

연삭가공용 데이터베이스 설계와 활용  
(기존지식베이스에 관하여)

金 建 會\*, 稻崎一郎\*\*, 李 載 庚\*

Architecture of Knowledge-Base and Management System for Grining Operations

G. H. Kim\*, I. Inasaki\*\*, J. K. Lee\*

ABSTRACT

Grinding is considered as a very effective machining technology to attain high production rates and a good surface quality of hard and brittle components. However, the grinding operations still needs the skill and the experience of an operator because of a lack of scientific knowledge and engineering principles. This is the reason why grinding operations are not completely integrated in CIMS(Computer Integrated Manufacturing System). Recent development focus on expert system which deals with domain specific knowledge in order to solve this problem. Firstly, in this study, a basic strategy to develop the grinding knowledge-base for grinding is discussed. Next, the architecture of knowledge-base and management of the grinding knowlege-base (GKB) is described.

**Key Words :** Grinding Operations(연삭가공), Expert System(전문가 시스템), Grinding Knowledge-base(기존지식 베이스), Fuzzy Production System(퍼지 프로덕션 시스템), Analytic Hierarchy Process(계층분석)

1. 서 론

연삭가공은 고품질·고정도를 필요로하는 경우 대단히 유효한 가공법이다. 그러나, 가공 요구사항을 만족시키는 연삭조건 설정, 가공중에 발생하는 트러블 등의 대책은 대단히 까다로운 문제이다. 왜냐하면, 연삭공정은 많은 파라메타에 의해 구성되어 있으며, 아직 그 파라메타의 상호관계에 대한 定量的인 규명이 불충분하고 동일한 조건에서 가공을 하여도 가공결과에 대한 再

現性を 얻기 어렵기 때문이다. 즉, 연삭작업은 科學的知識이나 工學的 原理보다도 현장 숙련자의 경험이나 기능등의 Knowhow에 대부분이 의존하고 있다. 이러한 이유가 연삭작업을 컴퓨터에 완전히 統合化된 생산 시스템(CIMS)으로 이루어지지 못하고 있다. 이러한 문제를 해결하는 한가지 방법으로 문제영역을 한정해서, 전문가가 갖고 있는 경험이나 기능등의 定性的 지식을 이용하여, 전문 기술자의 작업과 시스템의 구축을 가능 화할 수 있는 것이 전문가 시스템이다(1, 2).

\* 한국기계연구원 자동화연구부

\*\* 日本慶應大學理工學部

본 연구에서는 연삭가공용 전문가 시스템 개발의 일 부분으로써 전문가가 갖고 있는 경험이나 기능등의 정성적 지식을 활용하기 위한 기존지식베이스(Grinding Knowledge-base)를 설계하여, 최적 연삭조건을 설정을 지원하는 연삭가공용 전문가 시스템의 구축방법과 활용에 관하여 설명한다.

## 2. 시스템 개발을 위한 기본구상

연삭가공은 절삭가공에 비하면 해석 알고리즘이나 정량적 평가가 뒤떨어져 있다. 연삭가공용 전문가 시스템을 구축하기 위해 축적되는 지식은 경험이나 기능등의 정성적 지식을 유용하게 활용할 수 있는 데이터 베이스의 설계와 효율적인 지식표현을 고려해야 한다. 따라서, 본 시스템에서는 연삭특성을 고려하여 지식을 특정의 개념에 의해 분류하고, 그의 개념을 일정한 모듈로 구성하였다. 즉, 지식을 階層的으로 표현하는 후레이프 시스템(Frame System)과 지식을 IF~THEN물로 표현하는 프로덕션 시스템(Production System), 그리고 이 양자를 고려한 혼합시스템(Hybrid System)을 채용하였다. 후레이프 시스템은 宣言的 지식의 표현에 유용하며, 프로덕션 시스템은 節次型 지식의 표현에 유용하다.

推論方式은 각각 채용한 지식표현 모델에 적합하도록 설계하였다. 즉, 후레이프 시스템은 절차형 지식에 Method를 두어 각 모듈에 따라 데이터 베이스를 설계하고, 추론형식(Object-Oriented Paradigm Inference Engine)을 채택하였다.

