

施削加工에서 切削分力을 이용한 工具의 磨滅檢出에 관한 研究

金 祺中*, 玄 淸男**, 田 承原**

A Study on the Detection of Tool Wear by Use of Cutting Force Component in Orthogonal Cutting

Kim, Ki Choong, Hyun, Chung Nam, Jeon, Seung Won ,

ABSTRACT

On the analysis of cutting mechanics in orthogonal cutting, each cutting force component can be predicted. By adding the flank face wear term to the prediction equation for cutting force components, complete equations are obtained.

Using these equations, it is shown that cutting force components are increased linearly as flank face wear land is developed, in theory and experiment.

By making non-dimensional term ie. F_v/F_c , the width of variation of output signal \bar{F}_v/F_c is greatly decreased compared with each cutting force component as cutting condition is varied.

Among these conditions, the variation of chip width in the range of more than 1mm and that of cutting velocity have little effect on the output signal \bar{F}_v/F_c , that of Flank face wear land can be detected without difficulty.

Nomenclature

β ; clearance angle	S ; shear stress along shear plane AB
α ; rake angle	P ; normal stress on plane AB
component of the cutting force in the direction of cutting	S_1 ; shear stress along plane OA
F_v ; component of the cutting force normal to the direction of cutting	P_1 ; normal stress on plane OA
F'_c ; component of F_c due to the finite cutting edge radius	L_1 ; length of plane OA
F'_v ; component of F_v due to the finite cutting edge radius	ϕ ; Merchant shear plane angle
t_i ; uncut chip thickness	R ; cutting edge radius
t_c ; chip thickness	α_c ; rake angle at which pure ploughing of workpiece material occurs
	l ; length projected in the cutting direction over which ploughing occurs

* 한양대학교 정밀기계과

** 한양대학교 대학원

l_2 ; length projected in the cutting direction over which elastic recovery occurs	h_v ; recovery height of workpiece material
l ; flank wear length	μ ; coefficient of friction between tool material and workpiece material at the flank face
W ; chip width	P_f ; the normal pressure on flank wear land
P_m ; pressure acting over region of contact of tool and cut surface	V ; cutting speed
h ; height of Point D	

1. 緒 論

數値制御 工作機 의 보급에 따라 이의 효율적 이용이 연구과제로 대두되고 있다.

즉 단위시간당의 생산량을 최대로 하는 것이 바람직하며 그 방법 중 대표적인 것이 工具의 磨滅을 측정하고 그 磨滅과정으로부터 工具壽命을 추정함으로써 적정한 시기에 工具의 교환이 이루어 지도록하는 것이다.⁽¹⁾

磨滅의 측정은 切削作業을 지속하고 있는 상태에서 inprocess로 행하여 지는 것이 바람직하다.⁽²⁾⁽³⁾

현재 이에 대한 많은 研究가 진행되어 있어 online 방식으로서 工業TV에 의한 間歇測定刃先의 直接計測에 의하여 磨滅의 진행을 아는 방법, 磨滅에 따르는 被削面과 工具와의 상대거리를 air micrometer 로 檢出하는 방법, 切削分力의 증분으로부터 간접적으로 磨滅의 진행을 아는 방법등이 개발되어 있다.

특히 切削分力의 증분을 이용하던 磨滅의 진행을 감시하는 방법은⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾ 비교적 간단하기 때문에 점차 보편화 되어가는 실정이며 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.⁽⁷⁾

工具의 磨滅에는 crater 磨滅 flank面磨滅 등이⁽⁸⁾⁽⁹⁾ 있어 수명을 판정하는 대표적인 기준으로 통용되고 있다.⁽¹⁰⁾

R.Connelly와 C.Rubenstein⁽¹¹⁾⁽¹²⁾은 二次元 切削에서 流動型 Chip이 형성될때 primary deformation zone에서의 切削機構를 解析함으로써 切削方向에 대해 垂直分力과 垂平分力을 예측할 수 있는 式을 유도했으며 같은 형상을 가진 일련의 工具들로 일정한 chip 너비

와 理想切削 깊이(uncut chip thickness)에 대해 切削을 할 경우 垂平分力과 垂直分力은 flank面 磨滅에 대해 線型的으로 입증이 되었다.

그러나 이러한 각 단위분력만으로 磨滅을 추정할 경우 切削條件의 미세한 변화에도 극히 민감하게 반응하므로 비 실용적임이 판명되었다. 따라서 本 論文에서는 2개의 切削分力을 無次元化 함으로서 切削分力의 비율의 증대에 의한 工具의 磨滅의 상황을 감시하는 방법을 사용하였고 諸切削條件들의 영향을 완하시키고 이들중 chip너비, 理想切削 깊이(uncut chip thickness), cutting speed 등의 대표적인 條件에 변화를 주어 切削分力에 미치는 영향을 검토하였다. 또한 精密切削에서 工具의 磨滅에 의한 수명 판정기준이 flank面의 경우 0.2mm 이므로 磨滅이 이에 이르렀을 때 切削分力의 비율 즉 F_v/F_c 의 값이 초기치에 비해 몇%의 증가를 초래했는가. 예상치를 통하여 추정해 보고 실제 실험치와 비교하였다.

2. 理論解析

旋削加工에서 流動型 chip이 형성될때 切削機構를 해석하기에 primary deformation zone을 理想化시킨 모델은 <fig1>과 같다.

