

# 금형의 자동 연마작업 지원 전문가시스템의 개발

이태문\*, 정해도\*\*, 황찬해\*\*\*, 조규갑\*\*\*\*

## Development of an Expert System for Supporting Automatic Polishing Operation of Mold and Die

Tae-Moon Lee\*, Hae-Do Jeong\*\*, Chan-Hae Hwang\*\*\*, Kyu-Kab Cho\*\*\*\*

### ABSTRACT

An advanced expert system for supporting automatic polishing operation of mold and die has been developed.

The goal of this system is to minimize the polishing time, the number of polishing and tools used. Also, this paper proposes the advanced concept of the polishing method to perform polishing operation of mold and die, and it has adapted to the orthogonal array method, as a statistical technique, to choose an optimal polishing condition. An expert system consists of the polishing machining database that includes the information of workpiece and polishing tools, and the input/output module.

**Key Words :** Rough polishing(거친 연마), Smooth polishing(고운 연마), Orthogonal array method(직교배열법), Expert system(전문가시스템)

### 1. 서론

금형은 기계가공부품의 생산에 널리 이용되는 도구의 일종으로 다품종 소량 생산 체제의 확산과 더불어 그 중요성이 더욱 증대되고 있다. 금형을 이용하여 생산된 공업제품은 전기, 전자, 자동차, 기계부품 및 일용품 등 수없이 많다. 종래에는 재래식 가공방식과 숙련공들의 기능중심 생산방식을 취하였으나 제품의 다양화, 복합기능화, 고정밀화, 제조원가의 저렴화 및 납기단축화 등의 수요자 요구를 충족시키기 위해서 CAD/CAM 및 CNC 공작기계 등을 이용한 자동화된 생산방식으로 변모해가고 있다. 금형은 형상이 불특정하고 다양한 형태를 갖기 때문에 금형제작시 여러 종류의 공작기

계를 사용하며, 부가적으로 정밀절삭 기술, 연마기술 및 측정 기술 등이 필요하다. 금형을 완성하기 위해서는 절삭 가공이 종료된 후 마무리 단계인 다듬질 작업이 이루어져야 한다. 그러나, 여러 연구 결과와 현장 숙련공들의 작업시간 등을 분석해보면 전체 금형 제작공정 중 약 30~40% 정도가 이러한 다듬질 작업에 소요되고 있음을 알 수 있다<sup>(1-4)</sup>.

일반적으로 고품질, 고정도를 요구하는 금형의 구성요소에 대한 연마가공은 현장 숙련자의 Know-How 에 대한 의존도가 매우 높으며, 연마에 있어서 가공 요구사항을 만족시키는 연마조건의 설정과 각종 연마 파라메타의 최적 결정이 중요한 과제이다<sup>(5,6)</sup>.

\* 부산대학교 산업공학과 대학원  
\*\* 부산대학교 기계공학부(정밀정형 및 금형가공 연구소)  
\*\*\* 부산대학교 기계공학부 대학원  
\*\*\*\* 부산대학교 산업공학과

본 연구는 전문가가 갖고 있는 경험 및 지식과 실험에 의한 데이터를 이용하여 최적 연마조건 설정과 요구하는 목표 표면거칠기에 도달하는 능률적인 마무리가공을 위한 공구사용순서 및 연마 횟수의 결정을 위한 연마 지원 전문가 시스템의 구축을 목표로 한다.

본 연구에서는 전문가시스템의 개발을 위해 Fig.1 과 같이 세가지 단계의 절차로 접근한다.

연마작업의 기계적인 수행을 위한 기본적인 요소로서 대상 가공물과 연마공구 및 연마패턴의 선정이 우선적이므로 첫번째 단계에서 이러한 요소들 중 주로 사용되는 다양한 정보들을 데이터베이스화한다. 첫번째 단계에서 생성된 정보를 토대로 실제 연마에 앞서 연마조건을 선정하기 위하여 두번째 단계에서는 통계적 기법인 실험계획법을 이용하고, 이러한 연마조건을 토대로 연마실험을 실시하여 각각의 입도에 따른 연마조건별 실험데이터 및 연마특성치를 구하여 데이터베이스화한다. 마지막 단계에서는 이상의 각 단계별 정보를 이용하여 작업자의 요구에 따른 능률적인 목표 표면거칠기를 성취하기 위해 전문가시스템을 설계하며, 이러한 실험의 결과를 분석하여 검증한다.

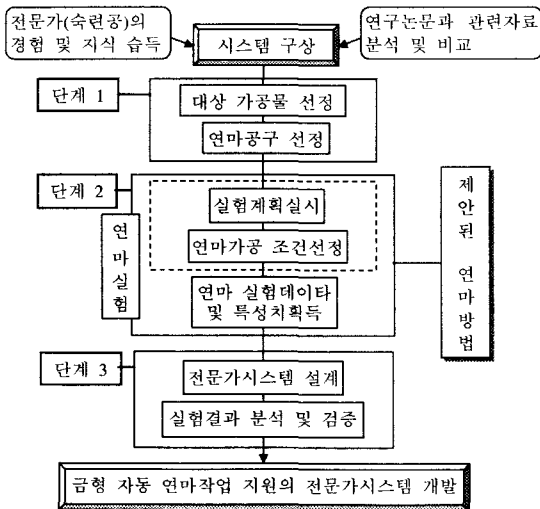


Fig. 1 The development stage of an expert system for supporting automated polishing operation of mold and die

## 2. 금형의 자동연마방법

### 2.1 연마의 새로운 접근방법

본 연구에서는 연마작업에 있어 기본적인 체

계를 제시하고 기존의 연마작업에 대한 단점을 보완하여 보다 효율적이고 신속한 연마작업을 제시한다.

기존의 연마과정은 절삭공정 후 잔존하는 전가공면의 커스프에 대해 연마공구를 사용하여 여러 번 반복적으로 낮은 입도에서 높은 입도로 바꾸어 가며 요구하는 표면거칠기에 도달하기 위한 연마작업을 수행해 왔었다. 이러한 연마작업의 문제점은 아래와 같다.

- 연마숫돌/패드의 경제성인식 부족
- 단지 연마시간을 최소화하는데 목적
- 금형 연마공정별 구분화 미흡

본 연구에서 연속적인 연마작업을 수행하는데 앞서 먼저 선행되어야 할 부분은 전가공면에서 생기는 커스프(Cusp)를 신속하게 제거하는 데 있다.

기존의 연마방법으로는 두 가지로 구분하여 실시해 오고 있는 실정이다. 첫번째로는 가공면의 요구된 표면거칠기를 얻기 위해 절삭공정을 거친 후 연삭(grinding)작업을 수행하여 어느 정도의 표면상태를 얻은 후 마지막으로 연마(polishing)작업을 수행하는 방법과 둘째는 초기 절삭공정에서 초기에 초경공구 등을 사용하여 커스프의 산을 최소한으로 감소시킨 후 바로 연마작업을 수행하는 방법으로 나눌 수 있다. 이러한 연마방법은 전가공면에서부터 낮은 입도에서 높은 입도로 연마 숫돌과 패드를 번갈아 사용하고 있다. 특히 연마패드인 경우 낮은 입도라도 전가공면에 대한 연마패드가 연마면에 미치는 영향이 크므로 연마공구작업이 불안정하고, 연마공구의 수명이 단축되어진다. 첫번째 가공방법은 연마작업을 위해서 절삭공정 후 연삭기로 연삭을 실시하기 때문에 연마작업을 수행하는데 추가적인 준비시간(setup time)이 걸린다<sup>(2)</sup>. 이러한 연삭은 형상정밀도를 내는데 적합하고, 연마는 표면거칠기를 향상시키는데 적합하다. 그러나 3차원 자유곡면가공에 대해서는 연삭작업이 매우 어렵다라는 단점이 있다. 두번째 방법은 연마작업을 실시하기 위해서 작업자가 요구하는 표면거칠기수준에 도달될 때까지 일정한 가압력(2.04kgf(=20N))으로 연마를 행하는데 오랜 연마시간이 걸린다는 단점이 있다<sup>(4)</sup>. 따라서 본 연구에서는 연마시간을 최소화하기 위해 연마숫돌일 때와 연마패드일 때의 가압력을 변화시켜가며 연마작업을 행하기로 한다.

