

# 공작기계 구조형태계 설계전문가 시스템을 위한 추론 메커니즘

박지형\*, 강민형\*, 차주현\*, 박면웅\*

## Inference Mechanisms for Configuration Design Expert System of Machine Tools

Ji-Hyung Park\*, Min-Hyoung Kang\*, Joo-Heon Cha\*, Myon-Woong Park\*

### ABSTRACT

As a part of the configuration design expert system of machine tools, inference mechanisms are constructed in this paper. In addition to procedural inference, the method of multivariable inference is considered as an efficient approach to deal with the cases of highly coupled condition. We propose a generalized multivariable inference procedure. The procedure is applied to the type selection module of the configuration design expert system of machine tools in order to demonstrate the efficiency and validity.

**Key Words** : design expert system(설계 전문가 시스템), inference mechanism(추론 메커니즘), multivariable reasoning(다중 변수 추론)

### 1. 서론

공작기계의 설계는 전문적인 설계 지식과 오랜 기간의 경험을 요하는 고도의 지적인 작업으로서 설계 과정에서는 특히 역학적 해석이 필요함과 함께 표준 부품의 이용이 빈번하며 현재까지 축적되어 온 지식의 활용이 필수적이다. 따라서, 설계전문가 시스템의 적용에 의해 정형화된 반복 작업의 부담을 경감시킴으로써 설계 작업의 효율화와 신제품 개발 기간의 단축 효과를 얻을 수 있다.<sup>(1)-(6)</sup> 공작기계 설계전문가 시스템은 예를 들어 머시닝 센터의 설계 전과정, 즉 사용자 요구 사항으로부터 기종을 선택하고 전체적인 기하학적 구조를 결정하며 주축계, 구동

계, 이송계 등의 기능적 단위들의 사양을 산출함으로써 세부 설계를 수행하고 각 단계의 설계 결과를 해석하여 설계 사항을 수정하는 과정들을 수행할 수 있어야 한다. 이를 위한 기초 연구로서 공작기계 설계를 위한 설계 경험 지식으로부터 지식 베이스를 구성하기 위하여 공작기계 설계의 제반 활동에 관련된 추론 메커니즘을 고찰한다.

설계 전문가 시스템의 구축을 위해서는 설계 경험 및 노하우의 지식 베이스화가 필수적이다. 그러나, 공작기계의 설계에 필요한 설계 지식들은 그 구성과 지식들 사이의 상관 관계가 매우 복잡하므로 단순한 규칙 베이스의 형태만으로는 효과적으로 표현하기 어렵다. 그러므로, 이

\* 한국과학기술연구원, CAD/CAM 연구센터

러한 설계 지식들을 충분히 표현하기 위해서는 추론의 절차가 순차적 추론과 다중 변수 추론으로 구별되어야 한다.

순차적 추론은 IF ~ THEN 형식으로 표현되는 규칙에 의해 이루어지며, 의사 결정 나무(decision tree) 또는 의사 결정 도표(decision table)에 의해 모델링할 수 있으므로 전통적인 지식 베이스 구성에 의해 용이하게 구현할 수 있다.

가중 행렬 추론(WMR : weighted matrix reasoning)의 일종인 다중 변수 추론은 긴밀하게 연관된 여러 가지 변수를 동시에 고려하는 추론으로서 순차적 추론으로 환원될 수 없는 경우에 해당한다. 이 경우의 추론은 연관된 여러 가지 변수로 구성된 해공간에서 사용자 요구 사항을 가장 잘 충족하는 해를 찾아내는 것을 목표로 하며 사용자 요구 사항의 충족 여부를 평가하는 방법이 다중 변수 추론 메커니즘의 특성을 결정짓는다.

따라서, 본 논문에서는 공작기계 설계 전문가 시스템을 위한 다중 변수 추론의 일반화된 메커니즘을 제안하고, 이를 순차적 추론과 조합하여 공작기계의 구조형태 설계에 적용하여 그 유용성을 검증하고자 한다.

## 2. 다중 변수 추론 메커니즘의 일반화

변수의 개수가 m개인 경우 각각의 변수를  $v_1, v_2, \dots, v_m$ 으로 둔다. 이 경우 사용자 요구 사항은 다음과 같은 벡터로 표현할 수 있다.

$$\{r\} = (r_1, r_2, \dots, r_m) \quad (1)$$

이 때,  $r_i$ 는  $v_i$ 에 대한 요구 사항이며  $\{r\}$ 의 값은 사용자가 입력하거나 이전 단계의 추론으로부터 얻는다.

