

定性的知識을 活用한 숫돌선택법

金建會* 李載庚* 宋地復** 河萬景***

Establishment of Grinding Wheel Based on the Qualitative Knowledge

G.H. Kim*, J.K. Lee*, J.B. Song** and M.K. Ha***

ABSTRACT

Recently, development of expert system utilizing the domain specific knowledge focuses upon the machining operations. This paper describes an expert system for selecting the optimum grinding wheel based on the Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Logic.

Knowledge-base, in this system, for selecting of grinding wheel is designed to applying the knowhow and experience knowledge of skilled hands.

In this paper, firstly determination method of fuzzy membership function utilizing the qualitative knowledge, and then selection of the optimum wheel from among the available components according to Saaty's priority rule are described. Lastly, some implementation results are suggested.

Key Words; Grinding Wheel, Qualitative Knowledge, Fuzzy Logic, Saaty's Priority Rule, Analytic Hierarchy Process

1. 序 言

숫돌選擇은 공작물제거량, 숫돌의 消耗量, 표면정도 및 공작물의 물리적·화학적 특성을 고려하여 결정한다. 그러나, 연삭가공은 관계하는 구성인자의 상호관계가 복잡하여 이 중에서 어느한 요소만을 고려하여 설정하기 어렵고 정량적 기준 또한 정해져있지 않아 현실적으로는 熟練者의 정성적이고 경험적 지식에 따른 主觀的尺度에 의존하는 것이 대부분이다. 숫돌은 작업조건중에서 대량생산을 제외하고는 되도록이면 현장에 구비되어 있는 作業可能한 숫돌을 선택하는 것이 바람직하다. 이는 요구하는 가공목적에 대해서 충분한 조건을 제시하는 것이 어렵기 때문에 일반적으로는 공작물 제거를 목적으로하는 경우와 마무리가공의 두부분을 고려하여 설정할 필요가 있다.

본시스템에서는 이와같은 점을 고려한 最適砥石設定을 퍼지이론¹⁾에 기초한 현장 숙련자의 지식을 활용하여 숫돌選擇의 효율성을 도모하는 동시에 현장에 숫돌이 缺落된 경우를 고려하여 숫돌選擇의 優先順位를 제시 하므로써 작업자에 제2, 제3의 작업가능한 숫돌選擇이 가

능하도록 하였다. 또한 데이터 베이스에 사용되는 知識表現은 χ^2 分布에 따른 추정신뢰구간으로 구해, 이를 토대로한 非對稱三角퍼지함수로 설계하였다. 즉, 본 논문에서는 실용성있는 専門家시스템이 되도록 정성적이면서 경험적인 지식을 활용한 숫돌設定과 設定時의 데이터 베이스에 이용되는 퍼지함수의 決定方法, 그리고 이의 活用方法에 대하여 설명한다.

2. 定性的知識을 이용한 퍼지函數의 決定

공작물과 요구하는 표면조도가 주어지면 그 조건에 따른 最適 숫돌선택이 이루어진다. 그러나, 제시된 조건이 현장에 없는 것이라면 대량생산을 제외하고는 제2의 후보를 사용하여 가공하는 것이 바람직하다. 즉, 숫돌設定에는 사용자에게 선택가능한 숫돌종류의 우선순위를 제시하여 현장상황에 따른 숫돌選擇이 가능하도록 시스템에 柔軟性을 주는 것이 바람직하다고 본다.

또한, 숫돌設定은 거의 대부분이 熟練者의 經驗的 知識에 의하여 이루어지고있는 점을 감안하여 본 연구에서는 이와같은 정성적 지식으로부터 얻은 데이터가 이용하여 그들의 노하우나 技能的知識을 활용한 데이터 베이스를 구축하기 위하여 知識表現으로는 퍼지函數을 이용했다. 퍼지함수의 결정방법은 設問調査로부터 얻은 데이터를 χ^2 分布를 이용하여 데이터의 自由度와 性質

* 한국기계연구원 자동화연구부

** 부산대학교 정밀기계과

*** 부산공업대학 기계설계과

分散/平均值)을 고려해서 얻은 信頼區間을 기본으로 非對稱三角퍼지 함수를 결정했다.