實驗의 관찰에 의하면 primary deformation zone의 lower boundary는 工具의 先端에서 切削방향으로서 연장선上 에 길이 L인 OA 평면과 工作物의 自由表面의 B점에서 primary deformation zone의 lower boundary에 접선

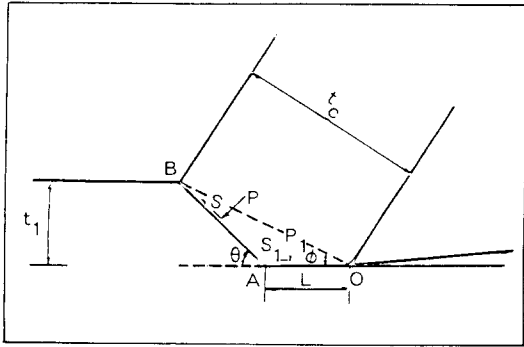


Fig. 1 An idealized contour for the lower boundary of the primary deformation zone

방향인 AB 평면으로 이루어진다고 가정할 수 있다.

AB 평면은 OA 평면과 θ 의 각을 이루며 만나고 이 lower boundary는 slipline이라 할 수 있으며 工作物의 自由表面과 45° 로 만나게 되고 따라서 θ 는 45° 의 값을 갖게 된다.

OB 선은 Merchant Shear Plain이라 하며 OA 선과 ϕ 만큼의 경사를 이루고 있다. 切削條件을 변화시킴에 따라 L의 크기는 변하게 되며 L이 감소함에 따라 ϕ 의 값은 θ 즉 45° 접근하게 된다. 광범위한 實驗의 結果에 의하면 ϕ 는 45° 에 접근하며 이를 넘지는 못한다고 밝혀졌다.

2. 1 切削機構의 解析

OAB線上에 작용하는 應力들을 규명하기 위해 다음을 가정한다.

i) 균일하게 분포된 剪斷應力 S가 AB에 작용한다.

ii) 균일하게 분포된 法線應力 P가 AB에 작용한다.

iii) 균일하게 분포된 剪斷應力 S_1 이 OA에 작용한다.

iv) 평균 法線應力 P_1 이 OA에 작용한다.

AB는 工作物의 自由表面과 45° 로 만나므로 無應力 表面에서의 境界조건에서 $S = P$ 이다. 가정 i) 과 ii)에 의하면 S와 P는 균일하게 분포되어 있으므로 AB 선을 따라 $S = P$ 이다. A점에서 應力의 不連續이 일어나지 않기 위해서는 S

$= S_1$ 이며 iii)의 가정에 의해 OA 선을 따라 $S_1 = S$ 이다.

工具先端의 바로 앞부분의 工作物에는 引張應力이 존재하게 되고 rake angle이 큰 경우를 제외하면 OA上的의 평균 法線應力이 壓縮應力으로 나타나므로 P_1 은 균일하게 분포될 수 없다. fig2와 fig3은 工具의 刃先部位를 확대한 그림이다. 工具의 刃先部位는 완벽하게 예리하지는 못하며 0.008 mm 가량의 order를 갖는 것으로 밝혀져 있다.

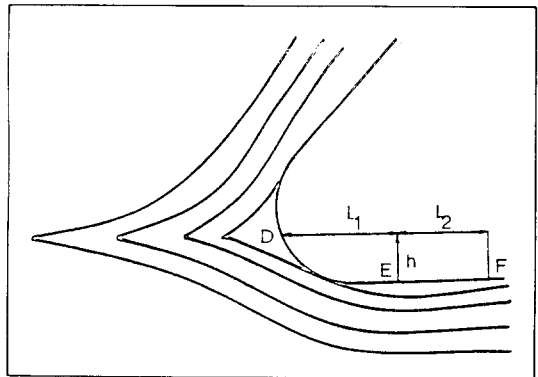


Fig. 2 Illustration of the flow pattern of workpiece material approaching a tool of finite material.

fig 3은 工具刃先의 원형단면을 나타내며, D 점에서 원호의 접선은 수직선에 대해 α_c 의 경사를 가지게 되며 이점의 아래 부분의 被削材는

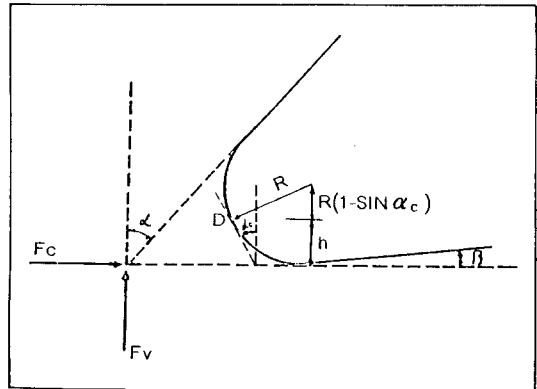


Fig. 3 Representation of the contour of the cutting edge of a tool illustrating the critical rake angle α_c

工具의 하부를 통과한 후 탄성적으로 복원되어 l_2 상의 flank 면과 접촉하게 된다.

D점 윗부분의 재료들은 rake 면에 평행한 방향으로 제거된다 따라서 被削材는 D점 앞부분에서 引張力을 받게 된다. 理想切削 깊이(uncut chip thickness) t_1 에서 D점의 높이 h 를 뺀 값 즉 $(t_1 - h)$ 가 제거되는 금속의 실제 깊이가 되나 t_1 에 비해 h 는 무시할 수 있다 주어진 여유각 B 에 대해서 flank 면과 被削材의 切削表面과의 접촉길이 l_2 는 일정하다. DEF 영역을 따라 P_m 의 크기를 갖는 靜水壓이 존재한다고 가정하자. 복원되는 높이를 h_v 라 하면 $l_2 = h_v \cdot \cot \beta$ 이므로 flank 면에 작용하는 垂直力 F_v' 은 다음과 같다.

$$F_v' = P_m W \cdot (l_1 + l_2) = P_m W (R \cdot \cos \alpha_c + h_v \cdot \cot \beta) \dots (1)$$

μ 를 flank 면과 被削材간의 摩擦係數라면 垂平力成分 F_c' 은 다음과 같다.

