

標準 工 作 機 械

徐南燮 著

(教授用 Note)

공작 기계의 영역

고품질(재료의 품질 향상, 정밀도 향상, 내구력 증대)의 제품을 값싸게 제작하기 위하여는 다음 사항을 고려 하여야 한다.

(a). 공작기계의 정밀도가 높아야 한다.

- 주축, 미끄럼면(bed, table등), 안내나사(lead screw 및 feed screw), gear등

(b). 공작기계의 강성(정·동강성)이 커야 한다.

(c). 공작기계의 열변형이 적도록 하여야 한다.

- 내부의 각종 열원, 절삭열, 실내온도 등

(d). 주축의 고속회전이 가능해야 한다.

(e). 미세 이송이 가능 해야 한다.

(f). 공작기계의 설치를 정확히 하여야 한다.

- 공작기계의 자중 및 진동, 외부의 진동에 대하여 대처하여야 한다.

(g). 절삭공구의 크기, 기하학적 형상, 재질, 다듬질 정도를 알맞게 하여야 한다.

(h). 가공제품의 필요성질을 만족하는 범위내에서 가공재료의 피삭성이 좋아야 한다.

(i). 절삭조건(절삭깊이, 이송, 절삭속도, 절삭유체의 선택 및 공급방법 등)을 적절히 설정하여야 한다.

(a), (b), (c), (d), (e), (f)는 공작기계(설계)에 속하며, 절삭학에서는

(g), (h), (i) 인자들의 상호관계, 상호영향을 연구하여 그 결과를 실용

(가공정밀도, 절삭율, 경계절삭)에 적용한다.

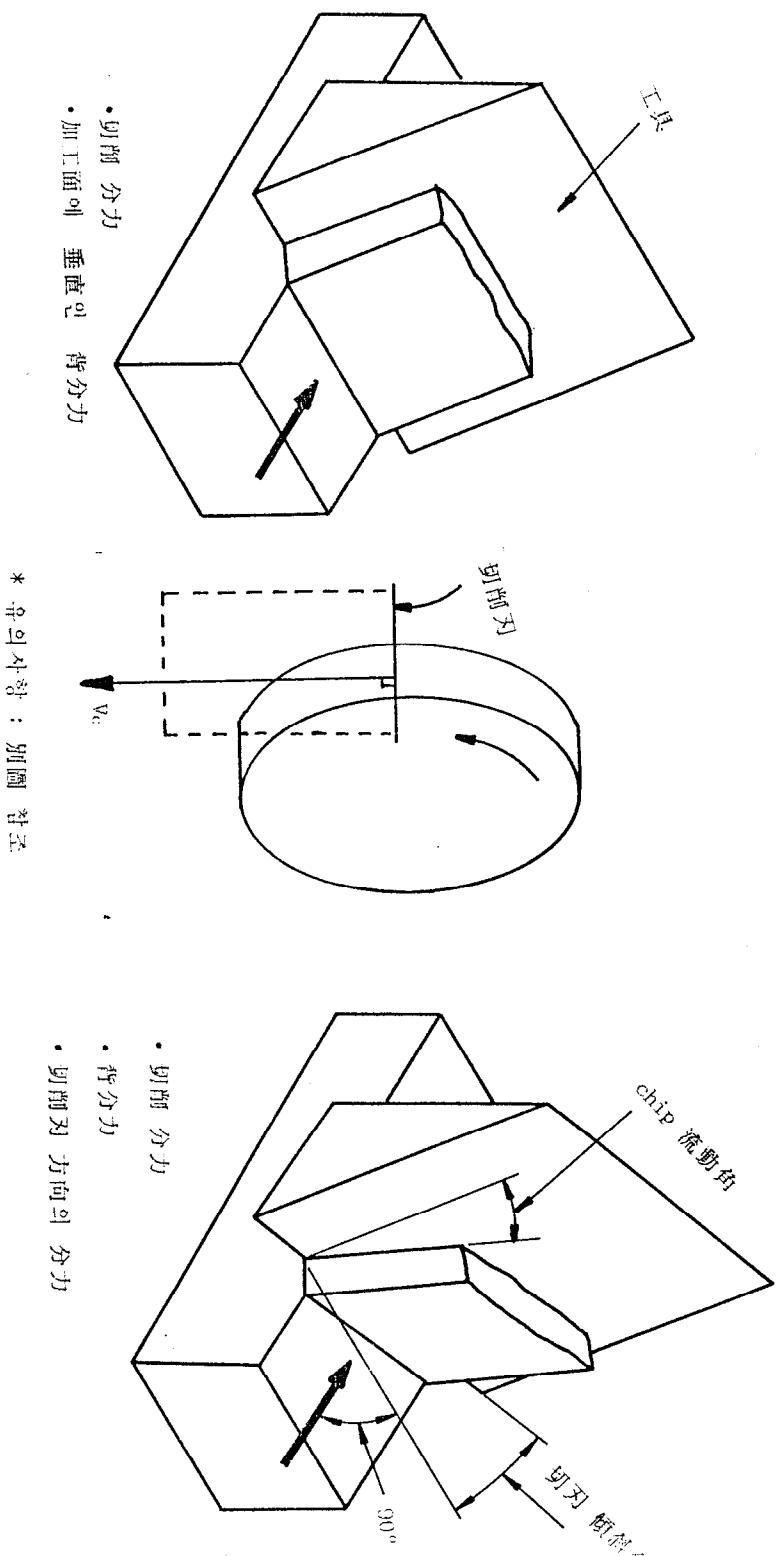


Fig. 1 2次元 切削과 3次元 切削

(a) 2次元 切削

(b) 3次元 切削

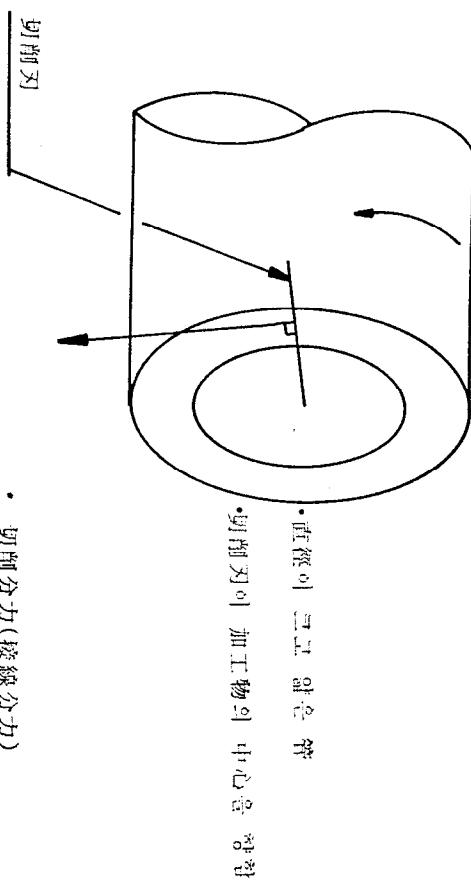
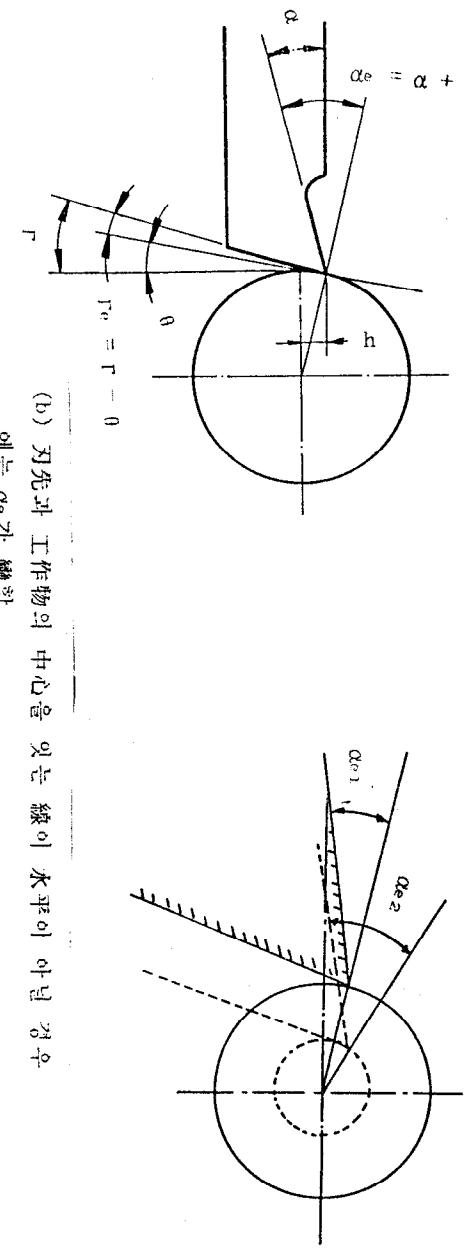
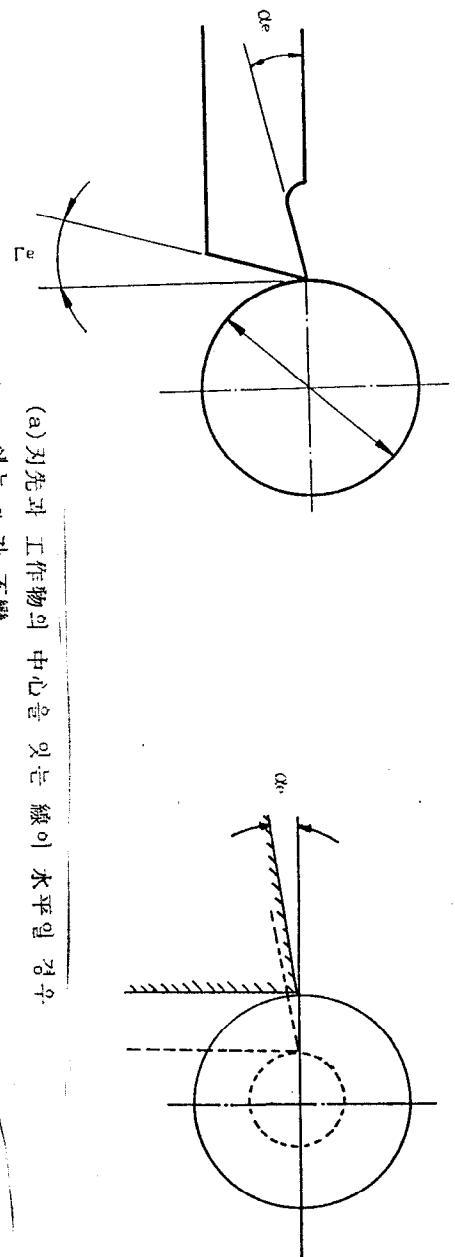


Fig. 2 準 2次元切削

- 切削分力(接線分力)
- 移送分力(軸分力)



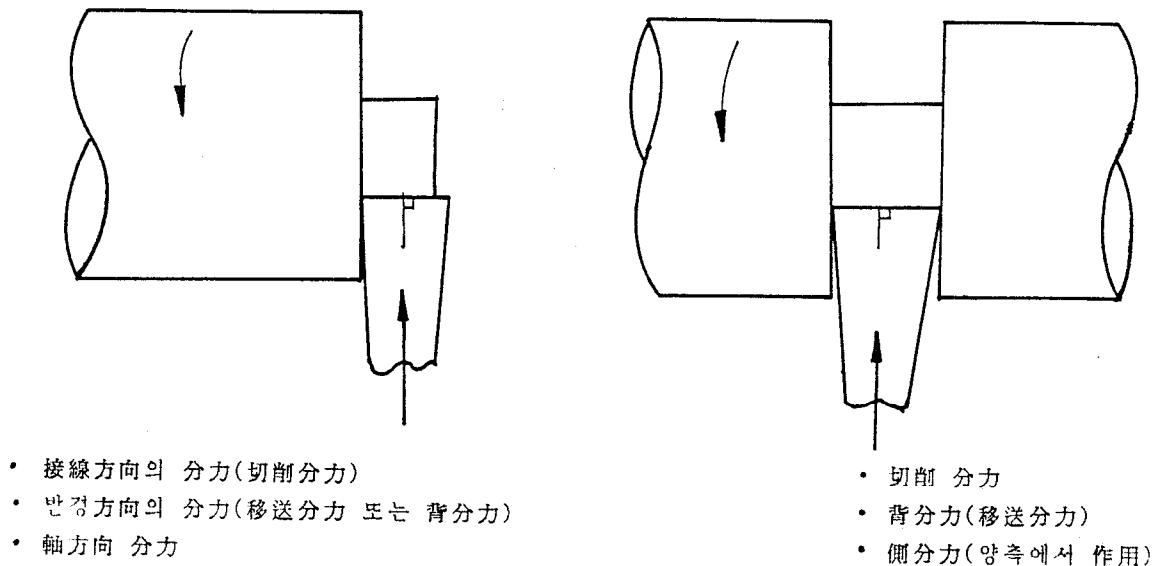
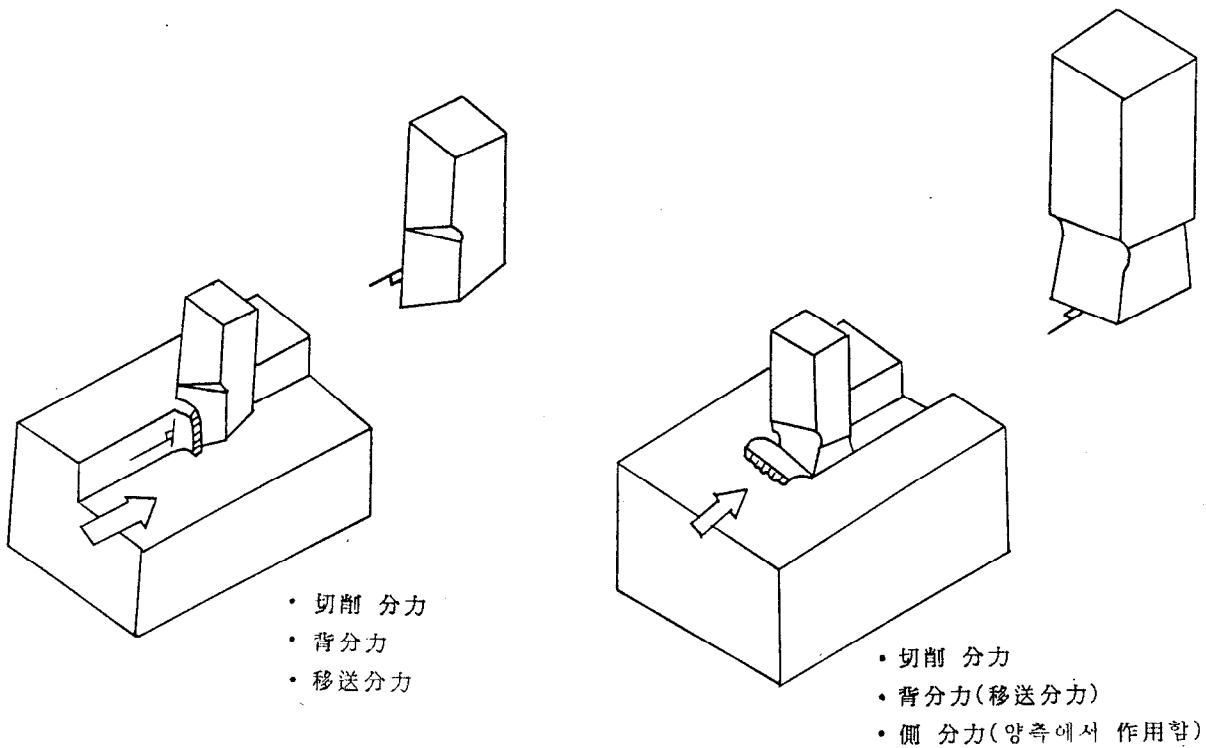


