

퍼지 의사결정을 이용한 연삭 가공용 전문가 시스템의 개발

신 상 용,* 강 종 표,** 송 지 복***

A development of the Grinding Expert System by Fuzzy Decision Making

Sang-Ryong Shin,* Jong-Pyo Kang,** Ji-Bok Song***

ABSTRACT

Grinding is used for machining high precision parts with high additional value. However, the grinding operation needs high skill and long experience of an operator because of a lack of the scientific knowledge and engineering principles. Also, the wheel and grinding conditions affect grinding results. For these reasons, it is difficult to construct computer integrated manufacturing system(CIMS). Therefore, it is necessary for Expert System to be informed of qualitative knowledge of grinding expert's skills and experiences. In this research, the Grinding Expert System is constructed by Fuzzy Decision Making Algorithm. Using this system, unskilled workers will be able to use the knowledge and experience of an expert.

Key words : 연삭가공 전문가 시스템(Grinding Expert System:GES), 지식 베이스(Knowledge Base), 추론기관(Inference Engine), 퍼지 의사결정(Fuzzy Decision Making), 다기준 의사결정(Mult Attribute Decision Making)

1. 서 론

최근의 생산가공 기술분야는 컴퓨터 통합생산 시스템(CIMS)에 의한 높은 부가가치를 가진 고정밀, 고능률화에 주목하고 있다. 이와 같은 것을 실현하기 위해서는 가공 기술 분야의 전문가가 가진 경험이나 기능 등의 정성적 지식을 정보화하여 전문가가 행하는 것과 같은 효과를 발휘하는 전문가 시스템의 개발이 요구된다.

「전문가 시스템이란 전문가의 지식을 컴퓨터라는 도구를 이용하여 재 구성하고 이를 토대로 추론(reasoning)하여 정보를 습득하는 시스템」을 말하는 것으로^(1~2) 현재 절삭가공에 관해서는 많은 전문가 시스템이 개발된 반면^(3~4) 연삭가공에 관한 전문가 시스템은 몇몇 연구가 있지만 아직 많은 연구가 요구되고 있다.^(5~9) 그 이유는 고품질, 고정도를 필요로 하는 경우에 효과적 가공방법인 연삭가공은 실제 작업에 관계되는 인자가

* 현대중공업 연구소
 ** 진주교육대학교 실업교육과
 *** 부산대학교 정밀기계과

않으며, 그 인자들 간의 상호관계가 정량적인 것보다는 정성적으로 나타나며, 과학적 지식이나 공학적 원리보다는 현장 숙련자의 경험이나 기능의 노-하우에 많이 의존하기 때문에 가공조건 및 결과의 재현성을 얻기 힘들게 기인하는 것으로 보인다. 이러한 경험적·정성적인 연삭지식의 획득 및 처리의 곤란으로 인하여 연삭가공 전문가 시스템의 개발이 늦어지고 있는 가장 큰 이유일 것이다.

본 연구에서는 연삭방식, 피삭재, 표면 거칠기가 제시 되었을 때 연삭가공에 관계되는 작업인자들의 상호관계와 그 특성에 관한 전문가들의 지식을 퍼지 이론을 바탕으로 처리하여 요구되는 표면 거칠기를 만족하는 범위에서 최대의 연삭능률을 얻을 수 있는 효과적인 연삭조건을 선정하는 것을 목적으로, 연삭 작업의 범용화를 위한 최적 연삭 슷들선정 및 드레싱 조건과 가공조건 설정을 위한 연삭가공 전문가 시스템을 구축하였다.

2. 연삭가공용 전문가 시스템의 구축

2.1 전문가 시스템의 특성

Fig. 1은 일반적인 연삭작업 과정을 나타낸 것이다. 먼저 연삭가공 숙련자는 가공 목적 인자에 따라 경험에서 얻은 지식을 바탕으로 연삭스틀을 선정하고, 연삭조건, 드레스 및 드레싱 조건 등을 선정하여 연삭작업을 실시한다. 이때 만족된 결과를 얻을 수 없을 때는 연삭조건을 조정하면서 작업을 계속한다.

