

퍼지 회귀모델을 이용한 연삭가공용 데이터 베이스의 설계와 활용
(실가공 데이터베이스에 관하여)

金 建 會*, 稻 崎 一 郎**, 李 載 庚*, 宋 地 複***

Architecture and Implementation of Database on the Cylindrical Grinding Utilizing the Fuzzy Regression Model

Gun-hoi Kim*, Ichiro Inasaki**, Jae-kyung Lee*, Ji-bok Song***

ABSTRACT

This paper describes an expert system on the cylindrical grinding operations in order to establish the optimum grinding conditions, which satisfy the maximum removal rates, considering the several constraints of grinding power, workpiece burn, chatter vibration and surface roughness. Specialized knowledge of the grinding operations are acquired from the actual operation database.

Coefficients in the experimental equations are obtained through the fuzzy regression model based on the fuzzy set theory, and are stored in the actual operation database. The developed system is capable of determining the optimum grinding conditions taking into account some problems, and practical examples of implementation are described.

Key Words : Grinding Expert System (연삭용 전문가시스템), Data-Base (데이터 베이스), Fuzzy Regression Model (퍼지 회귀모델), Fuzzy Grade (퍼지등급), Optimum Grinding Condition (최적 연삭가공 조건)

1. 서 론

연삭가공은 고품질·고정도를 달성하는데 유효한 가공 방법이다. 그러나, 요구하는 加工任樣을 만족하는 최적 가공조건의 설정과 가공중에 발생하는 트러블의 대책은 대단히 까다로운 문제이다. 왜냐하면, 연삭가공은 공정에 관계하는 인자가 많으며, 또한 그에 대한 각 인자간의 상호관계도 정량적으로 불충분하다. 따라서, 현장에서는 숙련자의 경험이나 기능에 의존하고 있는 실정

다.

1970년대부터 최적 연삭조건설정을 정량적으로 해결하려는 연구가 시도되었다(1, 2). 그러나, 이는 통상의 회귀분석을 이용한 방법이 대부분이었기 때문에 연삭가공과 같이 데이터의 표준편차가 크고 재현성이 얻기 어려운 경우에는 실제의 조건설정의 이용에 있어서 불충분하다. 이와같은 문제는 퍼지집합(3)에 기초한 퍼지 회귀모델(4)을 이용함으로써 표준편차가 크고 애매한 데이터를 어느정도 효율적으로 접근시킬수 있다.

* 한국기계연구원

** 일본 慶應大學 理工學部

*** 부산대학교 정밀기계과

본 연구는 원통연삭을 대상으로 하여 최적 가공조건에 있어서 요구하는 표면조도의 달성뿐만 아니라 트러블의 회피를 고려하여 가공능률을 최대화하는 연삭가공용 전문가 시스템에 활용하기 위한 데이터 베이스의 구축을 시도하였다. 그중에서도 설명적 지식을 정량적으로 해석할 수 있는 실가공 데이터 베이스의 구축에 관하여 설명한다. 실가공 데이터 베이스는 퍼지 회귀모델을 이용함으로써 이용자에게 현장의 상황을 고려한 조건설정이 가능하도록 한 시스템이다.

2. 데이터 베이스의 구성

본 시스템은 (5) 연삭가공의 최적 가공조건과 가공중에 발생하는 트러블의 診斷 · 處理를 지원하는 연삭가공용 전문가 시스템으로 그 전체적인 구성은 그림 1과 같다.

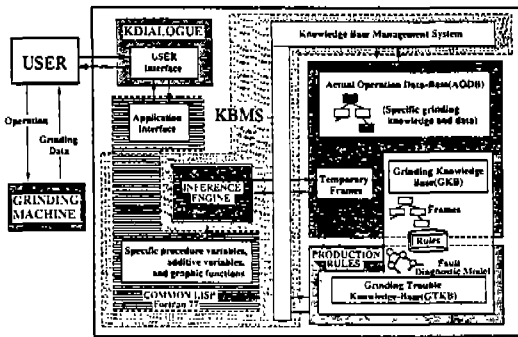


Fig.1 Architecture of the Developed Grinding Expert System

데이터 베이스가 수많은 정보기능을 갖춘 데이터 화일의 기능을 갖도록 설계된다면 데이터 베이스의 효율화를 기할수는 있지만 현실적으로는 곤란하다. 그러나, 이러한 목적에 접근할 수 있는 것이 퍼지 회귀모델의 도입에 의하여 어느정도는 가능할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 연삭프로세스의 퍼지성과 표준편차가 큰 연삭 데이터에 대응할 수 있도록 퍼지 회귀모델을 이용하여 얻어진 계수와 정수를 데이터 베이스에 蓄積 · 活用하도록 구축하였다.

2.1 실가공 데이터 베이스의 구조

실가공 데이터 베이스(6)는 가공에서 얻어진 데이터를 연삭조건에 접합하도록 세밀하게 분류하여 Frame지식으로 축척했다. 그림 2는 본 시스템의 실가공 데이터 베

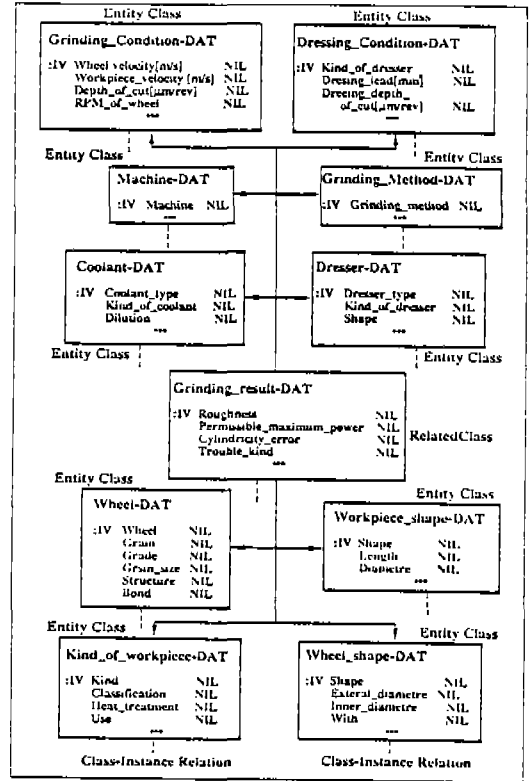


Fig.2 Conceptual Structure on the Actual Operation Database

이스의 구조이다. 즉, 연삭결과 후레이임과 연삭조건 설정에 요구되는 각각의 후레이임간을 Related Frame과 Entity Frame으로 분류하여 연삭 데이터를 관리하도록 하였다.

