

<논 문>

# 치차장치 설계를 위한 설계지원 시스템 개발에 관한 연구

정태형\* · 배인호\*\* · 김 현\*\*\*

(1996년 6월 25일 접수)

## Development of Design Support System for Gear Drives

Tae-Hyong Chong, In-Ho Bae and Hyun Kim

**Key Words :** Gear Drives(치차장치), Machine Design(기계설계), Expert System(전문가시스템), Design Support System(설계지원 시스템), Object Oriented Approach(객체지향방법), Database(데이터베이스)

### Abstract

There have been a number of expert systems which are concerned with the design of machine elements such as gear, shaft, bearing and so on. However the design of more complicated systems such as gear drives are still difficult. Thus, in consideration of the integrative nature of the system, we develop a design support system for gear drives which is composed of various machine elements-gear, shaft, bearing, key and so on. Design systems for each machine element are developed and integrated through object-oriented approach. Databases essential for data reference and/or data control in the design process are built up independently and interface to the main program. Expert systems are also developed and integrated for intelligent support to the designer, in those of the determination of gear specification and the selection of bearing types. Through the integration of design environment for each machine element, it is expected to increase the convenience in the design process and the stability of the design solution. And also the system management, including addition of various design/analysis modules and expansion to the gear drives of other types, can be conveniently achieved since the system has developed under due consideration of its efficiency and expandability through object-oriented programming approach.

### 1. 서 론

근래에 기계설계 분야에 대해 컴퓨터를 이용한 설계 시스템의 적용이 활발해짐에 따라, 설계에 대한 지적지원 등을 통해 보다 효율적인 설계지원 시스템(design support system)을 구축하고자 하는 연

구가 활발히 진행되고 있다. 설계 전문가시스템은 단순히 해석적이거나 수치적인 접근방식으로는 다루기 어려운 설계문제에 대한 해결책으로 Brown,<sup>(1)</sup> Dixon,<sup>(2)</sup> Ullman,<sup>(3)</sup> Dym<sup>(4)</sup> 등을 비롯한 많은 연구자들에 의해 공학설계문제에의 적용이 시도되어 왔다. 또한, Akagi 등<sup>(5)</sup>은 지식표현에 객체지향적 개념을 도입한 연구를 수행하였고, 車<sup>(6)</sup> 등은 설계 객체와 설계 프로세스를 표현하기 위해 제약네트워크(constraint networks)을 도입한 지식기반 시스템(knowledge-based system)의 구축을 보인 바 있

\*회원, 한양대학교 기계공학과

\*\*한양대학교 대학원 기계설계학과

\*\*\*시스템공학연구소

다. 설계 대상의 측면에 있어서는 주로 단일한 기계요소 또는 부품의 설계만을 대상으로 하는 분야와 여러 기계요소들의 조합으로 이루어진 시스템의 설계를 목적으로 하는 구성설계(configuration design)를 강조하는 관점 등으로 분류할 수 있다. 전자의 경우 상대적으로 설계영역이 협소하다고 볼 수 있고, 따라서 설계 전문가시스템의 적용이 비교적 용이하기 때문에 현재까지 치차설계,<sup>(7,8)</sup> 베어링 선정<sup>(9,10)</sup> 등을 비롯한 여러 분야에서 설계 전문가시스템의 적용이 이루어져 왔다. 그러나, 일반적인 기계설계 문제에 있어서는 전문가의 지식뿐만 아니라 설계평가 등에 있어 다양한 수식의 적용과 함께 유한요소해석(finite element analysis) 등 수치적인 평가 시스템과 설계 최적화(design optimization)와 같은 방법론의 도입 또한 요구된다. 이러한 관점에서 정태형 등<sup>(11)</sup>은 치차를 대상으로 설계, 해석 및 평가, 최적설계 및 가공계획 등을 통합적으로 수행할 수 있는 지적 통합설계 시스템을 개발하였다. 또한, 탐색문제로서의 성질이 강한 기기구성설계 등의 적용에 있어서도 Akagi 등<sup>(12)</sup>은 선박의 의장설계를 위한 전문가시스템을 개발하였고, 이수홍 등<sup>(13)</sup>은 자동차의 전장설계의 반복적 과정을 처리하는 에이전트 기반 시스템(agent-based system)을 연구하였으며, 구도연 등<sup>(14)</sup>은 급지지구 설계 전문가시스템의 개발에 있어 개념설계단계에서 구성설계 방법론을 적용한 연구를 수행하였다.

반면에, 치차, 축, 베어링, 키 등의 기계요소들로 구성되는 치차장치의 설계는 설계조건에 따라 장치의 전체 구조 및 각 기계요소의 설계 변동이 크고, 수치적인 처리에 의존하는 경향도 크기 때문에 일반적인 구성설계방식을 적용시키기에는 어려움이 따른다. 또한, 각 기계요소들의 설계데이터들은 상호 연관되어 다른 기계요소의 설계해에 영향을 미치고, 그 설계 또한 모두 일물적인 방향으로 이루어지는 것은 아니기 때문에 이를 적절하게 제어하는 설계지원 시스템의 개발을 위해서는 보다 효율적인 방법론의 도입이 요구된다. 따라서, 본 논문은 치차장치를 구성하는 각 기계요소들에 대한 개별적인 설계와 함께, 전체 장치 설계문제를 보다 효율적이고 지적으로 지원하기 위한 구체적인 방법론을 보이는 것을 목적으로 한다. 또한, 이러한 방법론을 통해 실제의 치차장치 설계지원 시스템을 구축하며, 구축된 설계지원 시스템의 유효성을 설계 예를 통해 검증한다.

