

〈論 文〉

동력전달용 치차설계 전문가 시스템 개발연구(I)

—치차파손의 원인과 대책의 진단—

정태형* · 변준형** · 이규호***

(1991년 8월 3일 접수)

Development of Expert System for Designing Power Transmission Gears(I)

—Diagnosis of the Causes and Remedies of Gear Failures—

Tae Hyong Chong, Joon Hyong Byun and Kyoo Ho Lee

Key Words : Gear(치차), Expert System(전문가 시스템), Gear Failure Diagnosis(치차파손 진단), Cause & Remedy(원인, 대책), Certainty Factor(확실성 계수), PROLOG Language(PROLOG언어)

Abstract

An expert system is developed which can diagnose the causes and remedies of the failures of power transmission gears. The basic components of the expert system are knowledge base, inference engine, and working memory. The knowledges in knowledge base are classified into the knowledges for determining the failure types and for diagnosis of causes and remedies of the failures. The former is represented hierarchically into the main category of eleven groups by rules and the sub category of twenty four groups by facts, while the later is represented by facts according to the each group of knowledges. In the inference engine some considerations are implemented, i.e., the backward chaining method and depth first search to determine the category of the failures, the meta-knowledges to shorten the search space, the certainty factor to evaluate the reliability of result, and the unification strategy to diagnose the causes and remedies of the failures. The working memory is established to hold the results during inference temporarily. In addition, knowledge acquisition facility, explanation facility, and user interface are included for the usefulness of user. This expert system is written with the PROLOG programming language on IBM-PC compatible computer operated by MS-DOS and can also be executed alone.

1. 서 론

최근들어 컴퓨터 기술의 발달과 함께 인공지능에 관한 분야의 연구가 상당히 발전되어 왔으며, 특히

공학 등의 분야에서는 인공지능의 한 분야인 전문가 시스템(expert system)의 개발이 활발해지고 있다^(1~3). 전문가 시스템이란 특정분야의 문제를 효율적이고 효과적으로 해결하기 위하여 인간 전문가와 마찬가지로 상징적 논리나 경험적 지식, 판단 등을 이용하여 해를 구하기 위해 지식을 조작하는 정교한 논리형의 컴퓨터 프로그램을 말한다^(4~6).

기계공학 분야에 있어서도 전문가 시스템 개발에

*정회원, 한양대학교 기계공학과

**정회원, 한양대학교 대학원 기계공학과

***정회원, 현대자동차(주) 마북리 연구소

관한 연구가 많이 진행되어 요소 설계, 개념설계, 공정설계, 부식예측, 고장진단 등에 적용되고 있으며 근래들어 기계 및 기계요소의 설계분야에 대한 관심이 높아지고 있다^(7~11).

기계요소 중에서도 각종 동력전달 장치 등에 광범위하게 사용되고 있는 치차장치는 그 성능에 미치는 인자의 수가 많고 인자의 영향이 복잡하고 난해하여 치차전문의 경험적 전문지식이 필요한 부분이 아직도 수량이 남아 있으면서도 공업적으로 매우 중요한 기계요소이다. 그러므로 치차장치를 해석하고 설계하기 위해서는 요구 성능을 낼 수 있는 형상 및 강도설계, 제작, 운전시의 손상 및 트러블슈팅 등에 관한 제반 지식이 고루 갖추어져야 하는데도 이들 지식은 현실적으로 대부분 치차전문가가 특정 분야에 대한 지식만 가지고 있기 쉽다. 따라서 이들 지식을 일관되게 집성하기 위해서는 지식공학(knowledge engineering)을 이용한 지식베이스 시스템(knowledge base system)으로 각 분야의 지식을 통합하여 운영할 수 있는 전문가 시스템화가 필요하다. 그러므로 치차전문의 지식을 이용하여 치차장치의 설계, 제작, 손상 및 트러블슈팅 등을 수행할 수 있는 전문가 시스템을 구축하고 이들을 통합하여 다룰 수 있는 학습능력을 갖춘 전문가 시스템으로 구축하는 것이 동력전달용 치차의 설계를 위한 전문가 시스템 개발에 있어서 이상적인 목표라 할 수 있다.

이러한 목적에서 치차설계 및 트러블슈팅 데이터베이스 구축 및 운용에 관한 연구⁽¹⁰⁾를 이미 보고한 바 있으며, 본 연구에서는 동력전달용 치차설계 전문가 시스템을 구축하기 위한 일단의 연구로서 먼저, 치차의 시험중 또는 사용중에 일어나는 파손에 대하여 파손의 원인탐색과 대책수립을 위한 전문가 시스템을 개발한다.