연삭조건 후레이임의 Class는 荒削(Rough Grinding)과 精削(Fine Grinding)의 Sub-Class로 분류하고, 그 아래에는 공작물의 주속도, 절입량, 슷돌 주속도등의 Instance로 구성하였다. 이러한 조건은 본 시스템에서 同定한 구속조건인 연삭동력, 연삭온도, 진동, 그리고 표면조도 한계를 고려하여 최적 가공조건이 설정되도록 설계하였다. 또한, 데이터 베이스는 이와같이 階層的 構造를 갖는 Frame으로 설계하였다.

2.2 퍼지 회귀모델의 도입

퍼지 회귀모델(4)에서는 애매하고 정성적인 계수와 정수를 입출력 데이터로 이용하여 조건설정에 유연성을 부여할 수 있다. 본 논문에서는 퍼지 회귀모델을 도입하여 얻어진 입출력 데이터의 퍼지성을 반영시킨 係 ·

定數를 갖는 퍼지 선형함수를 구하여 실가공 데이터 베이스의 데이터 화일로 이용하도록 하였다.

퍼지 회귀선형모델은 선형모델과 실험데이터와의 不整合性은 선형함수의 係·定數의 퍼지성에 의존한다고 간주한다. 즉, 퍼지 선형함수를

$$Y_i = A_0 + A_1 x_{i1} + \dots + A_n x_{in} \quad (1)$$

$i=0, \dots, M$

로 표현할 때 A_0 는 정수를 의미하고, A_i 는 대칭인 퍼지 계수 (α_i, c_i)을 의미한다. 정수와 계수 A_i 는 퍼지 수이며, 이 Membership Function을 대칭형인 삼각형으로 할때

$$\mu_{A_i}(\alpha_i) = \max\{1 - |a_i - \alpha_i| / c_i, 0\} \quad (2)$$

$i=0, \dots, n$

으로 된다. $c_i=0$ 일때 퍼지 정수와 계수 A_i 는 통상의 계수 α_i 와 일치한다. 단, α_i 는 퍼지정수와 A_i 계수의 중심값이고, c_i 는 가능성 폭을 나타낸다.

퍼지 회귀모델의 결정은 퍼지모델의 퍼지성을 나타내는 係·定數의 가능성 폭을 구속조건에 의하여 최소화하는 퍼지계수와 정수 $A=(\alpha, c)$ 을 구하는 것이 된다. 즉, Fuzzy Grade k 가 주어지는 線形計劃問題가 된다. 즉,

$$\min S = C_0 + \dots + C_n \quad (3)$$

$$y_i \leq \alpha^t + (1-k) c_i |x_{ij}|$$

$$-y_i \leq \alpha^t + (1-k) c_i |x_{ij}|$$

$$c_i \geq 0, i=0, \dots, N; j=0, \dots, M \quad (4)$$

로써 표현된다. 여기서, y_i 는 추정데이터의 從屬變數, x_i 는 獨立變數이며, t 는 轉置를 의미한다.

그림 3과 4는 가공조건에 따른 표면조도와 연삭동력

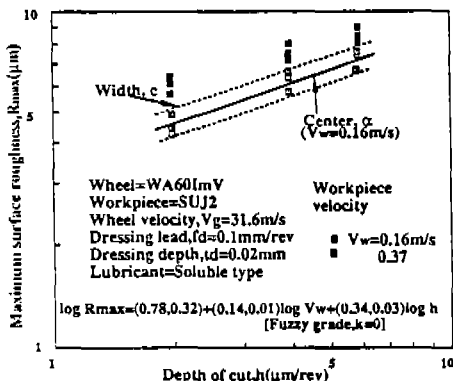


Fig.3 Surface Roughness Presented by Fuzzy Linear Regression Model

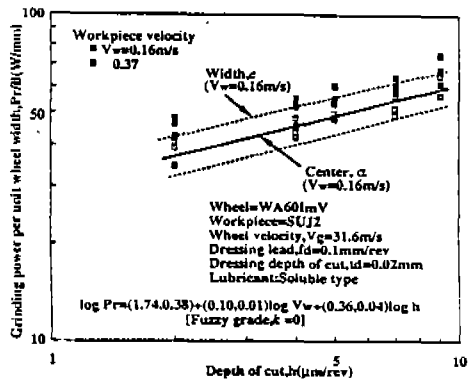


Fig.4 Grinding Power Presented by Fuzzy Linear Regression Model

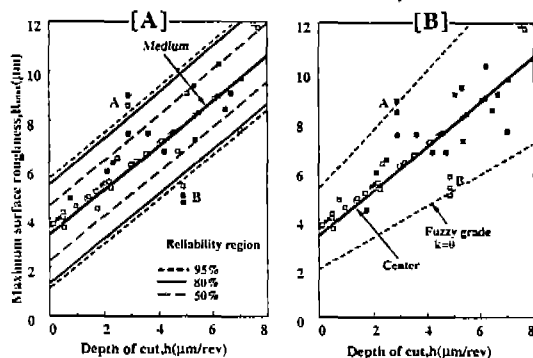


Fig.5 Comparison of the CR Method and the FR Model

의 관계를 퍼지 선형회귀모델로 구한 것이다. 그림 3과 4와같이 공작물주속도와 절입량의 계수와 정수의 중심값과 가능성 폭을 구하여 연삭가공 조건에 이용한다.

