

〈論 文〉

# 플라이 휘일의 설계를 위한 지식기반 전문가 시스템의 개발에 관한 연구

김 혁\* · 이경원\*\* · 윤용산\*\*

(1990년 4월 4일 접수)

## A Study for the Development of Knowledge Based Expert System for the Design of Flywheels

Hyuk Kim, Kyung Won Lee and Yong San Yoon

**Key Words :** Flywheel Design(플라이 휘일 설계), Knowledge Based Expert System(지식기반 전문가 시스템), Database(자료기반)

### Abstract

A knowledge-based expert system has been developed implementing the ambiguous process of conceptual design of flywheels in earlier design stage to assist the selection of proper flywheel types and dimensions. Knowledge for the flywheel design consists of the rules for conventional as well as super flywheels and other informations required for the design process. Those knowledges were extracted from literatures and some experts in the field. With these knowledges, an integrated knowledge based expert system was developed to help users with informations and facilities to design flywheels interactively using a commercial package of knowledge-based system called INSIGHT2 of backward chaining and proprietary package of forward chaining written in LISP language. The developed system consists of the knowledge base part and calculation part : the first one consists of main module and user level modules and the other one is to assist in analyzing the stress distribution in the flywheels and deciding the flywheel dimensions and specifications for various types of flywheels using proper data bases and graphic facilities. With this flywheel design software, several examples were tried generating acceptable design results.

### 1. 서 론

기계요소 설계의 컴퓨터의 도입으로 많은 발전을 하여 왔으며 그중의 하나로 지식기반 시스템(또는 전문가 시스템)을 이용하면 일반적인 수치계산 방법만으로는 해결하기 어려운 개념설계 과정에 전문가의 지식과 경험을 체계적으로 포함시켜 주어진

문제를 좀 더 효율적으로 해결할 수 있게 되었다. 개념 설계란 경험적 지식과 직관등과 같이 가변적이고 불확실성을 갖는 지식을 바탕으로 개념적으로 이루어지는 설계의 초기 과정이다. 여기서 경험적 지식이란 충분히 오랜 기간의 설계, 해석, 제작, 실험 등의 경험을 통해서 축적된 지식으로 많은 것들이 수치적으로는 표현이 어려우나 실제적으로는 상당히 합리적이고 유용한 자료이며 이를 어떤 수치보다는 기호(symbol)를 쉽게 다룰 수 있는 소프트웨어를 이용하여 자료기반(database)화 할 수

\*한국과학기술원 기계공학과

\*\*정회원, 한국과학기술원 기계공학과

있다. 이러한 자료기반을 지식기반(knowledge base)이라 하며 이를 관리 및 활용하는 시스템을 전문가시스템(expert system)이라 한다. 이러한 지식기반 전문가 시스템을 초기의 개념설계과정에 도입하면 설계의 작업효율을 크게 제고할 수 있게 된다. 특히 기계요소의 사양 선택, 초기 형상설계 등은 문제 자체가 불연속적인 개념을 가지고 있기 때문에 지식기반 전문가 시스템을 보다 잘 활용할 수 있는 부분이라고 생각된다<sup>(1-3)</sup>.

지식기반 전문가 시스템에 대한 연구는 많이 있으며, 기계공학 분야에서는 고장진단 시스템<sup>(4)</sup>, 기계구조물의 설계, 유한요소해석(FEM)에서의 전처리시스템(pre-processor) 등에 적용되고 있으나 기계요소 설계에 있어서의 형(type) 선정, 개략적인 크기, 예상되는 성능 등의 개념 설계 분야에서는 미진한 상태이다.

본 연구에서는 이러한 지식기반 전문가 시스템을 이용하여 에너지 저장용 기계요소인 플라이 휘일의 설계를 보조해 주는 지식기반 전문가 시스템을 개발하고자 한다. 즉 플라이 휘일의 설계, 제작 과정을 크게 개념 설계, 상세 설계 및 해석, 제작, 시험의 단계로 분류할 때 본 연구의 목적은 초기 설계 단계인 개념 설계에 도움을 주는 시스템을 구성하는 데 있다. 프로그램의 구성은 정성적인 경험, 지식을 다룰 수 있는 기호적인(symbolic) 계산과 간단한 수치적인(numerical) 계산을 함께 할 수 있는 복합시스템(hybrid system)으로 구성하고 이러한 과정을 체계적이고 조직적으로 수행하고 지식의 침식이 용이하도록 전체 설계과정을 계층 구조(hierarchical structure)화하고 설계 자료를 자료기반화하여 관리하며 그래픽과 연계시켜 전체 지식기반 시스템을 총합화 하였다.

시스템의 개발은 우선 상업용 팩키지로서 후방추론(backward chaining)만이 가능한 INSIHT2<sup>(11)</sup>를 바탕으로 전체 시스템을 구성하여 보았고 또한 인공지능용 언어인 LISP을 사용하여 데이터 중심의 추론방법인 전방추론(forward chaining)이 가능한 지식기반 전문가시스템의 골격을 만들고 이를 바탕으로 전체 시스템을 다시 구축하여 보았다.

