

<論 文>

## 바이트 인선각의 변화에 따른 절삭성의 최적화 방안에 관한 연구

염 성 하\* · 오 재 응\* · 현 청 남\*\*

(1988년 2월 10일 접수)

### A Study on Optimum of Cutting Ability with Change of Tool Rake Angles

Sung-Ha Yum, Jae-Eung Oh and Chung-Nam Hyun

**Key Words** : Optimum Cutting Condition(최적절삭조건), Specific Cutting Resistance(비절삭저항), Rake Angle(인선각), Cutting Velocity(절삭속도), Cutting Resistance(절삭저항), Roughness(거칠기)

#### Abstract

The optimum cutting condition of rake angle in turning was investigated in SM45C and SM20C. Results of experiments in SM45C and SM20C are as follow. Specific cutting resistance became higher as the depth of cutting, feed or cutting velocity decreases at same rake angle and resistance became low value at 20°(SM45C), 10°, 15°(SM20C). The optimum cutting condition for SM45C is depth of cutting 0.7mm, rake angle 30°, cutting velocity 200mm/min, feed 0.1mm/rev, and for SM20C is depth of cut 0.5mm, rake angle 10°, cutting velocity 150mm/min, feed 0.1mm/rev. The rake angle for good roughness is 15° for SM45C, and that for SM20C is 25°. The roughness is influenced by feed and it has the lowest value at 0.1mm/rev and the cutting condition is closely related with the change of cutting velocity and feed.

기 호 설 명	
$b$ : 절삭폭	$H_1$ : 표면거칠기에 대한 무차원수
$Eng$ : 에너지	$H_a$ : 표면거칠기
$f$ : 이송	$H_{cta}$ : 중심선평균거칠기
$F$ : 공구면에 대한 마찰력	$N$ : 공구면에 대한 수직력
$F_a$ : 이송분력	$R$ : 절삭저항
$F_e$ : 절삭면적	$R_1$ : 비절삭저항에 대한 무차원수
$F_n$ : 전단면에 대한 수직력	$R_2$ : 절삭저항에 대한 무차원수
$F_r$ : 배분력	$R_b$ : 바이트 노스 반경
$F_s$ : 전단면에 대한 전단력	$R_T$ : 총절삭저항
$F_v$ : 주분력	$SPE$ : 비절삭저항
	$t_1$ : 절삭두께
	$t_2$ : 칩두께
	$V$ : 절삭속도
	$w$ : 절삭저항과 전단면의 사이각

\*정회원, 한양대학교 공과대학 정밀기계과

\*\*정회원, 홍익공업전문대학 기계과

- $\sigma_s$  : 수직응력
- $\tau_s$  : 전단응력
- $\mu$  : 마찰계수
- $\beta$  : 마찰각
- $\phi$  : 전단각
- $\alpha_b$  : 상면경사각
- $\eta_c$  : 칩의 유출각

1. 서 론

오늘날 기계공업 분야에서 생산되는 제품은 고정도와 고품질을 요구하고 있다. 이러한 요구를 만족할 수 있는 장비가 바로 공작기계이다.

따라서 이러한 공작기계로 제품의 품질 향상과 생산성의 증대를 위하여 이들 공작기계의 가공조건 및 가공방법에 관한 연구가 한층 더 요구되고 있다.

따라서 이 분야에 대한 연구는 많이 이루어져 왔으나 아직까지 만족할 만한 이론과 실험치는 완성하지 못한 단계이다.

현재까지 연구되어 온 것을 보면 절삭저항이 절삭기구에 미치는 영향에 대해서 M. Kronenberg<sup>(1)</sup>, M. E. Merchant<sup>(2)</sup>, 臼井英治 益子正己<sup>(3)</sup> 등의 연구가 있고 K. L. Chandiramani, N. H. Cook<sup>(4)</sup>, J. N. Greenhow와 C. RUBENSTEIN<sup>(5)</sup> 등은 절삭속도 및 이송의 변화와 표면조도 및 절삭력에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

또한 Milton C. Show<sup>(6)</sup>은 공구수명과 표면조도에 미치는 절삭속도와 이송에 대한 최적조건을 제시하였고 A. K. Rakhit와 T. S. Sankai<sup>(7)</sup> 등은 선삭에서 절삭력이 표면조직 형성에 미치는 영향에 대한 연구결과를 발표한 바 있다.

이러한 연구를 종합하여 보면 가공재료의 절삭가공에 있어서 절삭공구, 절삭속도, 이송 등의 절삭조건이 절삭인자에 많은 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있고 또한 절삭조건은 절삭저항 및 표면조도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

오늘날 대부분의 현장에서는 가공재료의 절삭특성을 규명하면서 재료가 변화할 때의 특성과 이에 사용되는 공구재료의 특성 및 공구형상에 관한 최적조건 등을 규명한 연구가 미진한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 공구(bite)의 형상에서 상면경사각을 변화시켜 이에 따른 절삭저항의 3분력을 측정하여 그 값에 대한 합력과 비절삭저항 그리

고 거칠기 등 3값을 normalization 과정으로 energy method에 의하여 이들 SM20C 및 SM45C 재료를 구분하여 각각의 절삭저항과 그 특성을 규명하고자 하였으며 아울러 재료별 최적조건을 찾고자 한다.

2. 기초이론

절삭이론의 기초는 Taylor의 이론식을 인용하면 절삭 3분력은 Fig. 1에서 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$F_v = F_n \sin \phi + F_s \cos \phi$$

$$F_r = F_n \cos \phi - F_s \sin \phi$$

여기서  $F_v$ : 주분력,  $F_r$ : 배분력,  $F_a$ : 이송분력,  $\sigma_s$ : 수직응력,  $\tau_s$ : 전단응력

경사면에 작용하는 수직력  $N$ 와 마찰력  $F$ 는

$$F = F_r \cos \alpha_b + F_v \sin \alpha_b$$

$$N = F_v \cos \alpha_b - F_r \sin \alpha_b$$

이며 경사면의 마찰계수  $\mu$ 는

$$\therefore \mu = \tan \beta = \frac{F_r + F_v \tan \alpha_b}{F_v - F_r \tan \alpha_b}$$

로 된다. 또한 칩의 면적을  $A_o$ , 전단면의 면적을  $A_s$ 라 하면

$$A_o = t_1 b \quad A_s = \frac{t_1 b}{\sin \phi}$$

전단면에 작용하는 수직력  $F_n$ 는

$$F_s \tan \beta + F_n \tan(\phi - \alpha_b) \tan \beta = -F_s \tan(\phi - \alpha_b) + F_n$$

$$F_n(1 - \tan(\phi - \alpha_b) \tan \beta) = F_s[(\tan \beta + \tan(\phi - \alpha_b + \beta))]$$

