기계가공실험 교재

담당교수 서 남 섭

서론

기계는 물론 일상 생활품 중에서도 금속제품은 절삭과정을 거쳐 만들어지는 것이 대부분이다. 본 과목에서는 절삭원리를 알고 실험을 통해서 확인한다.

정해진 정밀도를 유지하면서 생산성을 높이는 경우, 생산성을 고려하고 최고의 정밀도를 얻는 경우, 정밀도에는 특별한 관심이 없이 생산성만을 추구하는 경우로 나누어 생각할 수 있다. 어느 경우에도 합리적인 절삭가공을 위해서는 절삭성능 평가에 대한 지식을 요한다.

그러나 절삭에 영향을 주는 인자가 너무나 많기 때문에 한정된 시간에 이를 전부 취급할 수 는 없고 여타의 조건을 일정한 것으로 간주하고 공구와 가공물간의 상호작용에 의한 절삭결과를 평가하고 예측할 수 있는 방법을 익히는데 국한하여 실험을 수행코자 한다.

1. 실험목적

1-1. 절삭실험의 목적

가공물 보다 경도가 큰 공구로서 chip(쇠밥)을 생성시켜 가공물의 일부를 제거하는 것을 절삭(cutting)이라 하며, 실험목적은

①가공재료와 공구재료의 특성을 알기 위하여

②공구의 기하학적 특성을 알기 위하여

③공작기계의 동력을 정하기 위하여

④공작기계의 부품이 지탱할 수 있는 공구의 작용력을 정하기 위하여

⑤각 관점(절삭저항, 절삭율, 조도 등)에서의 최적 절삭조건(이송, 절삭속도 등)을 정하는데 있다.

2. 이론

2-1. 2차원절삭과 3차원절삭

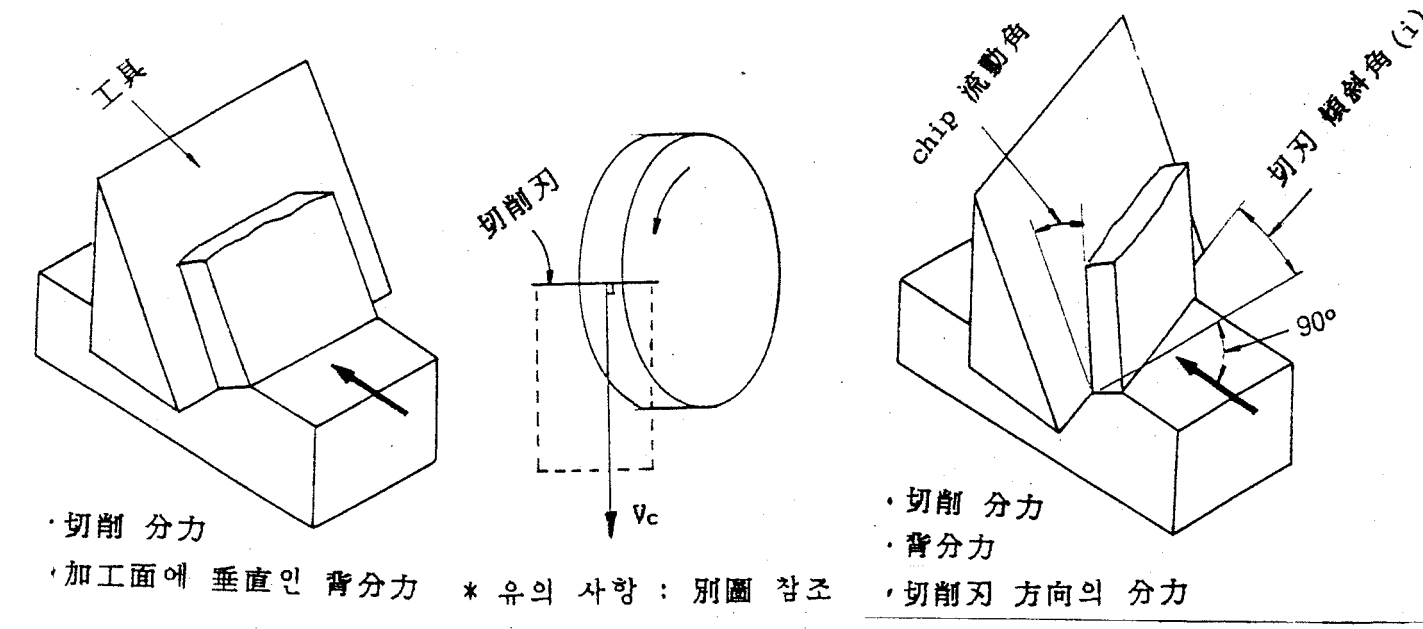
(1)Free cutting

단일 직선절인에 의한 절삭을 free cutting이라 하며, 2차원절삭과 3차원절삭이 있다.

(2)2차원절삭과 3차원절삭

2차원절삭은 절삭방향의 분력(절삭분력, 주분력)과 가공면에 수직한 분력을 발생시키는 가공으로서 절인과 절삭방향이 수직관계에 있는 절삭이다.

3차원절삭은 2차원절삭에서 2분력을 포함하는 평면에 수직한 다른 분력이 발생되는 절삭으로서 절삭방향과 절인이 수직관계가 되지 않는 경우이다.



(a) 2차원절삭

(b) 3차원절삭

Fig.1 2차원 절삭과 3차원 절삭

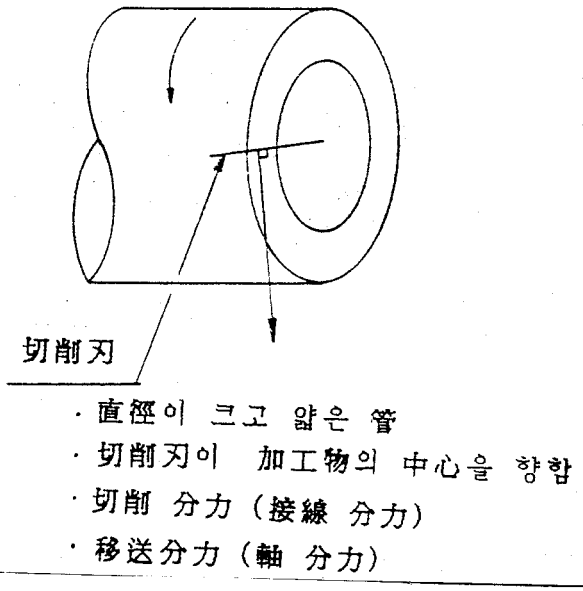
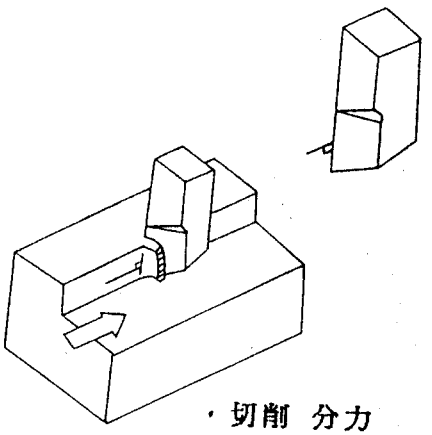
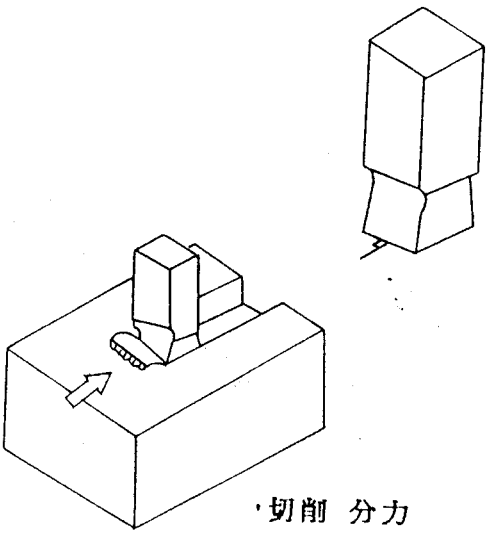


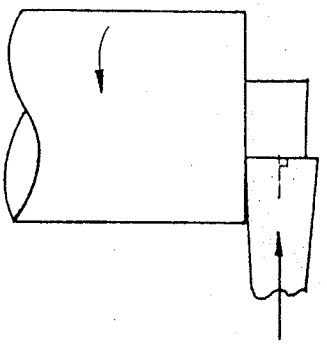
Fig.2 준2차원 절삭



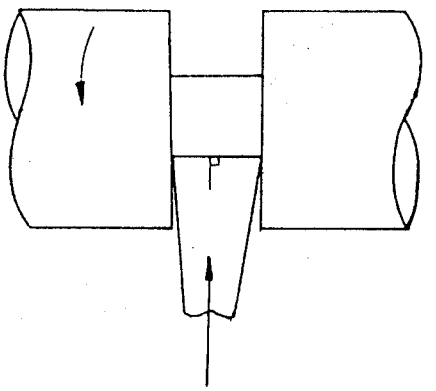
· 切削 分力
· 背分力
· 移送分力



· 切削 分力
· 背分力(移送分力)
· 側 分力(양측에서 作用함)



· 接線方向의 分力 (切削力)
· 半徑方向의 分力 (移送分力 또는 背分力)
· 軸方向 分力



· 切削 分力
· 背分力(移送分力)
· 側 分力(양측에서 作用함)

Fig.3 2차원 절삭으로 착각되는 예

2-2. 공구각

(1) 2차원절삭

2차원절삭(Fig.4)에서는 가공면과 공구인에 수직인 평면내에서 절삭방향에 대한 수직선과 공구경사면이 이루는 각을 공구의 경사각(α)(수직경사각 α_n, 속도경사각 α_v, 유효경사각 α_e)이라 하며, 이 각은 공구수명, 절삭열 및 공구온도, 절삭저항, 진동, 생산성등과 같은 절삭성능에 큰 영향을 주기 때문에 절삭실험조건으로서 반드시 고려 되어야 한다.

