

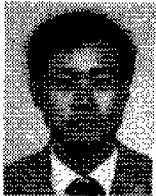
S/N비를 이용한 기계가공의 피삭성 검토

A Study On the Machinability Using S/N Ration

현 동 훈, 이 용 성
D. H. Hyun, Y. S. Lee



- 이 용 성
- 1930년 8월생
- 생산공학 및 절삭가공
- 단국대학교 기계공학과



- 현 동 훈
- 1957년 2월생
- Computer를 이용한 가공 합리화
- 정회원, 단국대학원

1. 서 론

대부분의 생산현장에서는 제조과정을 보다 합리적이고 능률적으로 관리하여 생산성 향상 및 원가절감을 하기 위해 노력하고 있으나 기계 가공에 있어서는 작업에 필요한 절삭조건, 공구교환주기 등의 정보가 확실하지 못해 숙련자의 경험에 의존하는 경우가 많다. 또한 공정 설계시나 재료 개발시에 공정 전체의 합리화를 꾀하기 위해 피삭성 검토가 꼭 필요하다. 그러나 피삭성 검토에 수반되는 절삭실험은 많은 노력과 경비를 수반하므로 현장에서 쉽게 접근하기가 곤란하다.

荒木¹⁾은 피삭재의 야금학적 성질에 대해 논

하였으며, 佐田²⁾도 재료의 피삭성에 대해 연구하였으며, 三瓶³⁾도 열간단조용 비조질강의 피삭성을 연구하였으나 피삭성 전반적인 검토 및 평가방법에 문제를 가지고 있다. 그러므로 본 연구에서는 실험횟수를 줄이고, 신뢰성이 높은 실험 계획법중 S/N비를 이용하여 피삭성을 검토 최적조건을 검토하기로 한다.

2. 품질 손실 함수⁴⁾

기계 가공의 공정설계에 있어서 그 목적기능을 최대화할 수 있는 방법을 알아내는 것은 대단히 중요하다. 잘못 설계된 실험은 그 공정 자체가 대단히 비능률적일 뿐아니라 최적 수준의 결정에 잘못된 결론을 유도하게 된다.

Fig.1에서 보는 바와 같이 어떤 목적을 수행하기 위하여 전달된 신호입력이 생산물에 어느 정도 영향을 주며, 시스템에 가해지는 잡음이 생산물의 품질에 어느정도 변동을 주어 결과에 대한 신뢰성이 떨어지는가를 조사한다.

Signal-to-Noise (S/N) 비는 공정특성에 대한 잡음인자의 영향을 효과적으로 추정할 수 있는 기법으로, 품질 특성치로부터 S/N비를 계산하고 이를 분석하여 제일 큰 값을 갖는 S/N비를 최적수준 조합으로 선정하면 된다.

S/N비는 신호대 잡음의 비를 의미하며 다

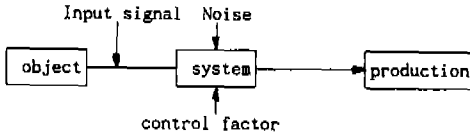


Fig. 1 Functional quality characteristic



Fig. 2 S-type loss function

음과 같은 신호 입력의 힘과 잡음이 주는 힘의 비율로써 나타낸다.

$$S/N \text{비} = \frac{\text{신호의 크기}}{\text{잡음의 크기}} = \frac{\text{목표치 } m^2 \text{의 추정치}}{\text{분산 } \sigma^2 \text{의 추정치}} = \frac{\hat{m}}{\hat{\sigma}} \dots\dots\dots (1)$$

Fig. 2는 2차 손실함수중 망소특성(Smaller-the-better type characteristic)을 나타낸 것이고, 망소특성의 공정특성치 y 는 목표치가 $m=0$ 인 잡음의 분포이며, 손실함수 $L(y)$ 는 공정특성치 y 가 0(zero)으로부터 커짐에 따라 증가하므로 기대손실 $L=KE(y^2)$ 을 최소화하여 준다. 반복 측정된 품질의 특성치 y_1, y_2, \dots, y_7 이라 하면 기대손실 L 의 추정값은 아래와 같다.