이에 비해 연삭가공 전문가 시스템은 컴퓨터에 연삭작업에 관련된 지식을 저장해 두고 가공목적에 적절한 제 인자를 설정하는데 이용할 수 있다는 것이다. 이러한 시스템을 이용함으로써 연삭작업에 대한 전문적인 지식이나 기능이 없는 초보자도 숙련자와 동일한 결과를 얻을 수 있도록 연삭조건을 설정할 수 있다. Fig. 2는 연삭가공 전문가 시스템(Grinding Expert System :GES)의 흐름을 나타낸 것으로서, 연삭가공 전문가와 관련 서적에서 얻은 지식을 기초로 하여 구성된 전문가 시스템을 컴퓨터에 저장하고 연삭 가공 목적에 따라 입력된 조건들을 매칭시켜 연삭 가공 목적에 가장 적절한 연삭스틀, 연삭 조건 등을 선정하고 이를 연삭기에 적용하는 것이다.

이와같은 전문가 시스템은 지식 베이스(knowledge base)와 추론기관(inference engine)으로 구성되는데, 지식 베이스는 특정 분야에 관한 정보와 규칙으로

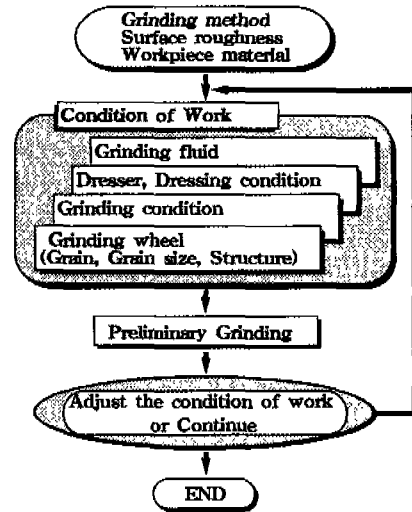


Fig. 1 Processes of general grinding work

이루어지는 데이터 베이스로서, 그 분야의 전문가와 관련 서적으로부터 획득한 사실과 문제 해결 규칙들이 적절한 지식 표현 기법에 의하여 저장된 지식의 집합이다. 또 추론기관은 지식 베이스에 저장된 지식에서 요구하는 대상과 일치하는 것이 있는가를 찾아가는 실행 조절기관이다.

2.2 연삭가공 전문가 시스템 구축용 도구(tool)

본 연삭가공 전문가 시스템을 구축하는데 사용된 도구는 NASA/Johnson Space Center의 Artificial Intelligence Section에서 개발한 CLIPS를 사용하였다. CLIPS는 다른 절차형 언어(Fortran, Pascal, C 등)와는 달리 사실이 실행에 관여하는 자료 처리형 언

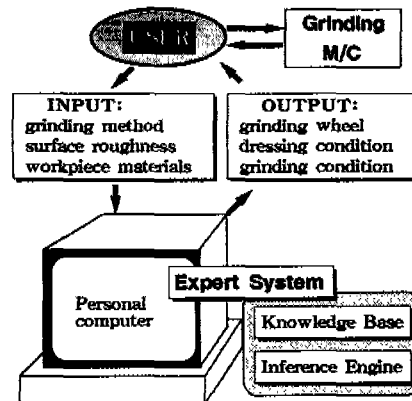


Fig. 2 Flow of the Grinding Expert System

어으로써, 그 기본 요소는

1. 사실 리스트(facts list) : 자료를 위한 전체 기억공간.
2. 규칙 베이스(rules base) : 모든 규칙을 포함.
3. 추론기관(inference engine) : 전체적인 실행을 조절.

여기서 사실리스트(facts list)는 데이터의 기본 형태으로써 어떤 사실이 리스트에 존재하는지의 여부에 따라 규칙의 실행이 결정된다. 또 규칙은 지식의 표현 방법으로써 조건과 조건이 만족되면 실행되는 절차적 언어의 IF-THEN 문장과 유사하다. 추론 방법으로써는 제시된 조건에 대하여 결론을 제공하는 전향 추론기법(forward chaining method)을 이용하였다.⁽¹⁰⁾

2.3 퍼지 의사결정

여러가지 애매한 기준에 대하여 최적의 목적치를 획득하는데 이용할 수 있는 방법이 퍼지추론이다. 퍼지 추론의 다기준 의사결정법인 MADM(Multi-Attribute Decision Making)⁽¹¹⁻¹³⁾이론은 획득하고자 하는 어떤 목적에 관하여 관계되는 여러가지 기준이 존재할 때 이 기준들을 모두 고려하여 원하는 목적에 대한 최적의 의사결정을 행하는 기법으로써 목적에 대한 각 기준들의 중요도(가중치 X_i)를 부여하고, 평가치(만족도 R_i)를 획득하여 가중 퍼지합의 연산을 행하여 목적치를 구하는 최적화 기법이다. 이렇게 함으로써 정량화 하기 어려운 정성적 지식의 처리가 가능하게 된다. Fig. 3에 MADM의 수행과정을 나타내었다.