Fig. 1과 같이 후레이프가 서로 후레이프간에 메시지를 교환하면서 목표를 실행하기 때문에 복잡한 추론도 쉽게 가능해진다. 또한, 추론할 때의 중요한 지식의 참조작업은 遺傳作用(Inheritance Relation)과 같은 해당후레이프

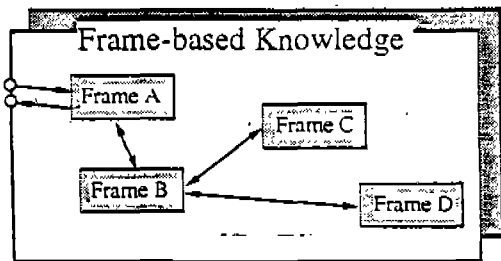


Fig.1 Knowledge Management based on the Frame Base

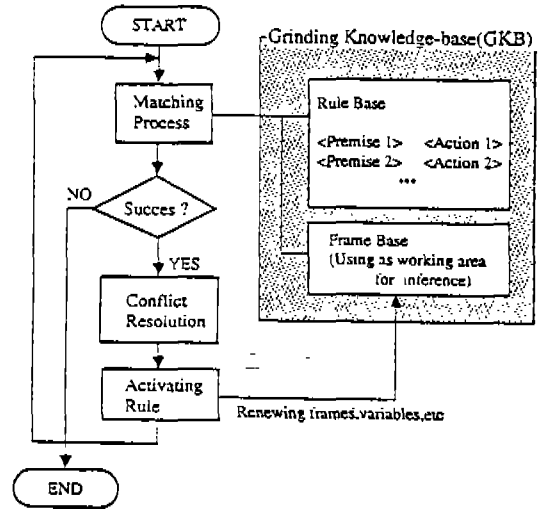


Fig.2 Production System based to Rule-based Knowledge

임 사이에 관련된 또 다른 후레이프 지식을 참조할 수 있기 때문에 디폴트이론(Default Theory)<sup>(3)</sup>을 도입하여, 인간사고와 같은 지식처리를 가능하게 할 수 있도록 설계하였다. 한편, 프로덕션 시스템은 Fig. 2와 같이 條件照合, 競合解決, 룰셋트(Rule-set)의 실행 사이의 반복에 의하여 추론이 이루어진다.

또한, 본 시스템은 주어진 사실에서 새로운 사실을 검색하는 Forward Chaining과 결론을 가정하여, 그 가정이 성립하기 위한 조건을 검색하는 Backward Chaining, 그리고 위의 兩者를 혼합한 Hybrid Chaining으로 설계하여 시스템의 효율화를 도모하였다. 그리고, 연삭가공의 정성적이고 애매한 지식을 효율적으로 처리하기 위해 퍼지이론(Fuzzy Theory)<sup>(4)</sup>을 사용하여 인간사고에 접근할 수 있도록 퍼지 프로덕션 룰(Fuzzy Production Rule)로 구축하고, 숫돌설정은 階層分析(Analytic Hierarchy Process)<sup>(5)</sup>을 도입하여 활용되는 데이터에 현장의 주관적 척도를 주어 시스템의 유연성을 도모하였다. 또한, 지식획득은 숙련작업자의 인터뷰나アンケート조사, 연구논문, 서적등에서 획득하였다.

### 2.1 퍼지 프로덕션시스템

퍼지 프로덕션시스템은 지식의 처리를 0~1의 함수(Membership Function)에 의해 표현하므로써, 이용자가 유연성 있는 조건설정이 가능해진다. 본 시스템에

도입한 퍼지추론은 다음과 같은 절차로 연산조건의 설정을 한다.

집합 X와 Y가 퍼지관계 R이라면,  $X \times Y = \{(x, y) | x \in X, y \in Y\}$ 에 따른 퍼지집합으로 정의할 때,

$$\mu_R : X \times Y \rightarrow [0, 1] \quad (1)$$

로 되는 멤버십 함수  $\mu_R$ 로 특성지어진다. 가공조건의 설정은 퍼지행렬의 연산에 의한 합성에 의해 이루어지며,  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ,  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 로 구성된 有限集을 고려할 때에  $X \times Y$ 에 따른 퍼지관계 R은 아래와 같은  $m \times n$  행렬로 표현된다.

