

사례베이스추론에 의한 생산설비의 고장진단 전문가시스템의 개발

Development of Diagnosis Expert System for Production Facility by using CBR

김 광 만*

Kim, Kwang Man

이 재 원**

Lee, Jae Won

Abstract

An expert system DESPRESS is developed to diagnose the fault of press by using CBR technique. In this paper, we describes the subjects for development of the system. DESPRESS deals compositly with perceptive symptoms, functional abnormalities, lamp signals and gage values, and then outputs fault parts and fault status for the press. The expert system can be used to prevent occurance of unexpected fault and minimize break times for failures.

1. 서 론

설비는 그 기능이 아무리 우수하다고 할지라도 사용되어감에 따라 구성되어있는 부품들이 마모되고 열화되어 결국에는 폐기단계에 이르게 된다. 이처럼 설비가 설계되어 제작, 설치, 운전 및 폐기에 이르는 과정을 설비의 일생이라 하며^[1], 이 과정중에는 설계의 과오, 설비작업자의 오조작 또는 부품의 마모나 열화 등에 의해 여러가지 형태의 고장이 발생된다. 이러한 설비의 고장은 기업의 생산활동에 지장을 초래하게 하며 특히 예기치 못한 돌발고장의 경우에는 기업에 커다란 손실로서 나타날 수 도 있다^[2]. 따라서 설비의 효율적 운영 및 관리를 위해 우선적으로 돌발고장이 방지되어야 하며 만일 고장이 발생하였다더라도 그 고장시간을 최소화 할 수 있도록 하는 보전정책이 수립되어야 할 것이다. 이를위한 연구노력은 예방보전(preventive maintenance) 또는 예지보전(predictive maintenance) 등의 발전으로 이어져 왔으며^[3,4] 인공지능의 전문가시스템에 의해 설비의 기능에 대한 이상정보와 설비관련전문가의 경험지식을 이용하여 설비를 진단하는 고장진단전문가 시스템(diagnosis expert system)의 개발 연구가 수행되어져 왔다^[5,6,7,8,9].

프레스는 그 제조작업공정의 특성이 큰 충격하중을 반복적으로 가하여 동종의 제품을 대량생산하는 설비로서^[10], 기계의 고장이 제품생산에 미치는 영향은 지대하며 특히 자동차의 차체를 생산하는 프레스는 주로 대형이고 고가이므로 고장으로 인한 정지손실은 매우 크다. 이러한 장비의 고장은 자동차 제조라인의 연속적인 흐름을 방해하고, 고장수리시간의 지연은 생산성 저하의 원인으로 작용하게 된다. 자동차산업에서 사용하는 제조장비에는 매우 많은 종류가 있지만 본 연구에서는 프레스의 고장원인과

* 인덕전문대학 공업경영과

** 인하대학교 자동화공학과

고장부위를 조기에 발견하여 신속한 보전작업을 수행할 수 있도록 하는 고장진단 전문가시스템을 개발하였으며 본 논문에서는 이에 관한 내용을 기술하고자 한다. 특히 고장진단문제에 대한 그동안의 많은 연구에서 이상징후가 개별적으로 다루어져 왔으나^[11,12] 설비의 이상징후는 다양한 이상징후가 복합적으로 나타날 수 있으므로 본 시스템에서는 부품 및 장치의 기능이상징후, 센서, 램프 및 게이지 등의 계기류 이상징후 등과 작업자의 감각징후를 종합적으로 다루었다. 이를 위하여 개발된 전문가 시스템은 전문가의 지식을 규칙(rule)이 아닌 사례(case)를 중심으로 표현하는 사례기반형추론(case based reasoning)^[13,14] 기법을 이용하였다.

