工 作 機 械

姜哲熙 · 徐南燮 共著

(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 커야한다.

(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.

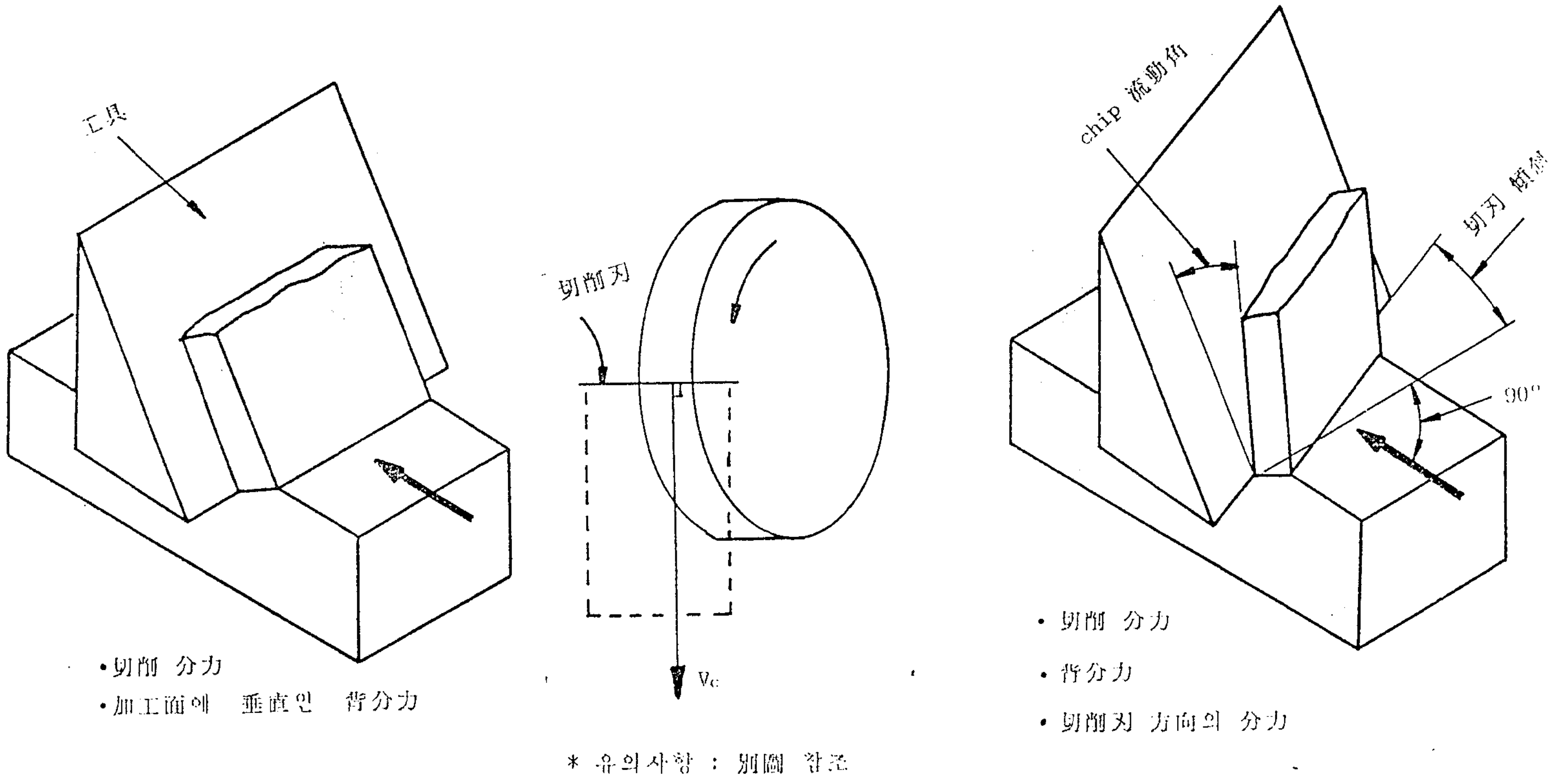
(g). 절삭공구의 크기, 기하학적 형상, 재질,다듬질 정도를 알맞게 하여야 한다.

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

(i). 절삭조건(절삭깊이, 이송, 절삭속도, 절삭유제의 선택 및 공급방법 등)을 적절히 선정하여야 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.

