

〈論 文〉

# 經濟性を 고려한 機械加工의 最適 切削條件의 自動 選定에 관한 研究

이 길 우\* · 이 용 성\*\*

(1992년 3월 17일 접수)

## A Study on Automatic Selection of Optimal Cutting Condition on Machining in View of Economics

Kil Woo Lee and Yong Sung Lee

**Key Words :** Production rate(생산율), Minimum Cost(최소값) Maximum Productivity(최대생산율), Too-Life(공구수명)

### Abstract

In recent years, machining turns to flexible manufacturing. Industry in machining requires to increase machining productivity and to reduce costs. To adapt this trend it is necessary to optimize machining condition. Even though many researches in this are introduced various way to set the optimal condition, still there are not enough. Therefore this research was done to select the optimal cutting condition for industry, and to develop the computer program to select the optimal cutting condition automatically. Also, this program was applied to many companies, and compare costs per minute. The results of this research will contribute to increase machining productivity of various companies with the automatic selection of optimal cutting condition.

### 기 호 설 명

$U_{rc}$  : 총 비용(won/pc)

$P$  : 생산속도(pcs/hr)

$M$  : 노무자와 간접비(won/min)

$C_t$  : 공구비(won/cutter)

$t_L$  : 공작물설치 및 제거시간(min)

$t_o$  : 선삭작업 준비시간(min)

$t_t$  : 공작물설치 및 제거시간(min)

$t_m$  : 검사 시간(min)

$t_c$  : 공구 교환시간(min)

$t_s$  : 공구 재 연삭시간(min)

$t_s$  : tip을 붙이는 시간(min)

$a$  : Approach의 길이(mm)

$r$  : 급속변환 장치(mm/min)

$N_L$  : Lot size

### 1. 서 론

최근 생산 형태가 다양한 수요에 부응하는 생산 형태로 흐르고 있어 다양한 제품이 생산되고 있다. 즉 소품종 소량 생산이 주류를 이루고 있다. 이러한 소품종 소량 생산의 체제는 연속 대량 생산에 비해 더욱 생산성 및 원가 분석에 심혈을 기울여야 채산성을 유지할 수 있다. 기계 가공에 있어서도 기존의 범용 공작 기계의 사용하는 한계가 국내에서도 절실하게 대두되고 있어, 중·소기업들까지도 장비의 NC화(자동화)가 급속히 진행되고 있다. 그러나 기술 인력의 수급이 이들을 따라가지 못하

\*정회원, 홍익대학교 기계설계학과

\*\*정회원, 단국대학교 기계공학과

며, 생산 기술력 또한 한계에 부딪혀 업체에서는 여러가지 애로사항에 봉착하고 있다. 그러므로 업체의 이러한 점을 극복하기 위해서는 가공 조건의 최적화가 시급한 실정이다. 가공 조건의 설정은 실가공에 있어서도 중요하지만, 공장설계 및 작업설계 즉 생산 시스템에 필요한 시간과 장비 선정의 기초가 되므로 그 최적화가 반드시 이루어져야 한다. 가공 조건의 최적화는 Ermer와 Wu<sup>(1)</sup>가 미분방정식의 계산에 의해 해석적으로 2개의 변수를 사용하여 가공 조건의 최적화를 시도하였고, Crookale<sup>(2)</sup>은 같은 방법으로 Performance Envelope의 개념을 세워놓았다. 이같은 연구들은 목적 함수의 특성을 파악하는데는 도움이 되나 제한조건에 있어서는 현실성이 결여 되어 있다. Friedman과 Tipnis<sup>(3)</sup>는 절삭 조건으로 R-T-F 특성 방정식의 극선상에 최적 절삭 조건이 존재한다고 하였으나, 이것은 제한적인 조건에서만 성립된다. 또한 Iwata등<sup>(4)</sup>은 Probabilistic characteristic을 고려한 최적점(optimal point)에 있어서의 제약조건 영향을 검토하여, 최적 가공조건이 제약조건에서 계수의 가능한 성질(probabilistic nature)에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. Ermer<sup>(5)</sup>는 가공조건을 최적화 하기위해 Geometric programming을 사용했고, weighting factor를 고려하여 경제적 가공효과를 소개하였다. 그러나 이것들은 제약조건을 절삭조건에만 국한시켜 현장에서 필요로 하는 표면조도의 제약조건을 만족하지 못해 현장 작용이 곤란 하였다. 그러므로 본 논문에서는 제약조건중 절삭조건 뿐만 아니라 작업 가공 목표, 즉 현장에서 중요시하는 표면조도를 제약조건에 첨가하여 가공 조건의 최적화를 꾀하였다. 또한 앞의 논문들에서 적응제어나 R-T-F의 개념으로 경제성으로 고려한 최적 절삭 조건을 구하였으나 본 논문에서는 국내 업체의 노무비 및 간접비로 최소 가공비를 구하고, 이에 대응하는 최적 절삭 속도 및 최대 생산율을 검토하였다. 그리고 이송변화에 따른 최적 절삭 속도의 영향을 검토하여 생산 가공의 경제성을 제고하였다. 또한 각 업체의 선삭작업에 해당하는 입력 데이터만으로 경제성을 고려한 최적 절삭 조건의 자동 설정을 하기 위하 프로그램을 구축하였다. 그러므로 이와같은 방법으로 현재 업체의 장비와 인원만으로 기계 가공의 최적 조건 선정을 자동화 하므로써 생산성 향상과 원가 절감의 효과를 극대화 할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 관계 이론