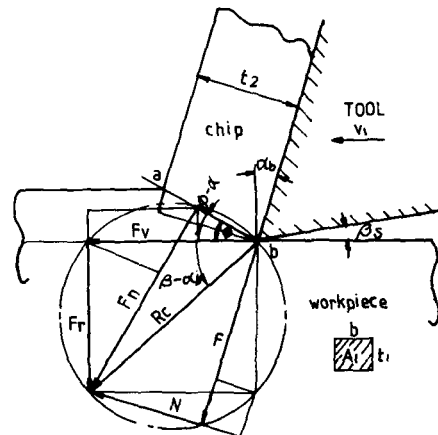


Fig. 1 Force diagram for orthogonal cutting

$$F_n = \frac{\tan(\phi - \alpha_b) + \tan \beta}{1 - \tan(\phi - \alpha_b) \tan \beta}$$

$$F_s = F_s \tan(\phi - \alpha_b + \beta)$$

$$\bullet F_n = F_s \tan(\phi + \beta - \alpha_b) \quad (5)$$

식 (5)을 식 (1)의  $F_o$ 에 대입하면

$$F_o = F_s \tan(\phi + \beta - \alpha_b) \sin \phi + F_s \cos \phi$$

$$= F_s \frac{(\cos \phi \cos(\phi + \beta - \alpha_b) + \sin \phi \sin(\phi + \beta - \alpha_b))}{\cos(\phi + \beta - \alpha_b)}$$

$$= F_s \frac{\cos(\beta - \alpha_b)}{\cos(\phi + \beta - \alpha_b)} \quad (6)$$

식 (4)로부터

$$F_s = \tau_s \cdot A_s = \tau_s \cdot \frac{t_1 b}{\sin \phi}$$

$$F_o = \frac{\tau_s \cdot t_1 b}{\sin \phi} \cdot \frac{\cos(\beta - \alpha_b)}{\cos(\phi + \beta - \alpha_b)} \quad (7)$$

$F_r$ 에 대해서도 같은 방법으로 구하면

$$F_r = \frac{\tau_s \cdot t_1 b}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin(\beta - \alpha_b)}{\cos(\phi + \beta - \alpha_b)} \quad (8)$$

을 얻을 수 있다.

따라서 절삭저항  $R = \sqrt{F_o^2 + F_r^2}$ 으로 표시한다.

절삭깊이  $t_1$ , 이송량  $f$ , 옆면 경사각이  $0^\circ$ 인 바이트(bite)로 절삭할 경우  $t_1 \gg f$  혹은  $t_1 \gg R$ (nose radius)일 때는 근사적으로 절삭폭  $b$ 가  $\frac{t_1}{\cos \phi}$ 이고 절삭  $h$ 가  $f \cos \phi$ 인 2차원 절삭과 같이 생각할 수 있으므로

$$F_o = t_1 f \cdot \tau_s (\cos \phi + \tan W)$$

여기서  $\phi$ 는 전단각을 말하며,  $W$ 는 총절삭저항  $R_T$ 와 전단면과 이루는 각을 표시한다.

$$F_r = F_c \sin(\phi + \eta_o) = t_1 f \cdot \tau_s (\cos \phi \tan W - 1) \times \sin(\phi + \eta_o) \quad (9)$$

이송분력  $F_a$ 는

$$F_a = F_c \cos(\phi + \eta_o) = t_1 f \cdot \tau_s (\cos \phi \tan W - 1) \cos(\phi + \eta_o) \quad (10)$$

여기서  $\eta_o$ 는 유출각을 나타내며  $F_c = F_r + F_a$ 이다.

한편 절삭시 이송방향에 따른 표면거칠기를 Fig. 2에 표시하였으며, 바이트는 모두가 nose radius를 가지고 있으므로  $R_b \neq 0$ 인 경우를 생각하면

$$f < 2R_b \cdot \sin(Ce) \text{ 일 때}$$

$$H_{th} = R_b \{1 - \cos(\delta)\} = R_b (1 - \sqrt{1 - \sin^2(\delta)})$$

$$\approx \frac{R_b}{2} \sin^2(\delta)$$

$$\sin(\delta) = \frac{f}{2R_b}$$

$$H_{th} = \frac{f^2}{8R_b}$$

이 경우 Brewer의 center line average roughness 다음과 같이 된다.

$$H_{cla} = \frac{f^2}{18\sqrt{3} \cdot R_b} \quad (11)$$

위의 식을 사용하여 측정된 3분력과 거칠기를 사용하여 컴퓨터에 의한 거동을 살펴보면 Norm의 개념을 쓰면 편리하므로 최적조건의 유도에 사용한 방법은 비절삭저항, 표면조도, 절삭저항 각각을  $x, y, z$ 축에 나타내는 수치라 가정하고 각각 데이터의 값을 비절삭저항의 최대값, 표면조도의 최대값, 절삭저항의 최대값으로 나누어 무차원수로 만든 다음 이들의 제곱근을 얻어낸 후 이들이 나타내는 값이 최소인 값을 찾아내는 방법이다.

Fig. 3에서

비절삭저항의 데이터	표면조도의 데이터	절삭저항의 데이터
$a$	$a_1$	$a_2$
$b$	$b_1$	$b_2$
$c$	$c_1$	$c_2$
$d$	$d_1$	$d_2$
$e$	$e_1$	$e_2$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

