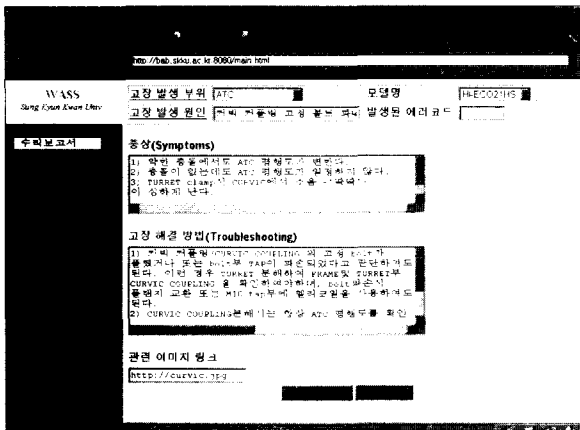


Fig. 8 Diagnosis example through reasoning process

전자 메일 메뉴는 기존의 팩스를 이용한 진단 서비스를 대체할 수 있고, 고장 수리 기술자의 파견 요청을 A/S 센터에 접수하는 기능과 신청된 수리 요청서의 진행 상황 정보 (접수 여부, 파견 일 통보 여부 등)를 제공한다. 또한 이를 이용하여 기계 고장 수리시 요구되는 부품 공급 요청서를 전송할 수도 있다. BBS 메뉴는 공작기계 이용자 간의, 그리고 고객과 지원 센터간의 자유로운 정보 교환 채널이다. 웹 게시판 기능을 통해서 제조업자는 고객의 목소리를 피드백 받을 수 있으며, 사용자는 고객 지원 센터로부터의 광고 문안을 열람할 수 있다. 그 밖에도, 시스템의 올라

개발된 고장 진단 시스템은 공작기계의 사용 경력이 6 개월 이상 되어 기계에 대해 어느 정도의 지식을 가지고 있는 중급 사용자를 대상으로 한다. 고장을 진단하려는 사용자는 먼저 좌측 프레임에서 진단을 원하는 모델 기종을 선택하고 선택한 모델의 대분류 항목을 지정한다. 진단을 위한 추론이 시작되기에 앞서 사용자 인증(User authentication)을 거치고, 사용 권한이 확인되면 진단용 추론 엔진과 연결되어 Fig. 8 과 같이 추론을 시작한다. Fig. 8 은 H사 공작기계 E 모델의 ATC 부위에 대한 고장 진단 추론 과정 예를 보여 준다. 고객은 시스템으로부터의 질의에 대하여 진위 여부를 응답함으로써 추론을 진행시킨다. 성공적인 진단 추론이 수행되면 고객은 해당 기계 이상 증후에 대한 고장 원인을 제공 받는다. 고장 진단 메뉴에서 발견된 기계의 고장 원인에 대한 고장 처방안에 대한 기술 정보를 원할 경우에는 데이터베이스 검색을 수행한다. Fig. 9 는 '고장 원인'을 검색어로 하여 검색을 수행하는 화면이다. 기계 모델명과 대분류 항목을 선택한 후 고장 진단 메뉴에서 발견한 기계 고장 원인을 입력하면 검색 결과로서 관련된 자료들이 나열된다. 검색된 리스트 중에서 상세 정보를 원하는 해당 항목을 선택하여 '자세히 보기' 버튼을 클릭하면

Fig. 10 과 같이 고장 지방안에 관한 상세 정보를 볼 수 있다.

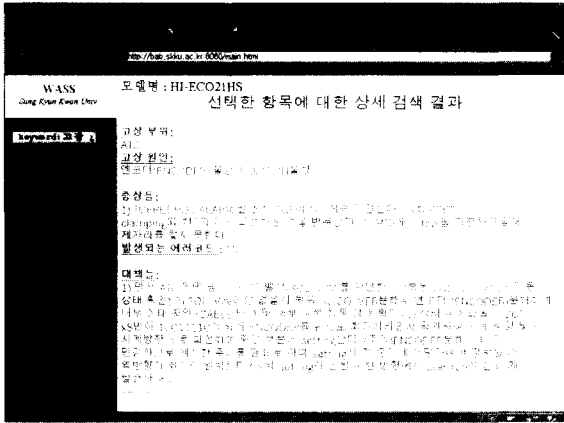


Fig. 10 Window for detailed retrieval result

6. 결론 및 전망

공작기계 고장 진단 시스템을 인터넷 서비스인 WWW(World Wide Web)로 연동하여 공작기계 사용자의 상시 진단 지원 체제를 실현할 수 있는 방안을 제시하였고 그 가능성을 확인하였다. 웹 서버와 고장 진단 시스템의 연동은 자바를 이용하여 쉽게 구현될 수 있었고, 고장 진단 처방안 데이터베이스와 웹 서버의 연동은 CGI 구현 언어인 Perl 과 Lite 를 사용하였는데, 반응속도 등의 면에서 충분히 만족할 만한 성능을 보여 주었다. 인터넷의 개방성에 기인하는 보안 문제는 고객 데이터베이스에 등록된 고객만이 시스템 이용 권한을 얻을 수 있도록 사용자 인증을 통하여 해결하였다. 고장 진단 시스템 커널은 규칙 베이스 기반의 전문가 시스템으로 구현하여 타당성을 확인하였으나, 무인으로 고장 진단을 완벽히 지원하기 위하여는 지식의 체계화, 저장 및 추론 방법 등에 관하여 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구에서 제시한 공작기계 고장 원격 진단 모델은 시공을 초월한 적시 고객 지원 체제를 가능케하여 공작기계 메이커에의 고객 만족도 향상과 사용업체의 경쟁력 확보에 기여할 수 있으며, 고장 진단 전문 인력 양성을 위한 교육 도구로서도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. 최승영, 김선호, “지식베이스를 이용한 천정크레인의 전기고장 진단 및 처방 시스템 개발,” 대한 산업 공학회지, 제 20 권, 제 1 호, pp. 71-85, 1994.
2. Al-Radhi, M., Total Productive Manintance, Hanser, 1995.
3. Duffuaa, S.O., Planning and Control of Maintenance Systems, Wiley, 1998.
4. 현용단, 신동수, “공작기계에서의 원격고장진단 시스템 개발에 관한 연구,” 한국 정밀 공학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 708-713, 1997.
5. Shi, J., et.al, “Research Challenges and Opportunities in Remote Diagnosis and System Performance Assessment,” 4th IFAC workshop on IMS, pp. 213-218, 1997.
6. Lee, B.H., “Remote Diagnostic and Product Lifecycle Monitoring for Hig-end Appliances : An Internet-based Approach Utilizing Intelligent Software Agents,” AMCE, 1996.
7. 강대천, 강무진, “WWW 를 이용한 공작기계 원격 진단 시스템에 관한 연구,” 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 332-336, 1997.
8. W. Richard Stevens, “TCP/IP Illustrated, Vol. 3,” Addison-Wesley, pp. 161-206, 1996.
9. 강대천, 강무진, “Internet 을 이용한 공작기계 원격 고장 진단 시스템 구축에 관한 연구,” 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 868-871, 1997.
10. Robert Thau, “Design Considerations for the Apache Server API,” Computer Network and ISDN System 28, pp. 1113-1122, 1996.

Hypertext Reference

[HREF 1] <http://www.apache.org/>
 [HREF 2] <http://www.netcraft.com/survey/>
 [HREF 3] <http://ds.internic.net/rfc/>
 [HREF 4] <http://www.javasoft.com/>
 [HREF 5] <ftp://Bond.edu.au/pub/Minerva/msql>