그림 5는 통상 회귀분석과 퍼지 회귀모델과의 추정구간을 비교한 것이다. 독립변수의 중앙값 m 을 0.5, 2, 4, 6으로 하고, 종속변수의 標準偏差를 1.85로 하여 正規亂數를 발생하여 데이터의 수(自由度) $n=60$ 까지 Random Data로 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 구한 값이다. 그림 5의 [A]는 신뢰구간을 통상회귀분석의 t 분포에 의해 구한 것이고, [B]는 퍼지 회귀모델로 구한 추정구간이다. 통상의 회귀분석에서는 구간추정에 있어서 독립변수의 구간값에 관계없이 동일한 추정값으로 설정되어 그림의 A, B 부분과 같은 데이터는 반영되지 않는다. 그러나, 퍼지 회귀모델은 표준편차가 큰 데이터에 있어서도 유연하게 대응하여 고려된다.

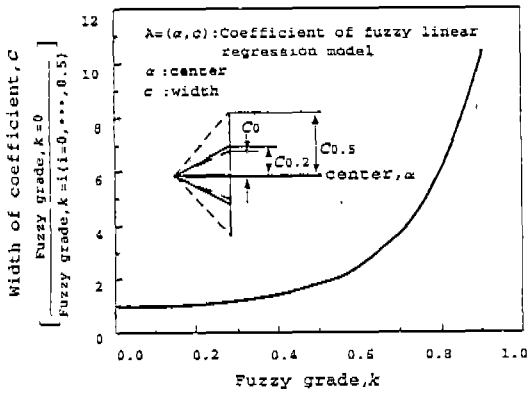


Fig. 6 Relationship between Fuzzy Grade and Coefficient Width

2.3 Fuzzy Grade의 설정

Fuzzy Grade, k 는 評價函數(식 3)과 구속조건(식 4)에 의한다. 즉, k 의 설정($0 \leq k < 1$)에 따라 가공조건이 크게 좌우된다. 그림 6은 Fuzzy Grade와 推定區間 S (식 3)과의 관계를 나타낸 것이다. Fuzzy Grade, k 가 Low Level에서는 퍼지회귀 모델의 추정구간 S 는 작아지나, k 가 증가함에 따라 추정구간은指數的으로 급증한다. 그림중의 α 는 퍼지 회귀모델의 추정구간의 중심이고, S_0 는 Fuzzy Grade, $k=0$ 일때의 가능성 폭이다. 이와같이 Fuzzy Grade에 의하여 설정되는 연삭조건이 크게 좌우되므로 k 의 설정에 있어서는 데이터의 性質과 數를 고려해야 한다.

그림 7은 퍼지회귀 모델을 이용할 때 사용되는 Fuzzy Grade, k 를 구하기 위하여 데이터의 수와 성질(표준편차의 크기)에 따른 시뮬레이션 값이다. 시뮬레이션 방법은 그림 5와 같은 방법으로 데이터의 수(自由度) $n=5, 10, 20, 40, 60$ 에 대하여 구한 값이다. 그 결과 표준편차와 데이터의 수에 따라 추정구간이 크게 좌우됨을 알 수 있다. 따라서, 설정되는 조건은 그림 6과 같이 Fuzzy Grade k 에 따라 차이가 있으므로 조건 설정에 있어서는 데이터의 성질과 수를 고려해야만 한다. 따라서, Fuzzy Grade의 설정값을 통상의 95%의 신뢰구간에 부합되는 추정구간과 비교하여 작성한 것이 그림 8이다. 그림 8과 같이 Fuzzy Grade의 설정값은 통상 $k=0.55$ 이하 정도면 되고, 표준편차 σ_{max} 가 1.2 이하일 경우에는 Fuzzy Grade k 는 $0 \sim 0.55$, σ_{max} 가 1.2~1.5라면 Fuzzy Grade k 는 $0 \sim 0.5$, σ_{max} 가 1.5 이상이라면 Fuzzy Grade k 는 $0 \sim 0.2$ 를 목표로 설정하

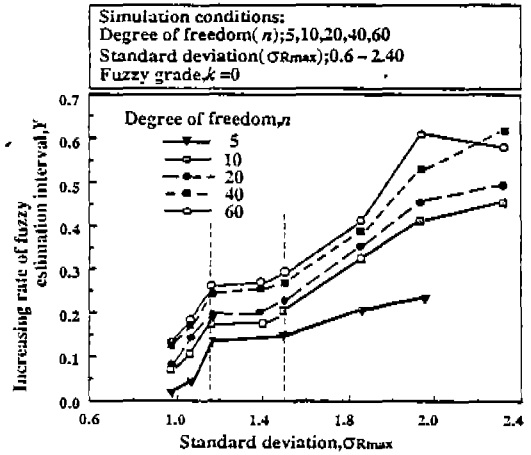


Fig. 7 Relationship between the Degree of Freedom and Standard Deviation for the Width of Fuzzy Coefficients

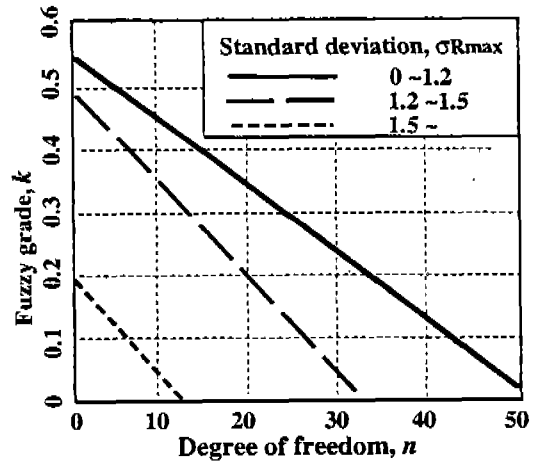


Fig. 8 Relationship between the Fuzzy Grade and the Degree of Freedom and Property of Data

면 된다. 또한 데이터의 수가 50개 이상이었다면 데이터의 성질(표준편차)에 관계없이 $k=0$ 로 설정하여도 충분하다. 이러한 설정값의 타당성을 확인하기 위하여 본 연구에서는 연삭가공의 표면조도에 대하여 시뮬레이션을 분석한 결과 표준편차는 0.5~2.4임이 확인되었다.