### 2.1 기계가공의 수학적 기본 모델<sup>(6)</sup>

#### (1) 단위생산시간

단위 생산시간은 제품 1개를 가공하는데 필요한 시간이다. 이 시간이 단축된 기계가공은 능률이 좋으므로 생산성이 높아지게 된다. 그러므로 가공 조건은 최대 능률기준으로 한다. 자동화 기계의 경우 제품 1개를 가공하기 위한 생산시간  $t$ 는 크게 나누어 다음 3가지 시간성분의 합으로 된다.

① 실절삭 시간(min/pc): 실제의 절삭가공에 필요한 시간( $t_f$ )

② 비절삭 시간(min/pc): 소재의 착탈, 절삭공구의 접근·이탈 등 실절삭에는 관계 없는 여유시간( $t_i$ )

③ 공구교환 시간(min/pc): 손상된 공구를 새것으로 교체하는데 드는 시간을 ( $t'$ )이라고 하면,  $t_r = (t_c \cdot t_f / T)$ 이 된다.

따라서 實 절삭시간  $t'$  (min/pc)의 식은 다음과 같이 나타낸다.

$$t_f = \pi \cdot D \cdot L / 1000 \cdot f \cdot V = \lambda / V \quad (1)$$

$D$ : 공작물의 가공전 직경(mm)

$L$ : 공작물의 가공 길이(mm)

$f$ : 이송(mm/rev),  $V$ : 절삭속도(m/min)

$\lambda$ : 절삭 상수( $\lambda = \pi DL / 1000f$ )

이고, 또한 비절삭 시간(idle time)  $t_i$ (min/pc)의 식은 다음과 같이 된다.

$$t_i = \frac{a}{2} \cdot \frac{1}{r} + \frac{a+L}{r} + t_s + t_l + t_m + \frac{t_o}{N_t} \quad (2)$$

따라서 단위 생산시간  $t$ (min/pc)는 다음과 같이 합이 된다.

$$t = t_f + t_i + t_c \cdot (t_f / T) \quad (3)$$

또한 식(1)과 Taylor의 공구수명 방정식  $T = (C/V)^{1/n}$ 을 식(3)에 대입하면 다음과 같은 식이 된다.

$$t = \frac{\lambda}{V} + t_i + t_c \cdot \frac{\lambda V^{(1/n)-1}}{C_{1/n}} \quad (4)$$

#### (2) 생산율

생산율은 단위 생산시간의 역수이다. 고로 식은 다음과 같은 식이 된다.

$$q=1/t=1/[t_f+t_i+t_c \cdot (t_f/T)] \quad (5)$$

이것의 단위를 다시 시간으로 환산하면, 단위 시간 당의 생산갯수인 생산율(또는 생산속도) pcs/hr는 다음과 같이 된다.

$$P=60/[t_f+t_i+t_c \cdot (t_f/T)] \quad (6)$$

(3) 단위 생산비용

단위 생산비용은 제품 1개당의 가공비이며, 이 가공비용을 작게 하므로써 생산 원가를 절감 시킬 수 있다. 그러므로 최소비용 기준에 맞추어 가공조건을 설정 해야 한다. 생산비용  $U_{rc}$ 는 다음과 같은 성분의 합으로 이루어 진다.

- ① 절삭비용(won/pc):  $M \cdot t_f$
- ② 비 절삭비용(won/pc):  $M \cdot t_i$
- ③ 공구 비용(won/pc):  $C_t(t_f/T)$

여기서  $M$ 은 노무비와 간접비의 총계로 분당 가공비이고,  $T$ 는 공구수명이다. 고로 단위 생산비용  $U_{rc}$ 은 다음과 같은 식이 된다.

$$U_{rc}=M \cdot t_f+M \cdot t_i+M t_c \frac{t_f}{T}+C_t \frac{t_f}{T} \quad (7)$$

그리고 식 (1)과 공구수명방정식  $T=(C/V)^{1/n}$ 을 식(7)에 대입하면 다음과 같은 식이 된다.

$$U_{rc}=(t_i+\frac{\lambda}{V})M+(M \cdot t_c+C_t)\frac{\lambda}{1/n}V_i^{1/n-1} \quad (8)$$

2.2 기계가공에 있어서 최적 절삭속도

(1) 최대능률 절삭속도

일반적으로 고려 되어지는 가공조건(절삭속도, 이송량, 절삭깊이량)에 있어서 그중 1개를 결정변수로 하는 절삭 제약조건  $V_{min} \leq V \leq V_{max}$ 으로 하면 식(5)은  $V$ 에 대한 함수이므로  $(\partial t/\partial V)=0$ 일 때 최대 생산 절삭속도를 얻게 된다. 고로 최대능률 절삭속도( $V_{ap}$ ) 다음과 같이 된다.