$$R = \begin{pmatrix} \mu_R(x_1, y_1) & \dots & \mu_R(x_1, y_n) \\ \mu_R(x_2, y_1) & \dots & \mu_R(x_2, y_n) \\ \vdots & & \vdots \\ \mu_R(x_m, y_1) & \dots & \mu_R(x_m, y_n) \end{pmatrix} \quad (2)$$

식(2)에서,  $\mu_R$  區間(0, 1)내의 값이므로 퍼지행렬의 성분도 (0, 1)내의 값을 취한다. 또한, R과 S의 합성  $R \cdot S$ 는

$$R \cdot S \leftrightarrow \mu_{R \cdot S}(x, z) = \bigvee \{ \mu_R(x, y) \wedge \mu_S(y, z) \} \quad (3)$$

이 되며, 이를 Max-Min 합성이라 한다. 여기서,  $\bigvee = \text{MAX}$ ,  $\bigwedge = \text{MIN}$ 으로써 멤버십 값의 최대값과 최소값을 의미한다.

따라서, 본 시스템의 퍼지 추론과정은

$$\begin{aligned} \text{前題 1 IF } x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B \\ \text{前題 2 IF } x \text{ is } A' \\ \rightarrow \\ \text{結論 } y \text{ is } B' \end{aligned} \quad (4)$$

와 같이 표현된다. 여기서, x, y는 對象各이고, A, A', B, B'은 전체집합 X, Y의 퍼지집합을 의미한다. 이를  $A \rightarrow B$ 의 퍼지관계를 R이라하면

$$\begin{aligned} A \rightarrow B & \dots\dots R \text{ (퍼지관계)} \\ A' & \\ \rightarrow B' & \end{aligned} \quad (5)$$

이 되며, 이는

$$B' = A' \cdot R = \bigvee \{ \mu_{R'}(X) \wedge (X, Y) \} \quad (6)$$

(A, A'  $\subset$  X, B, B'  $\subset$  Y)

으로 변환할 수 있으며, 식(6)이 퍼지 프로덕션 시스템의 추론형태가 된다.

Fig. 3은 공작물이 SUJ2, 표면조도가 5 $\mu\text{m}$ 일 경우, 숫돌의 절입량을 설정할 때의 퍼지 프로덕션 시스템의

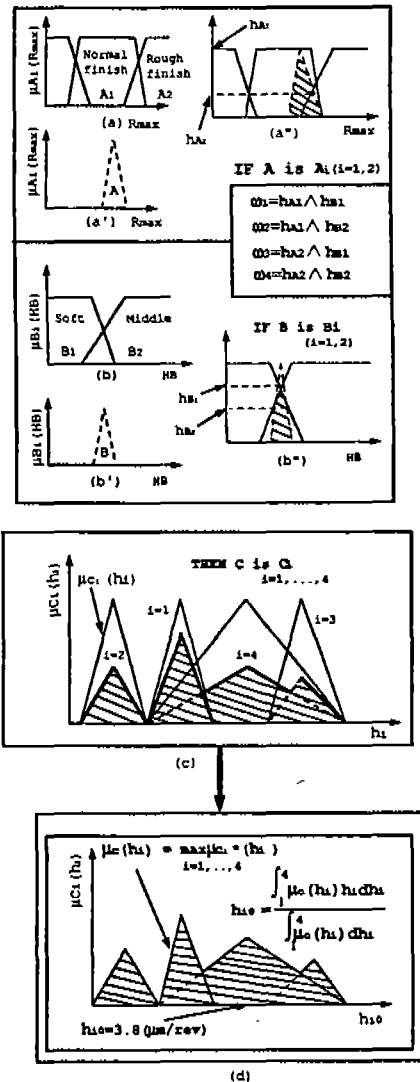


Fig.3 Reasoning Process for the Fuzzy Production System

추론과정을 도식화한 것이다. 그 추론과정은 Fig. 3의 왼쪽과 같이 前件部와 입력값의 조합에 의해 適合度(Fuzzy Grade)를 계산하여, 右上部와 같은 後件部 명제의 퍼지변수의 내용을 나타내는 멤버십 함수와의 적합도의 곱을 계산한다. 또한, 右上部에서와 같이 N개의 규칙 전체에 대해서도 동일한 방법으로 계산을 하여, 그것들에 대한 최대치를 취하는 멤버십 함수를 구하여, 최종 확정값으로 멤버십 함수의 重心을 구하는 CG법(Center of Gravity Method)에 의하여 최적 조건설정을 구하는 방식이다.