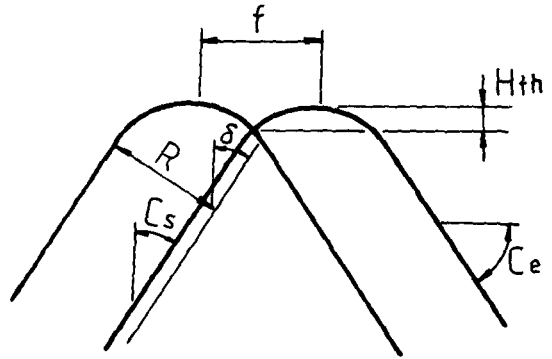


Fig. 2 Surface roughness model according to feed rate

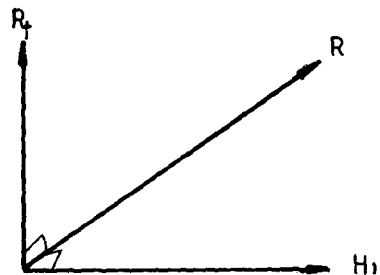


Fig. 3 Non dimensional value of  $R_1, R_2, H_a$

여기서 각 데이터의 최대값을  $k_1, k_2, k_3$ 라고 하면

$$\text{비절삭저항의 무차원 데이터} = \frac{\text{각 데이터}}{k_1} = R_1$$

$$\text{표면조도의 무차원 데이터} = \frac{\text{각 데이터}}{k_2} = H_1$$

$$\text{절삭저항의 무차원 데이터} = \frac{\text{각 데이터}}{k_3} = R_2 \tag{12}$$

라 놓으면

$$\text{Norm} = \sqrt{R_1^2 + H_1^2 + R_2^2} \tag{13}$$

Norm의 값이 가장 작으면 이때는 3개 축의 거동이 가장 작은 값으로 또한 3개의 조건이 모두 만족되는 상태라고 추론할 수 있다. 따라서 총절삭저항  $R_T$ 는

$$R_T = \sqrt{(F_b^2) + (F_c^2) + (F_a^2)} \tag{14}$$

이들의 에너지를  $Eng$ 로 표시하면

$$Eng = R_T \times V \tag{15}$$

로 된다. 따라서 비절삭저항을  $SPE$ 로 표시하면

$$SPE = \frac{R_T}{F_e} \tag{16}$$

로 나타난다.

### 3. 실험방법

본 실험에 사용한 선반은 (株)大宇 PRO-6NC 선반이며 바이트는 P20, K20으로 상면경사각을  $-5^\circ, 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ 로 하였으며 일반적으로 현장에서 실용하고 있는 절삭조건인 절삭깊이 0.1mm, 0.3mm, 0.5mm, 0.7mm, 이송을 0.1mm/rev, 0.3mm/rev, 0.5mm/rev, 0.7mm/rev로 하였고 절삭속도를 30m/min, 80m/min, 150m/min, 200m/min로 하였다.

절삭재료는 SM20C와 SM45C로서 절삭특성을 알아보려고 상면경사각의 변화에 따른 절삭저항 값과 그 합에 대한 값을 구하였으며 여기에서 가공면의 특성을 규명하였다.

Table 1에 공구의 경사각을 표시하였으며, Fig. 4와 Fig. 5에 공구의 절삭과정과 사용된 측정기의 계통도를 표시하였다.

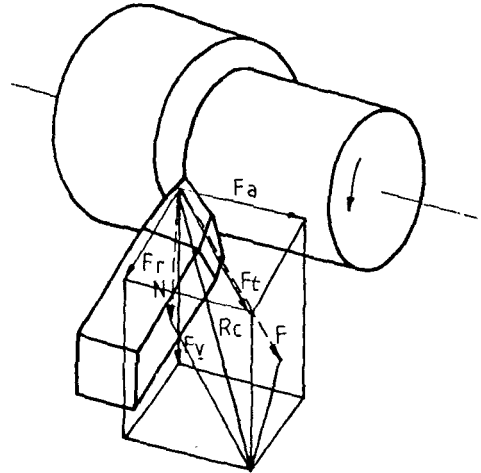


Fig. 4 Geometric configuration of work pieces

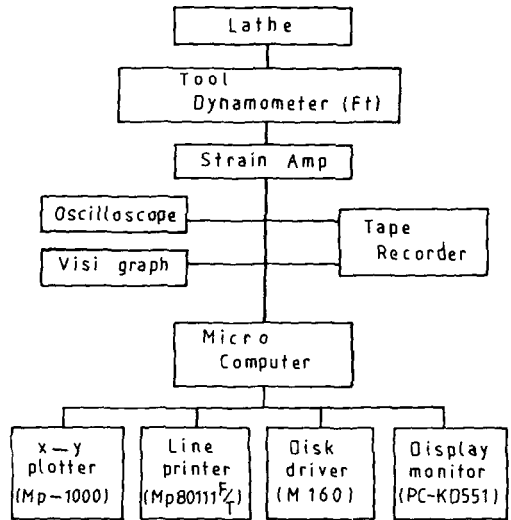


Fig. 5 Block diagram of instruments and processing

Table 1 Tool angle designation

Tip material	$\alpha_b$	$\alpha_s$	$\beta_e$	$\beta_s$	$\gamma_e$	$\gamma_s$	R	$W_0$
P20	$-5^\circ-30^\circ$	$6^\circ$	$6^\circ$	$6^\circ$	$8^\circ$	$2^\circ$	0.2mm	2mm
K20	$-5^\circ-30^\circ$	$6^\circ$	$6^\circ$	$6^\circ$	$8^\circ$	$2^\circ$	0.2mm	2mm

$\alpha_b$  : Back rake angle  
 $\alpha_s$  : Side rake angle

$\beta_e$  : End relief angle  
 $\beta_s$  : Side relief angle

$\gamma_e$  : End cutting edge angle  
 $\gamma_s$  : Side cutting edge angle

R : Nose radius  
 $W_0$  : Chip Breaker

4. 실험결과 및 고찰

4.1 상면경사각과 절삭저항

상면경사각(back rake angle) 및 이송의 변화와 절삭깊이의 차이에 따른 절삭저항 값을 측정하기 위하여 tool dynamometer 및 strain amplifier와 recorder를 활용하여 가공재료를 5회씩 측정하여 그 값을 평균하여 구한 주분력, 배분력, 이송분력의 3분력을 구하였다.

여기에서 얻은 값은 그 영역이 대단히 넓어서 그 특성을 명확히 처리하고자 컴퓨터에 입력시켜 그 결과를 규명하였다.

여기에서 나타나는 경향을 살펴보면 Fig. 6, 7와 같이 상면경사각을 -5°에서 5° 간격으로 30°까지 변화시켜 절삭하는 경우 나타나는 절삭저항의 특성은 SM20C에서는 -5°, SM45C에서는 -5°에서 큰 값으로 나타났으며 SM20C에서는 10°, 15°에서 절삭저항 값이 가장 적게 나타났으며 SM45C에서는 20° 부근에서 절삭저항 값이 가장 작게 나타났다.