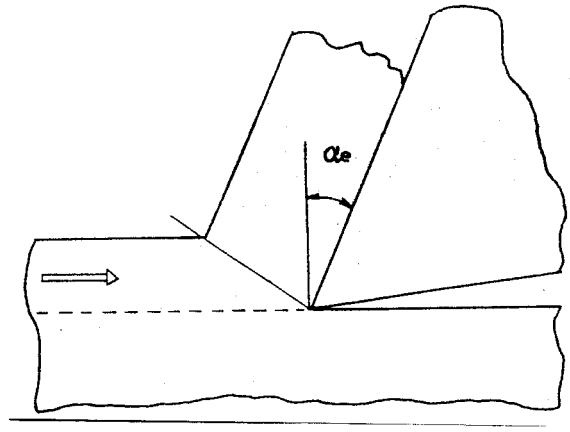


Fig.4 2차원 절삭의 경사각

(2) 3차원절삭

(2-1) 평삭

3차원 평삭에서는 Fig.5에서같이 가공면과 절삭인에 수직인 평면내에서 측정되는 수직경사각(α_n)과 절삭속도 vector를 포함하고 가공면에 수직인 평면내에서 측정되는 속도경사각(α_v)의 관계는 다음과 같다.

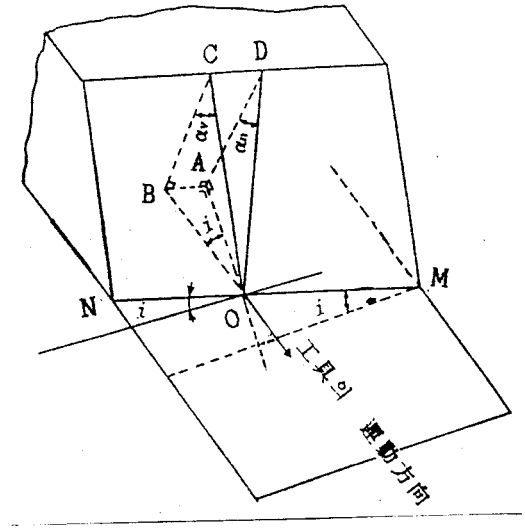


Fig.5

$$\tan\alpha_v = \frac{BO}{CB} = \frac{BO}{AD} = \frac{AO/AD}{AO/BO} = \frac{\tan\alpha_n}{\cos i} \qquad (1)$$

유효경사각 (α_e)은 절삭방향(공구의 이동방향)과 chip유동방향을 포함하는 평면내에서의 경사각이며,

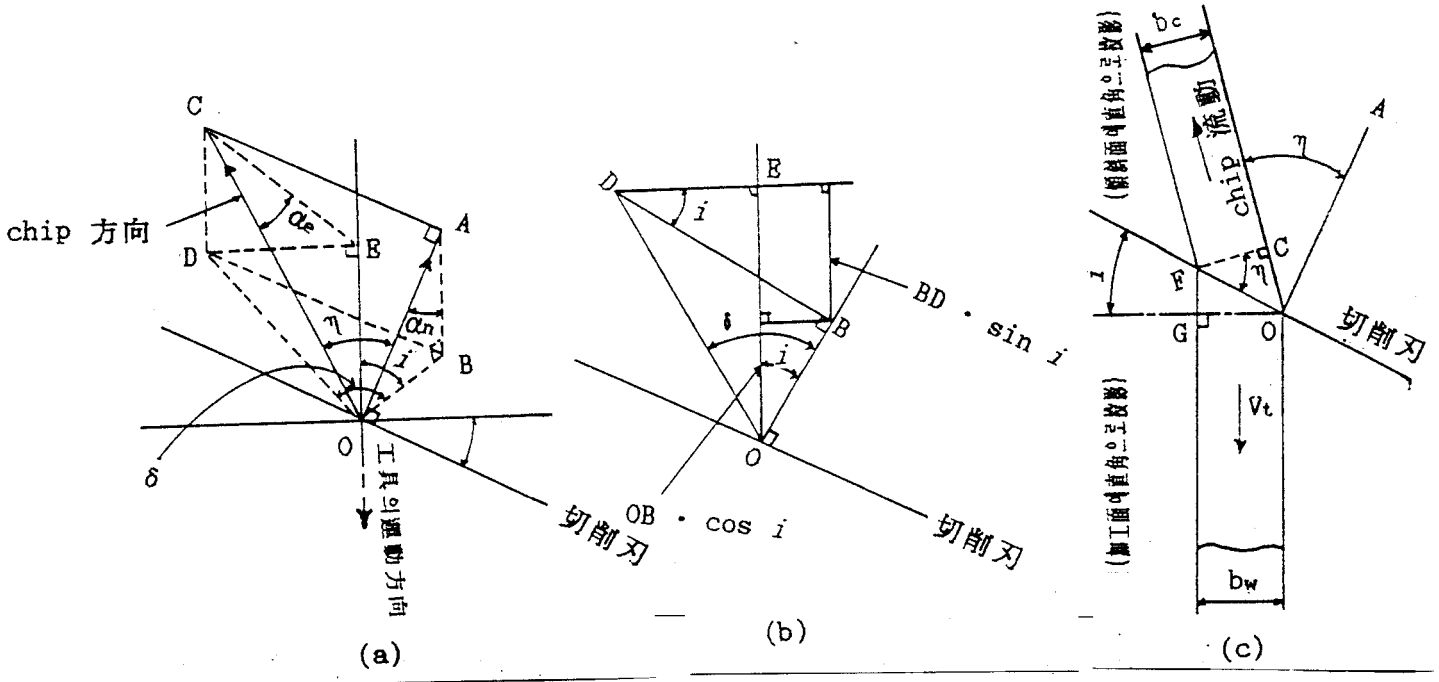


Fig.6 3차원 평삭

Fig.6(a)에서

$\sin\alpha_e = OE/OC, OB = OA \cdot \sin\alpha_n, DB = AC, AO = OC \cdot \cos\eta, AC = OC \cdot \sin\eta$

Fig.6(b)에서

$OE = OB \cdot \cos i + BD \cdot \sin i$

$$\therefore \sin\alpha_e = \frac{OC \cdot \cos\eta \cdot \cos i \cdot \sin\alpha_n + OC \cdot \sin\eta \cdot \sin i}{OC}$$

$$\therefore \sin\alpha_e = \cos\eta \cdot \cos i \cdot \sin\alpha_n + \cdot \sin\eta \cdot \sin i \qquad (2)$$

여기서 chip유동각은 공구면에서 직접 측정하거나, Fig. 6(c) 에서와 같이 chip폭 bc와 가공폭 b_w에 의하여 다음과 같이 계산된다.

$$\cos\eta = FC/OF = b_c/(b_w/\cos i) = (b_c/b_w) \cdot \cos i \qquad (3)$$

그런데 실제에서는

$b_c \approx b_w$ 이므로 $\eta \fallingdotseq i$ 이다.

$$\therefore \sin\alpha_e \approx \cos^2 i \cdot \sin\alpha_n + \sin^2 i \qquad (4)$$

따라서 유효경사각 (α_e)은 절삭인경사각(i)과 수직경사각(α_n)으로 나타내거나 계산하여 직접 표시할 수 있다.

(2-2) 선삭

가공물을 선삭할 경우에는 공구의 저면을 기준으로 하여 유효경사각을 측정하는 경우도 있으나, 공구의 저면은 선삭 기하학에 직접 관련되지 않을뿐 아니라 milling cutter, drill 및 기타 공구에는 적용시킬 수 없기 때문에 회전축(선삭에서는 가공물의 축선, milling에서는 cutter의 축선)을 포함하는 면을 기준으로 택하는 것이 합리적이며, 유효경사각은 이 축선 및 선삭인상의 임의의 점을 포함하는 기준면과 공구의 경사면(face)이 이루는 각으로서 이 각의 측정은 선삭인의 기준면에 대한 투영과 기준면에 모두 수직인 면에서 측정된다.

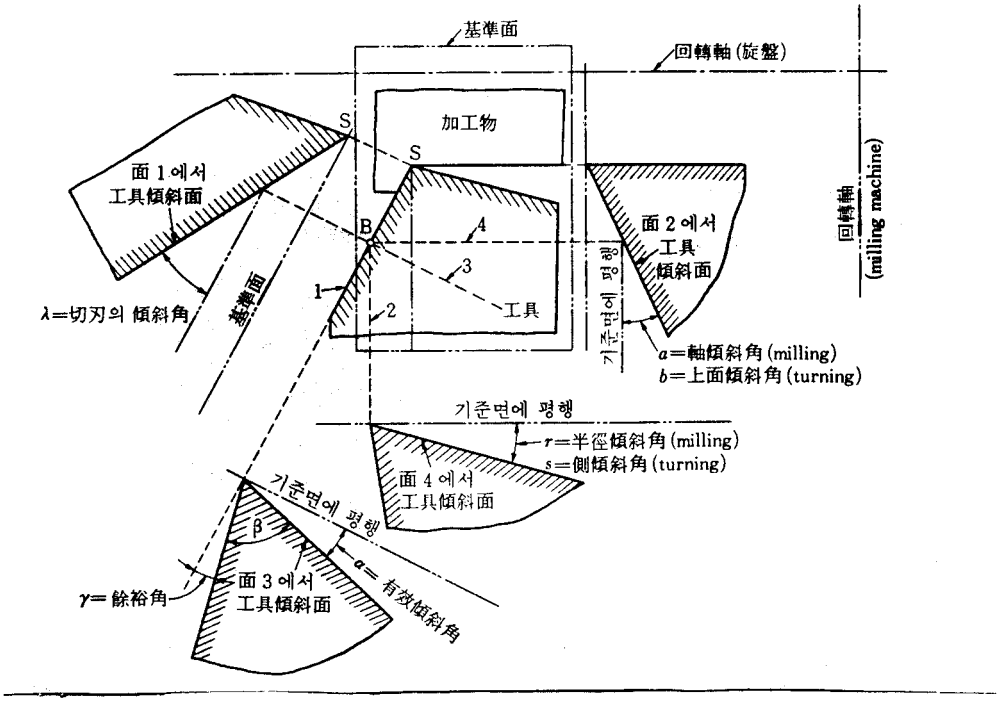


Fig. 7

그러나, 실제에 있어서는 공구의 경사면과 절삭인에 수직인 면내에서 측정하여도 그 오차는 무시할 정도이다.