기존의 연구에서는 가압력을 작업자가 직접

수작업을 행하였을 때의 연마면에 미치는 힘에 근거하여 2.04~2.55kgf(=20~25N)으로 설정하였으나<sup>(2,4)</sup>, 실제 현장에서는 가압력을 3.5~7.5kgf 범위내에서 연마를 실시하고 있다. 본 연구에서는 초기에 전가공면의 커스프가 신속하게 평탄화 되도록 가압력을 4.9~9.18kgf(=48~90N)범위로 설정하여 거친 연마공정에서 초기 연마작업의 수행도를 높이고, 다음 연마공정에서는 요구하는 표면거칠기를 성취하기 위해 적절한 가압력을 두어 설정하였다.

## 2.2 전가공면

제안된 접근방법에서는 연마작업을 수행하기 앞서, 초기 절삭공정에서 얻어지는 전가공면에 대한 가공방법을 나타낸다. Fig.2는 볼엔드밀의 1회 전당 공구 한날당 이송량  $f$ 와 피크 피이드량  $p$ 가 일치할 경우, “ $f=p$ ” 일때, 가공표면거칠기와 연마능률이 최적화된다는 개념인  $fp$  컨셉트모델을 이용하여 절삭면을 형성한다.

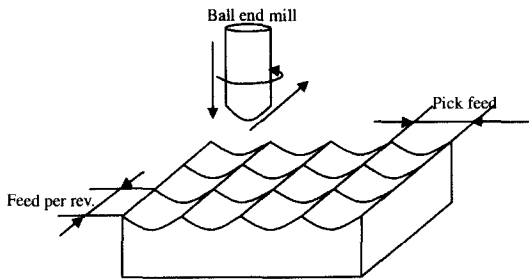


Fig. 2 Concept model of  $fp$  ( $f=p$ )

전가공면의 이론상의 표면거칠기는 아래의 식과 같다.

$$R_{th} = \frac{f^2}{8R} + H_0, \quad (H_0 \text{는 보정정수})$$

( $R_{th}$ : 이론적 표면거칠기,  $R$ : 공구반경,  $f$ : 공구날당 이송량)

$H_0$ 는 보정정수로서, 실제표면거칠기와 이론적인 표면거칠기간의 오차를 말한다.  $H_0$ 는 일반적으로 고속도강 공구일 경우 공작 기계의 성능에 따라  $2u$  정도라고 한다. 하지만 초경공구를 사용하면 Park<sup>(8)</sup>의 논문과 같이 이러한 오차를 극복할 수 있다<sup>(7)</sup>.

## 2.3 거친 연마공정과 고운 연마공정

본 연구의 거친 연마공정에서 얻고자 하는 주

안점은 초기에 선가공면을 평탄화하는 데 있다. Fig.3의 (a)는 기존의 연마방법으로 일정한 가압력으로 연마작업을 수행하고 있으며, ②는 산과 골 부분이 점차 제거되어지는 과정이다. (b)는 제안된 연마방법으로 면의 평탄화를 위해 다이아몬드 스톨(#100)을 사용하여 ①~④의 과정을 거쳐 커스프를 완전히 제거되는 과정이다. ②는 신속한 거친 연마과정으로 인해 산부분이 선택적으로 제거되어지는 과정이며, ③에서 산과 골이 점차 제거되어지는 모습을 나타내고 있다.

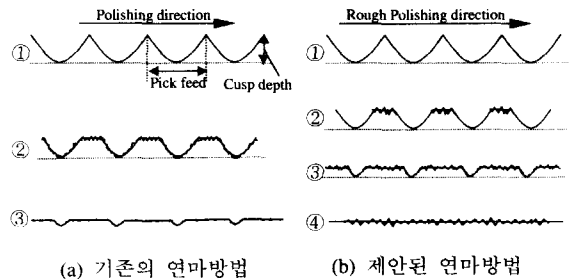


Fig. 3 Comparison between traditional polishing method and proposed polishing method.

프레스 금형연마작업인 경우, 거친 연마작업에 있어서 고운 연마작업을 수행하지 않고도 거친 연마작업으로 요구된 표면 거칠기를 낼 수 있으며, 가공능률에 따라 거친 연마를 하느냐 고운 연마를 하느냐를 선정할 수 있다. 프레스 금형 연마작업은 정밀한 표면거칠기를 요구하는 것이 아니라 어느 정도의 표면거칠기를 요구하며, 외형면을 중요시하고 있으므로 작업의 범위에 따라 선정이 가능하다. 이러한 방법은 거친 연마소재의 비용측면과 가공능률 측면을 고려하여 선정될 수 있다. 거친 연마공정에서는 고운 연마작업을 행하기 앞서, 전가공면의 커스프를 제거하기 위해 다이아몬드 스톨(#100)로 거친 연마를 하는 초기 연마공정이다.

본 연구의 고운 연마공정은 거친 연마공정에서 초기 절삭면의 평탄화를 성취한 후 요구된 표면거칠기에 도달하기 위하여 연마패드를 사용하여 입도별 연마작업을 수행한다.

## 3. 통계적 실험계획법에 의한 연마실험

### 3.1 실험방법

연마실험계획의 전반적인 흐름도는 Fig.4와 같다. Fig.4는 전문가시스템을 구축하기 위해 요구되

는 연마실험데이터특성치에 관한 정보를 획득하기 위한 연마실험계획절차를 나타내고 있다.

본 연구의 실험 장비 및 조건은 Fig.5 와 Table 1 이다. Fig.5 는 금형연마에 사용되는 머시닝 센터와 실재가공모습이고, Table 1 은 사용된 실험 조건이다. 실험조건은 현장 숙련공의 지식과 참고 문헌을 참고로 선정하였고, 실험계획법을 사용하기 위해 5 개의 등간격으로 나누어 설정하였다.

금형연마면에 주로 영향을 미치는 파라미터를 함수식으로 나타내면, 다음과 같다.

$$\text{연마면의 표면 조도} = f(A, F, S, f, N)$$

A: 슷들의 입도(mesh), f: 이송속도(mm/min)  
 F: 가공 수직력 (kgf/cm<sup>2</sup>), N: 가공 횟수  
 S: 주축 회전수 (rpm)

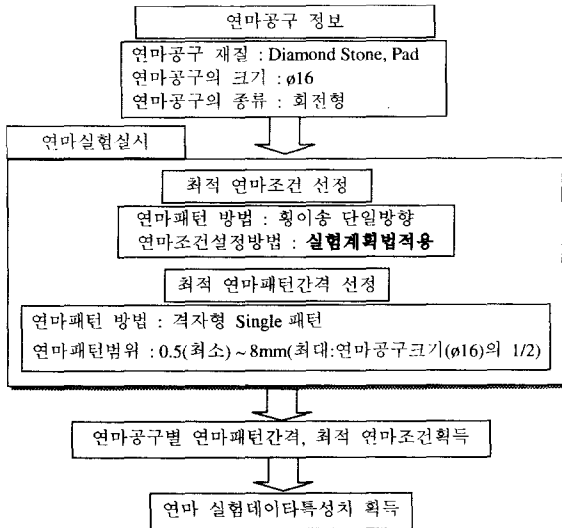
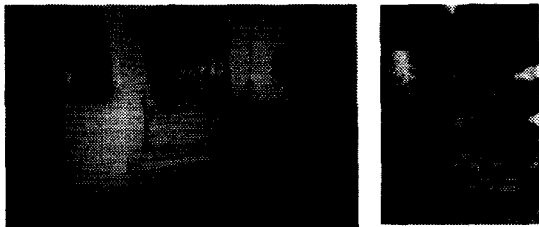