치차파손의 잠재적인 원인은 정성적인 성격이 강하고 상호 연관적이며 모호한 상황의 것이 많기 때문에, 치차파손의 원인탐색과 대책수립에 관한 전문가 시스템은 치차파손의 형태를 특징별로 분류하여 각 파손형태에 대한 원인이나 대책에 관한 지식을 체계적으로 구축한 지식베이스, 파손의 특징에 따라 지식베이스를 탐색하여 원인을 알아내고 대책을 수립하는 추론기관, 임시작업영역을 기본 구성요소로 하여 구축한다. 또한 이에 부가하여 사용자 인터페이스, 설명기능, 지식획득기능 등을 추가함으로써 치차분야에 초심자라 할지라도 개발된 전문

가 시스템과의 문답식 대화를 통하여 손쉽게 치차파손의 원인을 탐색하고 대책을 수립할 수 있도록 한다. 전문가 시스템을 기술하는 프로그램 언어는 PROLOG^(12,13)를 사용한다.

2. 치차파손의 분류

치차파손은 전문가의 노우하우같은 지식과 지금까지 공표된 문헌 및 규격 등^(14~16)을 참고로 하여, 파손형태의 최종적인 현상이 가지고 있는 특징별로 분류한다. 치차파손의 형태는 경과적 손상과 최종적 파단으로 볼 수 있으며, 크게 나누어 마모(wear), 표면피로(surface fatigue), 소성흐름(plastic flow), 절손(breakage), 기타파손(associated gear failure) 등으로 분류할 수 있으나, 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 계층적(hierarchical)으로 분류한다. 즉, 치차의 파손형태를 절손, 표면피로, 스코어링(scoring) 등과 같은 11가지의 주요범주(main category)로 분류하고, 주요범주에 포함되는 치차파손의 세분된 형태로서 주요범주를 24가지의 보조범주(sub category)로 다시 분류한다. 이는 치차파손의 최종적 형태나 파손발생의 원인에 따라 분류하고 동일한 파손형태라도 손상의 경중에 따라 분류한 것이다. 또한 주요범주를 세분하여 구분할 필요가 없는 파손형태라도 주요범주와 동일한 보조범주를 설정함으로써 세분된 다른 주요범주의 구조와 동일하게 하여 전문가 시스템에서 지식표현의 일관성을 도모한다.

3. 전문가 시스템의 구축

3.1 기본 구성

전문가 시스템은 Fig. 2와 같이, 문제영역인 치차파손의 원인탐색이나 대책수립에 관한 전문지식을 저장하는 지식베이스(knowledge base)와 이들 지식을 이용하여 치차 파손의 원인을 탐색하고 대책을 수립함으로써 문제를 해결해 나가는 추론기관(inference engine) 및 추론의 중간결과 등을 저장하는 임시작업영역(working memory)을 기본 구성요소로 구축한다. 여기에 사용자가 전문가 시스템을 이용할 때 시스템과 사용자와의 대화를 위한 사용자 인터페이스(user interface), 시스템이 사용자에게 하는 질문의 이유나 추론기관에서 행하는 추론과정을 설명하기 위한 설명기능(explanation