절삭인의 각 위치에 따라 기준면이 다르게 정하여 지므로 유효경사각의 크기 또한 절삭인의 위치에 따라서 다르다는 것을 알 수 있다. 그러나 직경이 큰 가공물에서 물림깊이를 작게 하여 절삭 할 경우에는 축선과 공구의 선단을 포함하는 기준면을 택하여도 큰 무리가 없다. 다른 중요 실용각(상면경사각, 측경사각, 절인경사각)도 공구의 선단(s)을 통과하여 기준면에 수직인 직선을 회전축으로 하고 그 변을 포함한 평면내에서 기준면과 공구 경사면에 접하는 2변이 이루는 각으로써, Fig.8에서 유효

경사각(α_e), 측경사각(s), 상면경사각(b) 및 주절인각(c)사이의 관계는 다음과 같다.

엄밀한 의미에서는 유효경사각은 합속도 vector를 포함하는 평면내에서 측정되어야 하나, 큰 오차없이 이용하기에 편리한 공구기하학에 의한 내용만을 취급키로 한다.

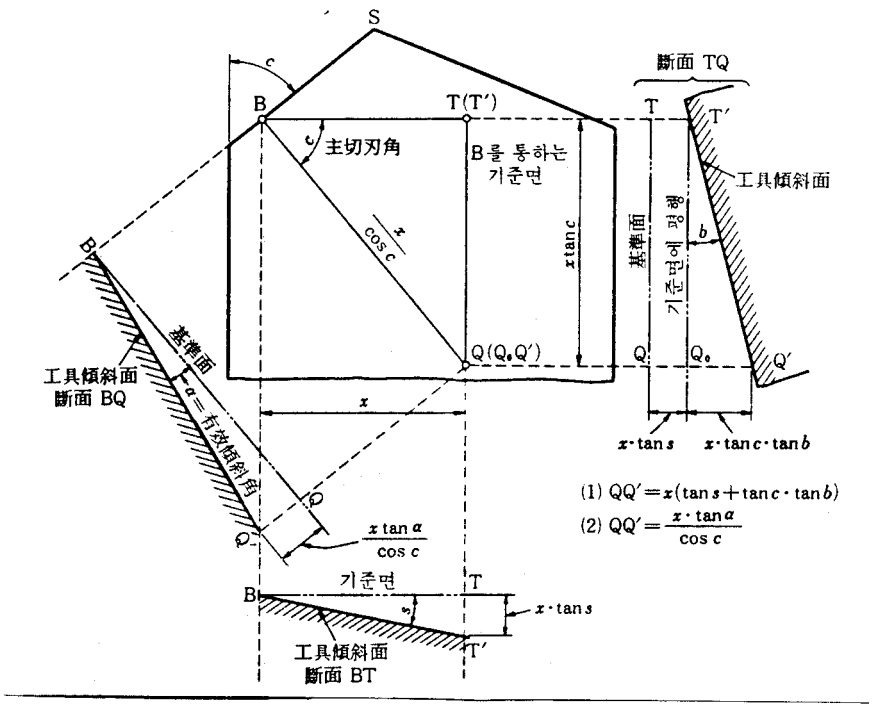


Fig. 8

$$
\begin{aligned}
TT' &= x \cdot \tan s \\
QQ' &= x \cdot \tan s + (x \cdot \tan c) \cdot \tan b \\
&= x \cdot (\tan s + \tan c \cdot \tan b) \\
QQ' &= (x \,/\, \cos c) \cdot \tan \alpha_e \\
&\tan \alpha_e = \tan b \cdot \sin c + \tan s \cdot \cos c
\end{aligned}
\tag{5}
$$

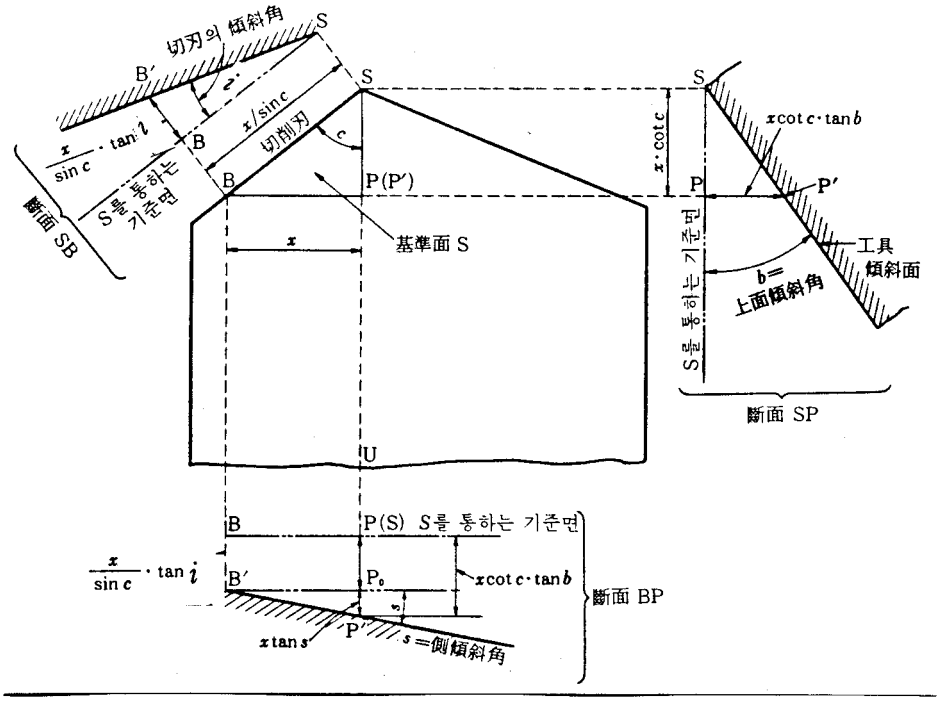


Fig. 9

$$PP' = (x \cdot \cot c) \cdot \tan b$$

$$PP' = BB' + PoP' = \frac{x}{\sin c} \cdot \tan i + x \cdot \tan s$$

$$\frac{x}{\sin c} \cdot \tan i + x \cdot \tan s = (x \cdot \cot c) \cdot \tan b$$

$$\tan i = \tan b \cdot \cos c - \tan s \cdot \sin c \qquad (6)$$

식(5)와 식(6)에서 유효경사각(α_e)을 각 b, c 및 s로 표시 하거나 각 b, c, s 중에서 2개의 각과 각 i 로 표시할 수 있다. 이 조건을 명시하지 않으면 유효경사각을 정하지 않고 임의 유효경사각에서 실험을 시행해서 얻은 결론이 된다.

2-3. 2차원절삭에서 형태에 의한 chip의 종류

Fig. 10은 절삭기구를 구성하는 각부의 명칭을 보여 주며, 경사면(face)은 chip이 유동하면서 접촉하는 공구면이고, 여유면(flank)은 가공면과 접촉하는 공구면이다.

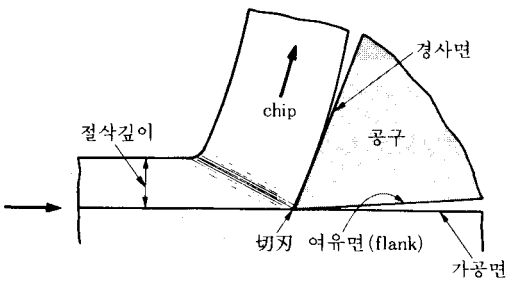


Fig. 10 절삭기구의 각부 명칭

절삭공구로 공작물을 절삭할 때 대표적인 chip의 형상은 다음 네 가지를 들 수 있다.

①유동형 chip(flow type chip)
②전단형 chip(shear type chip)
③열단형 chip(tear type chip)
④균열형 chip(crack type chip)

(1)유동형 chip(flow type chip)

Fig.11에서와 같이 chip이 공구경사면에 따라 연속적으로 유동하는 chip이며, 이것은 전단면에 따라 연속적으로 전단되어 coil형상의 chip이 발생하기 때문에 붙여진 이름이다. 이 조건에서 절삭저항의 변동이 적고 가공면이 가장 양호하며, 유동형 chip은 연성재료를 고속절삭할 때 용이하게 생긴다.

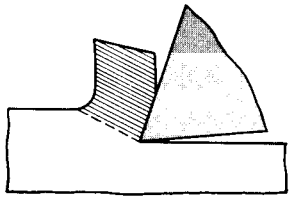


Fig.11 유동형 chip

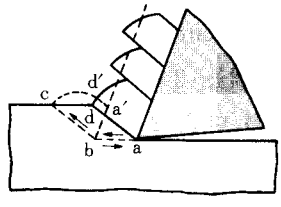


Fig.12 전단형 chip

(2)전단형 chip(shear type chip)

Fig.12와 같이 전단이 발생하고 slip간격이 유동형 chip의 경우보다 큰 것으로서 공구가 진행하면 재료 abcd의부분은 압축되어 $a'\,b\,c\,d'$ 에 위치하며, 다음 bc에 따라 제 2차의 slip이 생겨 chip이 된다. 이와 같은 chip이 생성될 때마다 절삭저항이 변동하고 절인도 변형하므로 가공면에 요철이 많다. 전단형 chip은 연성재료를 저속으로 절삭할 때 흔히 발생한다.

(3)열단형 chip(tear type chip) 또는 경작형 chip(pluck type chip)

유동형이나 전단형과는 달리 Fig.13과 같이 공구가 진행함에 따라 공구의 전방 균열이 나타나면서 절삭이 이루어진다. 재료가 공구경사면에 점착하여 공구경사면(face)과의 slip이 생기지 않고 공작물의 하방향으로 균열이 발생하여 전파하다가 어느 한계에서 균열이 정지되고 bc 방향으로 전단되어 chip이 생긴다. 열단형 chip은 균열과 전단의 두 작용에 의하여 생긴다고 할 수 있다. 절삭저항도 유동형 chip과 전단형 chip의 경우에 비하여 훨씬크며 변동이 심하기 때문에 절삭진동이 크다. 따라서 절인이 변형하며 가공면에 요철이 많고, 가공면의 잔류응력도 커서 시간의 경과에 따라 변형하는 경우도 있어 정밀가공에는 부적당한 chip형상이다.