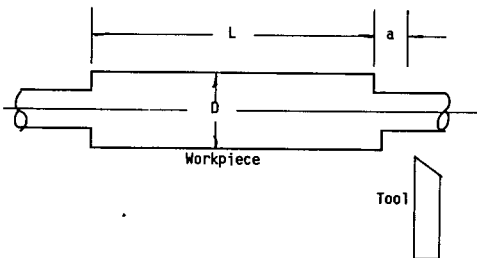


Fig. 1 Cutting of round bar(Test material: SM45C, Tool: P20)

$$V_{ap}=\frac{C}{\left[\left(\frac{1}{n}-1\right)t_c\right]^n} \quad (9)$$

생산률(혹은 생산속도)을 최대로, 다시말해서 생산시간을 최소로 하는 절삭 속도  $V_{ap}$ 는 Fig. 1의 도면과 같이 피삭재를 절삭가공 할 경우, Taylor의 수정공구수명방정식  $V \cdot T^n \cdot d^\alpha \cdot f^\beta=C(\alpha, \beta$ : 절삭상수)와 식 (9)를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수있다

$$V_{ap}=\frac{C}{\left[t_c\left(\frac{1}{n}-1\right)\left(\frac{L}{L+a}\right)\right]^n} \cdot d^\alpha \cdot f^\beta \quad (10)$$

여기서

- $d$ : 절삭 깊이(mm)
- $f$ : 이송(mm/rev)

이렇게 구한 최대능률(최소시간) 절삭속도  $V_{ap}$ 는 보통 최소비용 절삭속도  $V_{ic}$ 보다 크다.

(2) 최소비용 절삭속도

식(8)은 절삭속도  $V$ 에 대한 함수이므로,  $(\partial U_{rc}/\partial V)=0$ 일때 최소비용 절삭속도 ( $V_{ic}$ )는 다음과 같은 식이 된다.

$$V_{ic}=\frac{C}{\left[\left(\frac{1}{n}-1\right)\left(t_c+\frac{C_t}{M}\right)\right]^n} \quad (11)$$

그러나 절삭깊이와 이송의 영향을 고려한 수정 공구수명 방정식은  $V \cdot T^n \cdot d^\alpha \cdot f^\beta=C(\alpha, \beta$ : 절삭상수)로 되며, 이에 따른 최소비용 절삭 속도  $V_{ic}$ 는 다음과 같다.

$$V_{ic}=\frac{C}{\left[\left(t_c+\frac{C_t}{M}\right)\left(\frac{1}{n}-1\right)\left(\frac{L}{L+a}\right)\right]^n} \cdot d^\alpha \cdot f^\beta \quad (12)$$

2.3 표면조도

기계가공에 있어서는 피삭재에 대한 절삭공구의 재료 및 형상, 절삭속도, 절삭깊이, 이송, 절삭유제등을 결정하여야 하며, 또한 절삭후 가공면의 표면조도를 만족 해야만 한다.

이송방향의 기하학적 표면조도에 대한 근사식은 다음과 같다.

$$H_{max}=[f^2/(8 \times R)] \times 1000 \quad (13)$$

으로 된다.

여기서  $H_{max}$ : 표면조도( $\mu\text{m}$ )

$R$ : nose의 반경(mm)

$f$ : 이송(mm/rev)

2.4 최적 절삭조건 설정시 제약조건

(1) 절삭깊이에 대한 제약조건

사용하는 절삭공구의 날끝 형상으로부터 절삭깊이에 최대치  $d_{max}$ 를 결정하고, 그 이상의 절삭깊이가 주어지면 2회 이상의 절삭깊이로 하기로 한다. 그러므로 가공에서의 절삭깊이는 다음과 같은 제약조건을 만족 해야 한다.

$$d = (D_1 - D_2) / 2 \leq d_{max} \tag{14}$$

여기서

$D_1$ : 가공전 공작물의 직경(mm)

$D_2$ : 가공후 공작물의 직경(mm)

(2) 이송에 대한 제약조건

이송에 대한 제약조건은 앞서 기술한 최대 표면조도의 식 (13)으로부터 최대 이송  $f_{max}$ 를 정할 수 있고, 그 값은 다음과 같이 된다.

$$f_{max} = \sqrt{8 \cdot R \cdot H_{max}} / 1000 \tag{15}$$

공작기계 자체가 가지고 있는 최대, 최소의 이송한계에 대해서도 고려하여, 가공할 때 주어지는 이송은 다음과 같다.

$$f_{min} \leq f \leq f_{max} \tag{16}$$

을 만족하는 범위내에서 설정 되어야 한다.