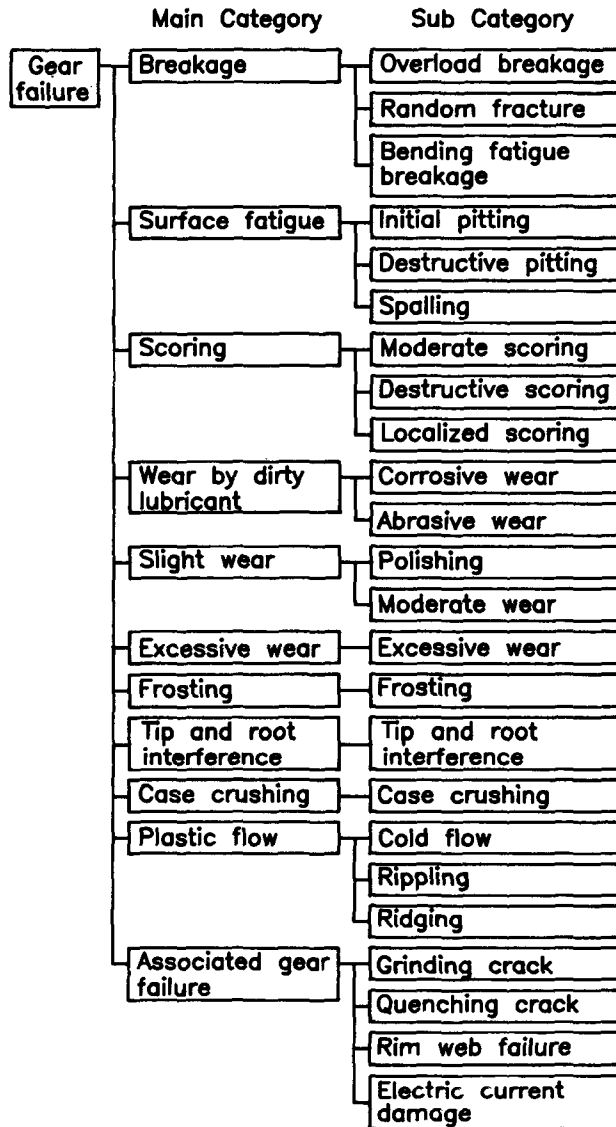


Fig. 1 Hierarchical structure of gear failure

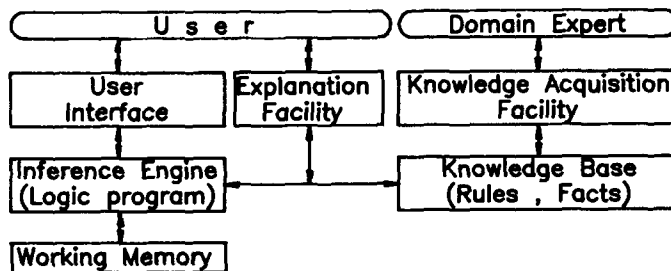


Fig. 2 Basic structure of expert system

facility), 인간 치차전문가(domain expert)로부터 지식베이스에 필요한 지식을 습득하거나 기존지식을 수정하기 위한 지식획득기능(knowledge acquisition facility) 등을 추가하여 구축한다.

3.2 지식베이스

치차파손에 관한 지식베이스에서 지식은 치차의 손상부에 드러난 외형적 특징을 이용하여 파손의 범주를 결정하는데 사용되는 지식과, 결정된 범주의 파손에 대한 원인진단과 대책을 수립하는데 사용되는 지식으로 구분할 수 있다.

이 중 파손의 범주를 결정하는데 사용되는 지식은 Fig. 1의 분류에 따라 주요범주의 파손형태를 결정하기 위한 지식과 보조범주의 파손형태를 결정하기 위한 지식으로 구분하여 계층적으로 구축한다.

주요범주의 파손형태를 결정하기 위한 지식은 손상의 외형적 특징이 분명하여 주요범주의 파손형태라고 단정할 수 있는 지식으로 기술하며, 파손의 외형적 특징을 전제부(premises)로 두고 파손형태인 주요범주명을 결론부(conclusion)로 표현하여 규칙(rule)으로 나타낸다. 이에 따라 결론에 관한 지식을 규칙으로 표현하면

```
premise : if the gear tooth failure phenomena of
tooth are
(1) fracture of whole tooth and
(2) fracture of substantial portion of
tooth
conclusion : then the main category of gear failure
is breakage
```

와 같이 기술할 수 있는데, 이 규칙은 PROLOG 언어로 다음과 같이 기술하여 지식베이스에 구축한다.

```
chosen failure(breakage) if
Positive(has, fracture_of_whole_tooth)
and positive(has, fracture_of_a_substantial
portion_of_tooth).
```

보조범주의 파손형태를 결정하기 위한 지식은, 파손이 복합적인 원인에 의한 경우가 많고 외형적 특징이 다양하며 하나의 특징이 다수의 파손형태와 연관되어 있을 수도 있으므로, 하나의 외형적 특징에 의해 파손의 형태를 단정할 수는 없다. 따라서

파손의 범주와 특징을 객체-속성-값(object-attribute-value)의 형태로서 다음과 같이 프레임(frame)으로 표현되는 사실(fact)로 나타낸다.

```
("Object", [(Value1, Certainty factor), (Value2,
Certainty factor), ..., (ValueN, Certainty factor)])
```

여기에서, 객체는 보조범주의 파손형태를, 값은 손상의 외형적 특징들을, 속성은 이 값들을 리스트(list)구조(...)로 묶어 객체가 값들을 가지고 있다는 관계를 나타낸다.

치차파손 분야에 관한 지식은 어떤 공식이나 이론이 수치적으로 정립되어 있는 분야라기 보다는 비수치적 형태의 지식이 대부분이다. 특히 치차파손의 보조범주를 결정할 때와 같이 각 손상의 외형적 특징에 따른 파손형태를 단정할 수 없는 지식에 의한 결론의 신뢰도를 평가하기 위해서는 지식의 불확실성과 불완전성을 고려하여야 한다.

본 연구에서 보조범주의 파손형태를 결정하기 위한 지식의 불확실성은, MYCIN을 개발할 때 confirmation 이론을 채택하여 Buchanan,S.C. 등이 제안한 확실성계수(certainty factor, CF)⁽¹⁷⁾를 이용하여 수치적으로 -1.0(definitely not) ~1.0(definite)의 범위로 나타낸다. 또한 파손의 보조범주를 결정하기 위한 '객체-속성-값'의 지식과 같이 하나의 객체를 결론짓기 위해 다수개의 값을 이용하는 경우에는, 각각의 값에 나타낸 CF 수치를 사용하여 객체의 누적된 확실성계수를 계산한다. 이를 기준하여 결론의 채택여부를 판단하기 위한 CF의 기준값(threshold value)으로 0.5를 채택하여 CF가 0.5보다 작은 값을 가지면 다른 보조범주의 치차파손을 추론하도록 제안하고, 0.5보다 큰 값이면 믿음만한 결론으로 판정하여 보조범주로 채택한다.

