

선삭공정에 있어서 공구선택용 전문가 시스템의 개발

백인환*, 권혁준**, 정우섭***

Development of Expert System for Tool Selection on Turning Operation

In-Hwan Paik*, Hyeog-Jun Kweon**, Woo-Seop Chung***

ABSTRACT

This paper deals with developing an Expert system for tool selection using knowledge base system approach, and its application. For the sake of building of knowledge base, the information from process through sensor, tool handbook and interview with expert are referenced and managed. The system developed shows good application flexibility in providing the actual cutting process with the selection of tool(insert, holder) and cutting conditions(feed, speed, rake type, and so on), is found as a useful system for real-time machining process. The Expert system for tool selection is written in TURBO PROLOG ver. 2.0 for inference engine capability, and can be run in interactive mode for user friendliness. In order to apply the system developed in actual cutting process, more parameters should be considered and scrutinized, and the system should be further extended in modular basis.

1. 서론

최근 NC 공작기계의 발전으로 부품형상, 고정구, 공작기계, 사용공구, 비용 등을 포함하는 설계와 제작 데이터베이스가 더욱 관련이 커짐에 따라, 컴퓨터를 이용한 공정계획(CAPP)은 CAD-CAM간의 완전한 통합을 시도하면서 발전해 왔다. 그러나 공정 계획은 수년간의 경험에 기초한 숙련된 공정 계획자에 의해 결정되는데 그러한 공정 계획자의 수가 감소함에 따라 자동 공정 시스템의 필요성이 대두되었다. 하지만 공정 계획의 알고리즘은 매우 복잡하기 때문에 전통적인 방법으로는 이를 완전히 수행하기는 힘들었다. 컴퓨터 사이언스의 진보는 이러한 영역에 큰 영향을 미쳤고 가장 뚜렷한 조류는 전문가 시스템의 발전이었다. 즉 공구선택

혹은 공정설계에 인공지능 기법을 이용하고자 하는 다수의 연구가 있었는데¹⁻³ 이들은 인간의 정신적 사고과정을 모방한 툴을 사용하여 좀 더 효율적으로 해를 탐색하며, 불완전한 데이터를 가지고도 해를 제시할 수 있는 특징이 있었다.

기계 가공에 있어서 공작기계와 공구와 일체가 되어야 가공 능력 및 품질이 향상되어 생산비용이 절감된다. 더욱이 기존의 공작기계보다 한층 고가인 NC 공작기계의 보급으로 인해 절삭공구를 소모품적인 것으로 인식하려는 경향이 줄어들었으며 고가의 NC를 고정도로 유지하면서 장기간 사용하기 위해서는 절삭공구의 공구정보가 무엇보다 중요하게 되었다.

공구정보는 크게 2가지로 대별하면 형상 데이터와 기술적인 데이터로 나눌 수 있으며, 이러한 공구의 고유

* 부산대학교 생산기계공학과 (정회원)

** 부산대학원 기계공학과 (정회원)

*** 부산대학원 생산기계공학과 (정회원)

기술변을 중시하려는 인식이 최근에 일어남에 따라 좀더 효율적인 방법으로 공구를 관리하는 것이 필요하게 되었다. 따라서 본 연구는 작업조건에 따라 사용가능한 공구군에서 공구를 선택할 수 있도록 유연하며 신뢰성이 높은 자동 공구관리의 한 부분인 공구선택을 중심으로 최적 절삭 데이터 산출에도 주안점을 두었으며 수식화가 곤란한 공구선택에 있어서는 인공지능 기법을 도입하였고 절삭 데이터 산출은 공구 핸드북에 의한 선택과 수식 모델에 의한 산출을 병용하였다.

본 연구를 수행하기 위해 TURBO PROLOG 버전 2.0 언어를 개발 도구로 사용하였으며, 사용자 지향적인 시스템을 구축하기 위해 모든 추론부를 대화형(interactive mode)으로 구성하였다.

2. 공구 선택의 사고 방법과 이론적 배경

최근의 기계가공은 고정밀가공, 생산능률의 향상, 생산 비용의 절감 등을 만족시키기 위해 무인화·자동화가 급속도로 진행되고 있으며 절삭가공도 고속·고이송 가공, 난삭재 가공에 이르기까지 다양화되고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위한 중요한 과제의 하나로서 결손이나 치핑 등에 대한 신뢰성 있는 공구의 선택을 들 수 있다.

