

최적 절삭속도 및 피이드 선정 전문가 시스템

이전범* · 김연민**

Expert System for optimal cutting speed and feed rate selection

Keun-Buem Lee · Yeain-Min Kim

(Abstract)

In this study, expert system for the selection of the optimal cutting speed and feed rate was developed using NEXPERT system shell.

The NC system has been usually used inefficiently because the input command, which contains cutting speed, feed-rate and the depth of cut, is fixed value which depends on principally operator's experience and machining handbooks providing a guideline for applicable ranges. On the other hand, the optimal cutting conditions vary with time, and depend on tool and machine characteristics, work materials, and cost factor and so on.

In this study, if cutting factors, such as, cutting method, material type, cutting depth, and tool nose radius are specified, our expert system gets the information about the standard cutting speed from the cutting speed database, and provides optimum feed rate for these cutting conditions. This cutting speed database can be updated by inputting valid cutting speed which is obtained from the practices.

1. 서론

제조업체는 높은 품질을 바라는 끊임없는 소비자의 욕구를 만족시켜야 하며, 낮은 가격의 제품을 제공할 수 있어야 한다[1]. 이러한 경쟁력을 얻기 위한 방안의 하나가 공장 자동화로 볼 수 있다[3]. 이러한 추세에 따라 NC공작기계의 보급이 증가함에 따라 이를 보다 효율적으로 활용할 수 있는 방안이 다각도로 연구되고 있으며 특히 생산성과 가장 밀접한 관계를 가지고 있는 절삭속도와 피이드의 선정에 관한 많은 연구[2, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13]가 수행되고 있다. 그러나 절

삭에 영향을 미치는 인자들이 너무 많고 변동적이어서 이들 요인을 모두 고려한 최적절삭조건(절삭속도, 피이드)을 선정하기란 매우 어려우므로 최적 절삭조건을 일반적으로 현장작업자의 경험데이터나 공구제조업자의 추천데이터 그리고 가공핸드북등에서 획득하거나 수식에 의하여 산출하기도 한다[2, 6, 13].

본 연구에서는 이 가운데에서 절삭효율에 가장 많은 영향을 미치는 절삭속도와 피이드의 관계를 설정하여 피삭재의 재질 및 가공방법(황삭, 정삭등)에 적합한 최적절삭조건(절삭속도, 피이드)을 선정할 수 있는 전문가 시스템을 개발하여 현장에서 이용할 수 있

* 울산 대학교 공과대학 산업공학과 박사과정

** 울산 대학교 공과대학 산업공학과 교수

게 하고자 한다.

가공조건 선정은 실 가공에 있어서도 중요하지만 공정설계 및 작업설계, 즉 생산시스템에 필요한 시간과 장비선정의 기초가 되므로 그 최적화가 반드시 이루어져야 한다[2].

절삭가공의 효율은 단위시간당의 소재제거율(MRR: material removal rate)로 절삭효율을 높이기 위해서는 절삭공구가 파손되지 않고 절삭저항을 일정량 이하로 유지하며 단위시간당 소재 제거율이 최대가 되도록 절삭조건을 선정하는 것이 중요하다[6]. 일반적으로 절삭효율을 높이기 위해서는 균일한 절삭깊이하에서 절삭속도와 피이드를 높여야 하나 공구마모 및 파손 등으로 인한 공구교환 및 공구비용을 고려하고, 피삭재의 재질, 작업방법 등 여러 가지 절삭 인자들을 고려하여 경제적인 표준절삭속도를 사용해야 한다[5]. 그러나 작업자가 현장에서 경제적인 표준 절삭속도를 선정하는 것은 매우 어려우므로 본 연구는 피삭재의 재질 및 가공방법(황삭, 정삭, 홈절삭 등)에 적합한 표준 절삭속도를 데이터베이스화하여 절삭가공인자인 피삭재의 재질 및 작업방법, 절삭깊이, 공구인선반경을 입력하면 이에 적합한 절삭속도가 데이터베이스에서 선택되도록 하였다. 한편 지식기반(Knowledge Base)에 들어있는 선택된 절삭속도와 피이드와의 관계식을 이용하여 최적 절삭속도와 피이드를 선정할 수 있도록 하였으며, 작업자가 실제작업을 통하여 데이터베이스화된 표준 절삭속도보다 효율적인 절삭속도를 인지하게 되면 이를 본 전문가시스템에 입력하여 데이터베이스를 갱신할 수 있도록 하여 점차 최적에 가까운 표준절삭속도로 구성된 데이터베이스를 구성할 수 있도록 하였다. 본 연구는 피삭재의 재질 및 가공방법(황삭, 정삭 등)에 적합한 표준절삭속도와 피이드를 제시하여 줌으로서 이를 바탕으로 데이터베이스화 되어있지 않은 재질의 가공 시에도 데이터베이스화된 피삭재와 유사한 기계적 성질을 가지고 있는 피삭재의 절삭속도와 피이드를 선정한 후 선정된 표준재료와 실제재료와의 경도비 만큼 절삭조건을 가감하여 사용할 수 있도록 하여 융통성 있는 작업이 수행될 수 있도록 하여, 절삭이론에 대한 지식이 없는 작업자도 피삭재의 재질과 가공방법에 적합한 절삭조

건으로 NC프로그램을 작성할 수 있도록 하였다.

