

선삭시 절삭조건이 표면거칠기에 미치는 영향 분석

이신영*, 김홍남**

Effects of Cutting Conditions on Surface Roughness in Turning

Sin-Young Lee*, Hong-Nam Kim**

ABSTRACT

The effects of the cutting conditions on the surface roughness of workpiece in turning were studied in this paper. The workpieces made of carbon steel SM20C and SM45C were turned without the support of the tailstock center. Cutting conditions were changed in three or four steps in each parameter and cutting fluid was used. The surface roughness results of tests were measured and the effects of the cutting conditions were analyzed by the method of analysis of variance. The summary of the experimental research is as follows. The main parameters were cutting speed, feed-rate, depth of cut, and the interactions between speed and feed-rate, speed and depth of cut, and feed and depth of cut. As cutting speed increased, surface roughness showed lower value. The surface roughnesses of feed-rate 0.102 mm/rev and 0.147 mm/rev were better than those of feed-rate 0.05 mm/rev and 0.2 mm/rev.

Key Words : Turning (선삭), Cutting condition (절삭 조건), Surface roughness (표면거칠기), Analysis of variance(분산분석), Cutting speed (절삭속도), Feed-rate (이송률), Interaction (상호작용)

기호설명

μ = the overall mean effect
 τ_i = true effect of the i -th level of factor A
 β_j = true effect of the j -th level of factor B
 γ_k = true effect of the k -th level of factor C
 $(\tau\beta)_{ij}$ = the effect of the interaction between τ_i and β_j
 SS = sums of squares
 MS = means of squares

$$y \dots \dots = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm}$$

$$y_{i \dots \dots} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm}$$

$$y_{\dots j \dots} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm}$$

$$y_{\dots \dots k \dots} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm}$$

$$y_{\dots \dots \dots l \dots} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^n y_{ijklm}$$

$$y_{ij \dots \dots} = \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm}$$

* 군산대학교 기계공학부
 ** 김제고등학교

$$y_{i \cdot k \cdot \cdot} = \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm}$$

$$y_{i \cdot \cdot \cdot l} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^n y_{ijklm}$$

1. 서론

공작기계의 기본 기능은 가공물을 만족할 만한 표면과 요구되는 기하학적 형상으로 경제적으로 가능한 한 빠르게 가공하는 것이다. 기계가공은 고속화, 고정밀화, 중절삭화의 지속적인 추세에 직면하고 있으며, 가공물의 정밀도는 절삭 속도, 이송률, 절삭깊이, 피삭재의 재질 등 여러 가지 절삭 조건에 따라 좌우된다. 제품의 표면거칠기는 외관과 치수 정밀도에 영향을 미칠 뿐 아니라 윤활성을 저하시켜 재료의 피로 강도를 떨어지게 하는 등 제품의 성능에도 많은 효과를 미치므로 주의 깊게 고려되어야 하고, 이에 대하여 많은 연구가 수행되어 왔다^[1-7]. 선삭 가공과 마찬가지로 밀링 가공시의 표면거칠기에도 많은 연구가 수행되고 있는데^[8, 9], 절삭 조건이 미치는 영향에 대하여 통계적 분석을 수행한 연구는 그다지 많지 않다.

본 연구의 목적은 선삭가공에서 합리적이고 능률적인 가공면을 얻는 데 응용이 가능하도록, 절삭 조건이 표면거칠기에 미치는 영향을 분석하기 위하여 통계적 분석을 수행함으로써 각 개별 절삭 조건 및 중첩 절삭 조건의 영향을 조사 분석하는 데 있다.

본 논문에서는 일반적인 기계부품 제작에 많이 쓰이는 기계구조용 탄소강 SM20C와 SM45C를 실험 재료로 선정하여 절삭 속도, 이송률, 절삭 깊이, 절삭 위치를 3~4 단계로 변화시켜 가면서 각 조건별로 절삭하여 표면거칠기를 측정하였다. 종래의 자료들에서는 통계적 기법을 적용하지 않고 개별 절삭조건에 대한 결과를 제시하기 위하여 매우 많은 그래프들을 사용하여 전체적인 경향을 파악하기 어려운 점이 있다. 통계학적 처리 기법을 이용하여 각 절삭조건에 따른 분산을 분석함으로써 조건이 표면거칠기에 미치는 효과를 분석하고, 절삭 조건의 변화에 따른 표면거칠기를 비교하였다.

2. 분산분석

본 논문에서는 절삭속도, 이송률, 절삭깊이 및 절삭 위치의 네 인자를 변화시켜서 실험을 수행함으로써 절삭 인자의 효과 및 절삭 인자 상호작용의 효과를 분석하고자 하였다. 분산의 원천이 되는 인자를 A, B, C, D 라고 하고 인자의 변화단계를 각각 a, b, c, d ; 개별 조건에서의 반복횟수를 n 개라고 하면, 각각의 측정치는 선형 통계학적 모델^[10, 11]을 사용하여 다음과 같이 모델링 된다.

$$y_{ijklm} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\tau\delta)_{il} + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\delta)_{jl} + (\gamma\delta)_{kl} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + (\tau\gamma\delta)_{ikl} + (\beta\gamma\delta)_{jkl} + (\tau\beta\gamma\delta)_{ijkl} + \epsilon_{ijklm} \quad (1)$$

$$\begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, c \\ l = 1, 2, \dots, d \\ m = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

여기에서 μ 는 전체평균을 나타내고, $\tau_i, \beta_j, \gamma_k, \delta_l$ 는 각각 인자 A, B, C, D 의 처리수준 효과 (treatment effect)를, 그들의 곱은 해당인자들의 상호작용을 나타내는 상호작용효과를 나타낸다. 오차항 ϵ_{ijklm} 은 평균이 0이고 공동분산 σ^2 을 갖는 정규분포를 따르는 독립인 확률변수들이다.^[7]

전체 제곱합 SS_T 는 다음과 같이 구해진다.

