

◆특집◆ 인터넷 기반 생산 시스템

인터넷 기반의 공작기계 고장 진단 전문가 시스템

강무진*, 서동규**, 강대천***

Internet-based Expert System for Machine Tool Diagnosis

Mujin Kang*, Dong-Kyu Seo**, Dae-Chon Kang***

Key Words : Machine Tools Diagnosis(공작기계 진단), Knowledge Base(지식 베이스), Object Model(객체 모델), Expert system(전문가 시스템)

1. 서론

현대에 있어서 정보기술을 생산에 활용하는 것은 제조업의 경쟁력 확보 및 유지를 위하여 필요 불가결한 요소라 할 수 있다. 정보 기술의 대표적인 예로서 인터넷 기술은 일상 생활에서의 유용한 사용을 넘어 생산 활동에도 침투하여 새로운 생산 패러다임을 열 수 있는 기회를 제공하고 있다.

생산시스템의 주요 요소인 공작기계에 고장이 발생하면 서비스 전문가의 파견을 요청하여 문제를 해결하거나, 간단한 경우에도 전화나 팩스 등을 이용하여 지도를 받는 것이 일반적이다. 이것은 공작기계 회사의 유지·보수 전문가의 방문에 의존하기 때문에 시간적, 공간적 제한에 따른 지연이 유발되어 그에 따른 업체의 손실은 피할 수 없게 된다. 상대적으로 소수의 제품이 넓은 지역에서 사용되고 있다는 공작기계의 특성을 고려할 때, 공작기계 업체로서도 넓은 지역에 퍼져 있는 사용자를 신속히 지원하기에 충분한 서비스 인력

을 운용하기는 어려운 실정이다. 따라서, 공작기계 고장 원인을 신속히 진단하고 체계적인 대처 방안을 제시할 수 있는 고장 진단 시스템을 서버에 구축하여 원격지에서도 클라이언트가 네트워크를 통해서 이용할 수 있게 된다면, 위의 딜레마를 해결할 수 있는 좋은 방책이 될 수 있다.¹⁾

한편, 우리나라는 고속 인터넷망 보급률이 세계 1위가 될 만큼 어느 나라에도 뒤지지 않는 정보 통신 인프라를 갖추고 있어, 거의 언제 어느 곳에서든지 웹 브라우저를 통하여 인터넷 환경에 접속하여 편리한 사용자 인터페이스를 제공하는 웹(Web) 서비스를 이용할 수 있게 되었다.

본 연구에서는, 공작기계의 고장 증상과 원인을 분석하여 고장 진단 모델을 정립하고 이를 규칙 기반 추론 방식의 지식베이스로 구축하여, 기계 고장 발생시 원격지의 공작기계 사용자가 인터넷을 통하여 공작기계 고장 진단 서버의 전문가 시스템에 접속하여 문제를 해결할 수 있는 인터넷 기반 원격 고장 진단 전문가 시스템 모형을 제시하고자 한다.

2. 고장 진단 관련 기술 현황

오늘날의 자동화된 공작기계는 시스템 구성이 복잡하므로 고장 증상에 대한 원인이 다양하고 복잡하여 충분한 보수 지식과 경험을 가진 숙련공이 아니면 고장에 대하여 정확하게 대처하기가 어려

* 성균관대학교 기계공학부 기계기술연구소
Tel. 031-290-7441, Fax. 031-290-5849
Email mj kang@mc.skku.ac.kr

** LG EDS

*** 동부 디아이에스

우며 또한, 공작기계 고장 진단 전문가를 육성하는 일은 많은 비용을 요하고 용이하지 않기 때문에 공작기계의 보급이 증가함에 따라 고장 대처 문제는 점점 더 심각한 문제가 될 수 있다. 따라서, 공작기계 메이커는 고장 원인을 신속히 진단하고 체계적인 대처방안을 제시할 수 있는 고장진단에 대한 논리체계를 정립하여 사용자에게 전달해 줄 수 있는 방법을 찾아야 하는 데, 오늘날의 정보 기술이 제공하는 지식공학은 이에 대한 한 가지 해결책이 될 수 있다. 즉, A/S 요원들은 공작 기계에 발생하는 다양한 고장 증상에 대해 시행착오(Trial and Error)적인 경험적 추론과 검증을 통해서 문제를 해결하고 있으므로, 이러한 경험적 지식(Heuristics)을 체계화할 수 있는 것이다.