$$F_c' = P_m W (h - h_v) + \mu F_v' \dots (2)$$

따라서 일정한 工具刃先 半徑 R 과 여유각 β 에서 동일한 被削材를 切削할 때 F_c' 성분과 F_v' 성분은 常數이어야 하며 被削材가 완전한 복원을 하는 경우 즉 $h = h_v$ 일 때 다음의 관계가 성립된다.

$$F_c' = \mu F_v' \dots (3)$$

2. 2 幾何學的 關係 및 힘의 關係式

fig.1에서 $t_1 \gg h$ 이므로

$$L = t_1 \langle \cot \phi - \cot \theta \rangle$$

θ 를 45° 라고 가정했으므로

$$L = t_1 (\cot \phi - 1) \dots (4)$$

힘의 關係로부터 F_c 와 F_v 를 구하면 다음과 같다.

$$F_c = W(S + P) t_1 + S_1 WL + F_c' \dots (5)$$

$$F_v = W(P - S) t_1 + P_1 WL + F_v' \dots (6)$$

그런데 $S = P$ 이고 $S = S_1$ 이므로

$$F_c = WS(2 t_1 + L) + F_v' \dots (7)$$

$$F_v = WP_1 L + F_v' \dots (8)$$

2. 3 flank 면의 磨滅을 고려한 힘의 關係式

flank 면의 磨滅이 증가되면 l_1 의 오른쪽 끝으로서 l_2 의 왼쪽 끝부분의 사이에 길이 l_f 인 horizontal flat zone이 생성되어 성장함으로써 F_c' 과 F_v' 은 l_f 에 비례적으로 증가할 것이다.

따라서 같은 형상을 가진 일련의 工具들로 일정한 chip 너비와 理想切削 깊이(uncut chip thickness)로 被削材를 切削할 경우 F_v 와 F_c 는 工具의 磨滅에 대해 線型的으로 변할 것이며 Kobayashi 와 Thomsen의 實驗에서 입증되었다.

따라서 F_c 와 F_v 는 다음과 같이 표현된다.

$$F_c = F_c' + \mu P_f W l_f + WS(2 t_1 + L) \dots (9)$$

$$F_v = F_v' + P_f W l_f + WP_1 L \dots (10)$$

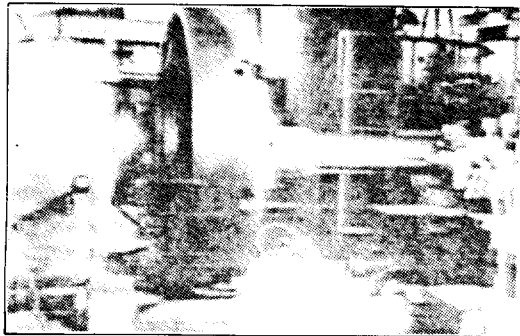
P_f 는 wear land에 작용하는 法線應力이고 μ 는 flank 면에서의 工具와 工作物간의 摩擦係數이다.

3. 實 驗

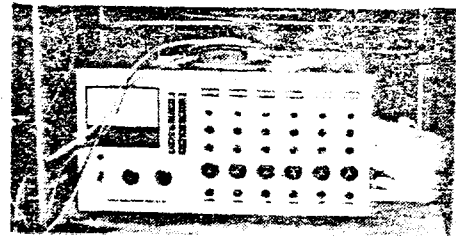
3. 1 實驗裝置

1. 선반 全齒車驅動式 主軸臺
Swing over bed : 508mm
Maximum distance between centers : 2540mm
Model : K, Martin offenberg Bilden (Germany)
2. Tool Dynamometer
Model : TD-500KA
株式會社 共和電業(日本)
3. Dynamic Strain Amplifier
Model : MD-6E-F (6 channel)
Toyo Baldwin Co., Ltd. (Tapan)
4. Pan Recorder
Model : FBR-252A (Flatbed Type)
Toa Electronics Ltd. (Japan)
5. 工具 顯微鏡
Model : Union SMZ-50 Bi 35mm
Uni 35-S (Japan)

fig. 4 는 실험장치에 대한 사진이다.



(a) Experimental set-up



(b) Measurement system

Fig. 4 Experimental Apparatus

3. 2 實驗方法

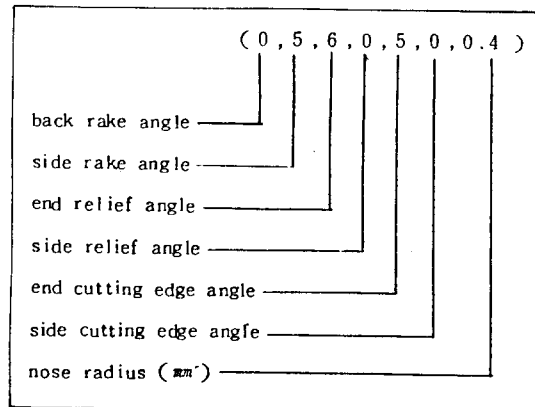
本 實驗에서 被削材는 SM45C와 SM40C의 환봉을 사용하였으며 화학적 성분 및 기계적 성질은 table 1 과 같다.

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of workpiece

work-piece	chemical compositions (%)							mechanical properties			
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Y.P. (kg/mm)	T.S. (kg/mm)	El (%)	HB
SM40C	0.40	0.25	0.75	0.015	0.018	0.10	6.10	33.5	55.0	22	187
SM45C	0.46	0.25	0.75	0.019	0.007	0.02	0.09	40.8	69.0	28	198

Tool holder는 대한중석 제품으로 二次元切削에 적합한 CTGPR/L2020 K4 형을 사용했으며 그 기하학적 형상은 다음과 같다.

여기서 nose radius 0.4mm인 삼각형 throughway tip을 사용했으며 流動型 chip을 발생시키기 위해 chip breaker가 없는 것을 사용하였으며 fig.5에 實驗上의 blockdiagram을 나타냈다.