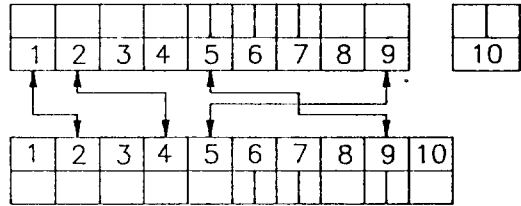
현재의 절삭공구는 매우 다양해서 하나의 재료를 가공하기 위해서는 여러가지 가공법과 더불어 많은 종류의 공구가 준비되어 있다. 즉 공구의 성능을 충분히 발휘하기 위해서는 공구를 정확히 구분 사용해야 한다.

본 연구에서 사용한 공구 코드는 alphanumeric 코드에 따른 ISO 코드로서 인서트, 홀더의 각 심볼에 관한 정보를 Fig. 2-1에 나타내었다. 먼저 인서트를 살펴보면 처음 7개의 심볼은 필수적인 것이고 다음의 2개는 선택 사항이며 나머지 2개는 공구 제조회사의 규약으로 사용된다. 공구 홀더 ISO 코드에서도 처음 12개의 심볼은 필수적인 것이고 다음 2개는 공구제조회사의 규약이다.

2.1 공구선택의 사고방법

공구 선택의 과정에 있어서 고려되어야 할 기본적인 조건으로는 공작기계, 피삭재, 작업영역, 공구재료, 공구형상을 들 수 있으며 이들을 기준으로 절삭조건을 산출하게 된다. 본 연구에서는 연구의 범위가 동종의 공작기계에 한정되므로 공작기계에 대한 고려는 하지 않기로 한다.

ISO Code for Indexable Inserts



ISO Code for External Shank Holders

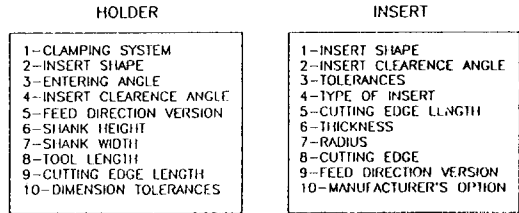


Fig. 2-1 Codes for external turning tool holders and inserts.

(1) 피삭재

공구선택의 주요인이 되는 것으로 피삭재의 경도를 들 수 있다. 경도가 너무 높거나, 너무 낮아지면 절삭하기가 곤란해진다. 또 다른 요인으로 재료의 조직이나 열처리 등을 들 수 있으며, 이와는 별도로 피삭재 자체의 형상이나 크기가 문제가 되는 수도 있다.

(2) 작업 영역(working area)

작업 영역은 크게 정삭(finishing)과 황삭(roughing)으로 대별되며, 황삭은 다시 경황삭(이송량 0.2~0.5mm/rev, 절삭깊이 2~4mm), 보통황삭(이송량 0.4~1.0mm/rev, 절삭깊이 4~10mm), 중황삭(이송량 >1.0mm/rev, 절삭깊이 6~20mm)으로 나누어진다.

(3) 공구재료

피삭재와 작업 영역을 충분히 고려해 공구 재료를 선정한다.

(4) 공구형상

선택된 공구 재료에 대해 인서트의 형상, 여유각의 유무, 칩 브레이커의 유무, 절인길이, 노즈반경 등을 고려해 인서트 형상을 선택한다. 인서트가 선택되면 공구 코드(ISO code)의 상관 관계와 절입각 등을 고려하여 공구 홀더의 형상을 선택한다.

적용 영역에 정확한 인서트를 선택하려면 위에서 언급한 인자를 고려해야 하지만 최종 인서트를 선택하기 전에 고려해야 할 더 많은 인자가 있다. 관련된 인자를 Table 2-1에 나타내었다. 고정조건은 일반적으로 수정

될 수 없지만 작업에 대한 절충안으로 최선의 인서트를 구하기 위해 조건을 최적화할 수도 있다. 가변조건은 고정조건이 결정된 후 그 데이터로부터 결정되는 인자이며 이 가변조건이 결정된 후 이송량, 절삭깊이, 절삭속도 등이 결정된다.⁽¹⁵⁾

Table 2-1 The factors that must be considered on tool selection.