2. 프레스의 이상징후와 진단지식

일반적으로 우수한 설비일수록 각종 센서에 의한 고장진단 기능과 설비의 상태를 알려주는 램프류, 계기류 등이 구비되어 있다. 이러한 램프 및 계기들을 이용하면 설비의 이상부위나 이상상태 등을 알 수 있으며 이를 통해 고장을 미연에 방지하거나 더 큰 고장을 막을 수도 있을 것이다. 그러나 이들 센서나 램프 및 계기의 부작으로 다양한 고장의 형태를 모두 다루고자 한다면 설비가 복잡화되고 거대화되며 특히 이들 자체가 고장날 수도 있으므로 효과적이지 못할 수도 있다. 따라서 프레스의 이상부위와 이상상태를 정확하게 판단하기 위해서는 고장과 관계되어 나타난 이상징후를 가능한 한 모두 찾아내어 이를 토대로 의사결정을 하여야 할 것이다. 이때 사용되는 이상징후로는 크게 감각징후, 계기류 이상징후, 기능이상징후의 세가지 종류로 나눌 수 있으며 이들 징후들은 프레스의 이상정도나 특성에 따라 단독으로 또는 복합적으로도 나타날 수 있다. 징후가 복합적으로 나타나는 경우는 Table 1.의 브레이크에 대한 예를 찾아보면 쉽게 알 수 있다.

위 세가지 징후들 중에서 작업자의 감각에 의한 이상징후는 징후의 발견시점부터 고장을 일으키기까지의 시간이 오래 걸리는 경우가 많고 나머지 두가지 징후들은 고장의 발생을 직접적으로 나타내는 경우가 많다. 따라서 계기 및 기능이상에 의한 징후가 발생되면 즉각적인 보전작업이 수행되어야 하며 감각징후가 인지되면 비교적 계획적인 보전작업을 수행할 수 있다. 다음은 이들 징후에 대한 고장특성들이다.

1) 감각징후

소음, 진동, 발열, 냉각, 냄새, 누유, 누수, 변색등의 현상은 작업자가 감각적으로 느낄 수 있는 이상징후들이며 이들 징후의 크기나 발생하는 위치에 따라 고장부품 및 부위가 예측될 수 있다.

2) 계기류 이상징후

계기류 이상징후는 ON, OFF 및 점멸의 세가지 값으로 프레스의 이상을 알 수 있는 램프이상징후와 상한이나 하한을 정해놓고 그 값을 초과 또는 미달되는 경우에 프레스의 이상을 나타내는 게이지(gage) 이상징후로 나눌 수 있다.

3) 기능이상징후

프레스는 그 자체의 목적을 위해 여러가지 기능을 가지고 있다. 이 각 기능들은 부품들간의 정확한 동작에 의해 나타나게 되며 그 기능에 이상이 있다는 것은 프레스를 이루고 있는 부품들사이에 이상이 발생했다는 것을 의미하게 되는 것으로 이 기능이상으로 인한 프레스의 상태는 작동불능과 규정치 불만족의 두가지로 나눌 수 있다.

작동불능상태란 프레스가 정해져 있는 기능을 수행할 수 없는 경우로서 기계가 동작하지 않는다는 고장을 알리는 램프가 작동된다는 하하여 그 고장을 쉽게 알아 차릴 수 있으므로, 증상이 나타난 후 빠른 시간내에 조치를 취할 수 있다. 그러나 성능열화와 같이 규정치를 만족하지 못하는 징후의 경우에는 고장을 쉽게 알아차리지 못하고 시간이 경과하는 경우가 많아 제품의 불량이나 더 큰 고장으로 확대될 수도 있으므로 특히 주의해서 다루어야 할 징후이다.

이와같이 설비의 이상징후는 이들 램프 및 계기들만으로 인식될 수 있기 보다는 작업자의 경험에 의해 인식되는 경우가 많다. 따라서 프레스의 정확한 상태파악을 위해서는 램프 및 계기류의 사용과 더불어 전문가의 경험지식을 활용하는 것이 효과적이다

Table 1. The examples of the failure symptoms for the press ^[10]

이상징후	징후형태	실 예
감각징후	소 음	-슬라이드부의 펌프이상 -트랜스미션부 브레이크라이닝의 마모
	누 유	-공압기기의 니들스타트에서 기름이 샘
	진 동	-클러치바디의 파손
계기류이상징후	램 프	비상정지표시등과 오버런 표시등이 점등 : 브레이크성능의 열화
	압력계	유압이 규정압으로 상승하지 않는다 : 펌프와 분배기 사이의 배관파손
기능이상징후	작동불능	에어부스터펌프의 작동불능 : 공기빼기 플러그의 헐거움
	규정치	과부하보호장치가 공칭능력이하에서 작동한다
	불만족	: 메인밸브의 이상

이상과 같이 프레스고장의 징후는 위 세가지 징후들이 단독으로 또는 복합적으로 나타날 수 있으며 전문가들은 이들 징후의 상태에 따라 이상부품과 이상상태 등을 예측할 수 있다.