## 2. 플라이 휘일의 분류

플라이 휘일은 회전 관성 에너지를 이용하여 토오크가 변하는 회전 기관의 각속도 변동 제어용으

로 주로 사용되는 기본적인 기계요소이다. 종래의 플라이 휘일은 설계, 재질상 등의 이유로 저속에서만 사용되어 왔다. 따라서 이러한 플라이 휘일은 에너지 저장장치로서는 납축전지와 같은 화학적인 에너지 저장장치에 비해서 에너지 저장효율이 낮고 상대적으로 가격이 비싸서 사용 범위에 제한을 받아왔다<sup>(5-7)</sup>.

그러나 제한된 화석 에너지원 및 공해문제로 인하여 에너지의 효율적인 에너지 저장 장치에 대한 필요성이 제고되어 왔으며 한편으로는 고속 회전체 제작기술과 복합재료의 설계 및 가공기술의 발달에 따라 복합재료로 된 플라이 휘일을 고속으로 안정되게 회전시킬 수 있게 되어 에너지 저장장치로서의 플라이 휘일의 가치가 재인식되고 있다. 예를 들어 전기 자동차 개발, 고속 원심 분리기 이용, 대형 에너지 저장기구를 이용한 발전소의 최대 발전 용량(peak load)의 감소, 우주 항공 분야에서 에너지 저장장치의 경량화 등의 응용 분야가 부각됨에 따라 무공해, 반영구적이고 고효율의 에너지 저장장치가 될 수 있는 고속 플라이 휘일 시스템에 관한 관심이 높아지고 있다<sup>(8-10)</sup>.

본 연구에서는 지식기반 전문가 시스템의 구성을 위해 Fig. 1에 보인 바와 같은 플라이 휘일들을 용도와 재질등 여러 특성에 따라 다음과 같이 분류하

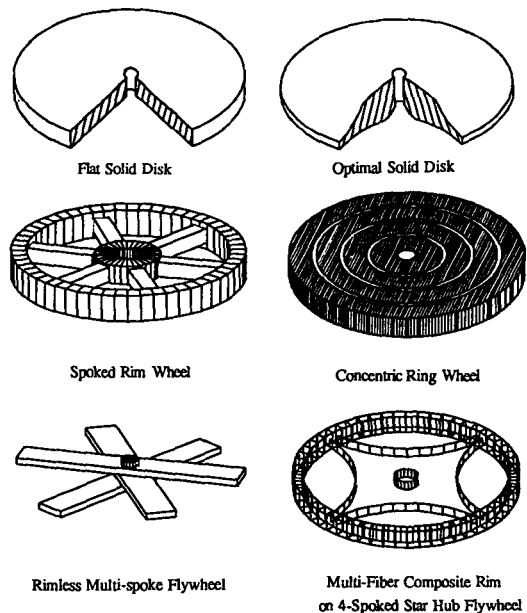


Fig. 1 Various flywheel types

었다.

2.1 보통 플라이 휠일

(Conventional Type : 저속용)

각속도 변동 제어용으로 주로 사용되어 오던 종래의 보통(conventional)플라이 휠일은 주강, 주철을 재료로 사용하여 주물로 제작하여 비교적 저속(대략 외주 선속도 70m/sec 이내, 각 속도 3,000 rpm 이내)에서 사용되어 에너지 저장효율(저장 에너지/무게)이 낮다. 이는 원심력에 의한 원주 방향의 응력이 선속도(플라이 휠일 반경×회전 각 속도)의 제곱에 비례하고 재료인 주철, 주강은 허용인장응력이 낮아 비교적 선속도가 느린 영역에서 보통 플라이 휠일이 사용될 수 있다.

보통 플라이 휠일은 세분하여 스포크 림 휠일(spoked rim wheel), 단일 평 원판(flat solid disk) 및 최적 단일 원판(optimal solid disk)로 구별된다.

2.2 슈퍼 플라이 휠일

(Super Flywheel : 고속용)

복합 재료로 된 플라이 휠일은 원주 방향(섬유방향)의 허용응력이 커서 고속 회전, 고에너지 밀도의 에너지 저장기구라는 장점이 있다. 그러나 섬유와 섬유사이는 인장에 약한 점착제로 연결되어 있어 섬유방향의 직각 방향으로서는 허용 응력이 낮으므로 섬유가 떨어져 나가는 현상(delamination)이 일어나기 쉽다. 또한 원하는 형상으로 복합 재료를 가공하거나 타부재와의 연결등이 어렵고 가격이 비싸기 때문에 사용이 제한되었으나 최근에는 이러한 단점들을 보완하여 성능이 우수한 슈퍼 플라이 휠일의 형상 및 조립 방법이 많이 제안되고 있다.

슈퍼 플라이 휠일도 제반 특성에 따라 분류하여 림없는 스포크 휠일(rimless multi-spoked wheel), 동심 링 휠일(concentric ring wheel), 섬유 복합 림-성형 허브휠일(multi-fiber composite rim on 4-spoked star hub flywheel), 평판-링 혼성 휠일(hybrid disk ring flywheel)로 구별된다<sup>(9,10,14)</sup>.