Fig.3 2次元 切削으로 착각되는 예

p.248 식(4-4)

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{\cot\phi + \tan(\phi-\alpha)}{\cos\phi} \\&= \frac{\sin\phi}{\cos\phi} + \frac{\sin(\phi-\alpha)}{\cos(\phi-\alpha)} \\&= \frac{\cos\phi \cdot (\cos\phi \cdot \cos\alpha + \sin\phi \cdot \sin\alpha) + \sin\phi \cdot (\sin\phi \cdot \cos\alpha - \cos\phi \cdot \sin\alpha)}{\sin\phi \cdot \cos(\phi-\alpha)} \\&= \frac{\cos^2\phi \cdot \cos\alpha + \sin\phi \cdot \cos\phi \cdot \sin\alpha + \sin^2\phi \cdot \cos\alpha - \sin\phi \cdot \cos\phi \cdot \sin\alpha}{\sin\phi \cdot \cos(\phi-\alpha)} \\&= \frac{\cos\alpha \cdot (\cos^2\phi + \sin^2\phi)}{\sin\phi \cdot \cos(\phi-\alpha)} = \frac{\cos\alpha}{\sin\phi \cdot \cos(\phi-\alpha)}\end{aligned}$$

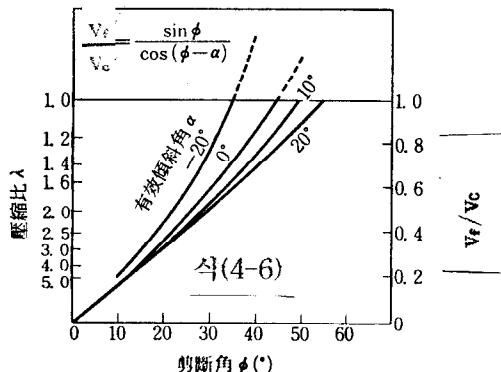


Fig. 1 切削速度에 대한 chip流動速度의 比

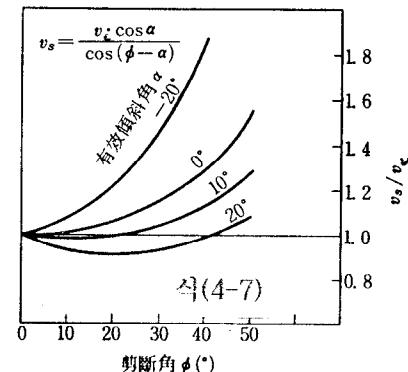


Fig. 2 切削速度에 대한 剪斷速度의 比

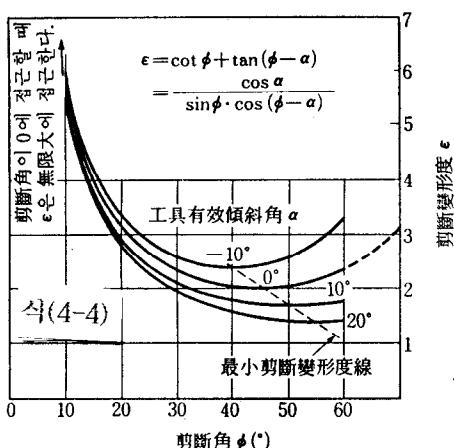


Fig. 3 剪斷角과 剪斷變形度

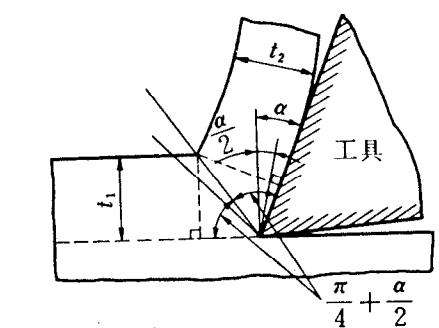


Fig. 4

剪斷變形度 ϵ 이 最小가 되기 위한剪斷角 ϕ 를 구하기 위하여 $\epsilon = \frac{\cos \alpha}{\sin \phi \cdot \cos(\phi - \alpha)}$ 를 微分하면

$$\frac{d\epsilon}{d\phi} = \frac{0 \times [] - [\sin \phi \cdot \cos(\phi - \alpha)]' \cdot \cos \alpha}{[]^2} = 0$$

$$[\sin \phi \cdot \cos(\phi - \alpha)]' = 0$$

$$\cos \phi \cdot \cos(\phi - \alpha) - \sin \phi \cdot \sin(\phi - \alpha) = 0$$

$$\frac{1}{2} [\cos(2\phi - \alpha) + \cos \alpha] - \frac{1}{2} [\cos \alpha - \cos(2\phi - \alpha)] = 0$$

$$\cos(2\phi - \alpha) = 0$$

$$\therefore 2\phi - \alpha = \frac{\pi}{2}$$

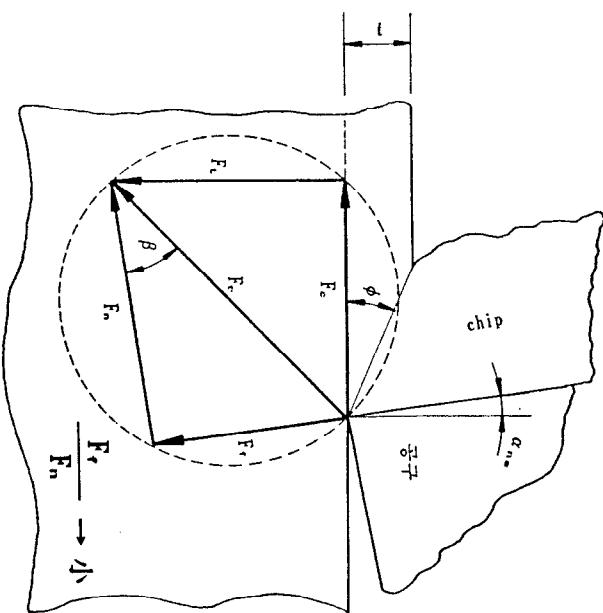
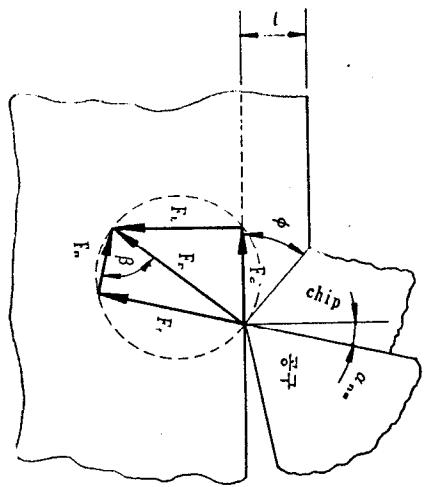
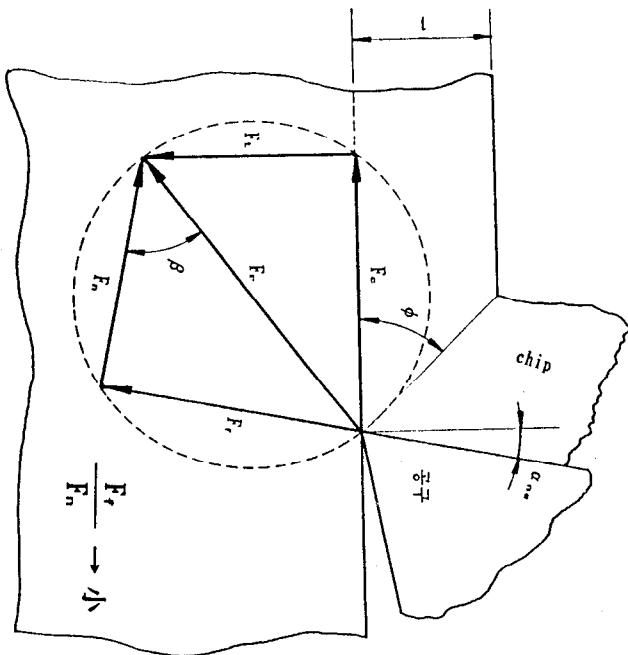
$$\therefore \phi_{\epsilon \min} = \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2} \quad (1)$$

로 되며 Fig. 4 로 나타내어 보면 $\frac{t_2}{t_1} = 1.0$ 인 것을 쉽게 알 수 있다. 이것은 chip의 壓縮이 없고 傾斜面의 摩擦이 없음을 의미한다. 式(1)에서 有效傾斜角 $\alpha = 0^\circ$ 일 때의 最小剪斷變形度에 대한剪斷角은 $\frac{\pi}{4}$ 가 된다.

$$\begin{aligned}
 W_m &= W_e + W_t \\
 &= \tau_c \cdot [\cot\phi + \tan(\phi-\alpha)] + \frac{F_t \cdot \sin\phi}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)} \\
 &= \frac{(F_c \cdot \cos\phi - F_t \cdot \sin\phi) \cdot \sin\phi}{A_c} \cdot \left[\frac{\cos\phi}{\sin\phi} + \frac{\sin(\phi-\alpha)}{\cos(\phi-\alpha)} \right] \\
 &\quad + \frac{[F_t \cdot \cos\alpha + F_c \cdot \sin\alpha] \cdot \sin\phi}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)} \\
 &= \frac{(F_c \cdot \cos\phi - F_t \cdot \sin\phi) \cdot \cancel{\sin\phi}}{A_c} \cdot \frac{\cos\phi \cos(\phi-\alpha) + \sin\phi \cdot \sin(\phi-\alpha)}{\cancel{\sin\phi} \cdot \cos(\phi-\alpha)} \\
 &\quad + \frac{F_t \cdot \cos\alpha \cdot \sin\phi + F_c \cdot \sin\alpha \cdot \sin\phi}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)} \\
 &= \frac{(F_c \cdot \cos\phi - F_t \cdot \sin\phi) \cdot \cos(\phi-\phi-\alpha) + F_t \cdot \cos\alpha \cdot \sin\phi + F_c \cdot \sin\alpha \cdot \sin\phi}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)} \\
 &= \frac{F_c \cdot (\cos\phi \cdot \cos\alpha + \sin\phi \cdot \sin\alpha) - F_t \cdot \sin\phi \cdot \cos\alpha + F_t \cdot \sin\phi \cdot \cos\alpha}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)} \\
 &= \frac{F_c \cdot \cos(\phi-\alpha)}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)} = \frac{F_c}{A_c}
 \end{aligned}$$

OR

$$\begin{aligned}
 W_m &= W_e + W_t = \tau_c \cdot \varepsilon + W_t \\
 &= \frac{(F_c \cdot \cos\phi - F_t \cdot \sin\phi) \cdot \cancel{\sin\phi}}{A_c} \cdot \frac{\cos\alpha}{\cancel{\sin\phi} \cdot \cos(\phi-\alpha)} + \frac{(F_t \cdot \cos\alpha + F_c \cdot \sin\alpha) \cdot \sin\phi}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)} \\
 &= \frac{F_c \cdot (\cos\phi \cdot \cos\alpha + \sin\phi \cdot \sin\alpha) - F_t \cdot \sin\phi \cdot \cos\alpha + F_t \cdot \sin\phi \cdot \cos\alpha}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)} \\
 &= \frac{F_c \cdot \cos(\phi-\alpha)}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)} = \frac{F_c}{A_c}
 \end{aligned}$$



쪽(4-21)

$$F_c = \frac{\tau_s + A_c}{\sin \phi} \cdot \frac{\cos(\beta - \alpha)}{\cos(\phi + \beta - \alpha)} = \tau_s \cdot A_c \cdot \cos(\beta - \alpha) \cdot \frac{1}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)}$$

$$\frac{dF_c}{d\phi} = \tau_s \cdot A \cdot \cos(\beta - \alpha) \cdot \frac{0 - [\frac{1}{2} \{ \sin(2\phi + \beta - \alpha) - \sin(\beta - \alpha) \}]' \times 1}{[\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)]^2}$$

$$* \sin x + \cos y = 1/2[\sin(x+y) + \sin(x-y)]$$

$$= \tau_s \cdot A \cdot \cos(\beta - \alpha) \cdot \frac{0 - 1/2 \cdot \cos(2\phi + \beta - \alpha) \times 2}{[]^2} = 0$$

$$\therefore \cos(2\phi + \beta - \alpha) = 0$$

$$\therefore 2\phi + \beta - \alpha = \pi/2$$

Criterion and Geometry of Tool Wear

Tool wear progresses as a cutting operation progresses; the wear land extends from the cutting edge up the flank of the tool. In addition, a characteristic cavity, known as a "crater," forms at a certain distance from the cutting edge on the tool face as illustrated in Fig. 1-19.

The flank wear is described in Fig. 1-19 by the wear land, h_f , while the crater is indicated by width, l , depth, e , radius, R_c , and the distance from the cutting edge,

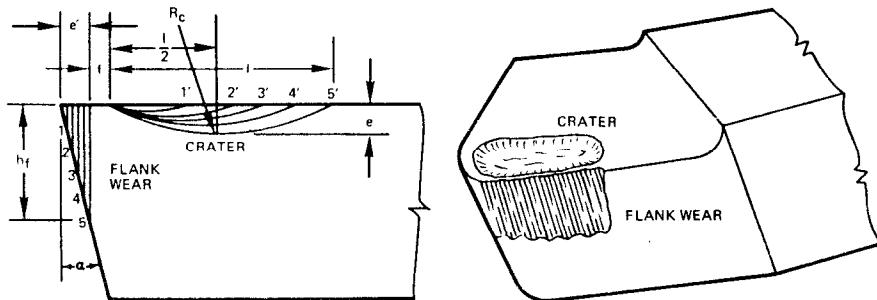


Fig. 1-19. Schematic views of flank wear and crater patterns.

f. An example of the growth rates of each element is shown in Fig. 1-20. After the initial wear, flank wear increases almost linearly at a uniform rate up to the point which leads to complete failure by means of rapid wear rate.

FAILURE OF CUTTING TOOLS AND TOOL LIFE

25

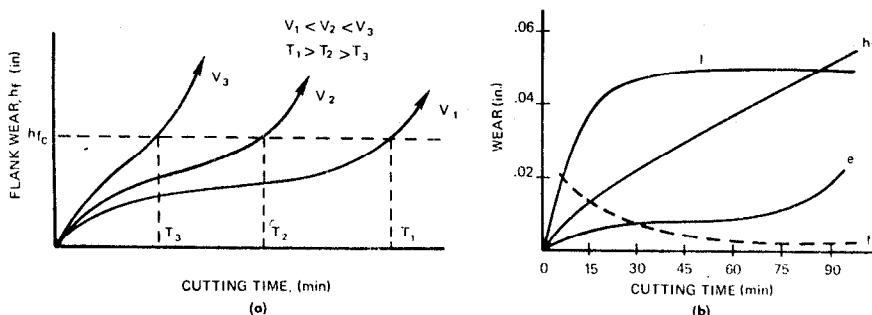


Fig. 1-20. Influence of cutting speed on flank wear (a), and wear rates of flank wear and cratering with respect to cutting time (b).

Because it is desirable to replace a tool before it fails completely or loses its originally intended tool profile, a quantitative value determining a limit of permissible tool wear (commonly known as the "wear criterion for tool life") is used in cutting operations.