추론의 결과 얻는 해는  $v_1, v_2, \dots, v_m$ 이 생성하는 m차원 해공간 (v)의 모든 점이 아니라 유한 개의 점 중 하나를 택함으로써 구한다. 이러한 가능한 해집합을 S라 둔다. 이 때, 가능한 해의 수를 n이라 두면 S는 다음과 같이 표시된다.

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\} \quad (2)$$

변수  $v_i$ 들의 비중은 균일하지 않은 경우가 일반적이므로 다음과 같은 가중치 벡터  $\{w\}$ 를 정의하고  $\{r\}$ 과 마찬가지로 사용자가 입력하거나 이전 단계의 추론으로부터 산출되도록 한다. 이 때,  $w_i$ 는  $v_i$ 에 대한 가중치를 나타낸다.

$$\{w\} = (w_1, w_2, \dots, w_m) \quad (3)$$

요구 사항  $\{r\}$ 에 대한 가능한 해집합 S의 각 원소들의 적합도는 다음과 같은 행렬로 표현된다. 단,  $M_{ij}$ 는 요구 사항  $r_i$ 에 대한 해  $s_j$ 의 적합도를 나타내며 문제에 따라 달리 정의될 수 있다.

$$[M] = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \dots & M_{1n} \\ M_{21} & M_{22} & \dots & M_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{m1} & M_{m2} & \dots & M_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

해의 평가는 각각의 요구 사항에 대한 적합도를 가중치를 고려하여 종합적으로 판단해야 하므로 평가치 벡터  $\{e\}$ 를 다음과 같이 정의한다. 이 때,  $e_j$ 는  $s_j$ 의 평가치를 나타내며 이 값이 클수록 좋은 해를 의미한다.

$$\{e\} = (e_1, e_2, \dots, e_n) \quad (5)$$

$$e_j = (\sum w_i M_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

(6) 으로부터  $\{e\}$ 를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\{e\} = \{w\}[M] \quad (7)$$

그러므로, (7)로부터 계산된  $\{e\}$ 에서  $e_j$ 가 최대라면  $s_j$ 가 최적의 해가 된다.

## 3. 적용 사례

머시닝 센터의 구조형태 설계는 Fig. 1에서 보인 바와 같이 기종 선정, 타입 선정, 형상 정의, 해석 및 평가의 4단계로 이루어진다. 이러한 설계 과정은 국내 공작기

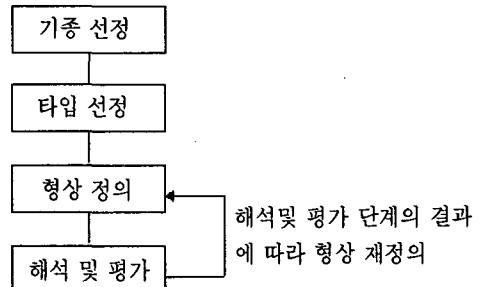


Fig. 1 Procedure of configuration system design

계 제조 업체의 설계 담당자들과의 인터뷰를 통해 정리하였다. 기종 선정 단계는 설계할 머시닝 센터의 기종을 수평형 또는 수직형 중에서 선택하며 타입 선정 단계는 좀더 세분된 타입을 선택한다. 수직형과 수평형의 대표적인 타입을 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 표시하였다.

형상 정의 단계에서는 베드, 컬럼, 새들, 테이블 등의 주요 부품의 치수를 결정하며 해석 및 평가 단계에서는 이상의 과정에 의해 생성된 공작 기계의 구조형태에 대

하여 진동 및 변형 해석을 실시하여 형상의 재정의의 위한 자료를 산출한다. 본 연구에서는 기종 선정 및 타입 선정 단계의 구현을 위한 추론 시스템을 개발하였다.