3. 플라이 휠일 설계 시스템의 개발

먼저 지식기반 전문가 시스템 개발용 도구인 INSIGHT2<sup>(11)</sup>를 이용하여 전체 시스템을 구성한 후 여기서 사용된 지식기반을 이용하여 LISP언어

를 이용한 지식기반전문가 시스템의 원형을 개발하였다.

3.1 전체 시스템의 구성

INSIGHT 2를 이용한 전체 프로그램의 흐름도는 Fig. 2와 같다. 즉 사용자의 여러 입력자료에 따라 지식기반, 자료기반 그리고 여러 계산모듈들에 의해 플라이 휠일의 사상을 선택해 주고, 사용자가 이에 만족하지 않는 경우는 다시 처음부터 반복하도록 하였다.

전체적인 프로그램의 구성은 수정 보안을 편리하게 하기 위해 모듈별로 나누어서 구성하였다. 또 이렇게 각 모듈별로 작성된 프로그램들을 계층별로 구성하고 총합화하였다. Fig. 3에서 이를 보여주고 있는데 INSIGHT 2를 이용하여 전체 프로그램을 통합 관리, 제어하도록 하고 외부 프로그램을 호출하여 수행할 수 있게 하였다. 또한 전체 프로그램은 대화식으로 선택 메뉴를 보고 과정을 진행할 수 있도록 구성하였다.

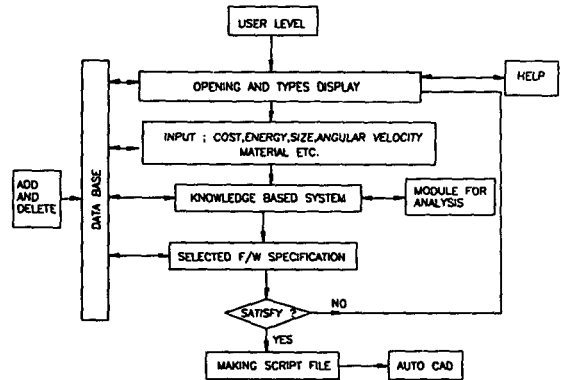


Fig. 2 Flow chart of knowledge based system for flywheel design using INSIGHT 2

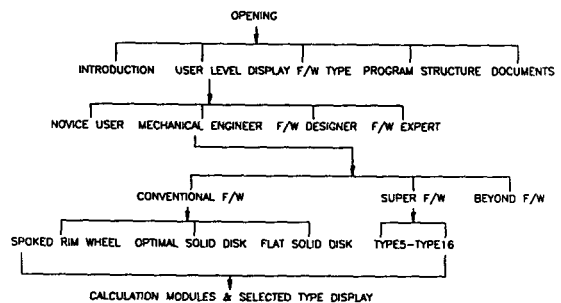


Fig. 3 Hierarchical structure of flywheel design system using INSIGHT 2

Table 1 Major modules used in the design system

No.	Contents
1	Calculation for dimensions and maximum safe rpm for spoked rim wheel
2	Decision and explanation for optimal solid disk
3	Stress analysis for spoked rim wheel
4	Stress analysis for rimless multi-spoke flywheel
5	Stress analysis for flat solid disk
6	Stress analysis for concentric ring wheel
7	Display and explanation for various flywheel types
8	Interface with auto CAD using script file

3.2 계산과 설명 기능

플라이 휘일에 작용하는 응력을 계산할 수 있는 경우 계산 프로그램들을 모듈별로 작성하였는데 주요 모듈을 Table 1에 수록하였다. 그 내용을 살펴보면 표의 No. 1, 2에서 보는 모듈은 스포크 림 휘일과 단일 평 원판에 대하여 자료기반으로부터 얻은 수치들을 이용해 각 플라이 휘일의 치수, 최대 안전 각속도 등을 계산해 주는 모듈(Fig. 13)이고 No. 3~6의 계산모듈은 여러 플라이 휘일에 대하여 응력해석을 해주는 모듈(Fig. 14)이다. 그리고 No. 7, 8은 그래픽을 위한 모듈(Fig. 9, 12)이다.

3.3 지식기반과 규칙

본 연구에서는 플라이 휘일의 개념설계의 주요부분의 하나인 사양 선택에 도움을 주는 지식기반 전문가 시스템을 개발하고자 하여 초기 개념설계 단계에서 다음과 같은 사항을 종합적으로 조사 수집하여 이를 바탕으로 지식 기반 시스템을 구축하였다.