(3) 절삭속도에 대한 제약조건

절삭깊이와 이송이 결정되면 최소 가공비용 절삭속도  $V_{ic}$ 가 절삭공구의 수명 방정식을 이용하여 계산되지만, 이 속도로 가공 할 수 있는 것의 가능성을 검토할 필요가 있다. 속도의 제약이 되는 것은, 우선 선반이 갖는 최소 회전수  $N_{min}$ 와 최대 회전수  $N_{max}$ 이다. 따라서 그것들과 가공물의 직경으로부터 얻어지는 최소 절삭속도  $V_{min}$ 과 최대 절삭속도  $V_{max}$ 를 결정 할 수 있다. 고로 절삭속도  $V$ 는 다음과 같이 주어 진다.

$$\left. \begin{aligned} V_{min} &= \pi \cdot D_1 \cdot N_{min} / 1000 \\ V_{max} &= \pi \cdot D_2 \cdot N_{max} / 1000 \end{aligned} \right\} \tag{17}$$

다음으로 선반이 보유하는 주전동기의 허용마력을 고려하며, 절삭속도는 허용마력 이내에서 유지되어야 한다. 따라서 허용 마력의 절삭속도  $V_{hp}$ 는 다음과 같이 식이주어 진다.

$$V_{hp} = \frac{75 \times 60 \times \eta H_{ps}}{K_s \cdot f^\alpha \cdot d^\beta} \tag{18}$$

여기서

$\alpha, \beta$ : 공작물에 의해 결정 되는 상수

$H_{ps}$ : 허용마력 ( $\rho S$ )

$\eta$ : 기계효률 ( $\eta=0.8$ )

$K_s$ 는 비절삭저항  $K_s(\text{kg/mm}^2)$ 이고 식은 다음과 같다.

$$K_s = \frac{C_{ks}}{\epsilon_{ks} \sqrt{F}} \tag{19}$$

여기서  $C_{ks}$ : 절삭 면적  $1 \text{ mm}^2$ 일때의 비절삭 저항

$\epsilon_{ks}$ : 직선의 기울기

$F$ : 절삭 단면적  $\text{mm}^2$

따라서 절삭조건에 대한 제약조건은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} V_{min} &\leq V \leq V_{max} \\ V &\leq V_{hp} \end{aligned} \tag{20}$$

3. 실험

3.1 실험장치 및 방법

CNC 선반에서 초경공구 p20으로 SM 45( $80\phi \times 400$ )를 가공하여 공구 수명을 검토하였다. 공구수명 판정기준은 여유면 마모폭  $V_B=0.3(\text{mm})$ 로 하였으며, 여유면 마모를 공구 현미경으로 측정하였다. Table 1에 실험 장비 및 공구의 제원을 표시하고, Table 2에 실험조건 결과 공구수명을 표시하였다.

4. 결과 및 토의

4.1 기계가공의 경제성과 절삭조건

(1) 절삭속도에 따른 제비용과 생산속도와의 관계 일반적으로 기계가공을 하기 위해서는 제작도면과 가공재료를 전제로 하여 목적에 적합한 공작기계의 종류와 크기를 선정하고, 능률적이고 저가의 가공조건을 선정할 필요가 있다. 그 예로써 Fig. 1에 나타난 것과 같은 동력전달용 기어축을 제작하는 경우에 관해서 설명하기로 한다.

Fig. 1과 같은 제품을 제작하는 경우에는 소재에서 제품에 이르는 공정설계를 우선으로 한다. 이 경우 선삭 작업을 하므로 선반의 소유동력, 기계의 용량(왕부대의 스윙, 양 센터간의 거리 등), 주축의 회전수, 치구(治具), 기계의 강성, 기계의 설비비 등을 고려하여 적절한 기계를 선정한다. 또한

**Table 1** Specification for equipments and tools

CNC lathe	Manufacture		WASINO, Japan
	Model		LJ-62K
	size	Between centers	470 mm
		Length of bed	800 mm
spindle speed		20~3500 rpm	
Micro- topogr- apher	Manufacturer		Nikon, Japan
	Magnification		50× ~ 1000×
Tool	Type		Throw-away bite
	Tip material		p20
	Tip shape		(-5, -6, 5, 6, 15, 15, 0.8)
Cutting Fluid Tool Life Criterion			Dry Cuting Flank Wear land