## 2. 시스템 개발의 개요

일반적인 기계장치의 설계과정과 마찬가지로 치차장치를 설계하기 위해서는 치차뿐만 아니라 그 장치를 구성하는 축, 베어링, 키 등 다른 여러 가지 기계요소의 설계에 대한 고려가 함께 이루어져야 한다. 따라서, 구축하고자 하는 설계 시스템의 대상이 다양하고, 그 영역이 상당히 광범위하기 때문에 시스템 개발에 일반 절차적 프로그래밍기법을 적용하는 것은 바람직하지 않다. 이와 함께, 실제로 설계가 진행되어 감에 따라 <설계 → 재설계>의 과정이 복잡하게 반복되어 다른 설계모듈에 영향을 미치는 여러 가지 작업데이터에 대한 제어가 난해해진다. 이와 같이 서로 복잡하게 연관되어 있는 개별적 설계모듈들에 대한 설계지식을 표현·조작하고, 시스템의 구성을 보다 효율적으로 제어하기 위해서는 각 요소를 모듈화하여 계층적 형태(hierarchical structure)로 구성하고, 클래스(class)와 객체(object) 및 속성계승(property inheritance)의 개념을 도입하여 전체 시스템의 개발과 취급을 각 시스템 구성모듈들의 부분적인 조작만으로 유연하게 처리할 필요성이 제기된다. 이를 위해 본 논문에서는 객체지향 프로그래밍기법을 도입하여 시스템을 구축하였으며, 이의 구현을 위해 객체지향 프로그래밍언어인 C++를 사용하였고, Microsoft Windows 환경하에서 Microsoft Visual C++로 프로그래밍하였다. Fig. 1은 각 모듈에서 구축한 주요 클래스의 구성관계를 간략하게 보인 것으로, 객체분석은 일반적인 객체지향 방법론을 이용하였으며, Yourdon<sup>(15)</sup>의 표현법을 사용하여 구성하였다. 클래스는 치차장치 및 다른 기계장치의 기반클래스(base class)가 되는 CSystem과 기계요소들의 기반클래스인 CMachineElements, 그리고 치차가 공을 위한 공구들의 기반클래스인 CCutter 등으로 구성하였다. 그림에서 반원은 일반화-특정화 구조(generalization-specialization structure)를 나타내며, 삼각형은 전체-부분구조(whole-part structure)를 나타낸다. 예를 들어, 치차(CGear)의 경우 기반클래스인 CMachineElements 클래스의 유도클래스(derived class)가 되어 반원으로 연결되어 있으며, 동시에 치차장치(CGearSet)의 부품으로서 삼각형으로 연결되어 있다. 또한, 그림에서 2, m은 주어진 시점에서 치차장치가 가질 수 있는

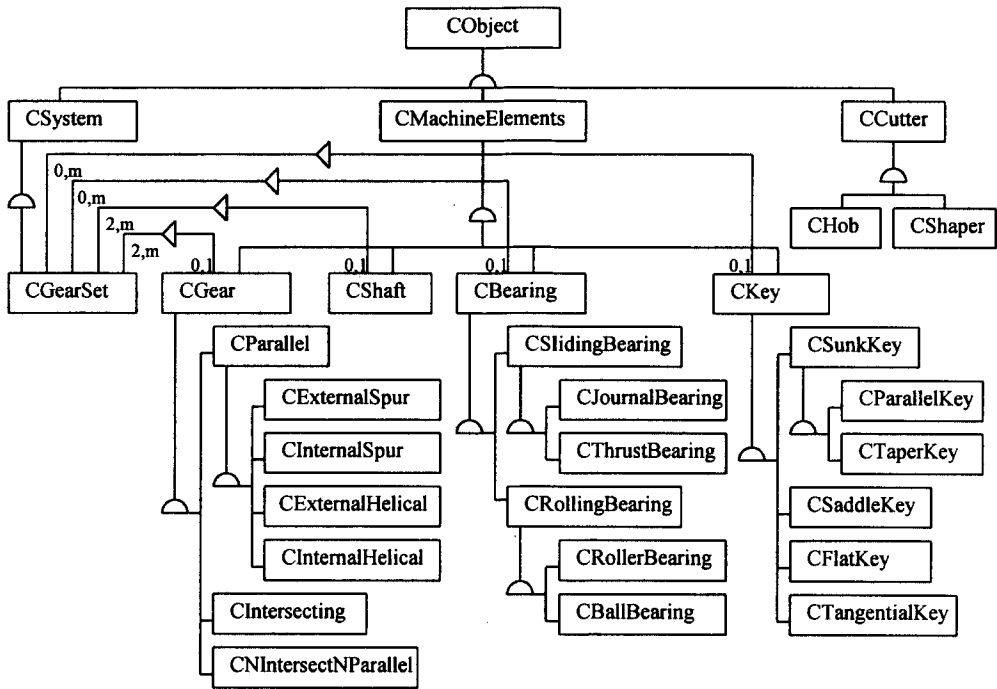


Fig. 1 Class hierarchy of the system

치차의 수의 범위를 나타내며, 0, 1은 그 반대의 경우를 나타낸다.

또한, 치차장치 설계에 있어 필수적인 설계자의 경험적 또는 비수치적 지식의 표현 및 추론 등은 기존의 해석적 알고리즘에 의해서는 처리하기 어려우며, 이의 처리를 위해 전문가시스템 셸을 이용하여 독립적으로 지식베이스를 구축한 후, API(Application Programming Interface) 함수를 통해 주 프로그램과 통합하여 필요시 지식의 탐색과 추론을 수행할 수 있도록 하였다. 그러나, 전 설계 과정을 전적으로 설계 전문가시스템에 의존하는 경우 구축된 지식베이스의 범위를 벗어나는 상황에서는 설계가 불가능하거나 안정된 설계해를 주지 못하고, 더욱이 명확하게 정의되지 않는 지식에 대한 표현이 난해하다는 단점이 있을 수 있다. 또한, 치차장치 설계의 경우 설계평가 등에 있어 다양하고 복잡한 수식의 반복적 처리와 함께 유한요소해석, 설계 최적화, 형상 모델링 등과 같이 수치적인 방법론에 의존하는 경향이 크기때문에, 이의 처리를 보다 효율적으로 수행하는 시스템의 구성이 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 전문가시스템에 의한 추론을 단지 설계자의 보조적인 위치, 즉 치차 제

원의 설계, 베어링 형식의 선정 등 구체적으로 신뢰할 수 있는 해를 얻을 수 있는 곳에 한해 부분적으로 채용하여 시스템의 안정성을 높이고자 하였다. 또한, 지식베이스는 객체지향 프로그래밍기법을 구현하기 위해 각 객체의 데이터들을 프레임(frame)으로 기술하고, 구체적인 지식표현은 표현이 쉽고 가장 일반적인 생성규칙(production rule)으로 표현하였다. 지식베이스의 구축과 추론은 객체기반 전문가시스템 구축도구로서, 객체지향 개념의 적용이 용이하고, C++ 언어 및 데이터베이스와의 연계가 우수한 Nexpert Object 전문가시스템 셸<sup>(16)</sup>을 이용하여 구현한 후 API 함수를 통해 주 프로그램과 통합하였다.