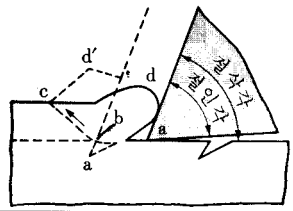


Fig. 13 열단형 chip

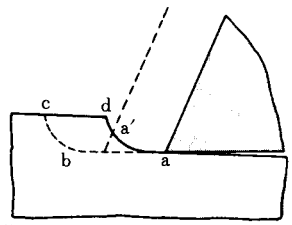


Fig.14 균열형 chip

(4)균열형 chip(crack type chip)

공구 전방의 공작물에 균열이 생기는 것은 열단형과 같으나 균열의 방향이 Fig.14와 같이 공구가 진행하면 비스듬히 위를 향한다는 것이 열단형과 다르다.

이 균열은 절삭각(cutting angle)이 작으면 수평보다 상방향으로 이루어지나, 절삭각이 크면 하방향으로 이루어져 가공면에 요철이 생기고 절삭저항도 변동된다.

영국과 독일에서는 열단형과 균열형을 tear type이라 하고, 미국에서는 유동형 chip을 연속형 chip(continuous chip), 전단형 chip과 열단형 chip 및 균열형 chip을 불연속형 chip(discontinuous chip 또는segmental type chip)이라 한다. 연속형 chip에도 Fig.15와 같이 built-up edge가 없는 chip과 Fig.16과 같이 built-up edge가 있는 것이 있으나, 대부분의 연구에 있어서는 built-up edge가 없는 연속형 chip을 취급한다.

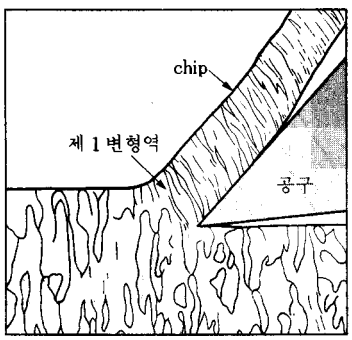


Fig.15 built-up edge가 없는 연속형 chip

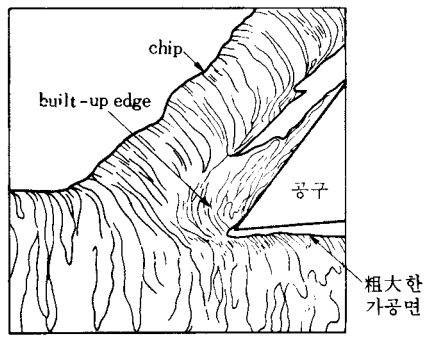


Fig.16 built-up edge를 갖는 연속형 chip

2-4. 구성인선(built-up edge)

연성이 큰 연강, stainless강, aluminium등과 같은 재료를 절삭할 때 절삭인선에 작용하는 압력, 마찰저항 및 절삭열에 의하여 chip의 일부가 Fig.16과 같이 부착된 것을 구성인선이라 하며, 이것은 주기적으로 발생하여 성장, 최대 성장, 분열, 탈락 등의 과정을 반복한다.

built-up edge의 발생과 크기를 억제하는 데 효과가 있는 인자는 다음과 같다.

① 경사각(rake angle)을 크게 한다.

② 절삭속도(cutting speed)를 크게 한다(120m/min 이상에서는 구성인선이 없어진다).

③ chip과 공구경사면간의 마찰을 적게 한다.

i) 공구경사면을 매끄럽게 가공한다.

ii) 절삭유제를 사용하여 윤활과 냉각작용을 시킨다.

iii) 초경합금공구와 같은 마찰계수가 적은 것을 사용한다.

④ 절삭깊이를 작게 한다.

built-up edge의 장단점은 다음과 같다.

[장점]

절삭인을 보호하여 공구수명을 연장시키는 경우가 있다.

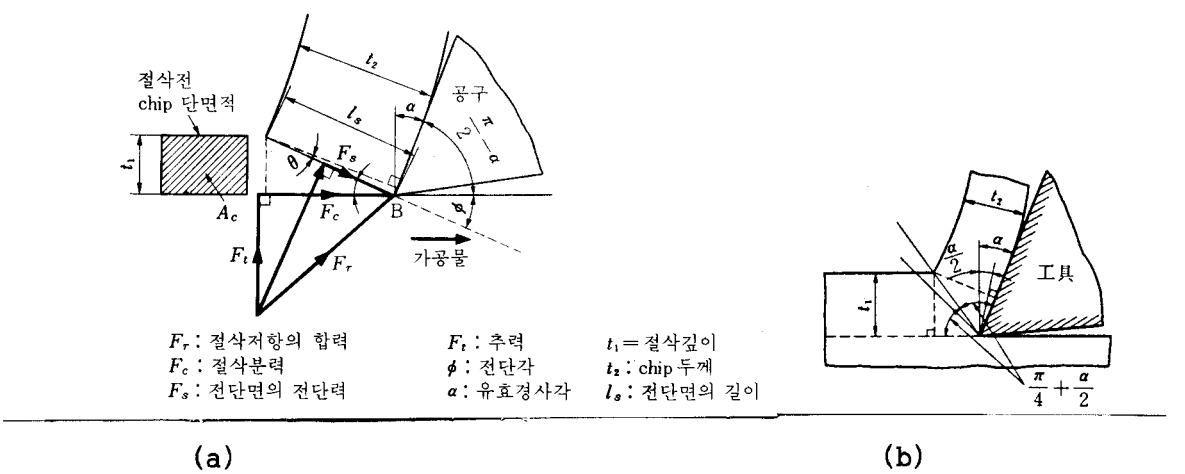
[단점]

① built-up edge가 탈락될 때 공구의 일부가 떨어져 나가는 경우가 있어 공구수명을 단축시킨다.

② built-up edge의 날은 공구의 것보다 하위에 있어서 예정된 절삭 깊이보다 깊게 절삭되며, 표면 정도와 치수 정도를 해친다.

2-5. 2차원절삭의 전단각

Fig.17에서 공구는 정위치에 있고 공작물이 운동을 하여 공작물에 전단강도 이상의 전단응력이 작용하면 전단이 이루어진다. 이 면을 전단면(shear plane)이라 하고, 전단면과 절삭방향이 이루는 각을 전단각(shear angle)이라고 한다.



(a) (b)

Fig.17 연속형 chip의 전단모형

Fig.17에서 공구절인이 이상적으로 예리(절인반경 = 0)하고 가공폭과 chip폭이 같으며 전단면이 단일평면이라 가정하면

$$l_s = \frac{t_1}{\sin\phi}$$
$$\theta + \frac{\pi}{2} = \phi + (\frac{\pi}{2} - \alpha)$$
$$\therefore\ \theta = \phi - \alpha$$
$$\therefore\ \frac{t_2}{l_s} = \cos\theta = \cos(\phi - \alpha)$$
$$\therefore\ l_s = \frac{t_2}{\cos(\phi - \alpha)}$$
$$\therefore\ l_s = \frac{t_1}{\sin\phi} = \frac{t_2}{\cos(\phi - \alpha)} \tag{7}$$
$$\therefore\ \frac{t_1}{t_2} \cdot \cos(\phi - \alpha) = \sin\phi$$
$$\therefore\ \frac{t_1}{t_2}(\cos\phi \cdot \cos\alpha + \sin\phi \cdot \sin\alpha) = \sin\phi$$
$$\therefore\ \frac{t_1}{t_2}(\cos\alpha + \tan\phi \cdot \sin\alpha) = \tan\phi$$
$$\therefore\ \tan\phi(1 - \frac{t_1}{t_2} \cdot \sin\alpha) = \frac{t_1}{t_2} \cdot \cos\alpha$$

$\frac{t_1}{t_2} = r_c$라 하면(절삭비: cutting ratio)

$$\tan\phi = \frac{r_c \cdot \cos\alpha}{1 - r_c \cdot \sin\alpha} = \frac{\cos\alpha}{\frac{1}{r_c} - \sin\alpha} \tag{8}$$

식 8 에서 전단각(shear angle) ϕ 를 구할 수 있으며, r_c가 클수록 즉 t_2가 작을수록 ϕ 는 크다. 공구경사면과 chip간의 마찰이 없는 이상적 상태($t_1=t_2$)일 때

$$\phi = \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2} \tag{9}$$

이며 ϕ가 클수록 절삭상태가 양호하다.

2-6. 2차원절삭의 절삭저항 및 마찰각

공구의 경사면에 수직으로 작용하는 힘을 F_n, 그 면의마찰력을 F_f , 전단면상의 수직력을 F_{ns}라 하면 Fig.18에서

$$F_s = F_c \cdot \cos\phi - F_t \cdot \sin\phi$$
$$F_{ns} = F_c \cdot \sin\phi + F_t \cdot \cos\phi \tag{10}$$
$$F_f = F_c \cdot \sin\alpha + F_t \cdot \cos\alpha$$
$$F_n = F_c \cdot \cos\alpha - F_t \cdot \sin\alpha \tag{11}$$

가 되고, μ : 마찰계수, β : 마찰각이라 하면

$$\mu = \tan\beta = \frac{F_f}{F_n} = \frac{F_c \cdot \sin\alpha + F_t \cdot \cos\alpha}{F_c \cdot \cos\alpha - F_t \cdot \sin\alpha} \tag{12}$$
$$= \frac{F_t + F_c \cdot \tan\alpha}{F_c - F_t \cdot \tan\alpha}$$

가 되어 Fc 와 Ft를 알면 μ 가 계산되며, Fc 와 Ft 는 공구동력계로 측정한다.