2. 절삭속도와 피이드의 영향

선삭공정에서 필요로 하는 정보는 여러 가지가 있지만 그 중에서 공작기계, NC콘트롤러, 절삭공구, 절삭조건, 공구보정에 관한 정보 등이 중요한 요소로 고려된다[2, 5, 6, 13]. 외경가공에서 절삭조건은 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이등을 나타낸다. 절삭속도는 피삭재와 인서트등급, 작업영역에 따라 선택되어야 하며 이송량은 황삭의 경우 공작기계와 공구의 강성이 허용하는 한 크게 해야 한다. 절삭속도를 높이면 공구수명이 저하되고 공구교환을 위한 시간이 증가하는데 반해 이송량이 커지면 표면조도는 나빠지는 경향이 있지만 칩처리나 공구 수명에는 유리해진다[13].

경제적인 면에서의 절삭능률 외에 칩처리면에서 절삭조건을 고려한다 하더라도 가장 영향이 큰 것이 이송량이다[2, 13]. 절삭조건으로 칩처리를 향상시키려면 이송량을 증가시키고 절삭속도를 내리는 것이 일반적으로 바람직하다. 황삭의 경우 최대 이송량은 일반적으로 인선 반경의 2/3로 채택되며 이를 초과해서는 안된다[13]. 적정이송의 경우는 다음 식으로 계산된다.

$$f(\text{황삭}) = 0.5 \times \text{공구인선반경(Nose Radius)} \quad (1)$$

정삭의 경우는 제품이 요구하는 표면조도를 만족시킬 수 있는 피이드를 적용하여야 하며 이를 만족시킬 수 있는 피이드는 $f = \sqrt{8 \cdot r \cdot R_{\max}}$ 이며, 동일한 피이드일 경우는 절삭속도가 빠를수록 표면조도가 향상된다[13].

선삭작업에서 생산율(또는 생산속도)과 제품가격을 결정하는 여러요인중 가장 중요한 요인은 소재제거율(MRR: Material Removal Rate)이다.[2,3] 절삭가공시 생산율(또는 생산속도)은 단위 시간당 소재제거율(MRR: Material Removal Rate)에 의해 결정되며 소재제거율(MRR)은 다음과 같이 표현된다[2,3].

$$MRR = 1000 \cdot V \cdot f \cdot d [\text{mm}^3 / \text{min}]$$

$$V = \text{절삭속도(Cutting Speed)} [\text{m/min}]$$

$$f = \text{피이드(Feed Rate)} [\text{mm/rev}]$$

$$d = \text{절삭깊이(Cutting Depth)} [\text{mm}]$$

여기서 절삭깊이(d)가 일정하다고 가정하면 절삭속도(V)와 피이드(f)의 선택이 생산성 향상에 매우 큰 영향을 미침을 알 수 있으므로 NC가공시 최적의 절삭속도와 피이드를 선택하는 문제는 매우 중요하다고 할 수 있다.

그러나 절삭속도가 클수록 절삭량은 증가하여 작업능률을 향상시키는 반면 절삭온도가 상승하여 공구전단의 마모현상이 촉진되어 공구수명이 감소되므로 연속 절삭시간이 감소하는 반면 절삭속도가 작으면 공구의 수명은 연장되나 가공시간이 많이 소요되므로 총비용이 최소가 되는 절삭속도를 선택하여 작업하면 가공경비를 줄일 수 있다.

총 비용이 최저가 되는 절삭속도 V를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_a = \frac{L}{ns} = \frac{L\pi D}{1000sV} \quad \text{---(2) } T_a: 1 \text{ 개당 절삭시간}$$

$$N = \frac{T}{T_a} = C^n V^n \left(\frac{L\pi D}{1000sV} \right)^{-1} \quad \text{---(3)}$$

N : 공구수명 T_{min} 사이에 가공할 수 있는 부품개수

$\alpha = K_1 \times T_a$ ---(4) α : 부품 1개당 절삭시간의 비용

$\beta = K_1 \times T_c$ ---(5) β : 부품 1개당 여유시간의 비용

$\gamma = K_1 \frac{T_c}{N}$ --- (6) γ : 부품 1개당 공구교환 시간에 대한 비용

$\delta = \frac{K_2}{N}$ ---(7) δ : 부품 1개당에 대한 공구 연삭비용

$$TC = \alpha + \beta + \gamma + \delta$$

$$= K_1 T_1 + K_1 \frac{L\pi D}{1000sV} + \frac{K_1 L\pi D V^{(n-1)} T_c}{1000sC^n} + K_2 \frac{L\pi D V^{(n-1)}}{1000sC^n}$$

---(8) TC : 총비용

K_1 : 1 min에 대한 공임과 경상비 (원)

L : 가공물의 절삭길이 (mm)

K_2 : 바이트 1회 연삭의 공구비 (원)

D : 가공물의 직경 (mm)

V : 절삭속도 (m/min)

s : 피이드 (mm/rev)

T : 공구수명 (min)

T_c : 공구교환시간 (min)

가장 경제적인 절삭속도는 총비용(TC)이 최소가 되

어야 하므로 식 (8)을 V에 대하여 미분한 값이 0 (zero)일 때의 속도이다. $\frac{\partial(TC)}{\partial V} = 0 \quad \text{---(9)}$

$$\text{식 (9)를 정리하면 } V = C \left(\frac{1}{n-1} \right) \left(\frac{1}{T_c + K_2/K_1} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{---(10) 이다.}$$

W.Taylor[5]에 의하면 (1) 절삭속도가 너무 빠르면 절삭열의 상승으로 인하여 공구전단의 경도가 저하되고 공구의 마모가 생기며 발생열의 증가와 더불어 마모를 촉진시킨다. (2) 절삭속도가 너무 느리면 절삭온도가 낮고 공구인선의 정도 저하가 적으므로 마모현상이 천천히 발생한다. 그러므로 절삭효율이 높은 절삭속도는 위의 (1), (2)의 속도 사이에 존재할 것이다.

