

〈論 文〉

동력전달용 치차설계 전문가 시스템 개발연구(Ⅱ)

— 인벌류우트 원통치차의 강도 기준 설계 —

정태형* · 변준형** · 이동형***

(1991년 8월 24일 접수)

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

— Design of Involute Cylindrical Gears on the Basis of Strength —

Tae Hyong Chong, Joon Hyong Byun and Dong Hyong Lee

Key Words : Gear(치차), Involute Cylindrical Gear(인벌류우트 원통치차), Expert System(전문가 시스템), Gear Design(치차설계), Strength & Durability(강도), PROLOG Language(PROLOG언어)

Abstract

An expert system is developed which can design the power transmission involute cylindrical gears on the basis of strength and durability. Bending strength, surface durability, scoring, and wear probability are considered as the basis. The basic components of the expert system are knowledge base, inference engine, and working memory. The knowledges in knowledge base are classified hierarchically into the knowledges used in selection of gear type, selection of materials, and determination of K factor and are represented by rules. In the inference engine two inference methods are implemented with the depth first search method. Forward chaining method is introduced in the selection of gear type and materials and in the determination of K factor. Backward chaining method is introduced in the detailed design of module and face width in accordance with the validation of strength. And inference efficiency is achieved by constructing the part needing a lot of numerical calculations in strength estimation separately from inference mechanism. The working memory is established to save the results during inference temporarily. In addition, design database of past design results is built for consultation during design and 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 and the FORTRAN language in numerical calculation part which interfaced with PROLOG and can also be executed on IBM-PC compatible computer operated by MS-DOS alone.

1. 서 론

최근들어 기계공학 분야에 있어서도 전문가 시스

템 개발에 관하여 많은 연구가 진행되고 있으며 기계요소 설계분야에서의 전문가 시스템 구축에 대한 관심이 높아지고 있다⁽¹⁻³⁾.

기계요소 중에서도 각종 동력전달 장치 등에 광범위하게 사용되고 있는 치차장치는 그 성능에 미치는 인자의 수가 많고 인자의 영향이 복잡하고 난

*정희원, 한양대학교 기계공학과

**정희원, 한양대학교 대학원

***현대엘리베이터

해하여 치차전문가의 경험적 전문지식이 필요한 부분이 아직도 많이 남아 있으면서도 공업적으로 매우 중요한 기계요소이다. 그러므로 치차장치를 해석하고 설계하기 위해서는 요구성능을 낼 수 있는 형상 및 강도설계, 제작, 운전시의 손상 및 트러블 슈팅 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⁽⁴⁻⁶⁾. 그러므로 치차전문가의 지식을 이용하여 치차장치의 설계, 제작, 손상 및 트러블 슈팅 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 트러블 슈팅 데이터 베이스 구축 및 운용에 관한 연구⁽⁷⁾를 이미 보고한 바 있다. 본연구는 동력전달용 치차설계 전문가 시스템을 구축하기 위한 일단의 연구로서 먼저 동력전달용 치차의 치차파손의 원인과 대책의 진단을 위한 전문가 시스템을 개발하였으며⁽⁸⁾, 본논문에서는 치차의 강도를 기준으로 삼아 원통치차를 설계할 수 있는 강도 기준 치차설계 전문가 시스템을 개발한다. 즉, 전문가 시스템은 치차설계에 필요한 지식을 체계적으로 지식 베이스에 구축하며, 이를 이용하여 새로운 설계안을 도출해 낼 수 있는 추론엔진을 구성하고, 설계과정중에 변화하는 설계의 중간결과 등을 저장하기 위한 임시작업영역을 기본요소로 구축한다. 또한 과거의 설계예를 데이터 베이스로 구축하여 설계시에 참조 할 수 있도록 하며, 새로운 치차의 설계뿐만아니라 설계되어 있는 치차의 강도평가도 할 수 있도록 한다. 전문가 시스템에 사용자 인터페이스, 설명기능, 지식획득기능 등을 추가함으로써 치차분야에 초심자라 할지라도 개발된 전문가 시스템과의 문답식 대화를 통하여 손쉽게 치차를 설계할 수 있도록 한다. 전문가 시스템을 기술하는 프로그램 언어는 PROLOG^(9,10)를 사용하여 퍼스널컴퓨터 상에서 구동될 수 있도록 하며, 강도평가가 많은 수치계산이 필요한 부분은 FORTRAN 언어를 사용하여 기술한 후

PROLOG와 연결(interface)함으로써 전체 전문가 시스템을 구축한다.

2. 강도설계의 기준

원통치차에서 발생하는 손상의 대표적인 예로는 절손(breakage), 피팅(pitting), 스코링(scoring, or scuffing), 마모(wear) 등을 들 수 있다. 따라서 치차의 운전시에 이들 손상이 발생하지 않도록 하기 위해서는 설계단계에서 손상이 발생하지 않도록 강도를 충분히 고려하여 각종 재원을 설계하여야 한다.