Fixed Condition	Material Specification
	Amount of Material to be Removed
	Component Dimension
	Component Shape
	Hardness
	Surface Condition
	Operation
	Finish Requirement
	Type of Machine
	Condition of Machine
	Power Available
Variable Condition	Chucking or Clamping Method
	Select Carbide Grade
	Select Radius
	Select Insert Size
	Select Insert Shape
	Select Insert Rake
	Select Tool Size
Select Tool-Holder Shank Size	
Select Tool-Holder Style	

그런데 유의할 점은 공구와 절삭조건과의 관계이다. 이는 어떤 작업조건에서 가장 적당한 인서트가 존재한다기 보다는 피삭재와 작업 영역에 적합한 인서트군에서 절삭조건을 달리하면서 여러가지 적당한 인서트를 구해낼 수 있는 것이다. 본 연구에서도 피삭재와 가공영역에 따라 적합한 인서트군을 찾아내어 각 경우에 적합한 절삭조건을 제시하는 방법을 사용하였다.

2.2 공구 선택의 이론적 배경

선삭에서 인서트의 형상은 그 형태의 다양성, 노즈반경, 설치각, 여러가지 경사각 등 지극히 다양하기 때문에 모든 인자를 만족시키기는 어렵다. 그러나 이와 같은 공구는 그 나름대로 각각 특징이 있으며 적용영역이 중복되는 부분이 있더라도 각각의 작업조건에 대해 최적 공구가 존재하는 것이다. 공구 선택에 있어서 영향을

미치는 인자들의 절삭이론적 측면을 살펴 보면 다음과 같다.

(1) 공구 경사각

네가티브 형상의 인서트는 큰 췌기각을 가지기 때문에 피삭재와의 마찰이 크며 이로 인해 포지티브 형상의 인서트 사용시보다 공작기계의 구조가 더 튼튼해야 하며 높은 동력을 요구한다. 포지티브 형상의 인서트는 췌기각이 작아져서 전단면이 줄어들기 때문에 진동이 덜하며 낮은 절삭력을 유발한다. 그러나 이 형상의 주 결점을 작은 췌기각 때문에 황삭시 공구 수명이 줄어든다는 것이다. 대부분의 피삭재들 중 일반적인 목적의 가공, 특히 황삭 및 단속 절삭에서는 음의 경사각을 사용하며, 비철금속 혹은 연성인 재질, 정삭의 작업영역 등에 대해서는 양의 경사각을 사용한다.

(2) 설치각

설치각은 공구의 주 절삭날과 피삭재 사이의 각으로서 칩의 실제 두께와 밀접한 관계가 있다. 칩 두께가 변함에 따라 주 절삭 분력이 변하게 되고 칩 브레이킹 상태도 달라진다.

(3) 칩 브레이커의 형상

칩 브레이커 형상은 인서트 선택시 고려되어야 할 인자 중 중요한 인자의 하나이며 피삭재의 종류와 작업영역의 종류에 따라 부합되도록 칩 브레이커 형상이 달라져야 한다.

각 피삭재에 적합한 인서트를 선택하기 위해서는 주로 칩의 발생 형태, 경도, 열처리 상황, 피삭재의 형상, 진동 등을 고려하여 칩 브레이커의 형상을 선택해야 한다.⁽¹⁵⁾

칩 브레이커는 G형, M형의 2가지로 나눌 수 있다. 대개 G형은 일반 절삭용, M형은 중절삭용이며, 경제적으로는 양면을 사용할 수 있는 G형이 유리하다.

(4) 인서트의 형상

인서트 형태는 강도가 큰 것을 선택하는 것이 원칙이므로, 포인트각이 커야 하지만 절삭저항의 관점에서는 진동이 일어나기 쉬운 경우에 포인트각이 작은 것을 선택해야 한다. 정삭의 경우 양호한 표면조도를 얻기 위해서는 높은 절삭속도로 가공해야 하며 이같은 경우 Taylor식에 의해 공구수명이 단축되므로 정삭가공에서 경제적인 면을 고려하면 사용할 수 있는 날수가 많은 인서트를 선택하는 것이 바람직하다.^(16,17)

(5) 공구 재종

공구재종은 피삭재와 가공방법 등에 따라 결정된다.

즉 공구재종의 경도와 인성 중 어느 쪽에 중점을 두는가에 따라 결정되는데 탄소강, 주강, 합금강, 스테인레스강에서는 P계열, 내열합금에서 M 또는 K계열, 주철, Al, Cu합금에서는 K계열을 쓰며 자세한 것은 Table 2-2에 나타내었다.⁽¹⁷⁾

Table 2-2 Recommended insert grade.