경험적 지식의 체계화에 대한 선행연구로는 FTA 나 DT 등을 이용한 연구¹²⁾, 지식베이스(Knowledge Base)를 이용한 전문가 시스템의 연구가 수행되어 왔다. FTA 와 DT 는 고장 진단의 초기 연구와 전문가 시스템의 연구의 초기에 사용되어왔으며 고장 진단의 체계를 시각적으로 볼 수 있다는 장점이 있다. 지식베이스를 이용한 전문가 시스템에 관한 연구로는 추론 방식에 따라 CBR(Case-Based Reasoning) 및 RBR(Rule-Based Reasoning)방식 등으로 나눌 수 있다. 사례 기반 시스템¹³⁾은 주어진 문제와 유사한 사례를 추출하기 때문에 필요한 사례베이스의 효과적인 탐색을 위해 사례 베이스의 구조의 체계화가 요구되며 과거의 경험에 의한 사실을 이용하기 때문에 지식 획득(Knowledge Acquisition)이 규칙 기반 추론에 비해 비교적 용이하기 때문에 새로운 사례의 추가가 쉽고 추론 과정에 대한 학습기능이 가능하다는 점이 장점이지만 이 기법으로는 정확히 사례에 맞는 경우를 제외하고는 일부분의 경험의 일치에 대한 사례의 유사도 결정이 용이하지 않다는 단점이 있다. 규칙 기반 추론(RBR)을 이용한 전문가 시스템¹⁴⁾은 대상 영역의 전문가로부터 고장 증상과 원인에 대한 경험이나 지식 등을 IF ~ THEN ~ 의 Production Rule 방식으로 표현한 후 이를 규칙베이스에 저장하고 이를 전방향 또는 후방향 추론을 수행함으로써 해를 찾아내는 시스템이다. 따라서 대상영역의 전문가로부터 체계적으로 지식을 획득하는 것이 어렵고 전문가로부터 습득한 지식에 대한 규칙이 대상 시스템에 따라 필요하다는 단점이 있지만 지식의 표현이 사례 기반 추론 방식보다는

쉽고 시스템 개발 소요 시간이 짧으며 고수준으로 추상화된 지식을 표현할 수 있다는 장점이 있다.

또한 고장 진단 전문가 시스템의 연구는 진단 시스템의 분리 여부에 따라 Stand-alone 방식과 원격 진단 방식으로 나눌 수 있다. 후자의 경우로 PSTN 을 이용하여 공작기계의 Controller 의 Error Message 를 원격지에서 수신하거나 인터넷을 이용한 방식을 들 수 있는데 전자는 Controller 에서 처리할 수 없는 예외의 경우에 대처할 수 없다는 단점, 후자의 경우는 처리할 수 있는 정보가 텍스트라는 단점이 있다.¹⁴⁾

3. 고장진단 지식의 객체 모델

고장 증상의 분류에 따라 각 증상에 대한 가능한 원인들을 정리하고, 고장의 세부 원인을 추적하는 체계를 정립하는 데 있어서 객체(Object) 모델링은 그 상속성이나 캡슐화 등 많은 장점을 가지고 있어 좋은 지식 표현 및 저장 수단이 될 수 있다. 그 첫 째 이유는 흔히 BOM(Bill of Materials)으로 표현되는 공작기계의 물리적인 구조가 객체 모델에서의 계층적 구조와 일치한다는 것이다. 즉, 제품 구조에 따라 고장의 원인이 그 근원지로부터 상위 부품 또는 반조립품으로 전파되는 구조를 잘 모델링할 수 있다. 둘째 째는 고장 진단의 논리 자체가 부품들간의 상호 작용을 반영하는 계층적 구조를 갖는다는 것이다. 진단의 논리는 고장 전과의 역추적 과정인 셈이다. 고장 진단 지식은 Fig.1 에 표현된 바와 같이 객체망(Network)으로 나타낼 수 있고, 그것은 객체 상속 특성을 자연스럽게 반영한다. 고장 증상에 대한 객체 모델로서 최상위에 'Failure_Symptom'이라는 클래스가 생성되고 그 하부 객체로 'Inaccurate_Machining'이라는 객체가, 또 그 하위에는 'Taper', 'Stripes', 'Roughness' 등과 같은 Property 들이 구성된다. 각 Property 에 대한 자료형(Data Type)은 미리 결정되어야 하는데, 예를 들어 'Taper'이란 Property 는 String, 'Noise'란 Property 는 Boolean, 'Oil_pressure' Property 는 Integer 의 자료형으로 정의된다.