Fig. 4 The experimental process for selecting polishing tool path and polishing conditions



(a) 머시닝 센터의 외관 모습 (b) 연마가공 모습

Fig. 5 Appearance of polishing equipment

Table 1 Experimental conditions for polishing operation

구분	내용	
머시닝센터	DAEWOO ACE-V30	
표면측정기	SurfTest SV-400	
금형종류	프레스금형	
재질	STD11	
크기	180x220mm	
형상	평면	
전가공면 표면거칠기	3.69~4.5 μm	
연마공구	회전공구	
스톤/패드	Diamond Stone	Polishing Sheet(Flat type)
스톤/패드 직경	외경 : Ø16 내경 : Ø8 두께 : 3mm	Ø16
입도(#)	#100	#200 #400
가공수직력 (kgf/cm <sup>2</sup> : F)	4.40 4.57 5.08 5.48 6.09	2.44 2.94 3.30 3.43 3.80
스핀들속도 (rpm: S)	800 1000 1200 1400 1600	600 800 1000 1200 1400
이송속도 (mm/min: f)	100 200 300 400 500	100 200 300 400 500
연마방향	면 법선방향 (절삭 반대 방향)	

### 3.2 실험계획법

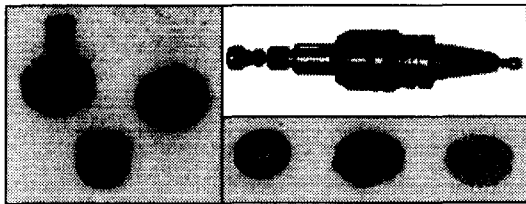
본 실험은 금형연마에 영향을 미치는 수많은 파라미터들간의 특성을 파악하기 위한 실험으로 실험의 효율성을 감안하여 수리적인 실험계획법을 사용함으로써, 보다 짧은 시간안에 보다 적은 실험횟수 및 실험 범위를 이용함으로써 최적에 가까운 연마조건을 설정하는데 있다.

본 실험의 특성치는 표면거칠기(Ra)와 연마횟수(N)의 두 가지로 설정하여 각각의 실험에 대한 연마조건들과 비교함으로써 얻고자하는 표면거칠기와 연마횟수에 대한 최적의 조건을 성취하는데 있다. 따라서, 본 금형 연마실험에서는 수많은 인자들이 존재하므로 이들 중 실험의 정도(precision)에 영향을 주는 가공수직력(F), 스피들속도(S), 이송속도(f)를 주요 인자로 선택하였다. 인자의 수준수는 5 수준으로 정하였고, 수준내의 최적이라고 생각되는 범위를 두어 설정하였다.

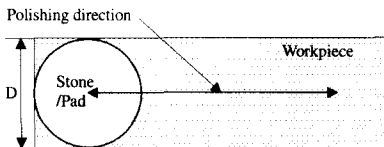
본 실험계획법의 방법은 전통적인 라틴방격법과 유사한 방법인 표준 직교배열법이다. 5 수준계의 L<sub>25</sub>(5<sup>6</sup>)형 직교배열표로 인자가 3 개이고, 실험 횟수가 25 회, 열의 수가 6 개인 L<sub>25</sub>(5<sup>6</sup>)형이고, 교호작용이 있는 경우이다. 대개 기계적인 가공실험에서는 광범위한 가공조건조합들로 인해 최적의 조건을 찾기에 실험상 어려움이 많다. 가공조건을 선정하기 위한 전통적인 방법으로는 과거의 실험 연구결과, 숙련공의 지식에 의한 경험 및 이를 토대로 추가적인 실험으로 가공조건을 선정해 왔다.

본 실험계획에 있어서는 이러한 가공조건

수많은 조합들내에 최적의 가공조건을 찾기 위해 통계적인 실험계획법인 직교배열법을 사용하여 보다 탐색영역을 확대하였으며, 실험의 횟수는 총  $5^3=125$  개의 조합인 실험조건중에서 1/5 적은 25 회이다. 본 실험계획법에서는 인자간의 교호작용의 여부를 확인하기 위해 스피들속도와 이송속도간의 교호작용을 고려한다. 따라서 본 연구에서는 3 축 머시닝 센터에 연마공구용 Attachment 를 부착하여 사용하였으며, 기계적인 특성에 따라 조금씩 가공 파라미터의 차이는 있지만, 과거의 실험결과를 기반으로 하여 각 파라미터의 수준을 설정하여 Table 2 에 나타난 바와 같이 예비실험을 실시하였다. Fig. 6(a)는 연마실험을 하기 위한 머시닝센터에 부착되는 연마공구용 Attachment, 연마공구 그리고 연마숫돌/패드로서 좌측 첫번째 것이 연마숫돌이며 다음 순으로 연마패드인 입도 200, 400 이고, (b) 는 예비실험을 위한 연마패턴을 보여주고 있다.



(a) 연마공구장착기(우측상단), 연마공구(좌측), 연마숫돌/패드(우측하단)



(b) 예비실험을 위한 연마패턴

Fig. 6 The polishing equipment and pattern used in polishing experiment

본 연구에서 거친 연마의 입도는 #100 를 사용하고, 고운 연마의 입도로는 #200, #400 을 사용한다. 실험계획에 사용되는 인자와 수준은 Table 2 에 나타난 바와 같다.

거친 연마는 절삭가공에서 생기는 커스프를 평탄화하는 시점의 표면거칠기를 기준으로 가장 적은 연마횟수를 가지는 연마조건을 찾는데 있고, 초기 거친 연마로 얻은 실험결과를 토대로 고운 연마를 수행함으로써 요구된 표면거칠기에 만족하는 최적 연마조건을 설정하는데 있다. 따라서, 거

친 연마에서 최적에 가까운 연마횟수가 선정된 가공조건에 대한 표면거칠기를 기반으로 각 입도별 고운 연마실험을 행한다.

Table 2 Factors and levels for rough polishing(#100) and smooth polishing(#200, #400)

		Factors			
		S	f	F	
Levels	0	R <sub>p</sub>	800	100	4.40
		S <sub>p</sub>	600		2.44
	1	R <sub>p</sub>	1000	200	4.57
		S <sub>p</sub>	800		2.94
	2	R <sub>p</sub>	1200	300	5.08
		S <sub>p</sub>	1000		3.30
	3	R <sub>p</sub>	1400	400	5.48
		S <sub>p</sub>	1200		3.43
	4	R <sub>p</sub>	1600	500	6.09
		S <sub>p</sub>	1400		3.80

- R<sub>p</sub>:Rough polishing  
 - S<sub>p</sub>:Smooth polishing  
 - S:Spindle velocity  
 - f:feed velocity  
 - F:Force

### 3.2.1 실험 분석

본 실험에서는 5 수준계의 직교배열표 형태인

$$L_{5m}(5^{(5m-1)/4}),$$

m: 2 이상의 정수, 5: 5 수준계를 나타내는 숫자  
 $5^m$ : 실험의 크기(실험횟수),  $5^m - 1$ : 열의 수  
 L: Latin Square(라틴방격법)의 머리글자로 나타내어진다.

따라서, 본 연구에서는 3 개의 인자와 1 개의 교호작용인 4 개 이상의 열의 수가 필요하므로, m=2 일때 열의 수가 6 인  $L_{25}(5^6)$  를 할당하면 된다.

인자가 A, B, C 이고 교호작용이 AXB 이므로 데이터의 구조식은

$$y_{ijk} = \mu + a_i + b_j + (ab)_{ij} + c_k + e_{ijk}$$

(i, j, k = 0, 1, 2, 3, 4)

$e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$  이고 서로 독립으로 표현할 수 있다.

본 실험계획은 제안된 연마방법에 따라 각 인자의 수준별 연마조건에 대해 적절한 연마횟수를 설정하는데 있으며, 이를 위해 예비실험을 실시하였다. 각 입도별 연마횟수의 설정방법은 거친 연마인 경우 커스프를 완전히 제거되는 연마횟수의 시점이며, 고운 연마인 경우 최종 표면거칠기 수준에 도달하는 연마횟수의 시점이다.