W.Taylor는 선반 공구의 수명과 절삭 속도에 관한 일반적인 실험을 하여 공구 수명과 절삭 속도는 상호 반비례되는 관계를 가지며 절삭속도(V)와 공구수명(T)과의 관계는 $TV^n = C$ (const) 식을 유도하였으며, 또한 W.Taylor는 절삭속도와 절삭면적의 관계를 다음과 같은 실험식으로 만들었다.

$$V = \frac{\left(1 - \frac{8}{7(32r)^2} \right) C}{j^{\frac{1}{3}} + \frac{2.12}{5+32r} \left(\frac{48f}{32r} \right)^{\frac{2}{15} + 0.06\sqrt{32r} + \frac{0.8(32r)}{6(32r)+48f}} \quad \text{--- (11)}$$

여기서 V = 절삭속도[m/min],

f = 피이드 [mm/rev]

t = 절삭깊이[mm], r = 인선반경[mm],

C = 상수 (Constant) 이다.

$$\text{여기서 } A = \left(\frac{48f}{32r} \right)^{\frac{2}{15} + 0.06\sqrt{32r} + \frac{0.8(32r)}{6(32r)+48f}}$$

$$B = \left(1 - \frac{8}{7(32r)^2} \right), \quad D = \frac{2}{5} + \frac{2.12}{5+32r} \quad \text{라하고}$$

식(11)을 피이드 f에 관해 정리하면

$$f = \frac{D}{V} \sqrt{\frac{B \cdot C}{V \cdot A}} \quad \text{--- (12) 이다.}$$

정삭시 피이드는 최대표면거칠기 (R_{max})를 유지할 수 있도록 다음과 같은 식을 이용하였다.

가공물의 표면조도(Surface Roughness)는 구성인선

(Built up edge)과 같은 장애물이 없으면 다음의 식으로 주어진다.

$$R_{\max} = \frac{f}{8 \cdot r} \quad \text{---(13)}$$

$$\text{따라서 } f = \sqrt{8 \cdot r \cdot R_{\max}} \quad \text{---(14)}$$

식 (13)이 유도되기 위해서는 절삭속도와 피이드의 조합이 구성인선이 발생하기 이전의 영역에 있어야 한다. 즉 표면조도를 제한하는 요인들은 다음과 같다 [2].

$$\frac{f}{8 \cdot r} \leq R_{\max} \quad \text{---(15)}$$

$$fv^{\gamma} \geq s \quad \text{---(16)}$$

실험적으로 $\gamma = 2$ 로 하면

$s = 1200 \sim 1400$ 이며 따라서

$$fv^2 \leq 1200 \sim 1400 \quad \text{---(17)}$$

$$f = \frac{1200-1400}{v^2} \quad \text{---(18)}$$

이론상의 표면조도는 $R_{\max} = \frac{f}{8 \cdot r}$ 이지만 실제 가공시 구성인선의 발생 및 공작물의 흔들림 등으로 인해 실제 표면조도는 나빠진다. 절삭시험을 통하여 이론상의 표면조도와 실제의 표면조도와의 관계는 다음과 같다 [15].

$$\text{강} : R_{\max} \times (1.5 \sim 3) \quad \text{---(19)}$$

$$\text{주철} : R_{\max} \times (3 \sim 5) \quad \text{---(20)}$$

현재 NC공작기계에서는 터렛에 공구가 여러개 장착되어있고 사용공구가 파손되면 터렛에 장착된 다른 공구를 선택하여 가공할 수 있으며, 공구인선도 인서트 팁을 사용하여 공구연삭에 필요한시간이 없으므로 식 (10)의 조건은 현실성이 결여되어 있다. 따라서 본 연구에서는 절삭속도가 선정되면 식 (1), (12), (14), (18), (19) 및 (20)을 지식기반(Knowledge Base)으로 구성하여 절삭속도와 피이드의 관계를 만족하는 피이드(f)를 구할 수 있게 하였다.