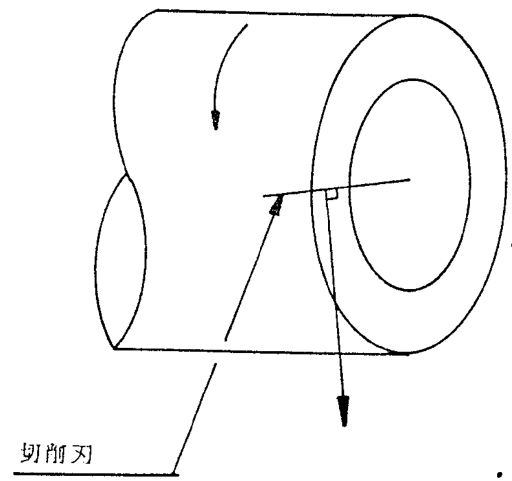
p.4 2차원 절삭과 3차원 절삭에대한 보충자료



(a) 2次元 切削

(b) 3次元 切削

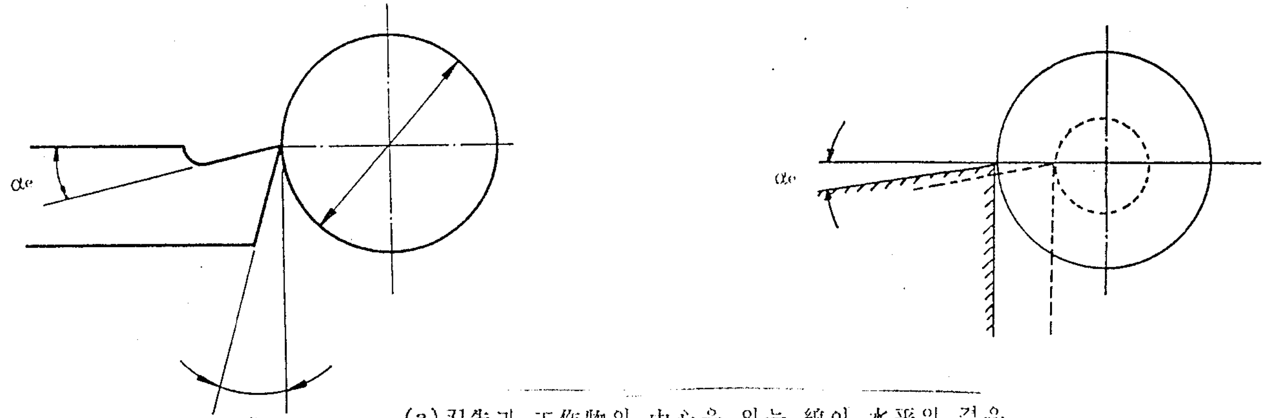
Fig.1 2次元 切削과 3次元 切削



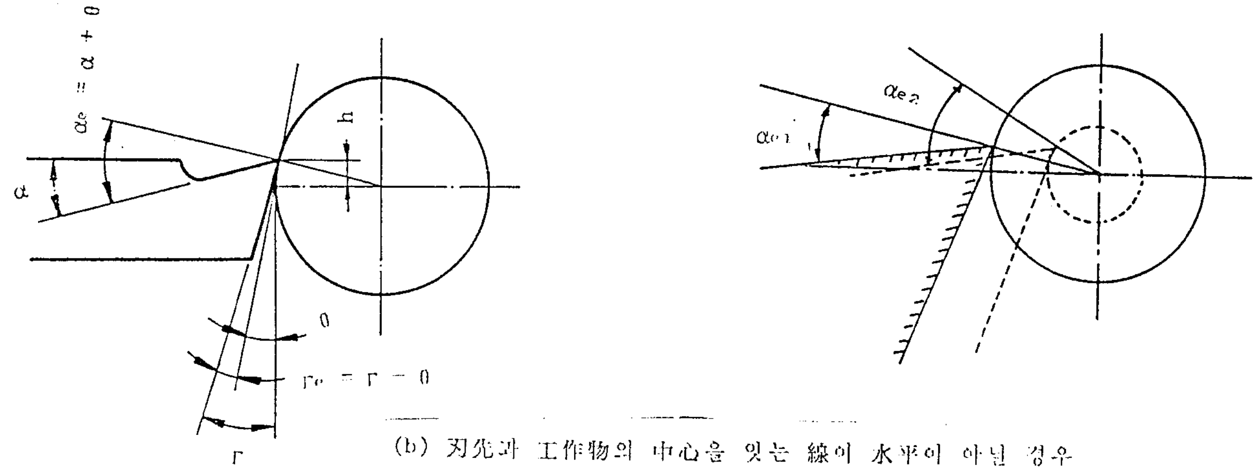
- 直徑이 크고 얇은 管
- 切削刃이 加工物의 中心을 향함

- 切削分力(接線分力)
- 移送分力(軸分力)

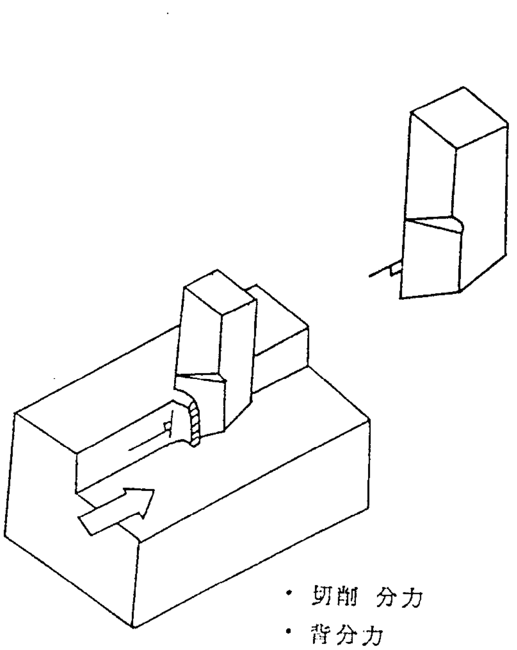
Fig. 2 準 2次元切削



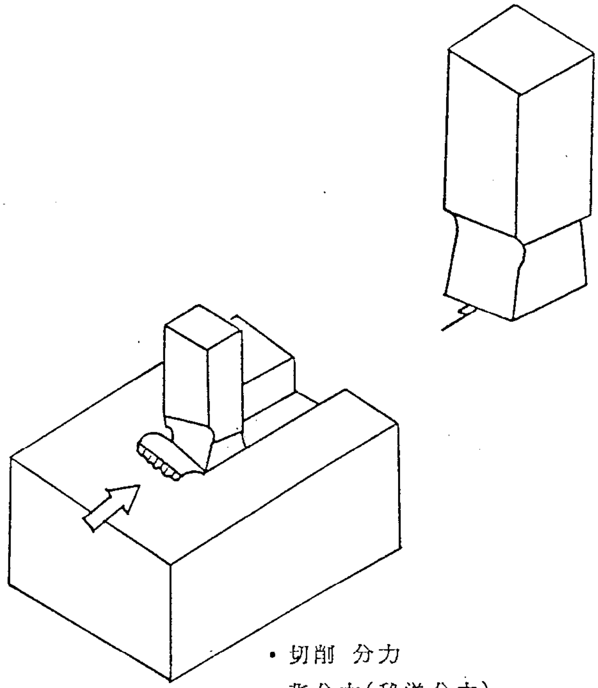
(a) 刃先과 工作物의 中心을 잇는 線이 水平일 경우
에는 α_e가 不變



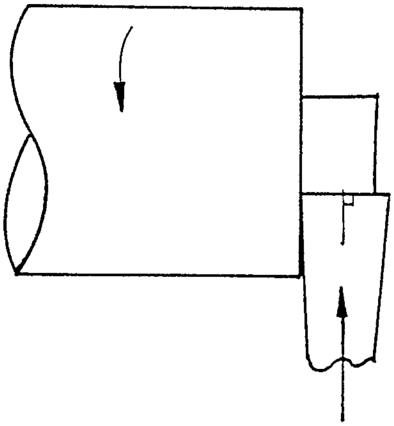
(b) 刃先과 工作物의 中心을 잇는 線이 水平이 아닐 경우
에는 α_e가 變함



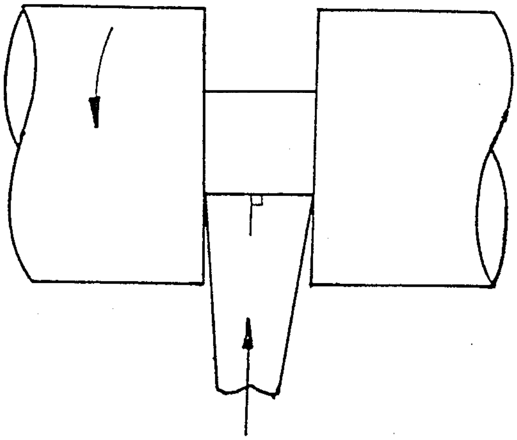
- 切削 分力
- 背分力
- 移送分力



- 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(切削分力)
- 반경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)

