

# 공작기계 설계 지원 시스템 개발 - 이송계 서보모터 선정에의 적용

장민제(연세대 대학원 기계공학과), 이수홍(연세대 기계공학과), 박면웅(한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구 센터)

## Development of the Expert System of Selecting a Servo-Motor in Feed Drive Unit of a Machining Center

M. J. Chang (Mecha. Eng. Dept. YSU), S.H. Lee(Mecha. Eng. Dept. YSU), M. W. Park(KIST CAD/CAM Research Center)

### ABSTRACT

In this paper, we developed an expert system that helped a machine-tool designer to select a moderate servo-motor of the feed drive unit of a machine tool. With the specification of the drive unit, it searches for the set of servo-motors that have enough torque and power to satisfy the driving condition which the designer defines from the database. The database also contains knowledge and rules, which describe the design process and calculate design parameters of a feed drive. The knowledge-based design support module shows every steps of inference and reason for the solution that it provides.

**Key Words :** Machine Tool(공작 기계), Feed drive unit (이송계), Servo-motor (서보 모터), Expert system (전문가 시스템), Knowledge-base(지식 기반), Design support(설계 지원)

### 1. 서론

공작 기계의 설계는 전문적인 설계 지식과 오랜 기간의 경험을 요하는 고도의 지적인 작업으로서 설계 과정에서는 특히 역학적 해석이 필요함과 동시에 표준 부품의 이용이 빈번하며 현재까지 축적되어 온 지식의 활용이 필수적이다. 따라서 설계 전문가 시스템의 적용에 의해 정형화된 반복 작업의 부담을 경감시킴으로써 설계 작업의 효율화와 신제품 개발 기간의 단축 효과를 얻을 수 있다. 공작 기계 설계 전문가 시스템은 설계 전 과정, 즉 사용자 요구 사항으로부터 기종을 선택하고 전체적인 기하학적 구조를 결정하며 주축계, 지지계, 이송계 등의 기능적 단위들의 사양을 산출함으로써 상세 설계를 수행하고 각 단계의 설계 결과를 해석하여 설계 사항을 수정하는 과정들을 수행할 수 있어야 한다.<sup>[1]</sup>

본 연구에서는 공작 기계 초기 설계 과정 중 이송계 서보 모터 선정 과정을 분석하여 설계를 위한

지식 베이스 및 설계 정보 데이터베이스를 구축하고, 이를 바탕으로 설계 지원 및 의사 결정 지원 기능을 갖춘 전문가 시스템을 구축하였다.

### 2. 공작 기계 설계 지원 전문가 시스템

#### 2.1 시스템 구성

본 연구에서는 공작 기계 업체들의 현 설계 업무에서 활용하고 있는 설계 지식을 기반으로 공작 기계 초기 설계 과정을 분석하였다. 설계 과정 분석은 공작 기계 설계 업무에 종사하는 전문가들과의 인터뷰를 통하여 수행하였으며 각종 기술 서적과 표준 부품 카탈로그 등의 문헌 조사를 병행하였다. 설계자가 요구 사항을 입력하던 구조 형태계 초기 설계를 수행하며 구조 형태계 초기 설계가 끝나면 해석, 평가를 통해 구조 형태 초기 설계 사항을 확정한다. 다음으로 주축계, 이송계, 지지계 등의 각 모듈별 초기 설계를 수행하고 각 모듈별 초기 설계 사항을 확정한다. 초기 설계가 끝나면 구

조 형태계 해석을 통하여 모듈별 초기 설계 사항을 수정 보완하여 전체 공작 기계의 초기 설계를 완료한다. 다음 단계로서 각 모듈별 상세 설계를 수행하며 모듈별 해석을 거쳐 전체 구조 형태계 총괄 해석을 반복하여 설계 과정을 완료한다. 개발 시스템은 구조 형태계, 주축계, 이송계, 지지계 등 4 개의 모듈로 구성되며 각 모듈은 각각의 설계 지식과 해석 프로그램을 갖는다.<sup>[3]</sup>

본 연구에서 개발된 설계 지원 전문가 시스템은 이러한 과정에서의 이송계 서보 모터의 초기 선정을 지원한다.