2.1 x^2 -分布에 의한 데이터 信頼區間的 推定
獨立變數을 (x_1, x_2, \dots, x_n) 라하면

$$X=1/n \cdot (x_1+x_2+\dots+x_n) \quad (1)$$

으로 표현된다. 여기서, n 은 自由度이고, 독립변수의 평균을 $E(X)=m$, 분산을 $Var(X)=\sigma^2/n=\nu$, 표준편차를 $Std(X)=\sigma$ 라하면 二項分布는 $N(m, \sigma^2)$ 으로 표현된다. 그리고 독립변수 X 의 분포는 $N(m, \sigma^2)$ 로 되며 모든 x 에 대해서도

$$P\{X \leq x\} = \int_{-\infty}^x \rho(t) dt$$

$$\text{단, } \rho(t) = n^{1/2} / (2\pi)^{1/2} \cdot e^{-n/2 \cdot (t-\mu)^2 / \sigma^2} \quad (2)$$

으로 주어지며, 식(1)로부터

$$x^2 = \Sigma[(x_i - \mu) / \sigma]^2 \quad (3)$$

으로 보면 모든 x 의 實數에 대하여 다음과 같은 식이 성립한다.

$$P\{x^2 \leq x\} = \int_0^x f(x) dx$$

$$f(x) = 1 / (2^{n/2} \cdot \Gamma(n/2) \cdot x^{n/2-1} \cdot e^{-x/2}) \quad (x > 0)$$

$$\text{단, } \Gamma(n) = 2 \int_0^{\infty} t^{n-1} \cdot e^{-t} dt \quad (4)$$

식(4)로 표현된 분포는 自由度 n 의 x^2 -分布가 되며, 각 自由度 n 에 대한 $P\{x^2 \leq x\}$ 의 값은 x^2 -分布表을 이용하여 信頼區間을 결정할 수 있다.

그리고, 設問調査로부터 얻은 데이터가 $N(m, \sigma^2)$ 이 성립되는 독립변수 x 에 따른 分散을

$$S^2 = 1/n \cdot \Sigma(x_i - x)^2, (x = 1/n \cdot \Sigma x_i) \quad (5)$$

로 표현하면

$$x^2 = \Sigma[(x_i - x) / \sigma]^2, X = 1/n \cdot (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \quad (6)$$

이 되며, x^2 은 自由度 $n-1$ 의 x^2 -分布가 된다. 따라서 三角 퍼지函數의 결정에 이용되는 信頼係數는 본논문에 제시한 그림 1과같이 데이터의 自由度와 性質(分散/平均值)을 고려하면 된다.

데이터 베이스에 사용되는 퍼지函數의 信頼區間, $R_i(\%)$ 을

$$P\{x_{\alpha}^2 \leq x^2 \leq x_{\beta}^2\} = R_i \quad (7)$$

이 성립되도록 $x_{\alpha}^2, x_{\beta}^2$ 을 결정한다. 따라서, 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$P\{x_{\alpha}^2 \leq x^2\} = R_i$$

$$P\{x^2 \geq x_{\beta}^2\} = 1 - R_i \quad (8)$$

식(8)에 식(5, 6)을 이용하여 변환하면

$$P\{x_{\alpha}^2 \leq \Sigma(x_i - x)^2 / \sigma^2 \leq x_{\beta}^2\} \quad (9)$$

이 되므로

$$P\{1/x_{\beta}^2 \cdot \Sigma(x_i - x)^2 \leq \sigma^2 \leq x_{\alpha}^2 \cdot \Sigma(x_i - x)^2\} = R_i \quad (10)$$

이 성립한다. 그리고 식(10)은

$$1/x_{\beta}^2 \cdot \Sigma(x_i - x)^2 \leq \sigma^2 \leq x_{\alpha}^2 \cdot \Sigma(x_i - x)^2 \quad (11)$$

이 되며, 데이터의 자유도 n 과 분산 ν 을 이용하여 바꾸어 쓰면

$$n \nu / x_{\beta}^2 \leq \sigma^2 \leq n \nu / x_{\alpha}^2 \quad (12)$$

이 성립된다. 또한, 自由度 $n=30$ 이상일 경우에는 식(12)중에서 x_{α}^2 는 다음과 같이 변환된다.

$$x_{\alpha}^2 = 1/2 \{x^2 + (2n-1)^{1/2}\} \quad (13)$$

따라서, 퍼지함수의 결정에는 正規分布가 되는 충분한 자유도를 갖는 데이터를 이용한다는 것이 바람직하지만 현실적으로 어렵기 때문에 본논문에 제시한 식(12, 13)과 그림 1에서 제시한 信頼係數의 推定表을 이용하여 퍼지函數을 구하면 된다.