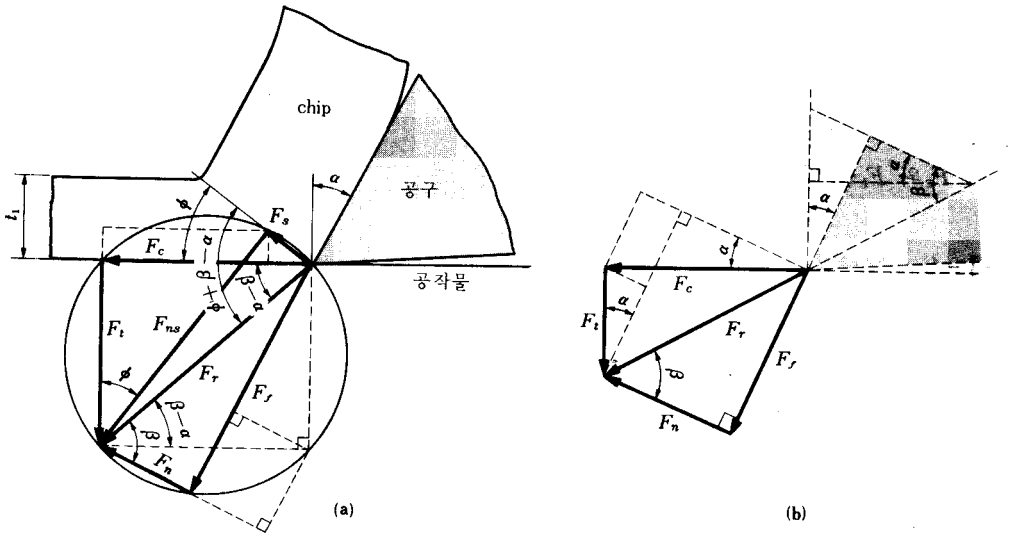


Fig.18 2차원절삭의 절삭력과 작용각

$A = t_1 \cdot b$:절삭면적이라 할 때

$$k_s = \frac{F_c}{A} \tag{13}$$

k_s 를 비절삭저항(specific cutting force)이라 한다.

V_c 를 절삭속도, Z_w 를 절삭율(시간당 절삭량)이라 하면

$$Z_w = A \cdot V_c \tag{14}$$

의 관계가 되며 생산성과 관계한다.

2-7. 압괴력과 치수효과(plowing force와 size effect)

총절삭력은 chip 및 공작물과 접촉하는 공구의 면에 분포되어 있으며, 실제의 절삭공구의 절인은 이상적 예리함을 갖지 못하여 잘 연삭된 고속도강공구의 곡률 반경은 0.005 ~ 0.03㎜ 정도로서 여유면과 경사면(face)의 교차 부분은 곡면을 이룬다.

공구가 공작물을 절삭할 때 uncut chip에 작용하는 힘 외에 Fig.18에서와 같이 압괴력 F_p가 작용한다. 여유면에 작용하는 힘과 압괴력은 chip을 제거하는 데 도움이 되지 않는다.

따라서 uncut chip(절삭깊이)가 작을수록 공구에 작용하는 절삭저항(F)을 uncut chip면적(t b)으로 제한 비절삭력, 즉 비절삭energy는 증가한다. 이와 같은 현상을 치수효과(size effect)라 한다.

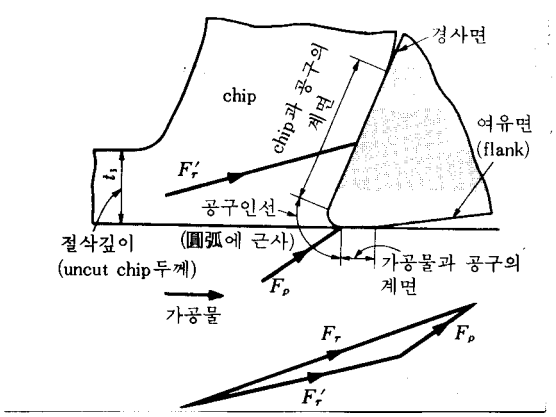


Fig. 19 절삭공구의 接觸域

2-8. 2차원절삭에서 공구수명 방정식

Fig.20에서와 같이 경화된 chip이 공구면을 유동할 때 공구면의 마모 작용을 cratering이라 하며, 이 때의 마모를 crater마모라 한다.

crater자체는 문제가 되지않으나 crater가 크게 되면 공구의 인부가 약하게 되어 파손되기 쉽고, crater마모가 크게될 정도가 되면 인부의 상태가 악화된다. crater의 최대 깊이와 인선에서 crater의 중심까지의 비를 공구수명 판정의 기준으로 한다.

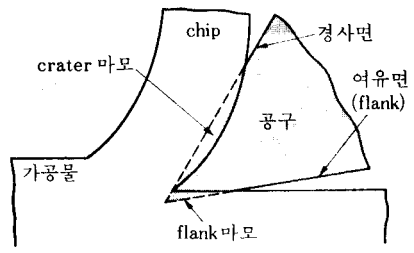


Fig.20 공구의 마모역

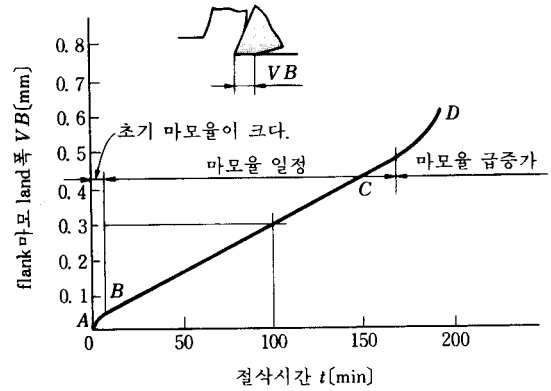


Fig.21 flank 마모의 발달 과정

공구수명 방정식의 도입은 다음의 절차에 의한다.

①.Fig.22와 같이 절삭시간과 마모대 폭의 관계 graph를 그리고 마모대가 0.3mm(H.S.S의 기준)인 점에서 절삭속도($V_1, V_2, \cdots$)에 대한 공구수명($t_1, t_2, \cdots$)을 구한다.

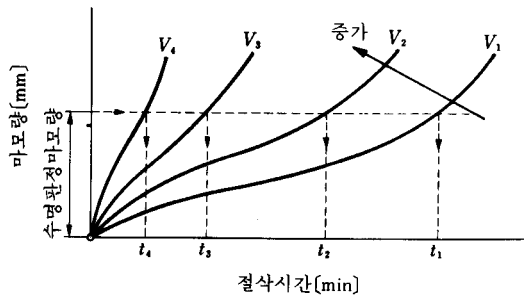
②.①에서 구한 절삭속도 ($V_1, V_2, \cdots$)에 대한 공구수명($t_1, t_2, \cdots$)을 Fig.23와 같이 대수좌표에 옮긴다.

③.Fig.23에서

$$\frac{1}{n} = \frac{\log t_1 - \log t_2}{\log V_2 - \log V_1} = \frac{\log \frac{t_1}{t_2}}{\log \frac{V_2}{V_1}}$$

$$\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^n = \frac{V_2}{V_1}$$

$$\therefore V_1 \cdot t_1^n = V_2 \cdot t_2^n = \cdots = C \qquad (15)$$



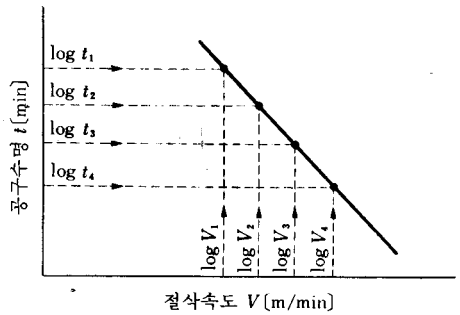


Fig.22 절삭시간과 마모대 폭 Fig.23 절삭속도와 공구수명

식 15을 Taylor의 공구수명방정식이라 하며, $V \cdot t^n = C$ 에서 C 는 t = 1min 일 때 V 값이다. 절삭조건에 따라 다르나 공구재료의 영향이 가장 크며, 일반적으로 사용되는 n 값은 다음과 같다.

고속도강(H.S.S.) : n = 0.05 ~ 0.3 ceramics : n = 0.35 ~ 0.55

초경합금(WC) : n = 0.12 ~ 0.25

기울기 $\left|\frac{1}{n}\right|$이 적을수록 절삭속도의 증가에 대한 공구수명의 감소가 적다. 즉 n이 클수록 좋다고 말할 수 있다. 또한 절삭상수 C 값이 클수록 V 와 t를 크게할 수 있으므로 양호한 조건이라 할 수 있다.

2-9. 2차원절삭의 계산예

예제 1) 공구 경사면의 경사각 $\alpha = 20^\circ$인 공구로 절삭폭 $b = 3mm$ 인 강을 절삭깊이 $t_1 = 0.2mm$, 절삭속도 $V_c = 100m/\min$로 2차원절삭을 하였을 때 chip 두께 $t_2 = 0.3mm$(공구현미경으로 측정), 절삭력 $F_c = 100kg$(공구동력계로 측정), 수직력 $F_t = 30kg$(공구동력계로 측정)이 되었다.

이때 다음 값을 구하여 본다.

해)①절삭률(metal removal rate) Z_w

$$Z_w = A_c \cdot V_c = \left(\frac{0.2}{10}\right) \times \left(\frac{3}{10}\right) \times 10000 = 60cm^3/\min$$

②절삭비(cutting ratio) r_c

$$r_c = \frac{t_1}{t_2} = \frac{0.2}{0.3} = 0.67$$

③전단각(shear angle) ϕ

$$\tan\phi = \frac{r_c \cdot \cos\alpha}{1 - r_c \cdot \sin\alpha} = \frac{0.67 \cdot \cos 20^\circ}{1 - 0.67 \cdot \sin 20^\circ} = \frac{0.67 \times 0.94}{1 - 0.67 \times 0.34} = 0.82$$

$$\therefore \phi = 39.4^\circ$$

④마찰각(friction angle) β

예제 2) 2차원절삭에서 다음 flank 마모 data를 얻었으며, 여기에서 공구수명방정식을 구하라(단 공구수명 기준은 VB = 0.3mm로 한다).