3. 최적 연삭조건의 설정

본 연구는 가공물의 재질, 요구하는 표면조도가 주어

졌을 때 Burning이나 진동이 발생하지 않는 구속조건하에서 표면조도를 달성하면서 가공능률을 극대화하는 荒削條件, 精削條件, Spark-out시간 및 각 공정에 대한 가공 여유량의 설정을 지원하는 시스템이다.

최적 연삭조건 초기설정은 그림 9와 같이 우선 실

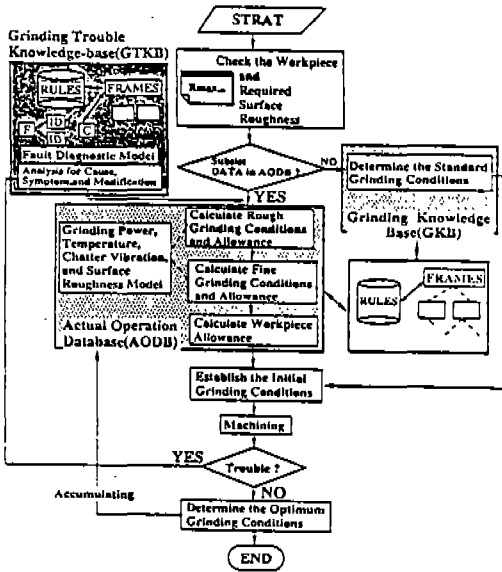


Fig. 9 Flow Diagram for the Establishment of Optimum Grinding Conditions

Table 1 An Example of the Production Rules

<p>(RULE 1) (frame (temporary frame? (grinding method cylindrical plunge))) → (bind? weight 0.7) (call (write-figure-data "g-kb/data/grade-dat" 7.5 0.0 2.5 3.0 5.0 10.0? weight)) (call ruleset grade-1) (halt)</p> <p>(RULE 2) (frame* (select for grade-r? (grade? grade 2))) → (call-ruleset wheel-make-if) (call-ruleset grade-1) (call-ruleset grade-result) (halt)</p>

가공 데이터 베이스를 탐색하고, 요구하는 前件部의 照合이 성립되면 이를 제시하며, 만일 照合이 성립되지 않으면 기존지식 베이스(7)을 이용하여 조건설정을 한다. 그러나, 트러블을 고려한 최적연삭조건설정이라 하여도 트러블의 발생은 존재하게 된다. 이러한 트러블의 진단과 대책은 트러블 지식 베이스(8)에서 처리한다. 또한 최적연삭조건 설정은 본 시스템에서 정의한 send함수에 의하여 해당후레임에 메시지로 전송하여 이루어지는 목적지향형 시스템이며, 이는 節次型 LISP函数을 지식에 의하여 이루어진다. 표 1은 최적 가공조건 설정을 위한 LISP 프로그램의 예이다.

최적 연삭조건 설정에 이용되는 퍼지 회귀모델은 구속조건을 선형화하여야 하며, 사용되는 데이터를 對數化하여 퍼지 회귀모델을 구성하여 그의 정수와 계수를 가공조건 설정에 이용한다.

3.1 구속조건 同定

研削盤은 각각의 허용최대 동력이 있고, 그러한 제약조건을 고려하여 작업조건을 설정하여야 한다. 특히 황삭조건 설정은 연삭반이 갖고 있는 최대 허용동력을 충분히 활용할 수 있도록 하여야 한다. 연삭작업중에서 슷돌과 드레싱 조건이 결정되어 있다고 하고 가공조건만을 설정하는 경우를 제시한다. 슷돌속도를 일정으로 하면 單位幅에 대한 연삭동력은 Pr'는

$$P_r' = A_{op} \cdot V_w^{A_{ip}} \cdot h^{A_{2p}} \quad (5)$$

$$A_{ip} = (\alpha_{ip}, c_{ip}), i=0, 1, 2$$

로 되며, 식 (5)를 對數로 바꾸어 퍼지 회귀모델로 표현하면

$$\log P_r' = A'_{op} + A_{ip} \log V_w + A_{2p} \log h \quad (6)$$

$$A'_{op} = \log A_{op}$$

로 된다. 여기서, V_w 는 공작물 주속도(m/s), h 는 절입량($\mu\text{m}/\text{rev}$)이며, A_{ip} 는 연삭동력을 퍼지회귀 모델로 나타낸 정수와 계수이고, α_{ip} , c_{ip} 는 그의 중심값과 가능성 폭이다.

표면조도에 관한 연구(9-11)는 지금까지 수많은 연구가 있었지만 본 연구에서는 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$\log R_{max} = B'_{0s} + B_{1s} \log V_w + B_{2s} \log h \quad (7)$$

$$B'_{0s} = \log B_{0s}$$

여기서, B_{1s} 는 퍼지 회귀모델의 정수와 계수이며, α_{is} , c_{is} 는 그의 중심과 폭이다. 한편, 가공능률을 최대

로 하기 위해서는 요구하는 표면조도를 만족시키는 表面粗度 곡선상의 가공조건 중에서 h 와 V_w 의 組合 中에서 가공능률이 최대로 되는 값, 즉 원통연삭의 가공능률은

$$Z = B \cdot V_w \cdot h \quad (8)$$

로 표현되며, 식 (8)을 극대화하는 가공조건의 조합의 설정으로 귀착된다. 여기서, B 는 가공폭(mm)이다. 원통연삭에서 표면조도가 일정으로 되는 가공조건의 組合은 이론적으로는 무수히 존재하지만, 그림 10과 같이 어느 경계값에서는 성립되지 않는 영역이 존재한다. 따라서 가공조건의 설정에 있어서도 이러한 특징을 고려하여야 한다.