2.2 Fuzzy Membership 函數의 결정

지금까지 제시된 숫물設定方法⁽²³⁾에 관한 연구는 多數 있으나, 이들 대부분은 공장상황을 고려하지 않은 조건설정이 대부분이다.

본시스템의 데이터베이스에 축적되는 知識은 숙련자와 전문가 50명을 대상으로 0에서 1.0까지 階級幅을 0.1로 해서 얻은 데이터를 사용하였다.

독립변수 X 에 대한 퍼지函數가 M_i 인 비대칭삼각형을 고려하면, 이때의 퍼지函數를 $\mu_{M_i} X \rightarrow [0, 1]$ 로 정의하면 그림 2와같이 表現되며, 이는

$$1/(m_i - x) x - x_i / (m_i - x_i), x < [x_i, m_i]$$

$$1/(m_i - y) x - y_i / (m_i - y_i), x < [x_i, y_i]$$

$$i = 1, \dots, n \quad (14)$$

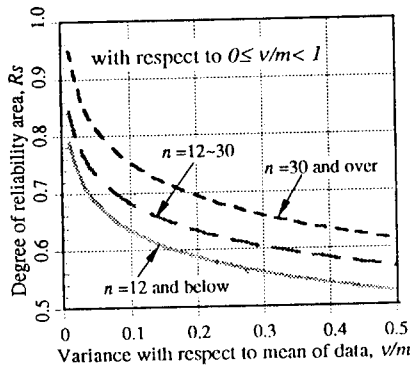


Fig. 1 Standard Criterion for the Degree of Reliability Area with respect to Data

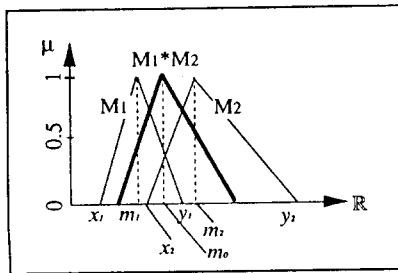


Fig. 2 Membership Functions for the Tri-angular Fuzzy Numbers M_1 , M_2 , and Composition $M_1 * M_2$

이 된다. 식(14)의 퍼지函数는 $M = \{x < X < y\}$ 가 되며 두가지의 퍼지함수를 M_1, M_2 로 정의하면 이들 퍼지함수의 합성 $M_1 * M_2$ 는 그림 2와 같이되며 다음과같은 식이 성립된다.

$$M_1 * M_2 = \mu_{M_1 * M_2}(x, y) = \sqrt{\{\mu_{R_1}(x, y) \wedge \mu_{R_2}(y, z)\}} \quad (15)$$

그리고 각 파라메타의 重要度を 구하기 위하여 一對一比較方法으로서 Saaty⁽⁶⁾가 提案한 階層分析을 이용한다. 또한, 두가지의 파라메타를 $X = \{x_1, \dots, x_n\}, Y = \{y_1, \dots, y_n\}$ 이라하고 이들 요소의 각각의 重要度を $\omega_{ij}: X, Y \rightarrow [0, 1]$ 로 한 경우에는 다음과같이 된다.

$$\omega_i = \sum_{j=1}^m \omega_{ij}(x_i) \cdot \omega_j(y_j), \quad i=1, \dots, m_{k+1} \quad (16)$$

또한, 숫들의 適合度を 구하기 위해서는 加工目的에 영향을 미치는 研削파라메타를 고려한 條件設定이 바람직하다. 식(16)을 기본으로 퍼지多基準意思決定⁽⁹⁾의 適合度 g 는

$$g = \mathcal{L}(R_i \cdot \omega_i) \quad (17)$$

로 표현된다. 여기서, R_i 는 각각 砥石要素에 대한 條件의 評價值, ω_i 는 각조건에 대한 砥石要素의 加重值이다.

各基準에 대한 加重值是 Saaty가 제안한 방법으로 要素間的 比較值을 행렬로 구성된 比較행렬로부터 最大固有值에 대한 고유벡터가 각항목의 加重值가 된다. 즉, 다음과 같은 評價項目, A(砥粒), B(粒度), C(結合度), D(組織), E(結合材)간의 상대적인 重要도를 比較行列로 구성해서 그 행렬의 最大고유치가 결정되면 그 고유치에 대한 固有Vector, 즉 表 1과 같은 Matrix에 의하여 加重值가 결정된다. 또한, 이는 다음과같은 관계가 성립한다.

$$WX = nX \quad (18)$$

여기서, n 은 Max Eigen-value, X 는 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 의 Eigen-vector, A, B, C, D, E는 비교기준이다. 그리고, a/b 는 基準A에 대한 基準 B의 상대적인 重要度를 뜻한다. 식(18)에 이용된 비교치는 전문가의 정성적이고도 애매한 지식이므로 이의 효율적인 知識處理와 表現方法이 필요하다.