예로써, 보조범주가 굽힘 피로 결손인 경우의 지식을 PROLOG로 기술하면 다음과 같다.

```
inform("Bending_fatigue_breakage," [attr("crack
_in-root-section", 0.6),
attr("fatigue_eyes," 0.6), attr("focal_point_or-
typical_beach_mark," 0.5),
attr("sign_of_fretting_corrosion," 0.3)]).
```

결정된 범주의 파손에 대한 원인진단과 대책을 수립하는데 사용되는 지식은 각 보조범주의 파손형태에 대응하여, 파손형태, 원인을 진단하는 리스트

및 대책을 기술하는 리스트로 구성되는 사실(fact)로 표현한다. 예로써, 결정된 주요범주가 절손이고 보조범주가 굽힘 피로 절손인 경우에 파손의 원인을 진단하고 대책을 수립하는 지식인 사실을 PROLOG로 나타내면 다음과 같다.

explain("Bending_fatigue_breakage", ["CAUSE ; Excessive tooth load which exceed the endurance limit of the materials"], ["REMEDY ; Redesign gear tooth element under endurance limit", "Shot peening & polishing the root fillet", "Careful for heat treatment"]).

(1) 지식획득기능

지식베이스의 지식들은 시간이 지남에 따라 바뀌거나 새로운 지식으로 대체될 수 있고 더 많은 새로운 지식이 발견될 수도 있기 때문에, 항상 수정되고 갱신될 수 있어야 한다. 지식획득기능은 전문가 시스템이 인간 치차전문가로부터 새로운 지식을 습득하거나 기존지식을 수정할 수 있도록 도움을 주는 기능이며, 지식베이스의 기존 지식을 직접 수정하거나 필요없는 지식을 삭제할 수 있는 지식베이스 편집(edit)기능과 새로운 지식을 지식베이스에 첨가할 수 있는 지식베이스 추가(update)기능으로 나누어 구축함으로써 지식베이스를 유지하거나 확장시킬 수 있다.

지식베이스 편집기능은 편집하고자 하는 지식베이스 파일을 선택하여 문자파일(text file)과 같이 편집할 수 있도록 구성하며, 지식베이스 추가기능

은 지식베이스 파일을 선택하여 지식베이스에 구축되어 있는 지식과 동일한 형태로 입력한 후 이를 지식베이스에 저장하도록 구성한다. 예로써, 지식베이스에 파손의 주요범주인 절손에 관한 규칙을 추가할 때에는 Fig. 3과 같이 주요범주의 지식구조인 규칙의 형태로 입력한 후 지식베이스에 저장한다.

3.3 추론기관

지식베이스의 지식을 이용하여 치차파손의 주요범주와 보조범주를 결정하기 위한 추론방법은 귀납법에 의한 해 주도형인 역방향연쇄법(goal driven method, or backward chaining method)을 사용하며, 역방향연쇄에 의하여 탐색공간인 규칙이나 사실을 탐색할 때에는 깊이우선탐색(depth first search)방법을 사용한다⁽¹⁻⁶⁾.

이는 Fig. 1과 같이 계층적으로 형성된 지식베이스를 탐색할 때 하나의 주요범주와 그 계층구조인 보조범주의 지식만을 탐색의 대상으로 삼아 추론할 수 있기 때문에 탐색공간을 줄여 추론의 효율을 높일 수 있다. 이에 의하여 주요범주의 파손형태를 추론하기 위한 추론기관을 PROLOG로 나타내면 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서 역방향연쇄법은 주요범주의 파손형태를 목표(goal or X)로 두어 가정(A)한 후 사용자에게 규칙의 전제부인 손상의 특징들이 존재하는지를 깊이우선탐색에 따라 하나씩 질문하여(술어

POWER TRNMISSION GEARS	< EXPERT SYSTEM >	Han Yang Univ.
[Dialogue for Gear Failure Diagnosis]		
[Update Knowledge base]		
NOTE : Knowledge to determine the Main Category of gear failure : Rule Rule's syntax is as follows.		
chosen-failure (Main-Category-Name) if positive(has,Failure-Phenomenon) [and positive() and ——]		
Write Rule to be updated : chosen-failure(breakage) if positive(has,fracture -of-whole-tooth) and positive(has,fracture-of-a-substantial-portion-of-tooth).		
** Save knowledge ? (y/n) : y		

Fig. 3 Knowledge update in knowledge acquisition facility

```

(A) chosen-failure(X), !,
(C) write("*** Well, the Main Category of gear failure is : ", X), nl,
    asserta(failure(X)), clear-facts.
    positive(X,Y) if xpositive(X,Y), !.
    positive(X,Y) if not(xnegative(X,Y)) and ask(X,Y).
(B) negative(X,Y) if xnegative(X,Y), !.
    negative(X,Y) if not(xpositive(X,Y)) and ask(X,Y).
    ask (X,Y) :-
        write("@ ",X," the failure ",Y," ? (y/n) : "), nl,
        readln(Reply),
        remember(X,Y,Reply).
    remember(X,Y,yes) :- asserta(xpositive(X,Y)).
    remember(X,Y,no) :- asserta(xnegative(X,Y)), fail.
    clear-facts :- retract(xpositive(-,-)), fail.
    clear-facts :- retract(xnegative(-,-)), fail.
    
```