3. 진단지식의 표현

고장진단에 사용되는 전문가의 지식은 규칙(rule)이나 프레임(frame)등으로 표현 할 수 있으며 이러한 지식을 문제해결에 적용시키기 위해서는 추론(reasoning)과정이 필요하다. 본 연구에서는 이 추론방식으로 주어진 문제와 유사한 과거사례(case)의 해(solution)를 이용하는 사례기반추론(case-based reasoning)을 적용하였다. 따라서 전문가의 과거경험을 사례화시켜 지식베이스(knowledge base)에 저장해 두어야 하며 저장된 사례들은 새로운 진단문제의 풀이과정에서 참조되어 진다.

3.1 사례구조(case structure)

사례(case)의 구조는 크게 문제(problem)를 기술하는 부분과 그 문제의 해(solution)를 나타내는 부분으로 나눌 수 있으며 이들 각각은 다수개의 인덱스(index)항목들로 구성되어 있다. 본 연구에서는 상용 전문가시스템개발 셸(shell)인 NEXPERT OBJECT 의 객체(object)표현 방법에 의해 사례를 정의하였다.

1) 문제의 표현

사례구조에서 문제를 기술하는 부분에는 과거경험사례인 고장상황 또는 이상징후가 표현되어야 하는데 전술한 바와같이 고장에 대한 이상징후는 감각징후, 계기류이상징후, 기능이상징후의 세가지 형태가 혼재하거나 단독으로 나타나고 있다. 따라서 이 세가지가 모두 표현될 수 있도록 인덱스들이 준비되어 있어야 한다.

Table 2는 이상징후에 대한 문제표현 인덱스와 그 값의 종류를 나타내고 있다.

고장사례에서는 Table 2.의 인덱스들이 복수개 나타날 수도 있으므로 이에대한 처리와 프레스를 분류하는 구조정보도 표현되어야 할 것이다.

Table 2. Symptom indices

징후의 종류	Index	Value
감각징후	징후발생위치	공간적 위치 or 부품명
	징후의 종류	소음, 발열 or 진동,...
	징후의 형태	징후의 증상
계기류이상징후	징후발생계기명	램프 or 게이지 명
	징후발생계기의 상태	점등,소등 or 점멸 (램프일때) 기준치이상 or 이하(게이지일때)
	징후발생계기의 value	점등,소등 or 점멸 (램프일때) 게이지의 value (게이지일때)
기능이상징후	징후발생부위	공간적 위치 or 부품명
	징후의 형태	징후의 증상

2) 해의 표현

프레스의 이상징후에 대해 시스템이 나타낼 수 있는 해(solution)는 다음과 같이 두종류로 나눌 수 있다.

- 세부점검사항
- 이상부품및 이상상태

입력된 이상징후에 대해 사용자로 하여금 프레스를 세부적으로 점검하여야 항목들을 제시하고, 그 점검결과에 대하여 이차적으로 이상부품및 이상상태를 나타낸다.

Table 3은 고장진단문제의 최종해를 표현하기 위한 인덱스 항목과 그 값의 종류를 나타내고 있다. 이중 상위부품명은 보전작업 수행시 실제로 고장이 발생한 부품보다 구조적으로 상위단계에 있는 부품을 대상으로 작업이 이루어지는 것이 효율적일 수 있으므로 이를 제시한다.