- (1) 보편적으로 많이 쓰이는 플라이 휘일에 대한 자료
- (2) 복합 재료로 된 플라이 휘일에 대한 설계
- (3) 주요 기계구성요소의 고속 특성과 적용 한계
- (4) 문헌조사, 연구사례 등에서 얻어진 지식
- (5) 기계 시스템의 구현을 위한 제작, 조립, 실험에 대한 고찰

이로부터 얻어진 주요 선택 인자(Fig. 4)에 의해 구성된 플라이 휘일 설계용 지식 기반의 계층도 중 대표적인 것은 Fig. 5와 같다. 본 연구의 대상은 보통 플라이 휘일과 수퍼 플라이 휘일로 구별되며

먼저 보통 플라이 휘일의 사양선택과 사용한계에 관한 자료를 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 에너지 밀도가 대략 20 watt hour/kg 이하인 경우에 보통 플라이 휘일이 선택하도록 한다.
- (2) 선속도에 의한 분류에 있어서는 70m/sec 이하의 범위에서 보통 플라이 휘일이 선택되도록 하고 이를 다시 세분하면 Table 2와 같다.
- (3) 각 속도에 의한 분류에 있어서는 3000rpm이하에서 보통 플라이 휘일이 선택되도록 하나 각 속도만에 의한 분류로는 선속도에 의한 분류보다는 신뢰도가 떨어진다.
- (4) 보통 플라이 휘일 중에서 가장 많이 쓰이는

Selecting factor	Type	
	Conventional f/w	Super f/w
Energy stored/unit weight	○	○
Energy stored/unit volume		○
Linear velocity of flywheel	○	○
Angular velocity of flywheel	○	○
Radius of flywheel	○	○
Usage	○	○
Relative cost	○	○
Coefficient of fluctuation	○	
Material	○	○
Ease of fabrication		○
Near-term successful test		○
Development time required		○
Method of assembling	○	○

Fig. 4 Selecting factors for knowledge base

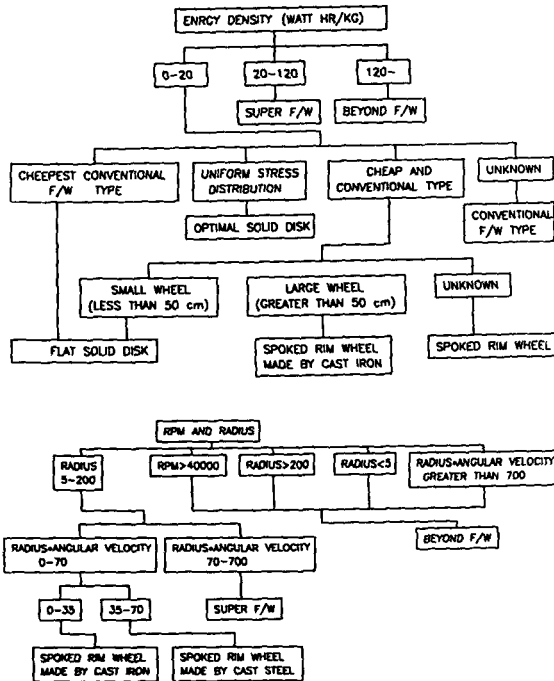


Fig. 5 Hierarchical structure of rule base for fly-wheel design

스포크 림 휘일의 선택 인자는 다음과 같다. 즉 아암(arm)의 폭과 높이에서 30.5cm 당 0.635cm의 테이퍼(taper)가 있어야 하고 일반적인 형태는 다음과 같다<sup>(13)</sup>.

$$\text{허브 직경} = 2 \times \text{축 직경}$$

$$\text{허브 길이} = (2 - 2.5) \times \text{축 직경}$$

두번째로 슈퍼 플라이 휘일의 사양선택과 사용한계를 살펴보면 다음과 같다<sup>(8~10,14)</sup>.

(1) 에너지 밀도가 20~120 watt hour/kg의 범

위이면 슈퍼 플라이 휘일이 선택되도록 하며 이를 다시 세분화 한다.

(2) 공간 차지 효율(volume efficiency)을 선택 인자로 사용하는데 슈퍼 플라이 휘일은 큰 에너지를 저장하는 장치이기 때문에 공간 차지 효율이 주요한 인자에 속한다.

(3) 슈퍼 플라이 휘일은 고속으로 회전하는 장치이기 때문에 그만큼 조립 방법이나 제작이 중요하다. 즉 조립에 있어 구멍이나 기타 결함을 위한 홈 등이 있으면 이 부분에 응력이 집중되므로 조립 방법도 분류 조건으로 택한다.

(4) 그외에 슈퍼 플라이 휘일이 선택되기 위한 조건으로는 복합 재료의 사용, 선속도 70~700m/sec, 그리고 각속도나 반경만으로 분류할 경우에는 각 속도 3000~4000rpm, 반경 5~250cm의 범위에서 선택되도록 한다.