3. 최적 절삭속도 및 피이드 선정 전문가 시스템의 구성

3.1 최적 절삭속도 및 피이드 선정 전문가 시스템의 개요

일반적으로 범용 공작기계로 제품을 가공할 때는 피삭재의 종류 및 가공방법이 변경되면 가공시 절삭저항의 변동이 작업자의 손에 직접 감지되므로 절삭조건이 좋지 않을 때는 절삭속도 및 피이드를 변경하여 가공할 수 있지만 NC 공작기계로 가공할 때는 절삭저항의 정도를 인지할 수 없으며, 비록 절삭저항의 변동 정도를 인지할 수 있다 하여도 가공조건을 수정하려면 작업을 중단시키고 작업에 적합한 절삭조건을 입력해야 한다. 가공경험이 부족한 작업자가 피삭재의 재질 및 가공방법에 적합한 피이드를 매번 조건이 바뀔 때마다 선정하여 가공하기란 매우 어려운 일이므로 피삭재의 재질 및 가공방법이 바뀔 때마다 작업경험이 풍부한 작업자에게 문의하거나 가공핸드북에 의존하여 절삭조건(절삭속도, 피이드)을 설정해야 한다. 이러한 문제점을 해소하기 위한 연구 [2, 6, 12]가 다각도로 수행되고 있다. H사에서 생산하고 있는 QT-15N (Controller : MAZATROL)의 경우 산업체에서 가장 많이 사용하고 있는 피삭재 SM45C를 기준 [12]으로 하고, 가공모드는 바질삭(BAR), 모방질삭(CPY), 코너질삭(CNR), 단질삭(EDG), 나사질삭(THR), 홈질삭(GRV), 드릴질삭(DRL), 탭질삭(TAP)으로 구분하였고, 코너 세부적으로는 외경, 내경, 단면, 백(BACK) 등으로 구분하여 데이터베이스를 구축하였으며, SM45C가 아닌 피삭재를 가공하고자 할 때는 SM45C의 경도와 가동하고자 하는 피삭재의 경도를 비교하여 SM45C와의 경도비율만큼 가공조건(절삭속도 및 피이드)을 가감하여 사용할 수 있도록 하였다.

그러나 모든 가공조건을 SM45C를 기준으로 절삭속도를 선정하는 데는 무리가 있다고 할 수 있다. 또한 LEE [2]는 공구마모율을 직접 On-Line 방식으로 측정하는 것이 거의 불가능하므로 이송력을 이용하여 On-Line 측정하여 선반에 적합한 최적 제어 방식에 관해 연구했다 그러나 이 방식도 On-Line으로 이송력을 측

정할 수 있는 특수 장비가 필요하므로 일반적인 NC 공작기계에 적용할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 본 연구는 전문가 시스템을 개발하고 이를 현장에서 직접 이용할 수 있게 하여 지금까지의 여러 접근방법의 한계를 극복하고자 하였다.

본 전문가 시스템은 IBM/PC 호환 기종에서 실행될 수 있도록 NEXPERT SHELL 을 이용하여 개발하였으며, Dbase III를 이용하여 개발된 데이터베이스와 인터페이스 할 수 있어 사용자가 가공하고자 하는 피삭재의 종류 및 가공방법을 입력하면 데이터베이스에 저장되어 있는 피삭재의 종류와 가공방법에 해당하는 절삭속도를 읽어서 가공방법과 가공영역에 적합한 피이드를 계산하여 이를 NC프로그램 작성시 활용할 수 있도록 하였으며, 또한 사용자가 실제가공 및 절삭시험을 통하여 데이터베이스화된 표준 절삭속도보다 효율적인 절삭속도를 알게 되어 이를 본 시스템에 입력하면 데이터베이스에 갱신되어 저장되므로 점차 최적 절삭속도에 근접한 절삭속도로 구성된 데이터베이스를 구축할 수 있는 전문가 시스템으로 피삭재의 재질 및 가공방법에 적합한 표준절삭속도를 제시하여 줌으로써 절삭이론에 관한 지식이 없는 단순 작업자도 최적으로 가까운 절삭속도 및 피이드를 NC프로그램 작성시 활용할 수 있도록 하였다.

한편 본 시스템을 데이터베이스 시스템으로 개발하는 것 보다 전문가 시스템으로 개발한 이유는 다음과 같다. 본 전문가 시스템을 이용한 최적 절삭속도 및 피이드 선정 전문가 시스템은 단지 이를 데이터베이스 시스템으로만 구성할 경우 어려운 지식베이스를 통한 데이터의 체계화, 문서화를 용이하게 하였으며, 향후 최적 절삭속도 및 피이드에 외의 다양한 가공인자(공구의 마모정도, 절삭유의 급유 상태, 공구의 변형 등)에 대한 확장성을 높였으며, Nexpert shell에서 제공하는 객체(Object) 기반을 사용 가능하게 하여 향후 개선된 시스템에서는 객체 지향 프로그램의 장점을 이용할 수 있게 하였다.

본 전문가 시스템의 입출력 화면의 예는 <그림 1~6>과 같다.

3.2 표준 절삭속도 데이터베이스 구성 및 흐름도

본 시스템에서 데이터베이스화한 피삭재의 재질은 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 SM35C, SM45C, SM77C, GC25로 하였으며, 가공방법은, 내,외경 황삭, 정삭, 홈절삭, 나사절삭 및 드릴가공으로 분류하였다. 피삭재의 재질과 가공방법에 적합한 표준 절삭속도는 <표 1>과 같다.

피삭재의 재질 및 가공방법에 적합한 절삭속도를 <표 1>과 같이 저장되어 있는 데이터 베이스로부터 읽은 후 공구인선반경, 절삭깊이 및 절삭속도를 고려하여 가공방법에 적합한 피이드가 본 시스템에서 결정되어 작업자가 NC프로그램 작성시 활용하는데 각 조건에 해당되는 최적 피이드가 [표 2]와 같이 계산된다. 예를 들면 SM35C 외경 황삭의 경우, 절삭깊이 $t = 2 \text{ mm}$, 공구 인선반경 0.4 mm , 공구수명을 60분으로 할 경우, 피삭재의 절삭속도가 <표 1>에서 150 m/min 이므로 식 12에 따라 황삭 피이드를 계산하면 다음과 같다.