$$L = KE(y^2) = K(\text{mean square quality characteristic}) = K \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \dots\dots\dots (2)$$

S/N비의 값이 클수록 좋은 값으로 나타내기 위하여 S/N비에 로그를 취하고 10을 곱하여 데시벨(dB)단위로 나타낸다. 즉

$$S/N = \eta \text{ (dB)} = -10 \log_{10}(\text{mean square quality characteristic}) = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \dots\dots\dots (3)$$

3. 실험계획과 실험방법

3.1 실험인자 및 수준선정

본 실험에서는 SM45C와 비조질강의 상대적 피삭성을 검토하여 현장작업에 적용하기 위한 기초 데이터를 얻기위해 절삭저항, 표면조도, 칩 처리성에 대한 최적 조건을 알고자 한다. 선삭가공에 있어서 절삭저항 및 표면조도는 적으면 적을수록 좋은 망소특성(S-Type)으로 취급하여 평가대상이 되는 실험조건을 직교 배열표에 할당한 다음 실험을 실시하여 최적조건을 선정한다. Table 1에 표면조도에 관

Table 1 Control factor & levels of roughness

인자	인 자 명	기 호	수 준		
			1	2	3
제어 인자	공구의 반경	T	0.4	0.8	1.2
	절삭깊이 (mm)	D	2.0	1.5	1.0
	송 (mm/rev)	F	0.05	0.1	0.2
인자	절삭속도 (m/min)	S	100	150	250
표시 인자	피삭재 종류	M	조질강 (M1)	비조질강 M2	-
오차 인자	측정방향	Z	X ₁ , Y ₁	X ₂ , Y ₂	X ₃ , Y ₃

Table 2 Control factors & levels of the cutting force

인자	인 자 명	기 호	수 준		
			1	2	3
제어 인자	절삭깊이 (mm)	D	1.0	2.0	-
	송 (mm/rev)	F	0.1	0.2	0.3
	인자	절삭속도 (m/min)	S	100	150
표시 인자	피삭재 종류	M	조질강 (M1)	비조질강 M2	-
인자	분력의 종류	N	주분력 (F _v)	이송분력 F _f	배분력 F _r

Table 3 Control factors & levels of the chip Treatment

기 호 수 준		1	2	3
재 질	A 비조질	조질	-	
절삭속도(m/min)	B	50	100	250
절삭깊이(mm)	C	0.3	1.5	3.0
이 송(mm/rev)	D	0.10	0.20	0.30

한 실험인자와 그들의 수준을 선정하였고, Table 2에 절삭저항에 관한 실험인자와 그들의 수준을 선정하였다.

3.2 인자의 할당

본 실험에서 선정된 인자들의 모든 수준 조합에서 실험을 실시하려면 $3^4 = 81$ 회의 실험이 필요하다. 그러나 재료의 비용이나 시간등을 고려하여 보면 불합리하고, 통계적인 면에서도 제조공정이란 관련된 몇개의 변수들에 의하여 특징지워지므로 모든 실험을 실시하는 것은 불필요하다. 그러므로 제어인자들의 몇개 수준에서 최적조건을 구할 수 있는 효과적인 방법이 직교 배열표를 이용한 매트릭스 실험법이다.

Table 4에 표면조도 및 절삭저항의 직교배

Table 4 L27 orthogonal array & factor assignment

expt No	column													M1			M2		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	x1	x2	x3	y1	y2	y3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
3	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
4	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
5	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
6	1	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
7	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
8	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
9	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
10	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
11	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
12	2	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
13	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
14	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
15	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
16	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
17	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
18	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
19	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
20	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
21	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
22	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
23	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
24	3	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
25	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
26	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
27	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						

열표 및 인자할당을, Table 5에 칩 처리성의 직교 배열표 및 인자 할당을 표시한다.