### 3.4 자료기반

기계설계를 하는데는 많은 관련 자료들이 요구되며, 또한 지식기반 전문가 시스템을 만드는데 있어서 사용자의 편의를 도모하기 위해서도 관련 설계 자료, 참고 문헌, 생산업체 등에 관한 자료들을 효율적으로 관리하는 것이 필요하다. 자료기반 관리 시스템(data base management system)으로는 미국 ASHTON-TATE사에 의해 개발되어 현재 PC 상에서 널리 쓰이고 있는 dBASE III를 이용하였으며 본 연구에서는 다음의 목록들에 대하여 자료기반을 구축하였다(Fig. 6, Table 2) :

- A. 플라이 휘일 관련 서적 및 논문, 설계자료
- B. 플라이 휘일 국내 생산 업체
- C. 각속도 변동 계수(coeffcient of fluctuation)

Table 2 Conventional type flywheels and their speed limits

Type of flywheel	Safe rim speed
Flat solid disk	35
Spoked rim wheel	33.6
Solid cast iron (balance wheels-heavy rims) (pulley wheels-thin rims)	26
Wheels with shrink link joints	23.6
Wheels with pad type joints	21.6
Wheels with bolted flange joints	15.3
Solid cast steel wheels	61

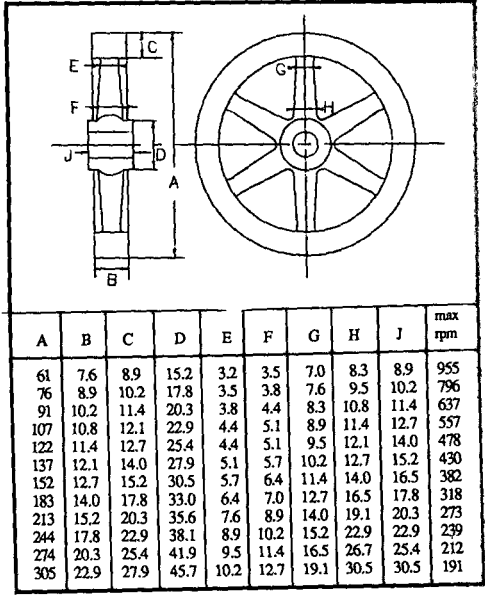


Fig. 6 Database example of spoked rim wheel

- D. 플라이 휠일 구성 재질의 주요 물성치
- E. 최대 각 속도
- F. 플라이 휠일의 치수

이제 이 내용들을 설계시스템 내에서 사용하기 위해 dBASE III의 기능을 이용하였다. 즉 dBASE III에서 작성한 데이터베이스 파일을 문자화일(text file)로 저장한 후 이를 설계시스템 내에서 사용할 수 있도록 프로그래밍 하였다<sup>(15)</sup>.

또한 컴퓨터를 이용한 기계 요소 설계를 효율적으로 수행하기 위해서 PC용 범용 그래픽 패키지와의 연계하였다. 그 방법으로 널리 사용되고 있는 미국 AutoDesk사의 auto CAD와 외부 프로그램과의 자료교환이 가능하게 하였다. 이를 위해 auto CAD에서 제공되는 기능인 스크립트 화일(script file)을 이용한 도면작성을 이용하였다. 즉 설계시스템에서 스크립트 화일을 생성시켜 이를 이용하여 auto CAD에서 그림으로 그릴수 있도록 하였다.

#### 4. LISP 언어를 이용한 지식기반 전문가 시스템 원형의 개발

INSIGHT 2는 후방 추론 방식의 추론을 하므로 본 설계 시스템에서와 같이 사양 선택의 경우에는 적절하지 않다고 생각되며 따라서 전방 추론 방식

이 가능한 지식기반 전문가 시스템을 자체적으로 개발하고자 하는 목적에서 LISP로 지식기반 전문가 시스템을 작성하였다. 여기에 사용한 지식기반은 INSIGHT 2의 것과 동일한 것으로 하였고 IBM PC용으로 개발된 Golden Common Lisp을 이용하였다<sup>(16,17)</sup>. 그 구조를 전체적으로 살펴보면 다음과 같다.

전방 추론 방식을 갖추도록 하여 지식 기반의 처음 부분부터 순차적으로 사실을 검증하도록 하였는데 이를 위해 FACTS와 OTHERFACTS라는 변수를 정의하고 어떤 사실에 대한 시스템의 질문에 사용자가 "YES" 또는 "NO"로 답변하여 각 경우에 대해 그 사실을 FACTS 또는 OTHERFACTS에 저장한다.

이제 FACTS변수를 검증하여 그 변수들이 어떤 RULE의 조건 부분(IF)을 모두 만족하면 그 RULE의 결론 부분(THEN)을 검증하여 그것이 GOAL중에 있으면 선택된 결과를 화면에 나타내고 수행을 끝내고 결론 부분이 GOAL중에 없으면 다음에 있는 RULE들의 조건 부분에 위에서 기술한 결론 부분이 있나를 검증하여 그 사실이 있는 RULE에 대해 다시 위의 절차를 행한다.