- 퍼지 의사결정방법은 다음과 같이 4 단계로 실행된다.
- 1) 각 기준(평가항목)에 대한 중요도를 전문가로 부

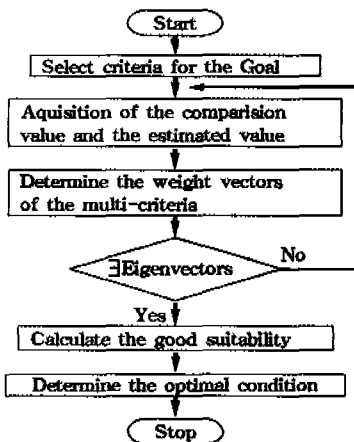


Fig. 3 Flow chart of MADM (Multi-Attribute Decision Making)

터 획득하여 비교행렬을 작성한다.

- 2) 비교행렬의 고유치와 고유벡터를 계산하여 각 기준의 가중치를 구한다.
- 3) 전문가로 부터 각 조건에 대한 평가치를 획득한다.
- 4) 가중치와 평가치를 이용하여 적합도를 계산하고 최적의 의사결정을 한다.

먼저 전문가에게 “평가항목 X_i 는 X_j 에 비하여 얼마나 중요한가?”를 질문하여 비교값 a_{ij} 를 얻고, 이 값으로 $n \times n$ 의 비교행렬 $W=(a_{ij})$ 를 작성한다. 이때 $a_{ii} = 1, a_{ji} = 1/a_{ij}$ 이다. 또 비교값 a_{ij} 가 평가항목 X_i, X_j 의 각 중요도의 비를 추정한다면 가정된 행렬 W 의 요소 a_{ij} 를 w_i/w_j 로 치환하여 비교행렬을 대칭행렬로 만들면 아래 행렬과 같이 된다.

$$[W] = \begin{bmatrix} (A) & (B) & \dots & (E) \\ 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_{n-1}/w_2 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

$$\{X\} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{Bmatrix} \quad (1)$$

여기서 (A), (B)....(E)는 평가항목으로 각각 연삭입자(A), 입도(B), 결합도(C), 조직(D) 등이 되고, 이때 w_1/w_2 는 연삭입자에 대한 입도의 중요도를 나타낸다. 위 비교행렬의 고유치와 고유벡터를 계산하기 위하여 벡터 X 를 곱하여 식(2)와 같은 관계가 성립될 때 λ_{max} = 최대 고유치, X = 고유벡터가 된다.

$$WX = \lambda X \quad (2)$$

위 식에서 고유벡터 X 가 각 기준에 대한 가중치이다. 그런데 상대적인 중요도를 나타내는 식(1)의 비교행렬의 요소값은 확정적인 값이 아니라 애매함을 포함하는 정성적인 지식이다. 이러한 애매한 지식을 정량적으로 표시할 수 있는 것이 삼각퍼지숫자(triangular fuzzy number)이다. 삼각퍼지숫자의 표현 및 멤버십

함수를 Fig. 4에 나타내었다. 이와같은 삼각퍼지숫자를 요소로써 가진 비교행렬의 최대고유치와 고유벡터를 구해보면 고유벡터가 삼각퍼지 숫자로 나타난다. 따라서 각 평가 항목에 대한 가중치가 퍼지숫자로 나타나게 될 수 있다. 이렇게 가중치가 구해지면 가중치와 평가치를 이용하여 적합도를 계산한다. 이때 평가치도 역시 삼각퍼지숫자로 이루어져 있어야 한다. 적합도를 나타내는 방정식은 다음과 같다.

$$Z = \sum (R_i \times X_i) \quad (3)$$

여기서 R_i : 목적에 따른 평가치

X_i : 조건에 대한 가중치

이러한 적합도 Z 값 중에서 최대인 것이 바로 최적 값을 나타낸다.