The wear criterion varies with tool and workpiece materials and their combinations, and is chosen for flank wear, cratering, or both. The wear criterion for cratering, h_c , is given by:

$$h_c = \frac{e}{\frac{l}{2} + f} \quad (1-57)$$

= .4 for carbide

= .6 for HSS

Where: e = Depth of crater wear

f = Distance of crater from cutting edge

A criterion for flank wear of .025 in. to .030 in. wearland length, h_f , is commonly used for carbide tools.

p.271 쪽(4-57)

$$\frac{dP_r}{dv} = 0 \text{ 에서}$$

$$\frac{k \cdot v^{-2}}{[]^2} \text{ 으로 제하면}$$

$$s \cdot \left(1 - \frac{1-n}{n} \cdot a \cdot t_{ct} \cdot v^{1/n}\right) - \frac{1-n}{n} \cdot a \cdot c_t \cdot v^{1/n} \cdot (t_1 + kv^{-1} + k \cdot a \cdot t_{ct} \cdot v^{(1-n)/n})$$

$$- k \cdot a \cdot c_t \cdot \left(1 - \frac{1-n}{n} \cdot a \cdot t_{ct} \cdot v^{1/n}\right) \cdot v^{(1-n)/n} = 0$$

$$\therefore s \cdot \left(1 - \frac{1-n}{n} \cdot t_{ct} \cdot a \cdot v^{1/n}\right) - \frac{1-n}{n} \cdot c_t \cdot a \cdot v^{1/n} \cdot (t_1 + k \cdot v^{-1})$$

$$- k \cdot c_t \cdot a \cdot v^{1/n} \cdot v^{-1} = 0$$

$$\text{then } a \cdot v^{1/n} = t_r^{-1} \cdot v_r^{-1/n} \cdot v^{1/n} = t_r^{-1} \cdot v_r^{-1/n} \cdot \frac{v_r^{1/n} \cdot t_r}{t} = t^{-1} (\because v \cdot t^n = v_r \cdot t_r^n)$$

$$\therefore s \cdot \left(1 - \frac{1-n}{n} \cdot t_{ct} \cdot t^{-1}\right) - \frac{1-n}{n} \cdot c_t \cdot t^{-1} \cdot (t_1 + k \cdot v^{-1}) - k \cdot c_t \cdot t^{-1} \cdot v^{-1} = 0$$

$$\therefore s - \frac{1-n}{n} \cdot (s \cdot t_{ct} + c_t \cdot t_1) \cdot t^{-1} - k \cdot c_t \cdot t^{-1} \cdot v^{-1} \cdot \left(\frac{1-n}{n} + 1\right) = 0$$

$$\therefore s = \frac{(1-n)/n \cdot (s \cdot t_{ct} + c_t \cdot t_1)}{t} + \frac{k \cdot c_t \cdot v^{-1}}{n \cdot t}$$

$$\therefore t \cdot s = \frac{1-n}{n} \cdot (s \cdot t_{ct} + c_t \cdot t_1) + \frac{k \cdot c_t}{n} \cdot v^{-1}$$

$$\therefore t = \frac{1-n}{n} \cdot \left(t_{ct} + \frac{c_t \cdot t_1}{s}\right) + \frac{k \cdot c_t}{n \cdot s} \cdot v^{-1}$$

$$\text{then } v \cdot t^n = v_r \cdot t_r^n \longrightarrow v^{-1} = \frac{1}{v_r} \cdot \left(\frac{t}{t_r}\right)^n$$

$$\therefore t = \frac{1-n}{n} \cdot \left(t_{ct} + \frac{c_t \cdot t_1}{s}\right) + \frac{k \cdot c_t}{n \cdot s \cdot v_r} \cdot \left(\frac{t}{t_r}\right)^n$$

$$\therefore t_{ef} = \frac{1-n}{n} \cdot \left(t_{ct} + \frac{c_t \cdot t_1}{s}\right) + \frac{k \cdot c_t}{n \cdot s \cdot v_r} \cdot \left(\frac{t_{ef}}{t_r}\right)^n$$

② 先端半徑 $R \neq 0$ 인 경우 : Fig. 7-12에서와 같이 加工面에 圓弧의 切削부위(cutting mark)만 남는 경우 ($\frac{f}{2} \leq R \cdot \sin K'_{re}$), 圆弧과 直線의 切削부위가 동시에 남는 경우 ($\frac{f}{2} > R \cdot \sin K'_{re}$)가 있다. 또 $\frac{f}{2} > R \cdot \sin K'_{re}$ 의 경우에도 主切刃(major cutting edge)에서는 圆弧切削부위만 남기고 副切刃(minor cutting edge)에서는 圆弧와 直線의 切削부위를 남기는 경우와 主切刃과 副切刃이 동시에 圆弧와 直線의 두부위를 남기는 경우가 있다.

Fig. 7-12를 확대하여 Fig. 7-13과 같이 나타낼 수 있으며, Fig. 7-12의 (a), (b), (c)는 각각 区間 I, II, III에 해당한다.

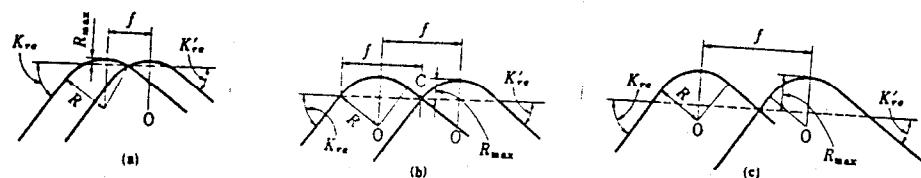


Fig. 7-12

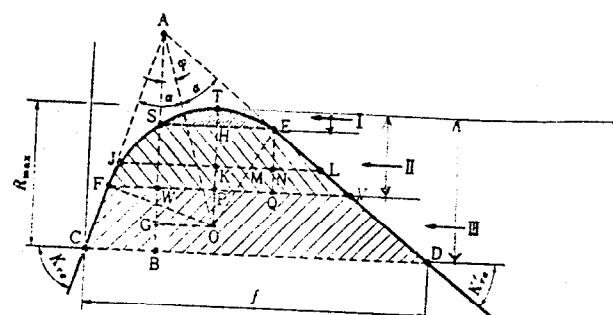


Fig. 7-13

$$1) \text{ I 区間 } \left(\frac{f}{2} \leq R \cdot \sin K'_{re} \right)$$

실제의 磨削에 있어서는 Fig. 7-12 (a), 즉 Fig. 7-13의 I區間에서와 같이 둥근 끝단의 副削부위를 남기는 것이 보통이다.

Fig. 7-14에서

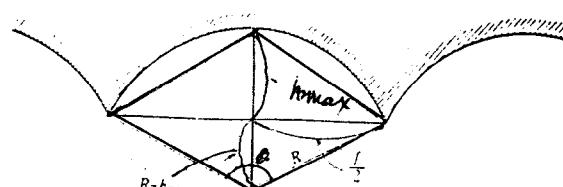


Fig. 7-14

$$\begin{aligned} \left(\frac{f}{2}\right)^2 + (R - h_{\max})^2 &= R^2 \\ \frac{f^2}{4} + R^2 - 2R \cdot h_{\max} + h_{\max}^2 &= R^2 \\ h_{\max}^2 - 2 \cdot R \cdot h_{\max} + \frac{f^2}{4} &= 0 \end{aligned}$$

$$* ax^2 + 2 \cdot b \cdot x + c = 0, \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{a}$$

$$h_{\max} (= R_{\max}) = R \rightarrow \sqrt{R^2 - \frac{f^2}{4}} = R - \sqrt{\frac{4R^2 - f^2}{4}} = R - \frac{1}{2}(4R^2 - f^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$* (a+b)^n = a^n + n a^{n-1} \cdot b + \frac{n(n-1)}{2!} a^{n-2} \cdot b^2 + \dots$$

$$h_{\max} (= R_{\max}) \doteq R - \frac{1}{2} [2R + \frac{1}{2} \cdot (4R)^{-\frac{1}{2}} (f^2)] = R - \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2R} \cdot f^2 \\ = \frac{f^2}{8R} \quad \dots (7-8)$$

또한

$$\textcircled{1} \text{의 사선부분의 면적} = \frac{1}{2} R^2 \cdot \theta, \quad \text{높이 } f \text{면}$$

$$\textcircled{2} \text{의 사선부분의 면적} = \frac{1}{2} (R - h_{\max})(f)$$

$$\therefore \textcircled{1} \text{의 사선부분의 면적} = \frac{1}{2} R^2 \cdot \theta - \frac{1}{2} (R - h_{\max}) \cdot f$$

Fig. 7-15에서 中心線의 定義에 의하여

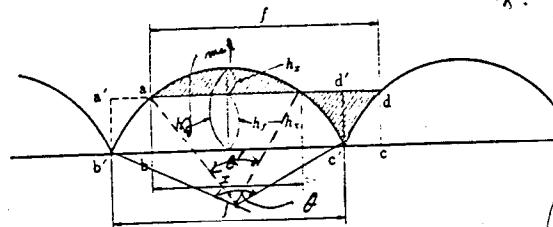
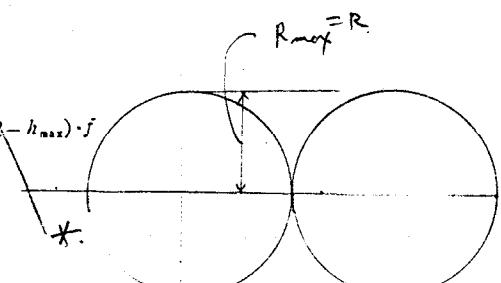


Fig. 7-15

전체 깊이 f 의 부분이
전체 깊이 f 에 절대의 차이가
없음. $R_{\max} \leq R$

$$\text{면적 } \text{[]} = \text{면적 } \nabla = \square a'b'c'd' - \text{면적 } \text{[]}$$

$$= \left(\frac{f^2}{8R} - \frac{x^2}{8R} \right) \cdot f - \text{면적 } \text{[]}$$

$$A_x = \text{면적 } \text{[]} = \frac{1}{2} R^2 \cdot \theta' - \frac{1}{2} (R - h_{\max}) \cdot x \\ = \frac{1}{2} R^2 \cdot 2 \sin^{-1} \frac{x}{2R} - \frac{1}{2} (R - \frac{x^2}{8R}) \cdot x$$

$$* \sin \frac{1}{2} \theta' = \frac{x}{R} = \frac{x}{2R}$$

$$\text{그런데, } \sin \frac{\theta}{2} = \frac{x}{R} = \frac{x}{2R} \quad \therefore \theta = 2 \sin^{-1} \frac{x}{2R}$$

→ No. 3

$$* \sin^2 x = x + \frac{1}{3!2} \cdot x^3 + \dots$$

$$\therefore A_x = \frac{1}{2} R^2 \times 2 \left[\frac{x}{2R} + \frac{1}{3!2} \left(\frac{x}{2R} \right)^3 \right] - \frac{1}{2} R \cdot x + \frac{x^3}{16R} = \frac{1}{12} \cdot \frac{x^3}{R}$$

$$\therefore \text{면적 } \text{[]} = \frac{f^3}{12R} - \frac{x^3}{12R}$$

$$\overline{R^2} \left[\frac{x}{2R} + \frac{x^3}{48R^3} \right] - \frac{1}{2} \cdot R \cdot x + \frac{x^3}{16R} = \frac{R \cdot x}{2} + \frac{x^3}{48R} - \frac{R \cdot x}{2} + \frac{x^3}{16R} = \frac{x^3}{48R} + \frac{3x^3}{48R} = \frac{4x^3}{48R} = \frac{x^3}{12R}$$

10.3

$$\begin{aligned} \therefore \frac{x^3}{12R} &= \left(\frac{f^2}{8R} - \frac{x^2}{8R} \right) \cdot f - \left(\frac{f^3}{12R} - \frac{x^3}{12R} \right) \\ \therefore \frac{f^3}{12R} + \frac{f \cdot x^2}{8R} &= \frac{f^3}{8R}, \quad \frac{f^2}{3} + \frac{x^2}{2} = \frac{f^2}{2}, \quad \frac{f^2}{6} = \frac{x^2}{2}, \quad x^2 = \frac{f^2}{3} \end{aligned}$$

$$\text{平均程度 } R_a = \frac{2 \cdot A_x}{f} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot \frac{x^3}{R} \right)}{f} = \frac{1}{6R} \cdot \frac{(\sqrt{\frac{1}{3}} \cdot f)^3}{f}$$

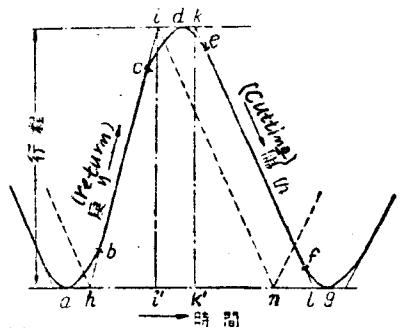
$$\therefore R_a = \frac{0.0321 f^2}{R} \quad (7-10)$$

T: table 1왕복에 요하는 시간, V_c : cutting 속도, V_r : return 속도, S : table 행정이라하면 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$T = \frac{S}{V_c} + \frac{S}{V_r} + c$$

$\frac{S}{V_c}$: cutting동안의 시간
 $\frac{S}{V_r}$: return 동안의 시간
 c : 정수

table의 왕복운동을 그림으로 나타내면 다음과 같다.



- a-b: a에서부터 출발하여 b점에서 V_r 의 속도로 된다.
- b-c: V_r 로 return한다.
- c-d: V_r 의 속도에서 점점 감소하여 d점에서 속도가 0이 된다.
- d-e: d점에서 속도가 점점 증가하여 e점에서 속도가 V_c 의 속도가 된다.
- e-f: V_c 의 속도로 cutting한다.
- f-g: 속도가 점점 감소하여 g점에서 0이 된다.

위의 그림에서 bc를 연장하여 hi' 로 하고, ef를 연장하여 $k'l'$ 로 하면

$$\frac{S}{V_r} : hi', \quad \frac{S}{V_c} : k'l' \text{ 이 되며 전체 왕복시간이 } ag \text{ 이므로 상수 } c \text{ 를 구해보면}$$

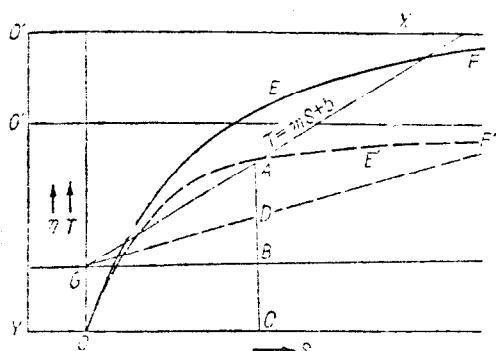
$c = ah + l'k' + lg$ 가된다. 이론적인 평삭기에서는 $c=0$ 이며, 왕복운동은 hin 의 날카로운 삼각형을 이룬다.

따라서 시간효율 μ 는

다음과 같이된다.

$$\mu = \frac{\frac{S}{V_c} + \frac{S}{V_r}}{\frac{S}{V_c} + \frac{S}{V_r} + c} \times 100\%$$

여기서 μ 와 S와의 관계가 다음그림의 직각쌍곡선으로 표시된다.



S가 크면 시간효율이 높다. 따라서 table을 길게, 절삭물을 종으로 길게놓고 절삭하면 좋다.

또 $\frac{S}{V_r}$ 는 비절삭시간이므로 순수절삭시간 효율 μ' 는 다음과 같다.

$$\mu' = \frac{\frac{S}{V_c}}{\frac{S}{V_c} + \frac{S}{V_r} + c} \times 100\%$$

결국 V_r 가 크면 효율이 크게 된다.