따라서, 본연구에서는 전문가로부터 얻은 지식을 非對稱三角퍼지 함수로 표현하여 숫설정에 柔軟性을 부여했다.

Table 1 Decision of Weight Based on the Matrix Transfer

	A	B	C	D	E	Weight
A	1	a/b	a/c	a/d	a/e	x1
B	b/a	1	b/c	b/d	b/e	x2
C	c/a	c/b	1	c/d	c/e	x3
D	d/a	d/b	d/c	1	d/e	x4
E	e/a	e/b	e/c	e/d	1	x5

2.3 研削工程의 決定

연삭공정에 따라 연삭시간은 많은 영향을 받는다. 즉, 주어진 공작물의 가공여유 (Material Allowance)이 큰 경우에 있어서는 더욱 영향력이 크다. 본 시스템에서의 연삭공정의 결정은 Lot Size에 따른 總研削時間으로 하고, 이의 계산은 일본 기계기술연구소⁽⁶⁾에서 제안한 모델을 이용하였으며 다음과 같이 된다.

$$\text{총연삭시간}(t_s) = \text{숫돌교환시간}(t_w) + \text{드레싱시간}(t_d) + [\text{粗研削의 공작물여유량}(t_R) + \text{마무리공정의 연삭시간}(t_f)] \times \text{Lot size} + \text{공작물 교환시간}(t_e) \quad (19)$$

식(19)에서 Spark-out시간은 두공정 모두 일정하다고 하면, 연삭공정을 마무리공정(표면조도에 따른 가공조건만을 선택)만으로 연삭하는 경우에는 $t_{wc}=t_r=0$ 가 된다.

3. 스톨設定을 위한 데이터 베이스의設計

3.1 데이터 베이스의設計

金屬類를 圓筒플런지 研削하는 경우를 상정하면 結合材는 거의 Vitrified Bonded Wheel을 사용한다. 따라서, 砥粒, 粒度, 結合度, 組織만을 고려하면 된다. 그리고 공작물제거를 우선하는 경우에는 粒度, 結合度, 組織의 순으로 중요도가 있고, 마무리가공을 우선하는 경우에는 粒度와 結合度순으로 중요도가 있음을 알수있다. 이런 결과는 숙련자 50인으로부터 얻은 설문조사를 분석한 것으로 표 2에 제시하였다.

Table 2 Comparison of between Rough Grinding and Fine Grinding for Grinding Efficiency

Rough Grinding <i>c.i.=0.072, c.r.=0.064</i>						
	Grain	Grain Size	Structure	Grade	Bond	Weight
Grain	1	(0.7,0.2)	(1.5,0.3)	(0.5,0.2)	(1.5,0.1)	(0.18,0.04)
Grain Size		1	(1.5,0.5)	(1.5,0.5)	(2.5,0.1)	(0.28,0.07)
Structure			1	(1.5,0.5)	(2.5,0.2)	(0.21,0.06)
Grade				1	(2.5,0.2)	(0.23,0.06)
Bond					1	(0.09,0.01)

Fine Grinding <i>c.i.=6.8E-03, c.r.=6.1E-03</i>						
	Grain	Grain Size	Structure	Grade	Bond	Weight
Grain	1	(0.5,0.2)	(1.0,0.5)	(0.7,0.3)	(1.5,0.2)	(0.16,0.04)
Grain Size		1	(2.5,0.5)	(1.5,0.5)	(2.5,0.2)	(0.33,0.02)
Structure			1	(0.5,0.2)	(1.2,0.5)	(0.14,0.01)
Grade				1	(1.5,0.3)	(0.23,0.04)
Bond					1	(0.12,0.01)

퍼지多基準意思決定⁽⁶⁾은 砥石과 같이 고려해야 할 因子의 相互關係가 많고 더욱이 正성적 知識이면서 相互影響이 복잡할 경우에 이들 모든 요소를 고려하여 요구하는 가공목적에 대한 중요도를 부여하여 條件選擇의 우선순위를 부여하는 방법이다. 이와같은 퍼지多基準意思決定은 기존의 意思決定⁽⁴⁷⁾이 미리 정해진 값만을 유도하는데 비하여 正성적이고 애매한 知識을 퍼지함수로 표현할수 있어 가공목적에 따른 스톨選擇의 優先順位가 제시되므로 작업자에 柔軟性있는 선택이 가능해진다.