이 경향은 탄소함량이 적은 SM20C에서는 경사각의 변화에 따라 SPE 값이 적어지는 경향으로 나타나 탄소함량이 높은 SM45C에서 -5°보다 0°의 값이 대체적으로 높은 값이 나타난 현상은 절삭조건인 설치각이 90°이므로 마찰력 및 공구 상면경사각에 작용하는 수직력이 큰 것으로 사료되며 절삭깊이 0.3mm, 이송 0.1mm/rev에서 상면경사각 15°에서 높은 SPE 값을 가지는 것은 절삭시 열응력에 의한 가공경화와 탄소함량이 높아 취성 등으로 칩이 끊어지면서 칩의 생성이 시작되는 점에서 자주 슬링현상이 생기는 것으로 사료되며 이러한 특성이 실험적으로 나타난 것으로 사료되며 절삭속도 30m/min, 이송 0.1mm/rev에 대한 값을 Table 2에 표시하였다.

또한 이송량이 증가할수록 절삭저항이 이송량 증가에 따라 증가하고 또한 절삭력도 증가하는 방향으로 이동되고 있음을 볼 수 있다.

절삭깊이에 따른 절삭저항의 특성을 살펴보고자 깊이의 변화를 0.1mm, 0.3mm, 0.5mm, 0.7mm로 변화시켜 각각의 절삭저항을 측정할 결과 절삭

Table 2 Experimental data of analytic values for cutting force at v=30, f=0.1, SM45C

t	$\alpha$	$F_v$ (kg)	$F_a$ (kg)	$F_r$ (kg)	$R_c$ ratio	Shear angle	Friction angle	Friction coeff	$R_t$ (kg)	ENG	SPE (kg/mm <sup>2</sup> )
0.1	-5.0	16.9	11.5	15.4	7.49	-1.08	-1.26	-3.12	25.59	767.80	2549.60
0.1	0	19.2	13.1	15.4	0.35	0.49	0.60	0.68	27.88	836.46	2788.21
0.1	5.0	9.2	3.1	7.7	1.47	3.76	-0.96	-1.42	12.39	371.73	1234.40
0.1	10.0	16.2	7.7	8.5	-3.24	5.28	1.02	1.62	19.85	595.47	1954.74
0.1	15.0	23.1	10.8	18.5	-3.62	8.42	-0.27	-0.28	31.50	945.12	3043.05
0.1	20.0	11.5	0.8	10.0	1.18	10.18	1.22	2.73	15.26	457.82	1434.04
0.1	25.0	23.8	6.9	10.8	0.43	13.21	0.15	0.15	27.03	810.94	2449.87
0.1	30.0	13.1	7.7	11.5	2.36	16.23	-0.88	-1.22	19.06	571.69	1650.34
0.3	-5.0	24.6	14.6	15.4	8.19	-1.05	-1.32	-3.95	32.49	974.64	1078.82
0.3	0	32.3	11.5	23.1	0.41	0.61	0.34	0.36	41.34	1240.26	1378.06
0.3	5.0	23.8	7.7	8.5	1.48	3.77	-0.97	-1.46	26.42	792.58	877.29
0.3	10.0	30.8	6.2	7.7	-6.58	5.40	0.77	0.98	32.35	970.43	1061.87
0.3	15.0	37.7	21.5	23.1	-3.14	8.38	-0.19	-0.19	49.16	1474.94	1582.98
0.3	20.0	9.2	6.9	8.5	4.90	11.46	-1.35	-4.41	14.30	429.01	447.93
0.3	25.0	30.8	12.3	19.2	0.41	13.16	0.25	38.32	1149.66	1157.72	
0.3	30.0	20.8	14.6	15.4	2.22	16.19	-0.80	-1.04	29.71	891.44	857.79