기계요소를 설계하는데 있어서 기존 설계데이터의 이용과 각 요소의 표준치 또는 재료의 물성치 등과 같은 기술데이터의 탐색은 매우 중요하며, 이러한 데이터들을 시스템과 독립적으로 관리되도록 하여 시스템의 확장성과 유연성을 높일 수 있도록 하는 것이 필요하다. 본 시스템에서는 상용 DBMS(DataBase Management System)인 Microsoft Access<sup>(17)</sup>를 이용하여 설계 및 평가에 필요한 각 재료의 물성치, 베어링의 종류 및 사양, 각종 KS

규격치 등을 데이터베이스로 구축하고, ODBC (Open DataBase Connectivity) API를 통해 시스템에서 접근(access)할 수 있도록 하였다. 구축된 각 데이터베이스에 대한 접근은 MFC(Microsoft Foundation Class library) ODBC 클래스를 이용해 프로그램에서 구현하였다. ODBC API는 서로 다른 종류의 데이터베이스간의 연결 문제를 해결하기 위한 표준으로, SQL(Structured Query Language)을 사용하여 최대한의 상호 운용성을 허용하므로 하나의 응용 프로그램이 DBMS의 종류에 구애받지 않고 필요한 데이터에 접근할 수 있게 된다.<sup>(18)</sup> 따라서, ODBC 인터페이스를 사용하여 데이터베이스와 설계 시스템을 독립적으로 구축함으로써 데이터의 조작 및 관리를 효율적으로 수행하는 것이 가능하도록 하였다.

### 3. 치차장치 설계지원 시스템

본 논문에서 개발한 설계지원 시스템의 개괄적인 구조는 Fig. 2와 같다. 그림에서 시스템은 치차장치를 구성하는 기계요소중 설계시 필수적이고 기본적으로 고려되어야 한다고 여겨지는 치차, 축, 베어링과 키 등의 기계요소에 대한 설계지원모듈들을 객체지향 프로그래밍에 의해 독립적으로 구축한 후 통합하였다. 각 기계요소들에 대한 설계지원모듈들은 설계에 필요한 계산루틴 및 평가 루틴 등을 포함하고 있으며, 이들과 함께 전문가시스템 및 데이터베이스와의 인터페이스를 통해 독립적으로 설계를 수행한 후 결과가 자동적으로 통합되어 원하는 설계해를 얻을 수 있도록 하였다.

이러한 설계 과정에는 각 기계요소에 따라 다양한 설계지식이 존재하고, 이들 각각의 설계모듈은 상호간에 긴밀한 협조를 통해서 설계를 진행시켜 나가야 한다. 이에 따라 각각의 설계 시스템간의 데이터 참조와 의사전달 및 시스템관리의 편의를 위해 중앙에 작업데이터에 대한 클래스를 구축하여 필요시 각 모듈에서 변수값들을 참조 및 수정할 수 있도록 하였다. 즉, 각 설계모듈간에 연관되어 있는 공통의 설계변수들로 중앙 작업데이터를 구성함으로써 모든 모듈들은 필요시 변수들을 참조하거나, 새로운 설계값의 결정시 각 모듈 내의 독립적인 변수값의 변경만으로도 다른 설계모듈들에 영향을 줄 수 있다. 이와 같은 데이터 흐름에 관한 도식적 설명을 Fig. 3에 보인다. 이와 같이 설계를 진행해 가는 동안 설계에 대한 상충성 관리는 일차적으로 설계자가 해결하도록 하였고, 전문가시스템의

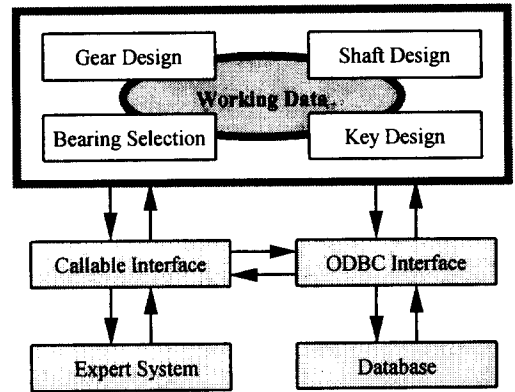


Fig. 2 Overview of the system architecture

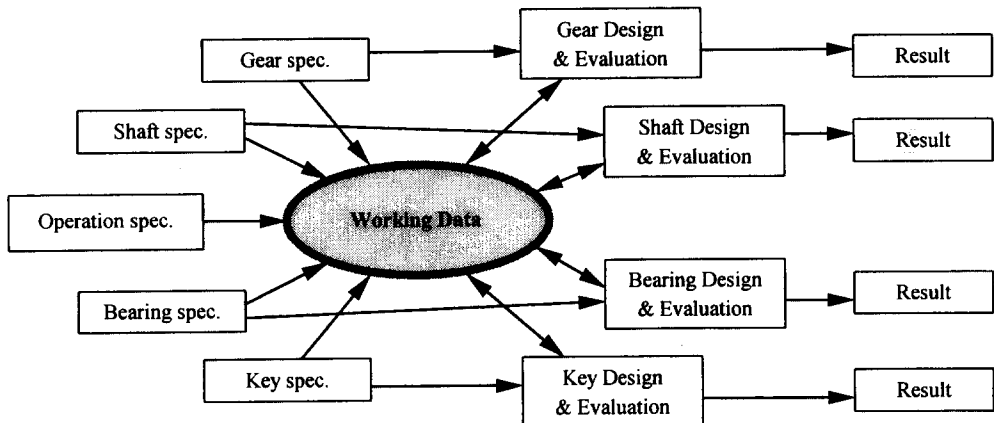


Fig. 3 Data flow between the design modules

추론기능에 의해 보조적인 지원을 받을 수 있다.

### 3.1 치차 설계지원모듈

치차 설계지원모듈은 크게 치차 제원을 설계하는 모듈과 설계된 제원에 대한 강도를 평가하는 모듈, 그리고 설계된 치차의 제원에 따라 공구를 설계하는 모듈로 구성된다. 각각의 모듈은 독립적으로 구성되어 자체로도 하나의 설계·평가 시스템으로 기능할 수 있으며, 어떠한 모듈로부터 입력이 주어져도 전체 시스템이 자동적으로 동작할 수 있도록 하였다.

#### 3.1.1 제원 설계모듈

치차 제원을 설계하기 위해 요구사항이 입력되면, 설계계산 루틴과 지식베이스에 의해 설계사항에 부합되는 제원설계 결과를 구하는 모듈이다. 여기서, 입력사항은 운전사항(operation specification)과 설계사항(design specification)으로 구분하였다. 운전사항에는 전달동력, 감속비, 회전수 등 치차의 운전과 관련된 사양들, 즉 초기설계시 결정할 수 있거나 반드시 결정해 주어야 하는 기본적인 사양들로 구성된다. 실제로 운전사항은 다른 기계요소들의 설계에도 필요한 공통의 사양이지만 대부분의 치차장치 설계에 있어서 치차의 설계가 가장 핵심이 되며, 최우선적으로 행해진다고 하는 관점에서 치차설계의 하위모듈로 구성하였다. 설계사항에는 모듈, 압력각, 잇수 등 구체적으로 치차의 제원을 구하기 위해 필요한 항목들을 두어 결정할 수 있도록 하였다. 설계사항의 결정은 설계자의 직접

적인 입력에 의하거나 운전사항을 이용한 전문가시스템의 추론으로부터 결정할 수 있다. 즉, 설계상황에 따라 설계사항에 대한 입력항목이 달라지거나 제원의 계산에 반드시 필요한 항목의 누락 등이 있을 수 있으며, 이의 해결을 위해 기존 설계에 대한 참조 및 지식베이스에 대한 추론기능을 두어 설계사항에 대한 결정을 얻을 수 있다. 설계사항 결정을 위한 규칙은 모두 75개로 구축되어 있으며, 중심거리와 감속비 및 모듈이 결정된 경우에 피니언 잇수를 결정하기 위한 규칙 구성의 예를 Fig. 4에 보인다.