반대로 생각해서 S/V_r (return행정)의 시간에 절삭을 행하여 시간효율을 높이는 생각도 있다.

1) 공구대에 2개의 바이트를 설치하여 하나는 원래의 절삭과정에서, 다른하나는 return 과정에서 사용한다.

2) 하나의 바이트로 행정의 끝부분에서 180° 회전시켜 return과정에서 절삭한다.

그러나 어느쪽도 황삭이외에는 사용이 부적합하며 절삭력의 방향이 변화하기 때문에 공구를 견고하게 부착해야하며 거의 사용되지 않는다.

14-6 主軸의 對數級數速度列

主軸의 等比級數速度列이 工作機械設計에서 기초의 하나로서 工作機械設計를 과학적으로 하기 시작할 때 도입되어 等差級數速度列 대신 사용하게 되었다. 이 速度列은 많은 유럽 국가에서는 이제 표준화되어 있다.²⁰⁶⁾

等差級數速度列은 계속 일정한 數(公差 a)를 가산하여 主軸의 속도를 증가시키는 방법이다. 예를 들면 앞의 回轉數에 30 rpm을 계속 가산하여 가는 速度列이다.

等比級數速度列에서는 앞의 회전수에 어느 일정한 數(公比 ϕ)를 곱하여 각 段의 速度를 얻는 방법이며, 예로써 $\phi=1.44$ 라 하면 最低主軸回轉數가 10 rpm일 때 다음 표와 같은 速度列이 계산된다.

主軸回轉數 (rpm)	等差速度列	等比速度列	主軸回轉數 (rpm)	等差速度列	等比速度列
n_1	(10)	10	n_6	160	63.3
n_2	(40)	(14.4)	n_7	190	92
n_3	70	20.8	n_8	220	133
n_4	100	30.2	n_9	250	193
n_5	130	43.6	n_{10}	280	280

切削速度가 $v=65.6 \text{ ft/min}$ 일 때 等差級數와 等比級數에 대한 加工物의 直徑이 Table 90에 나와 있다. (경제절삭속도)

Table 90 $v=65.6 \text{ ft/min}$ 일 때 等差級數速度列과 等比級數速度列에 대한 직경의 비교

主軸回轉數	等差級數速度列		等比級數速度列	
	直徑 (in)	直徑의 差 (in)	直徑 (in)	直徑의 差 (in)
n_1	25		25	7.65
n_2	6.25	18.75	17.35	5.35
n_3	3.58	2.67	12.0	3.74
n_4	2.5	1.08	8.26	2.51
n_5	1.92	0.58	5.75	1.80
n_6	1.56	0.36	3.95	1.23
n_7	1.31	0.25	2.72	0.84
n_8	1.14	0.17	1.88	0.58
n_9	1.0	0.14	1.3	0.41
n_{10}	0.89	0.11	0.89	

$$V = \pi \cdot d \cdot n, d = \frac{V}{\pi \cdot n} = \frac{65.6 \times 12}{\pi \times 10} = 25(\text{in})$$

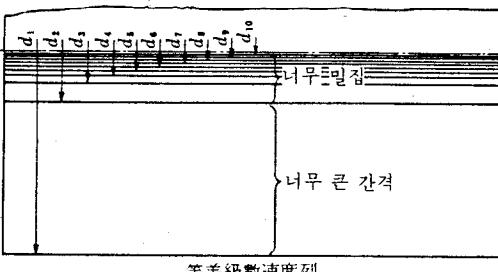
이와 같은 문제들을 연구하기 위하여 $n_1 = 10 \text{ rpm}$, $n_{10} = 280 \text{ rpm}$ 및 $v = 65.6 \text{ ft/min}$ 인 機械의 例로 돌아가 보자.

소기의 切削速度에서 切削할 수 있는 加工物 直徑의 간격이 얼마나 큰가를 조사하여 본다. 달리 표현하면 소기의 切削速度에서 切削이 이루어지기 위하여 얼마만큼의 材料를 제거하여야 하는가 하는 문제이다. Table 90은 等差速度列 및 等比速度列로, 이들에 대한 계산값이 나와 있다. 等差級數의 경우, 작은 加工物의 직경 0.89in에 대한 主軸의 속도를 쉽게 구할 수 있다(n_1 및 n_{10}). 직경 1.0in에 대하여도 切削速度는 근사적으로 65.6 ft/min이 되며, 直徑의 차는 겨우 0.11in이다. 소요 切削速度를 얻는 데 主軸速度의 他端에서는 직경의 差가 무려 18.75 in나 된다.

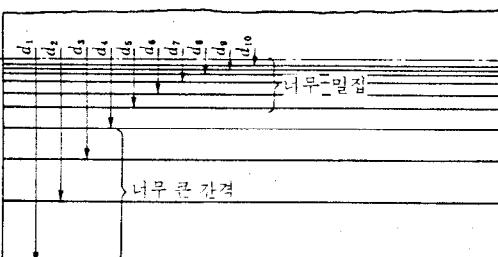
等比級數速度列을 취하면 사정은 크게 좋아진다. 切削速度를 65.6 ft/min으로 할 때 작은 直徑에서 直徑差가 0.41in이고 큰 直徑(n_2 와 n_1)에서는 直徑差가 7.65in로서 等差級數列의 18.75보다 좋은 상태이다.

그러나 兩者 어느 경우에도 主軸速度가 상당히 멀리 떨어져 있는 셈이다. 즉 等比級數速度列을 갖는 機械에서 全直徑 범위 17.35~25in에 걸쳐 65.6 ft/min의 절삭속도로 切削한다는 것은 불가능하며, 等差級數速度列을 갖는 機械에서도 6.25~25in의 직경의 전범위에 걸쳐 65.6 ft/min인 切削速度의 切削은 불가능하다.

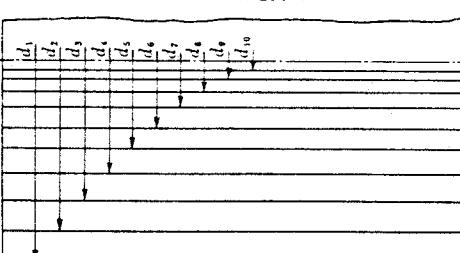
소요의 切削速度에 달하기 위한 물림깊이를 Fig. 257과 같이 軸(加工物)에 層을 그리어 표시하였다. 等差級數速度列에서는 速度配列이 아주 좋지 않고, 等比級數速度列에서는 速度配列이 잘 되어 있는 것을 볼 수 있다. 著者가 개발한 對數級數速度列에 대하여 지금부터 설명하고자 한다.



等差級數速度列



等比級數速度列



對數級數速度列

(10-2)

Fig. 257 각 速度列에서 주어진 切削速度로 切削하기 위한 加工物 直徑의 변화

p. 313 식 (5-15)

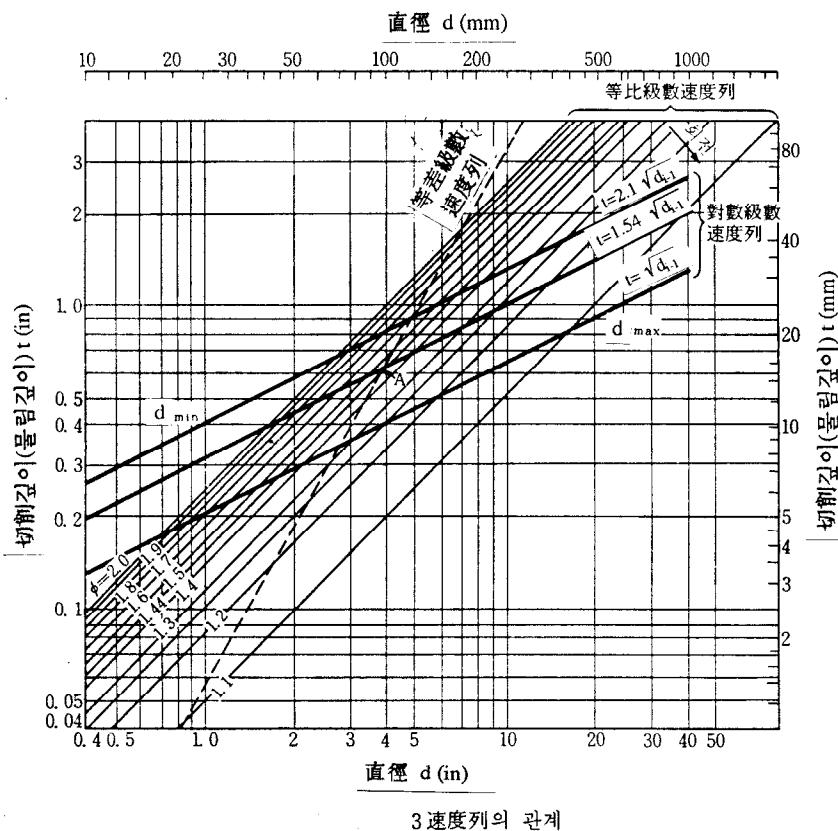
$$\text{그런데 } d_{i-1} = \frac{V_c}{\pi \cdot n_{i-1}}, \quad d_i = \frac{V_c}{\pi \cdot n_i} = \frac{V_c}{\pi \cdot n_{i-1} \cdot \phi} \quad \dots \dots \quad ②$$

∴ ①, ②에서

$$t = \frac{1}{2} \left(\frac{V_c}{\pi \cdot n_{i-1}} - \frac{V_c}{\pi \cdot n_{i-1} \cdot \phi} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_c}{\pi \cdot n_{i-1}} \left(1 - \frac{1}{\phi} \right)$$

직경감소량은

그림은 양대수방안지에 3가지 속도열에 의한 직경 d 와 물림깊이 t 의 관계를 나타낸 것이다.



등비급수 속도열에서 보는 바와 같이 직경이 작은 범위에서는 회전수를 너무나 자주 바꿀 수 있는 반면에, 직경이 큰 범위에서는 회전수 간격이 너무나 크다. 그리고 물림 깊이에 미치는 영향은 공비보다 직경의 영향이 큰 것도 알 수 있다. 각 속도단에 있어서 직경의 변화를 균등히 하기 위하여 등비급수 속도열 graph를 $t = C \cdot (d_{i-1})^{1/2}$ 되게 시계방향으로 회전시키면

의 관계식이 얻어진다.

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{에서}$$

$$d_{i-1} = \frac{1000 \times V_c}{\pi \cdot n_{i-1}} = \frac{1000 \times 40}{\pi \cdot n_{i-1}}, \quad d_i = \frac{1000 \times V_c}{\pi \cdot n_i} = \frac{1000 \times 40}{\pi \cdot n_i}$$

로 되며, $d_{i-1} - d_i = 2 \cdot C\sqrt{d_{i-1}}$ 에 대입하면

$$\frac{1000 \times 40}{\pi \cdot n_{i-1}} - \frac{1000 \times 40}{\pi \cdot n_i} = 2 \cdot C \sqrt{\frac{1000 \times 40}{\pi \cdot n_{i-1}}}$$

$$\frac{40000}{\pi} \left(\frac{1}{n_{i-1}} - \frac{1}{n_i} \right) = 2 \cdot C \sqrt{\frac{40000}{\pi}} \sqrt{\frac{1}{n_{i-1}}}$$

$$\frac{40000}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi}{40000}} \left(\frac{1}{n_{i-1}} - \frac{1}{n_i} \right) = C \sqrt{\frac{1}{n_{i-1}}}$$

$$56.42 \left(\frac{1}{n_{i-1}} - \frac{1}{n_i} \right) = C \sqrt{\frac{1}{n_{i-1}}}$$

단, $i = 2 \sim 10$

$$i=2 \text{ 일때} \quad 56.42 \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) = C \sqrt{\frac{1}{n_1}}$$

$$56.42 \left(\frac{1}{20} - \frac{1}{n_2} \right) = C \sqrt{\frac{1}{n_1}}$$

$$\left(\frac{1}{20} - \frac{1}{n_2} \right) = C\sqrt{\frac{1}{n_1}} / 56.42$$

$$-\frac{1}{n_2} = (C\sqrt{\frac{1}{n_1}} / 56.42) - \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{n_2} = -\frac{1}{20} - \left(C \sqrt{\frac{1}{n_1}} / 56.42 \right)$$

$$\therefore n_2 = \frac{1}{\frac{1}{20} - (C\sqrt{\frac{1}{20}} / 56.42)}$$

이와같이 계속 n_3, \dots, n_{10} 의 식을 구하고 $n_{10} = 560(\text{rpm})$ 으로 놓아 C를 계산한다.
 $n_1=20, n_2=n_3=n_4=n_5=n_6=n_7=n_8=n_9=n_{10}=560$ 로 되어 식 10개,
미지수 $n_2 \sim n_9$, C로 9개 이므로 연립방정식의 해를 구할 수 있음.
그러나, 식의 전개가 너무나 복잡하여 $C = 2.00 \sim 2.09$ 까지 대입하여 표를 만들고 비례
식으로 C를 계산한다.

조건 $V_c = 40\text{m/min}, n_1 = 20\text{rpm}, n_{10} = 560\text{rpm}$ 일 때,

$$56.42 \left(\frac{1}{n_{i-1}} - \frac{1}{n_i} \right) = C \sqrt{\frac{1}{n_{i-1}}}$$

단, $i = 2 \sim 10$

위 식에서 상수 C를 2.00으로 하고 $i=2, i=3, i=4, i=5, i=6, i=7, i=8, i=9, i=10$ 을
차례로 구한다.

$$\left. \begin{aligned} i=2 \text{ 일때} & \quad \left. \begin{aligned} 56.42 \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) &= C \sqrt{\frac{1}{n_1}} \\ 56.42 \left(\frac{1}{20} - \frac{1}{n_2} \right) &= C \sqrt{\frac{1}{20}} \\ \left(\frac{1}{20} - \frac{1}{n_2} \right) &= C \sqrt{\frac{1}{20}} / 56.42 \\ -\frac{1}{n_2} &= (C \sqrt{\frac{1}{20}} / 56.42) - \frac{1}{20} \\ \frac{1}{n_2} &= \frac{1}{20} - (C \sqrt{\frac{1}{20}} / 56.42) \end{aligned} \right\} \\ \therefore n_2 &= \frac{1}{\frac{1}{20} - (C \sqrt{\frac{1}{20}} / 56.42)} \\ n_2 &= \frac{1}{\frac{1}{20} - (2.00 \sqrt{\frac{1}{20}} / 56.42)} \end{aligned} \right.$$

$$n_2 = 23.77$$

(10-5)

$$\left. \begin{aligned}
 i=3 \text{ 일때} \quad & 56.42 \left(\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_3} \right) = C \sqrt{\frac{1}{n_2}} \\
 & 56.42 \left(\frac{1}{23.77} - \frac{1}{n_3} \right) = C \sqrt{\frac{1}{23.77}} \\
 & \left(\frac{1}{23.77} - \frac{1}{n_3} \right) = C \sqrt{\frac{1}{23.77}} / 56.42 \\
 & -\frac{1}{n_3} = (C \sqrt{\frac{1}{23.77}} / 56.42) - \frac{1}{23.77} \\
 & \frac{1}{n_3} = \frac{1}{23.77} - (C \sqrt{\frac{1}{23.77}} / 56.42) \\
 \therefore n_3 &= \frac{1}{\frac{1}{23.77} - (C \sqrt{\frac{1}{23.77}} / 56.42)} \\
 n_3 &= \frac{1}{\frac{1}{23.77} - (2.00 \sqrt{\frac{1}{23.77}} / 56.42)}
 \end{aligned} \right\}$$

$$n_3 = 28.73$$

이와같이 계속 n_4, \dots, n_{10} 의 식을 구한다.