2.2 조건설정에 계층분석법의 도입

가공조건 설정에 階層分析(AHP) (5)을 이용하면 작업 상황에 적합한 전문가의 주관적 척도를 시스템에 고려할 수 있으므로 효율적인 조건설정이 가능해진다. 특히, 연삭조건중 슷돌의 설정에 본 시스템은 계층분석을 도입하였다. 그 이유는 슷돌에 대한 정량적인 데이터는 거의 이루어지지 않았고, 대부분이 定型의인 틀에 의하여 슷돌조건을 설정하고 있다. 따라서, 본 시스템은 계층분석에 의한 데이터 베이스를 설계하여 작업상황에 따른 유연성 있는 조건설정이 되도록 설계하였다.

AHP는 대상물이 되는 평가항목의 重要度を 一對比較로부터 얻은 데이터에서 각 항목의 중요도를 결정한다. 예로써, 5개의 평가항목의 중요도를  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ 라 하면 각 항목간의 비( $\omega_1/\omega_2, \omega_2/\omega_3, \omega_3/\omega_4, \omega_1/\omega_4$ )에 대하여 전문가 등의 앙케이트 조사로부터 얻은 데이터를 이용하여 다음과 같은 一對比較 행렬을 얻는다.

$$\begin{vmatrix} 1 & \omega_1/\omega_2 & \omega_2/\omega_3 & \omega_3/\omega_4 & \omega_1/\omega_4 \\ \omega_1/\omega_2 & 1 & \omega_3/\omega_4 & \omega_1/\omega_4 & \\ \omega_1/\omega_2 & \omega_2/\omega_3 & 1 & \omega_1/\omega_4 & \\ \omega_1/\omega_2 & \omega_2/\omega_3 & \omega_3/\omega_4 & 1 & \end{vmatrix} \quad (7)$$

단,  $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 = 1$ 이다. 식(7)로부터 각 평가항목의 중요도가 구해지면, 그 대상물의 평가함수는

$$E = \omega_1 t_1 + \omega_2 t_2 + \omega_3 t_3 + \omega_4 t_4 \quad (8)$$

와 같이 된다. 여기서,  $t_1, t_2, t_3, t_4$ 는 각각 대상물의 평가항목에 대한 평가치이다. 이와같은 방법으로 얻은 값을(1: 비교적 사용 않함 2: 사용 3: 흔히 사용) 등으로 분류하여 계산한다. Table 1은 슷돌성분인 砥粒, 粒度, 組織, 結合材, 結合度에 대하여 표면조도를 우선하는 경우, 어느 성분을 조정할 것인가에 관한 AHP 분석 결과이다.

Table 1에서와 같이 표면조도를 슷돌성분에서 개선하는 경우에는 粒度, 結合度, 組織의 순으로 수정하는 것이 바람직하다.

Table 1 Comparison of AHP Characteristic with respect to Wheel

	Grain	Grain Size	Grade	Structure	Bond	Weight
Grain	1	1/3	1/2	1/2	1	0.11
Grain Size	3	1	1	2	3	0.31
Grade	1/2	1/2	1	1	3	0.26
Structure	2	1/2	1	1	2	0.17
Bond	1	1/3	1/2	1/2	1	0.15

3. 기존지식베이스의 구조와 지식표현

본 시스템의 지식베이스의 구성은 Fig.4와 같이 전문가가 갖고 있는 경험이나 기능등의 정성적 지식을 활용하기 위한 기존지식 베이스(Grinding Knowledge-base : GKB), 연삭가공으로부터 얻은 결과를 재활용하기 위한 퍼지 회귀분석(Fuzzy Regression Model) (7)에 의해 얻어진 定數와 係數를 축적하여 이용자에게 작업상황에 따른 조건설정이 가능하도록 한 실가공 데이터 베이스(Actual Operation Database : AODB), 그리고 이 두 데이터 베이스로부터 설정된 조건에서 가공하더라도 트러블의 발생은 존재하기 때문에, 트러블의 診斷과 對策을 처리하는 트러블 지식베이스(Grinding Trouble Knowledge-base : GTKB)로 구성되어 있다 (8).