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y^2 \cdot \cdot \cdot \cdot}{abcdn} \quad (2)$$

여기에서

$$y \cdot \cdot \cdot \cdot = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad (3)$$

A, B, C, D 에 대한 제곱합은 각각 다음과 같다.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_{i \cdot \cdot \cdot \cdot}^2}{bcdn} - \frac{y^2 \cdot \cdot \cdot \cdot}{abcdn} \quad (4)$$

$$y_{i \cdot \cdot \cdot \cdot} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad (5)$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{y_{\cdot j \cdot \cdot \cdot \cdot}^2}{acd n} - \frac{y^2 \cdot \cdot \cdot \cdot}{abcdn} \quad (6)$$

여기에서 $y_{.j...} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^d \sum_{l=1}^n y_{ijklm}$ (7)

$$SS_C = \sum_{k=1}^c \frac{y_{..k..}^2}{abdn} - \frac{y^2}{abcdn}$$
 (8)

$$y_{..k..} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{m=1}^d \sum_{l=1}^n y_{ijklm}$$
 (9)

$$SS_D = \sum_{l=1}^n \frac{y^2_{...l.}}{abcn} - \frac{y^2}{abcdn}$$
 (10)

$$y_{...l.} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^d y_{ijklm}$$
 (11)

두 인자의 상호작용에 대응하는 제곱합은 각각 다음의 식 (12)~(18) 등과 같이 주어진다.

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y_{ij...}^2}{cdn} - \frac{y^2}{abcdn} - SS_A - SS_B$$
 (12)

여기에서 $y_{ij...} = \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^d \sum_{l=1}^n y_{ijklm}$ (13)

$$SS_{AC} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{y^2_{i.k..}}{bdn} - \frac{y^2}{abcdn} - SS_A - SS_C$$
 (14)

여기에서 $y_{i.k..} = \sum_{j=1}^b \sum_{m=1}^d \sum_{l=1}^n y_{ijklm}$ (15)

$$SS_{AD} = \sum_{i=1}^a \sum_{l=1}^n \frac{y^2_{i..l.}}{bcn} - \frac{y^2}{abcdn} - SS_A - SS_D$$
 (16)

여기에서 $y_{i..l.} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^d y_{ijklm}$ (17)

$$SS_{BC} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{y^2_{.jk..}}{cdn} - \frac{y^2}{abcdn} - SS_B - SS_C$$
 (18)

여기에서 $y_{.jk..} = \sum_{i=1}^a \sum_{m=1}^d \sum_{l=1}^n y_{ijklm}$ (19)

본 논문에서는 세 인자의 상호작용을 무시하였고, 그 경우 오차 제곱합은 다음과 같이 전체 제곱합에서 개별 인자의 제곱합과 두 인자들 사이의 상호작용 제곱합을 빼어 주어 구할 수 있고, 식 (20)과 같다.

$$SS_E = SS_T - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_{AB} + SS_{AC} + SS_{AD} + SS_{BC} + SS_{BD} + SS_{CD})$$
 (20)

각 인자의 자유도는 그 인자가 취하는 변화단계보다 1이 작은 값이고, 상호작용의 경우는 해당 인자들의 자유도의 곱과 같으며, 한편 오차의 자유도는 다음 식 (21)과 같게 된다.

$$DOF_E = abcdn - 1 - ab - ac - ad - bc - bd - cd - a - b - c - d$$
 (21)

이상의 기호들을 사용하여 네 가지 인자에 대한 분산분석표를 작성하면 Table 1과 같다.

Table 1 Analysis of variance table for 4 factor model

Source	DOF	MS	F ₀
A	a-1	SS _A /(a-1)	MS _A /MS _E
B	b-1	SS _B /(b-1)	MS _B /MS _E
C	c-1	SS _C /(c-1)	MS _C /MS _E
D	d-1	SS _D /(d-1)	MS _D /MS _E
AB	(a-1)(b-1)	SS _{AB} /(a-1)(b-1)	MS _{AB} /MS _E
AC	(a-1)(c-1)	SS _{AC} /(a-1)(c-1)	MS _{AC} /MS _E
AD	(a-1)(d-1)	SS _{AD} /(a-1)(d-1)	MS _{AD} /MS _E
BC	(b-1)(c-1)	SS _{BC} /(b-1)(c-1)	MS _{BC} /MS _E
BD	(b-1)(d-1)	SS _{BD} /(b-1)(d-1)	MS _{BD} /MS _E
CD	(c-1)(d-1)	SS _{CD} /(c-1)(d-1)	MS _{CD} /MS _E
Error	DOF _E	SS _E /DOF _E	
Total	abcdn-1		

확률밀도함수가 다음과 같이 주어지는 경우 F 분포를 하게 되며,

$$f(F) = \frac{n_1^{\frac{n_1}{2}} n_2^{\frac{n_2}{2}}}{B(\frac{n_1}{2}, \frac{n_2}{2})} \cdot \frac{F^{\frac{n_1}{2}-1}}{(n_1 F + n_2)^{\frac{(n_1+n_2)}{2}}}$$
 (22)

(n₁, n₂는 자연수)

여기에서 B(n₁/2, n₂/2)는 베타함수(Beta function)이다. 이와 같은 확률분포를 자유도 (n₁, n₂)

의 F 분포라고 하며, 두 개의 자유도에 대해 대칭이 아니므로 순서에 주의해야 한다.

절삭실험의 결과 얻어진 통계치는 제곱합이 각각 독립이며 각각의 제곱합을 해당하는 자유도로 나눈 평균제곱은 그 항의 자유도를 n_s 라 할 때, 자유도 (n_s, DOF_E)인 F분포를 한다. 따라서, Table 1의 F_0 값과 F분포표의 $F_{DOF_E}^{n_s}(\alpha)$ 를 비교하면 유의수준 $(1-\alpha)$ 에서의 영향여부를 판정할 수 있다.

3. 실험 및 결과

3.1 실험 장치 및 방법

본 연구의 실험에 사용된 선반의 제원을 Table 2에 나타내었다. 표면거칠기 측정에 사용된 표면거칠기 측정기는 SurfTest-420을 사용하고, 절삭공구는 국산 CNMG 120408-KT250 초경합금 바이트를 사용하였으며, 공구 홀더는 PCLNR-2020K-12이었다. 실험에 사용한 시편 재질은 기계구조용 탄소강 SM20C와 SM45C로서 본 실험을 위하여 직경 40 mm, 길이 125 mm의 치수로 재질별로 64 개씩 총 128 개를 Fig. 1과 같은 형상과 치수로 제작하였다.