3. 퍼지 의사결정에 의한 연삭 숫돌의 적합도 판정

연삭숫돌을 구성하는 인자는 연삭입자, 입도, 결합도, 조직, 결합제이다. 이러한 인자들은 연삭방식이나 요구되는 가공정도에 따라 그 중요도가 다르고, 연삭 결과에 대하여 구성인자들이 상호 복합적으로 작용한다. 숫돌선택의 일반적인 기준은 첫째 가공정도이고, 둘째 연삭량, 셋째 숫돌의 마멸이다. 그러나 실제 연삭 숫돌을 선택하는데 있어서 연삭방식, 연삭조건, 공작물의 재질 등을 모두 고려한 과학적 선택 기준이 세부적으로 설정되어 있지 못하고 연삭 숙련자의 경험에 기초하여 숫돌을 선정하고 있다. 따라서 숫돌을 선택할 때 요구하는 목적에 영향을 미치는 여러가지 인자들을 동시에 고려하여 최적의 숫돌을 선택할 수 있는 지식처리가 필요하다. 이와같이 애매하고 복잡한 연삭 숫돌 선택과 같은 곳에 2, 3절에서 기술한 MADA이론을 도입하는 것이 적절하다. 먼저 연삭가공 전문가로부터 연삭입자(A), 입도(B), 결합도(C), 조직(D)의 각 기준에 대한 상대적 중요도를 얻어 Table 1과 같이 비교행렬(W)을 작성하였다.

그런데 연삭 전문가가 가지고 있는 지식은 정성적인

Table 1 Comparison matrix of characteristics with respect to wheel selection

Element	Grain	Grain size	Grade	Structure
Grain	1	1	3	5
Grain size	1	1	3	5
Grade	1/3	1/3	1	3
Structure	1/5	1/5	1/3	1

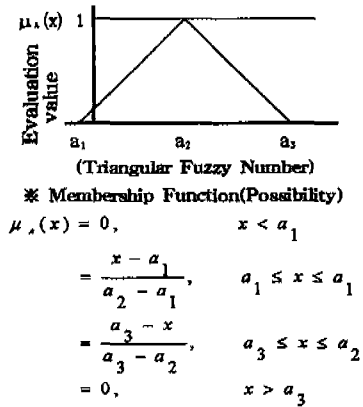


Fig. 4 Triangular Fuzzy number representation and Membership function

지식이므로 애매한 지식의 처리 및 표현이 요구되고 정량화로 나타내어야 하는데, 본 연구에서는 이러한 정량화를 위하여 삼각퍼지숫자로 나타내어 처리하였다. Table 2는 다듬질 연삭의 경우이고, Table 3은 거친 연삭의 경우에 대하여 전문가로부터 얻은 각 기준의 중요도이다.

위의 비교행렬을 능승법(power method)에 의해 구한 고유벡터를 다듬질 연삭과 거친 연삭의 경우에 대하여 나타낸 것이 Table 4이다.

Table 2 Comparison of characteristics with respect to finish grinding

Wheel	Grain	Grain Size	Grade	Structure
Grain	(1 1 1)	(2/5 1/2 2/3)	(1/2 2/3 1)	(1 3/2 2)
Grain size	(3/2 2 5/2)	(1 1 1)	(1 3/2 2)	(2 5/2 3)
Grade	(1 3/2 2)	(1/2 3/2 2)	(1 1 1)	(3/2 2 5/2)
Structure	(1/2 2/3 1)	(1/3 2/5 1/2)	(2/5 1/2 2/3)	(1 1 1)

Table 3 Comparison of characteristics with respect to rough grinding

Wheel	Grain	Grain Size	Grade	Structure
Grain	(1 1 1)	(1/2 2/3 1)	(1/2 2/3 1)	(1 1 1)
Grain size	(1 3/2 2)	(1 1 1)	(1 3/2 2)	(1 3/2 2)
Grade	(1 3/2 2)	(1/2 2/3 1)	(1 1 1)	(1 3/2 2)
Structure	(1 1 1)	(1/2 2/3 1)	(1/2 2/3 1)	(1 1 1)

Table 4 The eigenvectors for comparison matrix by power method

Eigenvectors	Finish grinding (R_{max} 6.0 down)	Rough grinding (R_{max} 6.0 up)
Wheel		
Grain	.156 .193 .251	.179 .199 .246
Grain size	.339 .412 .491	.249 .332 .415
Grade	.205 .258 .319	.211 .271 .347
Structure	.118 .139 .178	.179 .199 .249