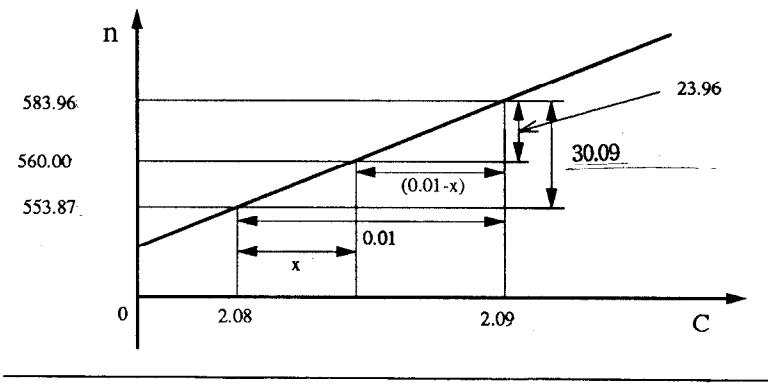
그리고 계속하여 상수 C를 2.01~2.09까지 rpm이 560이 될때까지 변화시키면서 같은 방법으로 구한다.

구해진 값은 아래 표와 같다.

Trial for Coefficient

상수 C	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}
2.00	20.00	23.77	28.73	35.47	44.97	58.99	81.06	119.06	194.16	383.74
2.01	:	:	:	:	:	:	:	:	:	399.92
2.02	:	:	:	:	:	:	:	:	:	417.27
2.03	:	:	:	:	:	:	:	:	:	435.89
2.04	:	:	:	:	:	:	:	:	:	455.94
2.05	:	:	:	:	:	:	:	:	:	477.56
2.06	:	:	:	:	:	:	:	:	:	500.94
2.07	:	:	:	:	:	:	:	:	:	526.30
2.08	20.00	23.95	29.22	36.49	46.95	62.82	88.75	135.97	238.49	553.87
2.09	20.00	23.97	29.28	36.62	47.21	63.32	89.79	138.35	245.19	583.96

← 560



$$0.01 : (0.01 - x) = 30.09 : 23.96$$

$$\therefore 30.09(0.01 - x) = 23.96 \times 0.01$$

$$0.01 - x = \frac{23.96 \times 0.01}{30.09}$$

$$\therefore x = 0.01 - \frac{23.96 \times 0.01}{30.09}$$

$$= 0.00203722$$

$$\approx 0.002$$

$$\therefore C = 2.08 + 0.002$$

$$= 2.082$$

p. 313 Fig. 5-7

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{에서 } d = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot n}$$

i	n	d	
	20.00	636.62	20.0
2	23.95	531.55	24.0
3	29.23	435.54	29.3
4	35.62	348.64	36.5
5	47.00	270.88	47.1
6	62.92	202.35	63.0
7	88.97	143.11	89.0
8	136.47	93.30	137.0
9	239.90	53.07	241.0
10	560.00	22.74	560.0

$$d_1 = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot n_1} = \frac{1000 \times 40}{\pi \times 20} = 636.62$$

$$d_{2-1} - d_2 = 2 \times 2.08 \sqrt{d_{2-1}}$$

$$636.62 - d_2 = 2 \times 2.08 \sqrt{636.62} \\ = 104.9$$

$$\therefore d_2 = 531.55$$

$$\therefore n_2 = \frac{1000 \times V_c}{\pi \cdot d_2} = \frac{1000 \times 40}{\pi \times 531.55} = 23.9$$

같은 방법으로 d_3 을 구하고 n_3, d_4 를 구한 후

n_4, \dots 의 순으로 n_i 를 계산한다.

$$d_{10} = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot n_{10}} = \frac{1000 \times 40}{\pi \times 560} = 22.74$$

위의 Table에 의하여 Fig.5-7의 graph를 얻는다.

(10-8)

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \quad & (n_1, n_1\phi, n_1\phi^2, n_1\phi^3, \dots, n_1\phi^{i-1}, \dots) \times \phi^y \\ & = n_1\phi^y, n_1\phi^{1+y}, n_1\phi^{2+y}, n_1\phi^{3+y}, n_1\phi^{4+y}, \dots, n_1\phi^{(i-1)+y}, \dots \end{aligned}$$

$$\textcircled{2} \quad n_1, n_1\phi, n_1\phi^2, n_1\phi^3, n_1\phi^4, n_1\phi^5$$

$$\begin{array}{c} \boxed{n_1} \rightarrow \boxed{n_1\phi^2} \rightarrow \boxed{n_1\phi^5} \\ n_1\phi^2 \\ \hline \frac{n_1\phi^5}{n_1\phi^2} = \phi^3 \end{array}$$

즉 3번째를 택하면 공비는 ϕ 의 3차승이 된다.

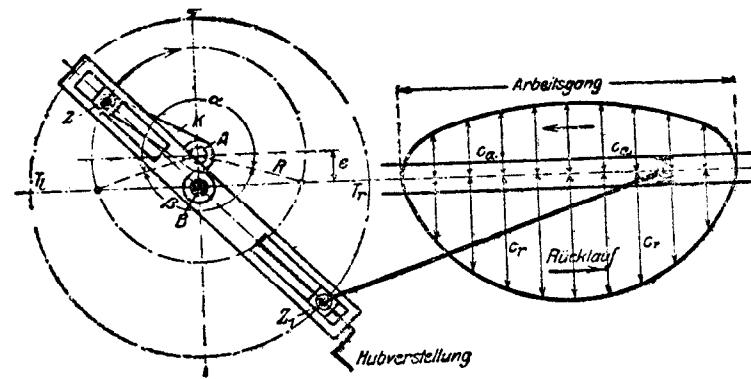
$$* \quad n_1\phi^{x-1}, \dots, n_1\phi^{2x-1}$$

$$\boxed{\text{공비 } \phi^{(2x-1)-(x-1)} = \phi^x}$$

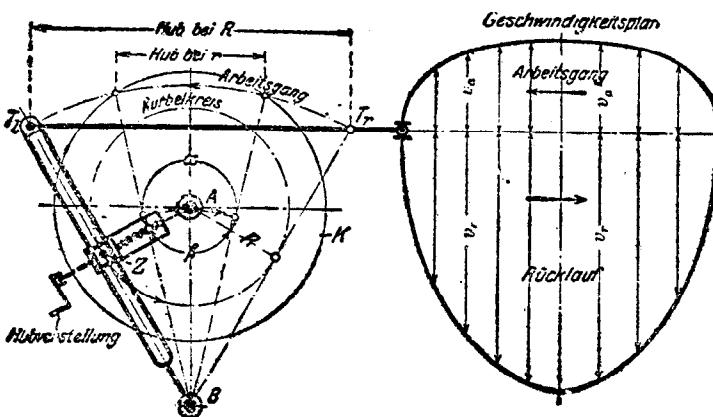
$$\textcircled{3} \quad n_1, n_1\phi, n_1\phi^2, n_1\phi^3, \dots : \text{공비 } \phi$$

$$c \cdot n_1, c \cdot n_1\phi, c \cdot n_1\phi^2, c \cdot n_1\phi^3, \dots : \text{공비 } \phi$$

④ Table 5-2 또는 Table 5-4 를 이용하여 설명



회전활자 회전기구(p.367참조)



요동활자 회전기구(p.367참조)

P. 321 下에서 6行



10회전/stroke 라면

20회전/왕복

∴ 회전축의 회전수는 왕복회수

의 20배

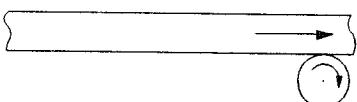


10.5회전/stroke 라면

21회전/왕복

∴ 회전축의 회전수는 왕복회수

의 21배



10.3회전/stroke 라면

20.6회전/왕복

∴ 회전축의 회전수는 왕복회수

의 20.6배

P. 325 上에서 2~4行

milling에서 uncut chip 두께를 조정하기 위하여는 주축회전수를 변화시키는 방법(이송 속도 일정)과 이송속도를 변화시키는 방법(주축회전수 일정)이 있다.

$$\text{주축의 동력} = \text{절삭 저항} \times \text{절삭 속도}$$

$$\text{이송기구의 동력} = \text{절삭 저항} \times \text{이송 속도}$$

에서

$$\text{주축의 동력} \gg \text{이송기구의 동력}$$

의 관계에 있으므로 uncut chip 두께를 변화시킬 때 이송구동의 정지 및 구동시키는 것이 관성에 의한 동력 손실이 적을 것이다.

P. 327 上 6行

$$d_1, d_2 = \frac{d_1}{\psi}, d_3 = \frac{d_2}{\psi} = \frac{d_1}{\psi^2}, \dots, d_z = \frac{d_1}{\psi^{z-1}} \text{ 에서}$$

$$\psi = \sqrt[z-1]{\frac{d_1}{d_z}}$$

P.335 上 3~4行

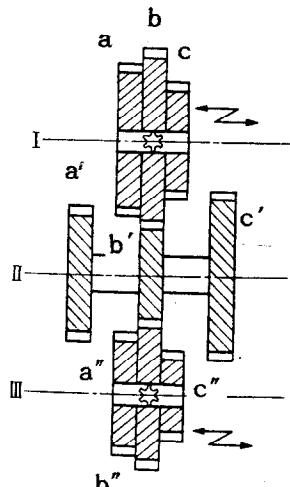


Fig. 5-22 3단 2조 변속 gear 열

$$\left. \begin{array}{l} ① \quad \frac{a}{a'} = u_1, \quad \frac{b}{b'} = u_2 \\ \frac{a''}{a'} = u_1', \quad \frac{b''}{b'} = u_2' \\ a + a' = b + b' \\ a' + a'' = b' + b'' \end{array} \right\}$$

단, u_1, u_2, u_1', u_2' 는 기지수

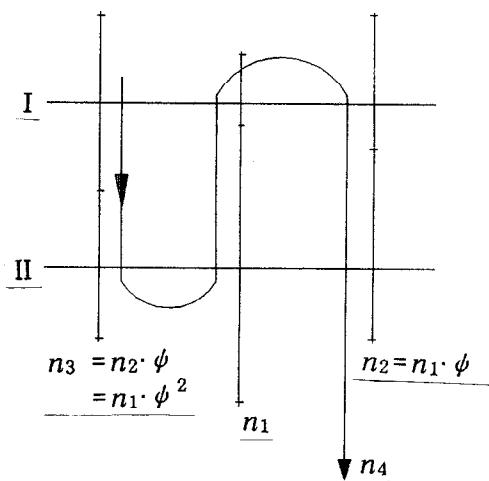
미지수 6개, 방정식
수 6개 이므로 a, a', b, b', a'', b'' 을
구할 수 있다.

$$\left. \begin{array}{l} ② \quad c + c' = 상수 \\ (\text{①에서 결정됨}) \end{array} \right\} \text{에서 } c, c' \text{ 을 구한다.}$$

$$\frac{c}{c'} = u_3$$

③ $c' + c'' =$ 상수(①에서 결정됨) 이므로 c'' 가 정해지나 $\frac{c'}{c''} = u_3$ 와는 무관하다.

P.335 下에서 1~ P.336 上 1行



1. n_1, n_2, n_3 는 구속없이 등비급수 속도열을 택할 수 있다.

$$2. \quad n_4 = n_3 \cdot \frac{1}{n_1} \cdot n_2 = n_1 \cdot \psi^2 \cdot \frac{1}{n_1} \cdot n_1 \cdot \psi = n_1 \cdot \psi^3$$

$$\therefore n_1, n_2 = n_1 \cdot \psi, \quad n_3 = n_2 \cdot \psi = n_1 \cdot \psi^2,$$

$n_4 = n_1 \cdot \psi^3$ 로서 등비급수 속도열이 된다

P.337 上에서 1行

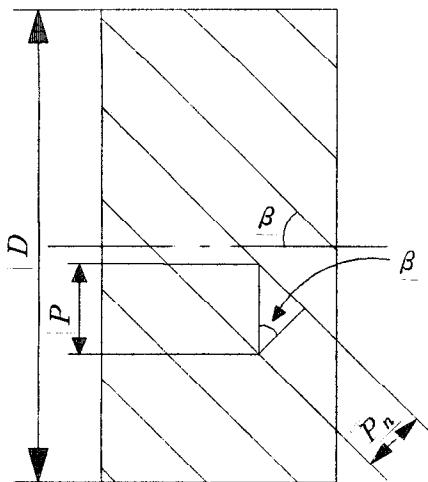
i_1, i_2, \dots, i_6 는 n_1, n_2, \dots, n_6 를 I축의 회전수 n_0 로 나눈 값이므로 n_1, n_2, \dots, n_6 가 등비
급수 속도열(공비 ϕ)이라면 i_1, i_2, \dots, i_6 도 등비급수 속도열(공비 ϕ)이 된다.

P.337 上에서 3行 式(5-68)

$\frac{i_2}{i_1} = \frac{i_3}{i_2} = \frac{i_4}{i_3} = \frac{i_5}{i_4} = \frac{i_6}{i_5} = \phi$ 이므로 $\frac{u_2}{u_1} = \frac{u_3}{u_2} = \phi$ 가 되어 최종 회전수가 등비급수열
이 되기 위해서는 부분속도비 u_1, u_2, u_3, u_4 가 등비급수 속도열이 되어야 한다.

P. 343 식(5-81)

$$\frac{\pi \cdot D}{Z} = P \text{ 에서 } \frac{D}{Z} = \frac{P}{\pi} = m(\text{module}) \text{ 에서 1쌍의 gear가 맞물리려면 pitch가 같아야 한다. } P \text{가 정해지면 tooth의 size를 나타내는 module이 정해진다.}$$



왼쪽 그림에서 D: pitch원의 직경, P: 축직각pitch, P_n : 치직각 pitch 이다.

$$m = \frac{P}{\pi} = \frac{P_n}{\pi \cdot \cos \beta} = \frac{P_n}{\pi} \cdot \frac{1}{\cos \beta} = \frac{m_n}{\cos \beta}$$

$$(\frac{P_n}{P} = \cos \beta \text{에서 } P = \frac{P_n}{\cos \beta})$$

로 되며, 이것을 식(5-75)의 m 및 식(5-79)의 m_i 에 대입하면 식(5-81)이 얻어진다.

단, 첨자 i 는 나선각이 상이할 때이므로 식의 도입과정에서는 표시하지 않고, 최종식에 붙여도 된다.