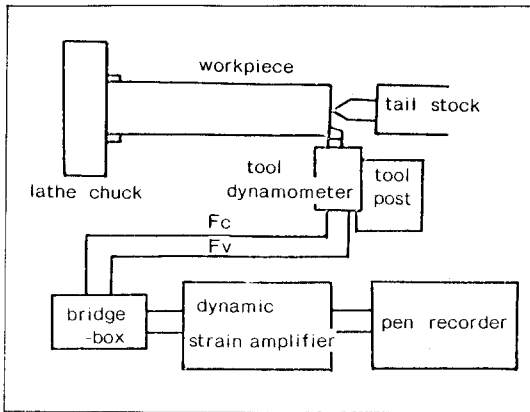


Fig. 5 Setup for cutting test

工具는 p20 을 사용했고 세원이 지름 80 mm 길이 1,000 mm 인 환봉을 각 切削條件에 따라 實驗을 한후 data 를 얻었다. 剪斷角 ϕ 를 구하기 위해 chip 두께는 각각 micrometer 로 測定하였고 각 切削條件을 정확히 하기 위하여 tachometer 로 각각의 rpm 을 측정함으로써 feed 및 cutting speed 를 확인하였다.

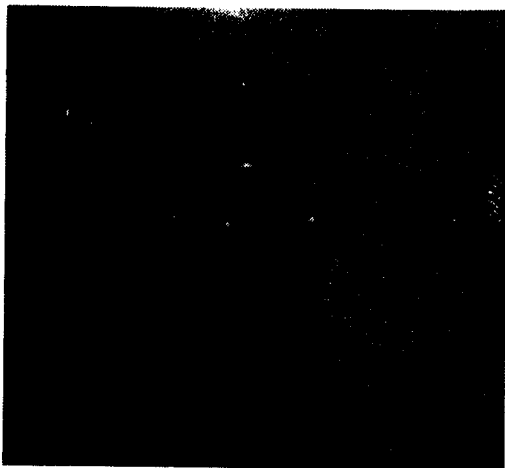


Fig. 6 Tool tip with artificial wear land 0.1mm

P_f 를 실험적으로 구하기 위해 미리 준비된 sharp tool 과 flank 面의 磨滅이 0.1 mm 진행된 工具로 切削하여 각 切削分力을 구하였으며 fig6 에 미리 0.1 mm 의 磨滅이 진행된 工具를 나타내었다.

inprocess 로 磨滅을 檢出하기 위해 Tool

Dynamometer 에 Tool holder 를 고정시킨후 實驗을 진행시켰으며 매 2分 30秒마다 tip 만을 떼어내 Tool Microscope 로 磨滅部位를 관찰하고 切削分力은 工具가 수명에 도달할때 까지 연속적으로 檢出해 냈다.

4. 實驗結果 및 考察

chip 두께 t_c 를 測定함으로써 각 切削條件에서의 剪斷角 ϕ 를 계산하고 垂平分力과 垂直分力을 측정한 결과가 table2 에 表示되었다.

table 2 의 data 를 사용하여 fig7 과 fig 8 에 각각 $(2t_1 + L)$ 과 F_c 의 관계와 L 과 F_v 의 관계를 나타내었다.

fig 7 은 理論式 $F_c = WS(2t_1 + L) + F'_c$ 의 관계를 나타내는 것으로 직선의 기울기가 WS 의 값을 의미하며 그 절편은 F'_c 의 값을 나타낸다. 이를 분석하면 SM45C 에 대해 $S = 68 \text{ kg/mm}^2$; $F'_c = 9.5 \text{ kg}$ 의 값을 갖고 SM40C 는 $S = 51.4 \text{ kg/mm}^2$ $F'_c = 8.0 \text{ kg}$ 의 값을 나타낸다.

Fig 8 은 理論式 $F_v = WP_1L + F'_v$ 의 관계식을 나타내어 직선의 기울기와 절편은 각각 WP_1 과 F'_v 을 의미한다.

SM45C 에 $P_1 = 55 \text{ kg/mm}^2$, $F'_v = 11 \text{ kg}$ 의 값을 가지며 SM40C 에 대해 $P_1 = 39 \text{ kg/mm}^2$, $F'_v = 10 \text{ kg}$ 의 값을 갖는다

$h = h_v$ 라면 $F'_c = \mu F'_v$ 이므로 flank 面에서 그 作物과 工具의 摩擦係數는 $\mu = F'_c / F'_v$ 에서 SM45C 는 0.86, SM40C 는 0.8 의 값을 갖는다.

여기서 μ 는 工具의 flank 面과 생성되어지는 工作物 表面과의 摩擦係數이며 특정 被削材와 工具에 대해 不變의 常數라고 가정한다.

工具의 rake 面에서의 摩擦係數와 비교해 보면 상대적으로 그 크기가 작으며 1/2 ~ 2/3 의 order 를 가진다.

磨滅部位에 작용하는 normal pressure P_f 를 구하기 위해

$$P_f = \frac{F_{v2} - F_{v1}}{W(\ell_{t2} - \ell_{f1})}$$

Table 2. Experimental data for shear angle and cutting force

cutting condition	t_1 (mm)	t_c (mm)	ϕ ($^\circ$)	L (mm)	$2t_1+L$ (mm)	F_c (kg)	F_v (kg)
SM 45C	0.2	0.453	24.58	0.24	0.64	45.2	24
V = 129	0.28	0.579	26.71	0.28	0.84	67	24.5
m/ min	0.39	0.708	29.71	0.29	1.07	84.3	25
W = 1 mm	0.48	0.855	31.10	0.32	1.30	98.3	26.4
$\alpha = 5^\circ$	0.62	0.998	33.20	0.33	1.57	118	28
	0.72	1.126	34.00	0.35	1.79	130.9	28
SM 40 C	0.2	0.496	22.61	0.28	0.68	40.9	20.7
V = 146	0.28	0.626	24.87	0.32	0.88	54.3	21.9
m/ min	0.39	0.795	27.05	0.37	1.15	67.8	22
W = 1 mm	0.49	0.915	29.22	0.39	1.37	79.6	23.5
$\alpha = 5^\circ$	0.62	1.065	31.42	0.40	1.64	91.7	25.2
	0.72	1.185	32.58	0.41	1.85	105.2	26.0