원통치차의 강도는 각 치차의 재질, 치면에 작용하는 하중의 형태, 치차의 물림상태에 따른 최악하중의 작용위치, 치차의 사용상태, 최종적인 치차손상 및 파손형태 등 어떤 인자를 기준으로 두느냐에 따라 그 평가방법이나 평가결과가 달라지게 된다. 치차의 강도평가 방법으로는 여러가지 방법들⁽¹¹⁻¹⁵⁾이 있으나, 이들중 실제의 경험적 데이터가 풍부하고 강도에 영향을 미치는 인자들을 잘 고려하고 있으며, 또한 현재까지 설계실적이 가장 많은 설계평가법을 사용하는 것이 바람직하다.

따라서 본연구에서는 치차설계시의 강도평가 기준으로 현재 세계적으로 가장 많이 설계에 이용되며 실적도 많은 AGMA 규격식^(13,14)을 채용한다. 이는 절손에 대한 굽힘강도(bending strength), 치면의 피팅에 대한 면압강도(surface durability), 스코링 및 마모의 발생여부를 평가할 수 있다. 굽힘강도와 면압강도의 평가 및 스코링의 발생여부는 각각 식(1)~식(3)으로 판정하며, 마모는 경계윤활하의 비유막두께(specific film thickness)와 피치선속도의 상관관계에 의한 마모의 발생확률로 평가한다.

$$S_t \leq S_{at} \frac{K_L}{K_R K_R} \quad (1)$$

$$S_c \leq S_{ac} \frac{C_L C_H}{C_R C_R} \quad (2)$$

$$t_{cmax} \leq t_s \quad (3)$$

식(1)~식(3)에서, S_t , S_c 는 각각 공칭 굽힘응력 및 접촉응력, S_{at} , S_{ac} 는 각각 허용 굽힘응력 및 접촉응력을 나타내고, 굽힘과 접촉응력의 안전계수 중 K_L , C_L 은 수명계수, K_R , C_R 는 온도계수, K_R , C_R 은 신뢰도계수, C_H 는 경도비계수를 나타내며, t_{cmax} 는 최대치면접촉온도, t_s 는 평균 스코링온도

(mean scuffing temperature)를 각각 나타낸다. 식(1)과 식(2)에서 S_t 및 S_c 는 각각 식(4), 식(5)로 계산된다.

$$S_t = \frac{W_t K_a}{K_v} \frac{1.0}{F m} \frac{K_s K_m K_B}{J} \quad (4)$$

$$S_c = C_p \sqrt{\frac{W_t C_a}{C_v} \frac{C_s}{d F} \frac{C_m C_f}{I}} \quad (5)$$

식(4) 및 식(5)에서, W_t 는 피치원 접선하중, F 는 치폭, m 은 모듈, K_a, C_a 는 사용계수, K_s, C_s 는 치수효과계수, K_m, C_m 은 하중분포계수, K_v, C_v 는 동하중계수, J, I 는 형상(기하)계수, d 는 피니언의 물림피치원 직경, C_p 는 탄성정수계수, C_f 는 표면상태계수, K_B 는 림두께계수를 각각 나타낸다.

3. 전문가 시스템 구축

원통치차를 설계하기 위한 전문가 시스템은 설계하고자 하는 치차의 굽힘, 면압, 스코링, 마모 등의 강도를 AGMA규격의 평가방법에 의해 평가함으로써 손상에 대해 치차가 안전하도록 각종 제원을 설계하는 전문가 시스템으로 구축한다.

전문가 시스템은 Fig. 1과 같이 설계에 필요한 지식을 체계적으로 격납한 지식베이스, 설계를 수행하는 추론기관, 추론의 중간결과 등을 보관하기 위한 임시작업영역을 기본요소로 구축하고, 여기에 사용자와의 대화를 위한 사용자 인터페이스, 추론의 설명기능, 지식베이스의 지식을 보수하고 유지

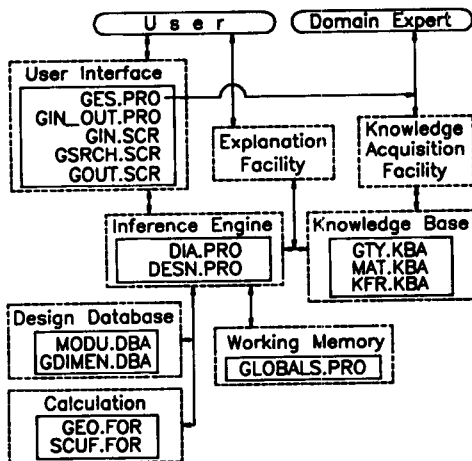


Fig. 1 Structure of expert system for gear strength design

하기 위한 지식획득 기능을 추가하며, 과거에 설계된 치차의 각종 제원을 설계 데이터 베이스화하여 차후의 설계에 참조할 수 있도록 하며, 강도평가지 많은 수치적 계산이 필요한 부분은 별도의 계산부분으로 구별하여 구축한다.