Workpiece	Finishing	Light Roughing	Roughing	Heavy Roughing
Carbon Steel, Low Alloy Steel	P10	P10, P20	P25	P25~P35
SUS, High Alloy Steel	P10, P20	P30	P40	
Heat Resistant Alloys	M10, K20	K15	K20	M40
Cast Steel	P20	P30	P35	P35~P50
Cast Iron	K10	K15	K20	K20
Aluminum, Aluminum Alloys, Bronze-Brass Alloys		K15	K20	K20

(6) 노즈반경(Nose Radius)

노즈반경은 대개 작업영역에 따라 다음과 같이 선택된다. 황삭의 작업영역에서는 강한 절인을 가질 수 있도록 가능한 큰 노즈반경 ($r=1.2\sim 1.6mm$)을 선택한다. 정삭의 경우 공차와 표면조도는 양의 경사각, 높은 절삭속도와 큰 노즈반경을 가질수록 향상된다.

그러나 진동이 심하다면 작은 노즈반경을 선택해야 한다.⁽¹⁴⁾

(7) 절삭 조건의 산출

절삭 데이터를 산출하는 방법에는 작업자의 경험에 의한 선택, 공구 헤드북에 의한 추천값, 수식모델에 의한 산출 등으로 분류할 수 있다. 이 절삭 데이터 산출 방법에는 각각 장·단점이 있으며 이 방법들을 병용하여 가능한 한 높은 절삭성을 유지할 수 있도록 해야 한다.

일반적으로 절삭조건이라하면 절삭속도, 이송량, 절삭깊이를 포함하지만 절삭깊이는 피삭재의 형상과 작업영역에 의해 미리 결정된다. 따라서 절삭 조건의 산출은 절삭속도와 이송량의 조합만을 고려하면 된다.⁽⁶⁾

절삭속도는 피삭재, 공구 재료, 작업영역에 따라 선택되어야 하며, 이송량은 커질수록 표면조도는 열화하는 경향이 있지만 칩 처리나 공구수명에는 훨씬 유리해진다.

황삭의 경우 최대 이송량은 대개 노즈반경의 $\frac{2}{3}$ 로

채택되며 이를 초과해서는 안된다. 적정 이송량의 경우는 아래 식처럼 계산된다.⁽¹⁴⁾

$$f_{rough\ cut} = 0.5 \times r$$

정삭의 경우는 표면조도를 만족시켜야 하므로 다음 식에 따라 이송량과 노즈반경의 조합을 선택해야 한다.

$$R_t = \frac{f^2}{8 \times r}$$

이처럼 수학적 모델을 사용하여 이송량을 구한 것과는 달리 절삭속도의 산출은 데이터 화일을 별도로 만들어 피삭재의 종류와 가공 영역에 따라 선택되도록 하였다.

3. TOSMO 시스템

2장의 내용을 기초로 자동 공구 선택 모듈을 개발하였으며 그 이름을 TOSMO 시스템이라 하였다. 본 시스템은 모듈별로 개발하여 pull down 메뉴로 구성하였으며, 각 수평메뉴(main menu)는 Tool-KWL, TOSMO, Tool-GRP, Trouble, Utility, Quit으로 나누어져 있다. 수평메뉴들은 몇개의 수직메뉴(sub menu)들로 구성된다.

공구선택에 있어서는 작업환경에 대한 가중치가 부여되어 있는 지식 화일이 사용되며, 최적 절삭조건 산출에 대해서는 수식모델에 의한 산출과 데이터베이스 화일에 의한 산출을 병용하고 있다. 이 시스템의 개략적인 흐름도는 Fig. 3-1과 같다.

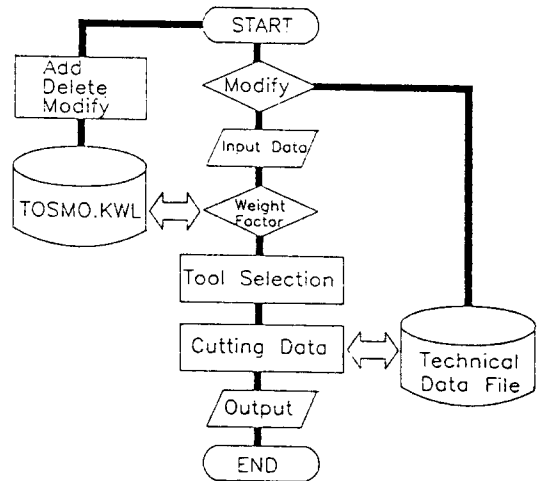


Fig. 3-1 The flow chart of TOSMO.