이러한 과정에 대한 계층구조(hierarchical structure)를 Fig. 7에 실었는데 먼저추론방법을 (FORWARD)부분에서 전방추론 방식으로 결정하고 (TEST RULE)에서 지식기반으로부터 지식을 불러내어 (TEST IF)에서 지식의 가정부를 검사한다. 즉 (RECALL)에서 FACTS와 OTHERFACTS에 질문의 답이 있는지를 검사하고 (ASK)에서 FACT가 참인지 거짓인지를 질문하여 참인

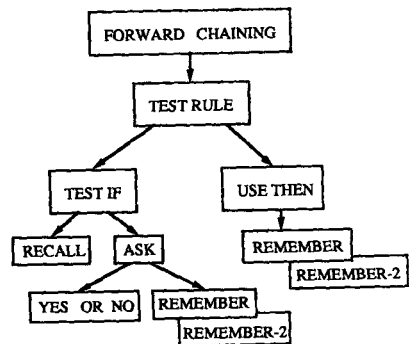


Fig. 7 Hierarchical structure of flywheel design system using LISP

경우 (REMEMBER)에 참인 사실을 저장하고 거짓인 경우(OTHERFACTS)에 거짓인 사실을 저장한다. (USE THEN)에서는 지식의 결론부를 검사하여 결론부가 참인 경우 (REMEMBER)에 참인 사실을 저장하고 거짓인 경우 (OTHERFACTS)에 거짓인 사실을 저장한다. 이러한 과정으로 지식들을 검사하여 최종적인 골(goal)에 이르면 프로그램을 끝내도록 하였다.

5. 설계 예제

먼저 보통 플라이 휘일의 설계예로서 천공기에 사용되는 플라이 휘일을 설계하였는데 에너지 밀도의 대략적인 범위를 알고 있고 가격이 저렴하고 보편적으로 많이 쓰는 범용 플라이 휘일의 사양 선택과 대략적인 치수를 알고자 하였다. 이의 과정을 Fig. 8~13에 실었는데 이를 설명하면 다음과 같다.

Fig. 8에 주 선택화면을 보여주는데 이 부분에서 플라이 휘일과 시스템 전반에 대한 소개와 설명을 해 준다. 즉 (1) INTRODUCTION (Fig. 9)에서는 여러 플라이 휘일의 형태를 보여주고, (2) USER LEVEL에 의해 사용자에게 알맞는 수준으로 시스템을 사용할 수 있게 해 주며, (3) PROGRAM STRUCTURE에서는 본 시스템의 구성도를 보여주며, (4) DOCUMENTS에서는 플라이 휘일을 제작하고자 하는 사용자에게 자료를 쉽게 찾아 볼 수 있도록 자료기반에 수록되어 있는 관련자료들을 보여준다.

이제 (2) USER LEVEL에서 사용자 수준을 선

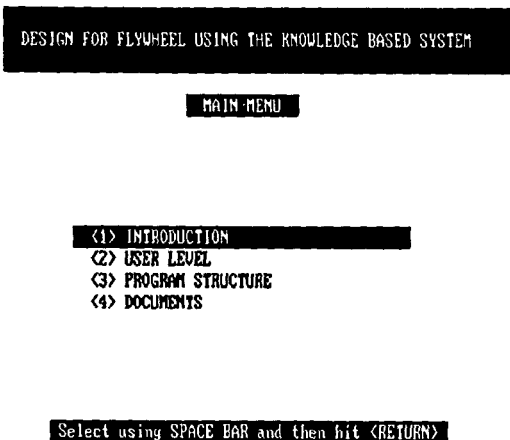


Fig. 8 Opening menu of the flywheel design system

택한 후 지식기반 전문가 시스템 모듈에 연결되며 설계 시스템의 여러 질문과 설명, 사용자의 답변을 대화식으로 진행하여 (Fig. 10) 중간의 결과(sub-goal)로, 주철로 된 스포크 림 휘일이 선택되었다. (Fig. 10의 step. 5) 이제 만일 플라이 휘일의 용도