3.1 치차의 설계

동력전달용 인벌류우트 원통치차를 설계하기 위한 설계과정은 치차의 사용목적인 설계명세로부터 시작한다. 이는 치차가 전달하여야 할 동력이나 구동기의 속도, 치차비(속도비) 등으로서 치차를 사용할 사용자로부터 얻는다. 특히 치차비가 클 경우에는 다수개의 치차열에 의한 설계나, 유성치차장치등의 설계를 고려할 수도 있으나 본연구에서는 치차비가 10:1 미만인 단일 속도단의 원통치차열에 대한 설계로 한정한다.

Fig. 2는 본연구의 치차설계과정을 나타낸 것으로서 다음과 같은 과정에 의해 설계를 수행한다.

- I. 과거의 설계에 참조
- II. 초기설계
 1. 치차의 형태선정 (spur, or helical)
 2. 피니언과 기어의 재질선정
 3. K factor 결정 및 초기중심거리 선정
- III. 상세설계 및 재설계
 1. 모듈 및 치폭의 가정
 2. 굽힘, 면압, 스코링, 마모의 강도평가
 3. 모듈 및 치폭의 결정

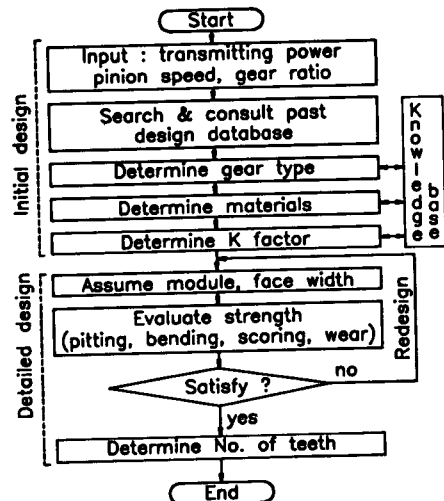


Fig. 2 Design procedure of cylindrical gears

4. 각 치차의 잇수결정

즉, 설계명세를 만족할 수 있는 과거의 설계예를 참조하여 설계목적에 적합한 예가 있으면 이를 채택하고, 없으면 새로운 치차설계를 행한다. 새로운 치차의 초기설계에서 치차의 형태선정은 최대 피치 선속도의 크기, 소음의 제한 여부, 전달하중의 크기, 축방향 추력의 고려여부 등에 따라 평치차나 헬리컬 치차로 선정하며, 피니언과 기어의 재질선정은 내마모성과 전달하중의 크기에 따라 선정한다. 또한 치차가 장착되는 기계의 종류, 치차의 표면경도, 치차정밀도, 수명사이클 등을 고려하여 K factor를 결정하며, 치폭을 중심거리(C)와 같다고 가정할 후 식(6)을 이용하여 초기중심거리를 선정한다⁽¹⁶⁾.

$$C^2 F = \frac{T}{2K} \frac{(u+1)^3}{u}, \quad u = \frac{Z_g}{Z_p} \quad (6)$$

이때, T는 전달토크, K는 K factor, u는 치차비, Zp, Zg는 각각 피니언과 기어의 잇수이다. 중심거리가 선정되면 치차의 상세설계로서 모듈과 치폭을 결정하기 위한 반복설계를 행한다. 모듈은 규격(KS B 1404)의 모듈중 작은 것부터 차례로 가정하며 치폭은 중심거리를 치차비로 등분한 피니언

의 직경과 같다고 가정할 후 차츰 감소시켜 나가면서 각종 치차제원 및 강도의 영향인자를 계산하여 강도를 평가한다. 모듈은 굽힘강도를 기준하고, 치폭은 면압강도를 기준하며, 스크로링과 마모의 발생 여부를 함께 고려하여 평가된 강도에 의해 가정할 모듈과 치폭이 적절하다고 판단되면 이를 설계결과로 결정하며, 적절하지 않을 경우는 다시 이들을 가정하여 강도평가를 수행함으로써 설계를 반복한다. 중심거리와 모듈이 결정되며 식(7)에 의하여 피니언과 기어의 잇수를 결정한다.

$$C = 0.5m(Zp + Zg) \quad (7)$$

3.2 지식베이스 및 지식획득기능

지식베이스는 Fig. 3과 같이 전문가의 노우하우 같은 전문지식과 공표된 여러문헌 및 규격 등⁽¹³⁻¹⁶⁾을 참고로 하여 계층적 구조로 구축한다. 이는 치차의 형태선정시에 사용되는 지식으로서 평치차와 헬리컬 치차를 선정하기 위한 지식과, 일반적인 치차재질로서의 여섯가지 형태의 재질을 선택하기 위한 지식 및 치차의 사용용도에 따라 치차의 정밀도, 수명사이클, 표면경도 등을 이용하여 K factor를 결정하여 이에따라 중심거리를 결정하기 위한