또한, 기어치의 제원은 공구의 제원과 직접적으로 연관되어 있기 때문에 설계사항 입력모듈에서 직접 공구의 종류와 제원에 대해 선정해 줄 수 있도록 하였으며, 강도평가 등을 위해 피니언과 기어 각각에 대한 재료의 선정 또한 수행할 수 있도록 하였다. 치차에 쓰이는 재료는 종류가 다양하고 강도 등의 물성치가 반드시 명확하지는 않기 때문에 평가의 신뢰성을 위해 AGMA(American Gear Manufacturers Association) 규격<sup>(19)</sup>에 언급되어 있는 재료를 기본으로 하여 데이터베이스를 구축하였고 사용자의 검색에 의해 재료를 선정한다.

#### 3.1.2 설계평가모듈

설계평가모듈은 제원설계모듈로부터 얻어진 설계결과를 기본 입력으로 하여 평가에 필요한 부수적인 사항을 입력받아 설계된 치차의 간섭 및 물림률 등 기하학적인 특성 등과 강도 및 진동 등 여러 가지 평가를 수행하는 모듈이다.

```

(@Rule= R22
  (@LHS=
    (Is (|Pinion|.ToothNumber) (NOTKNOWN, UNKNOWN))
    (Is (|GearSet|.CenterDistance) (KNOWN))
    (Is (|GearSet|.GearRatio) (KNOWN))
    (Is (|GearSet|.Module) (KNOWN))
  )
  (@HYPO= H_PinionToothNumber)
  (@RHS=
    (Do (2.0 * |GearSet|.CenterDistance / (|GearSet|.Module * (|GearSet|.GearRatio + 1)))
      (|Pinion|.ToothNumber))
  )
)
    
```

Fig. 4 An example of rule for the determination of gear design specification

본 시스템에서는 치차의 강도설계를 기준으로 기어파손에 직접적인 영향을 미치는 굽힘강도(bending strength)와 면압강도(pitting resistance) 및 스크어링강도(scoring) 등에 대한 평가를 수행한다. 기어치의 굽힘강도 및 면압강도에 대한 평가는 비교적 신뢰성이 높고, 각종 계수에 대한 평가방법이 가장 잘 정비된 AGMA 규격<sup>(19)</sup>을 이용하였고, 스크어링강도는 Dudley의 섬광온도식(flash temperature formula)<sup>(20)</sup>을 이용하였다.

원통 치차의 굽힘강도에 대한 AGIA 규격은 외접 치차에서 이의 질손이 이뿌리 필렛(fillet)부에서 발생할 때의 굽힘응력으로 평가한다. 굽힘응력( $s_t$ , bending stress number)에 대한 평가식은 식 (1)과 같고, 여기서 계산된 응력을 식 (2)의 우측항으로 계산되는 허용응력과 비교하여 그 이하가 되도록 모듈, 치폭 등을 결정한다.

$$s_t = \frac{W_t K_a}{K_v} \frac{1}{F \cdot m} \frac{K_s K_m K_B}{J} \quad (1)$$

$$s_t \leq s_{at} \frac{K_L}{K_T K_R} \quad (2)$$

여기서,  $W_t$ 는 피치원에서의 접선하중(tangential load at pitch circle)이고,  $F$ 는 치폭(face width),

$m$ 은 모듈(normal module)을 각각 나타내며, 그 외의 계수들은 Table 1에 보이는 바와 같다.

접촉응력( $s_c$ , contact stress number)에 대한 AGMA 평가식은 내접 및 외접 치차에서 피팅(pitting)이 피치점 부근에서 발생할 때의 접촉응력에 의해 평가하는 것으로, 식 (3)과 같이 원주력에 구동기 및 피동기의 운전조건, 요구수명, 치면의 하중분포 등을 고려하여 구하며, 계산된 응력이 식 (4)의 우측항으로 계산되는 허용접촉응력 이하가 되도록 피니언의 지름, 유효 치폭 및 잇수비 등을 결정한다.

$$s_c = C_p \left[ \frac{W_t C_a}{C_v} \frac{C_s}{d \cdot F} \frac{C_m C_f}{I} \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$s_c \leq s_{ac} \frac{C_L C_H}{C_T C_R} \quad (4)$$

여기서,  $d$ 는 피니언의 피치원직경(pitch diameter of pinion)을 나타내며, 그 외의 계수들은 Table 1에 보이는 바와 같다.

스크어링강도에 대한 평가는 Dudley의 섬광온도식에 의해 식 (5)와 같이 치면상의 물림위치에서 순간적으로 도달하는 섬광온도( $T_f$ , flash temperature)로 이루어지며, 계산된 섬광온도와 윤활제의

Table 1 Factors for gear rating

Factor name	Bending	Pitting	Scoring
Elasticity coefficient		$C_p$	
Application factor	$K_a$	$C_a$	
Dynamic factor	$K_v$	$C_v$	
Size factor	$K_s$	$C_s$	
Longitudinal load distribution factor	$K_m$	$C_m$	
Rim thickness factor	$K_B$		
Surface condition factor		$C_f$	$Z_s$
Geometry factor	$J$	$I$	$Z_t$
Life factor	$K_L$	$C_L$	
Hardness ratio factor		$C_H$	
Temperature factor	$K_T$	$C_T$	
Reliability factor	$K_R$	$C_R$	
Gear body temperature			$T_b$
Scoring criterion number			$Z_c$

평균 스코어링온도( $T_s$ , mean scoring temperature)를 식 (6)과 같이 비교하여 평가한다.

$$T_f = T_b + Z_i Z_s Z_c \quad (5)$$

$$T_f \leq T_s \quad (6)$$

여기서, 각 계수들에 대한 정의는 Table 1에 보인다.

이상의 항목들에 관해 강도평가를 수행하고, 부수적으로 치차강도 및 성능에 영향을 미칠 수 있는 전달동력, 단위하중, 항복응력 등에 대한 항목을 포함한 각 항목에 대한 평가결과를 사용자에게 화면상으로 출력하여, 설계자로 하여금 선택적으로 재설계를 행할 수 있도록 하였다.