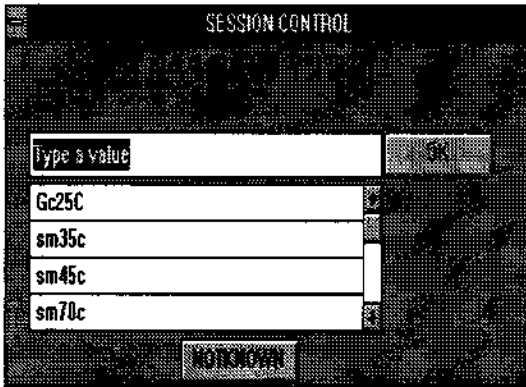
$$A = \left(\frac{48 \cdot 2}{32 \cdot 0.4} \right)^{\frac{2}{15} + 0.06 \sqrt{32 \cdot 0.4} + \frac{0.8(32 \cdot 0.4)}{6(32 \cdot 0.4) + 48^2}} = 2.27$$

$$B = \left(1 - \frac{8}{7(32 \cdot 0.4)^2} \right) = 0.99,$$

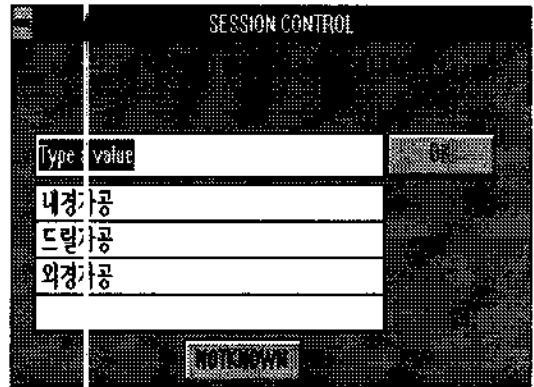
$$D = \frac{2}{5} + \frac{2.12}{5 + 32 \cdot 0.4} = 0.52$$

$$C = 113 \text{ 이므로, 피이드 } f = D \sqrt{\frac{B \cdot C}{V \cdot A}} = 0.52 \sqrt{\frac{0.99 \cdot 113}{150 \cdot 2.27}} = 0.12 \text{ (mm)이다.}$$

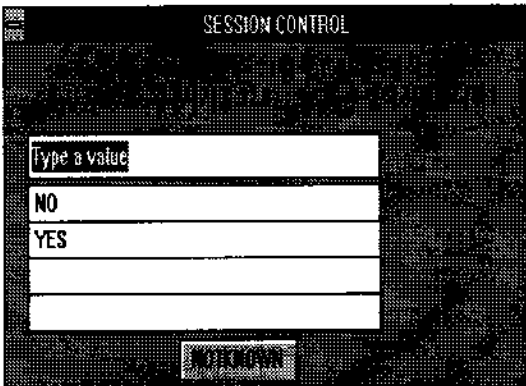
본 시스템은 피삭재의 재질, 절삭방법, 절삭깊이, 공구 인선반경등의 절삭가공 인자가 입력됨에 따라 시스템에서 표준절삭속도가 선정되고, 선정된 절삭속도와 피이드와의 관계식을 이용하여 황삭의 경우는 소재제거율(MRR)이 최대가 될 수 있는 피이드를, 정삭의 경우는 제품이 요구하는 표면조도를 만족시킬 수 있는 피이드를, 나사가공의 경우는 피치가 피이드가 될 수 있도록 하였으며, 실제의 추론과정은 절삭조건(절삭속도, 피이드)을 선정해야 한다는 목표(Goal)로부터 관련된 규칙을 추적해 가는 후향추론(Backward