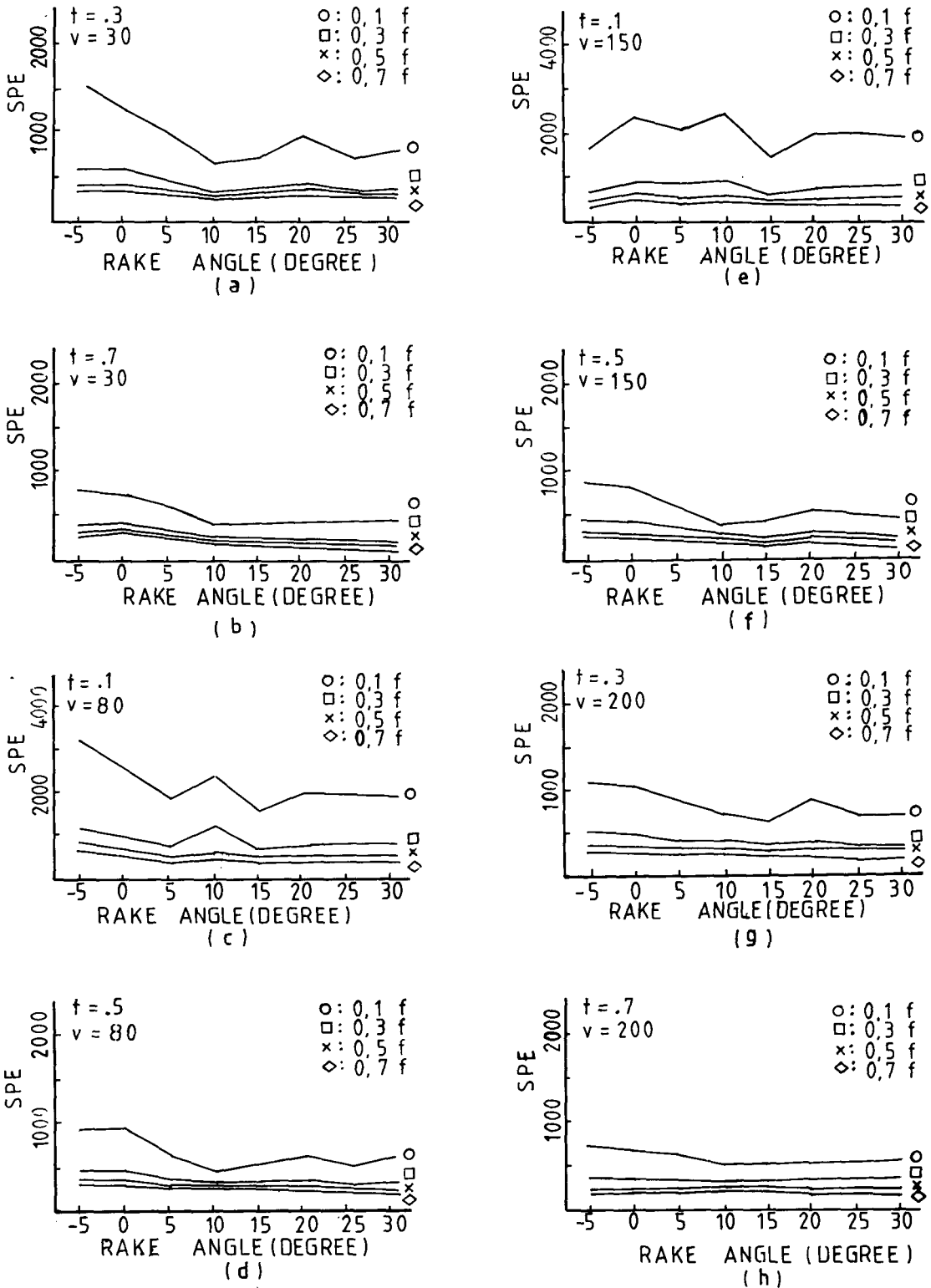


Fig. 6 Specific cutting resistance for bite rake angles at SM20C

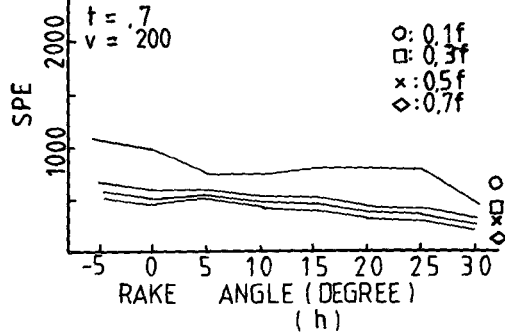
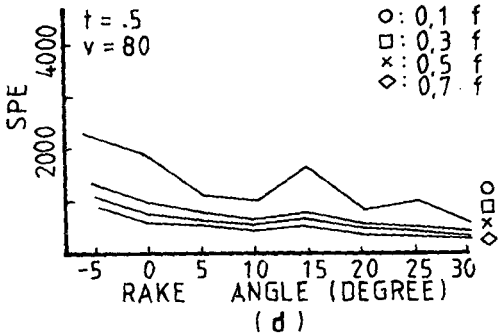
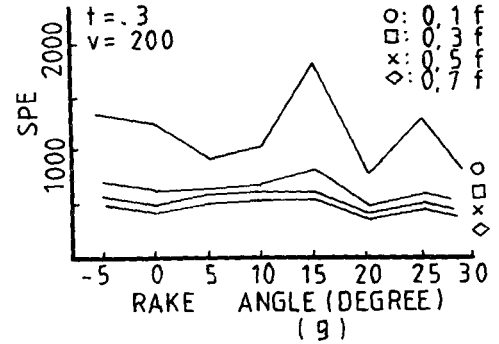
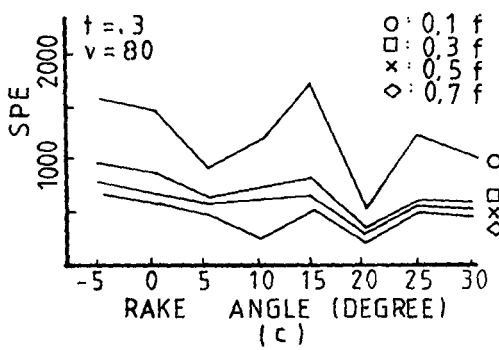
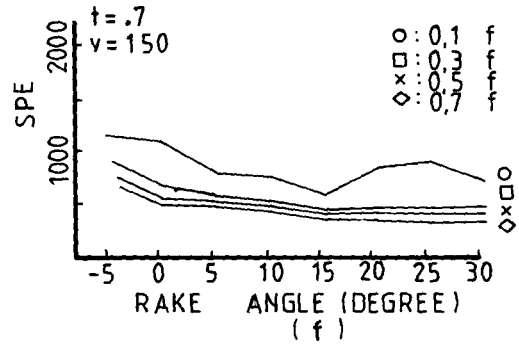
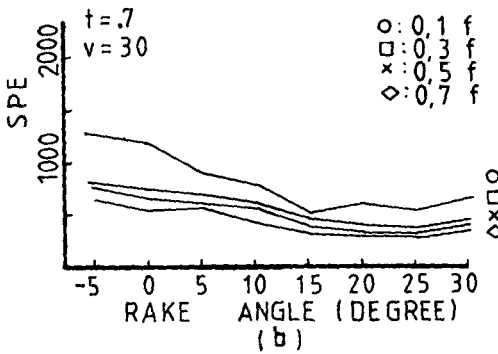
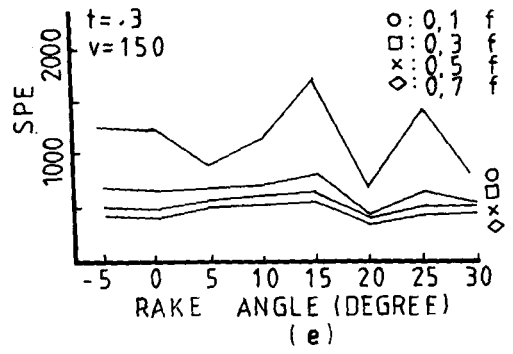
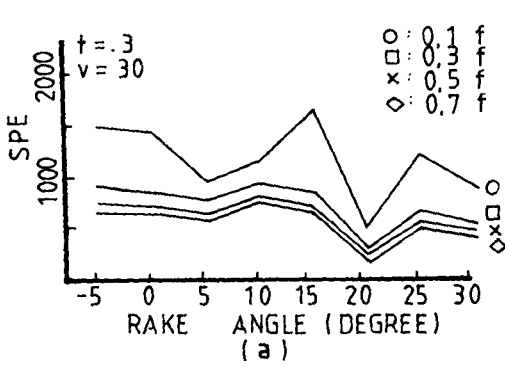


Fig. 7 Specific cutting resistance for bite rake angles at SM45C

깊이가 증가하면 절삭저항도 비례적으로 증가하는 경향이 나타나고 있는데 이는 이송의 경우도 비례 관계를 유지하고 있으나 유독 이송 0.1mm/rev, 절삭깊이 0.1mm인 경우에 절삭저항이 좀 불규칙하고 크게 나타나는 이유는 치수효과 또는 공구의 마멸에서 오는 경향으로 볼 수 있었다.