**Table 2** The results of cutting tests

NO.	Cutting depth(mm)	Feed (mm/rev)	Cutting speed (m/min)	Tool life (min)						
1	0.30	0.20	292.8	2.74	20	0.80	397.6	0.89		
2			317.2	2.42	21		0.30	237.5	8.25	
3			397.2	1.67	22			238.2	6.64	
4			397.6	0.74	23			311.8	3.5	
5		0.30	0.10	230.2	2.74	24		1.5	328.2	1.32
6				246.1	2.42	25	0.10		309.7	7.03
7				325.7	1.67	26			325.5	5.67
8				342.6	0.62	27			392.2	2.63
9	331.2	6.25		28	398.7	1.24				
10	0.50	0.10		364.5	4.53	29	0.20		288.9	5.08
11				419.3	2.43	30			312.7	4.57
12				452.7	1.56	31			375.8	1.37
13			262.2	5.92	32	378.6		1.14		
14	0.30	0.30	281.5	3.74	33	2.0	375.4	7.08		
15			363.2	1.85	34		0.10	396.2	3.74	
16			372.0	0.67	35			401.7	1.47	
17			267.0	7.32	36			437.6	1.21	
18	289.9		5.12	37	0.30			457.6	5.54	
19	349.4		1.74	38			478.8	3.24		
				39			481.7	1.78		
				40			499.6	1.57		

Table 3 Symbols for analyzing economics of machining process

Symbol	Item	Value	Unit
$M$	Sum of labor and indirect cost	435, 221,	won/min
$C_t$	Tool cost	625	won/cutte
$t_L$	Loading/unloading time	2.0	min
$t_o$	Time of workpice setting time	20.0	min
$t_t$	Traversal feed time	0.6	min
$t_m$	Inspection time	2.5	min
$t_c$	Tool changing time	0.3	min
$N_L$	Lot size	80	
$r$	Rapid change time	2, 300	mm/min
$D$	Diamter of workpice	75.0	mm
$L$	Length of workpice	350.0	mm
$a$	Approach length	30.0	mm
$f$	Feed	0.35	mm/rev
$d$	Depth of cut	1.0	mm

절삭공구의 선택시 공구의 종류 및 형상을 결정 하여야 하며 절삭시 소요되는 각각의 실절삭 비용, 비절삭 비용, 공구교환 비용, 공구 비용등을 고려하여 능률적인 절삭조건을 결정한다.

지금 Fig. 1의 제품을 가공 하는 경우, Table 1에서 보는 것 같이 실험 데이터를 Taylor의 공구수명 방정식  $V \cdot T^{0.263} d^{0.34} f^{0.204} = 223.08$ 으로 부터 최소비용 절삭속도와 그 때의 가공비용 및 공구수명을 구하고, 생산율을 최대로 하는 절삭속도에 대해 대기업(A)와 중소기업(B)인 2개 가공업체의 분당가공비 M을 적용시켜 Table 3의 각 항목에 대한 값을 주어 계산한다. Fig. 2에서 나타난 바와

같이 대기업군(a)社( $m=435$  won/min)의 경우,  $U_{TC}$ 를 최소로하는 절삭속도  $V_{ic}$ 는 186.3 m/min으로 되고, 이때의 공구수명  $T$ 는 공구수명 방정식으로부터 4.48분이 된다. 또 생산속도(생산율)  $P$ 를 최대로 하는 절삭속도  $V_{ap}$ 는 295.587 m/min로 되며, 그때의 생산속도(생산율)  $P$ 는 8.92 pcs/hr로 계산 된다. 결국 이때 작업에서 제품 1개를 제작하는데 필요한 비용을 최저로 하기 위해서는 절삭속도  $V_{ic}$ 는 186.3 m/min로 가공하면 좋다. 그리고 4.48분마다 공구를 교환 해야 한다. 또 그때의 가공비용  $U_{TC}$ 는 3208.3 won/pc이며, 3-한 생산율  $P$ 를 최대로하는 절삭속도  $V_{ap}$ 는 295.59 m/min이다. 그때의 공구수명은 0.77분 이다. 그리고 그 때의 생산속도는 1시간에 8.6개 제작할 수 있다. 나머지 중소기업군 Fig3. 에서와같이 (B)社( $M=221$  won/min)에서의 최소비용 절삭속도, 최소 가공비용 및 최대능률 절삭속도, 생산율 등도 같은 방법으로 해석한다. 또한 Fig. 2, Fig.3에서와 같이 절삭속도를 경계로 하여 증가 하게 된다. 이것은 절삭속도가 증가 할수록 실 절삭 비용은 감소하나 공구교환 비용과 공구 비용이 현저하게 증가하기 때문이다. 또한 생산율은 단위 생산시간의 역수이므로 절삭속도가 증가 할 수록 최대 능률 절삭속도까지 증가하며 그 후에 감소한다. 이것 또한 실 절삭 시간에

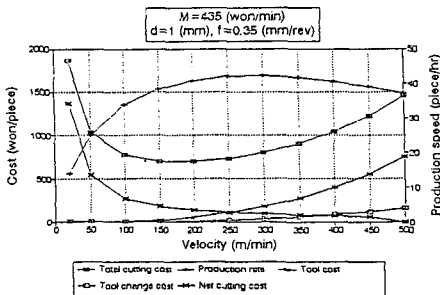


Fig. 2 The relationship between costs and cutting speed, and between production rate and cutting speed in machining( $M=435$  won/min)

비해 공구교환 시간이 급격히 증가하기 때문이다. 그러므로 분당 가공비가 증가하면 최대능률 절삭속도는 일정하지만, 최소비용 절삭속도가 증가하여, 고효율 절삭 속도 영역이 좁아진다.