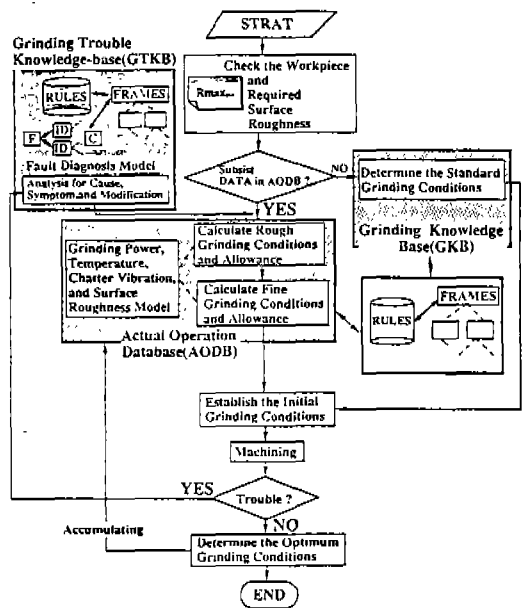


Fig.4 Flow Diagram for the Establishment of Grinding Conditions

3.1 기존지식베이스의 구조

기존지식 베이스는 후레이밍형 지식(Frame-based Knowledge)과 룰형 지식(Rule-based Knowledge)을 조합하여 설계하였다. 후레이밍형 지식은 연삭방식, 기계, 공작물의 종류, 스톨, 스톨의 형상, 연삭액, 드레서의 종류, 연삭조건, 드레싱 조건, 연삭결과 등 각각을 기능적으로 분류하기 위하여 모듈을 갖는 후레이밍인 階層的 構造로 설계하였다. 예로서, Fig.5는 스톨에 관한 지식의 축적예를 나타낸다. Fig.5에서와 같이 스톨-REF은 스톨에 관한 규격이나 파라미터(Parameter)에 관한 지식을 스톨 구성요소 별로 후레이밍의 형태로 축적하여, 각각의 후레이밍간에 抽象-具體라고 하는 물작용에 의하여 그룹관계를 갖는 데이터 베이스로 구성하였다.

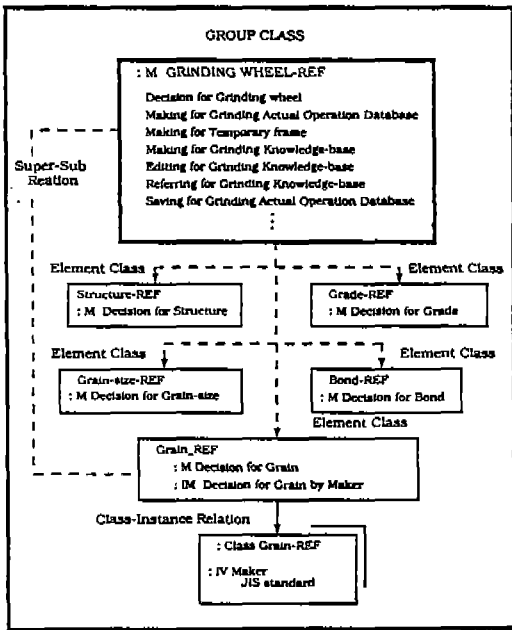


Fig.5 An Example of Knowledge-base for the Grinding Wheel Components

이와같이 가공조건 설정에 필요한 숙련자나 전문가의 경험적이고 정성적인 지식, 그리고 선언적 지식은 변수 값으로, 절차형 지식은 LISP 함수와 룰의 형식으로 후레이밍에 축적한다. 또한, 기존지식 베이스는 실가공 데이터 베이스에서 이용하기 위한 시스템 제어에 필요한 함수등도 이곳에서 관리되도록 설계하였다.

따라서, 기존지식 베이스는 후레이밍형 지식과 룰형 지식을 有機的으로 조합하여, 가공조건 설정 및 연삭결과

의 축적(실가공 데이터 베이스의 관리)에 필요한 지식을 효율성 있게 관리할 수 있다.