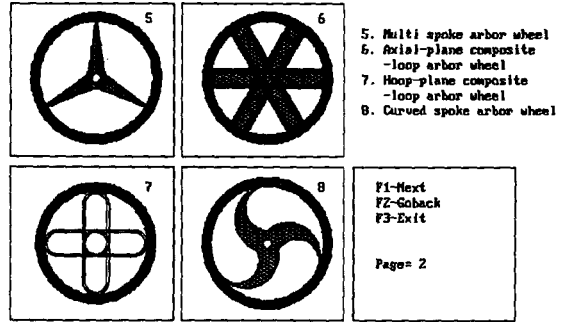


Fig. 9 Introduction of many flywheel types

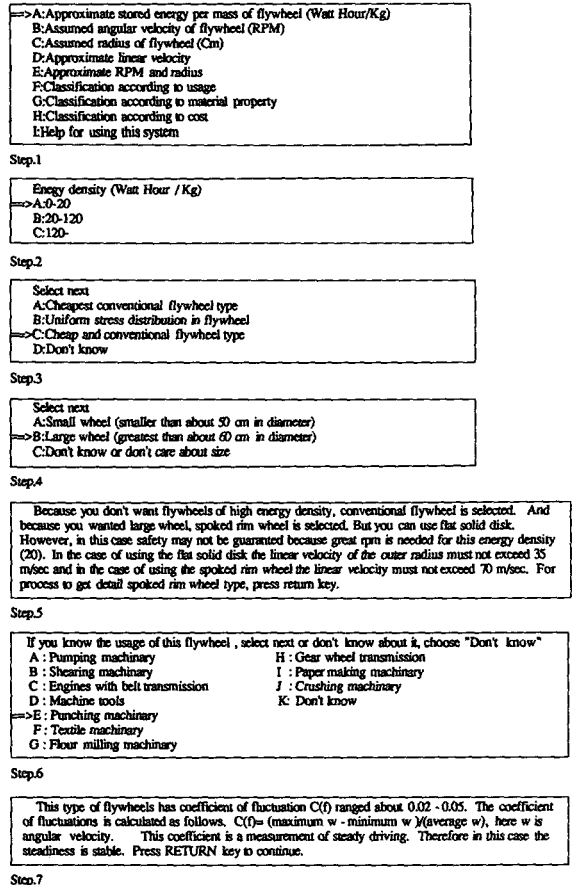


Fig. 10 Design procedures of conventional flywheels

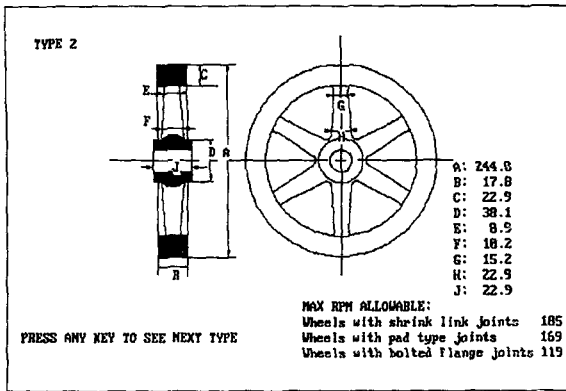


Fig. 11 Selected spoked rim wheel of the design

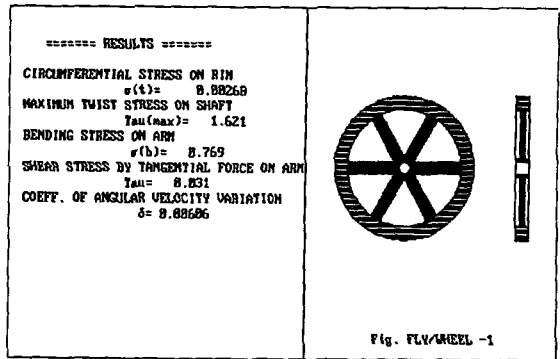


Fig. 13 Stress analysis for spoked rim wheel

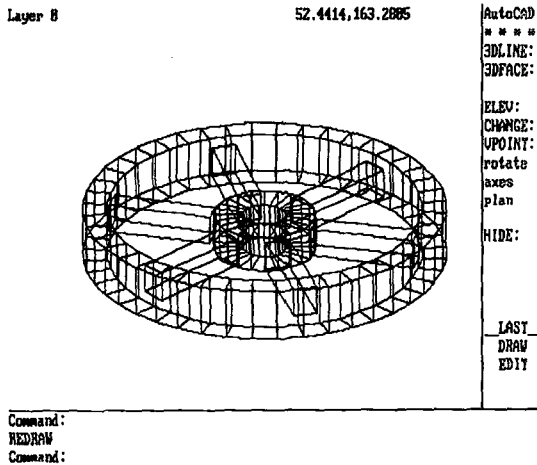


Fig. 12 Interface with auto CAD using the result

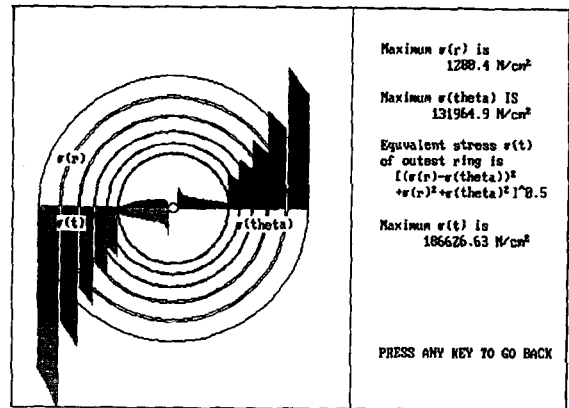


Fig. 14 Stress analysis for concentric ring wheel

를 모를 경우 그 부분까지의 자료에 상응하는 결과를 보여주고 설계과정을 끝내는데 본 예제에서는 용도를 천공기로 선택하여 (step. 6) 천공기의 각 속도 변화계수와 이에 대한 설명을 해주고 (step. 7) 최종으로 선택된 플라이 휘일을 Fig. 11에 보여주어 초기단계의 설계 자료를 얻을 수 있었다.

Fig. 11의 치수자료들은 Fig. 6과 Table 2에서의 자료를 이용하였고 이를 auto CAD상에서 치수를 맞추어 나타내었는데 이를 위해 Fig. 11에서 얻은 자료를 이용하여 스크립트 파일 (script file)을 자동으로 생성시켜주는 프로그램을 작성하였다.