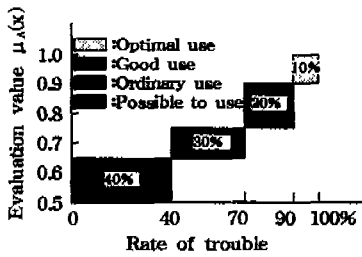


Fig. 5 Evaluation value and percentage of occurrence of the grinding trouble

위의 가중치를 살펴보면 숫돌의 선정에 있어서 연삭 입자보다는 입도와 결합도가 큰 영향을 보인다는 것을 알 수 있다. 가중치가 계산되면 각 기준에 대하여 역시 연삭 전문가로부터 각 목적에 대한 평가치를 얻어야 한다. 평가치는 Fig. 5에 나타난 것처럼 0과 1사이의 값으로 실제 연삭 가공시 사용된 숫돌 인자에 대하여 발생하는 연삭 트러블의 발생빈도를 고려하여 만족되는 정도를 나타내는 것으로 최적사용(0.9~1.0)은 약 10% 정도의 숫돌결손발생하는 경우이고, 자주사용(0.75~0.9)은 약 20%정도, 보통사용(0.65~0.75)은 약 30%정도, 사용가능(0.5~0.65)은 약 40% 정도로 각각 숫돌결손이 일어날 때를 기준으로 하여 얻어진 것이다.

Table 5와 6에는 공작물 재질에 대한 연삭입자의 평가치를 다듬질 연삭과 거친 연삭의 경우에 대하여 나타내었고, Table 7과 8에는 재질에 대하여 입도의 평가치를, Table 9와 10에는 재질에 대한 조직의 평가치를

Table 5 Quantified judgement of grain size with respect to finish grinding

Grain Material	Estimated Value					
	A	WA	HA	C	GC	
Mild steel	.90 .95 1.0	.75 .80 .85 .80 .85 .90	-	-	-	-
Hardened Steel	.55 .60 .65 .70 .75 .80 .90 .95 1.0	-	-	-	-	-
Alloy Steel	.55 .60 .65 .75 .80 .85 .85 .90 .95	-	-	-	-	-
Tool Steel	-	.65 .70 .75 .85 .90 .95	-	-	-	-
Stainless steel	-	.80 .95 1.0 .85 .90 1.0	-	-	-	-
Cast Iron	-	-	-	.75 .80 .85 .85 .90 .95	-	-

Table 6 Quantified judgement of grain size with respect to rough grinding

Grain Material	Estimated Value					
	A	WA	HA	C	GC	
Mild steel	.90 .95 1.0	.75 .80 .85 .80 .85 .90	-	-	-	-
Hardened Steel	.55 .60 .65 .70 .75 .80 .90 .95 1.0	-	-	-	-	-
Alloy Steel	.50 .55 .60 .75 .80 .85 .85 .90 .95	-	-	-	-	-
Tool Steel	-	.65 .70 .75 .85 .90 .95	-	-	-	-
Stainless steel	-	.75 .80 .85 .85 .90 .95	-	-	-	-
Cast Iron	-	-	-	.60 .65 .70 .55 .60 .65	-	-

다듬질 연삭과 거친연삭에 대하여 각각 나타내었다. 또 Table 11에는 표면거칠기와 입도에 대한 평가치를 나타내었다. 이러한 평가치가 모두 퍼지삼각숫자로 나타나 있음을 알 수 있다.

앞의 각 table에 나타난 평가치와 table 4의 가중치를 이용하여 원통 플랜지 연삭에서 로크웰 경도 C 스케

Table 7 Quantified judgement of grade with respect to finish grinding

Grade Material	Estimated Value				
	I	J	K	L	M
Mild steel	-	-	.50 .55 .60 .60 .65 .70 .75 .80 .85	-	-
Hardened Steel	.50 .55 .60 .60 .65 .70 .60 .65 .70 .80 .85 .90 .70 .75 .80	-	-	-	-
Alloy Steel	.45 .50 .55 .60 .65 .70 .70 .75 .80 .75 .80 .85 .65 .70 .75	-	-	-	-
Tool Steel	.45 .50 .55 .60 .65 .70 .70 .75 .80 .80 .85 .90 .75 .80 .85	-	-	-	-
Stainless steel	-	.55 .60 .65 .65 .70 .75 .75 .80 .85 .70 .75 .80	-	-	-
Cast Iron	-	.55 .60 .65 .60 .65 .70 .65 .70 .75 .80 .85 .90	-	-	-

Table 8 Quantified judgement of grade with respect to rough grinding

Grade Material	Estimated Value				
	I	J	K	L	M
Mild steel	-	-	.80 .85 .90 .75 .80 .85 .55 .60 .65	-	-
Hardened Steel	.70 .75 .80 .80 .85 .90 .60 .65 .70 .55 .60 .65	-	-	-	-
Alloy Steel	.70 .75 .80 .80 .85 .90 .80 .85 .90 .60 .65 .70 .55 .60 .65	-	-	-	-
Tool Steel	.65 .70 .75 .80 .85 .90 .75 .80 .85 .65 .70 .75 .60 .65 .70	-	-	-	-
Stainless steel	.65 .70 .75 .75 .80 .85 .65 .70 .75 .55 .60 .65 .45 .50 .55	-	-	-	-
Cast Iron	-	-	.65 .70 .75 .65 .70 .75 .80 .85 .90	-	-