3.1 공구 지식베이스의 구축 및 관리

TOSMO 시스템의 지식베이스는 2장의 이론적 배경을 기초로 하여 구축하였다. 공구 선택에 있어서 고려하여야 할 인자는 궁극적으로 피삭재와 작업영역의 종류로 귀착되기 때문에 본 연구에서는 이 2가지 인자를 세분해서 추론하여 공구가 선택이 되도록 하였다. 따라서 본 연구에서는 각각의 공구가 피삭재 및 작업영역에서 가지는 특성을 고려하여 가중치를 부여하였으며 가중치를 도입함으로써 신뢰성이 있는 공구 선택이 가능하게 된다.

3.1.1 지식베이스의 구축

본 연구에서는 소재의 형상, 피삭재 재질, 작업 영역이 주어졌을 때 공구 재질, 공구 형상, 절삭속도, 이송량등을 도출해 내기 위한 유연하고 신뢰성이 있는 시스템을 구성하기 위하여 지식베이스의 구축시 피삭재의 재질과 작업영역에 있어서의 각각의 공구가 가지는 특성을 고려하여 가중치를 부여하였다. 이 가중치에 의해서 생기는 확률값을 전문가 시스템에 적용하여 적절한 공구를 선택하고 아울러 최적 절삭조건도 산출한다. 그리고 이 확률값을 공구 선택에 있어서의 최적여부의 판단기준으로 삼는다.

피삭재의 재질과 작업영역에 있어서 공구의 형상 및 칩 브레이커의 종류에 따라 각각 다른 특성이 있는 것에 근거하여 Table 3-1과 같이 가중치를 부여하였다. 이 가중치는 각각의 인자(피삭재 재질과 작업영역)에 대해서 1~10사이의 값으로 부여된다. 또 피삭재의 재질과 작업영역에서 주어진 가중치의 곱을 확률값으로 한다.

그러므로 Table 3-2와 같이 가중치에 의한 매트릭스 형태의 지식을 얻을 수 있다.

Table 3-1 Weight factors

(a) Weight factor of work material

Work Material	Chipbreaker			Insert Shape			
	A	G	M	S	C	T	D
Long-chipping	1	4	4	4	4	3	3
Short-chipping	4	4	3	3	3	4	4
SUS and Heat-resistant Steels	1	2	5	2	3	4	5
Al, Cu and the Like	0	1	4	4	4	3	3
Steels, Hardness above 400HB	5	3	2	2	3	4	5

(b) Weight factor of work area

Work Area	Chipbreaker					Nose Radius				N. O. C.		
	A	G	M	N	R	04	08	12	16	4	3	2
Finishing	0	0	0	5	4	0	0	0	0	5	3	2
Light Roughing	0	3	4	2	2	3	5	4	2	0	0	0
Roughing	1	2	5	0	0	1	4	5	4	0	0	0
Heavy Roughing	3	0	5	0	0	0	4	5	5	0	0	0

* N. O. C. : Number of Cutting Edge

Table 3-2 Type of knowledge representation

WORK AREA	WORKPIECE				
	w1	w2	w3	w4	w5
a1	a1.w1	a1.w2	a1.w3	a1.w4	a1.w5
a2	a2.w1	a2.w2	a2.w3	a2.w4	a2.w5
a3	a3.w1	a3.w2	a3.w3	a3.w4	a3.w5
a4	a4.w1	a4.w2	a4.w3	a4.w4	a4.w5

- w1 : Long-chipping
- w2 : Short-chipping
- w3 : SUS and Heat-resistant Steels
- w4 : Al, Cu and the Like
- w5 : Steels, Hardness above 400HB

- a1 : Finishing
- a2 : Light Roughing
- a3 : Roughing
- a4 : Heavy Roughing

3.1.2 지식베이스의 관리

Tool KWL 수평 메뉴는 인서트와 그에 관련된 가중치를 가감할 수 있는 화일을 다루는 메뉴이다. 즉 이 화일은 전문가 시스템의 지식 베이스에 해당하는 곳이며 수직메뉴로 Add, Delete와 Modify를 가진다. Add는 새로운 인서트와 그 가중치를 삽입하는 수직 메뉴이며, Delete는 인서트를 제거하는 수직메뉴이다. 그리고 화일에 있는 어떤 사실들을 수정하려면 먼저 그 사실들을 삭제한 다음 새로운 사실들을 삽입하면 된다. 만약 insert의 기능을 잘 알고 있다면 Modify를 선택해서 에디터내에서 직접 수정할 수도 있다.