Fig. 4 Inference engine to select the main category of gear failure

ask) 이들이 모두 존재하여 규칙이 만족되면(ⓑ) 가정한 형태의 파손이다(ⓒ)라고 결론짓는다. 또, 찾고자하는 목표인 파손범주에서 규칙의 전제부나 객체의 속성값이 없으면 그 이하의 깊이는 탐색할 필요가 없으므로 추론의 방향을 다음의 목표로 바꾸어 탐색함으로써 추론의 방향을 제어하여 지식베이스의 탐색공간을 줄일 수 있다. 이는 지식베이스의 지식을 이용하는 방법에 관한 추론시의 지식인 메타지식⁽²⁾(meta knowledge)으로 제어하는데(술어 positive, negative, ask, remember 등의 조합운용), 메타지식은 계속적으로 지식베이스가 확장되어 탐색공간이 커지게 될 때 전문가 시스템의 효율적인 탐색을 지원할 수 있다.

이상과 같이 파손의 특징을 이용하여 추론기관에 의해 도출된 주요범주 및 보조범주에 대한 CF를 판정하여 만족할 만한 신뢰도를 가짐이 판명되면 시스템은 이들을 추론의 결과로 간주하여 사용자에게 보여주며, 도출된 파손형태와 파손의 원인진단과 대책을 수립하는데 필요한 지식과의 형태대응을 이용한 동정방법(unification strategy)으로 설명기능에 의해 원인과 대책을 설명하게 된다.

3.4 임시작업영역

임시작업영역은 문제에 관련된 제반 지식들과 해의 탐색과정 중 상태가 변함에 따라 계속적으로 변화하는 지식 등이 내부메모리에 저장될 수 있도록 한 것으로서 입력사항이나 지식베이스에서 읽어들이는 지식, 추론의 결과 결정된 파손의 범주 등을 저

장한다. 이는 다음과 같은 PROLOG의 동적 데이터베이스(dynamic database) 선언^(12,13)을 이용하여 전문가 시스템이 실행되는 동안 변화하는 지식이나 사실을 저장하는 임시작업영역으로 구축할 수 있다.

database

```

inform(symbol, list)
xpositive(symbol, symbol)
xnegative(symbol, symbol)
failure(symbol)
.....
    
```

3.5 전문가 시스템의 알고리즘

Fig. 5는 이상과 같이 구축된 치차파손의 원인과 대책의 진단에 관한 전문가 시스템을 구동하는 알고리즘을 흐름도로 나타낸 것이다. 이는 지식을 획득할 것인가 파손의 원인 및 대책을 진단할 것인가를 선택하여 지식획득인 경우는 지식획득기능에 의해 지식베이스의 수정 및 갱신이 이루어진다. 파손을 진단할 경우에는 추론기관에 의해,

- (1) 주요범주 선택을 위한 규칙의 전제부인 파손 특징의 질문
- (2) 치차파손의 주요범주 선택
- (3) 보조범주 선택을 위한 속성값을 질문하는 상세질문
- (4) 치차파손의 보조범주 선택
- (5) 누적 계산된 CF에 따른 결론의 신뢰도 평가

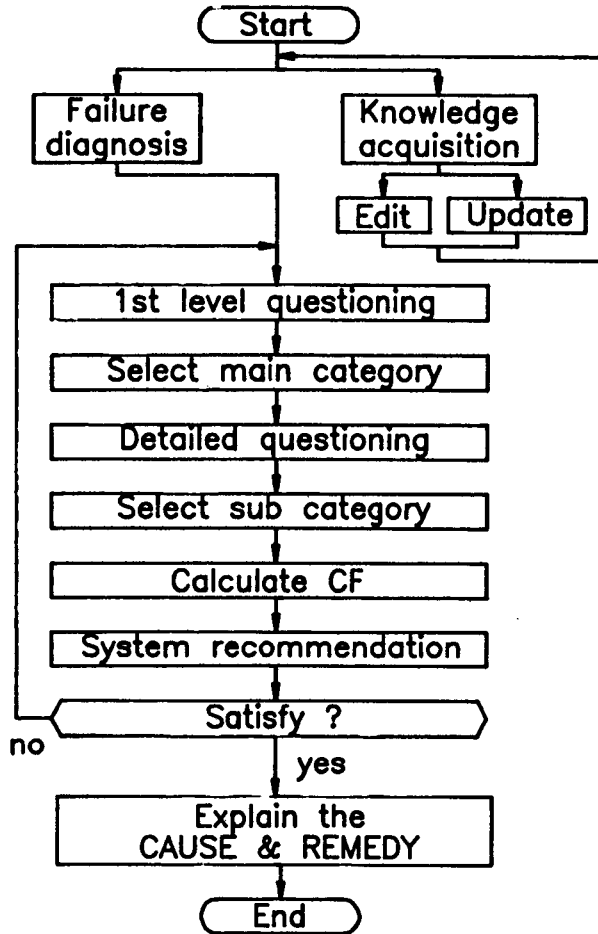


Fig. 5 Flow chart of the expert system

(6) 도출된 결론에 대한 치차파손의 원인 및 대책 설명의 흐름에 따라 진단을 행한다.