Table 9 Quantified judgement of grade with respect to finish grinding

Structure Material	Estimated Value					
	C	M	W			
Mild steel	.70 .75 .80 .65 .70 .75	-	-	-	-	-
Hardened Steel	.70 .80 .85 .60 .70 .75	-	-	-	-	-
Alloy Steel	.80 .85 .90 .75 .80 .85 .55 .67 .89	-	-	-	-	-
Tool Steel	.75 .80 .85 .65 .70 .75	-	-	-	-	-
Stainress steel	.70 .75 .80 .65 .70 .75	-	-	-	-	-
Cast Iron	.70 .75 .80 .65 .70 .75	-	-	-	-	-

Table 10 Quantified judgement of grade with respect to rough grinding

Structure Material	Estimated Value		
	C	M	W
Mild steel	-	.70 .75 .80 .65 .70 .75	-
Hardened Steel	-	.70 .75 .80 .75 .80 .85	-
Alloy Steel	-	.75 .80 .85 .80 .85 .90	-
Tool Steel	-	.65 .70 .75 .75 .80 .85	-
Stainress steel	-	.65 .70 .7 .70 .75 .80	-
Cast Iron	-	.70 .75 .80 .65 .70 .75	-

Table 11 Quantified judgement of grade with respect to finish grinding

Grain size	Estimated Value										
	0.4	0.8	0.8	1.5	1.5	3.0	3.0	6.0	6.0	12	
54	-	-	-	-	-	.55	.60	.65	.80	.85	.90
60	-	-	-	-	-	.65	.70	.75	.70	.75	.80
70	-	-	-	.50	.55	.60	.70	.75	.80	-	-
80	-	-	-	.70	.75	.80	.75	.80	.85	-	-
90	-	-	-	.75	.80	.85	-	-	-	-	-
100	-	.50	.55	.60	.85	.90	.95	-	-	-	-
120	.55	.60	.65	.70	.75	.80	-	-	-	-	-
150	.70	.75	.80	.85	.80	.85	-	-	-	-	-
180	.85	.90	.95	.87	.90	.95	-	-	-	-	-
220	.90	.95	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Table 12 Grinding condition for surface roughness at cylindrical grinding

Conditions	Grinding condition	
	(for finish grinding)	(for rough grinding)
Wheel speed [rpm]	2000	2700
Work speed [m/min]	15~30	30~40
Depth of cut [mm]	0.004~0.01	0.02~0.05
Feed of Table[mm/sec]	0.01~0.04	0.12~0.20

일 값으로 75이상인 열처리된 강을 표면 거칠기 R_{max} 3.0 μ m의 다듬질연삭과 R_{max} 7.5 μ m의 거친연삭에 대하여 계산한 적합도와 세로축에 그 숫들의 만족도를, 가로축에 해당작업의 만족도를 나타낸 것이 Fig. 6이다. 여기서 멤버쉽함수에 대한 0.5-cut을 행한 경우는 선정된 숫들을 보다 확정적인 범위에서 해당작업에 대한 적합도를 비교할 수 있다.

여기에 나타난 적합도에서 첫번째 숫들을 선택하는 것이 가장 바람직할 것이고 만약 준비되어 있지 않다면

Table 13 Grinding condition for surface roughness at plane grinding

Roughness Conditions	Grinding condition	
	(for finish grinding)	(for rough grinding)
Wheel speed [rpm]	2000	2700
Depth of cut [mm]	0.004~0.01	0.01~0.02
Feed of Table[mm/sec]	0.05~0.10	0.15~0.25

그 다음 순으로 선택하면 될 것이다. 이때 적합도가 0.5이상인 것을 선택해야 할 것이다.