## 2.2 이송계 설계 과정

이송계 모듈의 설계 과정은 다음과 같다. 우선 설계자로부터 급이송 속도, 가감속 시간, 정밀도, 부하 능력, 수명, 이송 거리 등을 포함한 설계 사양을 입력 받는다. 다음으로 이송계에 대한 설계 사양을 가결정한다. 이 단계에서는 볼 스크류 등급, 지지 방법, 가이드 방식, 구동 방식, 윤활 냉각 시스템 등을 결정한다. 또한 테이블 크기, 볼 스크류 위치, 안내면 위치 등의 가결정도 이 단계에서 이루어진다. 그 다음으로 볼 스크류에 대한 상세 사양을 결정하며 이 작업이 끝나면 지지 베어링을 설계한다. 한편 안내면 설계를 별도로 수행하며, 다음으로 구동 방식(직접 구동, 기어 구동, 풀리/벨트 구동)을 선택하고 구동 모터의 타입과 용량을 결정한다.<sup>[4]</sup>

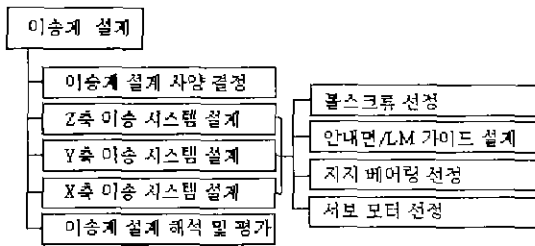


Fig. 1 A block diagram of design process of feed drive unit of a machining center

## 2.3 이송계 서보 모터 설계 과정

설계 대상인 이송계를 가공물을 포함한 테이블, 볼 스크류, 너트, 베어링, 커플링, 서보 모터 등 7 개의 단순 질량체로 표현하여 이송계에 대한 수학적 모델링을 수행하고, 이로부터 서보 모터에 요구되는 관성 모멘트와 부하 토크를 계산한다.

1. 관성 모멘트 조건: 서보 모터의 회전으로 인하여 원 운동 및 직선 운동이 발생하는 각 부분의 관성

모멘트의, 서보 모터 축에 대한 환산값의 합  $J_L$  을 계산한다. 서보 모터의 관성 모멘트를  $J_m$  이라고 할 때 이로부터 이송계의 총 관성 모멘트  $J_u$  는

$$J_u = J_t + J_b + J_m + J_c \quad (1)$$

이며, 이 때  $J_L$  은 다음과 같다

$$J_L = J_t + J_b + J_c \quad (2)$$

2. 부하 토크 조건 서보 모터의 축에 작용하는 부하 토크  $T_L$  은

$$T_L = \left( \frac{F \cdot P}{2\pi\eta} + T_b \right) \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad [\text{kgf} \cdot \text{m}] \quad (3)$$

여기서  $F$  구동부를 직선(수평) 방향으로 움직이는 데 필요한 추력 [kgf]  
 $T_b$ : 볼 스크류의 너트부, 베어링부의 마찰 토크 [kgf·m]  
 $N_1, N_2$ : 감속 치차의 이수  
 $\eta$ : 볼 스크류 및 치차의 효율  
 $P$ : 볼 스크류의 리드 [mm]

이전 설계 단계에서 결정된 설계 사양으로부터 위와 같이 관성 모멘트와 부하 토크를 계산하던 이로부터 현 설계 사양에 적합한 서보 모터의 용량이 결정된다 이렇게 결정된 설계 변수들은 설계 지식 또는 Rule 의 일부로서 추론 엔진에 저장된다.

## 3. 서보 모터 선정 지원 전문가 시스템

본 연구에서 개발한 서보 모터 선정 전문가 시스템은 이전 설계 단계에서 결정된 이송계 설계 사양을 입력 데이터로 읽어 들여 지식 베이스로부터 가져온 설계 지식에 따라 설계 사양에 적합한 서보 모터를 데이터베이스로부터 조회한다. 시스템은 Microsoft Visual C++ 6.0 환경에서 개발되었고 데이터베이스로는 UmSQL 을 사용하였다.

### 3.1 Forward chaining 추론 엔진

전문가 시스템은 세 가지 기본 구성 요소 - Rule 과 Fact 들의 집합인 지식 베이스, 추론이 진행되는 동안 데이터를 저장하는 워킹 메모리, 그리고 추론 엔진 -를 필요로 한다.