Fig.3 2次元 切削으로 착각되는 예

P.11

식(2-3) $$\tan\phi = \frac{r_c \cdot \cos\alpha}{1 - r_c \cdot \sin\alpha} = \frac{\cos\alpha}{1/r_c - \sin\alpha}$$

에서 r_c 가 크면 ϕ가 크게 된다는 것을 알 수 있다.

p. 11 식(2-4)

$$\epsilon = \cot\phi + \tan(\phi-\alpha)$$

$$= \frac{\cos\phi}{\sin\phi} + \frac{\sin(\phi-\alpha)}{\cos(\phi-\alpha)}$$

$$= \frac{\cos\phi\cdot(\cos\phi\cdot\cos\alpha + \sin\phi\cdot\sin\alpha)+\sin\phi\cdot(\sin\phi\cdot\cos\alpha - \cos\phi\cdot\sin\alpha)}{\sin\phi\cdot\cos(\phi-\alpha)}$$

$$= \frac{\cos^2\phi\cdot\cos\alpha + \sin\phi\cdot\cos\phi\cdot\sin\alpha + \sin^2\phi\cdot\cos\alpha - \sin\phi\cdot\cos\phi\cdot\sin\alpha}{\sin\phi\cdot\cos(\phi-\alpha)}$$

$$= \frac{\cos\alpha\cdot(\cos^2\phi+\sin^2\phi)}{\sin\phi\cdot\cos(\phi-\alpha)} = \frac{\cos\alpha}{\sin\phi\cdot\cos(\phi-\alpha)}$$

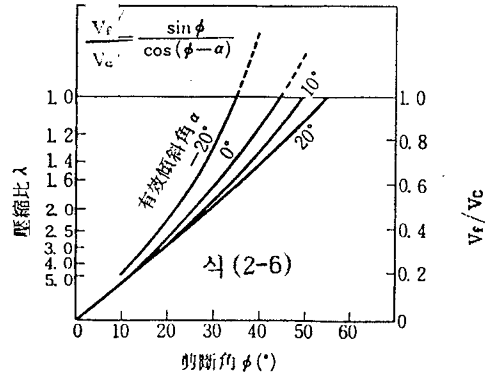


Fig. 1 切削速度에 대한 chip流動速度의 比

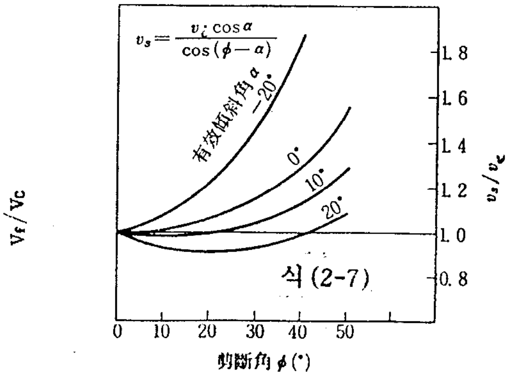


Fig. 2 切削速度에 대한 剪斷速度의 比

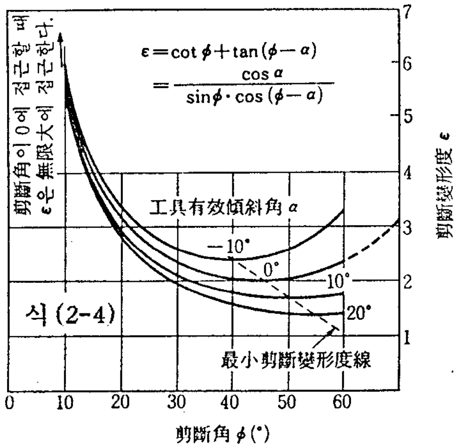


Fig. 3 剪斷角과 剪斷變形度

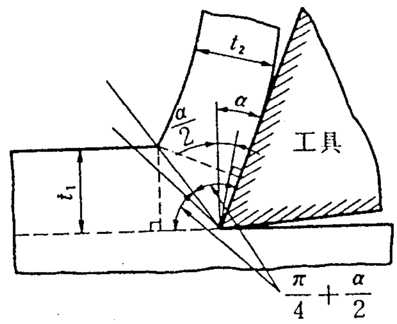


Fig. 4

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

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

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

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

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

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

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

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

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. 식 (1)에서 有效傾斜角 $\alpha=0°$ 일 때의 最小剪斷變形度에 대한 剪斷角은 $\frac{\pi}{4}$ 가 된다.

P. 13 식 (2-11)

$$W_s = \frac{F_s \cdot \Delta S}{A_s \cdot \Delta y} = \tau_s \cdot \varepsilon = \tau_s \cdot [\tan\phi + \tan(\phi-\alpha)]$$

p. 13 식 (2-13)

$$W_n = W_s + W_f$$

$$= \tau_s \cdot [\cot\phi + \tan(\phi-\alpha)] + \frac{F_t \cdot \sin\phi}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)}$$

$$= \frac{(F_c \cdot \cos\phi - F_t \cdot \sin\phi) \cdot \sin\phi}{A_c} \cdot \left[\frac{\cos\phi}{\sin\phi} + \frac{\sin(\phi-\alpha)}{\cos(\phi-\alpha)}\right]$$

$$+ \frac{[F_t \cdot \cos\alpha + F_c \cdot \sin\alpha] \cdot \sin\phi}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)}$$

$$= \frac{(F_c \cdot \cos\phi - F_t \cdot \sin\phi) \cdot \cancel{\sin\phi}}{A_c} \cdot \frac{\cos\phi\cos(\phi-\alpha) + \sin\phi.\sin(\phi-\alpha)}{\cancel{\sin\phi}.\cos(\phi-\alpha).}$$

$$+ \frac{F_t \cdot \cos\alpha \cdot \sin\phi + F_c \cdot \sin\alpha \cdot \sin\phi}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)}$$

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

$$= \frac{F_c \cdot (\cos\phi \cdot \cos\alpha + \sin\phi \cdot \sin\alpha) - F_t \cdot \cancel{\sin\phi} \cdot \cos\alpha + F_t \cdot \cancel{\sin\phi} \cdot \cos\alpha}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)}$$

$$= \frac{F_c \cdot \cos(\phi-\alpha)}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)} = \frac{F_c}{A_c}$$