Table 3. Structure of the solution index

Indices	Value
고장부품명	부품 명
고장상태	파손 or 마모 등 부품상태
상위부품명	부품 명
수리방식	수리 or 교체

3) 사례베이스(case base)

사례에 근거한 추론을 행하기 위해서는 지식베이스(knowledge base)에 저장되어 있는 과거사례(old case)중에서 제시된 문제(problem)와 가장 유사한 사례를 찾아낼 수 있어야 한다. 이때 저장되어 있는 사례가 많아지면 유사한 사례를 추출하기에도 많은 시간이 소요되므로 이의 효율적 관리를 위해서는 특정한 기준에 의해 사례들이 저장되어 있어야 한다. 본 시스템에서 사례들은 설비의종류, 이상징후의 형태, 발생빈도 등에 따라 사례베이스에 순차적으로 저장되며 새로운 사례의 추가시에는 이를 고려하는 순서화가 다시 이루어 진다.

3.2 매칭(matching) 과 사례추출(case retrieval)

문제로 제시된 고장상황과 사례베이스에 저장되어 있는 사례들 사이에 인덱스들을 비교하여 일치점을 찾아가는 매칭과정에서 모든 사례의 인덱스들을 전체적으로 검색한다는 것은 시간이 많이 소요되는 진부한 일이 될 것이다. 따라서 인덱스들을 그 중요도에 따라 계층화 하여 두고 그 경로를 따라 빠른 시간에 유사한 해를 찾을 수 있는 방법들이 필요하다.

차별망(discrimination network)^[15]은 과거사례들을 차별화에 의해 관련있는 사례군(case group)으로 분류해 가면서 가장 유사한 사례를 찾아내는 방법으로 이 방법은 발생한 고장상황이 과거의 고장사례와 완전히 일치하지 않는 부분매칭(partial matching)의 경우에도 유사한 사례를 찾을 수 있다.

Fig.1은 프레스 고장진단을 위한 차별망의 구성도 이다.

3.3 사례적응(Adaptation)

유사성을 고려하여 추출된 사례(case)는 제시된 문제사례와 정확히 일치하지 않을 수도 있다. 따라서 차이가 발생한 인덱스들을 대상으로 추출된 사례에 문제사례를 다시 적용시켜 정확한 해를 만들어 내는 과정이 필요하며 이것을 사례적응(adaptation)과정이라고 한다. 이러한 사례적응과정은 차이가 발생한 모든 인덱스에 대해 수행되어야 하지만 고장진단시스템에 있어서 추출된 사례와 제시된 고장상황의 중요한 차이는 감각징후, 계기류이상징후 및 기능이상징후와 같은 이상징후의 차이에서 나타난다. 따라서 제시된 문제사례와 추출된 사례사이에 이상징후의 차이가 발생하면 사례적응과정이 필요하다. 고장징후는 각각의 징후마다 서로 다른 고장상황을 만들어 낼 수 있으므로 이때에는 차이가 발생한 고장징후의 인덱스만을 대상으로 다시 탐색을 하는 부분탐색법 (Local search method)^[15]이 이용된다.

3.4 유효성검증(Validation)

사례적응과정을 거쳐 제안된 해는 두단계로 나타난다. 1단계에서는 고장징후에 대해 점검해야 할 세부항목이 제시되고 이 제시된 항목에 대해 사용자의 입력을 받아 2단계에서 고장부위와 고장상태 등의 최종 해가 나타난다. 1단계에서 제시된 점검항목의 점검결과 고장부위와 고장상태 등이 나타나는 유효한 해의 경우에는 추론이 성공적으로 수행되었음을 의미하며 그렇지 않은 경우에는 추론의 실패로서 인식하고 나머지 사례에 대해 추론을 반복하여 새로운 해를 추출한다. 이 추출된 해는 새로운 사례로서 사례베이스에 추가된다.