그림 3은 본 데이터베이스에 축적되는 스톨에 관한 知識의 형태를 나타낸다. 스톨에 관한 知識은 모두 스톨구성요소별로 후레임(Frame)내에 축적되어 후레임간의 抽象具體라는 階層構造로 설계되어 스톨조건설정시의 숙련자의 경험적 知識을 축적하는 것이 가능해진다. 예로써, 공구강(SUJ2)을 연삭하는 경우에는 설정지식을 숫자로 나타내지 않고 퍼지 다기준의사결정에 의해 구해

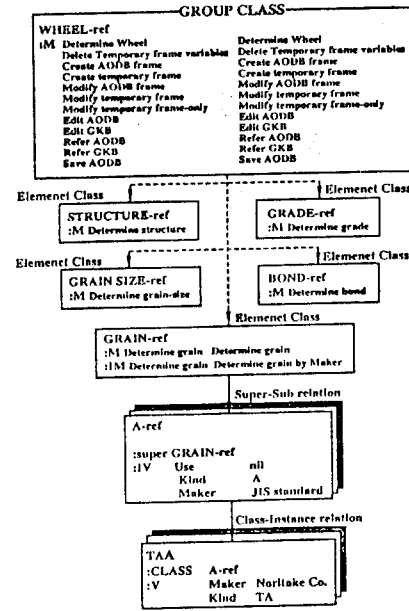


Fig.3 Architecture of Grinding Wheel Represented by Frame-Based Knowledge

진 최적스톨의 우선순위가 공작물과 표면조도별로 축적되어 있다. 그러나, 주어진 조건에 대한 데이터 없을 경우에는 "IF-Needed-Fact"라는 절차형 함수에 의하여 知識(Rule-Based Knowledge)에 의하여 제시된다.

또한, 砥粒는 가공목적에 관계없이 공작물의 종류에 의해 의존하며 粒度는 요구 표면조도에 우선순위를 두고, 組織과 結合度는 粗研削과 마무리 연삭의 연삭공정별로 결정하는 것이 加工能率을 향상시킴을 의미한다.

3.2 加工能率向上에 대한 優先順位의 決定

砥粒設定에 있어서는 그림4와 같이 加工能率에 관계없이 공작물의 종류만을 고려해도 큰 영향은 없는 것으로 사려된다. 이는 砥粒과 공작물의 화학적·물리적 성질을 염두에 두고 설정하기 때문이다. 예로, 공작물이 SUJ2라면 砥粒로서 A나 WA가 선택되지만 C나 GC는 거의 선택되지 않는다. 그림중의 숫자 (c_r, α_r, c_s)에서 α_r 는 퍼지 三角函數에 있어서의 中心值(퍼지函數值 $\mu_r=1.0$ 인 점), $\pm c_s$ 는 可能性幅을 의미한다. 또한 그림4의 上部[A]는 데이터를 χ^2 분포로 분석한 것이고, 下部[B]는 표 1을 이용하여 퍼지函數을 구한 것이다.

그림 5는 공작물이 SUJ2인 경우의 粒度에 대한 것으로 표면조도를 가장 우선순위로 고려함을 뜻한다. 즉, 요구하는 표면조도가 거친조건인 경우에는 선택되는 粒度의 선택 가능성범위도 크지만, 초정밀연삭일 경우에는 선택되는 粒度의 크기가 대단히 한정되어 있음을 뜻한다. 예로, 요구되는 표면조도가 $R_{max}12-6$ 인 경우에는