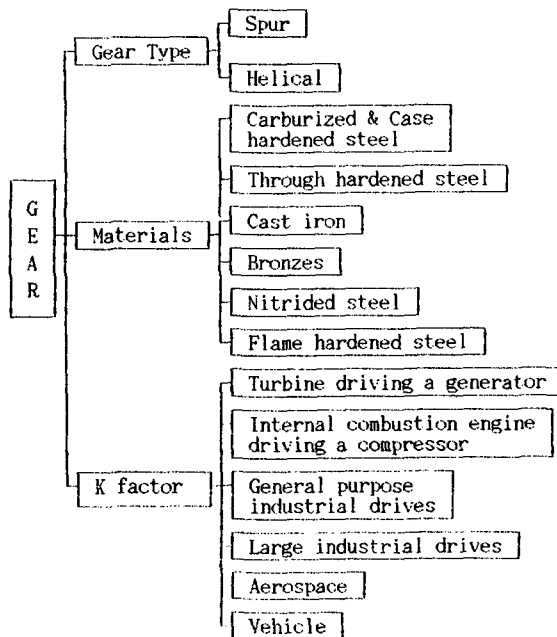


Fig. 3 Hierarchical structure of knowledge base

POWER TRNSMISSION GEARS	< EXPERT SYSTEM >	Han Yang Univ.
[Dialogue for Gear Strength Design]		
[Update Knowledge base]		
CATEGORY:-----:SUBCATEGORY:-----:[PREMISES]		
<Example>		
geartype:is an: spur : if: it is applied to most low speed gearing		
:and if: noise is not a serious problem		

① Name of CATEGORY : geartype		
① Name of SUBCATEGORY : spur		
① PREMISE : precision rating is excellent and highest efficiency		
① PREMISE : it is applicable to all types of trains		
① PREMISE : it is applicable to a wide range of velocity ratio		
① PREMISE :		
① Name of CATEGORY :		
? Save Knowledge (y or n) :		

Fig. 4 Knowledge update of knowledge acquisition facility

지식으로 대별하여 구축한다(Fig. 1의 *, KBA). 지식베이스 내부의 개별지식은 규칙(rule)으로 나타낸다. 예로써 치차의 형태선정을 위한 지식중 결론부(rule())인 평치차를 선정하기 위한 전제부(prem())들로 표현되는 지식을 PROLOG에 의해 규칙으로 나타내면 다음과 같다.

```
rule(1, "geartype", "spur", [1, 2, 3])
prem(1, "it is applied to most low speed gearing")
prem(2, "noise is not a serious problem")
prem(3, "practical limiting speed is to be 18 to 25 meter per second")
```

여기에서 각 항목의 첫 숫자는 지식베이스내에 있는 규칙이나 전제부의 일련번호이며 규칙내부의 리스트 [1, 2, 3]은 그 규칙이 성립하기 위해 필요한 전제부의 번호를 각각 나타낸다.

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 기존지식을 직접 수정하거나 필요없는 지식을 삭제할 수 있는 지식베이스 편집(edit)기능과 새로운 지식을 지식베이스에 첨가할 수 있는 지식베이스 추가(update)기능으로 나누어 구축함으로써 지식베이스를 유지하거

나 확장시킬 수 있다.

지식베이스 편집기능은 편집하고자 하는 지식베이스 파일을 선택하여 문자파일(text file)과 같이 편집할 수 있도록 구성하며, 지식베이스 추가기능은 지식베이스 파일을 선택하여 지식베이스에 구축되어 있는 지식과 동일한 형태로 입력한 후 지식베이스에 저장하도록 구성한다. 예로써, 지식베이스에 평치차를 선정하기 위한 규칙을 추가할 때에는 Fig. 4와 같이 치차의 형태선정을 위한 지식구조인 규칙의 형태로 입력한 후 지식베이스에 저장할 수 있다.

3.3 추론기관 및 계산부분

추론기관은 지식베이스에 구축된 지식을 사용하여 설계해를 도출해 나가는 전문가 시스템의 두뇌이다. 설계과정 중에서 치차의 형태선정, 피니언과 기어의 재질선정, 중심거리결정을 위한 K factor 결정 등에서는 규칙의 전제부들을 하나씩 검증하여 이들이 모두 만족되면 결론부를 도출해 내는 자료 구동형인 전방향 추론방법⁽⁴⁻⁶⁾을 사용한다. 해를 도출하기 위한 전방향 추론에서 검증하여야 할 탐색공간인 Fig. 3에 도시된 계층적 지식구조의 전제부들을 탐색할 때에는 깊이우선탐색법⁽⁴⁻⁶⁾에 의해 다음과 같은 PROLOG 명령으로 추론을 행한다.

```
search(History, Goal) :-not(rule( __,
Goal, __, )), !, ml, insert __ fact
(Goal).
```

search(History, Goal) : — rule(NO, Goal, New-Goal, Cond), check(NO,History, Cond), search([NO!History], NewGoal).