위와같은 과정에 의해 숫들을 선정 한 후 실제 작업에서 필요한 연삭 조건을 설정하는 과정이 필요하다. 연삭조건을 설정하는 과정에서도 전문가에게서 얻은 지식을 바탕으로 사실과 규칙을 적용하여 적절한 방법으로 추론을 행하여 얻는 것이 바람직하겠지만 이것에 대해서는 일반적인 자료를 바탕으로 연삭방식, 피삭재의 재질, 표면거칠기에 관하여 데이터 베이스로 구축하여 시스템 실행시 추론하여 사용하도록 하였다.⁽¹⁴⁻¹⁵⁾

Table 12와 13에 원통연삭과 평면연삭의 경우에 대한 다듬질 연삭과 거친 연삭에 대한 연삭조건의 설정 범위를 나타내었다.

위의 자료는 숫들의 종류에 관계없이 대부분의 숫들에 모두 적용할 수 있는 연삭 조건의 범위이고 표면 거칠기를 더욱 적은 값으로 요구할 때는 연삭깊이를 적게 하고 이송을 천천히 하도록 데이터 베이스를 구축하였다. 또, 드레싱 조건을 설정하는 것도 역시 일반 데이터와 전문가에게 질문하여 얻은 자료를 바탕으로 데이터 베이스를 작성하였다.

For finish grinding(3.0 μ m)		
Wheel	Suitability value	
[1] HA100 L C	.648	.842 1.00
[2] WA100 L C	.617	.816 1.00
[3] HA 90 L M	.600	.784 1.00
[4] HA 90 J M	.588	.769 1.00
[5] WA 54 L W	.578	.757 .997

For rough grinding(7.5 μ m)		
Wheel	Suitability value	
[1] HA 54 L M	.768	.910 1.00
[2] WA54 K W	.768	.889 1.00
[3] HA 60 L M	.733	.881 1.00
[4] WA60 N M	.709	.854 .995
[5] A 54 L W	.705	.815 .989

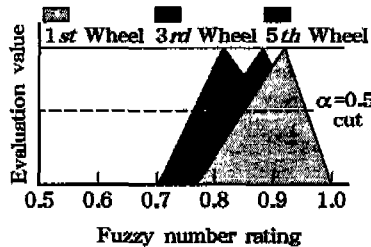
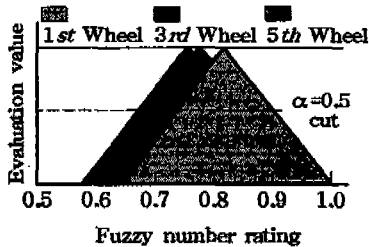


Fig. 6 Fuzzy number representation of the Wheel's suitability value

Example : Cylindrical Grinding, Hardened, Rmax:2.0μm, Hardness: HS-75

1. 컴퓨터 : ON

2. CLIPS 실행 : C:WCLIPS>CLIPS ←

3. 연삭전문가 프로그램 실행 :
CLIPS> (batch "GEXP.BAT") ←

4. 화면과 대화형식으로 각 조건 입력
* 공작물의 재질은 어떤 종류입니까?
(1) 연강(Mild Steel)
(2) 열처리강(Hardened Steel)
(3) 탄소 공구강(Carbon Tool Steel)
(4) 합금강(Alloy Steel)
(5) 스테인리스 강(Stainless Steel)
(6) 주철(Cast iron)
* 재질의 번호를 선택하십시오 : 2

5. 연삭 방식을 입력하십시오<Cylindrical/Plane>: C

6. 경도는 어떤 종류이며 그 값은 얼마인가?
(1) HS (2) HRc (3) Hb (4) HV
* 경도의 종류 번호를 선택하십시오. : 2
* 경도의 값을 입력하십시오. : 75

7. 요구하는 표면거칠기는 얼마입니까?[Rmax] : 2.0

8. 드레서는 어떤 것입니까?<Diamond/Other>: D

9. 연삭액의 종류를 입력하십시오.(Soluble/Other): S

숫돌의 종류	적합도
(1) HA 180 L C	0.648 0.842 1
(2) HA 180 M M	0.626 0.816 1
(3) WA 180 M C	0.607 0.791 1
(4) WA 180 K C	0.596 0.779 1
(5) HA 120 M C	0.587 0.768 1
(6) A 150 M C	0.583 0.762 1
(7) HA 150 M M	0.575 0.754 0.988
(8) A 180 K C	0.573 0.749 0.981
(9) WA 120 M C	0.556 0.729 0.967

* 숫돌 선택 번호를 입력하십시오 : 1

10. 연삭조건 표시

연삭조건	다듬질연삭	거친연삭
숫돌속도 [rpm]	2000	2700
공작물 속도[m/min]	17	30
연삭깊이[mm]	0.005	0.03
이송속도[mm/sec]	0.02	0.15

11. 드레싱조건 표시

숫돌속도(Wheel Speed) : 2000 [rpm]
드레싱 깊이(Depth of Dressor) : 0.025[mm]
이송속도(Feed rate of Dressor) : 0.2[mm/sec]

Fig. 7 The example of grinding Expert System

4. 시스템의 실행

본 시스템은 현장 작업자가 쉽게 사용할 수 있도록 PC(personal computer)상에서 풀다운 메뉴 형태로 작성하여 대화형으로 구축되어 있다.