실험조건을 Table 3과 같이 선정 분류하고 절삭 위치는 Fig. 1의 3곳으로 하였다. 각각 다른 4 종류의 절삭속도, 이송률, 절삭깊이를 선정하여 각각의 절삭조건에 대하여 표면거칠기를 분석하였다. 시험편을 척으로 고정하고 다이얼게이지로 검사하여 편위가 생기지 않도록 조절하였고, 2가지 재료에 대하여 64개의 조건으로 변화시켜 가며 세 곳의 절삭

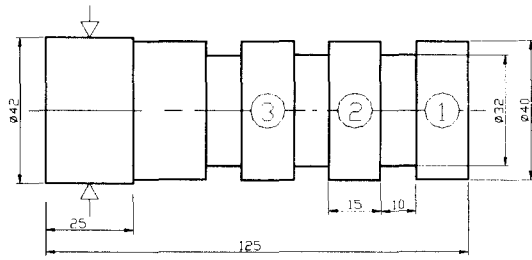


Fig. 1 Shape and dimensions of testpieces

Table 3 Selected cutting conditions

Cutting speed (m/min)	Feed-rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)
$v_1 = 43.96$	$f_1=0.051$	$t_1=0.5$
$v_2 = 69.08$	$f_2=0.102$	$t_2=1.0$
$v_3 = 94.20$	$f_3=0.147$	$t_3=1.5$
$v_4 = 138.16$	$f_4=0.204$	$t_4=2.0$

위치에서 절삭실험을 하였다. 이때, 시편은 선반의 척에 고정하고 심압대의 센터로는 지지하지 않았다. 절삭유제는 chemical W2종 1호(S정유)에 물을 20:1로 섞어 사용하였다.

3.2 실험 결과 및 분석

3.2.1 절삭조건에 따른 표면거칠기

Table 4는 기계구조용 탄소강 SM20C를 절삭공구(CNMG 120408-KT250)로 Table 3에서와 같이 64가지의 절삭조건으로 분류하여 세 절삭위치에서 절삭한 후 중심선 표면거칠기(R_a)를 측정된 값을 나타내고, Table 5는 SM45C를 실험한 자료를 나타낸다.

3.2.2 분산분석

Table 6은 SM20C에 대한 표면거칠기의 분산분석을 나타내고, Table 7은 SM45C에 대한 표면거칠기의 분산분석을 나타낸다. 이 표들로부터 가공물의 표면거칠기에 주로 영향을 미치는 개별 인자는 다음과 같은 F분포표의 데이터와 비교하였다.

$$F_{135}^2(0.01) \approx 4.79, F_{135}^2(0.05) \approx 3.07,$$

$$F_{135}^3(0.01) \approx 3.95, F_{135}^3(0.05) \approx 2.68,$$

$$F_{135}^6(0.01) \approx 2.96, F_{135}^6(0.05) \approx 2.17,$$

Table 2 Specifications of the lathe

Item		Spec.
Machine capability	swing over bed	400 mm
	swing over saddle	236 mm
	center distance	750 mm
Headstock	main spindle	ASA A1-6
	speed range	23 - 1800 rpm
	spindle hole	Ø52 mm
	taper of spindle	M.T # 6

Table 4 Measured surface roughness with SM20C (unit : μm)

Cutting speed(m/min)		43.96			69.08			94.2			138.16		
Feedrate (mm/rev)	Depth of cut(mm)	Location			Location			Location			Location		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.051	0.5	4.9	4.0	2.0	2.5	3.5	3.8	3.3	3.7	3.7	1.2	1.8	2.0
	1.0	3.6	4.2	4.5	2.9	2.3	2.5	0.4	0.5	0.2	1.4	0.5	0.5
	1.5	2.4	2.2	1.7	2.6	2.9	2.6	0.4	0.4	0.6	0.4	0.5	0.4
	2.0	4.4	4.8	5.6	3.6	3.7	3.6	1.1	1.2	1.3	1.2	0.8	0.6
0.102	0.5	2.7	5.0	3.8	2.1	2.3	2.0	1.9	2.3	2.6	2.0	1.1	1.0
	1.0	4.1	3.4	6.4	0.7	0.7	0.8	1.5	1.7	1.5	0.9	0.9	1.0
	1.5	1.6	1.6	4.5	0.7	0.7	0.6	1.5	1.5	1.4	0.9	1.0	1.0
	2.0	1.6	1.7	0.9	2.1	0.6	0.6	1.1	1.2	1.4	0.4	0.5	0.6
0.147	0.5	7.4	4.2	5.3	2.9	2.6	2.8	2.5	2.2	2.0	0.9	1.0	1.0
	1.0	3.6	3.4	3.3	1.0	0.8	0.8	2.0	2.0	2.0	0.8	0.8	0.8
	1.5	2.2	1.7	1.9	0.9	1.2	1.0	0.7	0.7	0.7	1.0	1.0	1.0
	2.0	2.2	1.8	2.0	1.1	1.7	1.2	1.0	1.1	1.0	0.9	1.0	0.8
0.204	0.5	4.4	3.9	4.6	2.6	2.7	3.4	2.3	2.1	2.4	1.4	1.1	1.0
	1.0	4.4	3.7	3.1	0.6	0.7	0.9	1.7	1.9	1.5	1.2	1.3	1.2
	1.5	2.6	2.9	2.9	0.8	0.7	0.6	1.3	1.4	1.3	1.3	1.4	1.3
	2.0	3.1	2.6	2.5	1.2	0.5	0.6	1.3	1.2	1.4	1.1	1.2	1.4

Table 5 Measured surface roughness with SM45C (unit : μm)