연삭늘음(Grinding Burn)은 연삭중의 공작물 표면의 최고온도가 어느 일정값을 초과하면 발생한다고 報告되고 있다. 이와같은 개념을 기초로 하여 연삭늘음 모델을 河村등(12)이 제안한 식을 이용하면 다음과 같이 표현된다.

$$\theta_m = 2.4 \times 10^{-3} R_w \cdot (K_w^{0.5}/k_w) \cdot P_r/B \cdot V_w^{-0.5} \cdot L_c^{-0.5} \\ L_c = [h \cdot (1/D + 1/d)]^{0.5} \quad (9)$$

여기서, θ_m 은 슷돌과 공작물 접촉면의 최고온도(°C), R_w 는 공작물체의 열의 유입량, L_c 는 슷돌과 공작물의 접촉길이(mm), P_r 는 연삭동력(kW), k_w 는 공작물의 열전도율(cal/cm·s·°C), B 는 연삭폭(mm), K_w 는 공작물의 온도 전도율(cm²/s), D 는 슷돌의 직경(mm),

d 는 공작물의 직경(mm)이다. 또한, 공작물의 종류에 따라 연삭늘음의 발생은 차이가 있으므로 연삭늘음의 발생온도를 θ_b 라고 하면 연삭늘음의 발생조건은

$$\theta_b \geq \theta_m \quad (10)$$

이 된다. 같은 방법으로 연삭늘음을 퍼지 회귀모델로 표현하면

$$\log \theta_b = D'_{\alpha} + D_{1b} \log V_w + D_{2b} \log h \\ D'_{\alpha} = \log D_{\alpha} \quad (11)$$

로 표현된다. 여기서, D_{1b} 는 퍼지 회귀모델의 정수와 계수이며, α_{ib} , c_{ib} 는 그의 중심과 폭이다.

그리고 연삭진동의 발생한계 모델을 稻崎등(13)이 제안한 실용적인 진동발생 한계 식을 이용하면

$$V_w = K \cdot B^{p_1} \cdot h^{p_2} \\ K = C_2/C_1 \cdot K_m \cdot V_g \{ (C_1 \cdot \omega_0 \cdot Re) / (K_m \cdot V_g) \}^p \\ Re = [D \cdot d / (D + d)] \quad (12)$$

로 주어지며, 이는 공작물 주속도가 연삭진동의 가장 큰 影響因子임을 알 수 있다. 여기서, C_1 , C_2 는 상수이며, K_m 은 기계계의 등가 정강성(N/mm), ω_0 는 고유 각 진동수(rad/s), p 는 지수이다. 식 (11)에서 주어진 진동한계를 동일한 방식의 구속조건으로 표현하면

$$\log B = E'_{\alpha} + E_{1c} \log V_w + E_{2c} \log h \\ E'_{\alpha} = \log E_{\alpha} \quad (13)$$

가 된다. 여기서, E_{1c} 는 퍼지 회귀모델의 정수와 계수이며, α_{ib} , c_{ib} 는 그의 중심과 폭이다.

3.2 공작물 여유량의 설정

작업시간은 황삭공정과 정삭공정 및 스파크 아웃(Spark-out) 시간에 의하여 크게 결정된다. 따라서 본 시스템은 주어지는 총 공작물의 가공 여유량이 주어졌을 때 될 수 있는 대로 황삭조건에 의하여 작업하고, 요구하는 표면조도를 만족하는 범위에서 정삭 및 Spark-out을 하도록 설계하였다. 그림 11과 같이 요구하는 표면조도를 $R_{max}(U)$, 황삭공정의 절입량을 h_R , 황삭에서의 가공 여유량을 R_r , 정삭에서의 가공 여유량을 R_t , 주어진 공작물의 반경을 R_w , 목표로 하는 공작물의 요구하는 최종치수를 R_s 라 하면 다음과 같이 각 공정의 공작물 여유량의 설정이 가능해진다.

$$R_{max}(U) \leq h_R \text{의 경우} \\ R_r = R_w - R_t - R_t \\ R_t = h_R \quad (14)$$

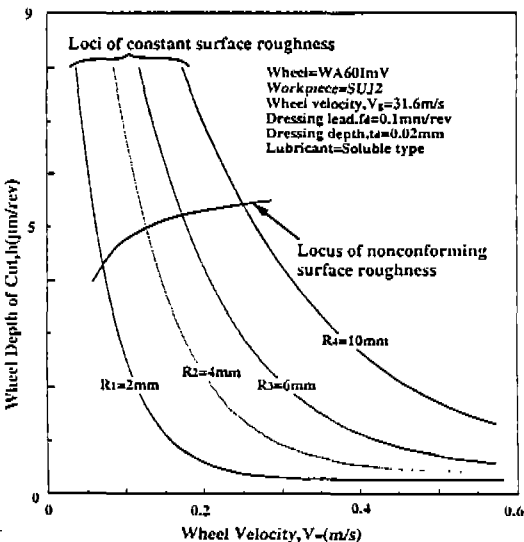


Fig. 10 Loci of Constant Surface Roughness

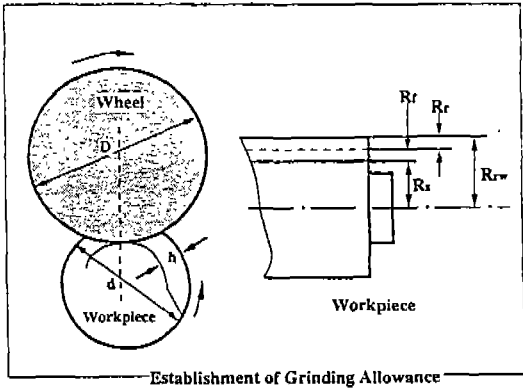


Fig. 11 Establishment of Grinding Allowance

$$\begin{aligned}
 &R_{max}(U) > h_r \text{의 경우} \\
 &R_r = R_{rw} - R_s \\
 &R_r = 0
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

3.3 Spark-out의 설정

Spark-out시간의 설정은 공작물의 재질과 요구하는 표면조도를 고려하여 설정하는 것이 일반적이다. 그림 12와 같이 Spark-out시간의 설정은 현장의 숙련자들로 부터 얻은 앙케이트 조사를 분석하여 최적 가공조건외 설정에 이용되도록 설계하였다.