실행과정을 나타낸 것이 Fig. 7이다. 모니터에 나타나는 대로 공작물 재질의 종류, 연삭방식, 경도의 종류와 값, 요구되는 표면거칠기, 드레서의 종류, 연삭액의 종류를 각각 선택하고 입력하면 숫돌의 종류별로 적합도를 나타낸다. 여기서 한 종류의 숫돌을 선택하면 연삭조건과 드레싱 조건이 모니터상에 나타나므로 이를 이용하여 연삭작업할 수 있도록 되어있다.

5. 결론

퍼지의사결정에 의한 연삭가공용 전문가시스템을 구축하여 얻은 실행결과는 다음과 같다.

1. 연삭가공과 같이 현상이 정성적인 것을 퍼지이론을 도입 함으로써 정량적인 값으로 표현이 가능 하였다.
2. 본 시스템을 이용함으로써 연삭가공의 숙련자가 아니더라도 전문가와 같은 연삭 결과를 얻을 수 있는

연삭숫돌의 선정과 연삭조건을 설정할 수 있었다.

3. 다기준의사결정법(MADM)으로 숫돌의 적합도를 평가하여 정성적인 지식을 정량화 함으로써 효과적으로 숫돌을 선정할 수 있다.

4. 계층분석법과는 달리 퍼지숫자를 이용하여 사실적으로 표현함으로써 실제적 시스템의 구축이 가능하였다.

참고문헌

1. 이윤배, "전문가 시스템", 흥능과학출판사, pp.199
2. 菅原 俊治, "エキスパートシステム構築をためツール", 精密工學會論文集, 第54卷 第8號, pp.1413-1417, 1988.
3. 松村 隆,井原 透, "最適切削條件選定用エキスパートシステムの開發に關する研究(第1-4報)", 精密工學會論文集, 第56卷 第7號~, pp.1274-1279, 1990~
4. 井原 透, "切削作業條件の選定における知識工學の利用", 精密工學會論文集, 第54卷 第8號, pp.1435-1439, 1988.

5. 米田孝夫, “研削加工における知能化”, 機械の研究, 第44卷 第10號, pp.1060-1065, 1992.
6. 上田 昇, 松尾哲夫外, 後藤孝明, 外, “パーソナルコンピュータによる研削加工エキスパートシステム構築の試み”, 精密工學會 春季學術大會講演論文集, pp.275-279, 1988.
7. 金建會, 稻崎一郎, 李載庚, “연삭가공용 데이터베이스 설계와 활용(기존지식베이스에 관하여)”, 韓國精密工學會, 第11卷 第1號, pp.211-218, 1994.
8. 金建會, 稻崎一郎, 李載庚, 宋地復, “퍼지 회귀모델을 이용한 연삭가공용 데이터 베이스의 설계와 활용”, 韓國精密工學會, 第11卷 第1號, pp.219-229, 1994.
9. 김건희, 이재경, “연삭가공 트리블 지식베이스 구축을 위한 지식획득과 데이터 베이스의 설계”, 韓國精密工學會, 第12卷 第1號, pp.48-57, 1995.
10. 신경숙, 류성렬 역, “C 인공지능 프로그래밍”, 도서출판 세웅, pp.98-102, 1991.
11. Hans J. Zimmermann “Fuzzy Set, Decision Making, and Expert System”, Kluwer Academic Publishers, pp.125-177, 1986.
12. Saaty T. L “Exploring the interface between hierarchies, multiple objective and Fuzzy sets”, FUZZY SET and SYSTEMS 1, pp.58-68, 1978.
13. Laarhoven. van, P.J.M., Pedrycz, W. “A Fuzzy extension of Saaty’s priority theory”, FUZZY SET and SYSTEMS 11, pp.229-241, 1983.
14. 機械振興協會 “加工技術データファイル”, 機械振興協會技術研究所, pp.1915. 이재경, 김호연, 이응숙, “마이크로 가공기술의 개발”, 한국기계연구소, 연구보고서, 1983, 1986, 1987.