Cutting speed(m/min)		43.96			69.08			94.2			138.16		
Feedrate (mm/rev)	Depth of cut(mm)	Location			Location			Location			Location		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.051	0.5	3.4	3.2	2.9	3.2	3.2	3.0	3.0	3.1	2.8	1.9	1.9	1.9
	1.0	3.3	3.5	4.2	3.0	3.5	3.8	3.4	3.3	3.7	0.6	0.6	0.5
	1.5	4.0	4.2	3.9	4.3	3.7	3.7	3.4	3.3	4.0	1.5	0.7	0.7
	2.0	3.7	3.7	4.6	3.6	3.5	3.2	2.0	1.0	0.9	1.7	0.7	0.4
0.102	0.5	3.8	3.7	3.6	3.5	3.2	2.0	2.7	3.0	2.9	1.8	1.7	1.6
	1.0	4.3	5.0	4.4	3.6	3.6	3.2	1.1	1.2	1.5	1.0	0.7	1.2
	1.5	4.9	4.2	4.9	2.3	2.3	3.2	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	2.0	5.1	4.3	5.0	2.3	2.3	2.1	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7
0.147	0.5	5.5	4.6	4.9	2.2	3	2.5	1.6	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
	1.0	4.0	4.2	4.0	2.3	2.4	2.5	1.2	1.2	0.9	1.1	1.1	1.2
	1.5	2.2	1.9	1.9	1.9	1.9	2.4	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.0	2.3	2.4	2.1	2.5	2.3	2.0	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	0.7
0.204	0.5	3.3	3.5	3.2	1.8	1.8	1.8	2.9	2.4	2.4	1.4	1.3	1.3
	1.0	2.7	3.2	3.1	2.1	2.2	2.1	3.8	3.4	3.2	1.5	1.4	1.5
	1.5	2.1	3.1	2.3	2.5	2.6	2.8	3.2	3.2	3.1	1.5	1.5	1.5
	2.0	1.9	1.8	2.5	3.2	3.2	3.2	3.2	3.6	3.1	1.4	1.4	1.5

Table 6 Analysis of variances for SM20C

Source	SS	DOF	MS	F ratio	F(1%)	F(5%)	Significant
Speed	147.90	3	49.30	100.93	3.95	2.68	at 1 percent
Feed	8.105	3	2.702	5.531	3.95	2.68	at 1 percent
Depth of cut	50.91	3	16.97	34.746	3.95	2.68	at 1 percent
Location	0.173	2	0.087	0.177	4.79	3.07	
Speed · Feed	20.56	9	2.284	4.677	2.56	1.96	at 1 percent
Speed · Depth	19.96	9	2.218	4.541	2.56	1.96	at 1 percent
Speed · Location	0.680	6	0.113	0.232	2.96	2.17	
Feed · Depth of cut	11.91	9	1.324	2.710	2.56	1.96	at 1 percent
Feed · Location	1.413	6	0.236	0.482	2.96	2.17	
Depth of cut · Location	0.542	6	0.090	0.185	2.56	2.17	
Error	65.94	135	0.488				
Total	328.11	191					

Table 7 Analysis of variances for SM45C

Source	SS	DOF	MS	F ratio	F(1%)	F(5%)	Significant
Speed	150.24	3	50.08	147.80	3.95	2.68	at 1 percent
Feed	16.56	3	5.520	16.292	3.95	2.68	at 1 percent
Depth of cut	5.901	3	1.967	5.805	3.95	2.68	at 1 percent
Location	0.139	2	0.070	0.206	4.79	3.07	
Speed · Feed	50.699	9	5.633	16.625	2.56	1.96	at 1 percent
Speed · Depth	5.994	9	0.666	1.965	2.56	1.96	at 5 percent
Speed · Location	0.284	6	0.047	0.140	2.96	2.17	
Feed · Depth of cut	10.493	9	1.166	3.441	2.56	1.96	at 1 percent
Feed · Location	0.278	6	0.046	0.137	2.96	2.17	
Depth of cut · Location	0.877	6	0.146	0.431	2.56	2.17	
Error	45.744	135	0.339				
Total	287.21	191					

$$F_{135}^9(0.01) \approx 2.56, F_{135}^9(0.05) \approx 1.96$$

그 결과에 의하여 절삭속도, 이송률, 절삭깊이, 절삭속도×이송률, 절삭속도×절삭깊이, 이송률×절삭깊이임을 알 수 있고, 절삭속도의 영향이 가장 큰 것을 알 수 있다.

3.2.3 절삭속도 변화에 따른 표면거칠기

Table 6에 나타낸 SM20C의 분산분석 결과를 보

면 절삭속도의 효과가 크고, 절삭속도를 제외하고 영향이 큰 항목이 절삭깊이이므로 절삭깊이를 변화시켰을 때 절삭속도에 대한 표면거칠기를 Fig. 2에 도시하였다. 각 점은 주어진 절삭속도와 절삭깊이에 대한 표면거칠기의 평균을 나타낸다. 절삭깊이가 0.5mm일 때 표면거칠기가 대체로 거칠게 나타났으며, 절삭속도의 증가에 따라 전체적으로 표면이 양호해지는 것을 확인할 수 있다. 절삭깊이가 1.0mm인 경우 절삭속도 94.2 m/min에서 약간 상승하는 것을 나타내었다. 이송률의 관점에서 고찰하

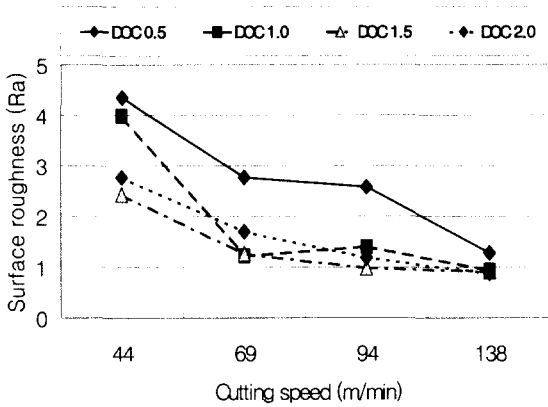


Fig. 2 Surface roughness vs. cutting speed (SM20C)

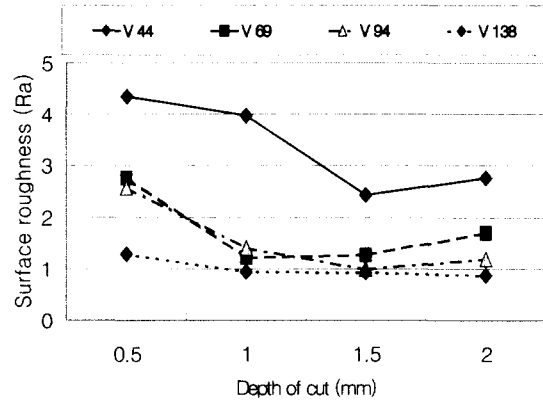


Fig. 4 Surface roughness vs. depth of cut (SM20C)