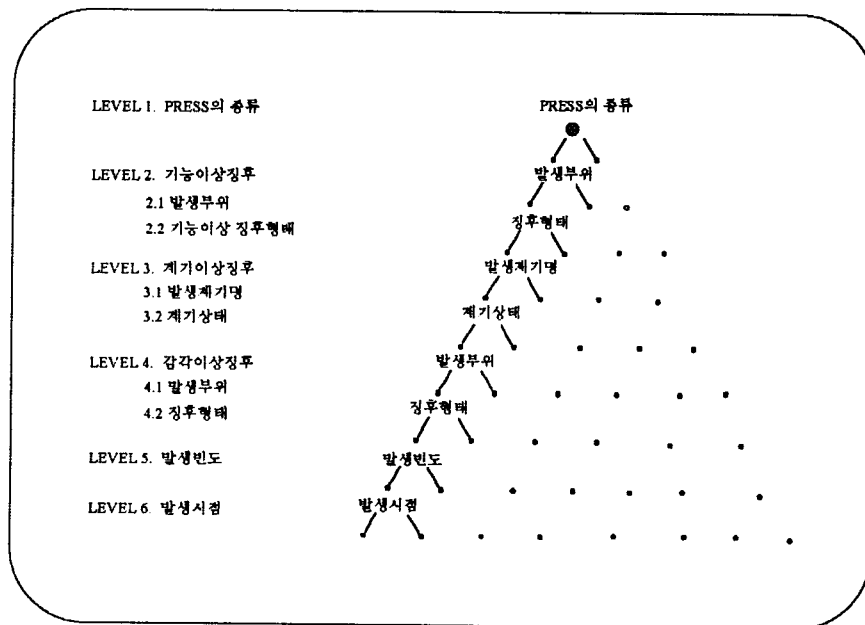


Fig.1 Discrimination network for the Press fault diagnosis

3.5 학습과정(Learning)

제시된 해의 유효성 검증결과가 실패로서 나타나고 시스템에 의해 새로운 해를 생성하게 되면 이 새로운 해와 문제로서 제시된 고장징후가 결합하여 새로운 사례를 만든다. 이 새로운 사례는 사례베이스에 저장되어 또 다른 문제의 풀이과정에 참조되어 진다.

4. 시스템의 구성

본 시스템은 NEXPERT OBJECT를 이용하여 고장진단을 위한 CBR 모듈을 개발하였으며 Fig.2는 시스템의 주 메뉴를 나타낸 것으로서 이러한 메뉴들은 IBM PC 486에서 Clipper 를 이용하여 개발하였다.

시스템은 풀-다운(pull down) 방식으로 설계되어 있으므로 사용하기에 편리하며, 고장진단을 위한 모듈(module)들 외에 새로운 프레스의 추가등록을 위한 설비정보모듈과 고장이력등을 관리하는 보전이력관리모듈이 구성되어 있다.

Fig.3은 진단을 위한 시스템의 의사결정 흐름을 나타낸다.