선삭에 있어서 절삭깊이  $t_1$ 와 절삭저항과의 관계는 거의 직선적이며 이송  $f$ 와는 지수함수적인 관계가 있다. 일반적으로 주절삭저항  $F_v$ 와 절삭깊이  $t_1$ , 이송  $f$ 와의 관계는 다음과 같다.

$$F_v = C_k t_1^x f^y$$

여기서  $C_k$ 는 주로 공작물 재료공구 윗면 경사각에 의하여 정해지는 상수이며 강에 대하여  $x \approx 0.9$ ,  $y \approx 0.8$  정도로 나타난다.

#### 4.2 상면경사각에 따른 표면조도

상면경사에 따른 표면조도를 살펴보면 Fig. 8 또는 Fig. 9와 같이 각각의 재료에서 나타나는 경향은 다음과 같다.

즉 상면경사각이  $-5^\circ$ 에서부터 증가할수록 표면조도는 거칠어지며 이 거칠기는 최대값이  $30^\circ$  근처에서 나타나나 Fig. 9(b)와 Fig. 9(h)에서  $25^\circ$  나타나며 SM20C에서는 Fig. 8(c), Fig. 8(e), Fig. 8(a)에서는  $25^\circ$ 에서 최소값을 가지며 다시 커지는 경향이 있다.

또 SM45C에서는 Fig. 9(a)에서는  $15^\circ$ , Fig. 9(g)에서는  $10^\circ$ 에서 가장 작은 값을 나타낸다.

절삭조건에 따른 표면조도의 영향을 살펴보면 절삭속도가 200m/min에서부터 조도는 거칠어지는 방향으로 증가하는 경향을 보여주고, 속도가 150m/min 절삭깊이 0.3mm 근처에서 표면조도는 다시 양호하게 감소됨을 알 수 있는데 절삭저항이 절삭속도가 증가함에 따라 감소하는 경향이 있으며, 한편 공구 윗면 경사각이 감소하면 절삭저항은 감소한다.

이는 절삭속도가 달라짐에 따라 공구 윗면과 칩사이의 마찰계수가 감소하기 때문으로 절삭저항의 감소와 칩의 유동의 원활한 관계는 조도면에서도 우수한 것으로 나타났다.

이것으로서 본 연구의 절삭조건에서는 절삭속도 150m/min, 절삭깊이 0.7mm에서 가장 불안정한 조건임을 추론할 수 있다.

#### 4.3 절삭조건의 최적화

본 연구에서 사용한 SM45C, SM20C 시험편의 최적절삭조건을 구하기 위하여 전산처리를 하였으며 여기에서 사용한 방법은 비절삭저항과 총절삭저항 그리고 표면조도를 사용하여 그 결과를 살펴보면 각각의 독립된 변수, 즉 절삭깊이, 상면경사각, 절삭속도, 이송과 표면조도 그리고 이로부터 구하여진 각각의 절삭분력만으로는 상대비교할 수 없으므로 normalization 과정으로 energy method와 비절삭저항을 사용하였다.

비절삭저항은 단위절삭 면적에 대한 주절삭저항을 의미하기 때문에 여기에서 이송량, 절삭깊이, 경사각, 절삭속도는 모두 total resistance force에 영향을 미치게 된다.

그러나 절삭속도가 100m/min 이하의 절삭속도 범위에서는 절삭저항이 절삭속도에 미치는 영향은 거의 없다고 하는 보고도<sup>(12)</sup> 있으나 여기에서는 저속영역에서도 연구해 볼 필요가 있다고 생각되어 고려하였다.

최적절삭조건의 평가기준은 관점에 따라서 최대생산량기준, 최소비용기준, 경제적인 절삭속도기준, 최소절삭저항기준 등으로 나누어 고려해 볼 수가 있으나 최적절삭조건을 최대생산량 기준으로 둔다면 절삭속도가 클수록 좋으나 절삭속도가 크면 공구와 재료의 마멸에 의한 여로 인하여 공구와 재료는 모두 연화되므로 공구의 빠른 마멸을 수반하게 되므로 이는 최소비용 기준에 대하여 상반관계에 놓이게 된다. 그렇기 때문에 이의 교차점이 경제적인 절삭조건, 즉 최적화 조건이라고 할 수 있는 절삭저항 기준을 사용하였다.

또한 표면조도까지를 포함한 최적절삭조건을 얻기 위해서 총절삭저항과 비절삭저항 그리고 표면조도 등 세 개의 독립변수로 보아 각각의 데이터를 normalization한 뒤 최소치를 동시에 만족할 수 있는 조건으로 계산하여 선정하였다.

##### (1) SM45C에서의 최적절삭조건

SM45C에서의 최적절삭조건은 일반적으로  $20^\circ$ 에서 낮은 저항 값을 가지며 절삭깊이 0.3mm, 경사각  $20^\circ$ , 절삭속도 80m/min, 150m/min, 이송량 0.7mm/rev의 경우로 이때의 비절삭저항은 164.08로 나타났다.

거칠기를 고려한 최적절삭조건은 절삭깊이 0.7mm, 경사각  $30^\circ$ , 절삭속도 200m/min, 이송량 0.1mm/rev의 경우로 이때의 비절삭저항은 471.48