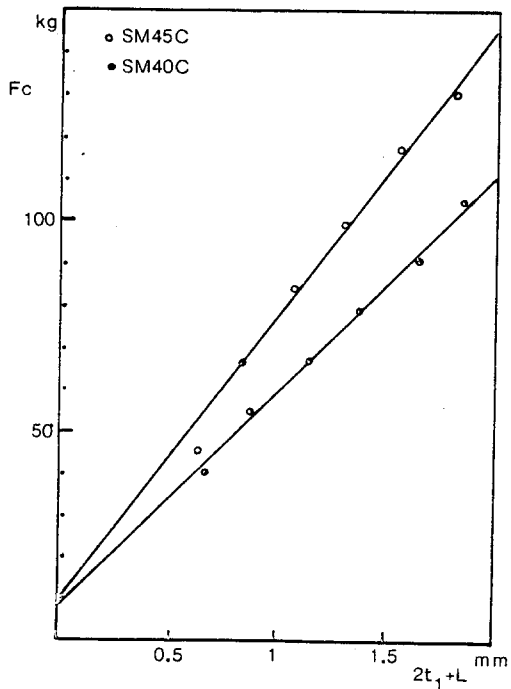


Fig. 7 A plot of F_c vs. $(2t_1+L)$

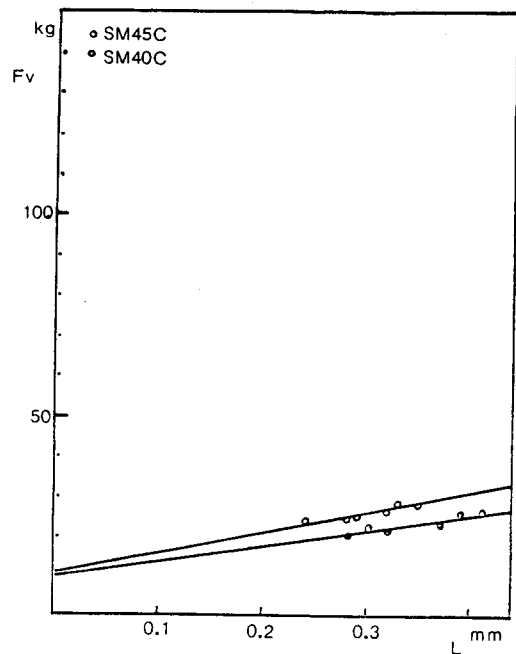


Fig. 8 A plot of F_v vs. L.

Table 3. Experimental data of cutting force vs. flank face wear land

cutting condition	l_f (mm)	F_c (kg)	F_v (kg)	$F_v/F_c(\%)$
SM 45C $t_1 = 0.22$ mm $W = 1$ mm $V = 149 - 121$ (m/min.)	0	55	24	43.6
	0.04	57	26	45.6
	0.075	59	27.8	47.1
	0.090	60	29.2	48.7
	0.118	60.3	30	49.8
	0.155	64.2	33.4	52.0
0.192	66	36.3	55.0	
SM40C $t_1 = 0.22$ mm $W = 1$ mm $V = 165 - 140$ (m/min.)	0	46	21	45.7
	0.058	49.2	25.4	51.6
	0.772	49	24.2	49.4
	0.105	51.5	27	52.4
	0.120	52.4	29.1	55.5
	0.147	52.0	29.8	57.3
0.186	55.5	32	57.7	

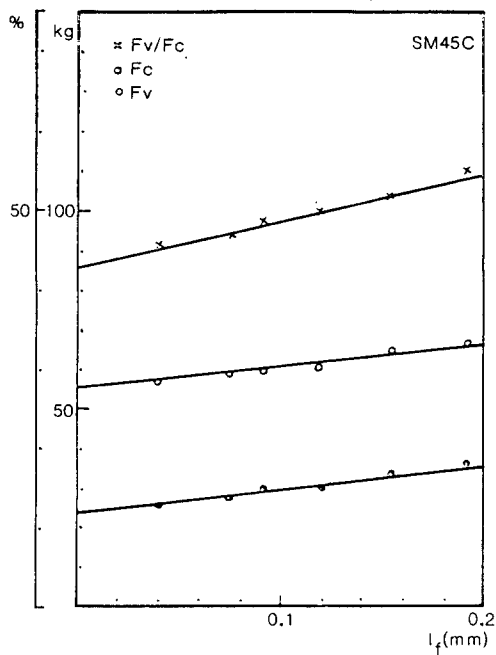


Fig. 9 A plot of l_f vs. cutting force ratio. (SM45C)