OR

$$W_n = W_s + W_f = \tau_s \cdot \varepsilon + W_f$$

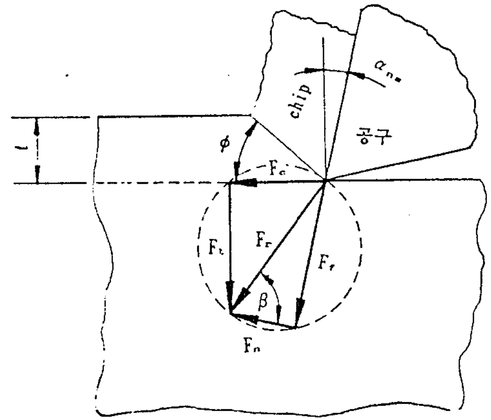
$$= \frac{(F_c \cdot \cos\phi - F_t \cdot \sin\phi) \cdot \cancel{\sin\phi}}{A_c} \cdot \frac{\cos\alpha}{\cancel{\sin\phi} \cdot \cos(\phi-\alpha)} + \frac{(F_t \cdot \cos\alpha + F_c \cdot \sin\alpha) \cdot \sin\phi}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)}$$

$$= \frac{F_c \cdot (\cos\phi \cdot \cos\alpha + \sin\phi \cdot \sin\alpha) - F_t \cdot \cancel{\sin\phi} \cdot \cos\alpha + F_t \cdot \cancel{\sin\phi} \cdot \cos\alpha}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)}$$

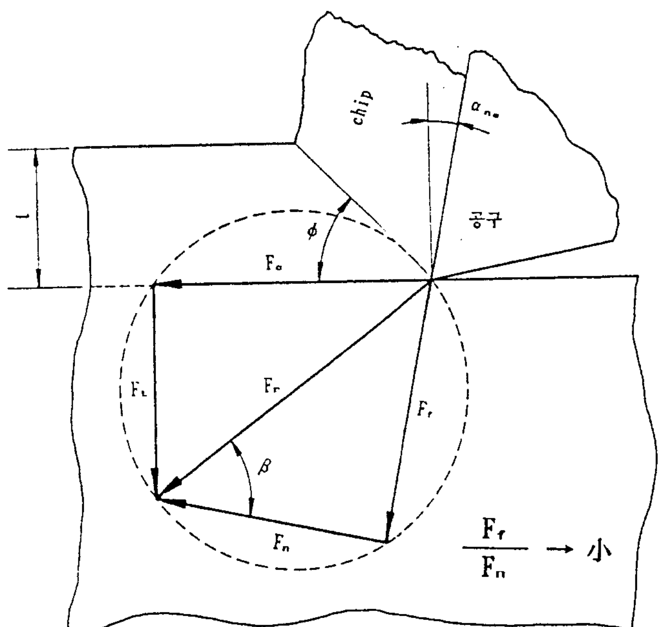
$$= \frac{F_c \cdot \cos(\phi-\alpha)}{A_c \cdot \cos(\phi-\alpha)} = \frac{F_c}{A_c}$$

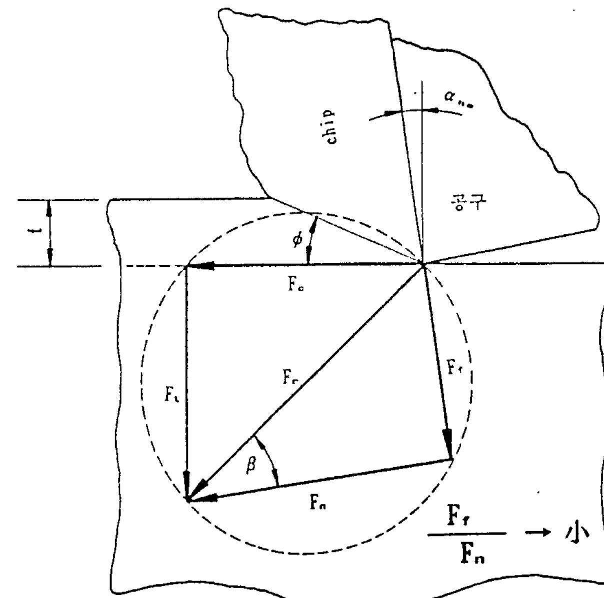
p. 14식 (2-16)의 보충

※.



$$\frac{F_f}{F_n} = \tan \beta = \mu$$





p. 15식 (2-21)

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

에서 $$\frac{dF_c}{d\phi} = \tau_s \cdot A \cdot \cos(\beta-\alpha) \cdot \frac{0 - [½\ \{\sin(2\phi+\beta-\alpha)-\sin(\beta-\alpha)\}]' \times 1}{[\sin\phi \cdot \cos(\phi+\beta-\alpha)]^2}$$

※ $\sin\chi \cdot \cos y = 1/2[\sin(\chi + y) + \sin(\chi - y)]$

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

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

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

p. 34 식(2-57)

$\dfrac{dP_r}{dv} = 0$ 에서 $\qquad \dfrac{k \cdot v^{-2}}{[\ \ ]^2}$으로 제하면

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

T=table 1왕복에 요하는 시간, V_c = cutting 속도, V_r = return 속도, S = table 행정 이라하면 다음과 같은 관계식이 성립한다.

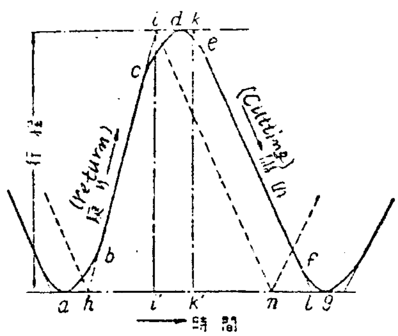
$$T = \frac{S}{V_c} + \frac{S}{V_r} + b$$

$\frac{S}{V_c}$: cutting동안의 시간

$\frac{S}{V_r}$: return 동안의 시간

b : 정수 *(text에서는 c로 표시)

table의 왕복운동을 그림으로 나타내면 다음과 같다.



a-b: a에서 부터 출발하여 b점에서 V_r의 속도로된다.
b-c: V_r로 return한다.
c-d: V_r의 속도에서 점점 감소하여 d점에서 속도가 0이된다.
d-e: d점에서 속도가 점점 증가하여 e점에서 속도가 V_c의 속도가 된다.
e-f: V_c의 속도로 cutting한다.
f-g: 속도가 점점 감소하여 g점에서 0 이된다.