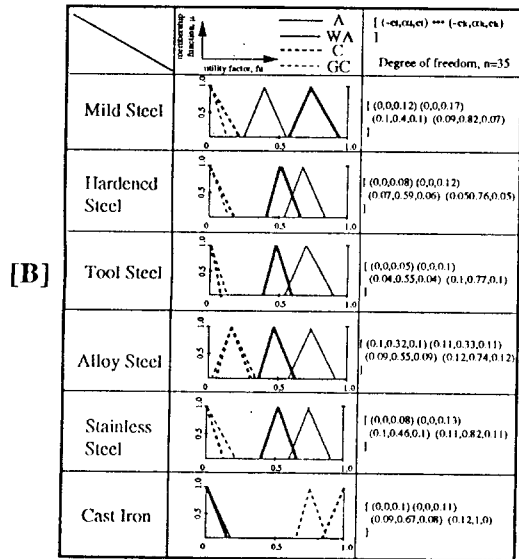
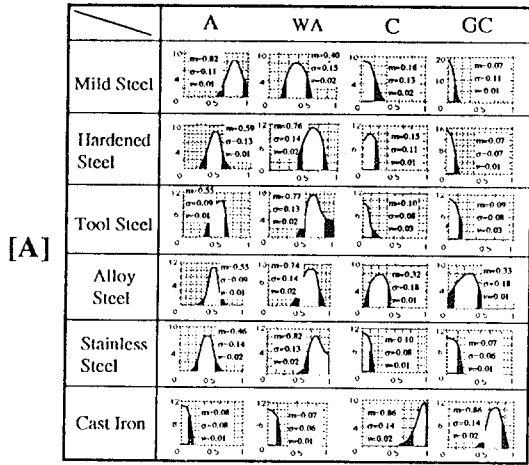


Fig.4 Analyzed Data Based on the *Enquete* Result for the Grain (A) Binominal Distribution Curve (B) Fuzzy Membership Function

선택가능한 범위는 #30-54가 되며, 이중 가장 적합한 것은 #36이 最適임을 알수있다. 한편 R_{max} 0.8-1.5인 경우에는 #80이 최적이 된다. 그림4중에서 上部(I, II)는 그림4와 같은 방법으로 데이터를 처리한 것이고 下部(III)은 이와 같은 방법으로 구한 퍼지函数이다.

그림 6와 7은 結合度와 組織에 관한 것으로 이 경우에는 粗研削과 精研削으로 구분된다. 예로, 粗研削의 경우에는 공작물 제거량을 크게하기위하여 비교적 結合度가 낮은 쪽을 선택하며, 精研削의 경우에는 높은 쪽을 선택하게 된다. 이는 결합도설정에는 공작물 경도와 요구하는 표면조도를 중시 한 설정임을 의미한다. 또한 組織은 공작물의 종류를 고려하지만 공작물의 제거량을 우선하는 경우에는 氣孔率을 크게한다. 그러나 숫돌設定에 그림 8과같이 공작물의 종류와 표면조도를 고려하는 것이 현장 숙련자들의 경향이나, 같은 공작물이라도 열처리 방식에따라 성질의 차이가 크기때문에 본연구에서는 이와같은 점을 고려한 설정을 했다.

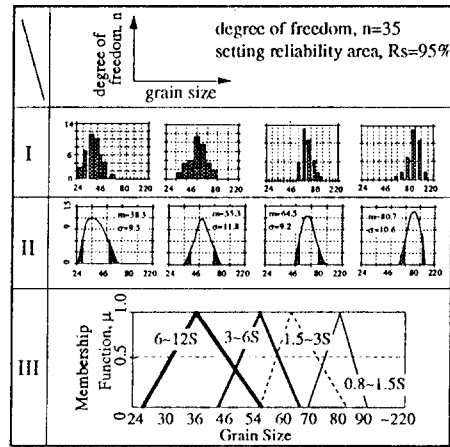


Fig.5 Analyzed Data Based on the *Enquete* Result for Grain Size. (II) Binominal Distribution Curve (III) Fuzzy Membership Function

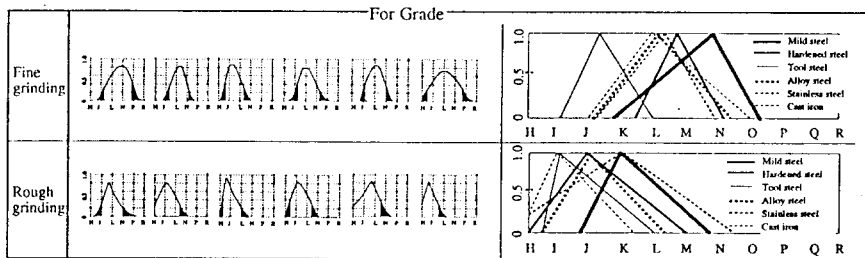


Fig.6 Analyzed Data Based on the *Enquete* Result for Grade.