정의된 객체들은 시스템의 지식베이스 적재시 인식되어 사용자의 응답이 저장될 수 있도록 메모리가 할당된다. 이 메모리에는 사용자가 입력하거나 선택하는 값이 저장되어, Rule Base 탐색 결과

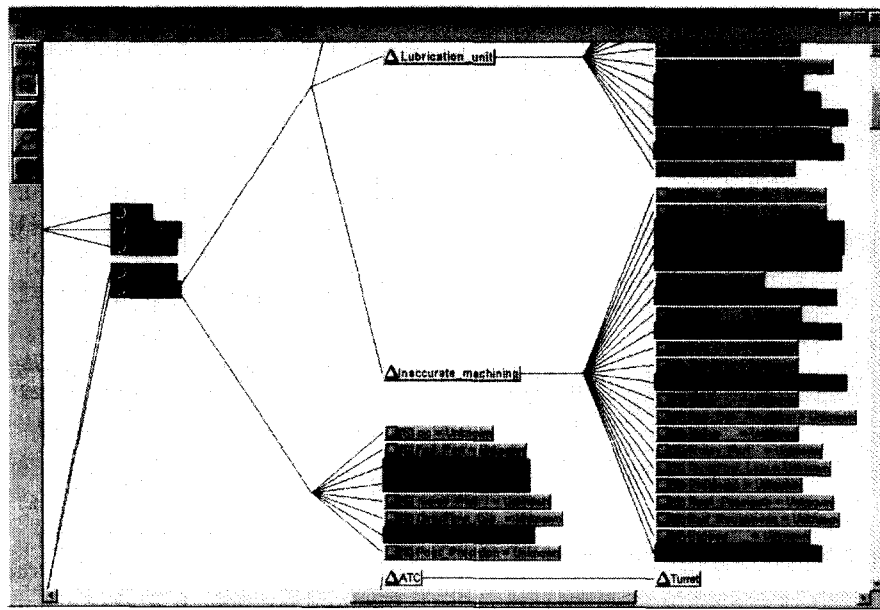


Fig. 1 An excerpt from the diagnostic knowledge base

에 따라 해당 Rule 이 점화(Firing)되어 그 결과에 따라 필요한 질의가 잇따라 추가되고 Rule 을 점화하는 과정이 반복됨으로써 추론이 수행된다.

고장 진단 지식은 상용 전문가시스템 도구를 이용하여 생성 규칙(Production Rule)으로 표현하였다. 규칙은 조건과, 가설, 액션, 그리고 대체 액션 등으로 구성된다. 가설은 하나 이상의 규칙들의 결과를 나타내는 일종의 객체이며, 클래스 구조는 그 자신이 일련의 객체에 대한 지시자(Pointer)로서이고, Property 와 각 객체의 관계 맺음으로 생성되는 구조에 데이터가 저장되게 된다. 이 구조는 슬롯(Slot)이라고도 불리는 데, class_name.property_name 의 형태로 표현된다. 따라서, 패턴 매칭(Pattern Matching)에서 클래스는 특정 조건을 어느 객체가 만족시키는 지를 찾기 위하여 객체 목록을 검색하는 방법을 제공하는 셈이다. 이와 같이 객체 모델을 이용하면 패턴 매칭의 결과에 따라 지식베이스 내의 각 Rule 에 대한 빈도를 나타내는 Property 를 갱신함으로써 고장 증상들의 발생 빈도를 관리할 수 있는 등 다양한 활용도 가능하다. 진단 문제에 널리 사용되는 후방 추론 방식(Backward Chaining)에서는 도달 목표에서 출발하여 가설을 평가함으로써 알려진 사실에 부합되는

원인을 찾는 방향으로 추론이 진행된다. Fig.2는 후방 추론 메커니즘을 도식적으로 보여 준다. 목표표를 hypo1 이라 하면, 평가되지 않은 조건들을 갖는 규칙의 hypo1 을 평가하기 위하여 자기 자신도 규칙의 조건인 hypo2 가 '참'임이 검증되어야 한다.