3.4 최적 연삭조건외의 설정방법

실가공 데이터 베이스를 이용하여 최적 연삭조건을 설정하기 위해서는 3.1절의 구속조건을 퍼지 회귀모델로 계산하여, 그의 정수와 계수를 구해야 한다. 이는 선형

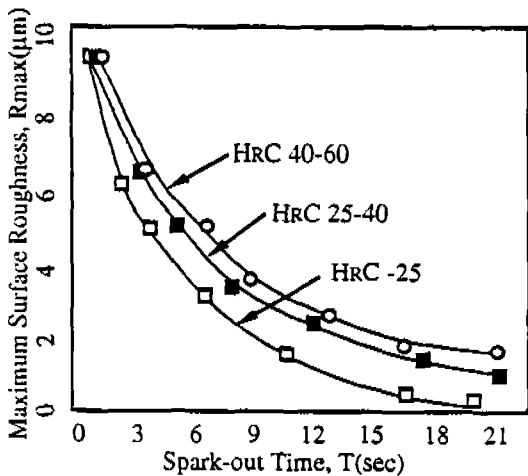


Fig. 12 Establishment of Grinding Spark-out Time

Table 2 Coefficients for the Identified Model Calculated by the Fuzzy Linear Regression Model

Experimental Conditions :						
Wheel=WA60ImV;Workpiece=SUJ2						
Wheel velocity, $V_g=31.6\text{m/s}$						
Dressing lead, $fd=0.2\text{mm/rev}$						
Dressing depth, $td=0.02\text{mm}$						
Wheel width=38mm:Lubricant=Soluble type						

Grinding temperature

Fuzzy Grade (k)	D _{0b}		D _{1b}		D _{2b}	
	Center	Width	Center	Width	Center	Width
0		0.83		0.07		0.11
0.2	2.29	1.03	0.34	0.08	0.62	0.14
0.5		1.65		0.13		0.21

Chatter vibration

Fuzzy Grade (k)	D _{0b}		D _{1b}		D _{2b}	
	Center	Width	Center	Width	Center	Width
0		0.23		0.03		0.02
0.2	1.54	0.29	0.43	0.04	0.38	0.03
0.5		0.46		0.06		0.04

Grinding power

Fuzzy Grade (k)	A _{0p}		A _{1p}		A _{2p}	
	Center	Width	Center	Width	Center	Width
0		0.38		0.01		0.04
0.2	1.74	0.48	0.10	0.013	0.36	0.05
0.5		0.76		0.02		0.08

Surface roughness

Fuzzy Grade (k)	B _{0s}		B _{1s}		B _{2s}	
	Center	Width	Center	Width	Center	Width
0		0.32		0.01		0.03
0.2	0.78	0.4	0.14	0.013	0.34	0.04
0.5		0.64		0.02		0.06

계획법에 이용되는 Simplex Method등으로 구할 수 있으며, 표 2는 조건설정외에 이용되는 구속조건외의 계수와 정수를 나타낸 것이다. 표 3과 그림 13은 Simplex Method에 의한 최적 가공조건외를 탐색하는 식과 軌跡을 나타낸 것이다. 또한, 그림 14는 요구하는 표면조도를 충족하면서 가공능률을 극대화하는 精削條件외의 절입량과 공작물 주속도의 탐색결과를 나타낸 것이다. 예로, 요

Table 3 Object and Constraint Functions at the Establishment of Grinding Conditions

Grinding Wheel=WA60ImV;Workpiece=SUJ2 Dressing lead=0.1mm/rev;Dressing depth=0.02mm Lubricant=Soluble type;Required surface roughness=5μm Capacity of power=3.7kW;Burning temperature=500°C Wheel width=38mm;Fuzzy grade, k=0.5		
Objective;Maximize $\log Z^1(Z^1=B \cdot V_w \cdot h/B)$		
Subject to;		
	Rough grinding	Fine grinding
Grinding power	$0.44\log h + 0.11\log V_w \leq 0.20$	
Surface roughness		$0.4\log h + 0.16\log V_w \leq -0.34$
Burning	$0.83\log h + 0.5\log V_w \leq 0.43$	$0.83\log h + 0.5\log V_w \leq 0.43$
Chatter vibration	$0.42\log h + 0.49\log V_w \leq 0.08$	$0.42\log h + 0.49\log V_w \leq 0.08$
Upper depth of cut	$\log h(\text{Upper}) \leq 1.0$	
Surface roughness		$\log h + 1.94\log V_w \leq 2.4$

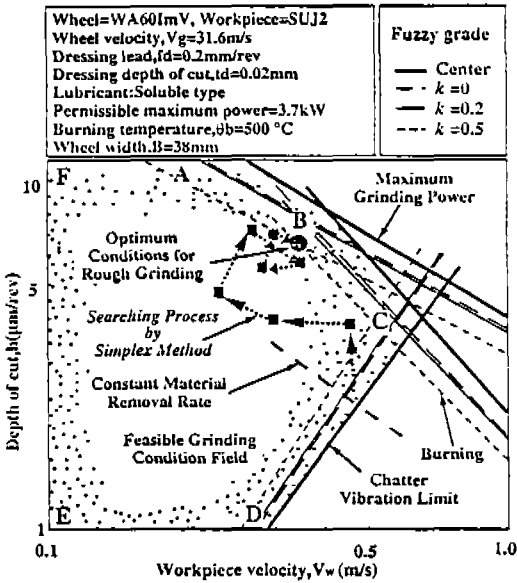


Fig. 13 Searching Process by Simplex Method

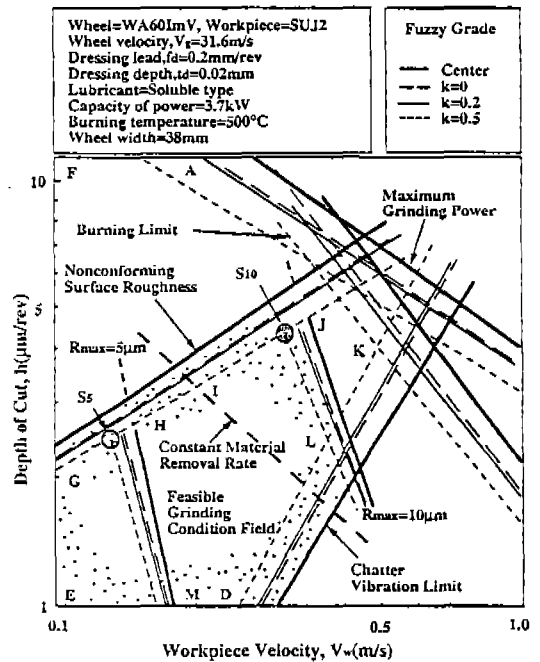


Fig. 14 Diagram of the Establishment of Optimum Grinding Conditions for Fine Grinding