추론은 지식베이스에서 규칙(rule)을 읽어들이며, 사용자와의 대화를 통해 그 규칙의 전제부들(Cond)이 합당한지를 질문하여 검증(check)한 후, 사용자의 응답("yes" or "no")을 History에 저장하며, 깊이우선탐색에 의해 모든 전제부들이 합당하다고 판명되면 그 규칙의 결론(NewGoal)을 임시작업영역인 insert_fact()에 저장함으로써 전방향 추론을 수행한다. 이때 지식베이스의 규칙들은 search 술어의 tail recursion에 의하여 순차적으로 탐색된다.

이에 반하여 치폭과 모듈을 설계하기 위한 반복적인 설계과정에서는 해주도형인 역방향 연쇄법("←"을 사용한다. 즉, 목표상태인 치폭과 모듈의 크기를 가정하여 이에 의한 각종 치차제원을 산출하며 굽힘, 면압, 스키닝, 마모 등의 강도를 평가한 후 이들 강도평가가 결과가 만족하지를 사용자와의 대화에 의해 판단하여 만족하다면 가정한 모듈과 치폭을 설계결과로 도출해 낸다.

모듈과 치폭에 의한 상세설계시에 행하는 강도평가에 있어서 모듈과 치폭이 변화함에 따라 변화하는 강도의 영향인자 중 수치적 연산이 많이 필요한 형상계수(J,I) 등의 계수들이나 스키닝과 마모의 발생확률 등을 계산할 때에는 논리형 언어인 PROLOG 로는 효과적인 계산을 행하기 어려우므로 수치계산에 적합한 절차형 언어인 FORTRAN 언어로 기술하여 계산하는 것이 보다 효율적이다. 따라서 이들 계산부분을 FORTRAN으로 기술(Fig.1의 *.FOR)하여 실행파일을 만든 후, PROLOG의 DOS Shell⁹⁾기능을 이용하여 PROLOG와 연결하여(file interface) 구축함으로써 PROLOG에 의한 추론의 효율을 높일 수 있다. 예로써, 스키닝의 발생여부를 판정하는 식(3)의 t_{cmax} 와 t_s 의 계산은 상세설계를 행하는 추론기관내에 다음과 같이 기술된 PROLOG 프로그램에 따라 수행한다. 즉, t_{cmax} 나 t_s 를 계산하는 FORTRAN 파일인 SCUF.FOR의 실행파일 SCUF.EXE를 실행시키기 위한 데이터들을 SCUF.IN이라는 파일로 작성하고(Ⓐ), SCUF.EXE를 실행하여(Ⓑ) 만들어진 계산결과 파일인 SCUF.OUT의 내용(t_{cmax} 와 t_s 의 값, 기타)을 추론기관내에 읽어 들인 후(Ⓒ),

이를 이용하여 스키닝판정을 위한 추론(Ⓓ)을 행한다.

- Ⓐ openwrite(outfile, "scuf.in"), !, writedevic
- Ⓑ (outfile), write(...), closefile(outfile), writedevic(screen),
- Ⓒ system("scuf"),
- Ⓓ existfile("scuf.out"), !, openread(infile, "scuf.out"), readdevice(infile), readreal(...), closefile(infile),
- Ⓔ scor_message.

3.4 임시작업영역 및 설계 데이터 베이스

임시작업영역은 치차설계에 관련된 제반지식과 설계결과와 탐색과정에서 상태가 변함에 따라 계속적으로 변화하는 지식 등이 내부메모리에 저장될 수 있도록 한 것으로서, 입력사항이나 지식베이스에서 읽어들이는 지식 등을 저장하거나, 설계과정 동안 추론엔진을 통해 결정된 치차의 형태, 재질 등의 설계 중간결과 등을 저장한다. 이는 다음과 같은 PROLOG의 동적 데이터 베이스 선언을 이용하여 전문가 시스템에 구축한다.

```
GLOBAL DATABASE-DESIGN
GTYPE(String)
MAT_DB(MP, MG)
KFACTOR(String)
...

```

설계 데이터 베이스는 설계과정 중에 필요한 사실에 대한 지식을 구축한 것으로서, 설계과정의 추론과는 관계없이 항상 일정한 내용을 저장하고 있으며, 모듈(MODU, DBA)과 과거의 설계예(GDIMEN.DBA) 데이터 베이스로 구성된다. 모듈 데이터 베이스는 규격(KS B 1404, 모듈 0.1mm ~ 50.0mm)의 모듈값을 저장한 것이며, 설계예 데이터 베이스는 이미 과거에 설계되었던 원통치차의 제원(전달동력, 구동회전수, 치차비, 치차의 형태, 모듈, 치폭 등)을 저장한 것이다. 따라서 치차의 설계시 Fig. 2에 나타난 바와 같이 추론기관에 의해 새로운 설계과정을 수행하기 전에 설계예 데이터 베이스를 참조하여 설계하고자 하는 사양의 치차와 유사한 설계예가 있는지를 검색 및 검토할 수 있으며, 유사한 예가 존재하고 그 설계결과가 만족스럽다면 이를 채택함으로써 새로운 설계를 수행하지 않고서도 목적을 달성할 수 있다. 또한 새로운

설계를 수행한 결과와 과거의 설계예를 비교하여 평가할 수도 있는 참조용으로도 유용하게 이용할 수 있다.