4. 전문가 시스템의 구동 및 검토

4.1 전문가 시스템의 운용 및 검토

구축된 치차파손의 원인 및 대책 진단의 전문가 시스템에 예제를 적용하여 운용하고 그 결과를 검토한다. 예제로는 파손된 치차의 외형적 특징으로서, 치차재질의 금속 마모입자가 없으며, 윤활제가 깨끗하고, 이(tooth)의 일부 혹은 전체가 부러졌으며, beach mark가 있고, 이뿌리단면에 크랙이 있으며, fatigue eyes가 있고, focal point가 있으며,

fretting corrosion의 징후가 있는 등의 파손특징을 가진 경우에 대한 치차파손을 진단한다.

Fig. 6은 본 전문가 시스템을 예제에 대해 적용하여 치차파손을 진단할 때의 화면들을 나타낸 것이다. 그림에서 (a)는 전문가 시스템 기동시의 초기화면으로서 사용자 인터페이스에 의한 주메뉴 화면이며, (b)는 Fig. 4의 추론기관에 의해 주요범주를 결정하기 위하여 사용자 인터페이스를 통한 질문과정이며, (c)는 주요범주가 추론결정되었음을 설명기능에 의해 보인 후 보조범주를 결정하기 위한 질문과정이고, (d)는 추론을 행한 결과 보조범주가 결정되었음과 결론의 신뢰도 및 시스템의 조언을 설명기능에 의해 보인 화면이며, (e)는 동정 방법에 의해 파손의 원인 및 대책을 설명한 화면을

각각 나타낸다.

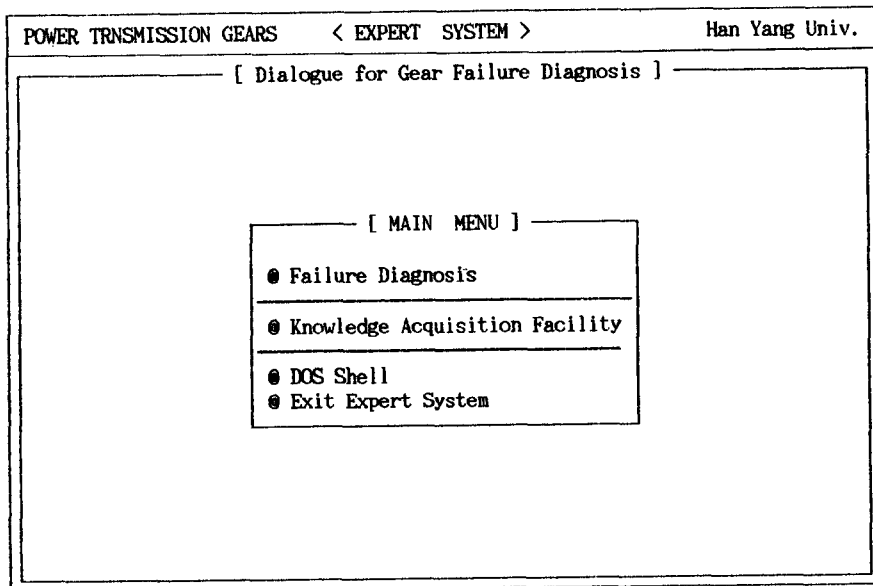
이와같이 지식베이스와 추론기관 등에서 진단한 결과, 추론결과의 확실성계수가 0.9777 로서 파손의 주요범주가 "breakage"이고 보조범주가 "Bending fatigue breakage"임이 확실시되며, 파손의 원인으로는 재질의 피로한도보다 큰 과도한 하중이 작용하였고, 이를 방지하기 위한 대책으로서는 피로한도 이내의 하중상태가 되도록 치차를 재설계하거나 이뿌리부를 쇼트 피닝과 연마에 의한 후가공을 행하며 특히 열처리 과정에 주의하여야 한다는 결론을 내리고 있는데, 이는 파손의 특징들로 미루어 볼 때 타당한 결론임을 알 수 있다.