<Table 1>

time \ speed	$V_1 = 90m/\min$	$V_2 = 100m/\min$	$V_3 = 110m/\min$
t =2 min	VB = 0.036mm	VB = 0.084mm	VB = 0.172mm
4 min	0.072mm	0.167mm	0.345mm
6 min	0.108mm	0.251mm	0.517mm
8 min	0.144mm	0.335mm	0.690mm
12min	0.216mm	0.502mm	1.035mm
16min	0.288mm	0.670mm	1.380mm
20min	0.360mm	0.834mm	1.725mm

1st Step VB - Cutting time diagram

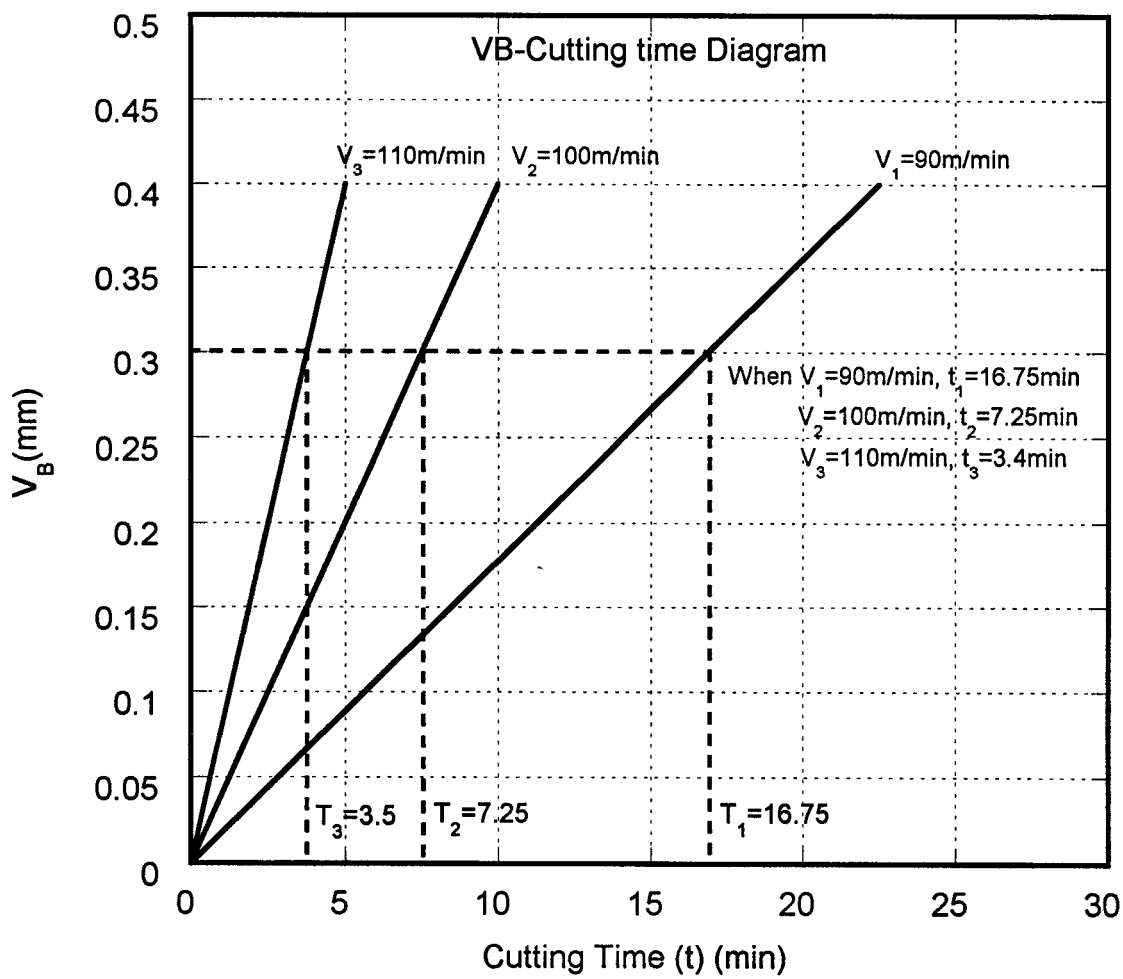


Fig. 24

2nd Step

1) Graph에 의한 해법

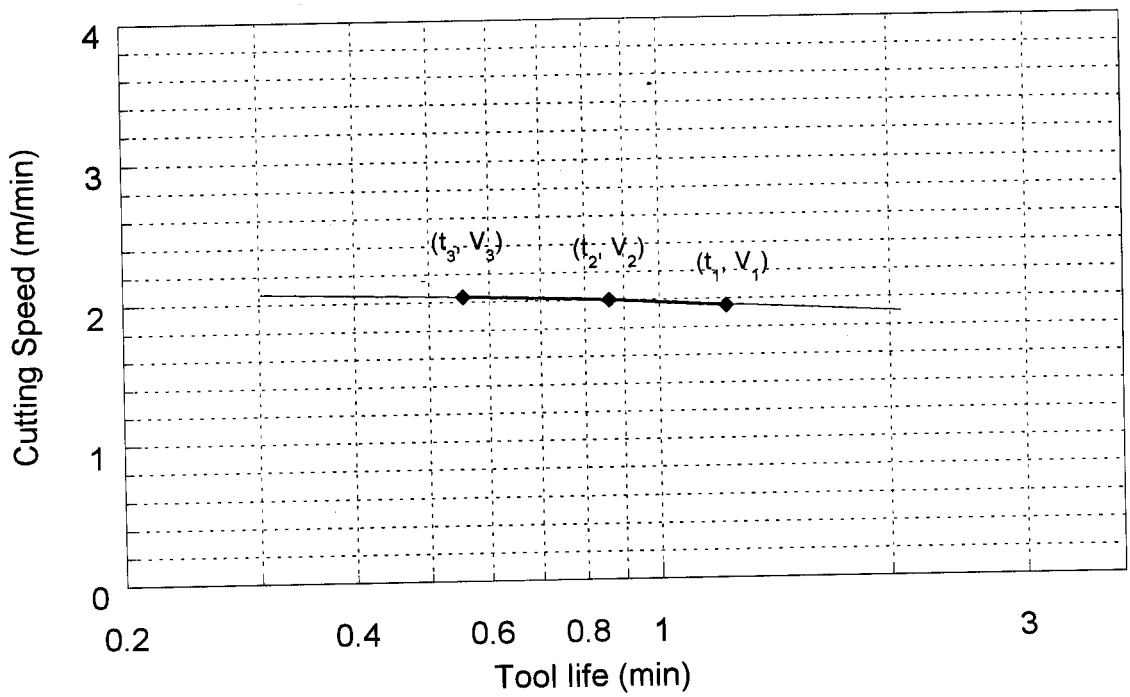


Fig. 25

$\log V_1 = \log\ 90 = 1.954$ $\log t_1 = \log 16.75 = 1.224$

$\log V_2 = \log 100 = 2$ $\log t_2 = \log\ 7.25 = 0.860$

$\log V_3 = \log 110 = 2.041$ $\log t_3 = \log\ 3.5\ = 0.544$

Taylor의 방정식 $\frac{V}{V_r} = \left(\frac{t_r}{t}\right)^n$에서

$$\log \frac{V}{V_r} = n \log \frac{t_r}{t}$$

$$\therefore\ n = \frac{\log \frac{V}{V_r}}{\log \frac{t_r}{t}}$$

V_1, V_2, t_1, t_2 값을 대입하면

$$n = \frac{\log \frac{100}{90}}{\log \frac{16.75}{7.25}} \fallingdotseq 0.126$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^n$$

$$VT^n = Constant$$

$C = V_1 T_1^n = V_2 T_2^n$ 이므로

a) 여기서 $V_1 = 90$, $T_1 = 16.75$ 이므로

$C = V_1 T_1^n = 90 \times 16.75^{0.126} = 128.4$

$\therefore VT^{0.126} = 128.4$

b) $V_2 = 100$, $T_2 = 7.25$

$C = V_2 T_2^n = 100 \times 7.25^{0.126} = 128.352$

$\therefore V\ T^{0.126} = 128.352$

2)수학적인 해법

<Table 2>

time \ speed	$V_1 = 90m/\min$	$V_2 = 100m/\min$	$V_3 = 110m/\min$
t =2 min	VB = 0.036mm	VB = 0.084mm	VB = 0.172mm
4 min	0.072mm	0.167mm	0.345mm
6 min	0.108mm	0.251mm	0.517mm
8 min	0.144mm	0.335mm	0.690mm
12min	0.216mm	0.502mm	1.035mm
16min	0.288mm	0.670mm	1.380mm
20min	0.360mm	0.834mm	1.725mm

$y = ax$ 이므로

여기서 $V_1(90m/\min)$의 slope를 a_1

$V_2(100m/\min)$의 slope를 a_2

$V_3(110m/\min)$의 slope를 a_3

라고 하면

$a_1 = 0.36/20 = 0.018$

$a_2 = 0.335/8 = 0.041875$

$a_3 = 0.345/4 = 0.08625$

이므로 각 방정식은

$y_1 = 0.018x_1$ $\quad t_1 \rightarrow x_1 = 0.3/0.018 = 16.67\min$

$y_2 = 0.041875x_2$ $\quad t_2 \rightarrow x_2 = 0.3/0.041875 = 7.1642\min$

$y_3 = 0.08625x_3$ $\quad t_3 \rightarrow x_3 = 0.3/0.08625 = 3.48\min$

$$n = \frac{\log \frac{V_2}{V_1}}{\log \frac{t_1}{t_2}} = \frac{\log \frac{100}{90}}{\log \frac{16.67}{7.1642}} \fallingdotseq 0.1248$$

$C = 90 \times 16.67^{0.1248} = 127.862$

$V \cdot T^{0.1248} = 127.86$

2-10. 2차원 선삭에서 유의사항

(1) pipe의 단면절삭

준 2차원절삭(Fig.2)에서는 절인의 연장선이 가공물의 중심선을 통과할 때에만 절삭작용을 하는 절인의 모든점에서 절삭방향(접선방향)이 같으며, 엄밀한 의미에서 절삭인의 위치에 따라 절삭속도는 상이하고, 3차원절삭이 된다. 그러나 가공물의 직경이 크고 pipe가 얇으면 같은 절삭속도로 간주할 수 있다.