따라서, 예비실험에서는 연마조건별 연마횟수에 대한 거칠기 변화에 따른 실험데이터를 분석하여 특성치인 연마횟수를 선정한다.

실험 번호	연번호						실험 조건	인자			데이터(y) 연마횟수(N)
	1	2	3	4	5	6		S	f	F	
1	0	0	0	0	0	0	A <sub>0</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	800	100	4.40	4
2	0	1	1	1	1	1	A <sub>0</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	800	200	4.57	6
3	0	2	2	2	2	2	A <sub>0</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	800	300	5.08	3
4	0	3	3	3	3	3	A <sub>0</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	800	400	5.48	3
5	0	4	4	4	4	4	A <sub>0</sub> B <sub>4</sub> C <sub>4</sub>	800	500	6.09	4
6	1	0	1	2	3	4	A <sub>1</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	1000	100	6.09	2
7	1	1	2	3	4	0	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>0</sub>	1000	200	4.40	5
8	1	2	3	4	0	1	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	1000	300	4.57	10
9	1	3	4	0	1	2	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	1000	400	5.08	7
10	1	4	0	1	2	3	A <sub>1</sub> B <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	1000	500	5.48	9
11	2	0	2	2	1	3	A <sub>2</sub> B <sub>0</sub> C <sub>3</sub>	1200	100	5.48	3
12	2	1	3	3	2	4	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>4</sub>	1200	200	6.09	6
13	2	2	4	4	3	0	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>0</sub>	1200	300	4.40	5
14	2	3	0	0	4	1	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	1200	400	4.57	6
15	2	4	1	1	0	2	A <sub>2</sub> B <sub>4</sub> C <sub>2</sub>	1200	500	5.08	5
16	3	0	3	4	1	2	A <sub>3</sub> B <sub>0</sub> C <sub>2</sub>	1400	100	5.08	2
17	3	1	4	0	2	3	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	1400	200	5.48	3
18	3	2	0	1	3	4	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>4</sub>	1400	300	6.09	3
19	3	3	1	2	4	0	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>0</sub>	1400	400	4.40	4
20	3	4	2	3	0	1	A <sub>3</sub> B <sub>4</sub> C <sub>1</sub>	1400	500	4.57	4
21	4	0	4	3	2	1	A <sub>4</sub> B <sub>0</sub> C <sub>1</sub>	1600	100	4.57	3
22	4	1	0	4	3	2	A <sub>4</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	1600	200	5.08	3
23	4	2	1	0	4	3	A <sub>4</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	1600	300	5.48	3
24	4	3	2	1	0	4	A <sub>4</sub> B <sub>3</sub> C <sub>4</sub>	1600	400	6.09	4
25	4	4	3	2	1	0	A <sub>4</sub> B <sub>4</sub> C <sub>0</sub>	1600	500	4.40	4

배치: A B A X B e e C      T = ∑<sub>i=1</sub><sup>n</sup> y<sub>i</sub> = 111

(a) Rough polishing(#100)

실험 번호	연번호						실험 조건	인자			데이터(y) 연마횟수(N)
	1	2	3	4	5	6		S	f	F	
1	0	0	0	0	0	0	A <sub>0</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	600	100	2.44	6
2	0	1	1	1	1	1	A <sub>0</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	600	200	2.94	3
3	0	2	2	2	2	2	A <sub>0</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	600	300	3.30	6
4	0	3	3	3	3	3	A <sub>0</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	600	400	3.43	10
5	0	4	4	4	4	4	A <sub>0</sub> B <sub>4</sub> C <sub>4</sub>	600	500	3.80	4
6	1	0	1	2	3	4	A <sub>1</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	800	100	3.80	4
7	1	1	2	3	4	0	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>0</sub>	800	200	2.44	3
8	1	2	3	4	0	1	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	800	300	2.94	10
9	1	3	4	0	1	2	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	800	400	3.30	10
10	1	4	0	1	2	3	A <sub>1</sub> B <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	800	500	3.43	6
11	2	0	2	2	1	3	A <sub>2</sub> B <sub>0</sub> C <sub>3</sub>	1000	100	3.43	2
12	2	1	3	3	2	4	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>4</sub>	1000	200	3.80	4
13	2	2	4	4	3	0	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>0</sub>	1000	300	2.44	6
14	2	3	0	0	4	1	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	1000	400	2.94	10
15	2	4	1	1	0	2	A <sub>2</sub> B <sub>4</sub> C <sub>2</sub>	1000	500	3.30	10
16	3	0	3	4	1	2	A <sub>3</sub> B <sub>0</sub> C <sub>2</sub>	1200	100	3.30	4
17	3	1	4	0	2	3	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	1200	200	3.43	4
18	3	2	0	1	3	4	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>4</sub>	1200	300	3.80	6
19	3	3	1	2	4	0	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>0</sub>	1200	400	2.44	10
20	3	4	2	3	0	1	A <sub>3</sub> B <sub>4</sub> C <sub>1</sub>	1200	500	2.94	10
21	4	0	4	3	2	1	A <sub>4</sub> B <sub>0</sub> C <sub>1</sub>	1400	100	2.94	2
22	4	1	0	4	3	2	A <sub>4</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	1400	200	3.30	10
23	4	2	1	0	4	3	A <sub>4</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	1400	300	3.43	10
24	4	3	2	1	0	4	A <sub>4</sub> B <sub>3</sub> C <sub>4</sub>	1400	400	3.80	10
25	4	4	3	2	1	0	A <sub>4</sub> B <sub>4</sub> C <sub>0</sub>	1400	500	2.94	10

배치: A B A X B e e C      T = ∑<sub>i=1</sub><sup>n</sup> y<sub>i</sub> = 170

(b) Smooth polishing(#200)

Fig. 7 Orthogonal array table of L<sub>25</sub>(5<sup>6</sup>) type

After pooling					
Factors	S	∅	V	F <sub>0</sub>	ρ (%)
A	38.96	4	9.74	3.454*	27.2
B	17.76	4	4.44	1.575	6.4
ε	45.04	16	2.82		66.4
T	101.76	24			100

F(4,8;0.05) = 3.84, F(4,8;0.1) = 2.81

(a) Grain size 100

After pooling					
Factors	S	∅	V	F <sub>0</sub>	ρ (%)
B	132.8	4	33.2	4.9**	39.4
ε	135.6	20	6.78		60.6
T	268.4	24			100

F(4,8;0.05) = 3.84, F(4,8;0.1) = 2.81

(b) Grain size 200

After pooling					
Factors	S	∅	V	F <sub>0</sub>	ρ (%)
A	283.84	4	70.96	8.56**	46
B	99.04	4	24.76	2.99*	12.1
C	63.04	4	15.76	1.9	5.5
ε	99.52	12	8.29		36.4
T	545.44	24			100

F(4,8;0.05) = 3.84, F(4,8;0.1) = 2.81

(c) Grain size 400

Fig. 8 ANOVA table

Levels	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
Data Sum	20	33	25	16	17
Levels	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
Data Sum	14	23	24	24	26
Levels	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
Data Sum	22	29	20	21	19

(a) Grain size 100

Levels	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
Data Sum	29	33	32	34	42
Levels	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
Data Sum	18	24	38	50	40
Levels	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
Data Sum	35	35	40	32	28

(b) Grain size 200

Levels	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
Data Sum	64	42	52	16	29
Levels	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
Data Sum	36	36	30	42	59
Levels	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
Data Sum	54	36	42	41	30

(c) Grain size 400

Fig. 9 One-way table

Fig.7 은 입도 100 과 200 일 때, 직교배열표를 나타내고 있으며, 예비실험으로 인해 얻은 실험데이터를 L<sub>25</sub>(5<sup>6</sup>)형 직교배열표로 보여주고 있다. 입도 400 은 입도 200 과 동일한 방법으로 나타낸다. 인자의 배치는 스펀들속도(A 인자)를 열 번호 1 열에, 이송속도(B 인자)를 2 열에, 가압력(C 인자)을 6 열에 각각 배치하였고, 스펀들속도와 이송속도 간의 교호작용을 검출하기 위해 A×B를 3 열에 배치하였다.