위의 그림에서 bc를 연장하여 hi로 하고, ef를 연장하여 kl로 하면

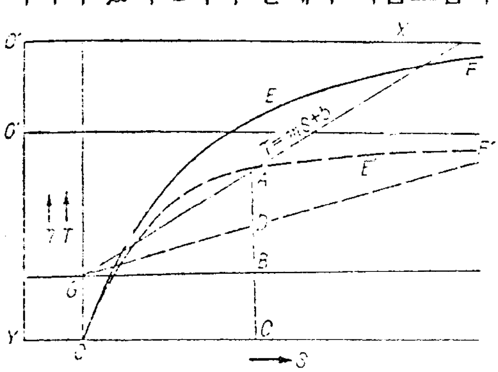
$\frac{S}{V_r}$: hl', $\frac{S}{V_c}$: k'l 이되며 전체 왕복시간이 ag이므로 상수b를 구해보면

b = ah + l'k' + lg 가된다. 이론적인 평삭기에서는 b=0이며, 왕복운동은 hin의 날카로운 삼각형을 이룬다.

따라서 시간효율 μ는 다음과 같이된다.

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

여기서 μ와 S와의 관계가 다음그림의 직각쌍곡선으로 표시된다.



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

또 $\frac{S}{V_r}$ 는 비절삭시간이므로 순수절삭시간 효율μ' 는다음과 같다.

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

결국 V_r이 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.

p. 74식 (3-15)

물림깊이 $t = \frac{1}{2}(d_{i-1} - d_i)$ · ①

그런데

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

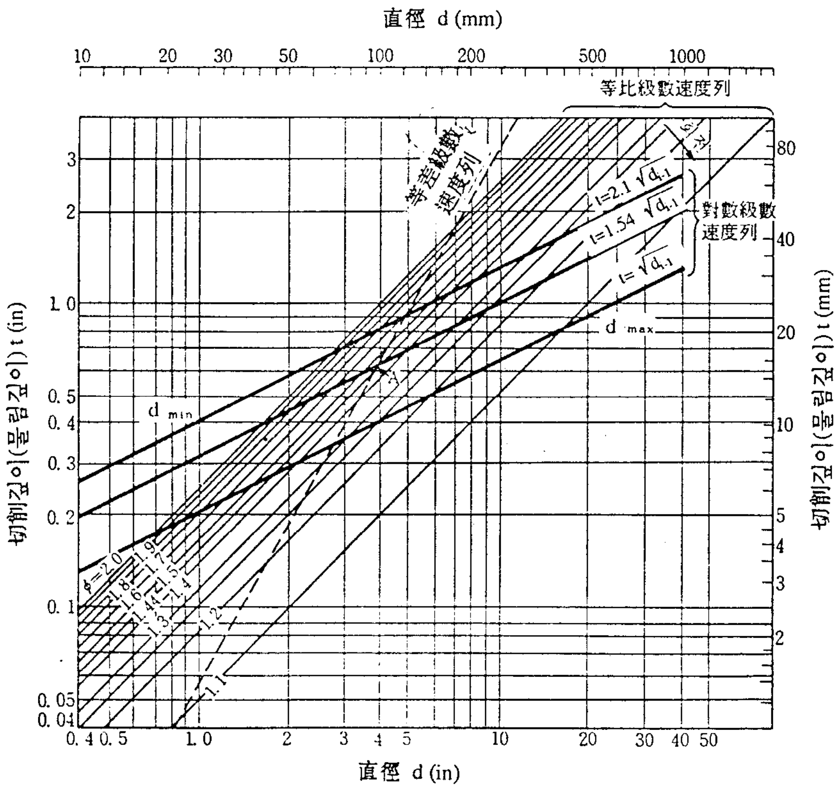
∴ ①,② 에서

$$t = \frac{1}{2}\left(\frac{V_c}{\pi \cdot n_{i-1}} - \frac{V_c}{\pi \cdot n_{i-1} \cdot \phi}\right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_c}{\pi \cdot n_{i-1}}\left(1 - \frac{1}{\phi}\right) \quad \cdots\cdots ③$$

직경감소량은

$$d_{i-1} - d_i = 2 \cdot t \quad \cdots\cdots ④$$

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



3速度列의 관계

등비급수 속도열에서 보는 바와 같이 직경이 작은 범위에서는 회전수를 너무나 자주 바꿀 수 있는 반면에, 직경이 큰 범위에서는 회전수 간격이 너무나 크다. 그리고 물림깊이에 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

$$d_{i-1} - d_i = 2 \cdot C \cdot \sqrt{d_{i-1}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{⑤}$$

의 관계식이 얻어진다.

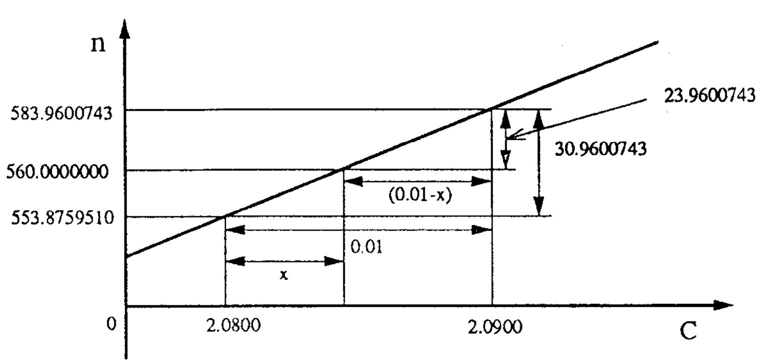
Page 74 Fig.3-5

조건 V_c = 40 m/min, n_1 = 20 rpm, n_{10} = 560 rpm일때

Trial for Coefficient

상수 C	n_{10}
2.0000	383.7431232
2.0100	399.9274577
2.0200	417.2709966
2.0300	435.8952145
2.0400	455.9387510
2.0500	477.5605752
2.0600	500.9437007
2.0700	526.2999898
2.0800	553.8759510 ← 560
2.0900	583.9600743

$$d_{z-1} - d_z = 2 \cdot C \cdot \sqrt{d_{z-1}}$$



$$0.01 : (0.01 - x) = 30.0841233 : 23.9600743$$

$$\therefore\ 30.0841233(0.01 - x) = 23.9600743 \times 0.01$$

$$0.01 - x = \frac{23.9600743 \times 0.01}{30.0841233}$$

$$\therefore\ x - 1 = \frac{23.9600743 \times 0.01}{30.0841233}$$

$$= 0.002035642$$

$$\fallingdotseq 0.002$$

$$\therefore\ C = 2.0800 + 0.002$$

$$= 2.082$$

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

i	n	d	
1	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

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

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

$$d_1 - d_2 = 2 \times 2.08 \sqrt{d_1}$$

$$= 102$$

$$\therefore\ d_2 = 531.55$$

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

① $(n_1,\ n_1\phi,\ n_1\phi^2,\ n_1\phi^3 \ldots\ldots n_1\phi^{i-1}\ \ldots\ldots) \times \phi^y$

$= n_1\phi^y,\ n_1\phi^{1+y},\ n_1\phi^{2+y},\ n_1\phi^{3+y},\ n_1\phi^{4+y} \ldots\ldots n_1\phi^{(i-1)+y}\ \ldots\ldots$

② $n_1,\ n_1\phi\ \ n_1\phi^2\ \ n_1\phi^3\ \ n_1\phi^4\ \ n_1\phi^5$

$n_1\phi^2 \qquad n_1\phi^5$

$$\frac{n_1\phi^5}{n_1\phi^2} = \phi^3$$

즉 3번째를 택하면 공비는 ϕ의 3자승이 된다.