### 3.1.3 공구 설계모듈

본 모듈은 제원설계모듈에서 얻어진 치차 제원을 얻기 위한 공구 제원의 결정과 가공방법의 선정을 행하기 위한 것이다. 기어치를 성형하는 방법으로 여러 가지로 분류할 수 있고, 각각의 가공방법에 따라 고려해야 할 사항이 많지만 본 논문에서는 그 중 가장 일반적으로 쓰이고 있는 창성에 의한 방식으로 호빙(hobbing), 셰이핑(shaping), 밀링(milling)을 고려하였으며, 그에 따른 공구의 제원을 사용자가 결정할 수 있도록 하였다.

### 3.2 축 설계지원모듈

치차 설계지원모듈로부터 결정된 치차의 제원을 기본입력으로 하고, 부수적으로 안전계수 및 베어링스팬 등을 입력받아 축의 제원을 결정하는 모듈이다. 치차장치에 사용되는 축은 일반적으로 굽힘과 비틀림을 동시에 받는 중실 원통축으로 볼수 있으며, 그 설계를 위해서는 여러 가지 방법이 쓰이고 있으나 여기서는 현재 가장 많이 쓰이고 있는 최대 전단응력설<sup>(21)</sup>에 기초하여 구한다.

중실 원통축이 굽힘, 축하중, 비틀림을 동시에 받고 있을 때 최대 전단응력  $\tau_{max}$ 는 식 (7)로부터 구할 수 있으며, 허용 전단응력  $\tau_{allow}$ 는 식 (8)과 같다.

$$\tau_{max} = \frac{2}{\pi d_s^3} [(8M + Fd_s)^2 + (8T)^2]^{1/2} \quad (7)$$

$$\tau_{allow} = \frac{S_{sy}}{n} = \frac{S_y}{2n} \quad (8)$$

여기서,  $d_s$ 는 축의 지름,  $M$ 은 굽힘모멘트,  $F$ 는 축방향하중,  $T$ 는 비틀림모멘트,  $S_{sy}$ 는 재료의 비

틀림 항복강도,  $S_y$ 는 재료의 항복강도이고,  $n$ 은 안전계수이다.

또한, 많은 경우에 축방향하중  $F$ 는 0이 되거나 무시할 수 있고, 이 경우  $\tau_{max}$ 는 식 (9)와 같이 변형되며, 이 식에 허용응력을 대입하면 식 (10)과 같이 축의 지름을 구할 수 있다.

$$\tau_{max} = \frac{16}{\pi d_s^3} (M^2 + T^2)^{1/2} \quad (9)$$

$$d_s = \left[ \frac{32n}{\pi S_y} (M^2 + T^2)^{1/2} \right]^{1/3} \quad (10)$$

이상과 같이 축지름을 계산한 후, KS 규격에 규정되어 있는 표준치에 따라 축지름을 선정하도록 하였다. 만약 축에 키가 체결되어 키홈이 있는 경우에, 축은 단면적이 감소될 뿐만 아니라 키홈 밑 부분의 모서리에 응력집중이 생기므로 강도가 상당히 감소된다. 따라서 키로 체결되는 축을 설계할 때는 먼저 키홈이 없는 경우의 축지름을 구하고, 이 축지름에 키홈의 깊이를 더한 값을 축의 지름으로 하였다.

### 3.3 베어링 선정지원모듈

치차 및 축의 설계가 이루어진 후, 그 제원에 따라 설계조건에 합당한 베어링을 선정하는 모듈이다. 베어링은 크게 구름베어링(rolling bearing)과 미끄럼베어링(sliding bearing)으로 분류할 수 있고, 각 형식에 따라 다양한 종류의 베어링이 존재하나, 본 논문에서는 여러 가지 베어링 형식중에서 일반적인 치차장치에 많이 사용되고 있는 구름베어링에 대해서 고려하였다.

구름베어링은 그 형식에 따라 종류별 규격이 잘 구비되어 있고, 그 형식의 선정이 비교적 정형적으로 이루어질 수 있으므로, 전문가시스템을 통해 베어링의 형식을 선정하고자 하는 많은 연구가 있어 왔으며, 그 결과 또한 신뢰할 수 있음을 보이고 있다.<sup>(9)</sup> 또한, 구름베어링의 설계에 있어서는 KS 및 국내 메이커의 규격을 이용해 안지름을 기준으로 하여 호칭번호를 지정함으로써 주요 치수, 즉 내경, 외경, 폭(또는 높이) 및 모떼기치수 등을 결정할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 우선 구름베어링 선정에 관한 지식베이스로부터의 추론을 통해 베어링의 형식을 결정하고, 축지름에 의해 결정되는 안지름을 기준으로 데이터베이스에 대한 일차적 검색을 마친 후, 베어링에 작용하는 정정격하중

(static load rating)과 동적경하중(dynamic load rating)을 각각 기본 정격하중과 비교하여 하중조건을 만족하는 베어링을 선정하였다. 베어링선정을 위해서는 모두 47개의 규칙이 사용되었으며, Fig. 5

```

(@Rule= R6
  (@LHS=
    (Yes (H_LoadDirection))
    (Is (|Bearing|.LoadDirection) ("Radial"))
    (Is (LoadRadial) ("크다"))
  )
  (@HYPO= H_CRB_NRB)
)
(@RULE= R7
  (@LHS=
    (Yes (H_CRB_NRB))
    (Is (Rpm) ("매우 크다"))
  )
  (@HYPO= H_BearingSelection)
  (@RHS=
    (Let (|Bearing|.Selection) ("Cylindrical Roller Bearing (NU)"))
  )
)
  