3.2 지식획득과 표현

숙련 작업자의 인터뷰나 앙케이트 조사, 연구논문, 서적등에서 획득한 데이터를 전문가 시스템에 축적하여 이용하기 위해서는 각각의 데이터가 갖고 있는 성질과 종류에 따라 시스템이 요구하는 목적에 효율적으로 대응하도록 설계하여야 한다. 연삭가공은 대부분이 정성적이고 애매한 지식을 취급하기 때문에 가공조건 각각 특성에 부합하도록 설계하였다. 즉, 스톨설정은 계층분석법을 드레싱 조건 및 스톨의 질입량, 공작물의 주속도, 그리고 연삭 주속도의 설정은 퍼지 프로덕션 시스템에 의하여 설정하도록 설계하였다.

Table 2은 공작물 주속도를 설정하기 위한 룰베이스의 프로그램의 일부이다.

여기서, 숫자 안의 [0.125 0.0 0.04 0.08 0.17]은 퍼지 프로덕션 시스템에 이용되는 데이터로 퍼지 멤버십 함수를 사다리꼴 형으로 표현한 것이다. 괄호안의 숫자의 의미는 [Haba-B X-min Center Haba-A X-max]으로써, 그 의미는 Fig.6과 같다. 그리고 프로그램 중의 [delete-file, erase-function, rule-addstring, display-result]등은 본 시스템에서 정의한 LISP의 大 役 函 數 (Global Function)이다.

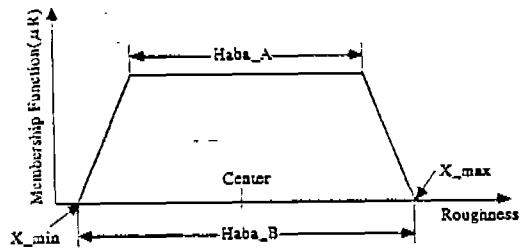


Fig.6 Fuzzy Membership Function adopted on this system

4. 시스템의 흐름과 실행에

본 시스템의 기존지식 베이스에서의 가공조건 설정은 Fig.4에서와 같이 공작물과 요구하는 表面粗度가 주어지면, 우선 실가공 데이터 베이스를 검색하여 IF-CLAUSE의 照 合이 이루어지지 않는 경우에 기존지식 베이스의 후레이밍 내의 Method의 기동에 의하여 send

Table 2 An Example of Fuzzy Production System based on Rules

```
(defrule (id_wospeed-1 rule2-3)
  (frame (working_frame ? (grinding_type cylindrical)
        (workpiece tool_steel)
        (frame (roughness ? (mirror ?alfa1)
              (ultra_precision ?alfa2) (precision ?alfa3) (medium ?alfa4)
              (rough ?alfa5) ) )
  --->
  (call (write_figure_data "/data_idwospeed"
        0.05 0.0 0.04 0.0 0.09 ?alfa1))
  (call (write_figure_data "/data_idwospeed"
        0.125 0.0 0.04 0.08 0.17 ?alfa2))
  (call (write_figure_data "/data_idwospeed"
        0.15 0.0 0.04 0.11 0.19 ?alfa3))
  (call (write_figure_data "/data_idwospeed"
        0.217 0.0 0.05 0.167 0.268 ?alfa4))
  (call (write_figure_data "/data_idwospeed"
        0.29 0.0 0.04 0.21 0.33 ?alfa5))
  (halt)

(defrule (id_wospeed-result)
(defrule (id_wospeed-result rule1)
  (not (frame (select_grinding_condition-R ?
        (workpiece_speed[m/s] ? ) ) )
  --->
  (bind ?id_wospeed (get_answer001 "/data/idwospeed"
        2.0 0.0) )
  (call (delete-file "/data/idwospeed" ) )
  (call (erase_function) )
  (bind ?msg (rule_addstring "optimum_workpiece_speed
        [m/s]_is" ?id_wospeed " ) )
  (call (display_result (list " " " " " " ?msg ) ) )
  (call (setq id_wospeed ?id_wospeed) )
  (halt)
```

함수(본 시스템에서 정의한 LISP의 절차형 大役函數)를 기동하므로써 조건설정이 이루어진다. 본 시스템의 send 함수는

(send 해당 후레임명 Method명 Message) (9)

로 정의된다.

Table 3은 본 시스템의 기존지식 베이스에서의 숫들의 절입량을 설정할 때의 LISP 프로그램이다.