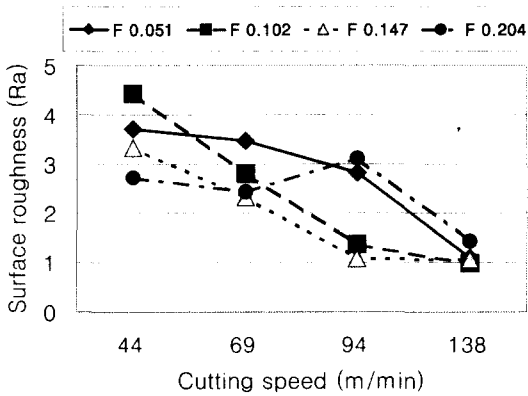


Fig. 3 Surface roughness vs. cutting speed (SM45C)

면, 이송률을 0.102 mm/rev로 고정시켰을 때 절삭깊이가 0.5 mm에서 표면거칠기가 대체적으로 거칠게 나타났고, 절삭속도 69.08 m/min에서 표면거칠기가 가장 작게 나타났으며, 94.2 m/min에서는 표면거칠기가 증가하였다가 감소한다. 이송률을 0.147 mm/rev로 고정시켰을 때 절삭깊이가 0.5 mm에서 표면거칠기의 값이 높았으며, 절삭속도가 증가함에 따라 표면거칠기 값은 감소하였다.

Fig. 3은 SM45C 재료에서 절삭 속도변화에 따른 표면거칠기의 평균을 나타낸 그림이다. SM45C 재료에서는 영향이 큰 순서를 보면 SM20C의 경우와 달리 절삭속도 및 이송률의 순서이므로, 이송률을 일정하게 주었을 때 절삭속도에 따른 표면거칠기의 평균을 도시하였다. 이송률이 0.051~0.147 mm/rev인 경우, 절삭 속도가 증가함에 따라 표면거칠기가 감소

하였다. 이송률이 0.204 mm/rev 인 경우 절삭속도가 증가함에 따라 감소하다가 절삭속도가 94.2 m/min일 때 증가하고 그 후 다시 감소하는 경향을 나타내었다.

3.2.4 절삭깊이 변화에 따른 표면거칠기

Fig. 4는 SM20C 재료에서 절삭속도를 일정하게 주었을 때 절삭 깊이의 변화에 따른 가공면 표면거칠기의 평균을 나타낸 그림이다. 전체적으로 보면 절삭깊이의 증가에 따라서 초반에는 표면거칠기가 감소하다가 어느 값 이상이 되면 표면거칠기가 다시 증가하는 경향을 나타낸다. 또한 Table 6의 분산 분석 결과 절삭깊이의 F값이 절삭속도의 경우보다 작고, Fig. 4를 보면 절삭깊이를 변화시켰을 때가 절삭속도를 변화시켰을 때보다 표면거칠기에 미치는 영향이 작은 것을 확인할 수 있다. 구체적으로 살펴보면, 절삭속도를 43.96m/min으로 설정한 경우, 절삭깊이가 1.5mm일 때까지 표면거칠기 값이 감소하였으며, 1.5~2.0 mm 구간에서 완만하게 증가하고 있다. 절삭속도가 69.08 m/min인 경우, 절삭깊이 1 mm~1.5 mm일 때 표면 거칠기가 좋게 나타났고, 절삭깊이가 1.5 mm 이상에서는 증가하는 형태이며, 이송률이 0.051 mm/rev일 때 표면거칠기는 0.102 mm/rev일 때 보다 좋지 않았다.

Fig. 5는 SM45C 재료에서 절삭속도를 일정하게 주었을 때 절삭 깊이에 따른 표면거칠기 측정치의 평균을 나타낸다. 전체적인 경향을 보면 절삭 깊이를 변화시켰을 때는 절삭속도를 변경하였을 때의 변화보다 표면거칠기에 미치는 영향이 작은 것을 확인할 수 있

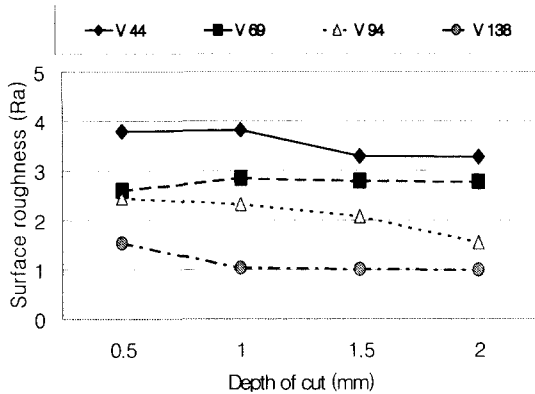


Fig. 5 Surface roughness vs. depth of cut (SM45C)

고, 이는 Table 7의 분산분석표에서 절삭깊이의 F값이 비교적 작은 결과와 일치한다. 구체적인 사례를 보면 절삭속도를 43.96 m/min으로 설정한 경우, 이송률이 0.102mm/rev이하가 되면 표면거칠기는 증가하게 되며, 절삭깊이가 1mm 이상이 되면, 표면거칠기는 작아진다. 절삭속도 69.08 m/min으로 설정한 경우 이송률이 0.051 mm/rev일 때와 0.204 mm/rev일 때 표면거칠기는 증가하며, 이송률 0.102~0.147mm/rev 구간이 표면거칠기가 좋다. 절삭속도를 94.2m/min으로 설정한 경우, 이송률이 0.204 mm/rev일 때 표면거칠기 값은 크게 변동이 없고, 이송률이 0.102~0.147mm/rev일 때 절삭깊이의 증가에 따라 표면거칠기가 나빠지는 것으로 나타난다. 절삭속도를 138.16m/min으로 설정한 경우 이 속도에서 표면거칠기는 이송률과 절삭깊이에는 그다지 좌우되지 않는 것으로 보인다.