```

Fig. 5 An example of rule for the bearing selection

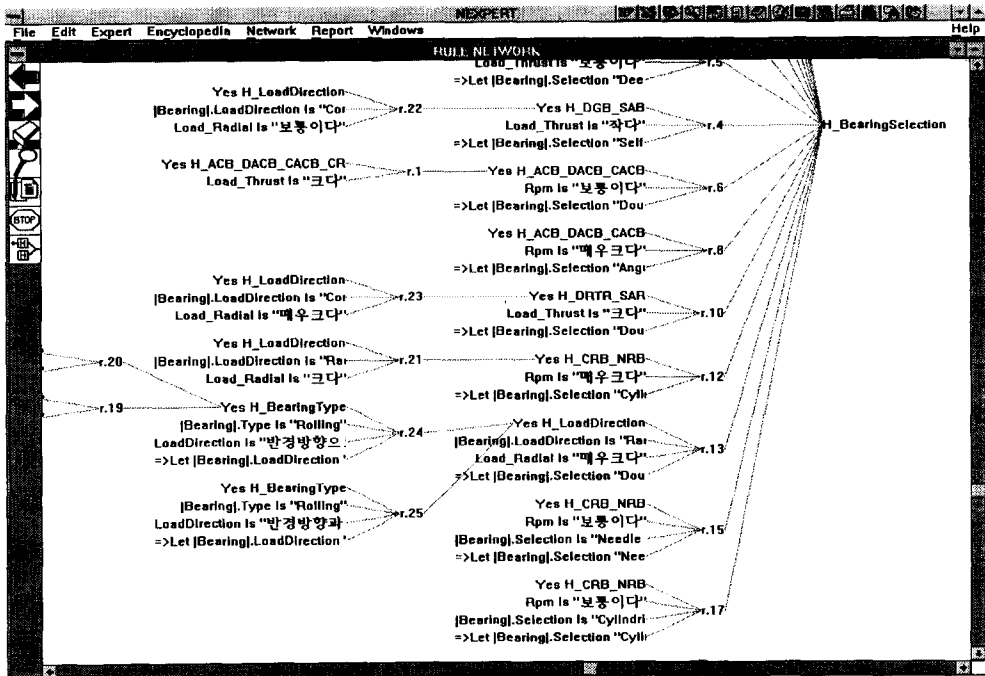


Fig. 6 Rule network for bearing selection



에 베어링 형식을 선정하기 위한 규칙을, Fig. 6에 추론을 위한 규칙의 네트워크 구성을 보인다.

### 3.4 키 설계지원모듈

축의 지름이 결정된 후, 키의 체결여부에 따라 키를 설계하기 위한 모듈이다. 키의 체결 여부는 축의 지름, 전달토크의 크기 등을 고려하여 결정하여야 하지만, 본 시스템에서는 설계의 편의상 설계자의 선택에 의해 키 설계 유무를 결정하도록 하였다. 키는 그 형태와 체결양식에 따라 여러 가지가 있으나, 본 시스템에서는 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 묻힘키(sunk key) 중 평행키(parallel key)를 우선 고려하였다. 또한, 평행키와 키홈의 각 치수는 그 종류에 따라 축지름에 대하여 KS의 표준치가 정해져 있으므로, 축지름의 결정과 키 체결의 여부에 따라 자동적으로 설계가 이루어지도록 하였다.

## 4. 시스템의 적용 및 검토

이상과 같이 개발한 설계지원 시스템으로 직접 치차장치의 설계에 적용한 예를 보인다. 설계 예는 일반 산업용 1단 외접 평치차장치로 하였으며, 감

속비는 3.5 : 1, 입력속도는 1200 rpm, 전달동력은 5 kW로 하였다.

치차설계사양은 구체적인 치차 제원의 설계를 위해 필수적인 모듈, 중심거리, 압력각, 비틀림각, 잇수, 치폭 등을 포함하며, 설계자로부터 입력받거나 운전사양에서 입력받은 내용을 토대로 추론을 통해 결정할 수 있다. Fig. 7에 피니언의 잇수를 15로 하고, 피니언 및 기어 각각의 치폭을 40 mm로 한 경우에 대한 제원 등 치차 설계사양 결정결과를 보인다.

또한, 데이터베이스의 검색을 통해 피니언 및 기어 각각의 재료를 선정할 수 있도록 하였으며, 가공방법 및 공구사양의 결정 또한 포함하였다. 이로부터 결정된 설계 제원에 대한 치차 제원 설계의 결과를 얻고 강도평가를 수행하며, Fig. 8에 강도 평가에 대한 결과 화면을 보인다. 평가결과는 치차 파손에 직접적인 영향을 미치는 굽힘응력(굽힘강도), 접촉응력(면압강도), 섬광온도(스코링강도) 외에 부수적으로 항복응력, 단위하중, 전달동력 등을 포함하며, 설계 예의 경우 접촉응력과 전달동력이 허용치를 넘는 결과를 보여 재설계가 필요한 것을 알 수 있다.

재설계는 모듈의 증가, 압력각의 변화, 전위, 치

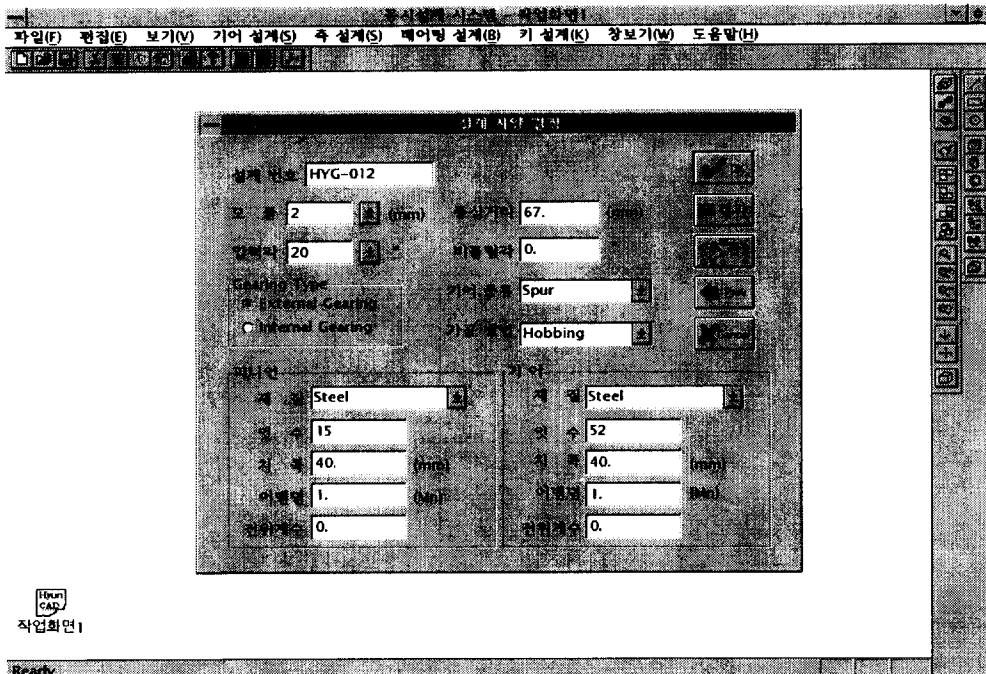


Fig. 7 Determination of gear design specification

폭의 증가 등 상황에 따라 여러 가지 방식으로 행 로 증가시켰다. 실제의 재설계는 설계자의 경험 및 해질 수 있으나, 설계 예에서는 모듈을 2에서 3으 지식에 의하는 바가 크고, 모두 일률적인 방향으로