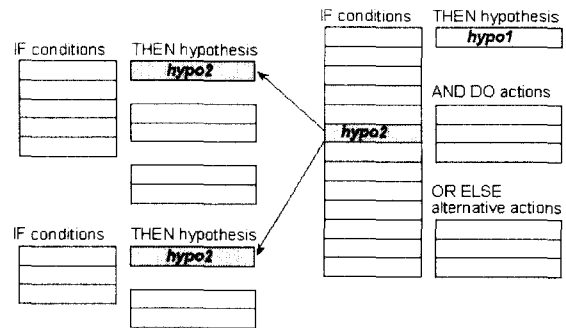


Fig. 2 Reasoning mechanism in backward chaining

시스템은 hypo2 를 가설로 갖는 규칙을 찾게 검색하고 규칙이 발견되면 hypo2 로 유도한 규칙의 조건들을 평가하여 후방 추론을 완성한다. 여기에 소개하는 시스템에서는 후방 추론 이외에도 Subgoal forward, Semantic gates, Forward actions

effects 등과 같은 추론 메커니즘들이 사용되었다 (Fig.3).

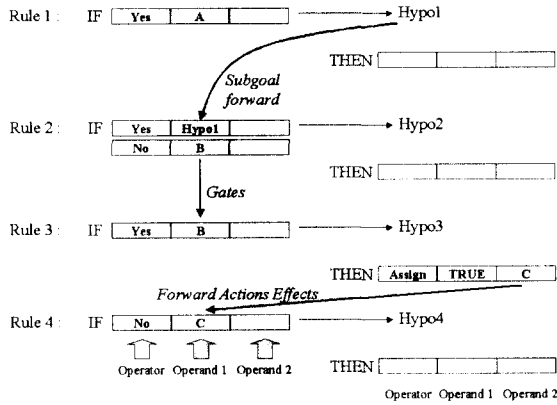


Fig. 3 Various inference mechanisms

Subgoal forward 는 최종 가설에 반대되는 Subgoal 들을 조사하는 결과로서, Subgoal 과 관계있는 후방 추론을 전개하고 이어서 데이터에 Subgoal 이 포함되어 있는 규칙들의 가설에 표시를 한다. 중요한 특징의 하나는 현재의 규칙의 평가가 완료되면 바로 Subgoal forward event 들이 대기열에 놓여 평가된다는 것이다. Semantic gates 는 가설들을 기회적으로 아젠다에 삽입함으로써 추론하는 구조 기반의 메커니즘이다. 먼저 Gates 가 규칙의 조건을 평가하는 중에 생성된다. 새로운 슬롯이 규칙의 조건에서 평가되면 추론엔진이 다른 규칙중에도 그 조건이 이 슬롯을 갖는지를 확인한다. 목표 규칙이 조건부에 이 슬롯을 가지고 있으면 추론엔진은 이 값을 갖는 특정 조건의 값을 테스트하고, '참' 이면 관련 가설을 아젠다에 올린다. 그렇지 않은 경우에는 가설은 '거짓'으로 평가되는 게 아니라 'UNKNOWN' 상태로 남아 있게 된다. Gates 가 목표 조건을 선행평가하여 '참'인 경우에만 아젠다에 가설을 올리는 데에 반해, Forward actions effects 는 비선택적이다. 즉, 액션 목록의 영향을 받는 슬롯을 갖는 모든 가설을 아젠다에 올리는 것이다. 따라서, 수정된 슬롯을 포함하는 조건이 '거짓'인 경우에도 가설이 대기열에 들어갈 수 있게 된다.

'Inaccurate Machining' 의 경우를 보자. 슬롯 값이 Hypo_Failure 인지를 검증하기 위하여 추론엔진은 규칙들을 검색한다. 이 때, 조건은 사용자