(2) disk원주절삭

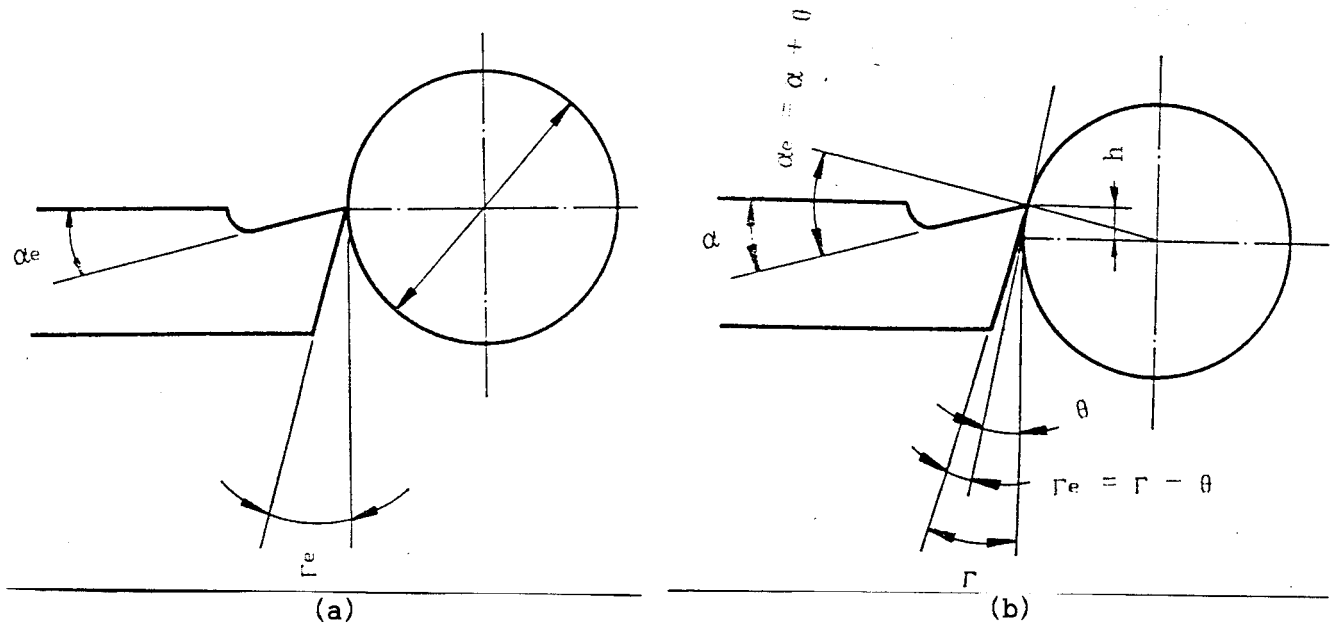
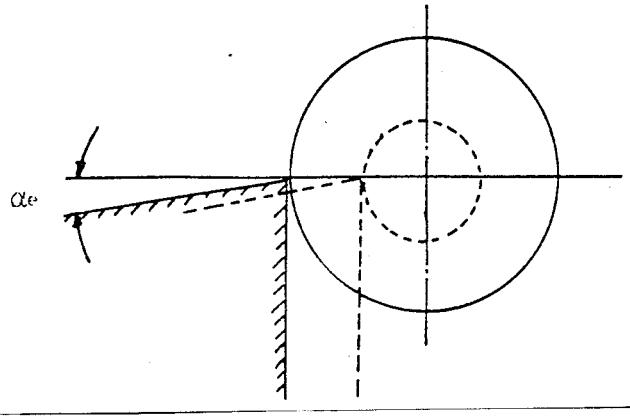


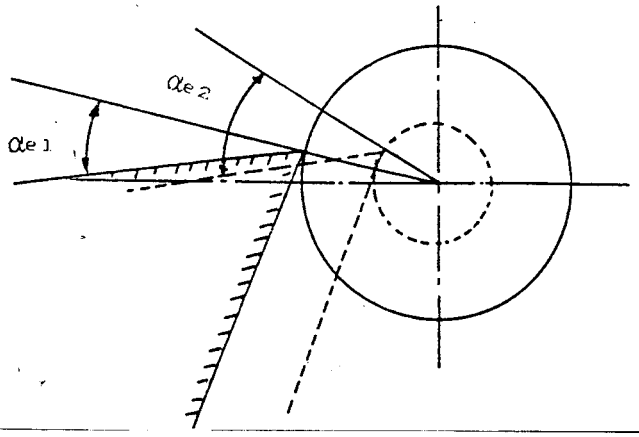
Fig.26 공구의 위치에 따른 유효 경사각

Fig.26에서와 같이 disk원주 절삭에 의한 2차원절삭에서 공구의 상대위치에 따라 유효경사각이 달라진다.

Fig.27에서와 같이 disk원주 절삭에 의한 2차원절삭에서 절인이 공작물의 축선을 포함한 수평면상에 있지 않을 때에는 가공하여 직경이 작아지면 유효경사각이 증가한다는 것을 알 수 있다.



(a)인선과 공작물의 중심을 잇는 선이 수평일때는 α_e 가 불변



(b) 인선과 공작물의 중심을 잇는 선이 수평이 아닐때에는 α_e 가 변함

Fig.27 직경 변화에 따른 유효경사각

(3) 선반에서 compound cutting을 free cutting으로 간주할 수 있는 경우

Fig.28에서와 같이 선단반경(nose radius)이 작은 공구로 절입깊이(물림깊이)를 크게 하고 이송을 작게 할 때에는 free cutting으로 간주하여 절삭기구를 해석하기도 한다. 이 경우에 pipe단면 절삭에서의 2차원절삭으로 간주할 수 있다.

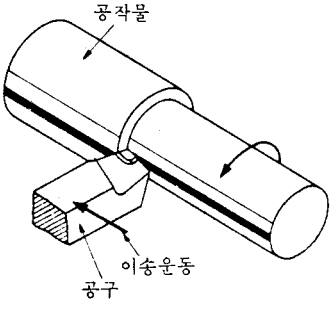
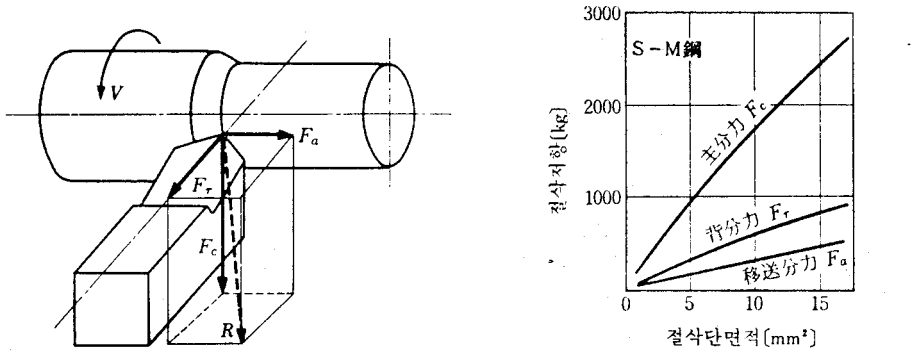


Fig.28

2-11. 선반에서 compound cutting

free cutting중에서 3차원절삭 또는 compound cutting(작용 절삭인이 2개 이상인 경우의 절삭)에는 지금까지 논의하여온 2차원절삭의 공식을 적용할 수 없다. free cutting중의 3차원절삭 기구에 관한 공식이 복잡하며, compound cutting기구는 식으로 표시기가 더욱 복잡하고 이들 식의 응용은 실제와 너무나 거리가 있다. 따라서 compound cutting에서는 절삭성의 판정에 이론식인 전단각 등을 이용하지 않고, 절삭저항, 공구마모, 조도 등 의 실험값을 이용하는 것이 편리하다.



(a) 절삭저항의 3분력 (b) 3분력의 비교

Fig.29 compound 선삭

앞에서 공식을 이용하지 않는 이유는 단순히 복잡하기 때문이 아니라 식의 도입에는 너무나많은 가정이 전제되기 때문에 도입된 식을 실제에 적용시키는데 무리가 따르기 때문이다.

절삭 결과로 나타나는 공작물 및 공구의 상태에 영향을 미치는 인자는 공작기계의 상태, 절삭환경, 절삭조건(절삭깊이, 이송, 절삭속도 등)등 수없이 많으나, 본 절삭 실험학과목에서는 공구와 가공물간의 상대적 조건에 관한 내용에 국한다.

3. 실험

3-1. 실험준비

(1) 공구의 연삭

공구연삭기에서 고속도강 공구를 3축 vise에 고정하여, 일반 숫돌로 정한 각도가 되게 연삭한 후에 diamond숫돌을 사용하여 다듬연삭하고,손으로 잡고 기름숫돌에서 burr를 제거하는 등의 끝손질을 한다.

소결공구(carbide)는 경도가 크기 때문에 사용자가 연삭하여 sharpening하기 보다는 제품의 출하 상태대로 사용하고 diamond공구는 전문 숙련공이 diamond숫돌로 연삭한다.

(2)가공물

(2-1)채취부위와 가공

균질부를 택하여 중절삭을 피하고 절삭유제를 공급하면서 미세절삭을 하여 소정의 치수에 맞춘다. 이것은 변질층의 변질정도를 최소화하기 위함이다

(2-2)전절삭(pre-cutting)

공구동력계로 절삭저항을 측정하고 절삭유제(kerosene등)를 공급하면서 예를 들어 절삭깊이 0.05, 0.04, 0.03, 0.01mm 등의 순서로 전절삭(pre-cutting)을 하고 아세톤(acetone)으로 세척한 후 hair dryer로 건조시켜 절삭유제를 제거한다.

data를 얻기위한 절삭에서 전절삭을 하지않고 부득이 계속 이어서 절삭을 할 경우에는 교번으로 발생하는 long chip 과 short chip 중에서 long chip 또는 short chip 만을 택하여 절삭기구의 해석에 이용하는 것이 data 의 신뢰도가 높다.