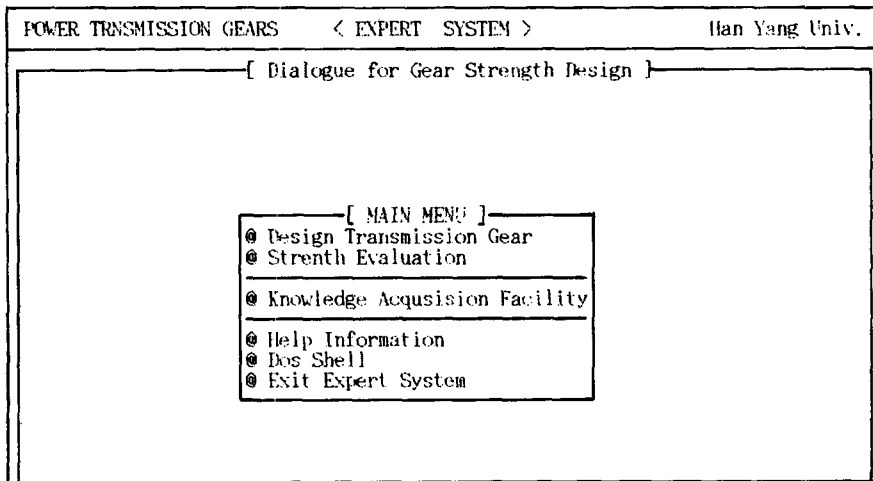
4. 전문가 시스템의 구동 및 검토

4.1 전문가 시스템의 운용 및 검토

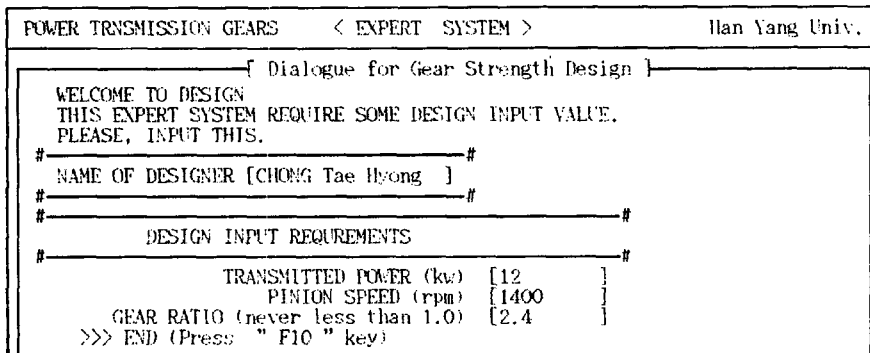
구축된 치차의 강도 기준 설계 전문가 시스템에 예제를 적용하여 운용하고 그 결과를 검토한다. 예제로는 전달동력이 12KW이고 구동 피니언의 회전수가 1400rpm이며 치차비가 2.4인 일반 산업용 감속치차를 설계한다.

Fig. 5는 본 전문가 시스템을 예제에 대해 적용하여 원통치차를 설계하는 과정의 화면들 중 일부를 예로 나타낸 것이다. 그림에서 (a)는 전문가

시스템 기동시의 초기화면으로서 사용자 인터페이스에 의한 주메뉴 화면으로서, 본 전문가 시스템은 새로운 치차의 설계, 전문가 시스템의 강도에 관련된 부분만을 이용하여 행하는 과거에 설계된 치차의 강도평가, 지식의 획득 등의 작업을 할 수 있다. (b)는 설계의 요구사항을 입력하는 과정이며, (c)는 치차의 재질을 결정하고 K factor를 결정하기 위한 질문을 행한 후 결정된 재질과 K factor를 보여주는 화면이며, (d)는 추론도중 사용자의 질문(why)에 대한 설명기능을 보인 화면이며, (e)는 모듈을 가정하여 추론을 행한 결과로서 계산된 굽힘 및 면압응력과 허용응력을 대비하여 보여줌으로써 결과의 만족여부를 묻는 과정이며, (f)는 강도를 기준하여 설계된 치차의 설계결과 중 일부를 보인 화면이다. 이와같이 본 전문가 시스템을 이용하