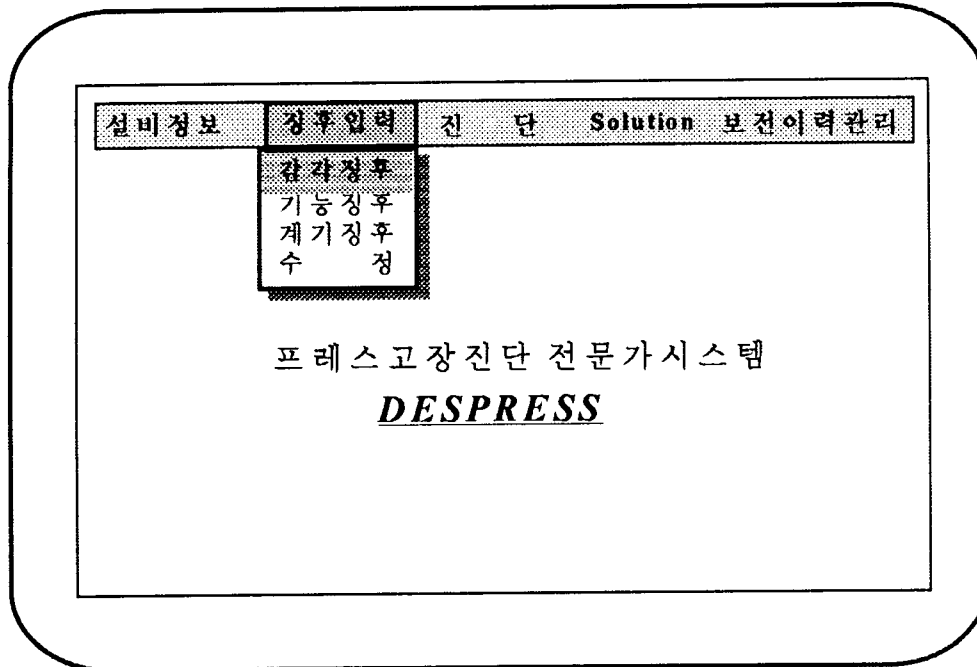


Fig.2 Main menu for the DESPRESS

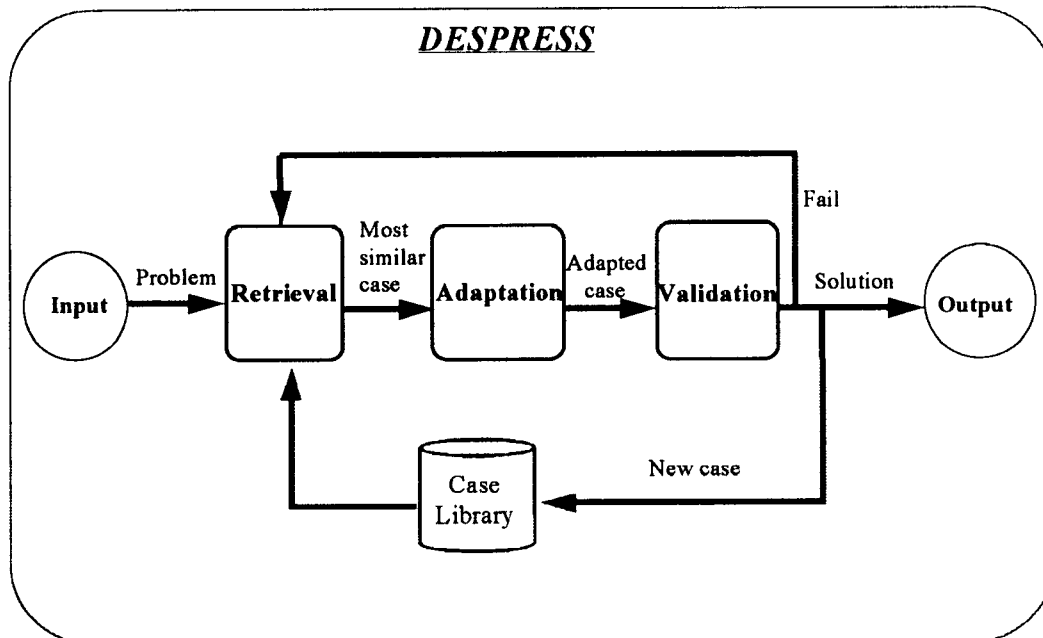


Fig.3 Task flow for the diagnosis function

4.1 입력기능

시스템에 입력되는 정보로는 설비의 구조및 사양에 관한 정보와 진단문제를 해결하기 위한 이상징후정보의 두가지가 있다. 입력기능은 Clipper를 이용하여 메뉴방식으로 설계되었으며 입력된 정보는 임시파일(file)로 저장되어 CBR에 의한 문제해결 과정에서 자동으로 참조된다.

Fig.4는 이상징후정보의 입력 예를 나타내고 있으며 이때 화면의 우측에 있는 데이터메뉴에서 알맞은 항목을 선정하기만 하면 자동으로 데이터가 입력되도록 하여 입력의 번거로움을 최소화 하였다.

정 후 입 력 기 능

감 각 정 후 입 력		정 후 발생 상황
정후의 종류	<input type="text" value="소음"/>	가 동 중
정후의 형태	<input type="text" value="불타는 소리가 난다"/>	<input type="text" value="정격 중"/>
정후 발생 위치	<input type="text" value="회전각부"/>	두 경우 모두
정후 발생 상황	<input type="text" value=""/>	