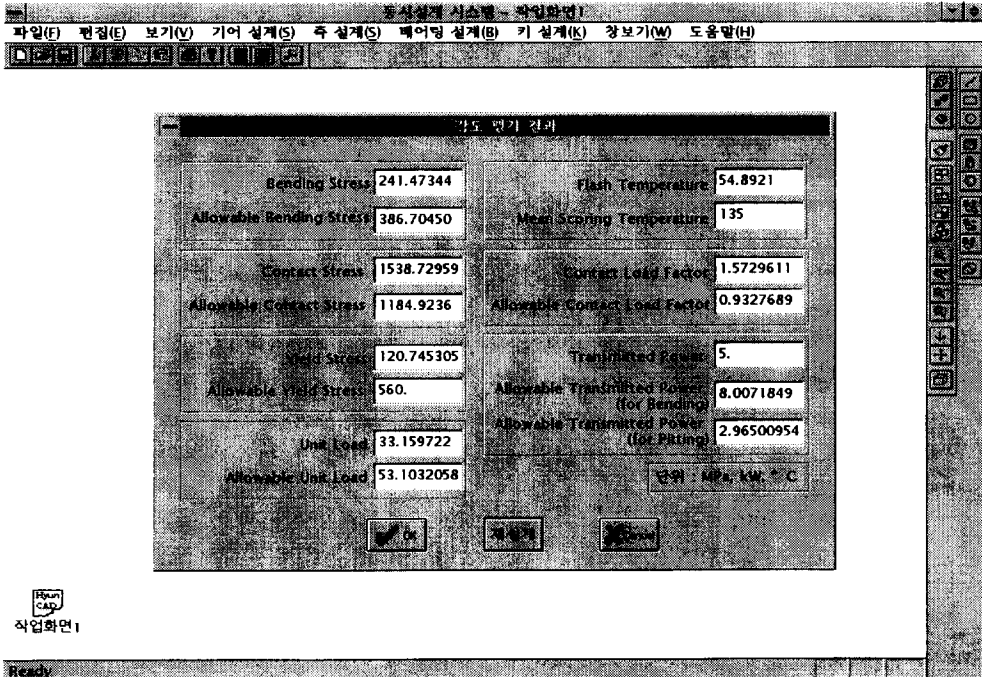


Fig. 8 Gear rating result : failed

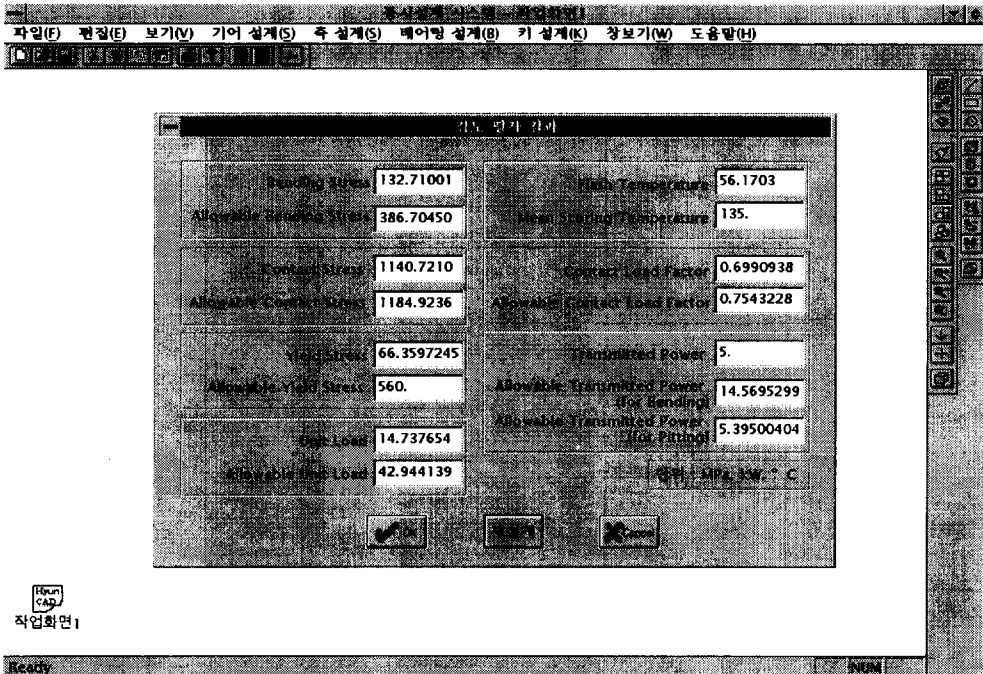


Fig. 9 Gear rating result : satisfied

이루어지는 것은 아니기 때문에, 평가결과에 따른 추천치의 포함내지는 전문가시스템의 추천에 의한 재설계가 필요하다고 여겨지나, 현재의 시스템에서는 고려하지 않았으며, 단지 설계자의 직접적인 입력에 의해서 재설계가 행해질 수 있도록 하였다. 이러한 재설계 입력에 따른 평가 결과를 Fig. 9에 보인다. 재설계 평가결과 모든 평가항목에 대해 허용치를 만족하는 결과를 보이는 것을 알 수 있다.

축 설계사양의 입력부에서는 베어링스팬과 재료의 선정을 포함하며, 키 체결유무 등에 대해 설계자로부터 입력받을 수 있도록 하였다. 피니언과 기어 각각의 축지름은 16 mm와 20 mm로 결정되었으며, 치차의 종류가 평치차이기 때문에 축방향중이 존재하지 않는 것을 볼 수 있다. 이에 대한 결과를 Fig. 10에 보인다. 마찬가지로, 치차, 축 등의 설계결과와 기대수명 등으로부터 베어링이 선정되었으며, 또한 키 설계결과 최종적인 축지름이 체결로 인해 각각 20 mm와 25 mm로 증가한 것을 알 수 있다.

이상과 같이 실제의 설계 예를 도입하여 시스템의 유효성을 검증한 결과, 설계의 평가 및 재설계의 편의성이 크게 증가한 것을 알 수 있었으며, 따라서 설계 안정성의 보장과 설계자에 대한 보다 효

과적인 지원이 가능할 것으로 기대된다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 설계의 효율성과 편의성, 신뢰성 등을 보장할 수 있는 기계설계지원 시스템의 개발을 위한 구체적인 방법론을 제시하고, 여러 가지 계요소가 복합되어 사용되는 기계시스템중 대표적인 치차장치를 대상으로 치차장치 설계시 설계자보다 유효하게 지원할 수 있는 통합설계지원 시스템을 개발하였다.