### 3.2.2 분산분석 결과

본 실험에서의 Fig.8-9 는 각 입도별 직교배열표에 대한 분산분석을 행하였을 때의 결과이다.

Fig.8(a)는 거친 연마일때 입도가 100 인 경우 분산분석표를 나타낸 것이며, 각각의 인자와 교호작용에 대해 F-검정을 실시한 결과 주효과가 A 인자에서 유의하다고 볼 수 있으며, B 인자와 C 인자에서는 유의하지 않고, A×B 인 교호작용도 발생하지 않는다는 결론을 내릴 수 있다. 따라서, 이러한

결과로 최적조건을 선정하면, Fig.9(a)의 일원표와 같이 가장 적은 연마횟수의 합을 가지는 순으로 최적조건조합이  $A_3B_0C_4$ 가 되며, 스피들속도가 1400rpm 일 때가 좋으며, 이송속도는 100mm/min, 가압력은 6.09kgf/cm<sup>2</sup>일 때가 좋은 것으로 추측할 수가 있다.

Fig.8(b)는 고운 연마일 때 입도가 200 인 경우 분산분석표를 살펴보면, 주효과가 B 인자에서 유의하며, A 인자와 C 인자에서는 유의하지 않고, AxB 인 교호작용도 발생하지 않는다는 결론을 내릴 수 있다. 각 인자에 대한 최적조건은 Fig.9(b)의 결과에서처럼 연마횟수의 합이 가장 적은 주효과인  $B_0$ 를 기준으로  $A_0$ 수준과  $C_4$ 의 수준을 선정할 수 있다. 따라서 최적조건조합은  $A_0B_0C_4$ 가 되며, 이때 연마조건은 스피들속도가 600rpm 이고, 이송속도는 100mm/min 이며, 가압력은 3.80kgf/cm<sup>2</sup>이다.

Fig.8(c)는 고운 연마일 때 입도가 400 인 경우 분산분석표를 살펴보면, 주효과가 A 와 B 인자에서 유의하며, C 인자에서는 유의하지 않고, AxB 인 교호작용도 발생하지 않는다는 결론을 내릴 수 있다. 각 인자에 대한 최적조건은 Fig.9(c)의 결과에서처럼 연마횟수의 합이 가장 적은 주효과인  $A_3$

와  $B_2$ 수준을 기준으로  $C_4$ 의 수준을 선정할 수 있다. 따라서 최적조건조합은  $A_3B_2C_4$ 가 되며, 이때 연마조건은 스피들속도가 1200rpm 이고, 이송속도는 300mm/min 이며, 가압력은 3.80kgf/cm<sup>2</sup>이다.

본 실험계획법에서의 최적조건은 연마조건별 최종 표면거칠기에 미치는 연마횟수를 결정하는 실험이며, 이러한 결과를 토대로 초기 표면거칠기 수준과 최종 표면거칠기수준사이의 연마횟수별 변화추이를 토대로 연마조건별 신속한 초기 연마율을 가지는 연마조건을 추가로 선정할 필요성을 가진다. 따라서 실험계획법을 통해 얻은 입도별 최적조건을 기준으로 실험데이터를 분석하여 선정가능한 조건을 찾는다. 즉 거친 연마에서는 연마면의 평탄화를 위해 표면거칠기수준이 정해져 있으므로 따로 초기 연마율이 좋다고 판단되는 조건을 설정할 필요가 없으며, 고운 연마의 경우 실험계획법에서 연마조건별 표면거칠기와 연마횟수를 비교해 볼 때 연마횟수가 적으면 적을수록 연마율이 좋으므로, 기존의 실험계획법에서 얻은 최적조건을 기준으로 그 다음 최소의 연마횟수를 갖는 조건을 선정한다. 고운 연마의 경우 입도 200 일때 기존의 최적조건을 얻은 방법과 마찬가지로 다음

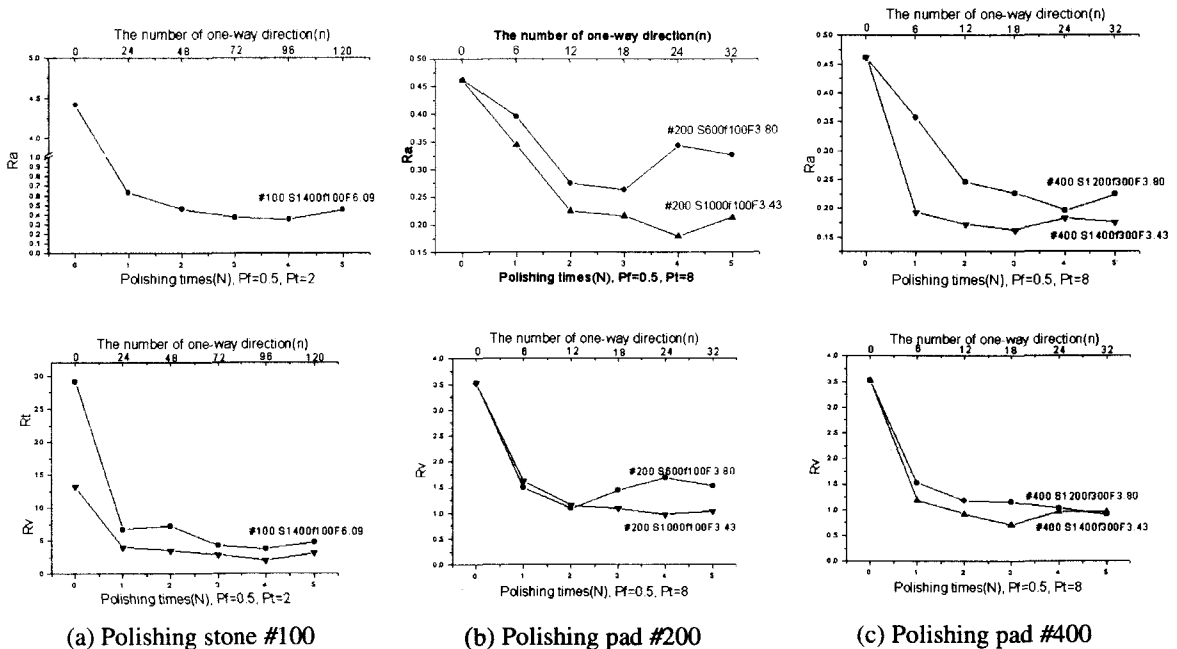


Fig. 10 Surface roughness graph ( $R_a$ ,  $R_v$ ) of polishing stone(#100) and pad(#200, #400)

으로 최소의 연마횟수의 합을 갖는 조건은  $A_2B_0C_3$ 가 되며, 입도 400인 경우에는  $A_4B_2C_3$ 가 됨을 알 수 있다. 즉 거친 연마인 경우 한가지 연마조건과 고운 연마인 경우 각각 두 가지 연마조건을 두어 실제 연마특성치로 활용한다. Fig.10은 실험계획법에 의한 최적에 가까운 연마조건을 토대로 실험을 통해 획득한 표면거칠기 그래프이다.

#### 4. 연마작업 지원 전문가시스템의 설계

##### 4.1 전문가시스템의 기능

본 연구에서 개발하고자 하는 전문가시스템의 기능은 Fig.11과 같다.