3.2 공구선택 및 최적 절삭조건 산출

TOSMO 수평메뉴는 공구선택 및 절삭조건을 산출하는 시스템의 핵심적 부분이다.

TOSMO의 공구선택 추론과정은 다음과 같다.

- 1) 선삭작업의 종류
: external, facing, copying, grooving, threading turning
- 2) 공구의 진행방향(Option)
: right, left, neutral
- 3) 세장재의 여부(Option)
: (Y/N)
- 4) 피삭재의 선택
: carbon steel, alloy steel의 13종
- 5) 세부 피삭재(submaterial)의 선택(Option)
: carbon steel의 경우 다음과 같이 세부 피삭재를 선택할 수 있다.
carbon steel SM15C
SM30C
SM45C
SM60C

- 6) 작업영역의 선택
: finishing, light roughing, roughing, heavy roughing

- 7) 요구되는 다듬질 정도(Option)
Option이라고 적혀 있는 부분은 경우에 따라 지정하거나 지정하지 않을 수도 있다.

위의 추론과정에서 시스템과의 대화가 모두 성공하였다면 팝업(pop-up) 윈도우 상에 선택된 공구와 절삭조건이 나타나게 된다.

TOSMO의 수직메뉴중 Setup으로 한계 확률값을 사용자가 정할 수 있도록 하였으며 이것은 다양한 작업환경에 유연성을 부여하기 위해서이다.

3.3 TOSMO 시스템의 지원 메뉴

본 시스템은 TOSMO 시스템을 지원하기 위해서 초기 화면을 다루는 법, Tool-GRP, Trouble, Utility 수평메뉴의 기능 등이 있다.

Tool-GRP 메뉴의 수직메뉴는 Insert code, Holder code, Insert type, Holder type으로 세분된다. Insert code, Holder code는 각각 인서트와 공구홀더의 ISO코드에 관한 정보를 알려준다. Insert type은 다시 CNMA, CNMG, CNMM……등의 수직메뉴를 가지는데 이는 각종 인서트의 단면형상, 칩브레이커의 형상, 3차원 형상을 그래픽으로 나타내어 선택된 인서트를 여기서 확인할 수 있도록 하였다. Holder type은 Clamping system, Holder style, Tool length의

수직메뉴를 가지며, Clamping system은 클램핑에 관한 정보를 나타내며 C, M, P, S형이 있다. Holder style은 각종 홀더의 설치각을 나타내며, Tool length는 공구 길이의 심볼에 관한 정보를 제공해준다.

Trouble 수평메뉴는 선삭에서 발생하기 쉬운 여러가지 트러블의 원인과 해결책을 제시해준다.

Utility 수평메뉴는 다시 Editor, Dos shell, Clock의 수직메뉴로 나누어진다. Editor는 시스템내에서 각종 데이터 파일을 수정하거나 삽입할 수 있는 에디터이며 F1 키를 누르면 편집작업에 관한 도움말이 나온다. Dos shell은 사용도중 OS상태로 넘어가서 다른 작업을 할 수 있으며 EXIT를 기입해서 TOSMO 시스템으로 되돌아올 수 있고 Clock은 현 시각을 제시한다.

4. 적용 예 및 고찰

TOSMO시스템의 기능을 확인하기 위해 적용예를 Fig. 4-1에 나타내었다. 피삭재는 SM45C로 하였고 ④는 finishing, ①②은 light roughing, ③⑥은 roughing, ⑤는 heavy roughing의 작업영역을 지닌다.

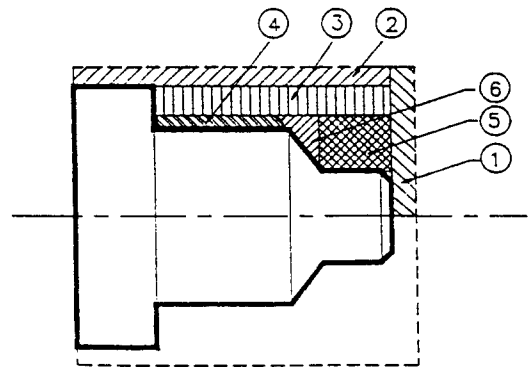


Fig. 4-1 Illustrated drawing.

Fig. 4-1에서 외경원주가공(②)의 경우 공구 및 절삭조건이 구해지는 일련의 과정은 다음과 같다.

- i) 작업종류의 선택
: External.
- ii) 공구의 진행방향, 세장재의 여부 및 피삭재의 선택
: Right, Carbon steel.
- iii) 세부피삭재(submaterial)의 선택
: SM45C.