실제의 시스템은 치차장치를 구성하는 치차, 축, 베어링 및 키 등 각각의 기계요소에 대한 설계지원 시스템을 객체지향적으로 구축한 후 통합하였으며, 설계시 필수적인 기술데이터들에 대한 참조와 저장 등을 위해 데이터베이스를 인터페이스하였고, 설계자에 대한 지적보조를 위해 지식베이스에 대한 추론기능을 전문가시스템 셸을 이용하여 통합하였다. 이와 같이 전체 시스템의 개발에 필요한 각 설계모듈을 객체지향적 방법에 의해 개발하고, 데이터베이스, 전문가시스템 등을 각각 독립적으로 구축한 후 통합하는 형식을 취함으로써, 시스템 개발의 효율성과 용이성, 그리고 개발된 시스템의 확장성과

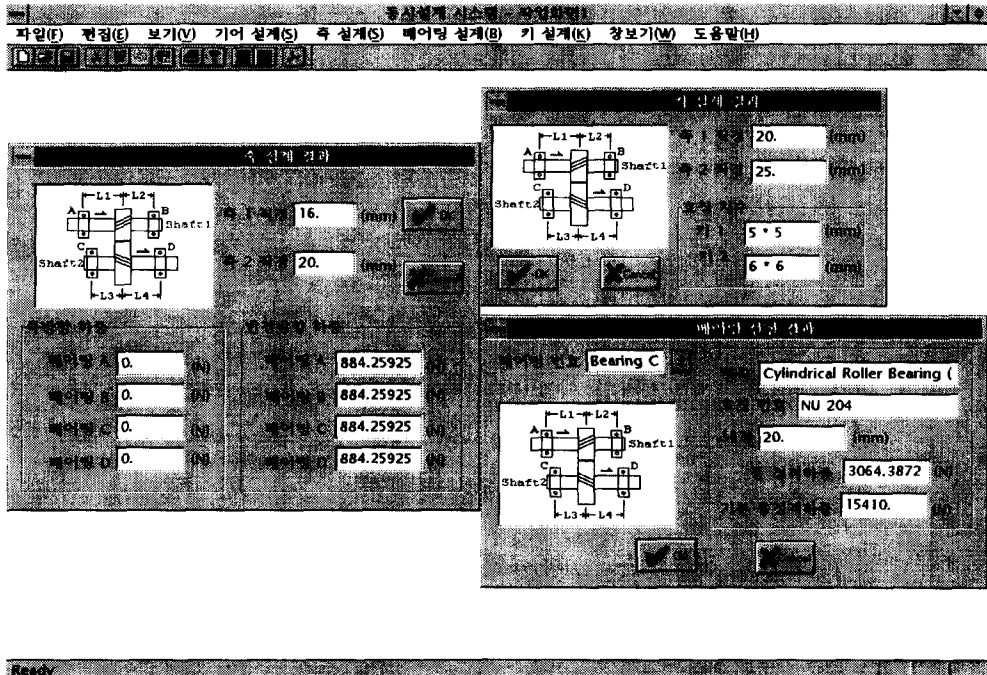


Fig. 10 Design results of shaft, bearing and key

관리성을 만족시킬 수 있음을 보였다. 또한, 중앙에 공통의 설계변수로 구성된 작업데이터 클래스를 구축하고, 추론에 의한 설계 지원 기능을 보조적으로 통합함으로써, 여러 기계요소가 복합된 기계시스템의 설계자에 대한 보다 효과적이고 안정적인 지원이 가능함을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- (1) Brown, D. C. and Chandrasekaran, B., 1983, "An Approach to Expert Systems for Mechanical Design," *Trends and Applications '83, IEEE Computer Society*, pp. 173~180.
- (2) Dixon, J. D. and Simmons, M. K., 1983, "Computers That Design: Expert Systems for Mechanical Engineering," *Computers in Mechanical Engineering*, pp. 10~17.
- (3) Dym, C. L., 1985, "EXPERT SYSTEMS: New Approaches to Computer-Aided Engineering," *Engineering with Computers*, Vol. 1, pp. 9~25.
- (4) Ullman, D. G., Stauffer, L. A. and Dietterich, T. G., 1987, "Toward Expert CAD," *Computers in Mechanical Engineering*, pp. 56~70.
- (5) Akagi, S. and Fujita, K., 1990, "Building an Expert System for Engineering Design Based on the Object-Oriented Knowledge Representation Concept," *ASME J. of Mechanical Design*, Vol. 112, pp. 215~222.
- (6) 車周憲, 橫山正明, 1994, "機械系CAD支援のための一つの知識ベースシステム," *日本機械學會論文集(C編)60卷 579號*, pp. 39~45.
- (7) Chong, T. H. and Byun, J. H., 1991, "Development of Expert Systems for Designing Power Transmission Gears," *Proc. International Conference on Motion and Power Transmissions, JSME*, pp. 536~541.
- (8) Anderson, N., Barber, K. and Kienzle, K., 1991, "Artificial Intelligence for Computerized Gear Design," *Proc. International Conference on Motion and Power Transmissions, JSME*, pp. 613~617.
- (9) Fagan, M. J., 1987, "Expert Systems Applied to Mechanical Engineering Design-Experience with Bearing Selection and Application Program," *Computer-Aided Design*, Vol. 19. No. 7, pp. 361~367.
- (10) Badar, M. A. and Guntur, R. R., 1994, "A Knowledge-Based Approach to Design Partial Journal Bearings," *ASME-DE Vol. 69-1 Advances in Design Automation*.
- (11) 정태형, 김현, 1995, "치차설계를 위한 통합 설계시스템 개발에 관한 연구," *대한기계학회논문집*, 제19권, 제10호, pp. 2537~2547.
- (12) Akagi, S., Tanaka, T. and Kubonishi, H., 1988, "An Expert CAD System for the Design of Marine Power Plants Using Artificial Intelligence," *JSME International Journal Series III*, Vol. 31 No. 1, pp. 149~156.
- (13) 이수홍, 최두선, 1993, "자동차 전장용 에이전트 기반 시스템 연구," *한국자동차공학회논문집*, Vol. 1 No. 3, pp. 83~94.
- (14) 구도연, 한순홍, 1996, "급지기구 설계 전문가시스템에서 구성설계 방법론," *한국 CAD/CAM 학회 논문집*, 제1권, 제2호, pp. 163~172.
- (15) Coad, P. and Yourdon, E., 1991, *Object-Oriented Design*, Prentice Hall.
- (16) *Nexpert Object Version 2.0 User's Guide*, Neuron Data.
- (17) *Microsoft Access User's Guide*, 1994, Microsoft Corporation.
- (18) KMK 정보산업연구원 譯, 1995, *Microsoft ODBC 2.0*, 도서출판 삼각형.
- (19) AGMA 2001-B88, 1988, *Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth*.
- (20) Dudley, D. W., 1984, *Handbook of Practical Gear Design*, McGraw-Hill.
- (21) Shigley, J. E. and Mischke, C. R., 1989, *Mechanical Engineering Design 5<sup>th</sup> Edition*, McGraw-Hill.