3.2.5 이송률 변화에 따른 표면거칠기

Fig. 6은 SM20C 시편에서 절삭속도를 일정하게 주었을 때 이송률 변화에 따른 가공면 표면거칠기의 평균을 나타낸다. 세 절삭위치 및 네 가지 절삭깊이 즉 12종의 평균을 도시하였다. 전체적으로 이송이 0.051 mm/rev이었을 때의 평균이 다른 경우에 비하여 표면이 거칠었다. 절삭속도를 43.96 m/min으로 설정한 경우 초기에 이송의 증가에 따라 표면거칠기가 감소하여 0.102 mm/rev에서 최소가 되고, 그 이상에서는 증가하는 경향을 나타내었다. 절삭속도를 69.08 m/min으로 설정한 경우, 이송률이 0.051mm/rev일 때 표면거칠기가 좋지 않으며, 이송률 0.102~0.147 mm/rev일 때 양호하게 나타났고, 이송률이 증가함에 따라 표면

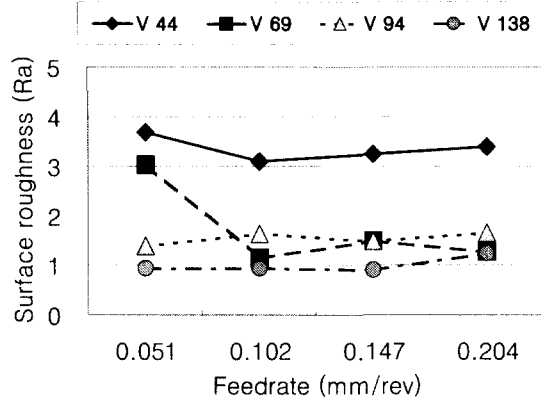


Fig. 6 Surface roughness vs. feed-rate (SM20C)

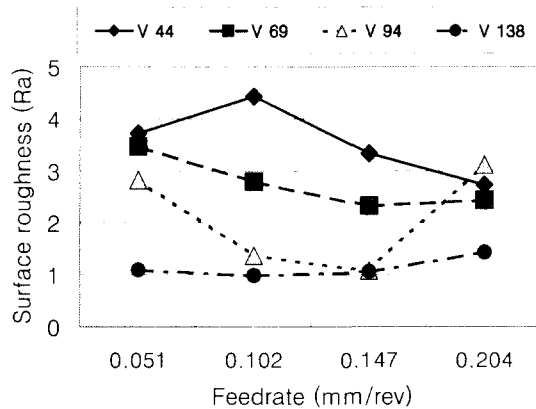


Fig. 7 Surface roughness vs. feedrate (SM45C)

거칠기가 증가하고 있다. 절삭속도를 94.2 m/min으로 설정한 경우 이송률의 증가에 따라 표면거칠기가 나빠졌으며, 이송률이 0.102mm/rev부터는 감소하고 있다. 세부적으로 보면, 절삭깊이 2mm일 때는 큰 변화가 없고, 절삭깊이가 1mm~1.5mm일 때는 이송률에 따라 증가하는 경향이 나타났다. 절삭속도가 138.16 m/min인 경우 이송률의 증가에 따라 표면거칠기가 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 SM45C에서 절삭속도를 일정하게 주었을 때, 이송률의 변화에 따른 가공면 표면거칠기의 평균을 나타낸 그림이다. 절삭속도를 43.96 m/min으로 설정한 경우, 평균치를 보면 이송의 증가에 따라 표면거칠기는 증가 후 감소하는 추세를 나타낸다. 세부적으로 보면, 절삭깊이가 0.5mm일 때 표면거칠

기는 증가하여 이송률 0.147mm/rev일 때 가장 나쁘며, 이송률 0.147mm/rev을 지나면서 좋아진다. 절삭깊이 1.5mm일 때는 완만한 곡선으로 표면거칠기가 나빠지고, 이송률이 0.147mm/rev까지 급격히 좋아지며, 이송률이 0.204mm/rev까지는 큰 변동이 없다. 절삭깊이가 1mm일 때는 완만한 곡선을 그린다. 절삭속도를 69.08m/min으로 설정한 경우 평균치의 추세를 보면, 이송률이 0.102~0.147mm/rev에서 표면거칠기가 양호하게 나타나고 0.147mm/rev이상이 되면 표면거칠기가 나빠진다. 절삭속도가 94.2m/min인 경우, 표면거칠기는 이송률 0.051, 0.204mm/rev일 때 좋지 않으며, 이송률 0.102 및 0.147mm/rev일 때 좋게 나타나는 오목형상을 하고 있다. 세부적으로 보면, 절삭깊이가 2mm일 때 이송률 0.051mm/rev에서 좋게 나타나고 있으며, 절삭깊이 0.5mm일 때 이송 0.051~0.102 mm/rev까지는 큰 변동이 없다. 절삭속도를 138.16 m/min으로 설정하였을 경우 이송률이 증가함에 따라 표면거칠기의 평균치 추세는 값이 증가하며, 절삭깊이에는 크게 영향을 받지 않고, 이송률이 0.147mm/rev을 기점으로 표면거칠기 값은 증가한다.

3.2.6 이송률과 절삭깊이의 상호작용에 따른 표면거칠기

기계 가공시의 가공 성능은 개별 인자 및 복합인자에 의하여 영향을 받으므로^[12, 13] 복합인자의 영향을 분석하는 것이 효과적일 수 있다. 이송률과 절삭깊이의 상호작용(곱)에 따른 가공면 표면거칠기를 비교하기 위하여 Fig. 8 및 Fig. 9와 같이 절삭속도

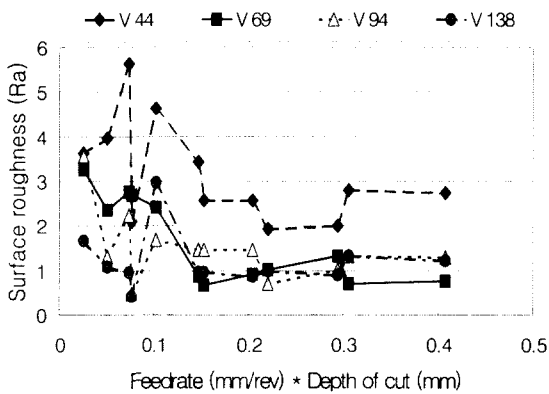


Fig. 8 Surface roughness vs. the product of feed and depth of cut(SM20C)