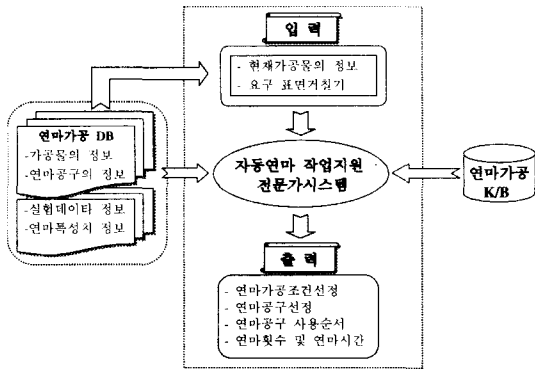


Fig. 11 A function of expert system aided polishing operation of mold and die

##### 4.2 기본적인 정보

전문가 시스템의 정보는 Fig.12에 나타낸 바와 같으며, 입력정보는 전가공면의 표면거칠기(Ra)와

최대골깊이(Rv)이며, 출력정보는 최적에 가까운 연마조건(스핀들속도(S), 이송속도(f), 가압력(F)) 선정, 연마공구선정, 연마공구사용순서 및 연마횟수(N)의 결정이다.

전문가 시스템의 설계에 필요한 정보는 가공물의 정보, 연마공구의 정보, 연마패턴의 정보를 들 수 있다. 가공물의 정보와 연마공구의 정보는 현재 연마작업에 있어서 작업자에게 연마진행상황을 보다 쉽게 인식시키는데 있으며, 연마패턴의 정보는 실제 기계적인 연마가공을 수행하는데 있어서 연마공구의 궤적으로 인해 생기는 가공물의 파상도를 최소화하는데 그 목적이 있다. 본 연구의 연마패턴은 프레스금형 및 플라스틱금형에 관련된 자동차관련부품업체등에 주로 사용되고 있는 싱글형태(평형 또는 격자)를 선정하여 사용한다.

시스템환경으로는 PC 상에서 Visual Basic 5.0 과 Access 97 및 CLIPS 6.05 를 사용하였다.

##### 4.2.1 가공물의 정보

금형에 가장 널리 사용되고 있는 재질은 공구강인 다이스강(SKD), 탄소공구강(SK)과 구조용합금강인 니켈 크롬 몰리브덴강재(SNCM), 알루미늄 크롬 몰리브덴강재(SACM), 크롬강재(SCr)로 분류되어진다<sup>(9)</sup>.

가공물의 정보는 금형의 사용용도와 요구되는 표면 거칠기에 따라 Fig.12와 같이 가공물 정보표현의 보기를 제시하고 있다.

##### 4.2.2 연마공구의 정보

연마공구의 정보는 Fig.12에서 나타낸 바와 같

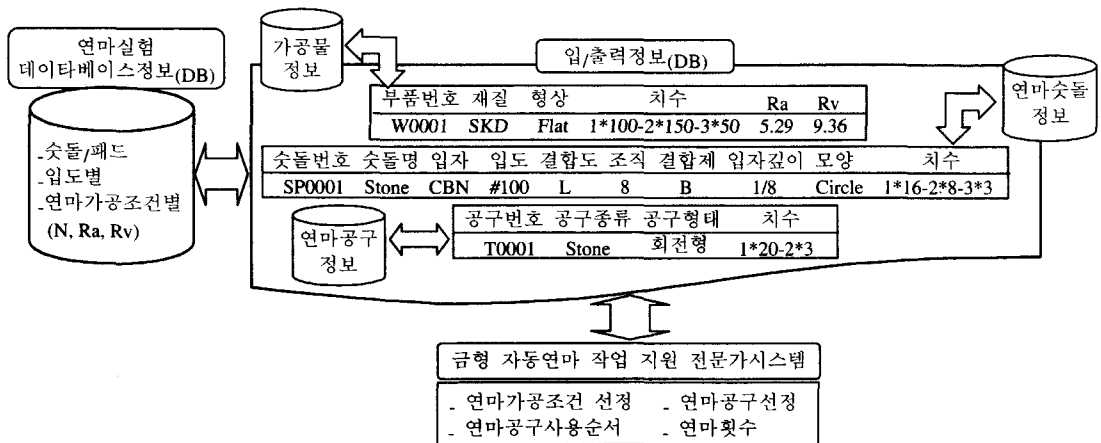


Fig. 12 Framework of an expert system



이 연마숫돌/패드와 연마공구의 정보로 구분한다. 연마숫돌/패드의 정보는 미국표준협회(ANSI Standard B74. 13-1977)에서 따르는 다이아몬드와 CBN(Cubic Boron Nitride =입방체 질화붕소)휠(Wheel)에 대한 표시방법과 한국 공업 규격(B 3618)에 의한 제품의 호칭방법을 따른다<sup>(10-12)</sup>.

연마공구의 정보는 정해진 표준 규격이 없으며, 공구개발업체에서 연마기의 사양에 맞게 개발하여 금형연마관련업체에 공급하고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 관련업체에 대한 설문조사 및 참고서적을 토대로 연마공구의 정보를 표현하였다.

### 4.3 전문가시스템개발의 기본개념

금형연마작업을 수행하기에 앞서 가공물의 전가공면에 존재하는 거칠기나 파손(scratch)을 제거하기 위해서 요구하는 목표 거칠기수준에 도달하도록 연마공구를 거친 입도(낮은 입도)에서 고운 입도(높은 입도)순으로 수행하며, 연마공구를 순차적으로 교환하면서 총 연마공정 및 연마시간이 최소가 되도록 연마공구를 선정하고, 이에 따른 연마공구별 사용순서, 연마횟수 및 연마조건(스핀들 속도(S), 이송속도(F), 가압력(F))을 설정하도록 전문가시스템을 개발하여 연마작업 효율을 향상시키는데 의의를 둔다.

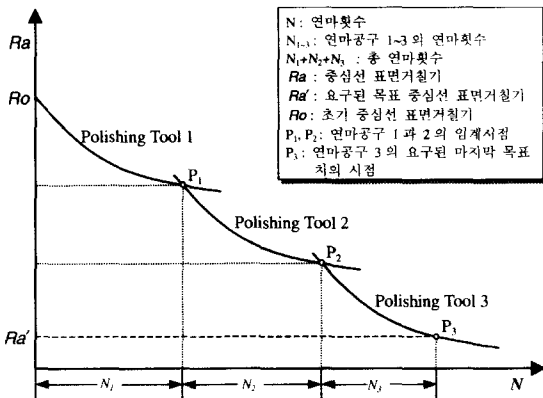


Fig. 13 Surface roughness and the number of polishing in polishing operation

이러한 연마작업 수행에 있어서 가장 중요한 요소로서 적절한 연마공구 교환시기를 결정하며, 이러한 결정은 최적의 임계연마횟수를 추정하는 것이다<sup>(2)</sup>. 따라서, 연마공구 교환시기를 결정하기

위한 방법으로 각 연마공구의 연마 파라메타에 대한 연마횟수에 따른 표면거칠기(Ra)곡선위의 변화량을 추이하고, 이에 따라 최종적으로 도달할 수 있는 최대골 깊이로서 임계연마횟수를 추정한다.

Fig.13은 연마작업에 있어서 각 연마공구별 입도에 따라 연마횟수에 대한 표면거칠기의 변화를 나타내고 있으며, 각 연마작업에 따른 연마공구의 선정시점을 나타내고 있다.

### 4.4 전문가 시스템의 구성

#### 4.4.1 지식획득 및 표현

전문가시스템의 기본적인 구성은 지식획득, 지식표현, 추론기구 등의 크게 세가지로 구성되어진다. 지식표현(Knowledge Representation)은 각 연마공구의 정보에 따라 서로 대응하여 표현되어지며, Table 3과 같이 If-then 형식의 프로덕션 룰(production rules)이 사용되어진다<sup>(4)</sup>.

Table 3 Production rules

If	전가공면(표면거칠기, 최대골깊이)
Then	후가공면(표면거칠기, 최대골깊이), 연마공구의 종류, 연마조건(이송속도(mm/min), 스펀들 속도(rpm), 가압력(kgf/cm <sup>2</sup> )), Traversing pitch 간격(Pt), 연마횟수(N)

앞서 언급한 세가지 기본적인 정보는 입력정보로서 전문가시스템 도구인 CLIPS의 facts 정보로 표현되어진다. 이러한 정보는 연마 실험데이터 정보와 연동되어진다.