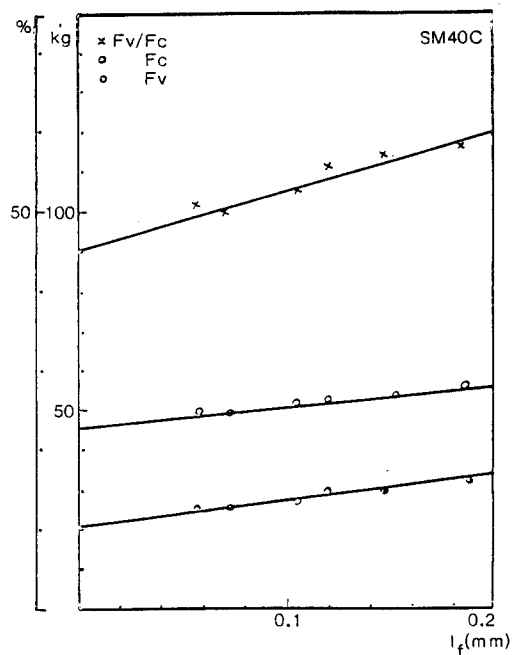
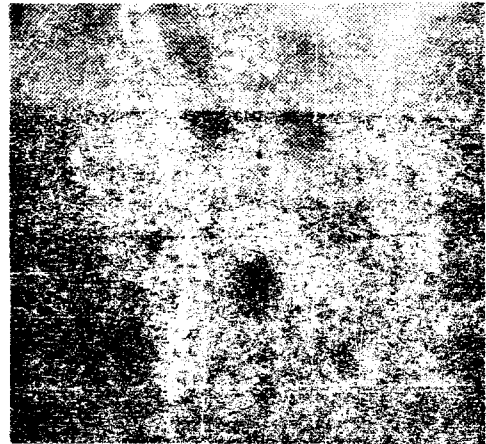


Fig. 10 A plot of l_f vs. cutting force ratio. (SM40C)



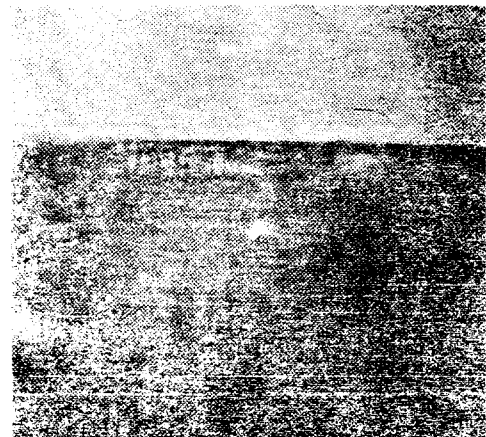
(a) wear land 0.075



(b) wear land 0.118



(c) wear land 0.155



(d) wear land 0.058



(e) wear land 0.072



(f) wear land 0.105

Fig. 11 Photograph of flank face wear land.
(a)(b)(c)-SM45C,(d)(e)(f)-SM40C.

의 식을 사용하는데 F_{v2} 는 Wear land 가 ℓ_{t2} 에 달했을 때의 垂直分力を 나타낸다.

係數 P_f 의 값을 구하기 위해서 미리 준비된 sharp tool 과 flank wear land 가 0.1 mm 인 工具로 切削했을 때 각각의 F_v 값을 측정한다.

SM45 C 의 경우 $P_f = \frac{30 - 24.5}{1 \times (0.1 - 0)} = 55 (kg/mm^2)$

SM40 C 의 경우에는 $P_f = \frac{27.2 - 21}{1 \times (0.1 - 0)} = 62 (kg/mm^2)$ 로 된다.

P_f 의 값을 工具의 磨滅과정에 의해 결정되어지는 係數로서 역시 특정 被削材와 工具에 대해 切削條件과는 무관한 常數라고 가정한다.

위에서 구한 값을 磨滅을 고려한 切削力의 式에 대입하면 磨滅을 고려한 切削力을 예상할 수 있다.

$$F_c^1 + WS(2t_1 + L) + \mu P_f W \ell_f$$

$$= 9.5 + 1 \times 68(2 \times 0.22 + 0.239) + 0.86 \times 55 \times 1 \times \ell_f$$

$$= 55.67 + 47.3 \ell_f$$

$$F_v = F_v^1 + WP \cdot L + P_f W \ell_f$$

$$= 11 + 1 \times 55 \times 0.239 + 55 \times 1 \times \ell_f$$

$$= 24.15 + 55 \ell_f$$

以上은 SM45 C 에 대한 切削力 예상식이며 동일한 방법으로 SM40 C 에 대해 구해보면

$$F_c = 45.83 + 49.6 \ell_f$$

$$F_v = 21.54 + 62 \ell_f \text{ 의 식을 얻는다.}$$

위의 切削條件과, 그때 切削中에 檢出된 실제 切削力을 table 3 에 수록하였다. 예상식에서 얻은 결과와 실험치를 fig9 와 fig10 에 나타내고 切削條件의 影響을 줄이기 위해 切削分力의 無次元化를 꾀했으며 그 결과를 그림에 나타내었다.

fig11 에는 flank 面에의 磨滅이 진행되는 과정을 각각의 材料에 대하여 나타내었다.

Table 4. Experimental data for chip width variation.

W (mm)	SM45C V = 129 m/min. t ₁ = 0.2 mm		SM40C V = 140 m/min t ₁ = 0.2 mm	
	F _c (kg)	F _v (kg)	F _c (kg)	F _v (kg)
3	90	38.6	85	34.9
2	77.8	33.6	71.7	30.2
1.5	65.7	27.8	51.7	22
1	46	19.1	41.7	17.4
0.5	29	5.8	22.6	7.1

Table 5. Experimental data for cutting velocity variation.

V (m/min)	SM45C t ₁ = 0.2 mm W = 1 mm		V (m/min)	SM40C t ₁ = 0.2 mm W = 1 mm	
	F _c (kg)	F _v (kg)		F _c (kg)	F _v (kg)
64	53	23.2	73	42.2	20.7
90	49.1	23.2	103	40	19.5
126	49.1	20.7	144	38.7	18.3

각 切削分力은 ℓ_t 에 대해 線型的으로 變化하고 있으며 예상치와 실험치는 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

F_v/F_c 값도 역시 ℓ_t 에 대해 線型的으로 증가하고 있으며 flank 面의 磨滅이 0.2 mm에 이

ting chip 너비의 變化에 대해 F_v/F_c 의 값이 얼마나 예민하게 반응하는지 알기 위해 이를 變化시켜 가며 F_v 와 F_c 의 값을 檢出하였으며 이를 table 4와 table 5 및 table 1에 수록하였고 fig 12에서 fig.17 까지 나타내었다.