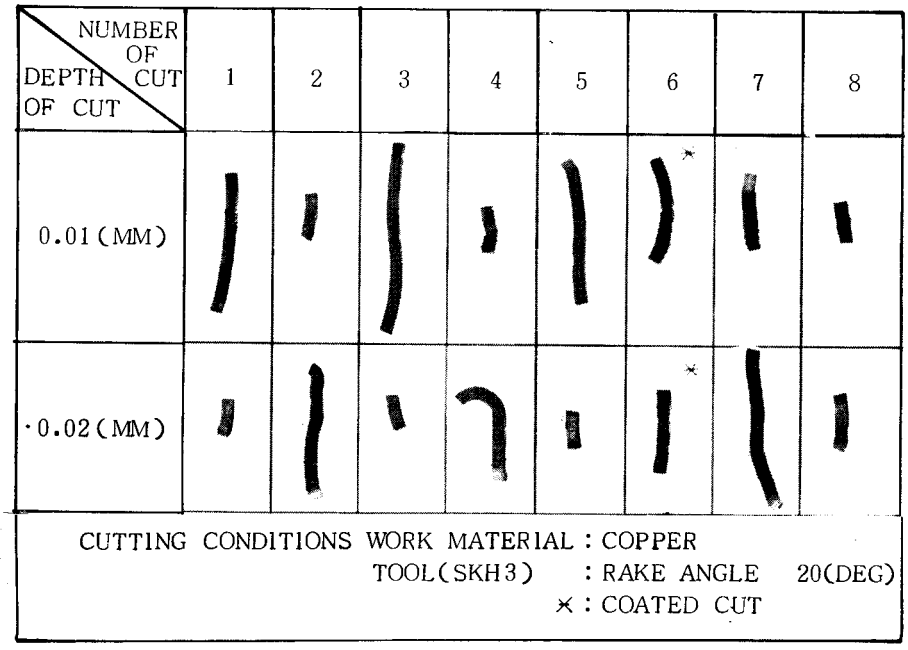


Fig.30 Chip의 분포

(3) 실험장비

실험장비의 사양은 다음과 같이 명기 한다.

참고①. 절삭성과 관계되는 가공재료의 기계적성질 및 화학조성을 표시한다.
예)

<Table 3> 기계적성질(2024 Al합금)

항복강도 (kg/mm_2)	인장강도 (kg/mm_2)	전단강도 (kg/mm_2)	연율(%)	경도 (HB)
33.04	28.83	28.83	20	120

예)

<Table 4> 화학조성(2024 Al 합금)(%)

Ca	Mg	Si	Fe	Zn	Ti	Cr	Al	열처리
3.8~ 4.9	1.2~ 1.8	0.5 max	0.5 max	0.3~ 0.9	0.15 max	0.1 max	rest	T4

<Table.5> Exeperimetal appatus

1) milling machine	
* universal milling machine	
* table speed	: 15 ~ 3600 mm/min
* bed size	: 1300 × 2800 mm
2) lathe	
* H/S precision lathe	
* spindle speed	: 50 ~ 1850 r.p.m
* bed swing	: 390 mm
* feed	: 0.05 ~ 3 mm/rev
3) tool dynamometer	
* Kistler instrument type	: 9257 A
* maximum load	: 5000 N
* resolution	: <0.01 N
4) charge amplifier	
* Kistler instrument type	: 5001
* measurement of a range	: ± 0.1 ~500,000 pc
* resolution	: ± 1%
5) optical microscope	
* model	: Nikon
* magnifying power	: X400
6) 32 bit computer	: CPU 80586
7) A / D converter	
* 12 bit	
* 8 channel	
* conversion time	: 15 μsec
* measurement of a range	: ± 5V, ±10V
8) scanning electron microscope	
* model	: Hitachi X - 650

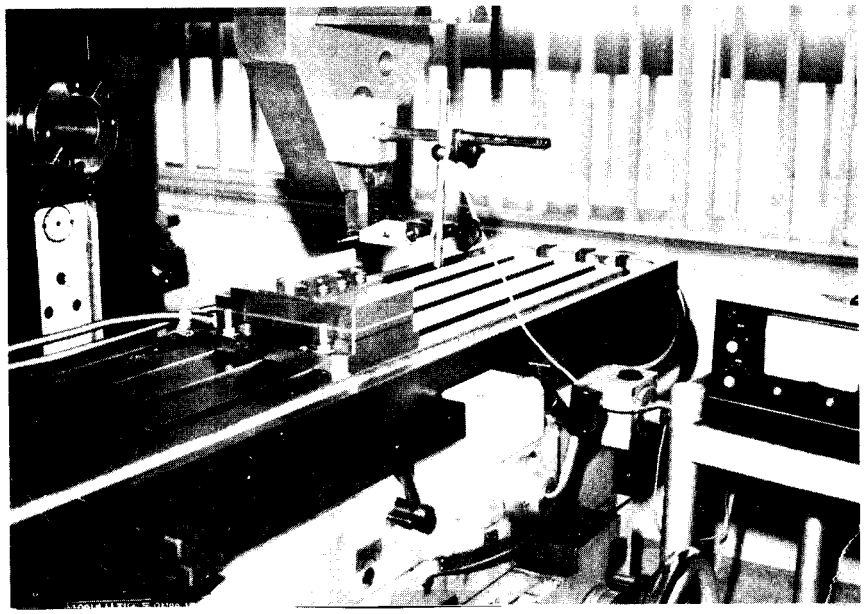


Fig. 31 Milling machine에서 2차원 절삭장치

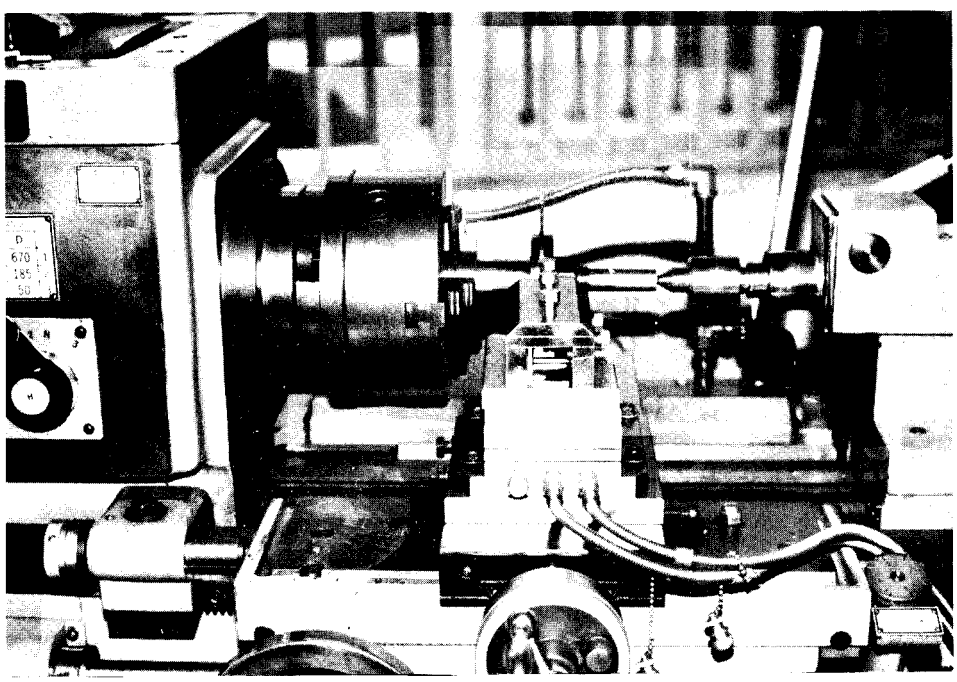


Fig. 32 선반에서 disk 원주의 2차원 절삭장치

3-2. 실험결과

다음 free chart에서 Table 6을 구하고 Fig.33, Fig.34, Fig.35, Fig.36을 구하고 결론을 도출한다.

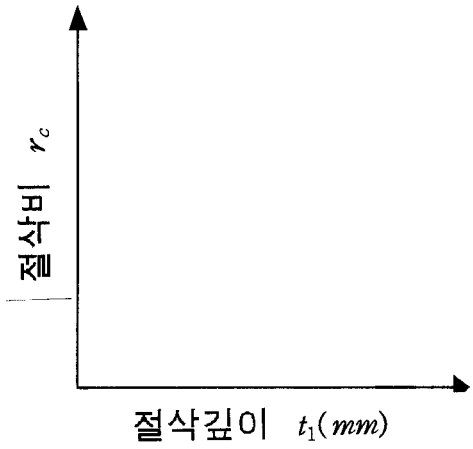


Fig.33

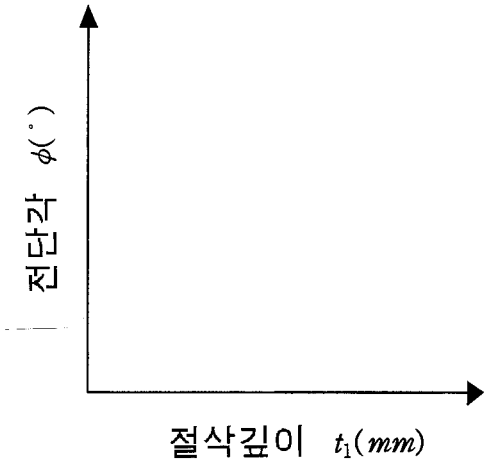


Fig.34

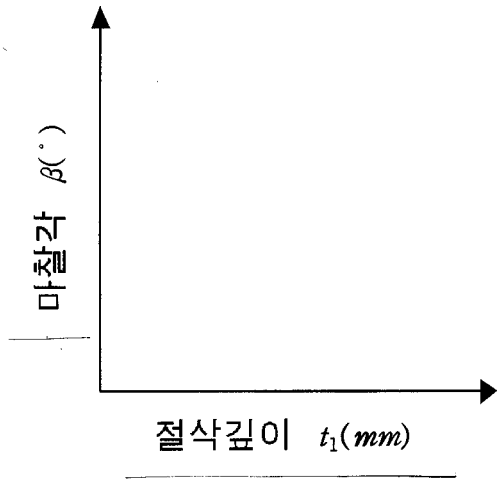


Fig.35

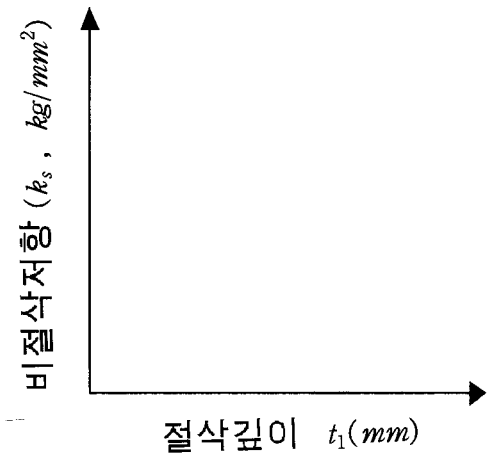


Fig.36