로부터 주어질 수도 있고 다른 규칙을 점화시킨 결과로서 결정될 수도 있다. 이 예에서 고장 증상 Inaccurate_Machining 이 선택되었다고 가정하면, Failure_Symptom 클래스에 있는 모든 객체가 Symptom property 를 갖게 된다. 시스템은 조건을 평가하여 Inaccurate_machining 값을 갖는 Failure_Symptom.Symptom 의 슬롯을 인식한다. 그 결과 우측 액션에 사용될 객체의 목록이 만들어 지고 사용자가 지정한 불량률의 종류가 테이프 발생이라면 Taper 값이 Inaccurate_Machining.Symptom 슬롯에 지정되어, Inaccurate_Machining.Taper 슬롯값을 얻기 위하여 Fig.1 에 보여진 순서에 따라 관련 규칙들이 점화된다. 최종 추론 결과는 Failure_Symptom.Symptom 즉 Failure_Symptom 클래스의 Symptom 슬롯에 Inaccurate_Machining 값이, Inaccurate_Machining.Symptom 에 Taper 값이, 그리고 Inaccurate_Machining.Taper 에 Headstock_Center 값이 할당되었음을 보여 준다.

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 7계층 참조 모델이나 TCP/IP 네트워크 4계층 참조 모델에서 최상위 계층의 응용 계층(Application layer)인 HTTP 가 하위 계층인 트랜스포트 층(Transport layer)의 프로토콜인 T/TCP(Transaction TCP)를 바탕으로 구현되었기 때문이다. T/TCP 는 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.

CGI 를 이용한 연동

CGI(Common Gateway Interface)는 웹 서버의 기능을 확장하기 위해서 종래부터 사용되던 기술이다. Fig.4 에 도시된 바와 같이 이용하는 웹 브라우저에서 제공되는 FORM 기반의 인터페이스에 form-filling 만으로 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.

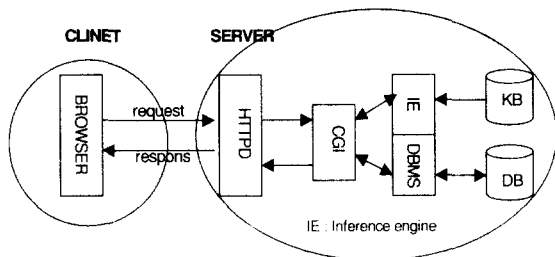


Fig. 4 Server-client model using CGI

JAVA 를 이용한 연동

Fig.5 는 자바를 이용한 서버/클라이언트 연동의 개념도인데, 자바 애플릿(JAVA applet)이라는 웹 전용 프로그램을 이용하여 요청한 클라이언트에게로 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 클라이언

트 측에서 실행 가능한 코드가 전송되므로 웹 기반의 고장 진단 시스템 구조를 다양하게 구성할 수 있다. 즉, 고장 진단 시스템을 구성하는 지식베이스와 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.

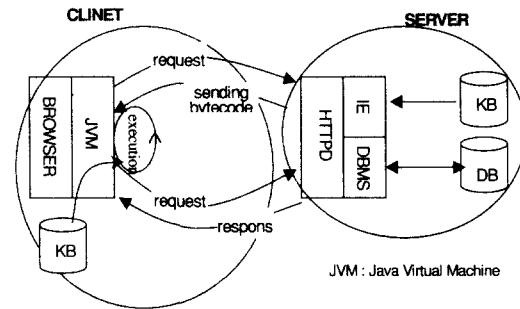


Fig. 5 Server-client model using JAVA

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.6), 이 방안은 프로그램 배포와 설치, 응용 프로그램의 변경에 대한 업그레이드 관리가 문제가 될 수 있다.

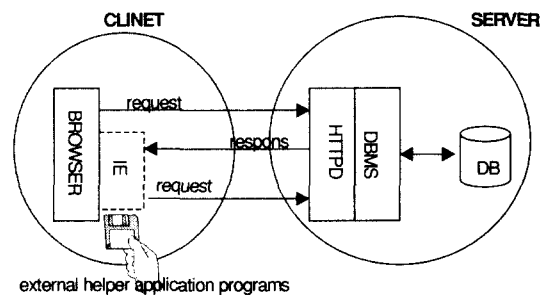


Fig. 6 Server-client model using external helper

Fig.7 은 본 연구에서 구현한 서버/클라이언트 구조를 보여준다. HTTP 의 서버와 클라이언트간의 비연결성을 극복하기 위해서 트랜스포트 층에서 연결 지향 프로토콜인 TCP 를 바탕으로 구현된 응용 계층의 Telnet 프로토콜을 적용하면 진단 전문가 시스템과 웹 서버 연동시 오버로드와 제약들을 피할 수 있으므로, 자바의 Telnet 애플릿을 이용하여 클라이언트가 웹 서버를 통해 진단용 전문가 시스템의 자원을 이용할 수 있게 하였다. 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 CGI 를 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 얻어지면 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 CGI 를 실행시켜 데이터베이스를 검색한다.