프레스고장진단 전문가시스템 **DESPRESS**

Fig.4 An input example of the symptom

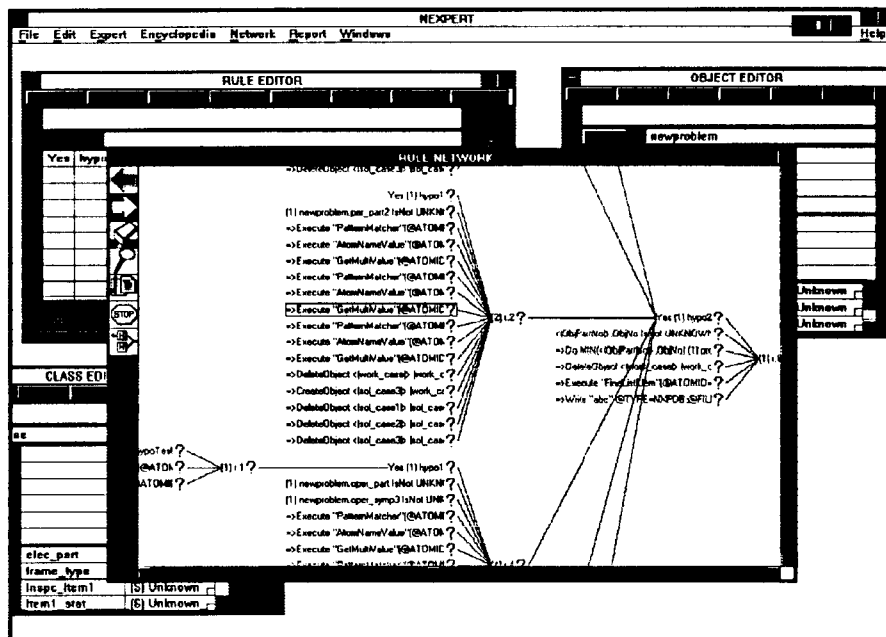


Fig.5 A part of Matching rule for the diagnosis function

4.2 진단기능

NEXPERT를 이용하여 개발된 진단기능은 고장징후와 고장부품 등의 관계지식이 사례로서 저장되어 있으며 CBR에 의해 프레스의 고장진단이 행해진다.

Fig.5는 제시된 문제사례의 감각징후와 동일한 징후를 갖는 사례를 찾기 위한 매칭규칙(matching rule)의 일부를 나타낸 그림이다.

4.3 출력기능

입력된 정보와 관계지식을 이용하여 본 시스템이 목표로 하는 고장부품이나 고장상태등을 제시하는 기능이며 Fig.6에서 나타나는 상위부품명은 수리및 교체작업이 상위부품단계에서 이루어질 수 도 있으므로 이때 참고하기 위한 것이다.