3.3 실험방법

선반에서 SM 45 C 와 비조질강을 가공시 절삭력은 공구동력계를 이용하여 측정하였으며 표면조도는 가공후 시편을 측정식 표면조도계로 3방향 측정후 평균치로 결정하였으며 칩 처리성은 가공후 생성되는 칩을 INFOS 분류법에 의해 분류하였다.

4. 실험결과 및 고찰

최적 인자 수준 조합을 얻기 위한 방법으로 S/N비 분석방법을 이용하여, 계산된 S/N 비를 최대로 하는 최적 인자 수준을 결정하기 위해서는 다음과 같은 두 단계를 수행해야 한다.

첫째 : S/N비의 분산분석(ANOVA)을 통하여 최적수준으로 가장 큰 S/N비의 값을 갖는 제어인자의 수준을 결정한다.

표 3 인자의 배치와 관측치 및 누적치 (L18 orthogonal array)

	A B C D e e e e								관측치			누적치			
	1	2	3	4	5	6	7	8	G	M	B	I	II	III	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3				3	
2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2				1 3 3	
3	1	1	3	3	3	3	3	3	1	2				1 3 3	
4	1	2	1	1	2	2	3	3			3			3	
5	1	2	2	2	3	3	1	1	3			3	3	3	
6	1	2	3	3	1	1	2	2	2	1		2	3	3	
7	1	3	1	2	1	3	2	3			3			3	
8	1	3	2	3	2	1	3	1		3				3 3	
9	1	3	3	1	3	2	1	2		1	2			1 3	
10	2	1	1	3	3	2	2	1		1	2			1 3	
11	2	1	2	1	1	3	3	2	1	2				1 3 3	
12	2	1	3	2	2	1	1	3	1	2				1 3 3	
13	2	2	1	2	3	1	3	2			3			3	
14	2	2	2	3	1	2	1	3		3				3 3	
15	2	2	3	1	2	3	2	1		2	1			2 3	
16	2	3	1	3	2	3	1	2			3			3	
17	2	3	2	1	3	1	2	3		1	2			1 3	
18	2	3	3	2	1	2	3	1	2		1	2		2 3	
										11	20	23	11	31	54

둘째 : 평균값에 유의한 효과를 갖는 모든 인자들 중에서 S/N비에 가장 적은 효과를 주는 인자를 결정한다.

그러므로 어느 인자가 S/N에 대해 유의한 효과를 가지고 있는지를 알 수 있다.

4.1 표면조도

컴퓨터 프로그램에서 L₂₇ 직교배열표, F 표 및 측정 데이터를 입력시킨 후 분산 분석을 실시하여 pooling 한 후의 분산분석표를 Table 6에 표시한다.

SM45C와 비조질강의 선삭 가공시 표면조도에 영향을 미치는 제어인자는 분산 분석표에서 알 수 있으나, 유의차가 있다고 인정되는 제어인자의 효과를 알아보기 위해 Fig. 1 과 Fig. 2에 SM45C와 비조질강의 요인 효과도를 각각 표시한다.

위에서 살펴본 바와 같이 두 강도의 표면조도에 대한 목적특성을 가장 좋게하는 추천 절삭조건은 다음과 같다.

4.2 절삭저항

절삭저항의 분산분석도 표면조도와 마찬가지로 L₂₇ 직교배열표 및 F표, 측정 데이터를 이용하여 Table 7~ Table 12에 분산 분석표를 표시한다. F_v, F_f, F_r은 각각 주분력, 이송분력, 배분력이다.