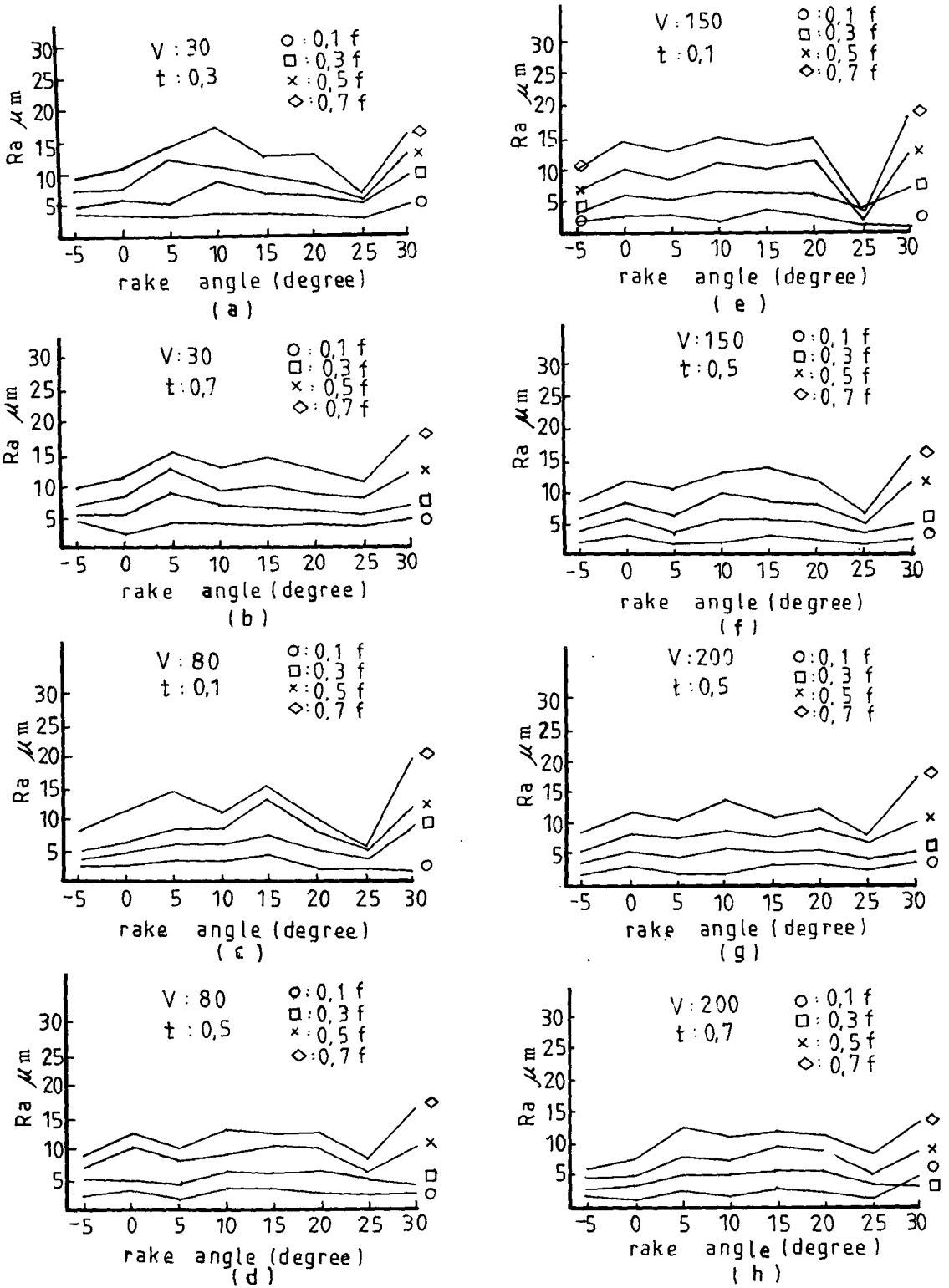


Fig. 8 Roughness for bite rake angles at SM20C.

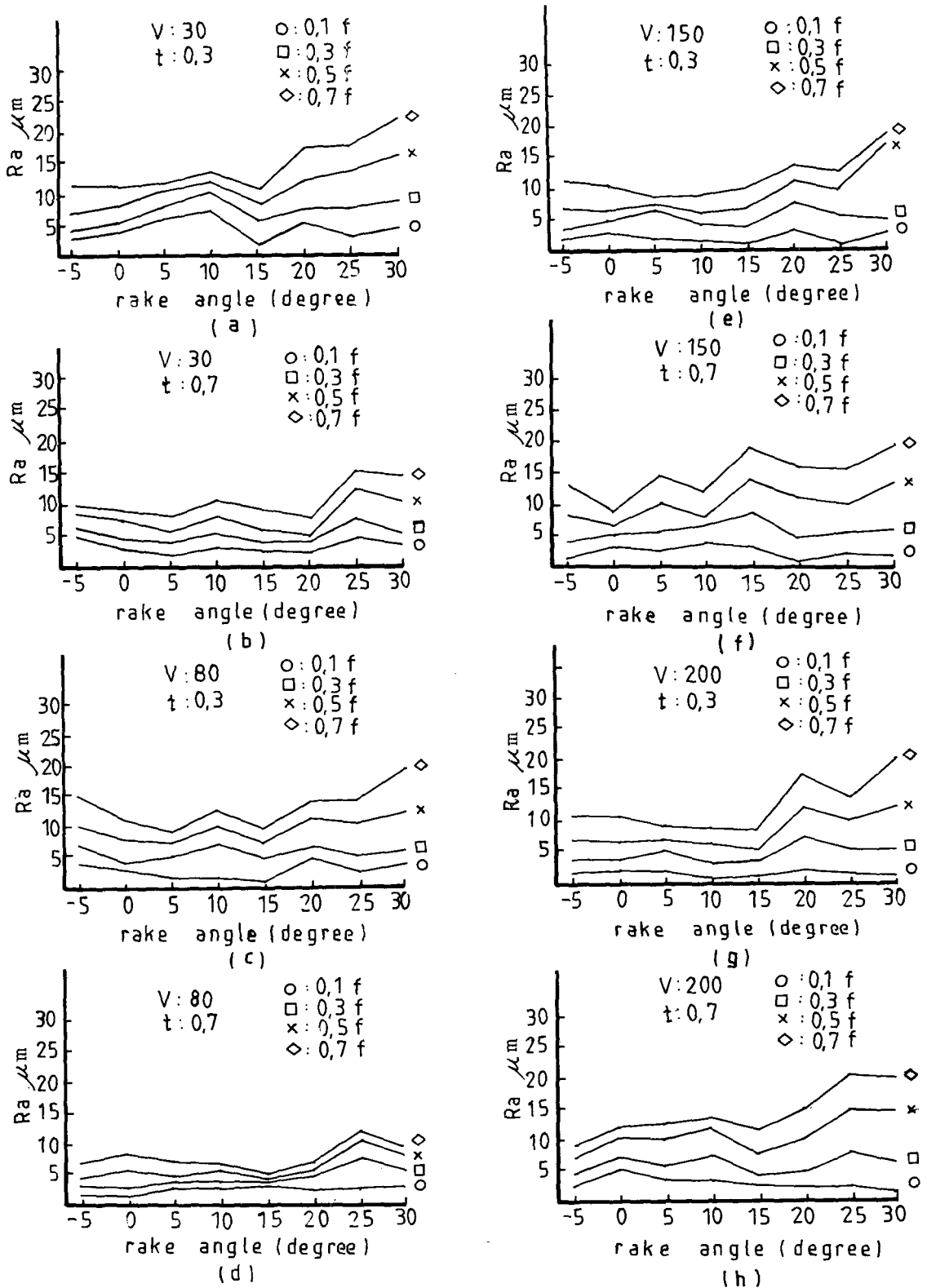


Fig. 9 Roughness for bite rake angles at SM45C

로 나타났으며 표면조도는  $R_a$  값이 1.0으로 나타났다.