IV) 작업영역의 선택

: light roughing.

V) 선택할 수 있는 공구들

: 현재의 한계 확률값은 60%로 맞춰져 있으며 이 확률값을 넘어서는 인서트들(SNMM120408... ..)이 선택될 수 있지만 한계 확률값을 만족하는 인서트 일지라도 그 인서트가 작업종류에 적합하지 않은 홀더와 조립되는 경우는 배제될 수 있도록 하였다. 따라서 출력되는 인서트 중 되도록이면 높은 확률값을 가지는 공구를 선택한다면 최적에 가까운 공구를 선택할 수 있다.

VI) 최종출력

: 확률값이 가장 높은 SNMM120408 (72%)을 선택하면 그 공구에 적합한 절삭데이터들이 산출되어 진다.

위와 같은 방식으로 ①, ③, ④, ⑤, ⑥의 과정을 거치면

Fig. 4-2의 최종결과를 얻을 수 있다.

되는데 윗 실험결과에 의하면 "optimum feed=0.5 × Nose radius"은 타당한 식이라 생각된다. 만약 이송량이 작아지면 표면조도는 향상되지만 금속제거율(Metal removal rate)은 떨어지게 될 것이다.

그리고 칩 처리면에서 보면 Henriksen이 제시한 regular intermittent형과 full turn형이 칩 처리면에서 가장 바람직하며 half turn은 양호하다고 한 것과 같이 SNMM120408의 경우는 full turn-regular intermittent형이 배출되었고 CNMG120408, SNMG120408의 경우는 half turn이 배출되는 것을 볼 수 있었다. 이로부터 앞에서 칩브레이커 형상에 관한 가중치의 부여가 적절하다는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 본 시스템이 선택한 공구들은 확률값이 높아 질수록 최적에 가까운 공구라고 생각된다.

이상과 같이 선택된 공구는 궁극적으로 피삭재와 작업영역에 따라 좌우되며 피삭재의 경우 칩브레이커와 인서트 형상이 고려되고 작업영역의 경우는 칩브레이커.

	INSERT POSSIBILITY	HOLDER	GRADE	OPT. FEED	MIN. SPEED	RAKE TYPE	INSERT	OPT. FEED
				MAX. FEED	MAX. SPEED			MAX. FEED
①	CNMG120408 (64%)	PCLNN2525M12	P10	0.400	150	NEGATIVE	CNMG120404	0.200
				0.533	350			0.266
②	SNMM120408 (72%)	PSBNR2525M12	P10	0.400	150	NEGATIVE	SNMM120404	0.200
				0.533	350			0.266
③	SNMM120412 (80%)	PSBNR2525M12	P25	0.600	150	NEGATIVE	SNMM120408	0.400
				0.800	350			0.533
④	SPGN120408 (72%)	CSBPR2525M12	P10	0.051	122	POSITIVE	SPGN120404	0.036
				0.072	183			0.051
④	SNMM120416 (80%)	PSBNR2525M12	P25	0.800	150	NEGATIVE	SNMM120412	0.600
				1.067	350			0.800
⑤	CNMM120416 (72%)	PCLNR2525M11	P25	0.800	150	NEGATIVE	CNMM120412	0.200
				1.067	350			0.800

Fig. 4-2 Selected tools and cutting data.

②의 가공에 있어서 Fig. 4-2에서 선택된 확률값 72%의 SNMM120408이외에 선택가능한 CNMG120408(64%), SNMG120408(64%)을 가지고 실제 가공을 하여 측정된 결과는 다음과 같다. 위의 3가지 인서트로 가공을 했을 때 표면조도는 각각 26 μ m, 30 μ m, 42 μ m로서 KS의 황삭 표면조도의 범위(25 μ m-560 μ m)를 만족한다. (Fig. 4-3)

그리고 표면조도는 이송량에 가장 영향을 많이 받게

노즈반경, 사용 가능한 절인의 수가 고려되었다.

앞으로 더 엄밀한 공구선택을 위해서는 더 많은 인자들이 고려되어야 하는데 이 같은 경우 반복된 루틴의 방법으로 해결방안을 찾는 것보다는 본 연구의 접근방식처럼 여러 인자들을 총체적으로 고려할 수 있는 인공지능 기법의 도입은 이러한 분야에 많은 도움이 되리라 생각된다.