(2) 이송에 따른 기계가공의 경제성

기계가공의 해석에 있어서 절삭깊이와 이송이 달라지만 가공비도 변화한다. 특히 이송의 영향이 크게 작용한다. 이것을 나타내기 위해서 공구수명 방정식을 사용하여, Table 1과 같은 조건으로 절삭속도, 가공비용 및 생산속도에 대한 관계를 Fig. 4, Fig. 5에서와 같이 이송이 클수록 가공비용은 낮아지며, 또한 생산율이 높아지는 것을 알 수 있게 된다.

(C) 속도 및 이송에 따른 기계가공의 경제성

가공비용과 절삭속도 및 이송과의 관계는 이반적으로 Fig. 6, Fig. 7과 같이 된다. 이송을 변화 시키면 각각의 이송에 대해서 여러가지 최소 가공비용 절삭속도가 존재하게 되고, 이송이 커질수록 최소 가공비용 절삭속도로 하는 가공비용이 안정된 값이라는 것을 알 수 있게 된다. 따라서 이송은 가능한

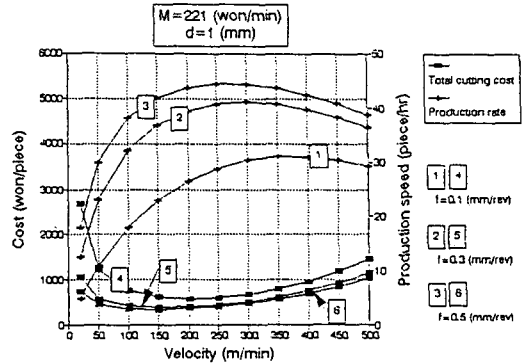


Fig. 5 The influence of feed on the economics of machining ( $M=221 \Rightarrow$  won/min)

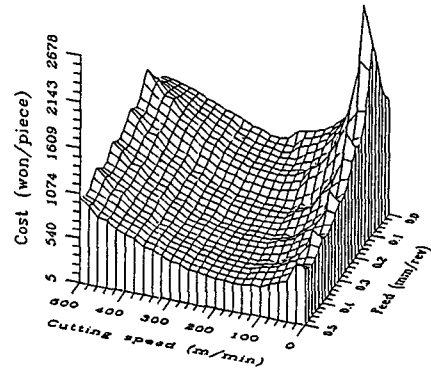


Fig. 6 The relationship among the machining costs, cutting speed and feed ( $M=221$  won/min)

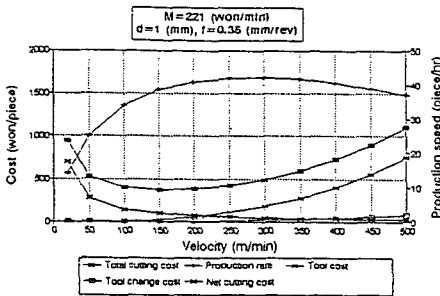


Fig. 3 The relationship between costs and cutting speed, and between production rate and cutting speed in machining ( $M=221$  won/min)

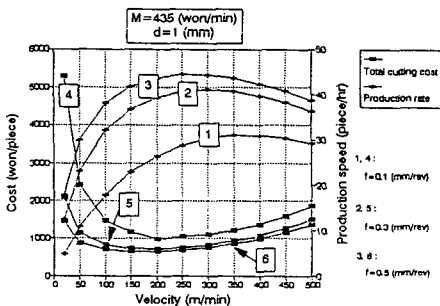


Fig. 4 The influence of feed on the economics of machining ( $M=435$  won/min)

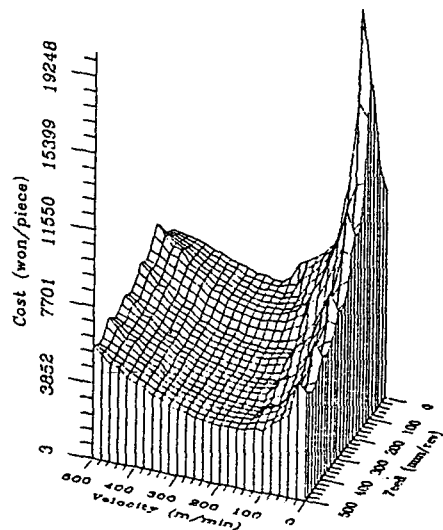


Fig. 7 The relationship among the machining costs, cutting speed and feed ( $M=435$  won/min)