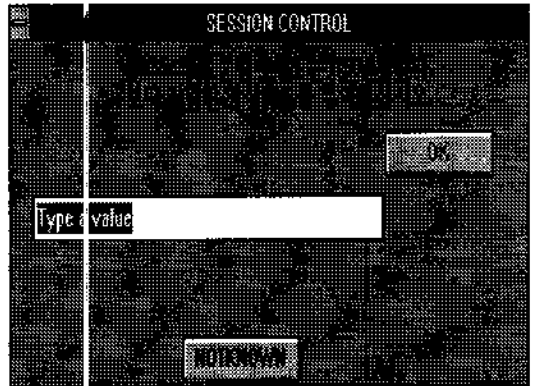
〈그림 1〉 피삭재 재질 선택 화면



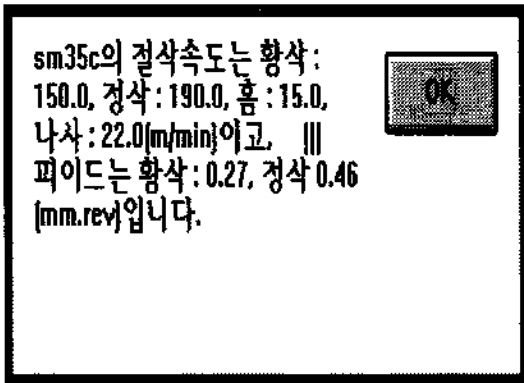
〈그림 2〉 작업방법 선택화면



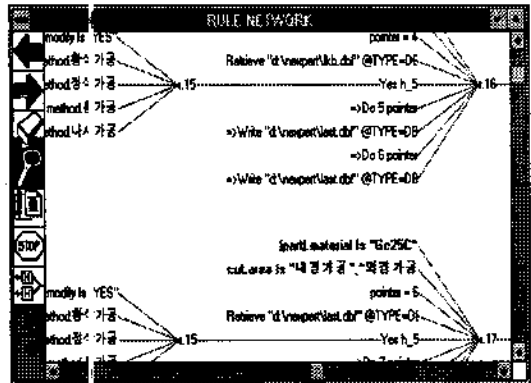
〈그림 3〉 표준절삭 속도 수정 여부



〈그림 4〉 갱신할 절삭속도 입력



〈그림 5〉 선정된 절삭 속도 및 피이드



〈그림 6〉 시스템의 RULE NETWORK

(표 1) 피삭재의 재질에 따른 표준 절삭속도 데이터 베이스

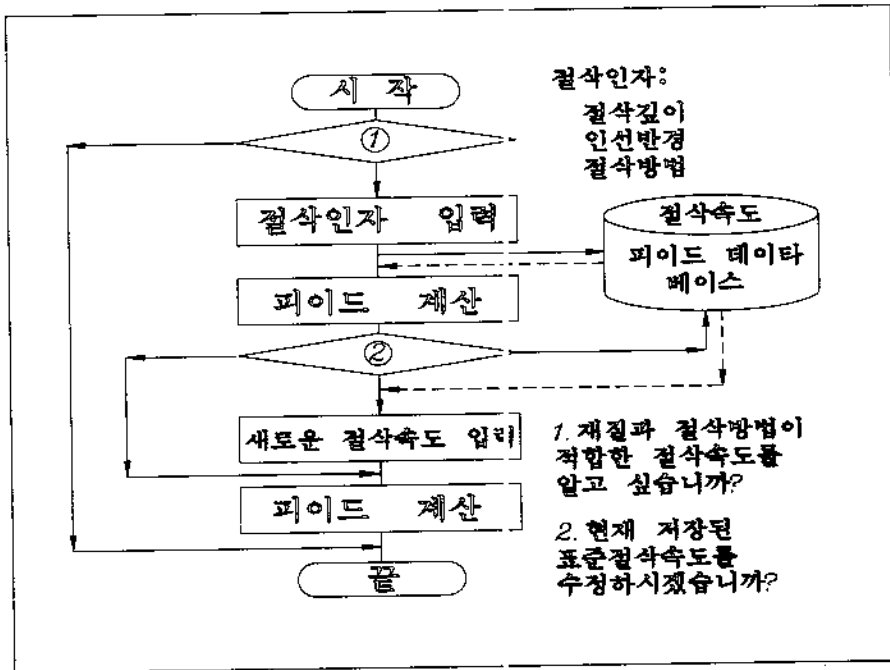
(단위 : m/Min)

	외경 황삭	외경 정삭	외경 홈	외경 나사	내경 황삭	내경 정삭	내경 홈	내경 나사	드릴 가공
SM35C	150	190	15	22	1.0	190	15	22	22
SM45C	140	180	15	15	1.0	180	15	15	18
SM70C	110	150	15	11	1.0	150	15	11	15
GC25C	63	80	15	15	0.3	80	15	15	20

(표 2) 피삭재의 종류 및 가공방법에 따른 피이드 데이터

(단위 : mm/rev)

	SM35c 외경	SM35c 내경	SM45c 외경	SM45c 내경	SM70c 외경	SM70c 내경	GC25 외경	GC25 내경
황삭피이드	0.12	0.12	0.14	0.14	0.22	0.22	0.62	0.62
정삭피이드	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.06	0.22	0.22



(그림 7) 전문가 시스템의 흐름도

Chaining)이 수행되었으며 전문가시스템의 전체적 처리절차는 다음과 같다.

3.3 전문가 시스템에 대한 규칙의 설명

최적 절삭속도 선정 전문가 시스템의 규칙은 피삭재의 재질 및 작업영역, 작업방법, 절삭속도 변경여부 등에 따라 여러 그룹으로 구성되어 있다, 사용자가 지

정한 내용에 해당하는 작업을 수행하기 위한 목표에 도달하기 위해 후향연결기법을 사용하였으며 사용된 규칙은 다음과 같이 6 개의 그룹으로 구성되어 있으며, 그룹 1,2,3은 외경가공과 관련된 절삭속도와 피이드를 계산하기 위한 규칙이며, 그룹 4,5,6은 내경가공과 관련된 절삭속도와 피이드를 계산하기 위한 규칙이다. 황삭가공에 해당하는 규칙은 생산성을 극대화시키는데 주안점을 두었으며, 정삭 가공에 해당하는 규칙은 제품이 요구하는 표면조도(R_{max})를 만족시킬 수 있는 피이드를 구할 수 있도록 하였다.

규칙은 부록과 같이 외경황삭 및 정삭에 관한 절삭속도와 피이드를 결정하는 규칙, 외경 홈 가공에 관한 절삭속도와 피이드를 결정하는 규칙, 외경 나사 가공에 관한 절삭속도와 피이드를 결정하는 규칙, 내경 황삭 및 정삭에 관한 절삭속도와 피이드를 결정하는 규칙, 내경 홈 가공에 관한 절삭속도와 피이드를 결정하는 규칙, 내경 나사 가공에 관한 절삭속도와 피이드를 결정하는 규칙으로 구성되며, 각 규칙에 대한 설명은 다음과 같다.