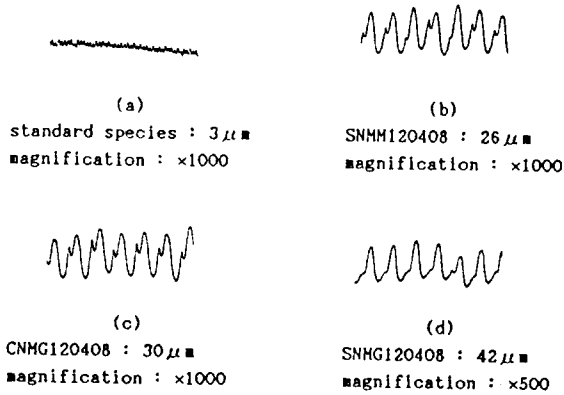


Fig. 4-3 Experimental data of surface roughness.
(feed=0.4mm/rev, speed=280m/min)

위의 경우처럼 작업종류에 따라 ISO 코드가 정립된 공구를 사용할 수 있을 때는 시스템은 만족스러운 결과를 제시할 수 있지만 threading, grooving의 경우처럼 코드정립이 되지 않고 각 공구 제조 회사별로 각각의 코드를 쓰는 경우 공구선택에 문제점이 있었다. 이 경우에 있어서는 최적의 공구를 제시한다기 보다는 패턴매칭 기법에 의한 작업가능한 공구를 제시하는 정도이다.

다른 문제점으로는 공작기계의 능력에 따라 절삭 데이터의 산출에 많은 차이점이 나타나므로 적용 공작기계에 따라 데이터를 수정하거나 혹은 별도로 공작기계의 데이터 베이스도 구축해야 할 것이다.

5. 결 론

선삭 공정의 외경가공에 있어서 자동공구 선택을 목표로 본 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 피삭재와 작업영역의 결정만으로 공구선택에 필요한 여러인자들이 고려되어지며, 높은 확률값을 가지는 인서트일수록 최적에 가까게 된다.

본 시스템은 확률값을 전문가 시스템에 적용하여 신뢰성있고 유연한 공구선택이 가능하며 공구가 선택되면 그 공구에 적절한 절삭 조건도 산출될 수 있도록 하였다.

공구선택의 지식과 절삭데이터는 모두 지식 화일 또는 데이터 화일로 저장되어 있어 수정 및 추가가 가능하며 특히 지식 화일을 수정함으로써 더 적절한 공구를 선택할 수도 있다. 추론부는 대화형으로 구성되었기 때문에 프로그램의 내용을 몰라도 편리하게 사용할 수 있다.

현재 각종 공구제조회사가 생산하는 인서트간에는 약간의 차이가 있기 때문에 그 제조회사의 데이터 핸드북을 참조하여 약간의 수정과 가공조건의 최적화 기법의 연구가 이루어져야 하며 공구 코드의 표준화를 통한 객관적인 데이터를 얻을 수 있도록 되어야 할 것이다.

참고문헌

- 1) F.Giustiet et. al., "COATS : an Expert Module for Optimum Tool Selection.", CIRP, Vol. 35, No. 1, pp. 337~340, 1986.
- 2) D.Domazet et.al., "The Automatic Tool Selection with the Production Rules Matrix Method.", CIRP, Vol. 39, No. 1, pp. 497~500, 1990.
- 3) B.J.Davies et.al., "The Use of Expert System in Process Planning.", CIRP, Vol. 33, No. 1, pp. 303~305, 1984.
- 4) Graham T. Smith, Advanced Machining : The Handbook of Cutton Technology, IFS Publication, UK, 1989.
- 5) Richard Baril, Modern Machining Technology, Delmar Publishers inc.
- 6) Mikell P. Groover et. al., CAD/CAM : Computer-Aided Design and Manufacturing, Prentice-Hall, 1984.
- 7) 李奉珍 外 1人, 切削데이터 핸드북, 韓國科學技術院 精密機械技術센터.
- 8) 姜求鳳, 外 1人, 최신 절삭공구와 가공기술, 機電 연구사
- 9) Borland, Turbo Prolog 2.0 Reference Guide.
- 10) Borland, Turbo Prolog 2.0 User's Guide.
- 11) 전용진, Turbo Prolog Toolbox, 크라운 출판사, 1989.
- 12) Artificial Intelligence Programming with Turbo Prolog.
- 13) Robert I. Levine, A Comprehensive Guide to AI and Expert System, McGraw-Hill Book Company., 1986.
- 14) SANDVIK Tool Handbook.
- 15) SEKO Tool Handbook.
- 16) Korea Tungsten Tool Handbook.
- 17) KORLOY Tool Handbook.