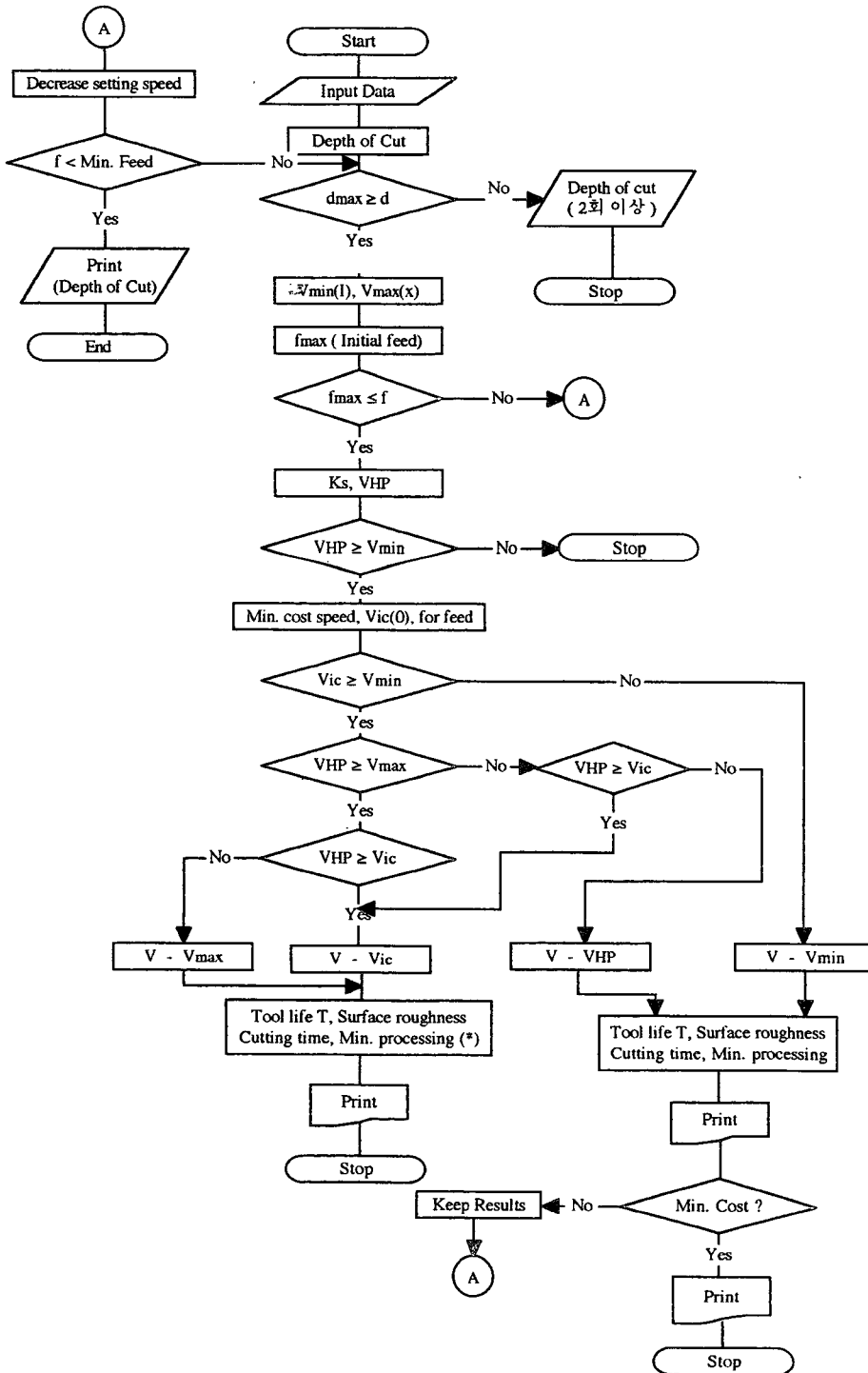


Fig. 8 Flow-chart of optimal cutting condition



한 큰 값을 취해야 하지만, 그러나 그 최대치는 제품의 다듬질면에 대한 조도로부터 결정된다.

4.2 최적 절삭조건외 자동설정

최소 가공비용으로 되는 절삭속도  $V_{ic}$ 나 최대 생산율 속도  $V_{ap}$ 는 식 (9) 및 (11)로부터 구할수 있으나, 이러한 최적속도는 앞서 언급한 3가지의 제약 조건, 즉 절삭깊이, 이송, 절삭속도를 만족하는 범위내에 있어야 한다.