구하는 표면조도가 5μm이라면 그림 14의 □EGHM이 연삭조건 설정의 가능영역이 된다. 그중에서 표면조도를 만족하면서 가공능률을 극대화하는 h와 Vw를 탐색하면 초기 정삭의 최적조건으로 S5(k=0.5일 때), 즉 공작물 주속도가 0.14m/s, 절입량이 2.1μm/rev가 설정된다.

4. 유연성을 고려한 조건설정의 예

그림 15는 가공능률을 극대화하는 황삭조건설정방법을

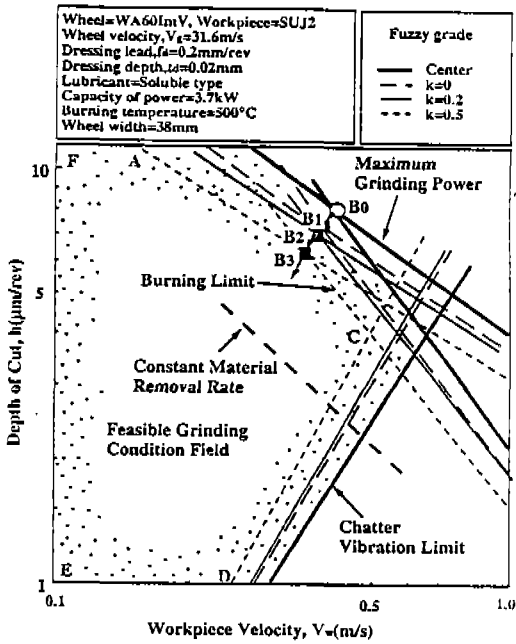


Fig. 15 Diagram of the Establishment of Optimum Grinding Conditions according to Fuzzy Grade

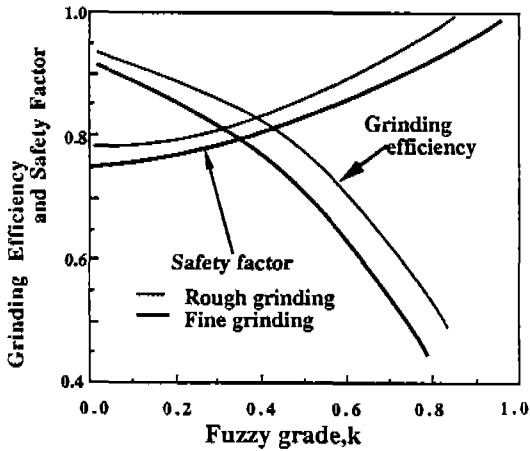


Fig. 16 Relationship between the Grinding Efficiency and Safety Factor

설명한 것이다. Fuzzy Grade $k=0$ 라면, 가공능률은 크게되는 연삭조건 B_1 ($V_w=0.45\text{m/s}$, $h=7.9\mu\text{m/rev}$)가 설정되나 설정에 대한 신뢰도는 떨어진다. 한편, $k=0.5$ 로 하면 가공능률은 떨어지나 연삭조건 B_3 ($V_w=$

0.36m/s , $h=6.4\mu\text{m/rev}$)가 설정되어 신뢰도는 향상된다. 그림 16은 가공능률과 신뢰도의 관계를 나타낸 것이다.

이와같이 조건설정에 있어서의 Fuzzy Grade, k 의 설정이 중요하며, 이는 본 논문의 2.3절에 제시한 그림 8을 참고로 하면 된다.

예로써, 데이터의 표준편차 σ_{\max} 가 1.2이하이고, 데이터의 수, $n=10$ 이하라면 그림 8에서 제시한 값으로 보면 Fuzzy Grade, $k=0.5$ 이므로 최적연삭조건은 B_3 가 되며, σ_{\max} 가 1.5이하이며 n 가 20이상이라면 Fuzzy Grade, $k=0$ 가 되어 B_1 이 설정된다.

그림 17은 그림 15의 조건에 대하여 통상 회귀분석의 신뢰값에 따른 조건설정의 이동경향과 퍼지 회귀모델의 Fuzzy Grade에 따른 조건설정의 이동경향을 도식화한 것이다. 이 그림에서와 같이 퍼지 회귀모델은 신뢰성에 있어서도 보다 효율적이며 능동적으로 대처하고 있음을 알 수 있다. 그리고, 그림 18은 황삭과 정삭조건을 제안한 모델로부터 설정한 예이다. 그림 18과 같이 가공능률은 Fuzzy Grade k 에 의해서 크게 좌우됨을 알 수 있다.

또한, 표 4는 그림 18과 동일한 조건에서 퍼지회귀 모델과 통상의 회귀모델에 의하여 구한 가공조건과 가공능률을 비교한 것이다. 가공조건을 설정하는 경우, 주

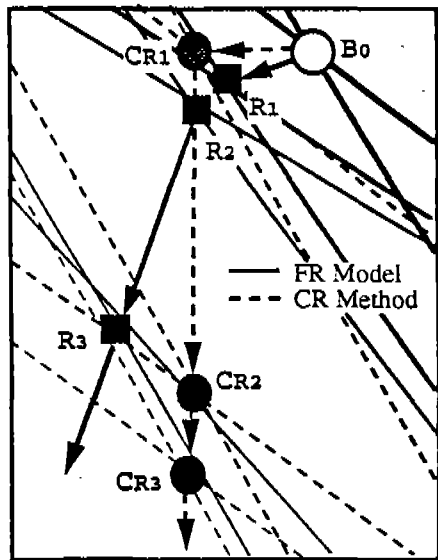


Fig. 17 Comparison of the Characteristic Transfer Tendency between FR Model and CR Method