※ $n_1\phi^{x-1}, \ldots\ldots, n_1\phi^{2x-1}$

공비 $\phi^{(2x-1)-(x-1)} = \phi^x$

③ $n_1,\ n_1\phi,\ n_1\phi^2,\ n_1\phi^3 \ldots\ldots\ldots\ldots$: 공비 ϕ

$c \cdot n_1,\ c \cdot n_1\phi,\ c \cdot n_1\phi^2,\ c \cdot n_1\phi^3 \ldots\ldots\ldots\ldots$: 공비 ϕ

④ Table 3-2를 이용하여 설명

p81의 Table 3-4 대신 본 Table을 이용하면 편리하다.

Table 3-4 主軸의 標準回轉數 規格

속도열 1.06	속도열 1.12	속도열 1.26	속도열 1.41	속도열 1.58	속도열 2.0
0.118	0.118	0.118		0.118	
0.125					
0.132	0.132		0.132		
0.140					
0.150	0.15	0.15			
0.160					
0.170	0.17				
0.180					
0.190	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
0.200					
0.212	0.212				
0.224					
0.236	0.236	0.236			
0.250					
0.265	0.265		0.265		
0.280					
0.300	0.30	0.30		0.30	
0.315					
0.335	0.335				
0.355					
0.375	0.375	0.375	0.375		0.375
0.400					
0.425	0.425				
0.450					
0.475	0.475	0.475		0.475	
0.500					
0.530	0.53		0.53		
0.560					
0.600	0.60	0.60			
0.630					
0.670	0.67				
0.710					
0.750	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
0.800					
0.850	0.85				
0.900					
0.950	0.95	0.95			
1.000					
1.060	1.06		1.06		
1.120					

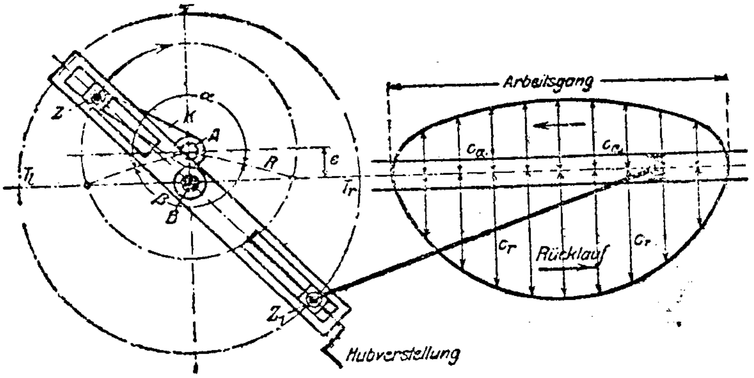
속도열 1.06	속도열 1.12	속도열 1.26	속도열 1.41	속도열 1.58	속도열 2.0
1.18	1.18	1.18		1.18	
1.25					
1.32	1.32				
1.40					
1.50	1.5	1.5	1.5		1.5
1.60					
1.70	1.7				
1.80					
1.90	1.9	1.9		1.9	
2.00					
2.12	2.12		2.1		
2.24					
2.36	2.36	2.36			
2.50					
2.65	2.65				
2.80					
3.00	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
3.15					
3.35	3.35				
3.55					
3.75	3.75	3.75			
4.00					
4.25	4.25		4.25		
4.50					
4.75	4.75	4.75		4.75	
5.00					
5.30	5.3				
5.60					
6.00	6.0	6.0	6.0		6.0
6.30					
6.70	6.7				
7.10					
7.50	7.5	7.5		7.5	
8.00					
8.50	8.5		8.5		
9.00					
9.50	9.5	9.5			
10.00					
10.60	10.6				
11.20					

속도열 1.06	속도열 1.12	속도열 1.26	속도열 1.41	속도열 1.58	속도열 2.0
11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
12.5					
13.2	13.2				
14.0					
15.0	15	15			
16.0					
17.0	17		17		
18.0					
19.0	19	19		19	
20.0					
21.2	21.2				
22.4					
23.6	23.6	23.6	23.6		23.6
25.0					
26.5	26.5				
28.0					
30.0	30	30		30	
31.5					
33.5	33.5		33.5		
35.5					
37.5	37.5	37.5			
40.0					
42.5	42.5				
45.0					
47.5	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5
50.0					
53.0	53				
56.0					
60.0	60	60			
63.0					
67.0	67		67		
71.0					
75.0	75	75		75	
80.0					
85.0	85				
90.0					
95.0	95	95	95		95
100.0					
106.0	106				
112.0					

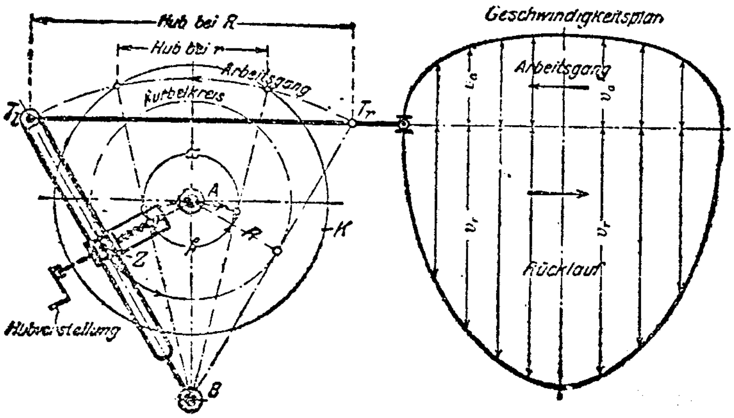
속도열 1.06	속도열 1.12	속도열 1.26	속도열 1.41	속도열 1.58	속도열 2.0
118	118	118		118	
125					
132	132		132		
140					
150	150	150			
160					
170	170				
180					
190	190	190	190	190	190
200					
212	212				
224					
236	236	236			
250					
265	265		265		
280					
300	300	300		300	
315					
335	335				
355					
375	375	375	375		375
400					
425	425				
450					
475	475	475		475	
500					
530	530		530		
560					
600	600	600			
630					
670	670				
710					
750	750	750	750	750	750
800					
850	850				
900					
950	950	950			
1000					
1060	1060		1060		
1120					