Table 3에서와 같이 조건설정에 필요한 공작물의 종류와 요구되는 표면조도가 주어지면, 시스템은 가공방식을 이용자에 묻고, 그 회답에 따라 각각의 해당 후레임을 검색하여 前件部의 IF-CLAUSE을 照合하여 조건이 만족하면, 룰셋트가 기동하여 최적인 숫들의 절입량을 Table 2의 기존지식 베이스의 퍼지 데이터에 따라 식 (1~6)의 연산순서에 의하여 최적 연산조건을 설정한

Table 3 LISP Program When Establish the Wheel Depth of Cut

```
(defun determine the depth of cut[μm/rev] ()
  (kdialog_message "let determine the depth of cut.")
  (let ()
    (loop
      (cond ((get-instance 'grinding condition-REF)
        (kdialog_message "list the depth of cut from GKB"
          " select the number"
          (if it isn't subsisted, reservation, input NIL) ")
        (setq gr_wheelfeed (input_ans
          (list-menu-and-select (get-all-instanec-variable
            'grinding condition-REF 'depth of cut[μm/rev] ) )))
        (cond ((not (equal gr_wheelfeed 'NIL)) (return
          gr_wheelfeed ) ) ) )
      (kdialog_message
        "let determine the depth of cut[μm/rev]" )
      (run-ruleset "id_wospeed")
      (setq gr_wheelfeed (input_ans gr_wheelfeed) )
      (return gr_wheelfeed)
    ) )
```

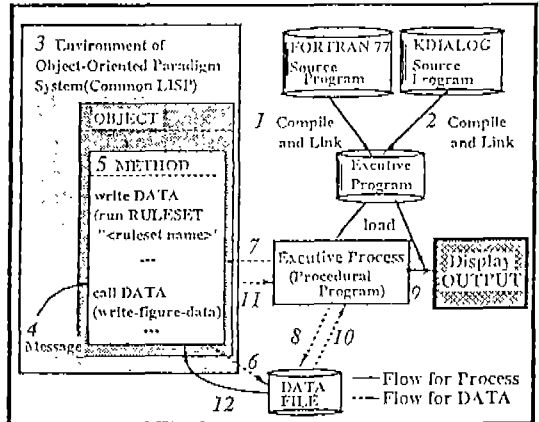


Fig. 7 Co-relationship for the Common LISP, Fortran 77, and Kdialog

다.

Fig. 7은 본 시스템의 연산조건 설정시의 시스템의 Control과 相互關係의 흐름을 간략하게 圖式化한 것이다. 그림에서와 같이 가공조건 설정은 Common LISP에 의한 시스템의 전체적인 제어와 연산을 위한 Fortran 77, 그리고 인터 페이스를 위한 Kdialog가 서로 유기적인 交信에 의하여 이루어진다. 또한, Fig. 8은 기존지식 베이스에서 조건설정시의 인터 페이스의 일부분을 나타낸다. 한편, 본 시스템의 인터 페이스는 Kdialog<sup>(9)</sup>라는 전문가 시스템용으로 개발한 툴(Tool)

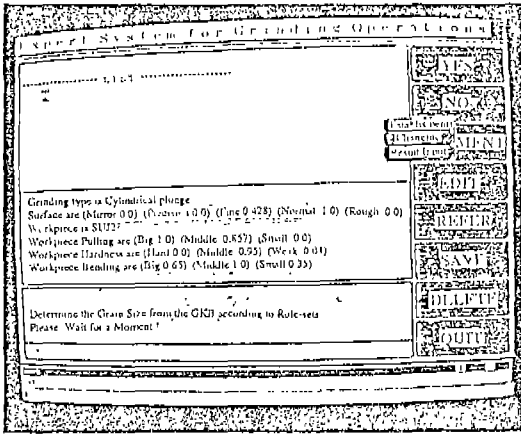


Fig. 8 Sreen for the Interface When Establish the Grinding Conditions

Table 4 Implementation Results Established from the Grinding Knowledge-base (GKB)