Fig.14는 데이터베이스에 저장된 연마 실험데이터 정보를 전문가시스템 도구인 CLIPS의 facts 정보로서 연결시키기 위한 지식표현이다. 이러한 입도별 연마 실험데이터 정보(rules)는 CLIPS 내부의 추론엔진에 의해 활성화(activated)되어지며, 활성화된 정보(rules)는 우선 순위를 결정하기 위해 우선 순위 저장소(agenda)에 저장되어진다.

```
(defemplate Poli_Data ; 실험데이터정보
  (slot N (default integer) ; 연마횟수
  (slot Ra (default float) ; 중심선 표면거칠기
  (slot Rv (default float) ; 최대골 깊이
  (slot On_Poli_Rate (default float) ; 입도별 전체 연마율
  (slot In_Poli_Rate (default float) ; 입도별 내부 연마율

(defrule Data_info
  (Poli_Data (N ?n) (Ra ?ra) (Rv ?rv) (On_Poli_Rate ?onr)
  (In_Poli_Rate ?inr))
  =>
  (printout wdisplay (str-cat "Polishing Data Info. : "?n" "?ra" "?rv"
  "?onr" "?inr" ")))
```

Fig. 14 An example of information representation for data acquired by polishing experiment

```
(deftemplate Output_Poli_Data          : 연마 실험특성치 정보
  (slot ID (default integer))         : 일련번호
  (slot Poli_Type (default string))   : 입도별 연마조건
  (slot Ro (default float))           : 초기 표면거칠기
  (slot Re (default float))           : 최종 표면거칠기
  (slot Poli_Rate_On (default float)) : 입도별 전체 연마율
  (slot Poli_Rate_In (default float)) : 입도별 내부 연마율
  (slot PR_N (default integer))       : 입계 연마횟수
  (slot PR_Ra (default float)))       : 입계 표면거칠기

(defrule Output_Data_info
  (Output_Poli_Data (ID ?id) (Poli_Type ?pt) (Ro ?ro) (Re ?re)
   (Poli_Rate_On ?nro) (Poli_Rate_In ?nri) (PR_N ?prm) (PR_Ra ?prra))
 =>
  (printout wdisplay (str-cat "Polishing Data Output Info. : "?id" "?pt"
    "?ro" "?re" "?nro" "?nri" "?prm" "?prra" )))
```

Fig. 15 An example of information representation for polishing experiment characteristics

Fig.15는 Fig.14에 의해 얻은 연마 실험데이터 특성치 정보이며, 이러한 정보는 연마공구경로를 설정하기 위해 우선순위규칙과 연마율에 따라 상호 매칭(matching)되어지며, 경합해소(conflict resolution)를 통해 연마공구 경로생성 및 사용자가 알고자 하는 최적의 연마횟수를 결정하기 위한 정보로 사용된다.

지식획득(Knowledge Acquisition)으로는 머시닝 센터를 사용하여 자동연마실험을 행한 후 얻어지는 실험데이터를 토대로 지식을 획득한다. 자동연마실험에 사용된 연마숫돌로는 다이아몬드(Diamond)입자인 #100 입도를 사용했고, 연마시트(패드)로는 다이아몬드 입자인 #200, #400 입도를 사용했다. 전가공면의 표면거칠기와 최대골깊이상태에 따라 요구하는 표면거칠기와 최대골깊이값을 입력하면, 연마가공작업을 위한 연마조건, 연마공구의 종류, 작업순서, 연마횟수가 출력되어지고, 이러한 평가기준으로 연마횟수가 최소인 작업순서로 탐색을 행한다.

#### 4.4.2 최적 연마조건 선정

최적 연마조건 선정방법은 먼저 각각의 DB 내의 가장 좋은 연마율을 선정하여 초기 연마율에 대해 각각 비교하여 탐색공간을 최소화하고, 연마조건별 중첩 상태에 따른 우선 순위별 DB를 선정한다. 선정된 입도별 연마조건은 요구하는 표면거칠기의 만족 여부에 따라 가장 작은 연마횟수별로 화면에 전시되며 그 중 가장 작은 연마 횟수를 선정한다. 연마공구의 선정순서는 최종 표면거칠기를 기준으로 사용순서를 정하였다. 각 입도별 연마작업을 수행하기 위한 규칙은 작은 입도에서 높은 입도로 순차적으로 진행되어진다. 입도별 최

종 표면거칠기값에 따라 우선순위가 정해진다.

본 연구에서 초기 연마조건선정으로는 연마숫돌 #100을 기준으로 탐색해 나간다. 그 이유는 연마숫돌과 연마패드의 연마횟수에 대한 연마특성을 비교해 볼 때, 연마숫돌은 초기 제거율이 연마패드보다 우수하며, 연마횟수에 대한 비율면에서 초기 연마작업에 있어서는 보다 능률적이기 때문이다. 연마숫돌은 초기면을 연마할 때 주로 그 성능을 발휘하며, 연마패드는 연마면이 어느 정도 고르게 되었을 때 보다 나은 초 정밀 연마작업을 행하므로 그 장점이 있다고 하겠다. 초기 연마조건 및 연마공구선정에 있어서는 전가공면의 거칠기(Ro)에서부터 최종 표면거칠기(Re)까지의 연마조건들을 비교하여 그 중 제일 좋은 연마율을 가지는 조건을 기준으로 입계 표면거칠기시점을 정하고 기준이 되는 거칠기 범위와 연마횟수범위가 최소가 되는 연마조건을 선정하여 초기 연마조건으로 정한다.

Fig.16은 연마율에 따른 최적 탐색 영역에 대한 그래프이다.

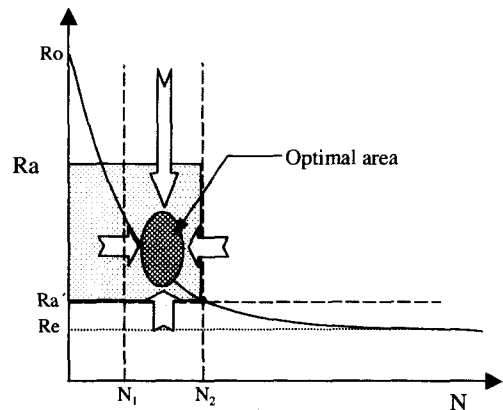
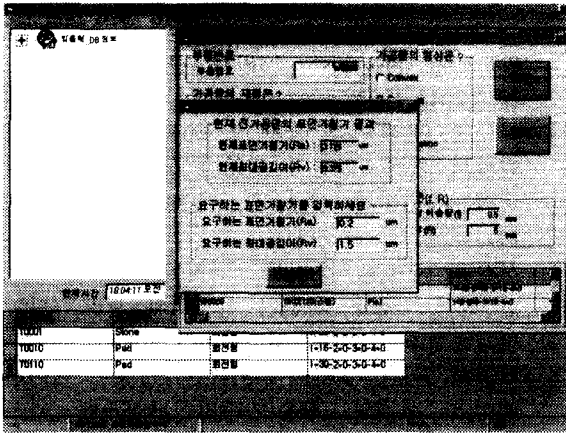


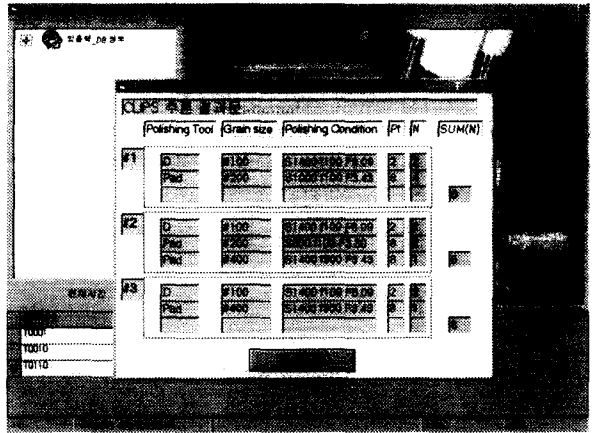
Fig. 16 The approach method for optimal search area following polishing rates