Table 6 Pooled ANOVA of roughness

*** Pooled ANOVA table for M1 ***

Factor	S	d.f	V	Fo	P(%)
T : Tool	51.395	2.	25.698	26.75**	8.22
D : Depth	4.703	2.	2.351	2.45	27.46
S : Speed	169.194	2.	84.597	88.07**	27.79
F : Feed	359.407	2.	179.703	187.09**	59.38
TxF #	.986	4.	.247	.00	.00
Error #	16.304	14.	1.165	.00	.00
e(# Pooling)	17.290	18.	.961	.00	4.15
Total	601.988	26.	.000	.00	100.00

*** Pooled ANOVA table for M2 ***

Factor	S	d.f	V	Fo	P(%)
T : Tool	25.563	2.	12.781	13.65**	5.11
D : Depth	1.054	2.	.527	.00	.00
S : Speed	127.338	2.	63.669	67.98**	27.09
F : Feed	289.769	2.	144.885	154.69**	62.16
TxF #	5.497	4.	1.374	1.47	.38
Error #	13.932	14.	.995	.00	.00
e(# Pooling)	14.986	16.	.937	.00	5.26
Total	463.152	26.	.000	.00	100.00

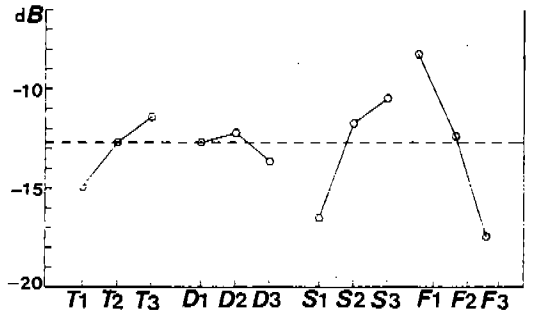


Fig. 1 Plots of factor effects for SM45C

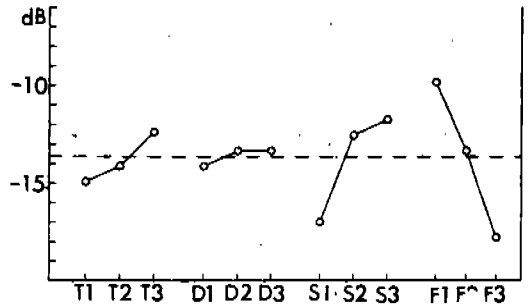


Fig. 2 Plots of factor effects for microalloyed steel

현행 절삭조건 : 공구반경 0.8mm, 절삭깊이 1.0mm, 이송 0.05mm/rev, 절삭속도 100 m/min

추천 절삭조건 : 공구반경 0.8mm, 절삭깊이 1.5mm, 이송 0.05mm/rev, 절삭속도 250 m/min

Table 7 Pooled F_v ANOVA table for M1 of F_v

Factor	S	d.f	V	Fo	P(%)
D : Depth	131.601	1.	131.601	762.72**	53.22
F : Feed	112.929	2.	56.465	327.25**	45.59
S : Speed #	.337	2.	.168	.00	.00
Error #	2.079	12.	.173	.00	.00
e(# Pooling)	2.416	14.	.173	.00	1.19
Total	246.945	17.	.000	.00	100.00

Table 8 Pooled F_f ANOVA table for M1 of F_f

Factor	S	d.f	V	Fo	P(%)
D : Depth	201.149	1.	201.149	316.45**	81.70
F : Feed	35.390	2.	17.695	27.84**	13.90
S : Speed #	.258	2.	.129	.00	.00
Error #	8.641	12.	.720	.00	.00
e(# Pooling)	8.899	14.	.636	.00	4.40
Total	245.438	17.	.000	.00	100.00

Table 9 Pooled F_r ANOVA table for M1 of F_r

Factor	S	d.f	V	Fo	P(%)
D : Depth	580.613	1.	580.613	50.92**	58.42
F : Feed	234.140	2.	117.070	10.27**	21.69
S : Speed #	11.299	2.	5.650	.00	.00
Error #	148.324	12.	12.360	.00	.00
e(# Pooling)	159.623	14.	11.402	.00	19.89
Total	974.376	17.	.000	.00	100.00

Table 10 Pooled F_v ANOVA table for M2 of F_v

Factor	S	d.f	V	Fo	P(%)
D : Depth	148.799	1.	148.799	1391.97**	49.21
F : Feed	150.680	2.	75.340	704.78**	49.79
S : Speed #	1.418	2.	.709	6.63*	.40
Error #	1.283	12.	.107	.00	.60
e(# Pooling)	.000	0.	.000	.00	.00
Total	302.180	17.	.000	.00	100.00