A. Common Conditions at the Setting-up			
Grinding type: Cylindrical plunge cut; Workpiece: SUJ2			
Lubricant : Soluble type			
B. Changed Conditions from the Setting-up			
	(1)	(2)	(3)
Heat treatment	Normalizing	Normalizing	Quenching and Annealing
Surface finish	Fine 1(± 0.1)	Normal 5(± 1)	Normal 5(± 1)
C. Obtained Results from Reasoning Process			
	(1)	(2)	(3)
Grain	A	A	A
Grain size	60	46	46
Grade	K	L	L
Bond	V	V	V
Structure	M12	M12	M12
Wheel velocity(m/s)	32	32	32
Workpiece velocity(m/s)	0.15	0.15	0.15
Depth of cut(μm/rev)	1.5	7	6.2
Dressing depth of cut(μm)	20	23	23
Dressing lead(mm/rev)	0.20	0.33	0.33

을 사용하였다.

본 시스템의 기존지식 베이스에서의 연삭가공 조건설정은 다음과 같은 순서에 의하여 이루어진다.

- (1) 前件部의 입력조건이 주어지면, 기존지식 베이스내의 후레임에서 어떤 설정용의 Procedural Function을 이용한 것인가를 결정한다.
- (2) Step 1의 Procedural Function이 결정되면, 그에 따른 Method가 기동하여 개개의 작업에 대응한 후레임 지식을 검색하여, 충분조건에 합당되면 그 값을 제시한다.
- (3) Step 2에서, 후레임 지식이 불충분할 경우에는 룰 지식의 룰셋트(Rule-sets)가 기동하여 퍼지 프로덕션 시스템에 의한 추론에 의하여 Temporary Frame을 創成하고, 그곳에서 퍼지연산을 하여 연삭조건을 결정한다. 여기서, Temporary Frame이란 퍼지추론의 연산을 하기 위해 시스템내에 일시적으로 創成·消滅되는 데이터 화일이다.
- (4) 만약에 Step 2와 3에서도 條件照合이 불충분하여, 조합에 실패하였다면 룰셋트에서 디폴트 값으로써 표준 가공조건을 제시한다.

Table 4는 공작물이 SUJ2, 요구하는 表面粗度가 5μm인 경우에 대하여 본 시스템의 기존지식 베이스로부터 얻은 精削條件이다. 이 결과와 같이 공작물의 열처리 상태와 요구하는 표면조도의 허용값의 범위내에서 加工能率이 극대화 하는 조건설정을 하도록 설계하였다.

## 5. 결 론

본 시스템은 연삭가공용 전문가 시스템의 일부분인 기존지식 베이스를 구축하여 그의 활용을 시도하였다. 기존지식 베이스에서의 연삭조건 설정을 설정용인 節次型函數를 이용함으로써 비교적 간단히 시스템의 확장을 가능하게 하였고, 디폴트이론, 퍼지이론을 도입하여 定性的이고도 애매한 지식뿐만 아니라 定量的 데이터를 고려한 추론을 가능하게 하여, 가능한한 숙련자의 조건 설정과 같은 시스템 구축을 도모하였다. 그리고 지식의 획득에 있어서도 애매하고 定性的 데이터의 활용을 현장에 적합하도록 유연성을 부여하기 위해 숫돌 설정에 있어서는 AHP에 의한 지식의 획득방법을 이용하였다.

## 참고문헌

1. M. Birch and K. Whiteley, "An Objective-Oriented Expert System Based on Pattern Recognition", IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, Vol. 20, No. 1, 1990, p. 33
2. G. H. Kim, S. Aida and I. Inasaki, "Development of Expert System for Grinding Operations", The Int. Conf. on MSET, Tokyo, Japan, 1990, p. 317
3. R. Reiter, "A Logic for Default Reasoning", Artificial Intelligence, Vol. 13, 1980, p. 81

4. L. A. Zadeh, "The Role of Fuzzy Sets and System, North Holland, 1983, p.199
5. M. Wind and T. Saaty, "Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process", Management Science, Vol. 26, No. 7, 1980, p.641
6. P. H. Winston, 人工知能, オーム社, 1981
7. 田中 英夫, 林勳, 長坂一徳, "可能性測度による  
区間回帰分析", 行動計量学, 16巻 1号, 1988,  
p.1
8. 金建會, 稲崎一郎, "ファジ回帰モデルによる最適  
研削条件の設定", 日本機械學會C編, 1993
9. KBMS, エキスパート構築支援ツール, 1988