5. 공작기계 원격 고장 진단 전문가 시스템

CNC 공작기계 생산업체의 데이터와 노하우를 기반으로 지식베이스를 구축하여 원격 고장 진단 전문가 시스템 프로토타입을 개발하였다. 시스템의 주요 기능은 지식 관리 모듈, 지식 탑재 모듈, 고장 진단 모듈, 출력 모듈 등이다. 시스템의 핵심 기능인 고장 진단 모듈은 고장 증상 입력, 지식베이스 검색과 규칙 점화, 질의 및 입력 처리, 대응 대책 처리 등의 기능을 제공한다.

Fig.8 과 같은 주화면에서 고장 진단 대상과 진단 방식, 그리고 지식베이스를 선택하면 필요한

지식베이스가 적재되어 추론의 준비가 끝난다.

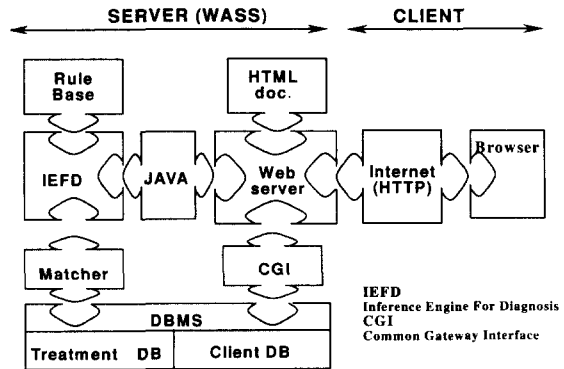


Fig.7 Schema of the web based remote diagnosis system

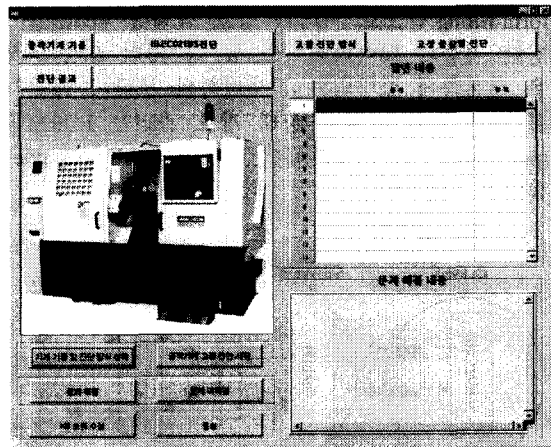


Fig. 8 System main frame

‘공작기계 고장진단 시작’ 버튼을 클릭하여 시스템에 추론 시작을 알리면 ‘Diagnose the fault of MT’내에 정의된 Question handler 윈도우가 KB 상의 규칙에 따라 규칙 내의 slot 의 값을 찾을 수 없기 때문에 추론을 만족시키지 못하는 조건이나 규칙, Hypothesis 에 대해 자료가 필요한 순간마다 생성되어 사용자로부터 값을 얻는다 시스템 질문의 첫 단계에서 ‘정밀도 불량’을 선택하면 시스템은 관련 규칙을 점화하고 다음 슬롯인 ‘정밀도 불량.현상_대’의 값을 규칙베이스의 탐색만으로는 알 수 없으므로 Fig.9 와 같이 대화창을 생성하여 “공작물에 발생하는 증상은?”이라는 Meta-slot 값과 관련 그림 파일의 이름을 화면에 출력한다. 규칙

의 접화 및 추론 과정은 3장에서 설명한 바와 같다. 공작물에 테이퍼 발생의 경우에 추론의 진행에 따라 제어계의 첫 번째 점검 대상인 'Program 오류 점검' 여부를 확인하고, 두 번째 점검 대상인 'Parameter 값 점검' 여부를, 그리고 마지막으로 'DGN 값 점검' 여부를 확인하게 된다. 이상과 같은 제어계의 점검으로 원인을 알 수 없을 때는 기계계의 점검으로 넘어가게 되는데, Fig.10은 기계계의 처음 점검 대상인 '리드 스크류 백래쉬 오차량 점검' 여부 등을 묻는 화면을 보여 주며, 이어서 '주축대와 테이블의 정밀도 점검' 여부를 물어 일련의 추론 흐름을 생성한다. 만약 주축대와 테이블의 정밀도 점검 단계를 수행한 후 공작물에 테이퍼가 발생하지 않았다면 주축대와 테이블의 정밀도 문제라는 결론을 도출하고 시스템은 이의 해결책을 도시하게 된다.(Fig.11)