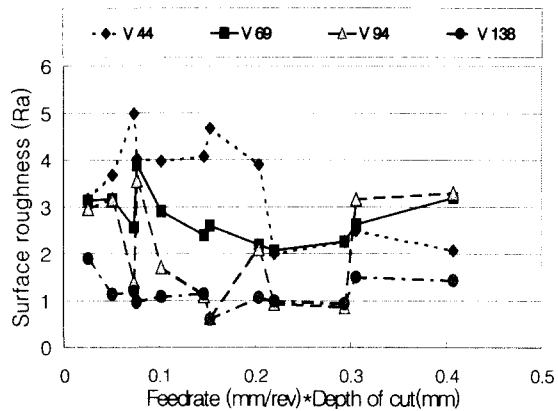


Fig. 9 Surface roughness vs. the product of feed and depth of cut(SM45C)

를 일정하게 설정한 상태에서 작도하였다. 이송률과 절삭깊이의 곱은 절삭면적을 나타내고 일반적으로 절삭저항은 이 절삭면적에 비례한다. 이송률과 절삭속도의 곱이 작은 경우에 표면거칠기는 넓게 분포하는 경향을 보이고, 곱이 0.22인 조건에서 표면거칠기가 양호하였다. Fig. 8과 9로부터 이송률과 절삭깊이의 곱이 적정한 경우에 양호한 표면거칠기를 얻을 수 있었다. Fig. 8과 9에서 이송률과 절삭깊이의 곱이 비슷한 경우에도 표면거칠기의 분포가 비교적 넓은 이유는 절삭깊이와 이송률이 표면거칠기에 미치는 영향이 각각 다르기 때문이다. 즉 이송률과 절삭깊이의 곱이 동일한 경우에도 이송률과 절삭깊이의 값이 다르므로 얻어지는 표면거칠기가 다른 값을 나타내었다. 또한 두 값의 곱이 0.22~0.29의 경우는 비교적 일정한 표면거칠기 값을 나타내었다.

3.2.7 이송률과 절삭속도의 상호작용에 따른 표면거칠기

이송률과 절삭속도의 상호작용에 따른 표면거칠기를 비교하기 위하여 절삭깊이를 일정하게 주었을 때, 이송률과 절삭속도의 곱에 따른 표면거칠기의 변화를 도시하였다. Fig. 10과 11에 나타난 바와 같이 이송률과 절삭속도의 곱이 작은 경우 표면거칠기의 산포가 크고, 곱이 증가함에 따라 산포가 감소하며 표면거칠기도 감소하였다. 이것은 앞의 결과로부터 '절삭속도 증가에 따른 표면거칠기 감소'에 의한 효과라고 고려되었다. 또한 본 실험의 결과에서 이송률과 절삭속도의 곱이 큰 경우는 거의 동일한 표

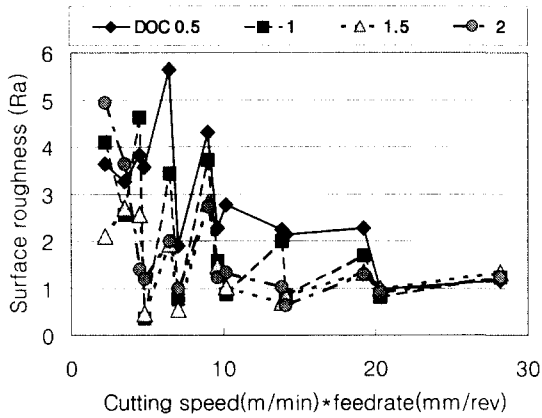


Fig. 10 Surface roughness vs. the product of feed and cutting speed (SM20C)

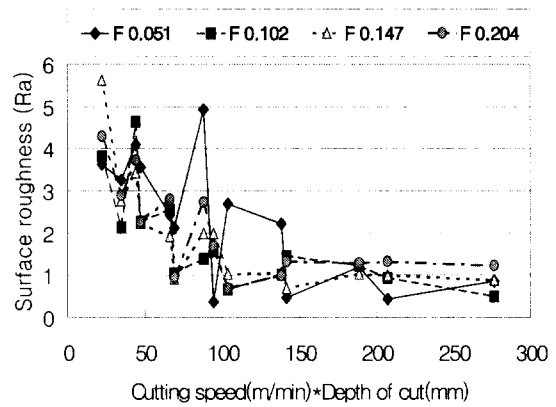


Fig. 12 Surface roughness vs. the product of feed and cutting speed (SM20C)

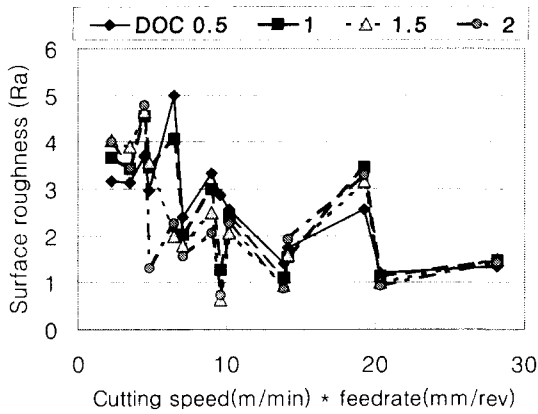


Fig. 11 Surface roughness vs. the product of feed and cutting speed (SM45C)

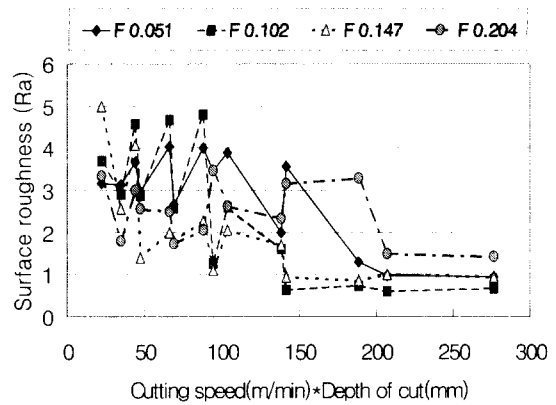


Fig. 13 Surface roughness vs. the product of feed and cutting speed (SM45C)

면거칠기를 나타내었는데, 그 이유는 Fig. 2와 3, Fig. 6과 7의 결과로부터 예측할 수 있듯이 절삭속도가 증가할 때 및 이송률이 증가할 때 표면거칠기가 집중되는 성향을 나타내었기 때문이다.