그러므로 기술한 목적함수와 제약조건으로부터 전자 계산기의 계산한 결과로 부터 공구수명과 제품의 표면조도 및 가공시간, 최소 가공비를 자동적으로 구할 수 있게 된다. Fig. 8는 경제적 최적 절삭조건 선정을 위한 알고리즘이다. 이 알고리즘을 이용하여 최적 절삭조건을 선정할 수 있다. 즉 최소비용 절삭속도와 최대능률 절삭속도 그리고 공구수명도 자동 선정이 가능하다. 또한 이러한 방법을

이용하므로써 지금까지 실험실에서 얻어진 가공 data를 현장에 적용시키며, 현장에서의 제약성등 어려운 사항들은 극복할 수가 있어 가공 data의 신뢰성을 높일 수 있다. 이상에서 설명한 알고리즘을 검증하며, 이에 앞에서 기술한 절삭 가공에 대해 적용하기로 한다. Table 4는 Fig. 1에서와 같이 피절삭재를 절삭 할때 Input data에 의해 최소비용 절삭속도  $V_{ic}=192.15(m/min)$ 와 최대능률 절삭속도  $V_{ap}=304.94(m/min)$ 에 계산 된다.

본 프로그램에서는 지금까지의 수행된 제약조건인, 생산현장에서 고려할 제약조건을 부가 함으로서 실제 현장에서 적용가능한 선삭 가공의 최적 절삭조건을 설정할 수 있게 되었다. 앞으로 선삭은 물론 밀링, 연삭, 드릴링, 태핑 등 전가공공정을 대상으로 경제적인 절삭조건의 자동선정 프로그램을 구축함으로써 효율적이고, 경제적인 생산관리에 기여 하고자 한다.

Table 4 Optimal cutting conditions due to machining cost per miunute(A. Co.)

*****FOR GIVEN CUTTING CONDITIONS*****		
1	INPUT DATA OF AN-CNST .....	0.263
2	INPUT DATA OF C-CNST .....	223.08
3	INPUT DATA OF ALPHA .....	0.34
4	INPUT DATA OF BETA .....	0.204
5	INPUT DATA OF MACHINING COST/MIN .....	437
6	INPUT DATA OF MACHINING COST(won/pc) .....	1000
7	INPUT DATA OF SALE COST(won/min) .....	2500
8	INPUT DATA OF TOOL CHANG TIME(min/pc) .....	0.3
9	INPUT DATA OF IDLE TIME(min/pc) .....	1.128
10	INPUT DATA OF D(BEFORE DIAMERTER(mm) .....	52
11	INPUT DATA OF D(AFTER DIAMETER(m) .....	50
12	INPUT DATA OF CUTTING LENGTH(mm) .....	135
13	INPUT DATA OF FEED(mm/rev) .....	0.35

*****ECONOMICAL MACHINING DATA*****			
		MIN COST	MAX PRODUCTIVITY
CUTTING SPEED	(mm/min)	192.15101	304.93886
TOOL LIFE	(min)	3.98205	.68783
PRODUCTION RATE	(pcs/min)	.67539	.70187
COST	(won/min)	695.54417	807.53107
PROFIT	(won/min)	543.31938	486.02466

## 5. 결 론

이상과 같이 기계 가공에 있어서 경제성을 고려한 최적 절삭조건에 관해 연구한 결과는 다음과 같다.

(1) 가공업체의 분당 가공비가 커짐에 따라 최소 비용 절삭속도는 높아지지만, 최대 생산율 절삭속도는 일정하므로 고효율 속도영역이 좁아진다.

(2) 이송이 증가함에 따라 가공비용은 낮아지고, 생산율은 높아진다. 그러나 이송의 최대치는 제품이 요구하는 다듬질면의 조도로 제한 된다.

(3) 최적 절삭조건 자동 선정 program을 구축하여 각 기업체에 적용 가능한 경제적인 절삭조건을 설정 함으로써 생산성 향상에 기여할 수 있게 된다.

(4) 앞으로 공구수명 방정식에 대한 Data base화를 첨가하여 현장에서 보다 쉽게 응용 가능하게 되어야 한다.

## 참고문헌

- (1) Ermer, D.S. and Wu,S.M., 1967, "The Effect of Experimental Error on the Determination of the Optimum Metal Cutting Conditions," Trans. ASME, Series B, Vol. 89, pp. 315~322.
- (2) Crookal, J.R., 1969, "The Performance -Envelope Concept in the Economics of Machining," Int.J.Mach. Tool Des., Vol.9, pp. 261~278.
- (3) Friedman, M.Y. and Tipnis, 1976, "Cutting Rate - Tool Life Characteristic Functions for Material Removal Processes: Part 1 - Theory," Trans. ASME, Seris B, Vol. 98, pp. 481~486.
- (4) Iwata,K., Murotsu, Y., Iwatsudo,T. and Fujii, S., 1972, "A Probabilistic Approach to the Determination of the Optimum Cutting Conditions," Trans.ASME, Series B, Vol.98, pp. 1099~1107.
- (5) Ermer,D.S., 1971, "Optimization of the Constrained Machining Economics Problem by Geometric Programming," Trans. ASME, Series B,Vol.93, pp. 1067~1072.
- (6) Ermer,D.S. and Wu,S.M., 1966, "Maximum Profit as the Criterion in the Determination of the Optimum Cutting Conditions," Trans. ASME, Series B, Vol.88, pp. 435~442.

(1) Ermer, D.S. and Wu,S.M., 1967, "The Effect