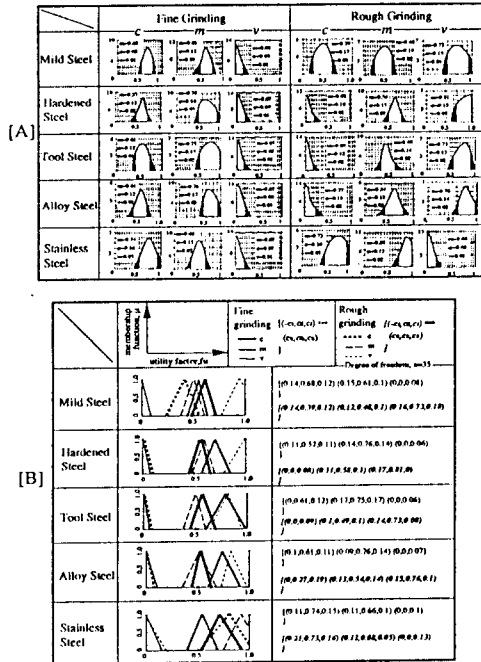


Fig.7 Analyzed Data Based on the Enquete Result for Structure. (A) Binominal Distribution Curve (B) Fuzzy Membership Function

4. 實 行 例

가공능률을 극대화하기 위한 숫돌 설정에는 우선 제시된 기준에 대하여 우선순위를 두고, 그 기준에 대한 評價值을 결정해야 한다. 다음에 가중치와 평가치를 이용하여 適合度를 구하고, 이를 비교하여 最適砥石選擇을 한다. 이때에 비대칭 삼각퍼지함수로 표현된 비교행렬에서 最大固有值에 따른 固有벡터를 구하면 각기준에 대한 삼각퍼지함수가 얻어진다.

그러나, 숫돌 설정에 있어서 공작물 종류를 고려해서 설정하는 경우에는 동일한 공작물이라도 열처리 방식에 따라 그 성질과 경도가 크게 다르기 때문에 이러한 점을 염두에 두고 설계하여야 한다. 예로, 그림 9와 표 3은 공작물이 SUJ2(Normalizing), $R_{max}=5\mu\text{m}$ 인 경우에 마무리 연삭에 이용되는 粒度設定의 흐름과 본 시스템에서 설정된 숫돌選擇의 優先順位를 나타낸 것이다. 즉, 粒度의 우선순위는 #60, #54, #46, #70로 제시되고 있다. 표 3의 결과와 같이 숫돌은 기전연삭에는 WA46HmV를, 마무리연삭에는 WA60JmV가 최적조건으로 설정된다.

한편, 그림 8은 공작물의 여유제거량이 1.12mm, Lot size가 60개를 연삭하는 경우에 있어서의 연삭공정의 선택을 비교한 것으로 각공정의 工作物餘裕量과 연삭조

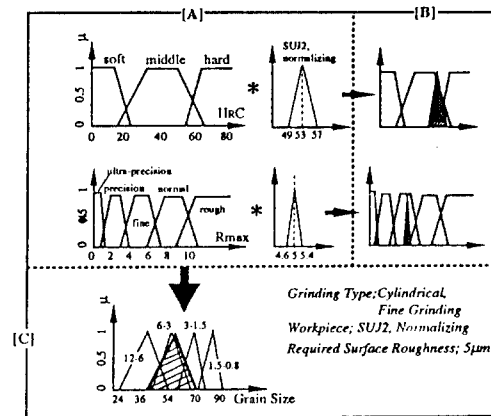


Fig.8 Conceptual Diagram for the Establishment of Grain Size

건은 본 시스템에서 제안한 모델⁽⁸⁾을 이용하여 구하면 粗研削의 여유량이 1.932mm이고, 마무리연삭에서는 8μm이 된다. 또한 가공조건으로는 표 3의 결과와 같이 절입량 $h=7.1\mu\text{m}/\text{rev}$, 공작물 주속도 $V_w=0.43\text{m/s}$, 그리고 마무리 공정에서는 $h=2.3\mu\text{m}/\text{rev}$, $V_w=0.14\text{m/s}$ 가 된다. 또한, 숫돌의 설정은 표 3과 같이 粗研削에서는 WA46HmV, 마무리연삭에서는 WA60JmV가 최적 선택조건으로 제시된다.

한편 이와같이 본 시스템에서 제시된 조건으로 연삭하는 경우를 실험결과로 보면 드레싱할때까지의 粗研削工程의 累積研削量은 320mm³/mm이고, 마무리 공정에서는 190mm³/mm가 얻어지며, 이러한 결과를 토대로 研削時間을 구한 것이 그림 9이다. 즉, Lot size가 27개 이상이라면 研削工程은 2段階工程(粗研削工程과 마무리 공정)이 바람직함을 의미한다.