IF-THEN Rule 은 인공 지능 어플리케이션에서 사용되는 선언적 지식 표현에 있어서 가장 유명한 형태가 되었다. 이러한 데에는 몇 가지 이유가 있는데 IF-THEN Rule 로 표현되는 지식은 이해하기가 쉽고 각각의 Rule 은 지식 베이스에서 독립적인 지식의 조각 또는 단위 정보로서 이해될 수 있다. 또

한 새로운 지식이 쉽게 추가될 수 있고, 개별적 Rule 을 생성하거나 수정함으로써 현존하는 지식의 변화가 가능하다. Rule 은 추론 시스템에 의해 쉽게 처리되어진다. Forward chaining 은 새로운 사실을 생성할 때 사용될 수 있고, Backward chaining 은 명제가 사실인지 아닌지 연역적으로 추론할 때 사용된다. 본 연구에서 구현한 추론 엔진은 기존의 설계 변수들과 설계 지식이 저장된 지식 베이스로부터 추론을 수행하여 적합한 서보 모터의 용량을 구하기 위해 Forward chaining 추론을 사용하였다. 다음은 Forward Chaining 사이클의 진행 단계이다.<sup>[4]</sup>

1. 지식 베이스를 추론 엔진에 Load 한다.
2. 추가적인 초기 데이터가 존재하면 워킹 메모리에 Load 한다.
3. 워킹 메모리에 있는 데이터들과 Rule 들을 비교하여 적용 될 수 있는 Rule 들을 결정하는데, 이것은 모든 선행절들이 참 값을 가짐을 의미한다. 이들 적용 될 수 있는 Rule 들의 집합을 Conflict Set 이라 한다.
4. Conflict Resolution 방법을 사용하여 Conflict Set 으로부터 하나의 Rule 을 선택한다.
5. 선택된 Rule 을 적용하여 결론절을 판별한다. 그것이 새로운 사실을 생성하는 Rule 이면 워킹 메모리를 갱신한다..
6. Conflict Set 의 원소의 개수가 0 이 될 때까지 과정 3, 4, 5 를 반복한다.

Forward Chaining 의 비교 작업이 진행되는 동안 추론 엔진은 워킹 메모리 또는 기존의 사실들을 Rule 들의 선행절들과 비교하여 어느 Rule 들이 적용 가능한 지를 결정한다.

설계 지원 시스템은 과정 5 에서 워킹 메모리가 갱신될 때마다 선택된 Rule 을 의사 결정 과정으로서 제시하여 설계자가 적용된 Rule 의 종류와 적용 과정을 알 수 있게 해 준다 과정 6 을 통한 설계 지식의 적용으로부터 추론 결과가 얻어지면 이로부터 시스템은 데이터베이스를 조회하여 설계 조건을 만족하는 서보 모터를 검색하게 되는데, 이때 시스템은 서보 모터의 기술적 데이터로부터 적용되는 설계 변수에 해당하는 항목을 찾아 비교한다.

Table 1 은 추론에 적용되는 설계 지식의 예를 보여주고 있다. 이러한 설계 지식과 설계 변수의 값은 이송계의 가감속 특성을 향상시키고 사용자의 운전 조건에 따른 절삭 토크 등을 고려하여 결정되는 것으로 현장 설계 업무 전문가와의 인터뷰를 통하여 취득한 것이다.

Table 1 An example of design rules in selecting a servomotor

설계 지식 또는 rule	내용
서보 모터의 관성 모멘트 조건	(서보 모터의 관성 모멘트) $\geq$ (서보 모터의 축에 대한 총 관성 모멘트의 환산값)/2.5
서보 모터의 최대 토크 조건	(서보 모터의 최대 토크) $\approx$ (중철삭 가공의 운전 토크 관계에서 절삭 토크) * 1.5

### 3.2 설계 및 의사 결정 지원

기존의 설계 전문가 시스템은 설계자가 설계 변수들을 입력하고 사용할 표준 부품의 종류를 결정한 뒤 해석 프로그램의 수행을 통해서 설계 적합성 여부를 판단하여 설계자에게 결과를 출력하였다.

이러한 설계 방식은 해석 프로그램의 설계 적합성 여부에 따라 반복 설계가 뒤따른다는 것과 설계자가 설계 변수를 입력하거나 표준 부품을 선택할 때 설계자의 설계 및 의사 결정을 지원하는 적절한 정보를 지원하지 못한다는 문제점을 안고 있다.

따라서 본 연구에서 구현한 설계 및 의사 결정 지원 시스템은 설계자의 선택에 따라 서보 모터의 상세 정보를 제공하며, 또한 추론에 사용된 설계 지식과 rule, 그리고 추론 결과에 대한 의사 결정 과정을 보여줌으로써 설계자의 설계 결정을 지원하도록 한다.