두번째로 수퍼 플라이 휘일의 설계에 있어서 10,000 rpm 이상으로 회전이 가능하고 에너지 저장용도로 제작이 용이한 플라이 휘일의 개념적 설계를 한 결과 섬유 복합림-성형허브 휘일 (multi-fiber com-

posite rim on 4-spoked star hub flywheel)이 제안되었다.

이 결과를 이용 상세 설계를 거쳐 복합재료로 된 직경 330cm의 플라이 휘일을 제작하였으며 실험결과 14,800RPM (선속도 256m/sec)까지 안정되게 회전시키 수 있었다.

## 6. 결론

플라이 휘일의 개념 설계를 지식기반 전문가 시스템을 이용하여 수행해 본 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 지식기반 전문가 시스템은 기호적인 표현에 의해 논리적인 추론 과정을 쉽게 프로그램할 수 있도록 되어 있으므로 계산 중심의 기존 CAD 프로



그램들이 처리하기 어려운, 설계의 초기 단계인 개념 설계 과정에 불확실한 경험적인 지식을 용이하게 다룰 수 있다.

(2) 특정분야의 문제를 지식기반 전문가 시스템으로 구축하기 위해서는 지식기반의 구성이 가장 중요하며 특히 형선정이나 고장진단 등의 분야에서는 각각의 특성에 의해 계층적으로 분류하는 작업이 중요하다. 본 연구에서는 이러한 지식수집과 분류로 설계시스템을 구성하였으며 지식기반은 아직 충분하다고 할 수 없으나 지식기반과 관련계산, 설명 모듈 등의 전 시스템이 계층별, 모듈별로 구성되어 있으므로 지식의 추가, 수정 또는 계산 모듈과 설명 기능의 확충이 용이하다.

(3) 기계요소 설계용 지식 기반 시스템은 전방추론방식이 바람직하다고 생각되며 설계능력의 향상을 위해 그래픽 기능과 자료들의 자료기반화 등이 중요하다.

(4) 본 시스템은 플라이 휘일의 초기 개념 설계에 이용될 수 있고 또한 플라이 휘일에 대한 교육용으로도 사용될 수 있으며 지식기반의 수정으로 다른 기계요소의 초기설계용으로도 이용될 수 있다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단의 1986~1989년도 목적기초과제의 일부임을 밝히며 이에 타연구자와 관계제위에게 감사의 뜻을 표하는 바입니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Peter Jackson, 1986, "Introduction to Expert Systems", Addison-Wesley.
- (2) Carl Townsend and Dennis Feucht, 1986, "Designing and Programming Personal Expert Systems", TAB books INC.
- (3) Donald A. Waterman, 1986, "A Guide to Expert Systems", Addison-Wesley.
- (4) 정태형, 1987, "동력전달용 치차설계를 중심으로 한 기계요소 설계의 엑스퍼트시스템 개발연구(1)", 대한기계학회논문집, 제11권, 제6호, pp. 1014~1025.
- (5) 정선모, 1986, 기계 설계학 특론, 동명사, 서울, pp. 510~519.
- (6) 김천옥, 1986, 기계설계, 문운당, 서울, pp. 430~440.
- (7) 박영조, 1986, 기계설계, 보성 문화사, 서울, pp. 471~479.
- (8) 이봉진, 김광배, 1976, "새로운 Energy Storage로서의 Flywheel과 그 전망", 대한기계학회지, 제16권, 제1호, pp. 3~7.
- (9) Wiliam M. Brobeck and Associates, July, 1975, "Development of High Density Internal Energy Storage", Research Project 269-1.
- (10) David L. Stachwell and Dennis A. Towgood, "Advancements in Composite Material Flywheels", AiResearch Manufacturing Company of California.
- (11) 1985, INSIGHT 2 Reference Manual, Ver 1.0, Level Five Research, INC.
- (12) Erik Oberg and Franklin D. Jones, 1972, Machinery's Handbook 9th Ed., Industrial Press Inc., pp. 339~351.
- (13) Edited by Colin Carmichael, 1950, KENT's Mechanical Engineers' Handbook in Two Volumes 12th Ed. Design and Production Volume, pp. (7-39) ~ (7-43).
- (14) Jack R. Vinson and Minoru Taya, 1985, "Recent advances in Composites", ASTM Special Technical Publication 864, pp. 465~488.
- (15) Song, Ji Oh 1987, "Integrated Optimum Structural Design System Using a Relational Database Management System", Engineering Mechanics Department General Motors Research Laboratories Warren, Michigan.
- (16) Patrick Henry Winston and Berthold Klaus Paul Horn, 1984, LISP 2nd Ed., Addison Wesley.
- (17) Gold Hill Computers, 1986, Golden Common Lisp 286 Developer Reference Manual, Ver 2.2, Gold Hill Computers.
- (18) 김 혁, 1990, "지식기반 시스템을 이용한 플라이 휘일의 설계보조 소프트웨어 개발에 관한 연구", 한국과학기술원 석사학위 논문.