1. 그룹 1의 규칙에 대한 설명 : 외경 황삭 및 정삭에 관한 절삭속도와 피이드를 결정 하는 그룹으로, 사용 공구의 인선반경, 절삭깊이 및 피삭재의 재질을 입력하면 이 들 인자를 이용하여 식 12와 같이 피이드를 산출한다.

2. 그룹 2의 규칙에 대한 설명 : 외경 홈 가공에 관한 절삭속도와 피이드를 결정하는 그룹으로 그룹 1에서 구한 피이드의 4/5 값을 취한다.

3. 그룹 3의 규칙에 대한 설명 : 외경 나사의 절삭속도와 피이드를 결정하는 그룹으로 나사 가공시 피이드는 나사의 피치이므로 피치값을 취한다.

4. 그룹 4의 규칙에 대한 설명 : 내경 황삭 및 정삭에 관한 절삭속도와 피이드를 결정 하는 그룹으로, 내경 절삭시 내경공구의 홀더가 외경 공구의 홀더보다 길게 돌출되어 강력 절삭시 홀더의 휨 현상이 발생하므로 그룹1의 피이드의 2/3값을 취한다.

5. 그룹 5의 규칙에 관한 설명 : 내경 홈 가공에 관한 절삭속도와 피이드를 결정하는 그룹으로 그룹 2의 규칙에 의해 구한 피이드를 그룹 4의 방식으로 피이드를 구한다.

6. 그룹 6의 규칙에 관한 설명 : 그룹 3의 방식에 의해 피이드를 구한 후 절삭속도는 그룹 4의 방식으로 구한다.

4. 결론

본 연구에서 개발한 전문가 시스템은 CNC선반 작업시 재질 및 가공방법에 따른 적절한 절삭속도와 피이드를 알지 못하여 능률적인 작업을 하지 못하고 있는 작업자에게 보다 효율적인 절삭가공을 수행할 수 있도록 하기 위하여 피삭재의 재질 및 작업방법에 적합한 절삭속도 및 피이드를 데이터베이스화 하였으며, 작업자가 절삭이론에 관한 지식이 없이도 절삭가공인자만 입력하면 이 가공인자에 적합한 절삭속도 및 피이드가 계산되어 NC프로 그랩작성시 활용할 수 있도록 하였다. 그러나 본 전문가시스템에서 제공하는 절삭속도 및 피이드는 보다 다양한 가공인자, 즉 공구의 마모정도, 절삭유의 종류 및 급유상태, 절삭력으로 인한 공구치 변형 등이 고려되지 않았으므로 이러한 가공인자의 변화에 모두 만족할 수는 없지만 절삭속도 및 피이드의 기준을 제시할 수 있으므로 가공요인의 변화가 발생할 때 이에 따라 절삭속도 및 피이드를 가감하여 사용하면 효율적인 작업을 수행할 수 있으며, 절삭이론에 대한 지식이 없는 작업자라도 가공 재질이 변경될 때 이에 적당한 기준 절삭속도 및 피이드를 제공할 수 있다는 데 큰 의의가 있다.

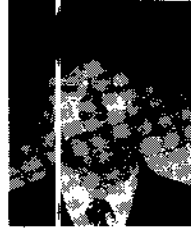
또한 본 전문가 시스템은 단순히 데이터베이스로부터 절삭속도 및 피이드를 조회하여 이용하는데 그치지 않고 작업자가 현장에서 실제 작업을 통하여 습득한 절삭속도 및 피이드가 데이터베이스화된 가공데이터보다 효율적이면 이들 가공데이터를 본 전문가 시스템에 입력하여 데이터베이스를 갱신하므로써 점진적으로 최적에 가까운 절삭속도로 구성된 데이터베이스를 스스로 구축할 수 있다는 것이 특징이다.

본 연구에서 소개한 최적 절삭속도 및 피이드 선정 전문가 시스템은 피삭재의 종류가 제한되어 있고 적용 기계도 CNC선반에 국한되어 있으나 컴퓨터에 의한 생산 시스템의 통합(CIM)을 부분적으로 구현할 수 있다는 측면에서 그 의의를 강조할 수 있다. 앞으로

보다 폭넓은 피삭재와 적용기계도 CNC밀링이나 머시닝센터등에도 적용할 수 있는 데이터 베이스를 구축하는 연구가 필요하고 보다 많은 가공인자를 고려하여 가공인자의 변화에 대해 스스로 적용할 수 있는 전문가 시스템의 개발에 대한 연구가 필요하다고 본다. 또 NC기계 내에서도 전문가 시스템에 대한 조희가 가능하도록 하는 전문가 시스템과 NC기계와의 인터페이스 문제도 추후 연구가 필요하다.