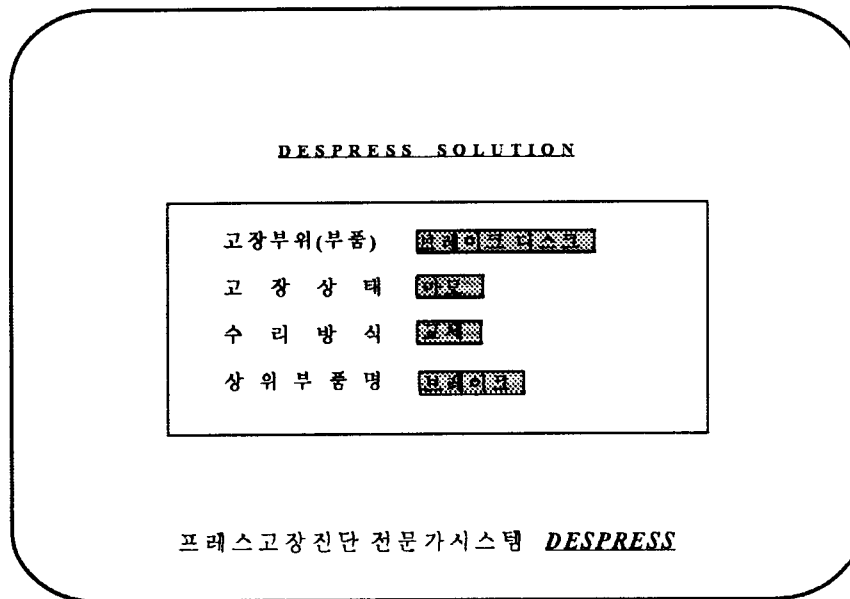


Fig.6 An output screen of the DESPRESS

5.결 론

본 연구에서는 기계적, 전자적으로 복합구조물인 프레스설비를 대상으로 사례기반추론(case-based reasoning) 방법에 의한 프로토타입(prototype) 고장진단전문가시스템 DESPRESS를 개발하였다. 사례기반추론은 전문가의 경험지식을 사례(case)로 표현하고 유사한 상황이 발생하였을 때 과거의 경험지식을 이용하고자 하는 것으로 전문가시스템의 개발이 용이하며 새로운 사례의 발생이 사례베이스의 확장으로 이어지므로 학습기능을 실현하기가 용이하다. 또한 프레스의 진단업무는 프레스에 관한 종합적인 지식을 필요로 하므로 이 지식들이 반영된 전문가의 경험지식을 사례로 표현하는 사례베이스추론시스템을 고장진단 업무에 적용하는 것은 적합하다 할 수 있다. 개발된 DESPRESS는 기능이상징후, 계기이상징후 및 작업자의 감각징후 등 프레스에서 발생하는 이상징후를 입력으로 이상부품과 이상상태 등을 찾아내는 시스템으로 IBM PC 486급에서 NEXPERT OBJECT와 CLIPPER 를 이용하여 개발되었다. 이러한 DESPRESS는 향후 고장진단문제 만이 아닌 전체적인 보전문제로의 확대가 필요하며 이를 위해서는 보전시점예측,보전공정계획 및 일정계획의 수립에 관한 연구가 필요하다 하겠다.

參 考 文 獻

1. 이 순요, 신 설비관리론, 박영사, 1990
2. 윤 덕균, 한국형 TPM 시스템, 법경출판사, 1993

3. Geurts. J.H.J., ' Optimal Age Replacement Versus Condition Based Replacement ; Some Theoretical and Practical Consideration ', *Journal of Quality Technology* V.15, pp.171-179, 1983
4. B.WU, J.J.M.SEDDON and W.L.CURRIE, ' Computer-aided dynamic preventive maintenance within the manufacturing environment ', *INT.J.PROD.RES.*, Vol.30, No.11, pp. 2683-2696, 1992
5. 산업기술 정보원, 제조업에서 전문가시스템의 개발동향, pp. 86-95, 1992
6. Yasuhiro Kobayashi, Mie Morimoto, and Takao Sato,..., ' Development of Planning Expert System for Preventive Maintenance of Plant Components', *Proceedings of the Fourth International Conference on the Application of A.I. in Engineering*, pp. 461-468, 1989.
7. Randall Davis, ' Diagnostic Reasoning Based on Structure and Behavior' , *Artificial Intelligence*, V.24, pp. 347-410, 1984
8. HYUN SEOK JUNG, YASUFUMI KUME, MASAHIRO INUIGUCHI and GAVRIEL SALVENDY ' Development of a shell for constructing a diagnostic expert system based on designer's knowledge ', *INT.J. PROD.RES.*, Vol.31, No.6, pp. 1299-1313, 1993
9. V.D. Majstorovic, 'Expert System for Diagnosis and Maintenance : The State-of-the-Art', *Computers in Industry*, v.15, pp. 43-68, 1990.
10. 아이타.프레스 硏究會, 知りたい프레스機械, pp. 10-24, 1992.
11. Zheng Xiaojun, Yang Shuzi, Zhou Anfa and Shi Hanmin, ' A Knowledge-Based Diagnosis System for Automobile Engines ', *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, V.3, N.3, pp. 159-169, 1988
12. Janos SOOS and Zoltan SZALONTAY, 'AN EXPERT SYSTEM FOR REMOTE DIAGNOSIS OF MACHINE TOOL', *Computer Applications in Production and Engineering*, NORTH-HOLLAND, IFIP, pp. 435-441, 1989.
13. Christoper K. Riesbeck, Roger C. Scank, *Inside Case-based Reasoning*, LAWERENCE ERLBAUM ASSOCIATE, pp. 1-24, 1989.
14. Stephen Slade, 'Case-Based Reasoning : A Research Paradigm', *AI MAGAZINE*, SPRING, pp.42-55, 1991.
15. Janet Kolodner, *Case-based Reasoning*, MORGAN KAUFMAN, pp. 141-504, 1993.