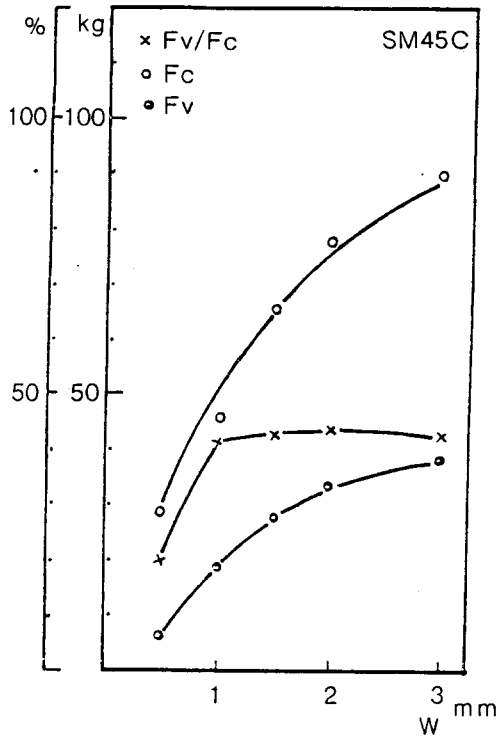


Fig. 12 A plot of W vs. F_v/F_c . (SM 45C)

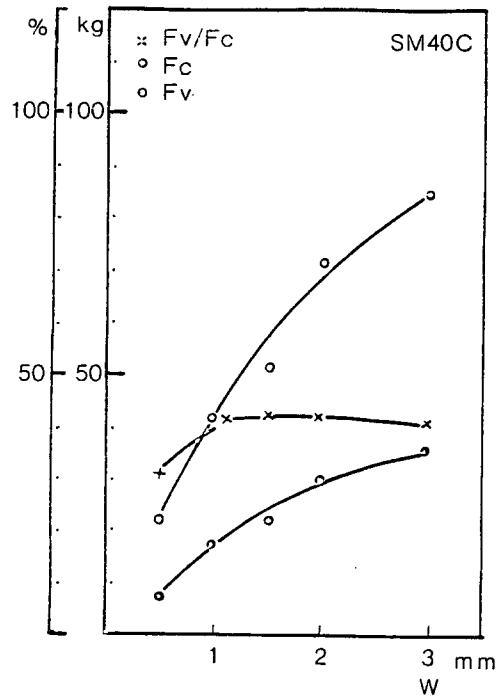


Fig. 13 A plot of W vs. F_v/F_c . (SM40)

르는 동안 sharp tool 1일 때의 F_v/F_c 의 값에 비해 12~15%가 증가했음을 알 수 있다.

따라서 切削도중 inprocess로 切削分力의 신호를 檢出해 넣으므로 工具壽命의 판정이 可能하게 된다.

그러나 切削條件이 달라지는 경우 F_v/F_c 의 절대치 자체가 變化된다면 磨滅의 감시機能은 상실되고 만다.

즉 理想切削 깊이 (uncut chip thickness) cutting speed, chip 너비, 被削材의 nose 반경 切入角등이 동일한 작업이 연속적으로 반복될 때만 감시기능은 유효하게 된다.

理想切削 깊이 (uncut chip thickness), cu-

그림은 분석해보면 無次元化시키지 않은 각 分力과 F_v/F_c 의 값이 각 切削條件의 變化에 따라 그 민감한 정도를 판단할 수 있다.

모든 경우 無次元化시킨 값이 切削條件에 대해 각 切削分力 보다는 둔감하게 반응하였으나 理想切削 깊이 (uncut chip thickness)에 變化에 대해서는 20% 이상의 變化가 있었다.

chip너비의 변화에 대해서는 1 mm이하의 切削에서는 변하나 그 이상의 너비에서는 2~3% 이내의 변화만 초래한다. cutting speed의 경우에는 F_v/F_c 의 값은 속도에 대해 매우 둔감하게 반응하는 것으로 나타났다.

따라서 chip 너비가 1 mm 이상의 한도에서 변

화하거나 cutting speed가 변화하는 切削加工
 中에 F_v/F_c 는 비교적 우수한 磨滅의 檢査기능

을 수행할 수 있음을 알았다.

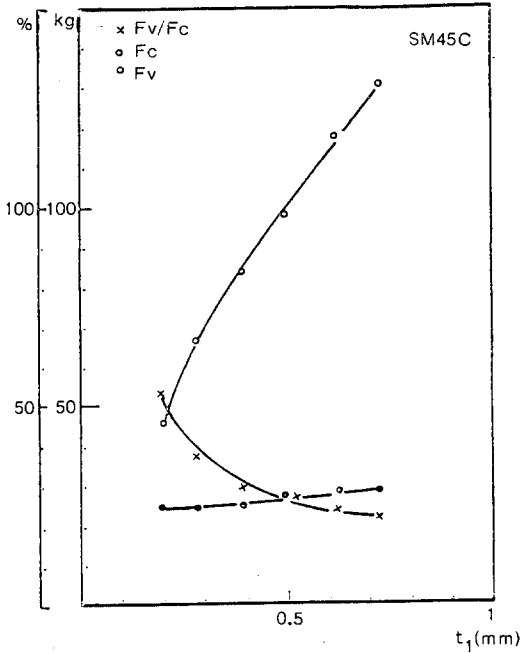


Fig. 14 A plot of t_1 vs. F_v/F_c . (SM45C)