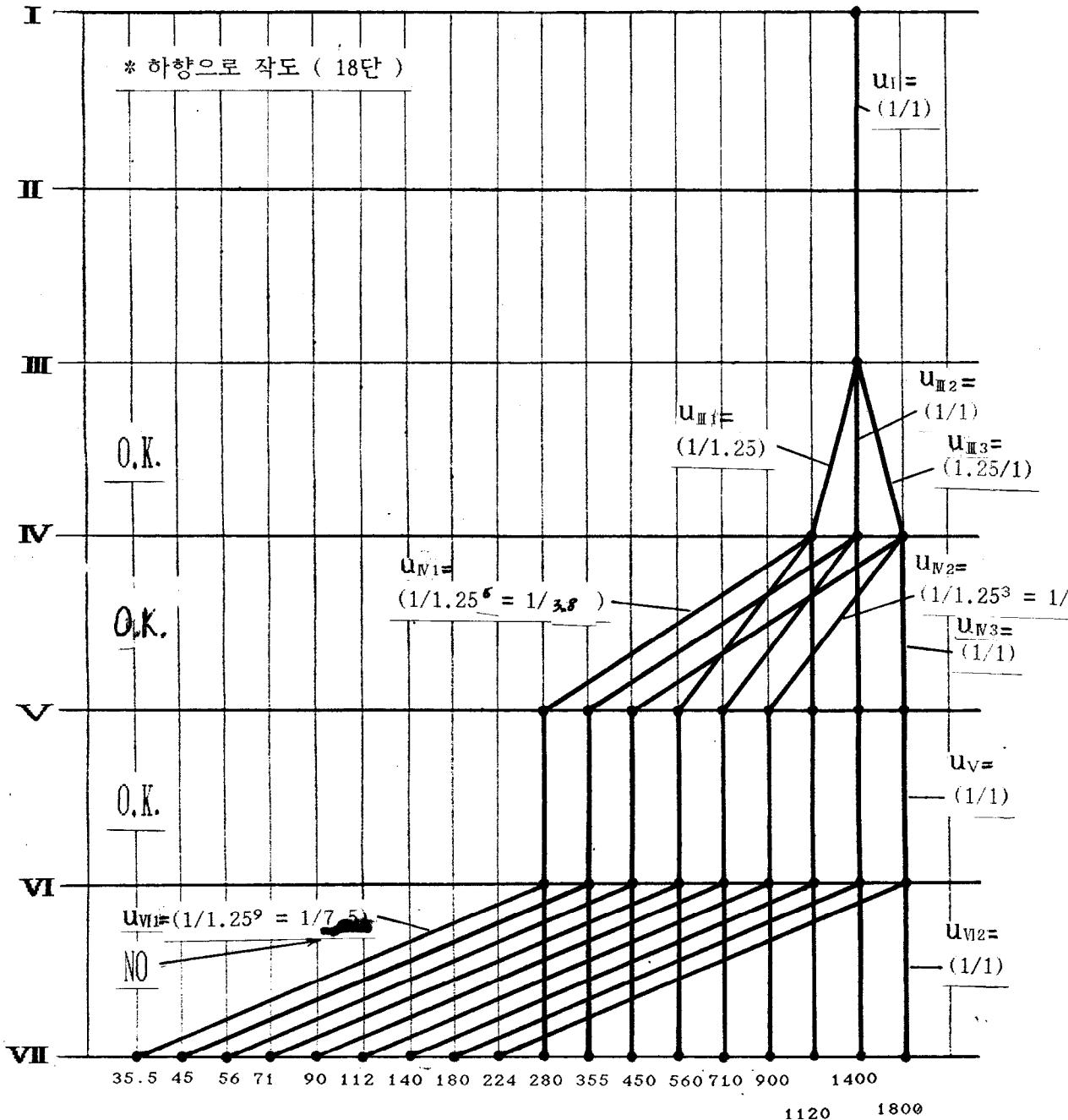
P. 343 Table. 5-7

齒數의 습은 고려하지 않고 정해진 속도비에 맞는 gear의 조합만을 표시한 것이다.
(Fig. 5-16)

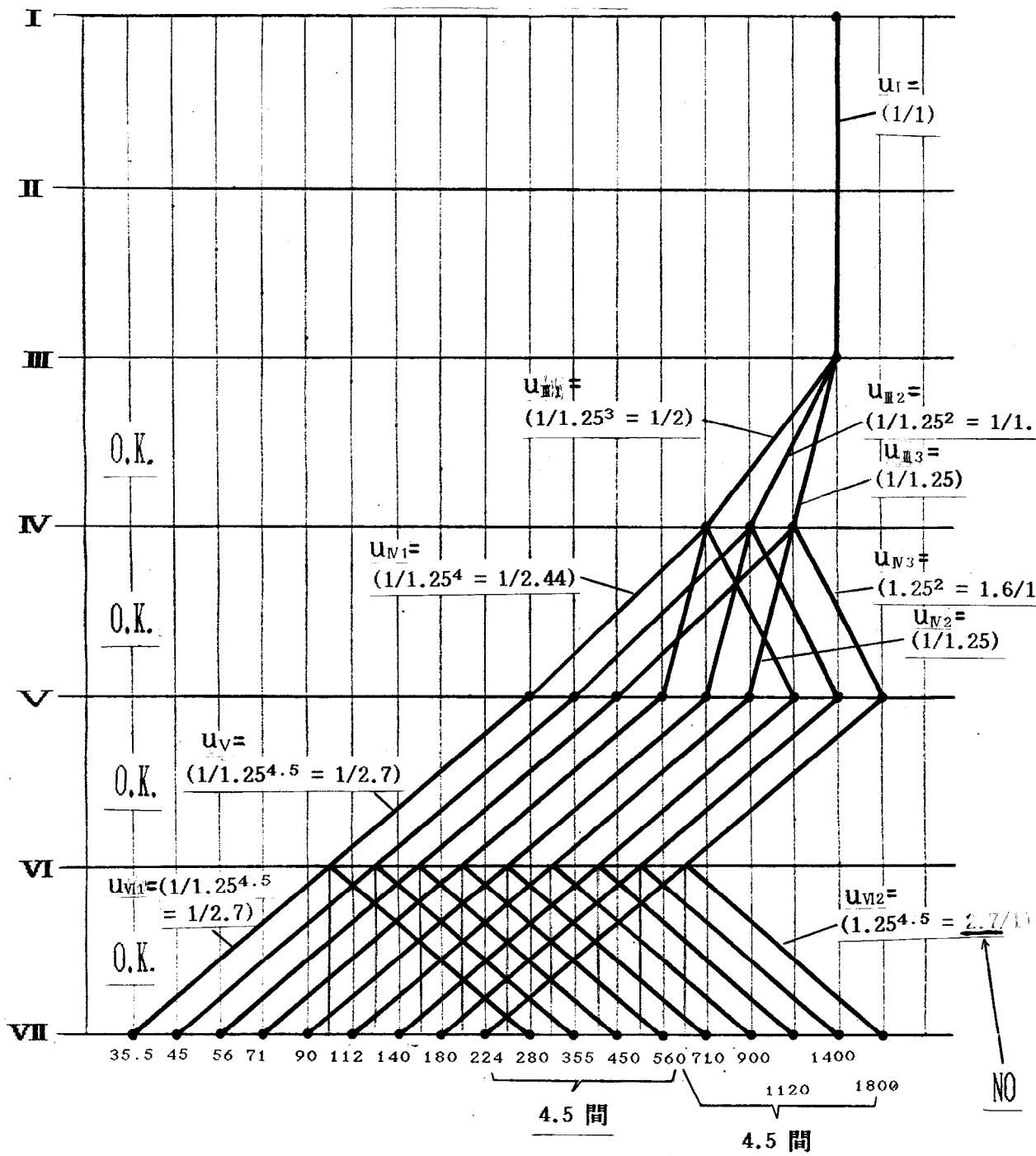
P. 344 Table. 5-8

속도비와 齒數合(축간 거리가 일정하므로)을 동시에 만족하는 gear쌍을 표시한다.

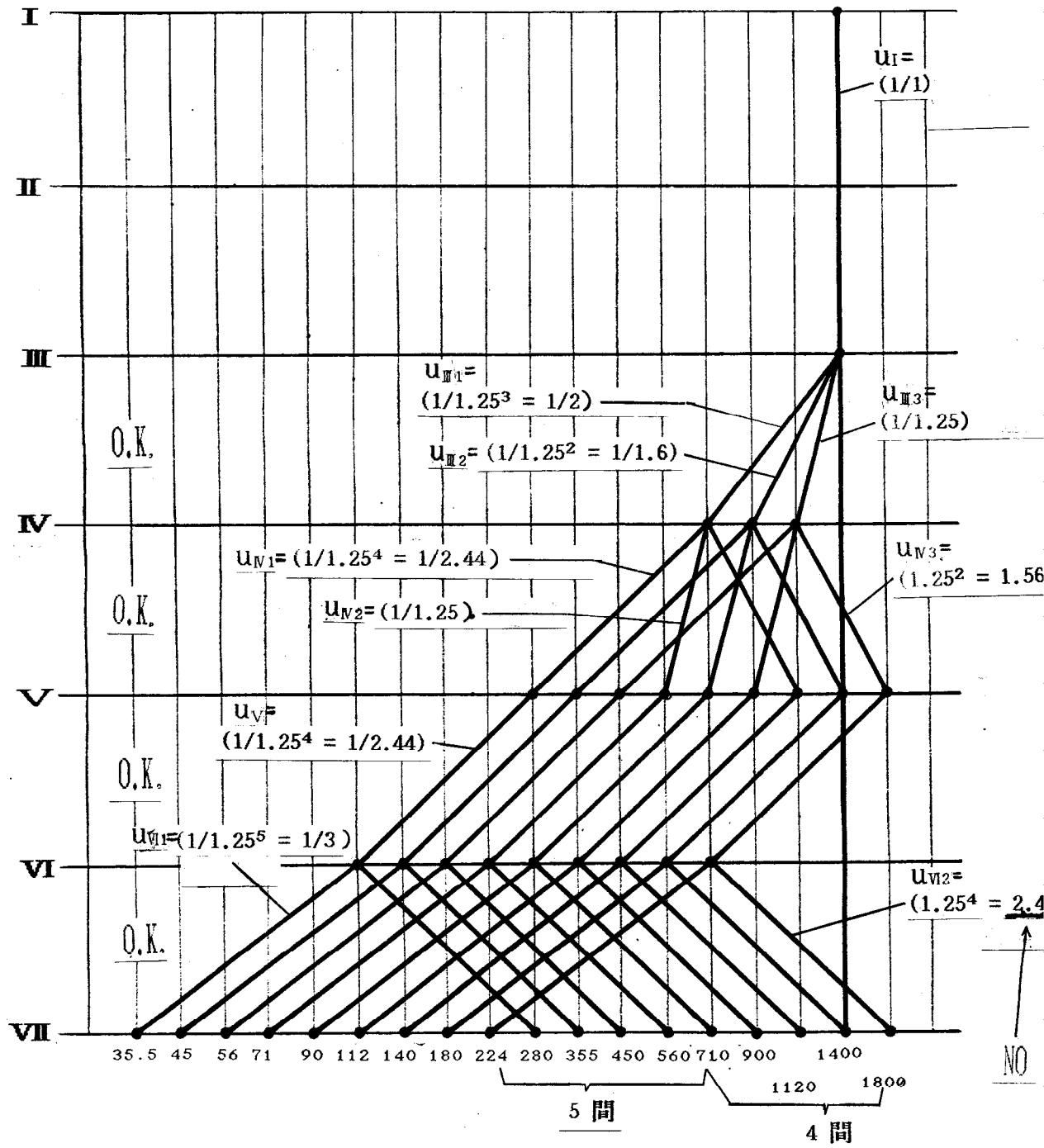
($1/4 \leq u_i \leq 2/1$) * P. 337 식(5-67)참조