### 5. 시스템 적용 및 검증

본 연구에서는 실험 데이터 분석을 통해 얻은 연마조건별, 연마공구별 연마특성을 기반으로 개발된 전문가시스템의 예제이다. 대상 소재로는 금형강(STD11)을 평면 절삭 가공한 전가공면에 대해 연마를 실시하여 얻은 실험데이터를 사용하여 추론을 실시하였다. 시스템의 구동절차는 Fig.17과 같으며, Fig.17(a)는 작업자가 가공물정보를 토대로



(a) Input display for required surface roughness



(b) Output display for Inference result

Fig. 17 Display of an expert system

전가공면에 대한 이론적인 표면거칠기값의 정보를 전시해주고 있다. 또한 작업자가 요구하는 표면거칠기(Ra)와 최대골깊이(Rv)를 얻기 위한 입력부분이다. 그런 다음 추천시작이라는 버튼을 누르고 나면, 전문가시스템내부에서 추천과정을 거치게 된다. Fig.17(b)는 전문가시스템의 추천결과를 전시해 주고 있다. 본 시스템의 결과화면에서는 연마횟수의 최소 순위에 따른 연마공정을 전시하고 있으며, 그 중 세가지 공정을 선택하여 보여주고 있다. 마지막 전시된 #3이 가장 적은 연마횟수를 나타내고 있으며, 각각의 연마공정에 따라 총 연마횟수는 6회, 5회, 3회임을 알 수 있다.

Fig.18은 전문가시스템의 추천결과에 따른 경합해소(conflict resolution)를 그래프로 나타내고 있으며, 요구하는 목표치내에 연마공구가 도달하고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 전문가시스템의 추천에 따른 결과치가 어느 정도 신뢰성이 있는지를 확인하기 위해 실험을 실시하였다. Fig.19는 전문가시스템의 추천 결과치와 실험을 통해 얻은 결과치에 대한 그래프이다. 본 실험에서는 전가공면의 표면거칠기(Ra)가 4.37 $\mu$ m, 최대골 깊이(Rv) 12.9 $\mu$ m였으며, 전문가시스템과 동일한 조건으로 요구 표면거칠기 값인 표면거칠기(Ra) 0.2 $\mu$ m, 최대골 깊이(Rv) 1.5 $\mu$ m 이내에 들도록 연마실험을 실시한 결과이다.

Fig.19에서는 전문가시스템에서 얻은 세가지 연마공정별 표면거칠기의 변화상태를 실험을 통해 모두 전시하고 있으며, 추천결과와 실험결과에 대해 그래프로 비교한 결과, 두 결과가 거의 일치하

고 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 금형 연마작업을 위해 작업자에게 보다 능률적인 작업을 성취할 수 있도록 전문가시스템의 유효성을 확인하였다.

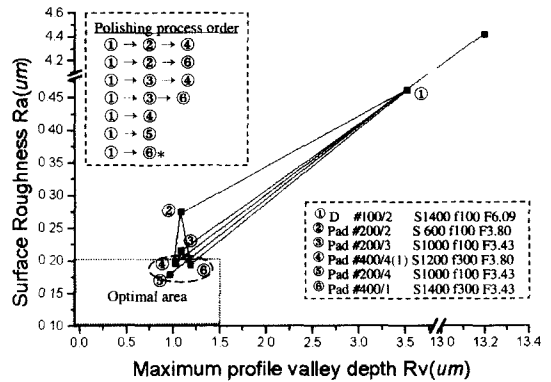


Fig. 18 Resolutions estimated by expert system

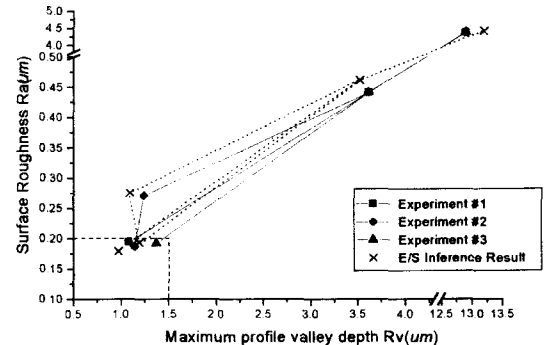


Fig. 19 Comparison between experiment result and inference result

## 6. 결론

본 연구에서는 금형 숙련공의 경험적 지식과 Know-how 를 기초로 설문조사를 실시하였으며, 실제 금형연마작업에 미치는 연마조건들 그리고 숙련공과 비숙련공간의 연계관계 등을 분석하여 비숙련공이라도 작업의 특성과 지식을 제공해 줄 수 있고, 또한 작업자가 사용하기 쉬운 금형 자동연마작업 지원 전문가시스템을 구축하였다.

본 연구에서는 금형 연마작업을 위해 3축 머시닝 센터에 연마용 Attachment 를 부착하여 평면을 대상으로 실험을 실시하였다. 본 실험에서는 실험조건별 데이터의 특성치를 토대로 지식베이스를 설계하였으며, 요구하는 표면거칠기에 도달하기 위해 전 가공면의 거칠기를 능률적으로 제거하여 연마작업시간을 최소화하는 전문가시스템을 설계하였으며, 이를 검증하였다.

향후과제로는 전문가시스템의 수행도를 높이기 위한 확장된 데이터베이스 구축과 가공물의 다양한 형상에 대한 연마공구 및 연마패턴의 결정 등이다.

## 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터(ERC/NSDM)의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. T. Sasaki, T. Miyoshi, K. Saito and O. Kaihoi, "Knowledge Acquisition and Automation of Polishing Operations for Injection Mold (1st Report) – Hand Polishing Properties of a Skilled Machinist –," JSPE, Vol. 57, No. 3, pp. 497-503, 1991.
2. T. Sasaki, T. Miyoshi, K. Saito and M. Katoh, "Knowledge Acquisition and Automation of Polishing Operations for Injection Mold (2nd Report) – Expert System for Mold and Die Polishing Operation –," JSPE, Vol. 57, No. 12, pp. 2151-2156, 1991.
3. T. Sasaki, T. Miyoshi, K. Saito and S. Okada, "Knowledge Acquisition and Automation of Polishing Operations for Injection Mold (3rd Report)

- Development and Construction of Automatic Polishing Apparatus –," JSPE, Vol. 58, No. 12, pp. 2037-2043, 1992.
4. 이두찬, 정해도, 안중환, T. Miyoshi, "자동금형 연마의 최적조건선정 전문가시스템 개발," 한국정밀공학회지, 제 14 권, 제 10 호, pp. 58-67, 1997.
5. 신상용, 강종표, 송지복, "퍼지의사결정을 이용한 연삭 가공용 전문가 시스템의 개발," 한국정밀공학회지, 제 12 권, 제 6 호, 1995.
6. 김건희, 稻崎一郎, 이재경, "연삭가공용 데이터 베이스 설계와 활용(기존지식베이스에 관하여)," 한국정밀공학회지, 제 11 권, 제 1 호, 1994.
7. 김동원, "기계공작법," 청문각, pp.441~448, 1995.
8. 박준민, "금형의 복합연마 특성에 관한 연구," 부산대학교 대학원, 기계공학과, p.17, 1998.
9. 남기준 譯, "연삭기 활용 매뉴얼," 성안당, 1997.
10. E. Oberg, F. D. Jones and H. L. Horton, "Machinery's Handbook 23 revised Edition," Industrial Press Inc., pp. 1038-1097, 1988.
11. T. J. Drozda and C. Wick, "Tool And Manufacturing Engineers Handbook : Volume I Machining," Society of Manufacturing Engineers, Michigan, USA, pp. 11-16, 1988.
12. 한국산업표준심의회 공작기계부회, "한국공업규격," 한국표준협회.