3.2.8 절삭속도와 깊이의 상호작용에 따른 표면거칠기

절삭속도와 절삭깊이의 상호작용에 따른 표면거칠기의 변화를 확인하기 위하여 이송률을 일정하게 하였을 때 절삭속도와 절삭깊이의 곱에 따른 표면거칠기의 평균을 도시하였다. 각각의 표시 점은 절삭 위치 3 곳의 결과에 대한 평균치이다. Fig. 12~13에

나타낸 바와 같이 절삭속도와 절삭깊이의 곱이 작은 경우 표면거칠기의 산포가 크고, 곱이 증가함에 따라 산포가 감소하며 표면거칠기도 감소하였다. 이것은 앞의 이송률과 절삭속도의 곱에 따른 표면거칠기의 영향과 같은 경향으로 절삭속도 증가에 의한 효과라고 고려되었다.

4. 결론

선반가공에서 가공물의 표면거칠기에 미치는 절삭 조건의 영향을 조사하기 위하여, 기계 구조용 탄소강 2가지 재료를 절삭 조건을 변화시켜 가면서 습절

삭 실험하여 얻어진 결과를 통계적으로 분석하였다. 시편의 길이가 비교적 짧은 경우에는 심압대의 센터로 지지하지 않는 경우가 많으므로, 본 연구의 실험에서는 심압대의 센터를 사용하지 않고 일단지지로 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 선삭가공시 가공면 표면거칠기에 크게 영향을 미치는 인자는 절삭속도, 이송률, 절삭깊이, 절삭속도와 이송률의 상호작용, 절삭속도와 절삭깊이의 상호작용, 이송률과 절삭깊이의 상호작용으로 분석되었다. SM20C의 경우에는 절삭속도, 절삭깊이, 이송률의 순서이었고, SM45C의 경우에는 절삭속도, 이송률, 절삭깊이의 순서이었다. 이것은 심압대의 센터로 지지하는 경우와 같은 결과를 나타낸다.

(2) 절삭속도와 가공면의 표면거칠기를 고려할 때, 전체적으로는 절삭속도가 증가하면 표면거칠기 값이 낮아졌으나 몇 가지 경우에는 절삭속도가 94.2 m/min인 경우 표면거칠기가 증가하는 특이한 현상을 나타내었다. 절삭속도가 공작기계-절삭계의 진동^[14]에 민감한 영향을 미친 것으로 고려된다.

(3) 이송률만을 고려하여 가공면의 표면거칠기를 검토하면 SM20C에서는 0.102 mm/rev, SM45C에서는 0.147 mm/rev가 양호한 이송률 이었다. 척 및 심압대 센터 작업으로 실험시 이송률의 증가에 따라 표면거칠기가 증가하는 경향^[15]과는 다른 것이다. 양단지지시와 일단지지시의 구조적 동특성이 다르기 때문^[14]에 생기는 현상이라고 고찰된다.

(4) 절삭깊이의 변화에 따른 가공면의 표면거칠기를 고려할 때 본 실험을 수행한 범위 내에서는 크게 영향은 없지만 1~1.5 mm의 깊이가 가장 양호한 절삭깊이였다.

(5) 이송률과 절삭깊이의 곱에 의한 영향은 곱이 0.22~0.29인 부분에서 양호한 표면 거칠기를 나타내었으며, 이송과 절삭속도의 곱에 의한 영향 및 절삭깊이와 절삭속도의 곱에 의한 영향은 절삭속도 증가에 의한 효과가 커서 곱이 증가할수록 양호한 표면 거칠기를 나타내었다.

참고문헌

1. 구자욱, 선반에서 SM25C재의 정삭 가공시 표면거칠기 향상을 위한 최적절삭조건 선정, 충북대학교 석사학위 논문, 1994.
2. 남궁용, 선반에 절삭조건 및 공구에 따른 표면거칠

- 기와 절삭력에 관한 연구, 숭실대학교 석사학위 논문, 1990.
3. 도산엽, 절삭속도와 이송속도가 표면거칠기에 미치는 영향, 아주대학교 산업대학원 석사학위 논문, 1996.
4. 정종영, 선삭 가공에서의 절삭 저항과 표면거칠기를 고려한 최적 절삭조건에 관한 연구, 숭실대학교 석사학위 논문, 1991.
5. 홍일균, SM45C, SM40C강의 선삭시 최적 절삭조건에 관한 실험적 연구, 아주대학교 석사학위논문, 1992.
6. 성철현·김형철·김기수, “알루미늄 합금의 고속 미소 선삭에 있어서 표면거칠기 특성,” 한국정밀공학회지, 제16권, pp. 94~100, 1999.
7. 이신영·이장무, “부분구조합성법을 이용한 NC 선반의 동적 설계,” 한국정밀공학회지, 제6권, pp. 126~135, 1989.
8. 서태일·조명우, “윤곽 밀링시 공구변형에 의한 절삭표면 형상의 예측,” 한국정밀공학회지, 제16권, pp. 203~209, 1999.
9. 백대균·고태조·김희술, “정면 밀링작업에서 절삭력을 이용한 On-Line 표면조도 감시에 관한 연구,” 한국정밀공학회지, 제14권, pp. 185~193, 1997.
10. Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, 1976.
11. 김광보·김형준·양일모, 현대통계학, 백산문화사, 1997.
12. 日本機械學會, 工作機械の剛性および切削性能の向上に關する研究分科會 研究成果報告書, 日本機械學會, 1974.
13. 김규일, 국산선반의 동적 성능시험 및 평가에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문, 1982.
14. 이우석·이신영·이장무, “고속 CNC 선반의 동특성 해석과 채터 예측,” 한국정밀공학회지, 제16권 제7호, pp. 151~157, 1999.
15. 김갑선, 탄소강의 절삭 가공시 절삭성능을 고려한 최적의 절삭조건 연구, 군산대학교 석사학위논문, 1999.