Table 11 Pooled F_f ANOVA table for M2 of F_f

Factor	S	d.f	V	Fo	P(%)
D : Depth	199.252	1.	199.252	387.73**	79.56
F : Feed	39.787	2.	19.894	38.71**	15.52
S : Speed #	4.593	2.	2.297	4.47*	1.43
Error #	6.167	12.	.514	.00	3.50
e(# Pooling)	.000	0.	.000	.00	.00
Total	249.799	17.	.000	.00	100.00

Table 12 Pooled F_r ANOVA table for M2 of F_r

Factor	S	d.f	V	Fo	P(%)
D : Depth	851.128	1.	851.128	35.93**	48.16
F : Feed	535.355	2.	267.678	11.30**	28.40
S : Speed #	27.239	2.	13.619	.00	.00
Error #	304.398	12.	25.366	.00	.00
e(# Pooling)	331.636	14.	23.688	.00	23.44
Total	1718.119	17.	.000	.00	100.00

또한 SM45C와 비조질강의 요인 효과도는 Fig. 3과 Fig. 4에 표시한다.

위에서 살펴본 바와 같이 SM45C와 비조질강의 절삭저항에 대한 목적특성을 가장 좋게 하는 추천 절삭조건은 다음과 같다.

추천 절삭조건 : 절삭깊이 1mm, 이송 0.1 mm/rev, 절삭속도 250m/min

4.3 칩 처리성

칩 처리성에 대한 실험의 특성치는 양호, 중간, 불량으로 나누는 계수분류치이다. 이러한 데이터에 대해서는 누적법(Accumulating analysis)을 사용한다. 누적법은 등급에 따라서 도수를 누적하여 가면서 분석하는 방법이다.

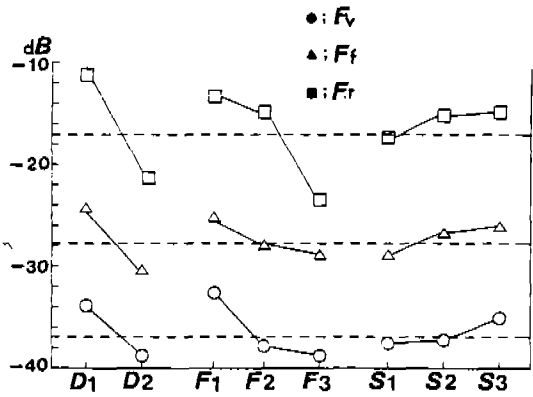


Fig. 3 Plots of factor effects for SM45 C(M1)

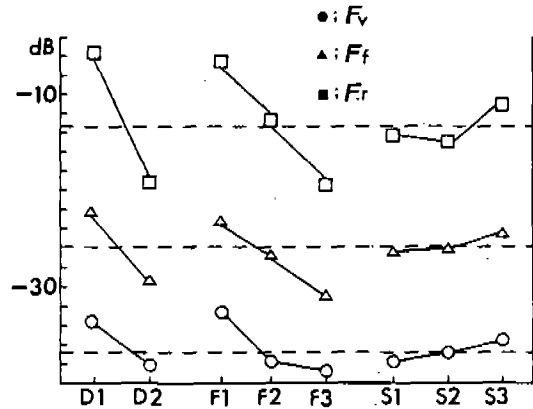


Fig. 4 Plots of factor effects for Micro alloyed steel (M2)

Table 13 Accumulating analysis of chip treatment

인자	수준	누적도수			누적도수 백분율 (%)		
		I	II	III	I	II	III
A	1	7	16	27	25.9	59.2	100
	2	4	15	27	14.8	55.6	100
B	1	4	13	18	22.2	72.2	100
	2	5	11	18	27.8	61.1	100
	3	2	7	18	11.1	38.9	100
C	1	0	1	18	0.0	5.6	100
	2	5	16	18	27.8	88.9	100
	3	6	14	18	33.3	77.8	100
D	1	1	7	18	5.6	38.9	100
	2	7	11	18	38.9	61.1	100
	3	3	13	18	16.7	72.2	100
계		$T_1=11$	$T_2=31$	$T_3=54$	20.4	57.4	100