기종 선정 단계는 단순히 다음과 같은 규칙에 따라 수행되므로 순차적 추론에 의해 구현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{IF '가공물 형상' = '소형 다면 가공물'} \\ \text{THEN '기종' = '수평형'} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{IF '가공물 형상' = '박스형 단순 가공물'} \\ \text{THEN '기종' = '수직형'} \end{aligned} \quad (9)$$

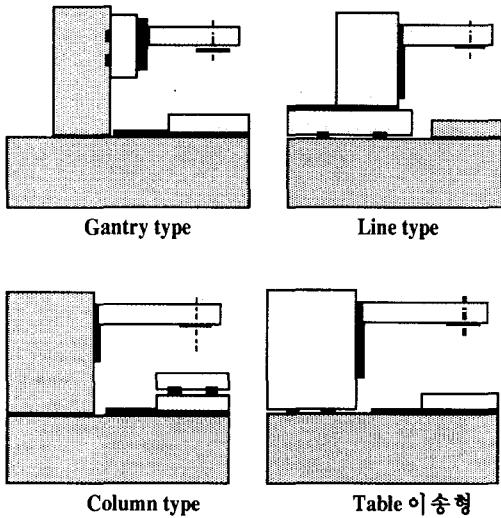


Fig. 2 Four types of vertical machining centers

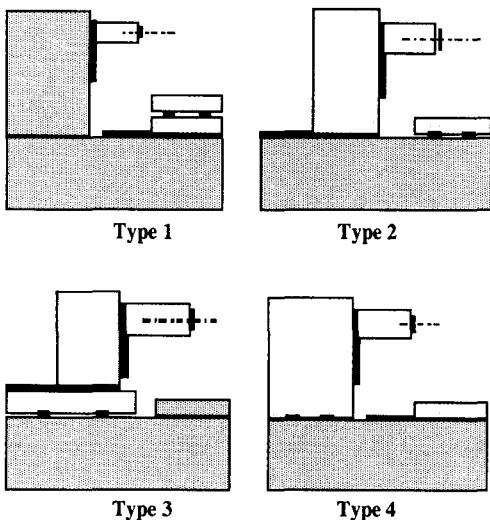


Fig. 3 Four types of horizontal machining centers

Table 1 Evaluation rules for type selection;vertical machining centers

	Gantry	Column	Line	Table이송형
강성	5	3	1	3
가격	1	3	5	3
자동화 적합도	4	3	5	4
가공 공간	1	3	5	3
절삭 능력	4	5	1	5
Load Capacity	4	3	5	4
칩 처리능력	3	3	5	3
확장성	3	3	5	3
점유 면적	3	3	5	3

Table 2 Evaluation rules for type selection;horizontal machining centers

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
강성	3	5	3	1
가격	3	4	3	5
자동화 적합도	1	1	4	5
가공 공간	1	1	4	5
절삭 능력	5	5	2	1
Load Capacity	1	3	3	5
칩 처리능력	5	5	3	3
확장성	3	3	3	3
점유 면적	3	3	3	3

Table 1과 Table 2는 각각 수직형과 수평형 머시닝 센터의 타입 선정을 위한 평가 기준 및 각각의 타입들이 이 평가 기준들을 충족시키는 정도를 나타낸다. 충족도는 1에서 5까지의 정수로 부여되었으며, 값이 클수록 평가 기준을 더 잘 충족시키는 것을 나타낸다. 이러한 평가 기준들은 서로 깊이 연관되어 있으므로 동시에 판단해야 하며 순차적 추론 과정으로 환원시킬 수 없다. 따라서 이 문제는 다중 변수 추론 기법에 적합한 경우이다.

타입 선정 단계에 다중 변수 추론 기법을 적용시키는 절차는 다음과 같다. 우선 변수들을 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned}
 v_1 &= \text{강성} \\
 v_2 &= \text{가격} \\
 &\dots \\
 v_9 &= \text{점유 면적}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

가능한 해공간은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S &= \{\text{gantry, column, line, table 이송형,} \\
 &\quad \text{type 1, type 2, type 3, type 4}\}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

사용자 요구 사양 {r}과 가중치 {w}는 사용자에게 의해 입력된다. Table 1과 Table 2에 표시된 평가 기준별 충족도는 행렬 [P]로 표시한다. [P]의 원소  $p_{ij}$ 는  $v_i$ 에 대한  $s_j$ 의 충족도를 의미한다. 이 충족도는 사용자 요구 사양보다 작지 않은 것이 이상적이므로 적합도 행렬 [M]을 다음과 같이 계산한다.

$$M_{ij} = -[\max(r_i - p_{ij}, 0)]^k \tag{12}$$

여기에서 k를 크게 하면 충족되지 않은 평가 기준을 엄격하게 배제하게 된다. 본 연구에서는 k = 2로 두었다.