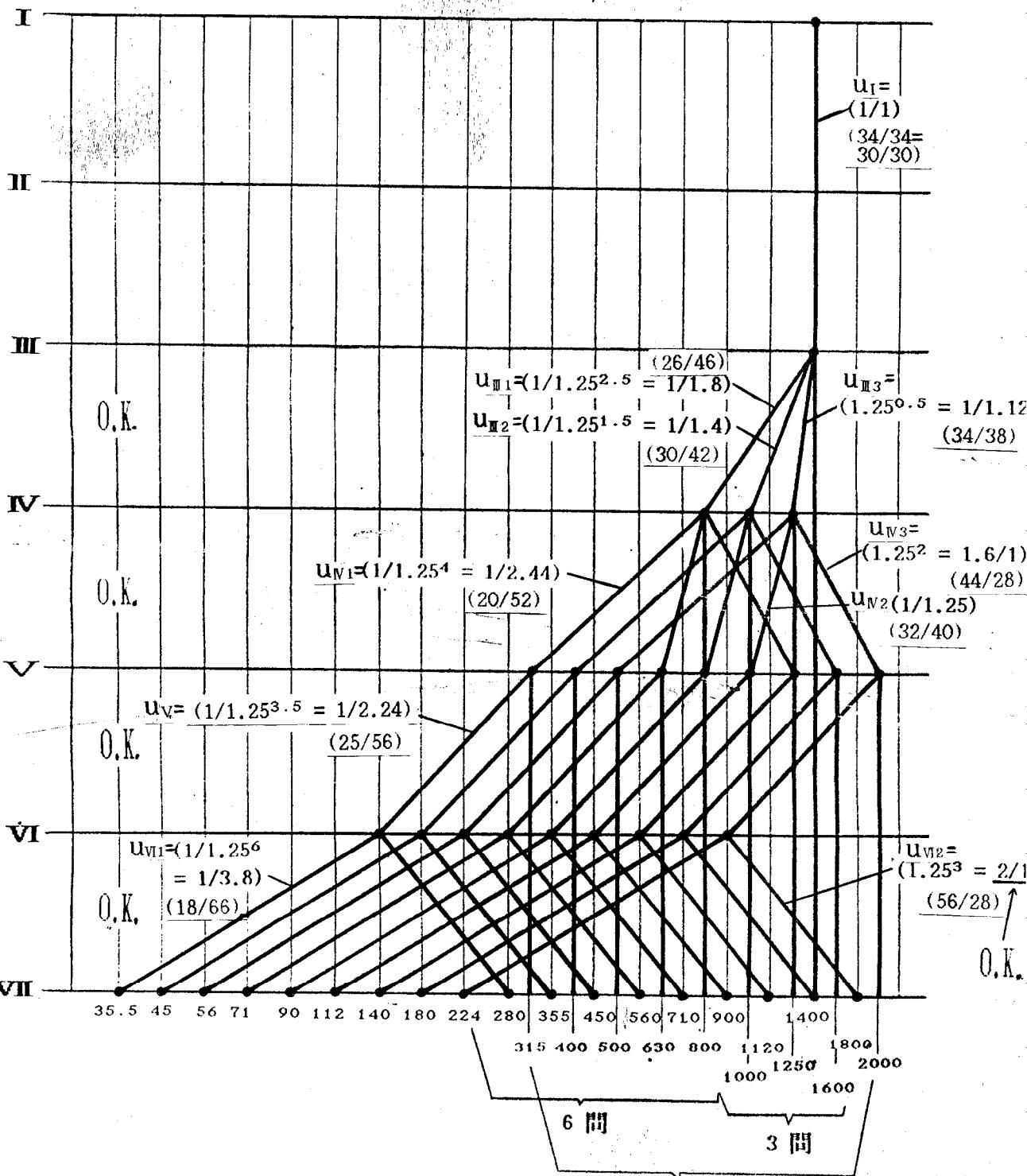
$$(1/4 \leq u_i \leq 2/1)$$



$$(1/4 \leq u_i \leq 2/1)$$

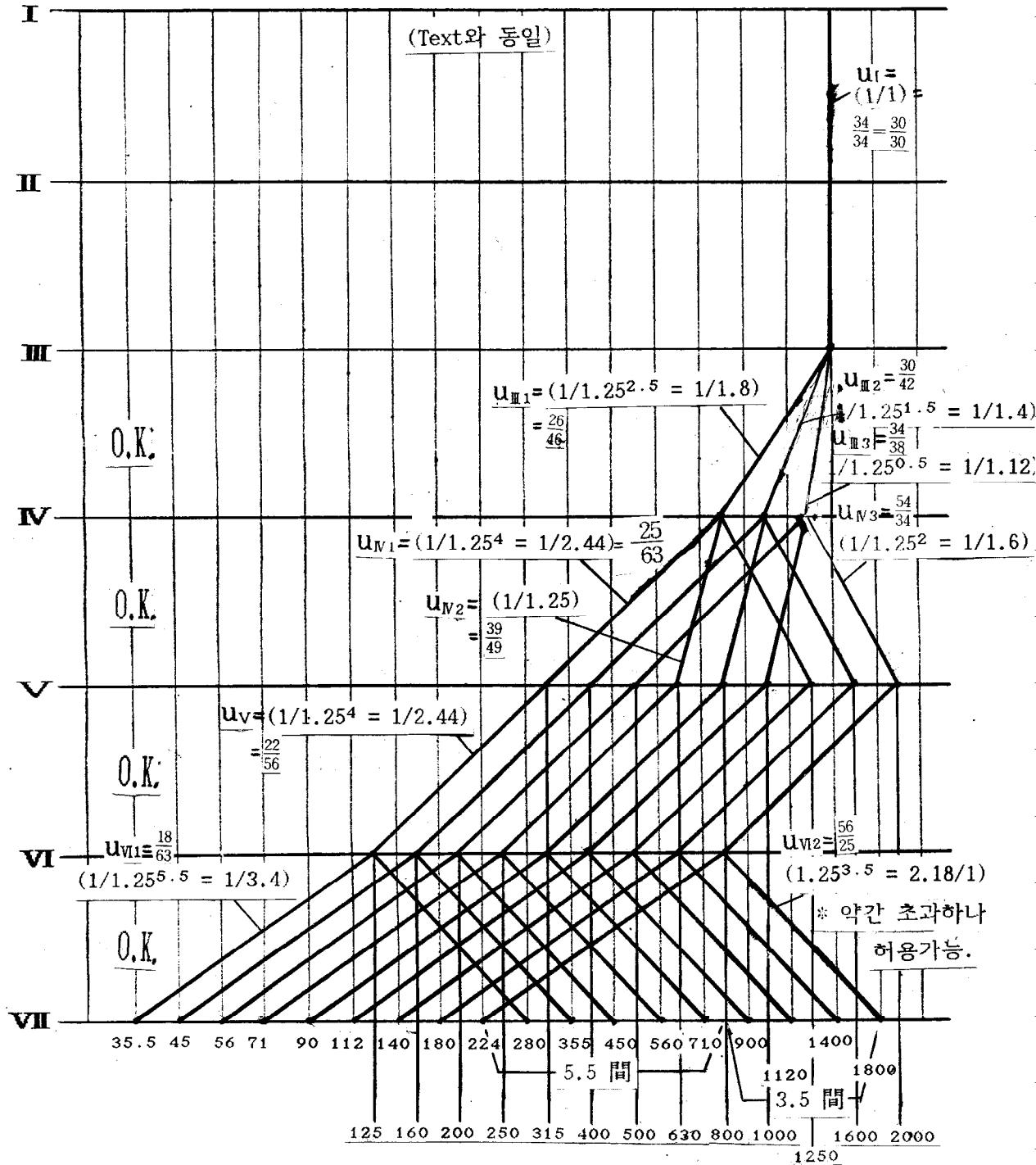


$$(1/4 \leq u_i \leq 2/1)$$



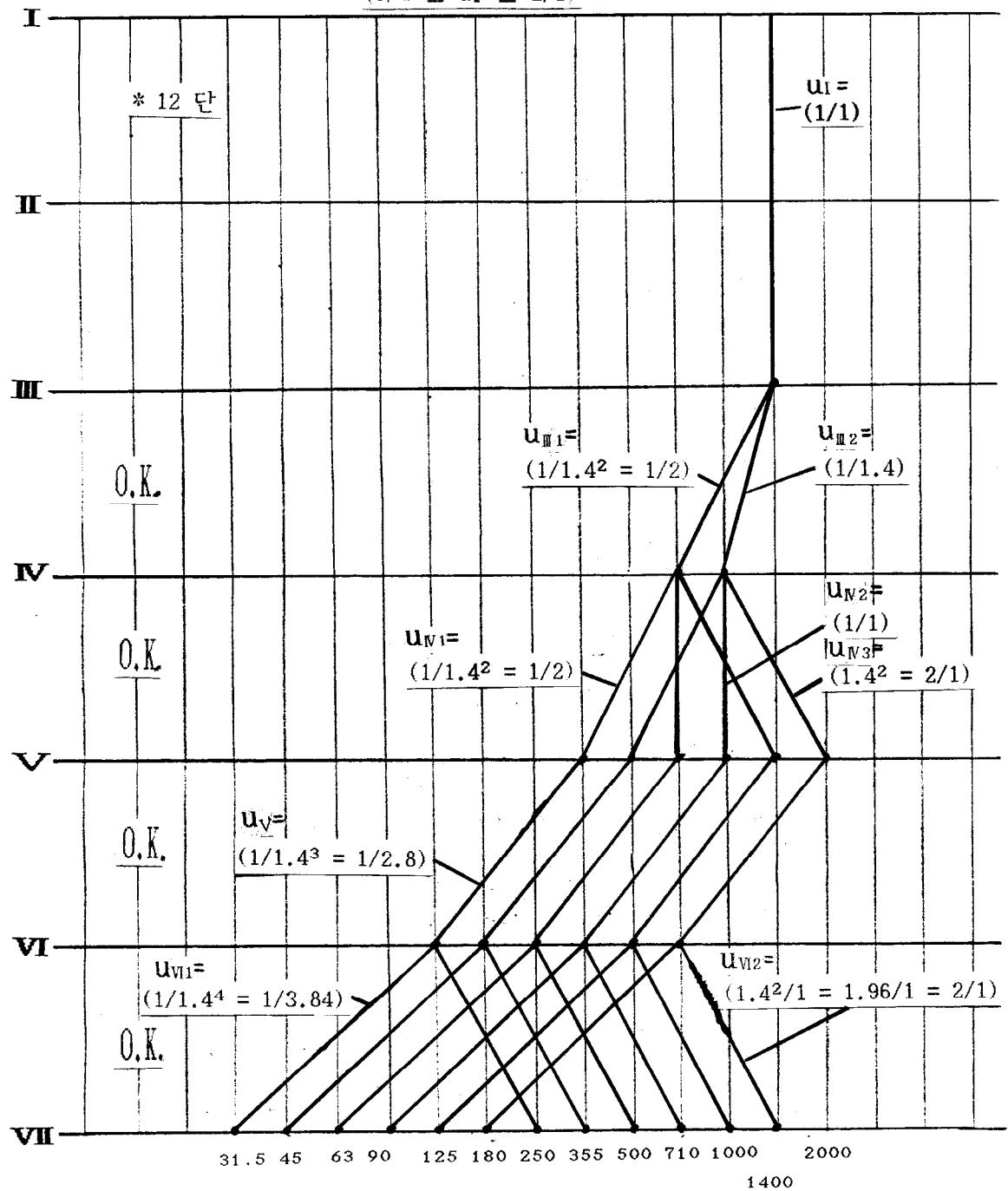
* 제 2의 등비급수 속도열을 얻을수 있다
(14-4)

$$(1/4 \leq u_i \leq 2/1)$$

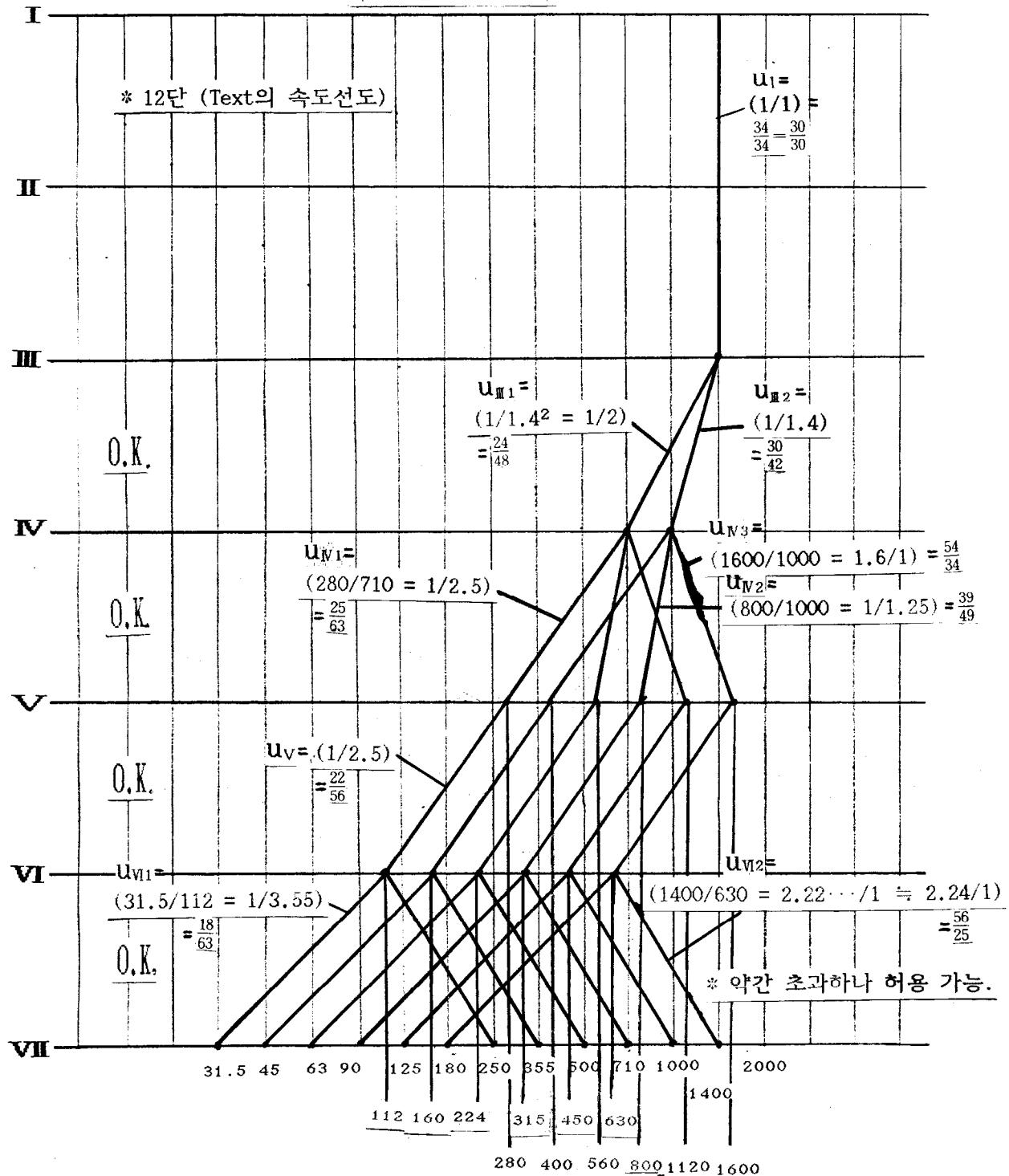


* 제 2의 등비급수 속도범위가 (14-4)의 것보다 확대 되었음.

$$(1/4 \leq u_i \leq 2/1)$$



$$(1/4 \leq u_i \leq 2/1)$$



* 소수 gear만 교체하면 또 다른 속도를 얻을 수 있는데 관점은 두고 수평선상의 속도점을 어긋나게 하였음.

Table 5-9

구동 gear 단수	입력속도	총전달비	출력속도	표준속도	정확지	정확지에 대한 편차
	[rpm]	$u_{III} \cdot u_N \cdot u_V \cdot u_{VI}$	[rpm]	[rpm]	[rpm]	(%)
		$\frac{26}{46} \cdot \frac{25}{63} \cdot \frac{22}{56} \cdot \frac{18}{63}$	35.2	35.5	35.481	-0.8

p. 320 Table 5-4의 값

실제 gear 齒數에 의한 계산값

속도비에 의한 계산값

(例)

$$1400 \times \left(\frac{26}{46} \times \frac{25}{63} \times \frac{22}{56} \times \frac{18}{63} \right) \div 35.2$$

$$\frac{35.2 - 35.481}{35.481} = -0.702\% \approx -0.8\%$$

P.355 <1-2-2>의 보충

- CNC 공작기계의 主軸變速

1. 주축회전과 motor

범용선반에서는 3相交流를 사용하나 CNC 선반에서는 직류 motor가 사용된다. DC motor를 사용하면 다음과 같은 점이 유리하다.

(1) Fig. 1과 같이 DC motor는 torque 一定특성과 一定出力특성이 있어서 주축회전수의 범위를 넓게 변화시킬 수가 있다.

DC motor의 특성은 Fig. 1과 같이 회전수가 증가함에 따라 출력이 증가하는 torque 一定領域과 회전수가 변하여도 출력이 일정한 출력일정영역이 있다. torque 일정영역에서는 界磁電流를 일정하게 하여 電機子電壓을 변화시켜 回轉數를 제어(電壓제어법)하고 출력일정영역에서는 電機子電壓을 일정하게 하여 界磁電流를 변화시켜 회전수를 제어(界磁제어법)한다. 계자제어법으로는 회전수의 변화폭은 1:3~4정도이다. 전압제어법을 병용하면 1:20~30까지 제어가 가능하다.

(2) 절삭속도(원주속도)를 일정하게 절삭할 수 있으므로 가공면의 표면거칠기를 향상시킬 수가 있고 또한 절삭속도를 임의로 선정할 수가 있다. 따라서 직경차가 큰 공작물(단면절삭가공 등)도 경제절삭속도에서 계속 절삭할 수 있다.

(3) 회전중에도 회전수변화를 신속히 할 수 있고, 가속시에는 정격전류의 2배 이상의 전류를 보내어 가속시키고, 정지시에는 rotor가 발전기가 되도록 회로를 반대로 바꾸어 주고 발전에너지를 brake로써 사용한다. 주축의 회전수는 headstock의 热變位에 의한 精度변화를 충분히 고려하여야 한다. Headstock의 온도상승을 방지하기 위하여 냉각수를 사용하는 방법, 특수 윤활방식을 채택하는 방법이 있다.

2. G50 mode에서 지령

G50의 기능은 좌표계 설정과 주축 최고회전수 설정의 두 기능이 있으나, 본 내용에서는 후자만을 이용한다. S로 지정한 수치는 분당 최고회전수 설정을 의미한다.

예로서 G50 S3000은 주축의 최고회전수가 3000rpm이라는 표시이다.

주속일정 제어기능을 사용한 프로그램에서는 3000rpm 이상 회전을 하지 않는다. 여기서 G50에서 S 기능이 필요한 이유를 설명하기로 한다.

Fig. 2와 같이 가공을 하는 데 있어서 G96(주속일정제어) S120으로 단면절삭한다면 절삭 속도가 120m/min이므로 주축회전수는

bite가 P₁점에 있을 때

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot N}{1000} \rightarrow N = \frac{1000}{\pi \cdot d} \cdot V \text{ 에서}$$

$$N_{\min} = \frac{1000 \times 120}{3.14 \times 100} = 382 \text{ rpm}$$

bite가 P₂점에 있을 때

$$N_{\max} = \frac{1000 \times 120}{3.14 \times 30} = 1273 \text{ rpm} \text{ 으로서}$$

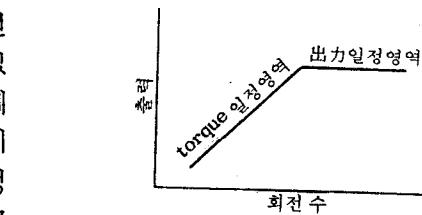


Fig. 1 Motor의 특성

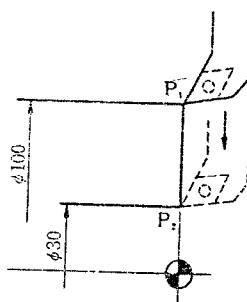


Fig. 2

절삭속도
계산의 예

주축의 회전수는 382rpm에서 1273rpm까지 자동적으로 변화를 하게된다. 회전수가 너무 높아지면 chuck의 원심력 등으로 위험을 초래한다. 따라서 S는 공작물의 상태, chucking 상태에 의해서 경험과 실험적으로 결정해야 한다. 따라서 Fig.3과 같은 主軸出力線圖를 참고하여 필요한 주축의 회전수 및 절삭 출력을 고려하여 주축의 속도영역을 선택한다.