(a) Main menu window



(b) Input process of design requirements

POWER TRANSMISSION GEARS	< EXPERT SYSTEM >	Han Yang Univ.
[Dialogue for Gear Strength Design]		
# PROCESS TO DETERMINE MATERIALS & K FACTOR		
? DO YOU KNOW MATERIALS (yes ; no) no		
? DO YOU KNOW CENTER DISTANCE (yes ; no ; why)		
? Is it true that it will use when high wear resistance and load carrying capacity is required		
*** : yes		
? Is it true that it will use for heavy duty service, e.g., transmission gears		
*** : yes		
? Is it true that Application is Turbine driving a generator		
*** : no		
? Is it true that Application is Internal combustion engine driving a compressor		
*** : no		
? Is it true that Application is General purpose industrial drives		
*** : yes		
? Is it true that Minimum hardness of gears is 58 HRC (Pinion) and 58 HRC (Gear)		
*** : yes		
? Is it true that Number of Pinion Cycles is one hundred million (10exp.8)		
*** : why		
? Is it true that Number of Pinion Cycles is one hundred million (10exp.8)		
*** : yes		
? Is it true that Accuracy is Medium high precision		
*** : yes		
! I DETERMINE THAT K factor of Carburized & Case Hardened Steel is 5.52 BY USING rule number [15.1]		
? SATISFY THIS RESULT (yes ; no ; how) : yes		

(c) Process to determine materials and K factor

POWER TRANSMISSION GEARS	< EXPERT SYSTEM >	Han Yang Univ.
[EXPLANATION]		
I TRY TO SHOW THAT: K factor is 5.52 BY using rule number 15:		
Rule 15: Carburized & Case Hardened Steel is a 5.52 if Application is General purpose industrial drives and Minimum hardness of gears is 58 HRC (Pinion) and 58 HRC (Gear) and Number of Pinion Cycles is one hundred million (10 exp.8) and Accuracy is Medium high precision		
I have shown that: material is Carburized & Case Hardened Steel By using rule number 1:		
Rule 1: material is a Carburized & Case Hardened Steel if it will use when high wear resistance and load carrying capacity is required and it will use for heavy duty service, e.g., transmission gears		

(d) An example of explanation facility for a "why" question

여 예제설계를 수행한 결과 설계된 치차는 강도적인 면에서 안전하게 설계되었음을 알 수 있다.

4.2 사용자 인터페이스 및 설명기능

사용자 인터페이스는 Fig. 5 (a)와 같은 메뉴화면(memu window)과 Fig.5 (b)~(f)와 같은 대화

화면(dialogue window)으로 구성한다. 메뉴화면에서는 전문가 시스템에서의 수행기능을 선택하며, 대화화면에서는 시스템이 사용자에게 행하는 질문 등을 지원함으로써 사용자가 시스템을 보다 손쉽게 사용할 수 있도록 한다. 따라서 추론시의 전방향 추론이나 역방향 추론에서 Fig. 5 (c)와 같은 화면


```

POWER TRANSMISSION GEARS < EXPERT SYSTEM > Han Yang Univ.
-----[ Dialogue for Gear Strength Design ]-----
#-----#
PROCESS TO CALCULATE GEOMETRY FACTOR AND REDESIGN.
PLEASE WAIT FOR A MOMENT..
#-----#

Determine one design value.
MODULE = 2.0
FACE WIDTH = 32.0
Nominal contact stress (MPa) = 1168.0934414 Allowable = 1250
Nominal bending Stress (MPa) = 277.77397587 Allowable = 450

DETERMINED ONE DESIGN.
DO YOU WANT TO ANOTHER DESIGN VALUE ? ( y or n ) n
    
```

(e) Explanation of bending and pitting strength

```

POWER TRANSMISSION GEARS < EXPERT SYSTEM > Han Yang Univ.
-----[ Dialogue for Gear Strength Design ]-----
>>> GEAR DIMENSION OUTPUT <<<

      TRANSMITTED POWER [ 12      ] (kw)
      INPUT PINION SPEED [ 1400   ] (rpm)
      GEAR RATIO [ 2.4      ]

      GEAR TYPE [ spur      ]

      MODULE [ 2.0      ] (mm)
      PRESSURE ANGLE [ 20     ] (deg)
      OPERATING CENTER DISTANCE [ 65.0 ] (mm)
      FACE WIDTH [ 32.0    ] (mm)

      PINION:
      NUMBER OF TEETH (mm) [ 19 ]
      PITCH DIAMETER (mm) [ 38.0 ]
      OUTSIDE DIAMETER (mm) [ 42.0 ]
      ADDENDUM (mm) [ 2.0 ]
      MATERIALS [ Carburized & Case Hardened Steel ]
      GEAR:
      NUMBER OF TEETH (mm) [ 46 ]
      PITCH DIAMETER (mm) [ 92.0 ]
      OUTSIDE DIAMETER (mm) [ 96.0 ]
      WHOLE DEPTH (mm) [ 4.5 ]
      MATERIALS [ Carburized & Case Hardened Steel ]

>>> Press "c" to advance or Press "F10" key to END
    
```

(f) Display of final design results

Fig. 5 Example of the expert system execution

을 통해 각각의 목표를 만족시키기 위한 규칙의 전제부들을 지식베이스의 내용을 이용하여 사용자에게 보여주어 이들의 진위를 질문함으로써 사용자가 입력하는 'yes' 혹은 '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 Fig. 5 (c)의 'why' 기능과 같이 추론도중 시스템이 행하는 질문에 대해 사용자가 그 이유를 질문하여 시스템이 Fig. 5 (d)와 같이 질문이유를 설명하거나, 추론에 의해 얻어진 결론 등을 사용자에게 설명하는 기능(Fig. 5의 (e),(f))이다.