Table 14 ANOVA of chip treatment

인자	f	S	V	ρ (%)	F (0.01)
A	1	0.850°	0.850	-	6.70
B	2	3.080°	1.540	-	
C	2	8.063	4.032	10.0 **	
D	2	6.897	3.449	7.5 **	
e'	10	21.672°	2.167	-	
e'	13	25.602	1.970	82.5	
T	17	40.562		100.0	

인 수	자 준 (%)										최적 인자 수준	
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	수준
A	1	⊙		M			B			A ₁	재질: 비질강	
	2	G	M			B						
B	1	G	M			B			B ₂	절삭속도: 100 m/min		
	2	⊙		M			B					
	3	G	M	B								
C	1	M		B						C ₃	절삭: 3.0mm	
	2	G	M			B						
	3	⊙		M			B					
D	1	G	M	B						D ₂	이송: 0.20 mm/rev	
	2	⊙		M	B							
	3	G	M			B						
결론	최적 수준 조합 : A ₁ B ₂ C ₃ D ₂											

그림 1 인자의 수준별 G, M, B 점유율 그래프

이와 같이 3 조로 데이터가 분류될 때에는 양호(I)만의 비교, 양호(I)와 중간(II)의 합, 비교 등이 의미가 있으므로 누적도수를 구하여 분석한다.

누적법에 의한 분산분석을 구하기 위해 인자 수준별 누적도수와 누적도수 백분율을 Table 13에 표시하였으며 이를 토대로 하여 Table 5에 분산분석표를 표시한다.

Table 14에서 알 수 있듯이 칩 처리성 영향을 미치는 인자는 절삭깊이, 이송, 절삭속도의 순서이며 특히 절삭깊이와 이송은 대단히 유의한다. 또한 A, B, C, D인자의 최적 수준은 Fig. 5에 수준별 Good, Medium, Bad의 점유율을 표시하므로써 쉽게 알 수 있다.

그러므로 칩 처리성에 영향을 미치는 특성

치의 수준조합을 구하여 보면 추천 절삭조건은 다음과 같다.

추천 절삭조건: 비조질강, 절삭속도 100m/min, 절삭깊이 3.0mm, 이송 0.2mm/rev

5. 결 론

이상과 같이 SM 45C와 그 대체 강인 비조질강에 대해 S/N비를 이용하여 표면조도, 절삭저항, 칩처리성을 비교 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 표면조도에 대한 추천 조건은 공구 날 끝 반지름 0.8mm, 절삭깊이 1.5mm, 절삭속도 250m/min, 이송 0.05mm/rev 이고 기여율은 이송이 59%, 절삭속도 27%, 공구반경 11%, 절삭깊이 3%의 순이다.

2. 절삭저항을 최소화하는 조건은 절삭깊이 1mm, 이송 0.1mm/rev, 절삭속도 250m/min, 기여율은 절삭깊이, 이송, 절삭속도의 순이다.

3. 칩처리성은 절삭깊이 3.0mm, 절삭속도 100m/min, 이송 0.2mm/rev이고 절삭깊이, 이송, 절삭속도의 순으로 유의하다.

4. 비조질강이 절삭저항과 칩처리성은 SM 45C에 비해 양호하나 표면조도는 불량한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 荒木迷, “軟鋼의 被削성과 快削性 元素에 관한 冶金學的 考察”, J. S. M. E., Vol. 70. No. 5. pp. 17~24. 1967.
2. 佐田登志夫, “材料의 被削性”, J. S. M. E., Vol. 70. No. 5. pp. 25~32. 1967.
3. 三瓶哲也 外 5人, “熱間鍛調用 非調質鋼의 被削性”, NKK技報, No. 129. pp. 23~30. 1989.
4. 田口玄一, “實驗計劃法”, 丸善出版社, pp. 63~158. 1977.