기종과 타입 선정이 완료되면 형상 정의 단계에서 주요 부품의 치수를 결정한다. 형상 정의 단계는 순차적 추론에 의해 수행된다. 사용자는 설계하고자 하는 공작기계의 요구 사양에 따라 테이블 급수(table grade)와 테이블 길이 비(table ratio), 공작기계 전체의 점유 공간의 크기를 결정한다. 이 값들로부터 공작기계 각부의 기본적인

치수를 계산하는 규칙의 일부를 Table 3과 Table 4에 보인다.

Table 3은 기종과 타입, 테이블 급수와 테이블 길이 비로부터 치수가 결정되는 규칙을 나타내며, Table 4는 이와 같이 결정된 치수들을 이용하여 계산되는 보다 상세한 치수들을 결정하는 규칙을 나타낸다.

Table 4 Rules for dimension calculation

$  \begin{aligned}  \text{Spindle\_height} &= \text{mc\_space.height} - \text{marginz} \\  &\quad - \text{Z\_stroke} - \text{alpha.value} - \text{Working\_height} \\  \\  \text{Spindle\_height} &\geq \text{Spindle\_height\_min} \\  \\  \text{Spindle\_length} &= \text{Spindle\_length\_min}/2 \\  &\quad + \text{Y\_stroke} + \text{marginly}/2 + \text{margin} + \text{marginly} \\  \\  \text{Spindle\_length\_min} &> \text{marginly} \\  \\  \text{Saddle\_length} &= \text{mc\_space.length} \\  &\quad - \text{Spindle\_length} + \text{marginly} \\  &\quad \vdots \\  &\quad \vdots  \end{aligned}  $
---

Table 3. Rules for dimension selection

<pre> IF '기종' = '수직형' AND type = gantry AND table_grade = 400 AND table_ratio = 1 THEN data_set = a0001  IF '기종' = '수직형' AND type = gantry AND table_grade = 400 AND table_ratio = 2 THEN data_set = a0002 : : IF data_set = a0001 THEN table_height = 40 : :                 </pre>
--

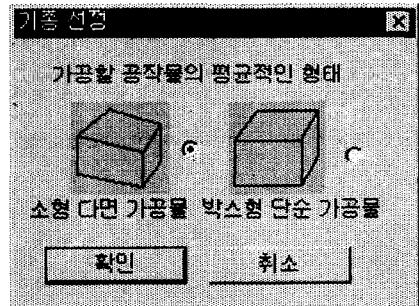


Fig. 4 Machine selection : horizontal or vertical

추론 시스템의 실행 화면을 Fig. 4 ~ Fig. 6에 보인다. Fig. 4에서는 기종 선정 단계로서 가공할 공작물의 평균적인 형태에 따라 (8), (9) 식에 의해 수직형 또는 수평형 여부를 결정한다. 타입 선정 과정은 Fig. 5에 보인 것처럼 사용자가 {r}과 {w}를 직접 입력하면 사용자의 요구 사양에 가장 적합한 타입 두 가지를 추천해준다. 이때, 사용자는 '선정 이유' 버튼을 선택하여 Fig. 6에 보인 규칙 확인 기능을 수행할 수 있다. 또한, 필요에 따라 수동으로 타입을 설정할 수도 있다. 치수의 결정 과정은 사용자 인터페이스 없이 필요한 시점에서 추론이 수행된다.