Figure 2 는 이송계 서보 모터 선정 전문가 시스템의 실행 화면이다. 설계 정보 창에서는 이송계 설계 사양으로부터 설계 지식을 적용하는 데 필요한 설계 변수의 종류와 이전 설계 단계에서 결정된 값을 나타내어 설계자에게 이전 설계 단계와 현재 설계 단계 사이의 연관성에 대한 정보를 제공한다. 한편 이러한 설계 변수를 계산하고 적용하는 과정이 의사 결정 과정 창에 기록되어 설계자는 사용된 설계 지식과 적용 과정, 그리고 각각의 설계 변수 사이의 관계를 알 수 있게 된다. 설계 지식 또는 rule 의 적용으로 설계에 적용 가능한 서보 모터의 목록이 출력되고 이러한 서보 모터의 기술적인 데이터는 상세 정보 창에 출력되어 설계자가 표준 부품을 선택하는 과정을 지원한다.

### 4. 결론

본 연구에서는 이송계 서보 모터 선정 전문가 시스템 모듈을 개발하여 설계자의 설계 결정을 지원하는 기능을 구현하였다. 이러한 시스템의 적용을 통하여 이송계 서보 모터 선정 시 다음과 같은 이점을 얻을 수 있다.

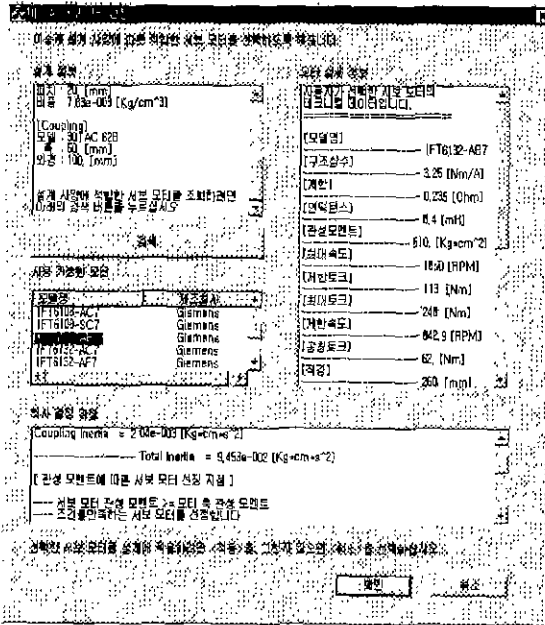


Fig. 2 A screen of a servo-motor expert system

1. 설계 프로세스에 따라 전 단계의 설계 사양으로 부터 서보 모터가 갖추어야 할 데이터를 계산한다. 이 때 입력 데이터와 출력 데이터, 그리고 각각의 설계 변수와 관련된 설계 지식을 체계적으로 제공 함으로써 설계자가 설계 과정 및 설계 변수들 사이의 연관성을 이해하기 쉽도록 해준다.
2. 표준 부품 카탈로그 데이터베이스로부터 설계 사양에 적합한 서보 모터를 조회하여 출력하고, 각각에 대하여 상세한 카탈로그 정보를 제공함으로써 설계자가 서보 모터의 타입을 결정하는 것을 지원한다.
3. 설계 결과와 사용된 설계 지식은 설계 이력 관리자를 통해 관리됨으로써 다른 설계 작업 시 참고가 되도록 하며, 표준품 관리자와의 연동을 통하여 설계 부품 정보의 지속적인 갱신 또한 가능하다.  
위에서 살펴본 바와 같이 설계 전문가 시스템을 통한 설계 작업으로 구성 요소의 가결정과 해석을 통한 설계 반복을 경감시키고, 설계 결과에 대한 신뢰성과 작업 효율을 높일 수 있다

### 참고문헌

1. 박면용, "러시아 공작 기계 설계 해석용 소프트웨어 기술 이전 사업 최종 보고서," 한국과학기술연구원, 1995.
2. 차주현, 김종호, 박면용, 박지형, "공작 기계 기본 설계를 위한 지능형 설계 시스템 개발," 대한 기계학회 논문집 A 권, 제 22 권, 제 9 호,

- 1998.
3. 박지형, 강민형, 박면용, 한동철, "공작 기계용 구성 모듈별 설계 지식 기반 시스템" 기계기술, Vol.26, No.8, 1998.
4. Joseph P. Bigus, Jennifer Bigus, "Cosntructing intelligent agents with java," John Wiley & Sons, Inc., 1998.