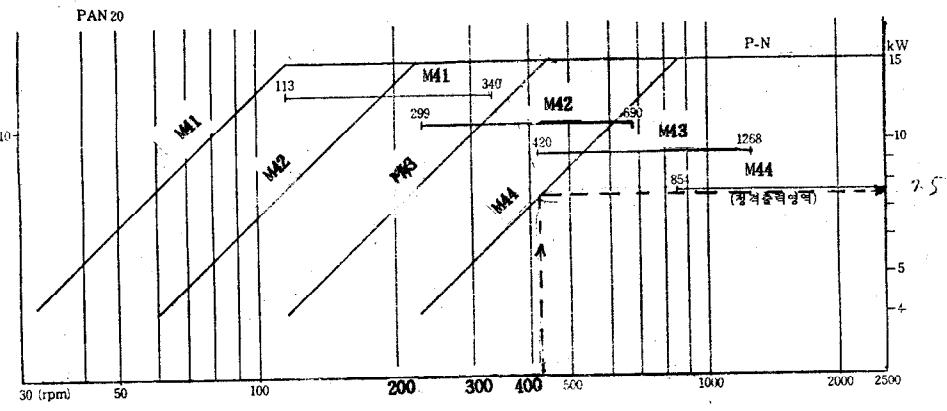


Fig. 3 주축의 출력속도

절삭속도 120m/min로 그림.4와 같은 공작물을 절삭할 때의 예로서 주축의 최저회전수 및 최고회전수는 각각

$$\text{최저회전수 } N_{\min} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \times 120}{\pi \times 95} = 402 \text{ rpm}$$

$$\text{최고회전수 } N_{\max} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \times 120}{\pi \times 30} = 1273 \text{ rpm}$$

와 같으며,

f: 이송(0.3mm/rev)

v: 절삭속도(120m/min)

t: 절삭깊이(5mm)

y: 기계전달효율(0.7~0.8)

k: 비절삭저항(S 450)(250kg/mm²)

이라 할 때 절삭에 필요한 출력 P_w는

$$P_w = \frac{f \cdot t \cdot k \cdot v}{6120 \cdot y} \text{ kW} = \frac{0.3 \times 5 \times 250 \times 120}{6120 \times 0.8} = 9.2 \text{ kW}$$

로서 절삭중에 DC motor는 9.2kW의 출력을 내야 한다. 만일에 Fig.3에서 M44를 택하였다고 하면 최저회전수 402rpm에서는 DC motor의 출력은 7.5kW 밖에 되지 않으므로 motor는 정지하게 된다. 따라서 이 예제의 경우는 M43의 속도영역을 선택하여야 한다.

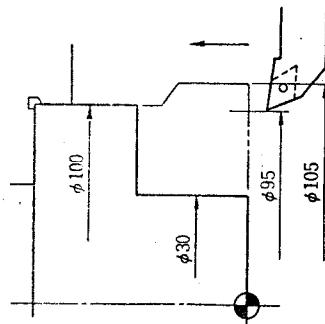
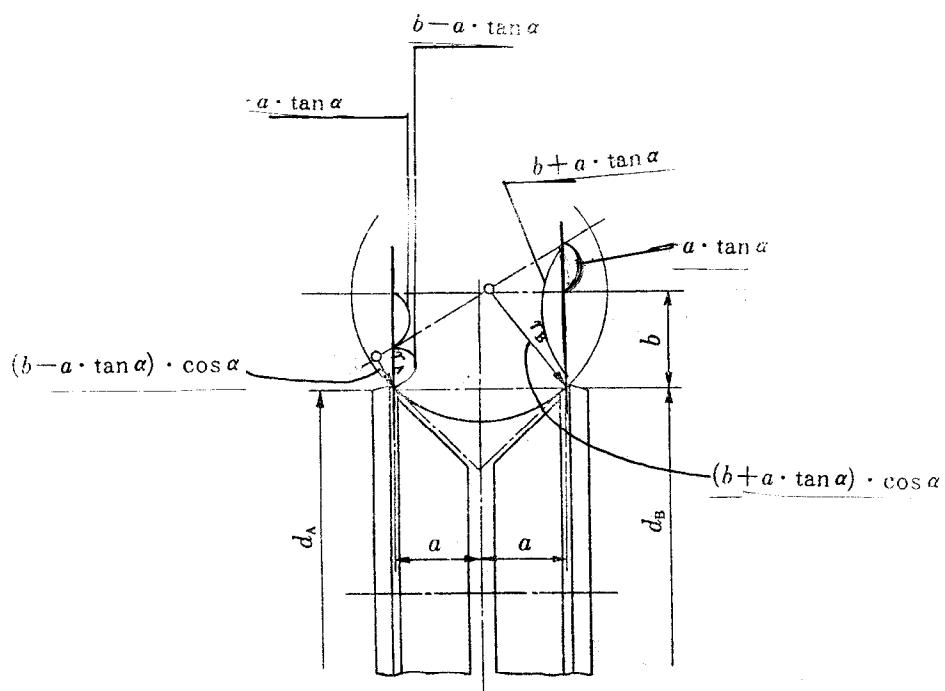
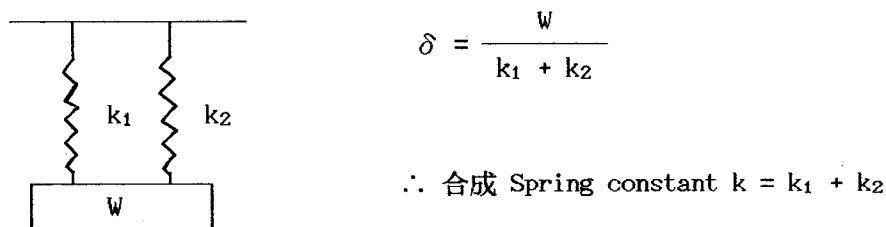
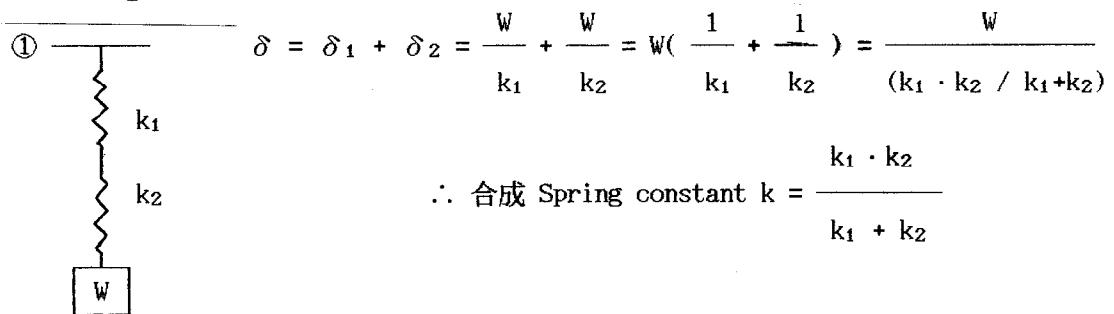


Fig. 4 속도역 선택 예

P. 353 Fig. 5-39, 쇠(5-90)



p.375 Fig. 5-66



② $\delta = \frac{W}{k}$ 에서 $\frac{1}{k} = \frac{\delta}{W}$

↑ ↓ → (단위하중에 대한伸長)

③ $\phi = \theta \cdot l = \frac{T \cdot l}{G \cdot I_p} = \frac{T \cdot l}{k_t}$ (단 $G \cdot I_p = k_t$: 비틀림 강성계수. p.413 참조)

$$\frac{l}{k_t} = \frac{\phi}{T}$$

↑ ↓ → (단위 torque에 대한 비틀림각)

$$\frac{l_o}{k_t(\text{total})} = \frac{l_i}{k_{ti}} + \frac{l_{o-i}}{k_{to}}$$

구멍의 영향이 없는 부분에서 단위 torque에 대한 비틀림각

각각 구멍의 영향부에서 단위 torque에 대한 비틀림각

평균강성계수에 대한
단위 torque당의 비틀림각

p.378

식(b)
$$\begin{cases} (\omega_0^2 - \omega^2) \cdot M - (2n\omega) \cdot N + 0 = 0 \\ (2\omega n) \cdot M + (\omega_0^2 - \omega^2) \cdot N + \frac{F_{max} \cdot g}{W} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} M = \frac{2n \cdot \omega \frac{F_{max} \cdot g}{W} - 0}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\omega \cdot n)^2} = \frac{F_{max} \cdot g}{W} \cdot \frac{2n \cdot \omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \cdot \omega^2} \\ N = \frac{(\omega_0^2 - \omega^2) \frac{F_{max} \cdot g}{W}}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\omega \cdot n)^2} = \frac{F_{max} \cdot g}{W} \cdot \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \cdot \omega^2} \end{cases}$$

* 감쇠 자유진동

$$-m \cdot g - k \cdot x - C_d \cdot \dot{x} - m \cdot g = m \cdot \ddot{x} \quad \text{에서}$$

$$\ddot{x} + \frac{C_d}{m} \cdot \dot{x} + \frac{k}{m} \cdot x = 0$$

$$\frac{k}{m} = \omega_0^2, \quad \frac{C_d}{m} = 2n \quad \text{이라 하고 } x = e^{r \cdot t'} \text{라 하면}$$

$$r^2 \cdot e^{r \cdot t'} + 2n \cdot r \cdot e^{r \cdot t'} + \omega_0^2 \cdot e^{r \cdot t'} = 0 \quad (\text{補助方程式})$$

$$\therefore r^2 + 2n \cdot r + \omega_0^2 = 0 \quad \therefore r = -n \pm \sqrt{n^2 - \omega_0^2}$$

$$n^2 < \omega_0^2 \text{이라 하면 } \sqrt{\omega_0^2 - n^2} = \omega_{01} > 0 \text{ 이다.}$$

$$\therefore r_1 = -n + \omega_{01} \cdot i, \quad r_2 = -n - \omega_{01} \cdot i$$

$$** \cos z = \frac{[e^{i \cdot z} + e^{-i \cdot z}]}{2}, \quad \sin z = \frac{[e^{i \cdot z} - e^{-i \cdot z}]}{2}$$

$$\therefore x_1 = \frac{C_1 [e^{n \cdot t'} + e^{n \cdot t'}]}{2} = \frac{C_1 [e^{(-n+\omega_{01} \cdot i) \cdot t'} + e^{(-n-\omega_{01} \cdot i) \cdot t'}]}{2}$$

$$= C_1 \cdot e^{-n \cdot t'} \left[\frac{e^{\omega_{01} \cdot i \cdot t'} + e^{-\omega_{01} \cdot i \cdot t'}}{2} \right] = C_1 \cdot e^{-n \cdot t'} \cdot \cos(\omega_{01} \cdot t')$$

$$x_2 = \frac{C_2 [e^{n \cdot t'} - e^{n \cdot t'}]}{2i} = \frac{C_2 [e^{(-n+\omega_{01} \cdot i) \cdot t'} - e^{(-n-\omega_{01} \cdot i) \cdot t'}]}{2i}$$

$$= C_2 \cdot e^{-n \cdot t'} \left[\frac{e^{\omega_{01} \cdot i \cdot t'} - e^{-\omega_{01} \cdot i \cdot t'}}{2} \right] = C_2 \cdot e^{-n \cdot t'} \cdot \sin(\omega_{01} \cdot t')$$

\therefore 일반해는

$$x = x_1 + x_2 = e^{-n \cdot t'} \cdot [C_1 \cdot \cos(\omega_{01} \cdot t') + C_2 \cdot \sin(\omega_{01} \cdot t')]$$

p.385 下에서 11 行

◦ Newton 의 냉각법칙 $\frac{dQ}{dT} = q = h \cdot A \cdot (t_{surface} - t_{fluid})$

* $h(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C})$: 열전달율 (coefficient of surface heat transfer)

solid surface $\xrightarrow{\text{heat}}$ moving fluid

열대류(thermal convection)

단, A : 전열면 면적 [m^2] Q : 열량 [Kcal]

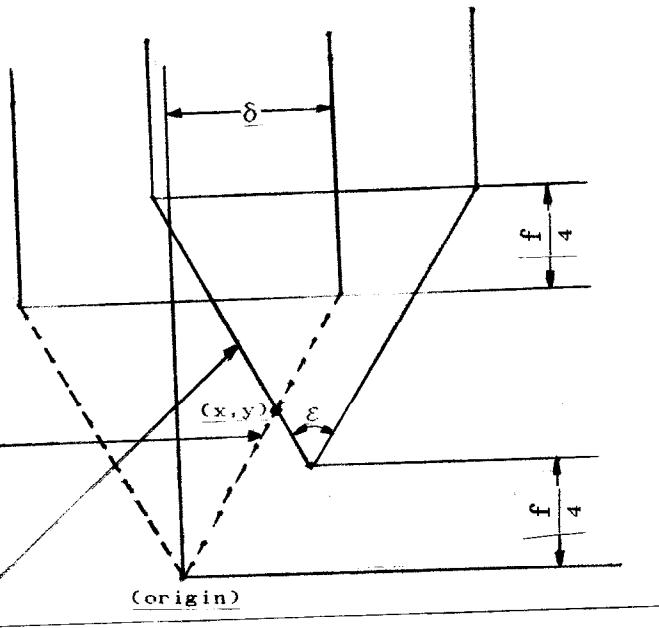
t_{fluid} : 유체의 온도 [$^\circ\text{C}$] T : 시간 [hr]

$t_{surface}$: 고체의 온도 [$^\circ\text{C}$]

◦ Fourier의 열전도 방정식 $\frac{dQ}{dT} = q = \lambda \cdot F \cdot \frac{dt}{dl}$

* λ : 열전도율 [$\text{Kcal}/\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$] (열전도도, thermal conductivity)

p.392 Fig.5-80



$$y - \frac{f}{4} = -\tan\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\varepsilon}{2}\right) \cdot (x - \delta)$$

$$y = -\cot\frac{\varepsilon}{2} \cdot (x - \delta) + \frac{f}{4} \quad \dots \dots \dots \quad ①$$

$$y = \tan\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\varepsilon}{2}\right) \cdot x = \cot\frac{\varepsilon}{2} \cdot x \quad \dots \dots \dots \quad ②$$

두직선의 交點에서

$$\cot\frac{\varepsilon}{2} \cdot x = -\cot\frac{\varepsilon}{2} \cdot (x - \delta) + \frac{f}{4}$$

$$\cot\frac{\varepsilon}{2} \cdot x = -x \cdot \cot\frac{\varepsilon}{2} + \frac{f}{4} + \delta \cdot \cot\frac{\varepsilon}{2}$$

$$2x \cdot \cot\frac{\varepsilon}{2} = \cot\frac{\varepsilon}{2} \cdot \delta + \frac{f}{4}$$

$$\therefore x = \frac{1}{2\cot(\varepsilon/2)} \cdot \left[\cot\frac{\varepsilon}{2} \cdot \delta + \frac{f}{4} \right] = \underline{\frac{\delta}{2} + \frac{f}{8} \cdot \tan\frac{\varepsilon}{2}}$$