(2) SM20C에서의 최적절삭조건

SM20C에서의 최적절삭조건은 일반적으로 15°에서 낮은 저항 값을 가지며 절삭깊이 0.7mm, 경사각 30°, 절삭속도 200m/min, 이송량 0.5mm/rev의 경우로 이때의 비절삭저항은 142.93으로 나타났고 경사각 30°, 절삭속도 150m/min, 이송량 0.7mm/rev에서도 비절삭저항은 142.96으로 비슷한 값을 얻었다.

거칠기를 고려한 최적절삭조건은 절삭깊이 0.5mm, 경사각 10°, 절삭속도 150m/min, 이송량 0.1mm/rev의 경우로 이때의 비절삭저항은 411.83으로 나타났다. 이때의 표면조도는  $R_a$  값이 1.4로 나타났다.

이 두 경우에서 보면 최적절삭조건은 속도와 이송량 그리고 경사각이 아주 밀접한 관계가 있음을 알 수 있으며 이의 경향은 반비례의 관계임을 알 수 있다. 즉, 절삭속도가 감소하면 이송량이 증가하고 절삭속도가 증가하면 이송량이 감소하는 관계이다. 이와 같은 원인은 탄소함유량이 0.45%, 0.2%인 두 재료에 대한 절삭조건을 살펴보면 탄소함유량이 많은 SM45C는 SM20C보다 비절삭저항이 크며 절삭속도는 SM20C가 SM45C보다 낮음을 알 수 있다.

또한 경사각은 SM20C가 SM45C보다 작음을 알 수 있다면 이는 탄소함유량이 많은 경질재료의 경우에는 경사각이 작아야되는 일반적인 경우와는 반대의 현상을 보이는 것으로서 이의 원인은 표면조도까지를 고려한 경우라고 생각이되며 이상의 두 가지 재료에 대한 각각의 표면조도의 값은 상당히 양호한 것으로 나타났다.

이송량과 절삭깊이가 작고 절삭속도가 낮은 것이 에너지는 작으나 상대적인 비절삭저항이 다른 어느 경우보다 두 배 이상 큰 것으로 이는 공구의 신속한 마모를 나타낸다고 볼 수 있다.

위의 두 재료에 대한 각각의 조건을 종합하여 보면 절삭깊이는 0.7mm, 0.5mm, 0.1mm의 경우로 여러 영역에서 나타났고 절삭조건에 가장 많은 영향을 미치는 경사각은 각각의 재료의 기계적인 성질로 인하여 음의 경사각을 제외하고는 개략 일정하게 분포되어 있는 경향을 보였다.

속도의 경우에는 모두 150m/min과 200m/min으로 중속의 영역에서 나타나고 있으며 이송은 0.1

mm/rev로 나타났다.

그러므로 절삭깊이 0.1mm, 이송 0.1mm/rev에서 저항 및 거칠기가 큰 이유는 절삭깊이가 아주 적을 경우에는 슬립현상이 생기므로 마찰로 볼 수 있으며 정확한 절삭에 의한 작업으로 보기가 어렵기 때문임으로 이와 같은 현상이 발생된다.

이들을 종합하여 본다면 탄소함유량이 다른 기계구조 용강의 최적조건은 절삭속도로부터 많은 영향을 받는다.

5. 결 론

이상과 같은 실험에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 비절삭저항은 동일각에서 절삭깊이, 이송량, 절삭속도가 적을수록 큰 값을 가지며 경사각이 SM20C에서는 10°, 15°. SM45C에서는 20°일 때 가장 작은 값으로 나타났다.

(2) SM45C에서는 최적절삭조건은 절삭깊이 0.7mm, 경사각 30°, 절삭속도 200m/min, 이송 0.1mm/rev의 경우이며 SM20C에서의 최적절삭조건은 절삭깊이 0.5mm, 경사각 10°, 절삭속도 150m/min, 이송 0.1mm/rev의 경우로 나타났다.

(3) 거칠기에 대한 경사각은 SM45C에서는 15°, SM20C에서는 25°에서 양호하게 나타났다.

(4) 거칠기는 이송에 영향을 받으며 0.1mm/rev에서 가장 작은 값을 가지며 절삭조건은 절삭속도와 이송량의 변화에 큰 함수관계가 있음을 알았다.

참 고 문 헌

- (1) M. Kronenberg, 1943, "Cutting Angle Relationships on Metal Cutting Tools", Mech. Eng. Vol. 65, p. 901.
- (2) M. E. Merchant, 1945, "Mechanics of the Metal Cutting Process I", J. of app. Physics, Vol. 116, pp. 267~275.
- (3) 白井英治, 益子正己, 1964, "三次元切削の基礎的研究", 日本機械學會論文集, 第38卷, 第316號, pp. 3255~3263.
- (4) K. L. Chandiramani, N. H. Cook, 1964, "Investigations on the Nature of Surface Finish and its Variation with Cutting Speed", J. of Eng. for Industry, May, pp. 134~140.
- (5) J. N. Greenhow and Rubenstein, 1969, "The Dependence of Cutting Force and Speed in Orthogonal

- Cutting with Worn Tools", Int. J. Mach. Tool Des. Vol. 9, pp. 1~16.
- (6) Milton C. Shaw, 1965, "Optimum Selection of Machine Tool Speeds and Feeds", Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 5, pp. 25~34.
- (7) A. K. Rakhit, T. S. Sankar and M.O.M. Osman, 1976, "The Influence of Metal Cutting Forces on the Formation of Surface Texture in Turning", Int. J. Mach. Tool. Des. Res. Vol. 16, pp. 281~292.
- (8) S. Kobayashi and E. G. Thomsen, 1962, "metal-Cutting Analysis- I , II", J. of Eng. for Industry, Feb, pp. 63~80.
- (9) M. Sadowy, 1965, "Cutting Forces and Cutting Power in Orthogonal Cutting of Steel, Aluminum, Brass and Plastic", Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 5, pp. 81~118.
- (10) T. C. Hsu and C. Y. Choi, 1970, "Measurement and Representation of Cutting Force due to Oblique Machining", Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 10, pp. 49~64.
- (11) W. N. Findley and R. M. Reed, 1963, "The Influence of Extreme Speeds and Rake Angles in Metal Cutting", J. of Eng. for Industry, Feb., pp. 49~67.
- (12) 崔求淵 외 4인 공역 : 1972, 정밀공작법, p. 45.