5. 결 론

본연구에서는 동력전달용 치차설계 전문가 시스템을 개발하기 위한 일단의 연구로서 원통치차의 강도를 기준으로 하여 설계를 행하는 전문가 시스템을 개발하였다. 지식베이스의 치차설계에 관한 지식은 전문가의 노우하우같은 지식과 공표된 여러 문헌 및 규격 등을 참고하여 계층적으로 분류하여 규칙으로 기술하였다. 추론기관은 치차의 형태 및 재질선정과 K factor 결정과정은 전방향 추론방법을, 강도를 평가하여 모듈 및 치폭 등의 상세설계 과정은 역방향 추론방법을 사용하여 깊이 우선 탐색

에 의한 추론을 행함으로써 추론의 효율화를 도모하고, 추론의 중간결과 등을 저장하기 위한 임시작업 영역을 구축하였다. 강도평가지 많은 수치적계산이 필요한 부분은 별도로 구축하여 FORTRAN 언어로 기술한 후 추론과정중에 실행하여 그 결과를 PROLOG에서 읽어들이도록 PROLOG와 연결(interface)하였고, 과거의 설계에 데이터 베이스를 구축함으로써 설계시에 참조할 수 있으며, 지식 획득기능과 설명기능 및 사용자 인터페이스 등을 추가하였다. 또한 강도평가만을 행할 수도 있다.

구축된 전문가 시스템을 실행하여 본 결과 이 시스템에 의해 설계된 치차는 강도면에서 안전하도록 적절하게 설계됨을 알 수 있었다.

본 전문가 시스템은 MS-DOS로 운용되는 IBM-PC 호환기종에서 PROLOG 언어로 기술하여 DOS상에서 독립적으로 실행될 수 있도록 함으로써 치차나 컴퓨터의 초심자라도 손쉽게 이용하여 원통치차를 설계할 수 있도록 하였다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) 김 렬, 이경원, 윤용산, 1990, "플라이 휠일의 설계를 위한 지식기반 전문가 시스템의 개발에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 제14권, 제5호, pp.1138~1146.
- (2) 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.
- (3) 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.
- (4) Luger, G.F. and Stubblefield, W.A., 1989, Artificial Intelligence and the Design of Expert Systems, Benjamin/Cummings Pub. Inc.
- (5) James, M. and Steven, O., 1988, Building expert systems, Prentice-Hall.
- (6) Human, P. and King, D., 1985, Artificial Intelligence Business Expert System, John Willy & Sons Inc.
- (7) 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 트러블 슈팅 데이터 베이스 構築 및 運用-", 대한기계학회논문집, 제11권, 제6호, pp. 1014~1025.
- (8) 정태형, 변준형, 이규호, 1991, "동력전달용 치차 설계 전문가 시스템 개발연구 (I)-치차파손의 원인과 대책의 진단-", 대한기계학회논문집 제15권, 제6호, pp. 2026~2036.
- (9) Rich, K.M. and Robinson, P.R., 1988, Using Turbo Prolog, Osborne McGraw-Hill.
- (10) Clocksin, W.F. and Mellish, C.S., 1987, Programming in Prolog, Springer-Verlag.
- (11) Chandra, A., 1989, "Profile Rolling of Gears : A Boundary Element Analysis", J. of Engineering for Industry, Vol.111, pp.48~55.
- (12) Chen, W.H., and Tsai, P., 1989, "Finite Element Analysis of an Involute Gear Drive Considering Friction Effects", J. of Engineering for Industry, Vol. 111, pp.94~100.
- (13) American Gear Manufacturers Association, 1988, "Fundamental Rating Factors and Calculation Method for Involute Spur and Helical Gear Teeth", AGMA Standard, AGMA 2001-B88.
- (14) American Gear Manufacturers Association, 1989, "Geometry factor for Determining the Pitting Resistance and Bending Strength of Spur, Helical and Herringbone Gear Teeth", AGMA Standard, AGMA 908-B89.
- (15) International Organization for Standardization, 1983, Calculation of Load Capacity of Spur and Helical Gears-Part 1~Part3, ISO/DIS 6336/1~3.
- (16) Darle, W.Dudley, 1984, Handbook of Practical Gear Design, McGraw Hill.