속도열 1.06	속도열 1.12	속도열 1.26	속도열 1.41	속도열 1.58	속도열 2.0
1180	1180	1180		1180	
1250					
1320	1320				
1400					
1500	1500	1500	1500		1500
1600					
1700	1700				
1800					
1900	1900	1900		1900	
2000					
2120	2120		2120		
2240					
2360	2360	2360			
2500					
2650	2650				
2800					
3000	3000	3000	3000	3000	3000
3150					
3350	3350				
3550					
3750	3750	3750			
4000					
4250	4250		4250		
4500					
4750	4750	4750		4750	
5000					
5300	5300				
5600					
6000	6000	6000	6000		6000
6300					
6700	6700				
7100					
7500	7500	7500		7500	
8000					
8500	8500		8500		
9000					
9500	9500	9500			
10000					
10600	10600				
11200					

[註] : 공비 1.06인 임의 회전수에서 上下로 확대하여(ϕ=1.12에서는 1個, ϕ=1.26에서는 3個, ϕ=1.41에서는 5個, ϕ=1.58에서는 7個, ϕ=2에서는 11個을 건너서 취한다)속도열의 회전수를 얻는다.



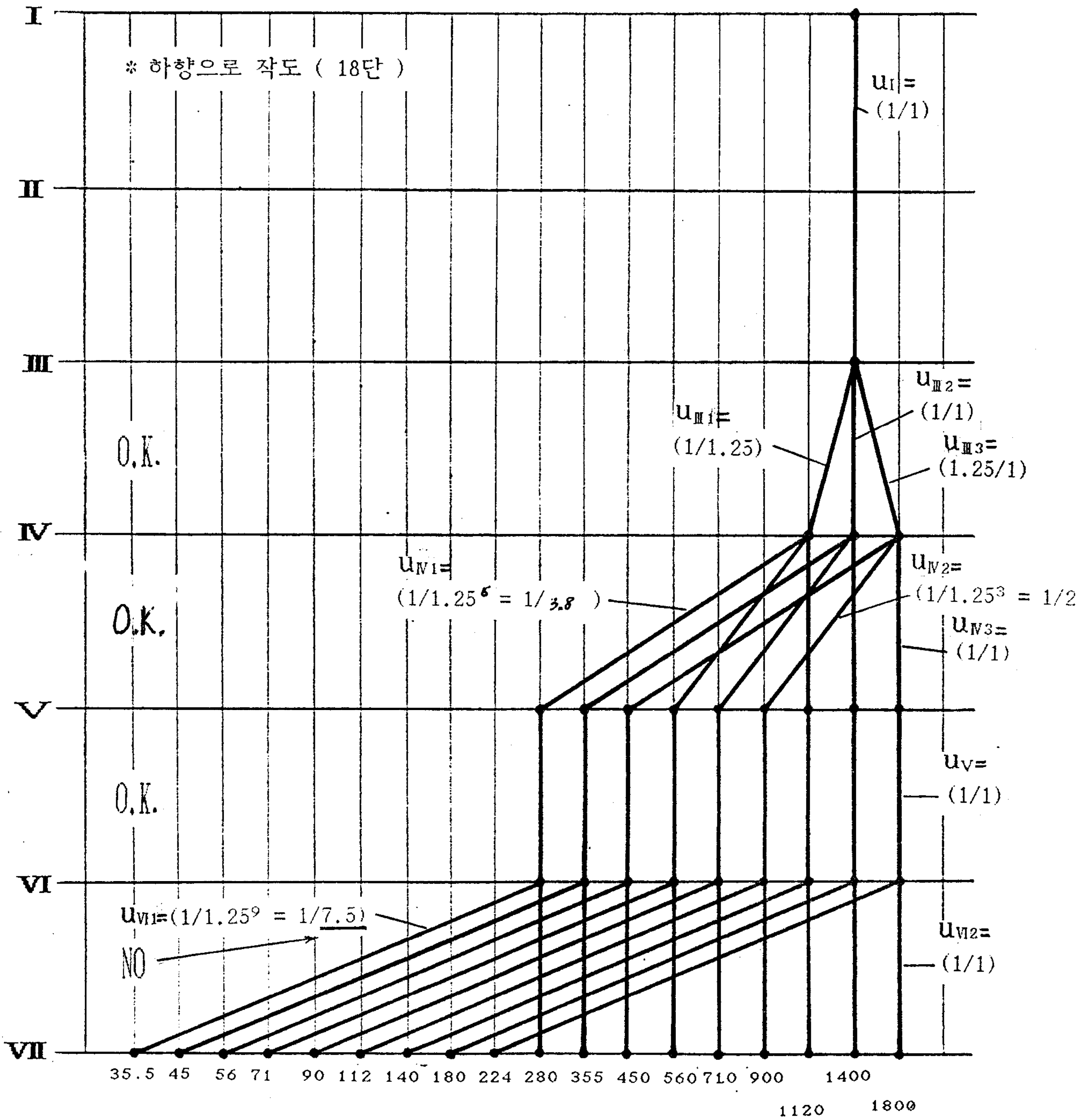
회전활자 회전기구(p. 128참조)