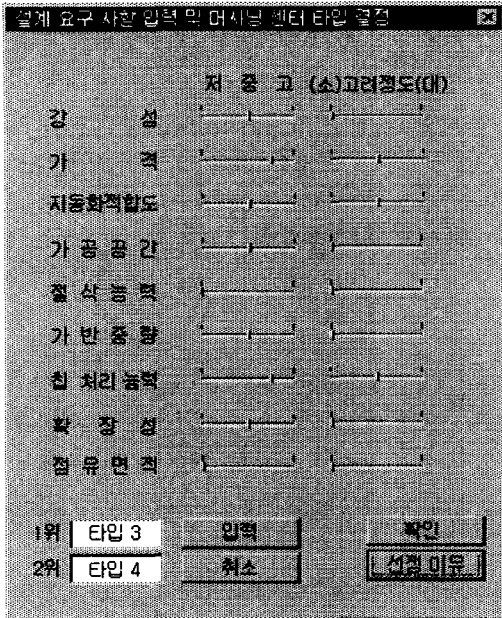


Fig. 5 Machine type selection

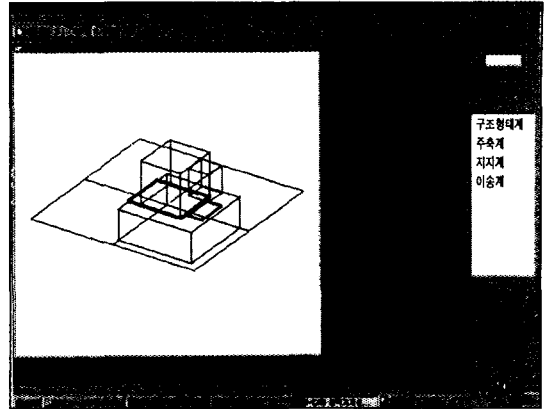


Fig. 7 Solid model of the selected machine type

중 변수 추론으로만 구성되었으나, Table 4에 열거된 규칙들은 향후 제약 네트워크<sup>(6)</sup>를 이용하여 개선할 예정이다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 공작기계 설계 전문가 시스템의 구조형태 설계 과정의 일부로서 다중 변수 추론의 과정을 일반화하여 제안하였다. 또한, 일반화된 다중 변수 추론과 순차적 추론을 조합하여 이를 공작기계 기종 및 타입 선정 과정에 적용함으로써 긴밀하게 연관된 조건들에 의한 추론 과정에 다중 변수 추론 기법이 효과적임을 보였다.

향후 연구 과제로는 다중 변수 추론의 결과의 적합성을 검증할 방법을 개발하고, 순차적 추론과 다중 변수 추론에 제약 네트워크를 추가하여 공작기계 설계전문가 시스템의 구조형태 설계 과정을 완성할 예정이다.

#### 참 고 문 헌

1. 차주현, 김종호, 박면용, 박지형, "지능형 공작기계 설계 지원 시스템 개발", '97 한국정밀공학회 추계 학술대회, pp. 1022-1027, 1997.
2. 박지형, 강민형, 차주현, 박면용. "공작기계 구조형태 설계 전문가 시스템을 위한 추론 메커니즘", '97 한국정밀공학회 추계 학술대회, pp. 720-723, 1997.
3. 차주현, 박면용, 박지형, 김종호, "공작기계 기본 설계를 위한 지능형 설계 시스템 개발 (I) - 지능형

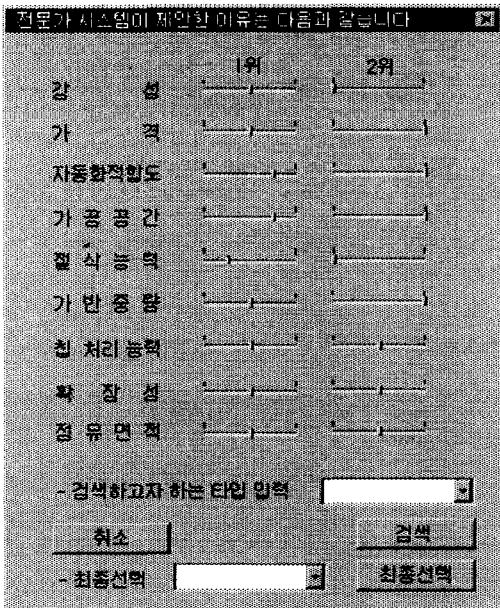


Fig. 6 Rule trace for type selection

Fig. 5에서 선정된 type 3 머시닝 센터의 형상이 본 연구와 연계되어 개발된 솔리드 모델러에 의해 구현된 결과를 Fig. 7에 보인다. 형상 정의 단계는 순차적 추론과 다

- 설계 시스템의 제안”, 대한기계학회논문집(A), 제 21권 제 12호, pp. 1304-1314, 1997. 12.
4. 박지형, 김태수, 이상준, “Torque Converter 설계 자동화 시스템 개발”, 제 5회 첨단 생산 시스템 선도 기술 개발 (G7) 사업 workshop 논문집, pp. 171-182, 1997. 9.
  5. 新野秀憲, 伊東誼, “工作機械の構造創成方法 (第3報, 結合パターンを用いたバリエントデザイン方式による創成)”, 日本機械學會論文集(C編), Vol. 52, No. 474, pp.786-794, 1986.
  6. 차주현, 이인호, 김재정, “Simulated Annealing을 이용한 제약 네트워크에서의 제약 충족 방식에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 제14권, 제9호, pp.116-121, 1997. 9.