[참고문헌]

- [1] Byoung-Kyu Choi, "CAD/CAM COMPATIBLE TOOL-ORIENTED PROCESS PLANNING FOR MACHINING CENTER", purdue univ. Ph.D. Dissertation, 1982
- [2] Soo-Han Lee "A Study on the Adaptive Control System for Turning Process Using Axial Force", M.Sc. Thesis, KAIST, KOREA, 1980
- [3] 최병규, CAM시스템과 CNC절삭가공, 청문각, 1991
- [4] Nexpert Object, Neuron Data, inc. 1991
- [5] 염영하, 공작기계의 절삭이론, 동명사, 1988
- [6] 이건범, "2차원 자동절삭 CAM SOFTWARE 개발에 관한 연구", 울산대학교 석사학위논문, 1994
- [7] 서영곤, 박양병, "규칙베이스 전문가 시스템을 이용한 NC 프로그래밍", 산업공학학회지 제 6권 제 2호, 1993
- [8] 조규갑, 임주택, 오정수, "CAD인터페이스된 사출금형 공정설계 전문가 시스템", 대한 산업공학회지 제19권 제 2호, 1993
- [9] 현 동훈외, "기계가공의 경제성을 고려한 최적조건 선정에 관한 연구, 대한기계학회" 춘계학술대회 논문집(1) PP. 176~180, 1992
- [10] 김 윤제, "선삭에서 정상가공조건과 가공마모시의 가공정도 및 절삭력 특성에 관하여," 중앙대학교 박사학위논문, 1983
- [11] 코오로이 절삭공구, 한국야금, 1995
- [12] QT-r5N 매뉴얼, 현대정공, 1993
- [13] 안 중환외, 선반가공용 CAM 시스템의 개발, 한국과학기술재단연구결과보고, 1992



김연민

1979년 서울대 산업공학과 졸업(학사)
 1981년 한국과학기술원 산업공학과 졸업(석사)
 1993년 한국과학기술원 경영과학과 졸업(박사)
 1994년 미 Ohio대 경영과학과 객원교수
 1984~현재 울산대학교 산업공학과 교수
 관심분야 : 생산전략, 제조시스템 설계 및 운영



이건범

1984년 창원기능대학 기계공학과 졸업
 1984~1987(주) 금성사 설계실 제품설계
 1992년 울산대학교 기계공학과 졸업(학사)
 1994년 울산대학교 기계공학과 졸업(석사)
 1994~현재 울산대학교 산업공학과 박사과정 재학중
 1996~현재 홍성기능대학 생산기계기술학과 전임강사
 관심분야 : CAD/CAM, 지능형 제조시스템

【부 록】

전문가 시스템에 대한 규칙

그림 1: 외경황삭 및 정삭에 관한 절삭속도와 피이드를 결정한다.

```

(@RULE=R4
(@LHS=
(Is (|part|.material) ("GC25"))
(Is (cut.area) ("외경가공"))
(>) (황삭절삭깊이) (0))
(>) (황삭노우즈반경) (0))
(>) (정삭노우즈반경) (0))
(Is (modify) ("NO"))
)
(@HYPO= 비수정GC25—외경)
(@RHS=
(Do (6) (pointer))
(Retrieve ("c:\nexpert\last.dbf"))
(@TYPE=DBF3;@SLOTS=method.황삭가공,
method.정삭가공;
@FIELDS="ROUGH", "FINE";@CURSOR=
pointer;))
(Do (method.황삭가공) (V))
(Do (황삭절삭깊이) (t))
(Do (황삭노우즈반경) (r))
(Do (POW((48*t/(32*r)), (2/15+0.06*SQR
T(32*r)+
0.8*32*r/(6*32*r+48*t)))) (A))
(Do ((1-(8/(7*POW(32*r,2)))))) (B))
(Do (60*POW(V,0.127)) (C))
(Do (0.4+2.12/(5+32*r)) (D))
(Do (B*C/(V*A)) 1/D (피이드.황삭))
(Do (정삭노우즈반경) (r))
(Do (1400/V 2) (피이드.정삭))
(Execute ("Message"))
(@STRING="@TEXT=@V(part.material)의
외경
표준절삭속도는 황삭 : @V(method.황삭가공),
.
.
.
(@TYPE=DBF3;@SLOTS=method.정삭가공,
피이드.정삭,

```

```

method.황삭가공, 피이드.황삭;@FIELDS="FINE",
"FEED-FIN", "ROUGH", "FEED-ROU";@
CURSOR=pointer;))
)
)

```

그림 2: 외경 홈 가공에 관한 절삭속도와 피이드를 결정한다.

```

(@RULE= R12
(@LHS=
(Is (|part|.material) ("SM35C"))
(Is (cut.area) ("외경홈가공"))
(Is (modify) ("NO"))
)
(@HYPO=비수정SM35C—외경홈)
(@RHS=
(Do (0) (pointer))
(Retrieve ("c:\nexpert\last.dbf"))
(@TYPE=DBF3;@SLOTS=method.홈
가공;@FIELDS="GROOVE";
@CURSOR=pointer;))
(Execute ("Message"))
(@STRING="@TEXT=@V(part.
material)의 외경홈 가공시
표준절삭속도는 : @V(method.홈가공(m/min)
입니다.:))
)
)

```

그림 3: 외경 나사 가공에 관한 절삭속도와 피이드를 결정한다.

```

(@RULE= R17
(@LHS=
(Is (|part|.material) ("SM45C"))
(Is (cut.area) ("외경나사가공"))
(Is (modify) ("NO"))
)
(@HYPO= 비수정SM45C—외경나사)
(@RHS=
(Do (2) (pointer))
(Retrieve ("c:\nexpert\last.dbf"))
(@TYPE=DBF3;@SLOTS=method.나
사가공;@FIELDS="THREAD";
@CURSOR=pointer;))
(Execute ("Message"))
)
)

```