4.2 사용자 인터페이스 및 설명기능

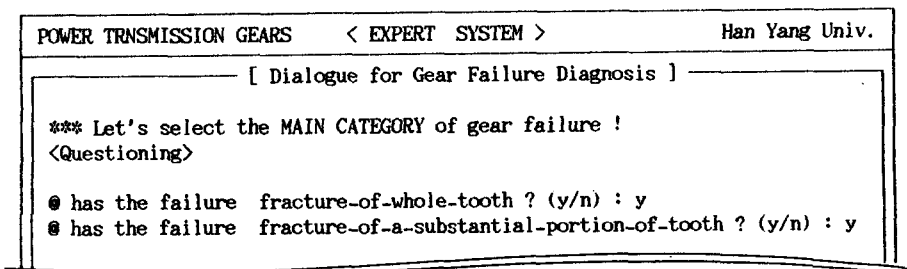
사용자 인터페이스는 Fig. 6(a)와 같은 메뉴화면

(menu window) 과 Fig. 6(b),(c)와 같은 대화화면 (dialogue window)으로 구성한다. 메뉴화면에서는 입력사항의 선택에 의한 입력을 행하며, 대화화면에서는 시스템이 사용자에게 행하는 질문 등을 지원함으로써 사용자가 시스템을 보다 손쉽게 사용할 수 있도록 한다. 따라서 추론시의 역방향 연쇄에서 Fig. 6(b),(c)와 같은 화면을 통해 각각의 목표를 만족시키기 위한 규칙의 전제부나 사실의 속성값들을 지식베이스의 내용을 이용하여 사용자에게 보여 주어 이들의 존재여부를 질문함으로써 사용자가 입력하는 'y'(yes) 혹은 'n'(no)에 의해 확인하는 추론을 행하기 때문에 사용자는 시스템의 추론상태를 쉽게 이해할 수 있다.

설명기능은 입력이나 추론에 의해 얻어진 결론에 대하여 사용자에게 시스템이 설명하는 것으로서



(a) Main menu window



(b) Dialogue window with user to determine the main category of gear failure

Fig. 6(c)의 'why'기능과 같이 추론도중 시스템이 행하는 질문에 대해 사용자가 그 이유를 질문하여 (why) 시스템이 질문이유를 설명하거나 ((Explanation)부분), Fig. 6(d), (e)와 같이 추론에 의해 얻어진 결론 및 결론의 타당성, 시스템의 조언, 치차파손의 원인과 대책 등을 사용자에게 설명하는

기능이다.

이상과 같은 치차파손의 원인과 대책의 진단에 관한 전문가 시스템은 MS-DOS에 의해 운용되는 IBM-PC호환기종에서 PROLOG언어로 작성하며, PROLOG언어의 language software가 없더라도 독립적으로 DOS상에서 사용가능한 실행파일을 만들

```

POWER TRNSMISSION GEARS    < EXPERT SYSTEM >                Han Yang Univ.
----- [ Dialogue for Gear Failure Diagnosis ] -----
*** Well, the Main Category of gear failure is : breakage

*** Now, let's select the SUB CATEGORY of gear failure !
    And, if you want to know the current searching object, Key in 'why'.
<Questioning>

@ gear (is/has/does) no-beach-mark ? (y/n) : n
@ gear (is/has/does) crack-in-root-section ? (y/n) : y
@ gear (is/has/does) fatigue-eyes ? (y/n) : y
@ gear (is/has/does) focal-point-or-typical-beach-mark ? (y/n) : why
-----
<Explanation>

Until now, I think the failure may be ** Bending-fatigue-breakage because
it has Bending-fatigue-breakage's attribute
-----
@ gear (is/has/does) focal-point-or-typical-beach-mark ? (y/n) : y
    
```

(c) Dialogue window with user to determine the sub category of gear failure

```

POWER TRNSMISSION GEARS    < EXPERT SYSTEM >                Han Yang Univ.
----- [ Dialogue for Gear Failure Diagnosis ] -----
----- [ Inference Result ] -----
*** Well, the Sub Category of gear failure is : Bending-fatigue-breakage
with reliability of certainty factor 0.977777778

    It is rather a good conclusion

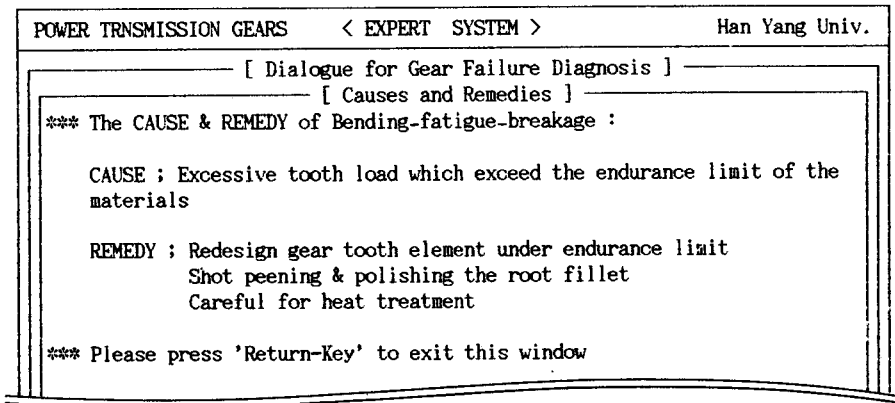
*** System Recommendation ***

    You may believe this conclusion and try to collect your gears as given
    by the system

*** Please Key in 'Bending-fatigue-breakage' if you accept this result
and want to know the Causes and Remedies of failure,
or, otherwise, simply press 'Return-Key'

    : Bending-fatigue-breakage
    
```

(d) Explanation of inference results



(e) Explanation of the causes and remedies of failure

Fig. 6 Example of the expert system execution

어 실행되도록 한다.