Table 4 Comparison of Material Removal Rates and Grinding Conditions

standard deviations, $\sigma R_{max}=1.21\sim 2.39$ degree of freedom, $n=18\sim 30$			k;fuzzy grade, c.i;confidence interval Z^1 ;material removal rates per unit grinding width		
Fuzzy regression model			Conventional regression model		
	Rough grinding ($h/V_w/Z^1$)	Fine grinding ($h/V_w/Z^1$)		Rough grinding ($h/V_w/Z^1$)	Fine grinding ($h/V_w/Z^1$)
k=0	7.9/0.45/3.56	2.8/0.16/0.45	c.i=50%	8.1/0.41/3.32	2.9/0.16/0.46
k=0.2	7.1/0.43/3.05	2.3/0.14/0.32	c.i=80%	6.2/0.43/2.67	2.0/0.13/0.26
k=0.5	6.4/0.36/2.30	2.1/0.14/0.30	c.i=95%	5.6/0.44/2.45	1.9/0.12/0.23

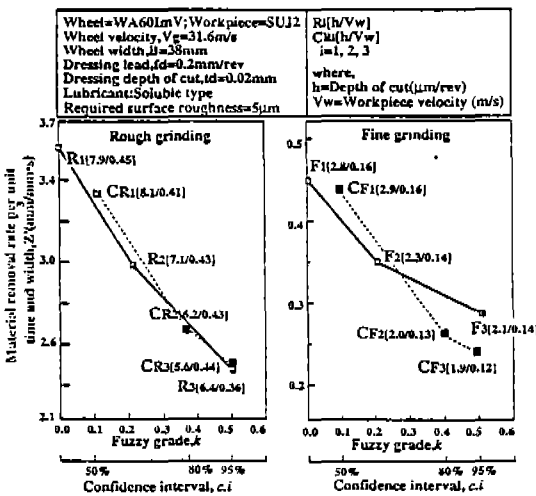


Fig. 18 Comparison of Establishment of Grinding Conditions between the FR Model and CR Method

어진 데이터의 성질(표준편차)과 수를 고려하여야 한다. 본 연구에서 이용한 데이터의 수는 $n=18\sim 30$, 표준편차 $\sigma_{max}=1.21\sim 2.39$ 인 경우, 2.3절에 제시한 그림 8의 Fuzzy Grade를 참고로 하면 $k=0.2$ 가 된다. Fuzzy Grade로부터 설정된 가공조건은 사용되는 데이터를 충족하므로 종래의 회귀모델의 95% 신뢰구간과의 비교가 된다. 따라서, 퍼지 회귀모델의 Fuzzy Grade $k=0.2$ 로부터 설정된 가공능률을 비교하면 퍼지 회귀모델에 의해 설정된 가공능률이 20~35%정도 향상된다. 그러나, 이러한 결과는 사용되는 데이터의 성질에 의하여 다소 차이가 있다.

이와같이 본 시스템은 Fuzzy Grade의 도입에 의하여 이용자가 데이터의 신뢰도를 고려한 연삭조건을 설정이 가능하도록 구축하였다.

5. 결 론

본 연구는 연삭가공용 전문가 시스템의 일부분으로 최적 연삭조건을 설정을 지원하기 위한 실가공 데이터베이스를 구축하였다.

- (1) 연삭가공의 퍼지성과 연삭데이터의 분산을 고려하여, 퍼지 회귀모델에 의한 데이터의 획득과 축적방법을 제시하였다.
- (2) 가공능률을 극대화하는 최적연산 조건을 설정하는데 있어서 트러블의 발생도 고려한 條件探索을 가능하도록 설계하였다.
- (3) Fuzzy Grade의 도입에 의하여 이용자가 데이터의 신뢰도를 고려한 연삭조건이 이루어 지도록 하였으며, 데이터의 성질에 능동적으로 대처할 수 있는 시스템의 구축이 가능하도록 하였다.

참고문헌

1. J. Peters, etc;The Proper Selection of Grinding Conditions, CIRP Annals, (1976), pp.387~393
2. G. Amity, etc;Adaptive Control Optimization of Grinding, Trans. ASME, Ser. B, Vol. 103, (1983), pp.103~108
3. L. A. Zadeh;The Role of Fuzzy Logic in the Management of Uncertainty in Expert System, Fuzzy Sets and System, Vol. 11, (1983), pp.199~227
4. H. Tanaka, etc;Linear Regression Analysis with Fuzzy Model, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-12, (1982),

- pp. 903~907
5. G. H. Kim, etc; Development of Expert System for Grinding Operations, JSME, Int. Conf., Manufacturing Systems and Environment, Japan, (1990), pp. 395~400
 6. G. H. Kim, I. Inasaki; Establishment of Optimum Grinding Conditions Utilizing the Fuzzy Regression Model, JSME, (1993)
 7. 金建會, 稻崎一郎, 李載庚; 연삭가공용 데이터베이스의 설계와 활용 "기존지식 베이스에 관하여", 한국정밀공학회, 출판예정, (1993)
 8. G. H. Kim, I. Inasaki, J. K. Lee; Knowledge Acquisition and Design for the Grinding Trouble-Shooting, The 1st Int. ABTEC Conf., Nov. 1-3, Seoul, (1993), pp. 210~219
 9. 中山 外1人; 研削任上げ面あらさに關する研究, 日本機械學會(C), Vol. 37, No. 293, (1971), pp. 178~183
 10. S. M. Pandit, etc; Mathematical Method of a Ground Surface Profile with the Grinding Process as a Feedback System, Wear, Vol. 39, (1976), pp. 205~217
 11. 松井; 研削任上げ面あらさに關する考察, 精密機械, Vol. 41, No. 6, (1975), pp. 572~577
 12. 河村 外2人; 研削やけの基礎的 研究, 精密機械, Vol. 45, No. 1, (1979), pp. 83~88
 13. 稻崎 外3人; 圓筒プラソジ研削におけるビビリ發生限界, 精密機械, Vol. 46, No. 2, (1980), pp. 201~206