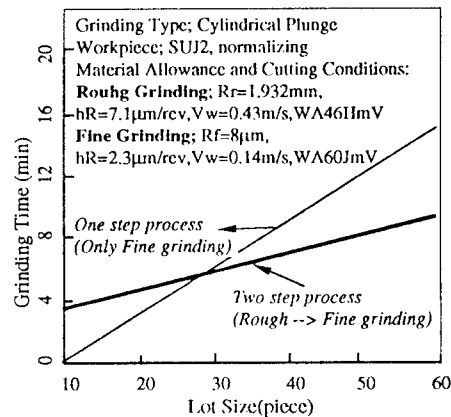


Fig.9 Comparison of Lot Size and Grinding Time for the Grinding Process

参考文献

Table 3 Implementation Results for Grinding Wheel

```

Please Select the Grinding Type
1.Surface 2.Cylindrical Traverse 3.Cylindrical Traverse 4.Internal
Select Number <--> 3

Please Input the Required Surface Roughness
Input Value <--> 5 0.2

Please Select the Classification of Workpiece
1.Mild Steel 2.Hardened Steel 3.Tool Steel 4.Alloy Steel 5.Stainless Steel
6.Cast Iron 7.Other
Select Number <--> 3

Please Select the Kind of Workpiece
1.SKH3 2.SKS33 3.SKU7 4.SKT13 5.SU12 6.Other
Select Number <--> 6

Please Select the Heat-Treatment of Workpiece
1.Quenching 2.Normalizing 3.Annealing 4.Hardening 5.Raw Material
Select Number <--> 2

Please Select the Heat-Treatment of Workpiece
1.Quenching 2.Normalizing 3.Annealing 4.Hardening 5.Raw Material
Select Number <--> 2

Please Display the List of Inferred Result for Rough Grinding,Just a Moment
1.[WAG01w,1] 2.[WAG40w,0.76] 3.[WAG01w,0.71] 4.[WAG41w,0.65]
5.[WAG13w,0.63] 6.[WAG01w,0.56]
Select Number <--> 1

Please Display the List of Inferred Result for Fine Grinding,Just a Moment
1.[WAG01w,1] 2.[WAG01w,0.87] 3.[WAG01w,0.87] 4.[WAG11w,0.71]
5.[WAG01w,0.62] 6.[WAG01w,0.52]
Select Number <--> 1

Indicate the Suggested Wheel Selection
1 Rough Grinding / Fine Grinding
WAG01w / WAG01w
    
```

5. 結 論

본 연구는 숫돌設定을 지원하기 위한 전문가 시스템의 一部分으로써

- (1) 熟練者의 경험적 지식과 정성적 지식의 효과적인 지식활용을 도모하기 위하여 χ^2 -분부에 의한 데이터 처리 방법과 신뢰구간을 이용한 知識表現으로 구하여 삼각퍼지함수를 결정하는 방법을 제시하였다.
- (2) 퍼지多基準意思決定을 도입하여 作業環境을 고려한 숫돌選擇이 가능하도록 숫돌設定에 柔軟性을 부여하였다.
- (3) 生産性向上을 고려한 시스템 설계를 위하여 研削工程選擇을 Lot size에 따라 설정했으며 이는 연삭시간을 최소화할수 있는 조건설정이 되도록 설계하였다.

(1) L.A. Zadeh; The Role of Fuzzy Logic in the Management of Uncertainty in Expert System, Fuzzy Sets and System, Vol.11, 1983, p.199

(2) 海野邦昭, 他 1 人; 研削砥石の選択標準—研削砥石の摩耗と寿命に関する研究(第4報)—, 精密機械43卷9号, 1977, p.1018

(3) K.Subramanian, et al; A System Approach for the Use of Vitrified Bonded Super-abrasive Wheels for Precision Production Grinding, Tranaction of the ASME, Feb.1992, Vol.114, p.41

(4) T.L. Saaty; Exploring the Interface between Hierarchies, Multiple Objectives and Fuzzy Sets, Fuzzy Sets and Systems 1, 1978, p.57

(5) P.J.M. van Laarhoven and W. Pedrycz; A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory, Fuzzy sets and Systems 11, 1983, p.229

(6) 日本 機械術研究所報告119号, 1983, p.53

(7) P.Harker; The Art and Science of Decision-Making- The Analytic Hierarchy Process, 1989, p.3

(8) 金建会, 稲崎一郎; ファジー回帰モデルによる最適研削条件の設定, 日本機械学会論文集, 59卷566号, 1993, p.3186