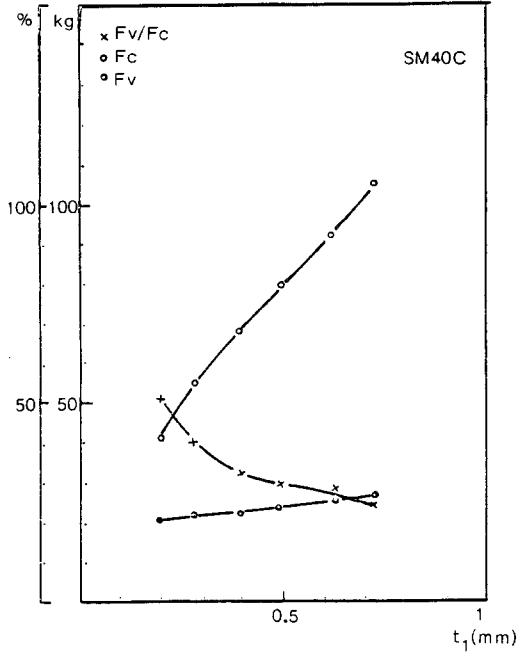


Fig. 15 A plot of t_1 vs. F_v/F_c . (SM40C)

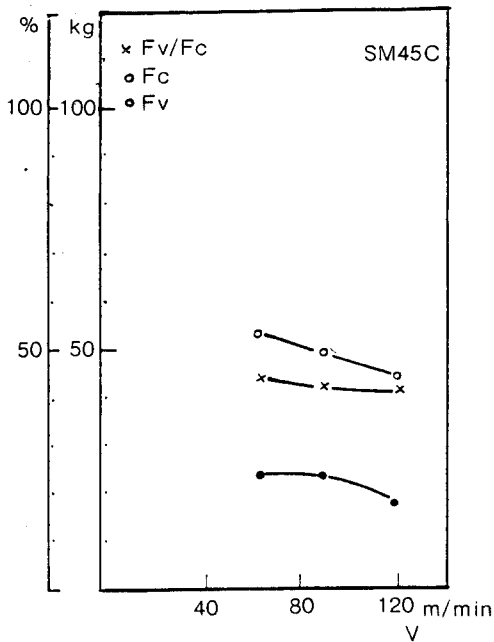


Fig. 16 A plot of V vs. F_v/F_c . (SM45C)

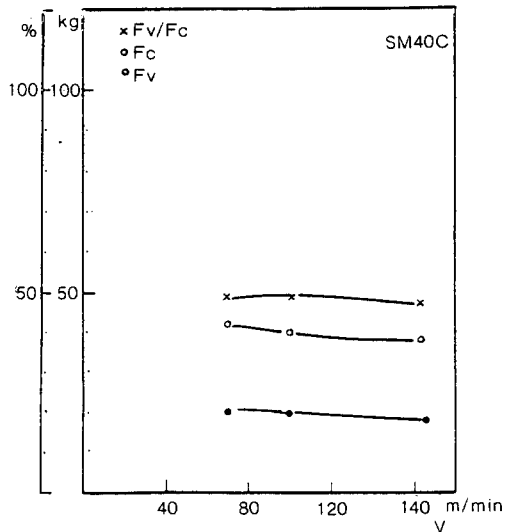


Fig. 17 A plot of V vs. F_v/F_c . (SM40C)

5. 結 論

本 研究를 통하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 工具의 flank 面의 磨滅이 進行됨에 따라 切削分力 F_v 와 F_c 는 ℓ_f 의 성장에 대해 선형적으로 증가한다.
2. 切削分力을 無次元化시켜도 F_v/F_c 의 값은 ℓ_t 의 성장에 대해 선형적으로 증가하며 切削條件中 chip 너비가 1mm 以上の 영역에서 변화하거나 cutting speed 가 변화하여도 F_v/F_c 의 값으로 비교적 일정하게 工具의 磨滅을 檢出할 수 있었다.

參 考 文 獻

- 1) 谷 和男外 2 名, "旋削의 最適化および適應制御" 日本機械學會論文集 44 卷 377 號 1978. 1. pp.366-373.
- 2) H.Takeyama, "A Study on Adaptive Control in an NC Milling Machine." Ann. CIRP, 23. 1974. pp.153-154.
- 3) 岩田一明, "切削工具損耗의 인프로세스測定" 日本機械學會誌 第 82 卷 731 號, 1979. 10 pp. 44-53.
- 4) 樫村幸辰, "切削分力比率による工具損傷의 檢出" 日本機械學會論文集 (C 編) 49 卷 441 號 1983.5. pp. 835-842.
- 5) 渡邊敏昭外 3 名, "工作機械의 適應制御에 關する研究" 日本機械學會 論文集 43 卷 375 號 1977.11. pp.4307-4314.
- 6) 樫村幸辰, "工作機械의 適應制御에 關する研究 (第二報)" 日本機械學會論文集 48 卷 432 號 1983.8. pp. 1284-1292.
- 7) 竹山秀彦, 關口傳, 高田考次, "旋削加工における最適化の手法" 精密機械 36 卷 5 號, 1970. 5. pp.311-317.
- 8) A. Bhattacharyya, A Ghosh, Inyong Ham, "Analysis of Tool Wear Part II : Applications of Flank Wear Models." Transactions of the ASME. February 1970 pp.109-114.
- 9) C.Rubenstein, "An Analysis of Tool Life Based on Flank-Face Wear : Part I theory "Trans. of the ASME February 1976 pp.221-226.
- 10) 藤井義池, "切削工具의 壽命에 關する研究" 日本機械學會誌 第 71 卷 592 號 1968.5. pp.53-60
- 11) R. Connolly, C. Rubenstein, "The Mechanics of Continuous chip Formation in Orthogonal Cutting." Int. J.Mach. Tool Des. Res. Vol.8 pp.159-187, 1968.
- 12) J.N.Greenhow, C. Rubenstein, "The Dependence of Cutting Force on Feed and Speed in Orthogonal Cutting with worn Tool." Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol.9 pp.1-16, 1969.
- 13) S. Kobayashi, E. G. Thomsen, "The Role of Friction in Metal Cutting." Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol.8, pp.159-187, 1968.