5. 결 론

본 연구에서는 동력전달용 치차설계 전문가 시스템을 개발하기 위한 일단의 연구로서 치차파손의 원인과 대책의 진단을 행하는 전문가 시스템을 개발하였다. 지식베이스의 치차파손에 관한 지식으로는 전문가의 노우하우같은 지식과 공표된 여러 문헌 및 규격 등을 참고하여 11개의 주요범주와 24개의 보조범주로 파손형태를 계층적으로 분류하여 구축하였으며, 추론기관은 역방향연쇄 방법과 깊이우선 탐색에 의한 추론을 하며 메타지식을 사용하여 탐색공간을 줄임으로써 추론의 효율화를 도모하고, 추론의 중간결과 등을 저장하기 위한 임시작업 영역을 구축하였다. 결론의 확신도를 검정하기 위해 확실성계수를 이용하여 기준값을 부여함으로써 결론의 신뢰도를 판정할 수 있으며, 지식획득 기능과 설명기능 및 사용자 인터페이스 등을 추가하였다.

본 전문가 시스템은 MS-DOS로 운용되는 IBM-PC호환기종에서 PROLOG언어로 기술하여 DOS상에서 독립적으로 실행될 수 있도록 함으로써 치차나 컴퓨터의 초심자라도 손쉽게 이용하여 치차파손의 원인과 대책을 수립할 수 있도록 하였다.

따라서 구축된 전문가 시스템을 실행하여 본 결과 치차의 파단면이나 손상부 등에서의 외형적 특징을 참조하여 파손의 원인과 대책을 적절히 진단할 수 있음을 알 수 있었다.

후 기

이 연구는 1989년도 한국 과학재단 연구비 지원에 의한 결과(과제번호: 891-0908-017-2)임을 밝혀 두며 심심한 사의를 표합니다.

참고문헌

- (1) Luger, G.F. and Stubblefield, W.A., 1989, Artificial Intelligence and the Design of Expert Systems, Benjamin/Cummings Pub. Inc.
- (2) Shapiro, S.C. and Eckroth, D., 1987, Encyclopedia of Artificial Intelligence, Vol.1, John Wiley & Sons Inc.
- (3) Human, P. and King, D., 1985, Artificial Intelligence Business Expert System, John Wiley & Sons Inc.
- (4) James, M. and Steven, O., 1988, Building Expert Systems, Prentice-Hall.
- (5) Waterman, D.A., 1986, A Guide to Expert Systems, Addison-Wesley.
- (6) Milacic, 1986, "How to Build Expert Systems," Annals of CIRP, Vol.35, pp. 445~450.
- (7) 김혁, 이경원, 윤용산, 1990, "플라이 휘일의 설계를 위한 지식기반 전문가 시스템의 개발에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 제14권, 제5호, pp.1138~1146.
- (8) Brown, J.P., Clinton, J.H. and Nevill Jr., G.E.,

- 1989, "Managing Subproblem Interactions in Preliminary Mechanical Design," Proceedings of the 1989 ASME International Computers in Engineering Conference and Exposition, Anaheim, California, pp.265~272.
- (9) Zhang, Z. and Rice, S.L., 1989, "An Expert System for Conceptual Mechanical Design," Proceedings of the 1989 ASME International Computers in Engineering Conference and Exposition, Anaheim, California, pp.281~285.
- (10) 정태형, 久保愛三, 1987, "動力傳達用 齒車設計를 中心으로 한 機械要素 設計의 엑스퍼트 시스템 開發研究(I)—齒車設計 및 트리블 슈팅 데이터 베이스 構築 및 運用—", 대한기계학회논문집, 제11권, 제6호, pp.1014~1025.
- (11) Fry, T.A. and Marriot, D.L., 1986, "GCES : An Application of Expert System Software to a Corrosion Prevention Design Tool," Design Engineering Technical Conference, Columbus, Ohio, ASME paper 86-DET-42.
- (12) Rich, K.M. and Robinson, P.R., 1988, Using Turbo Prolog, Osborne McGraw-Hill.
- (13) Clocksin, W.F. and Mellish, C.S., 1987, Programming in Prolog, Springer-Verlag.
- (14) Alban, L.E., 1986, Systematic Analysis of Gear Failures, American Society for Metals.
- (15) American Gear Manufacturer's Association, 1980, Nomenclature of Gear Tooth Failure Modes, AGMA Standard, GAMA 110.04.
- (16) Merritt, H.E., 1971, Gear Engineering, Addison-Wesley.
- (17) Buchanan, B.G. and Shortliffe, E.H., 1985, Rule-Based Expert Systems-The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project, Addison-Wesley.