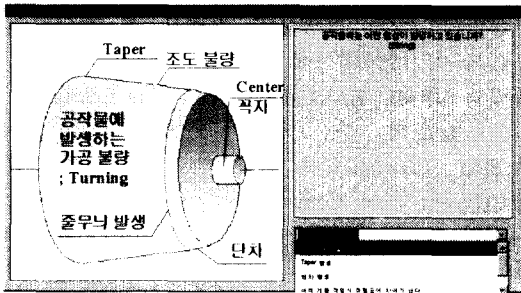


Fig. 9 Question handler window for 'poor precision'

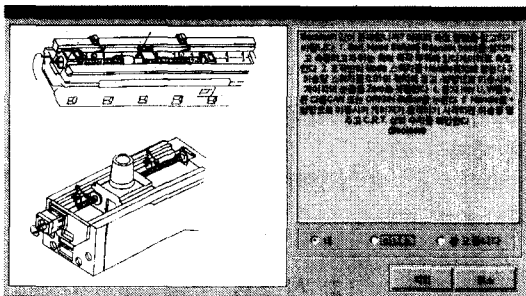


Fig. 10 Question handler indicating the actions for backlash check

6. 결론

공작기계의 원격 고장진단을 위한 전문가 시스템 모델을 제시하고 그 프로토타이프를 개발하

였다. 고장 진단 지식은 공작기계 생산업체의 고장 진단 및 애프터서비스 작업 일지를 분석한 결과와 애프터서비스 담당 엔지니어와의 인터뷰로부터 얻어, 객체 모델링 기법으로 전문가 시스템을 구축하였다. Backward reasoning, Semantic gates, Forward action effects 등과 같은 다양한 추론 기법이 이용되었다. CNC 선반을 대상으로 한 시험가동 결과, 본 시스템이 상당히 실용 가능성이 있음을 확인하였다. 보다 광범위하고 신뢰성 있는 지식베이스를 구축한다면 공작기계 사용자들의 문제 해결을 연중무휴로 지원해 줄 수 있을 것이다.

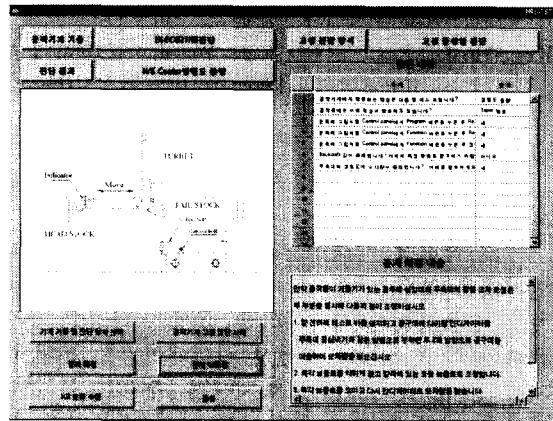


Fig. 11 Display the cause and solution in main frame

참고문헌

1. 강대천, 강무진, "인터넷 기반의 공작기계 고장 원격 진단시스템에 관한 연구," 한국 정밀공학회지, 제 16 권, 제 9 호, pp. 75-81, 1999.
2. 배용환, 이형국 외, "FTA(Fault Tree Analysis)기법을 이용한 이송용 대부하 베어링 고장 진단," pp. 110~123, 한국 정밀공학회지, 제 11 권, 제 5 호, 1994.10.
3. 최승영, 김선호, "지식베이스를 이용한 천정크래인의 전기 고장 진단 및 처방 시스템 개발," pp. 71~85, 대한 산업 공학회지, 제 20 권, 제 1 호, 1994.
4. 신동수, 현웅근, 정성중, "NC 공작기계용 원격 고장진단 및 보수 시스템," pp. 19~25, 한국 정밀공학회지, 제 15 권, 제 1 호, 1998, 1.