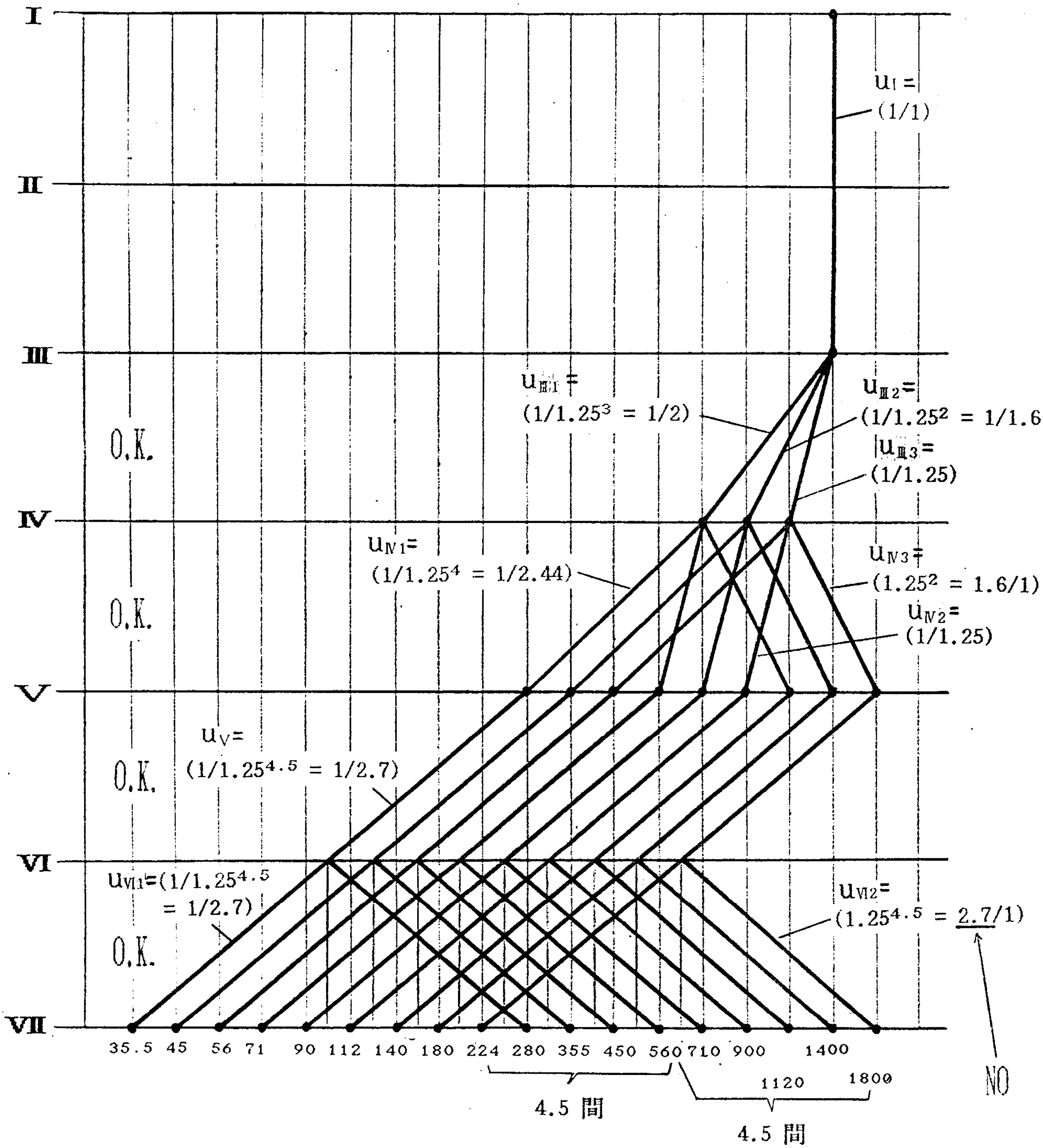
요동활자 회전기구(p. 127참조)

. p 107 (Fig. 3-31)

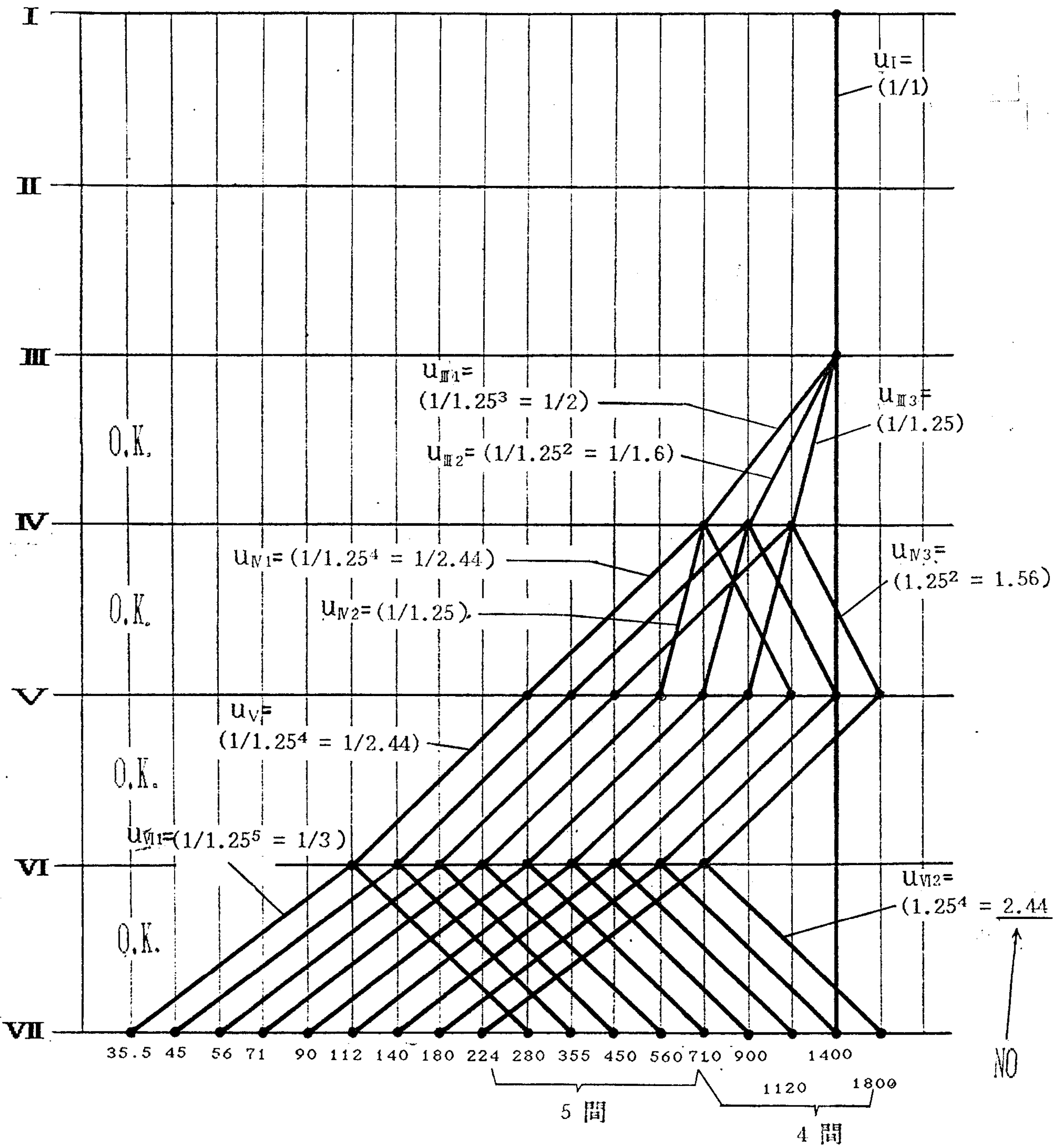
(1/4 ≤ ui ≤ 2/1) p 98 참조



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

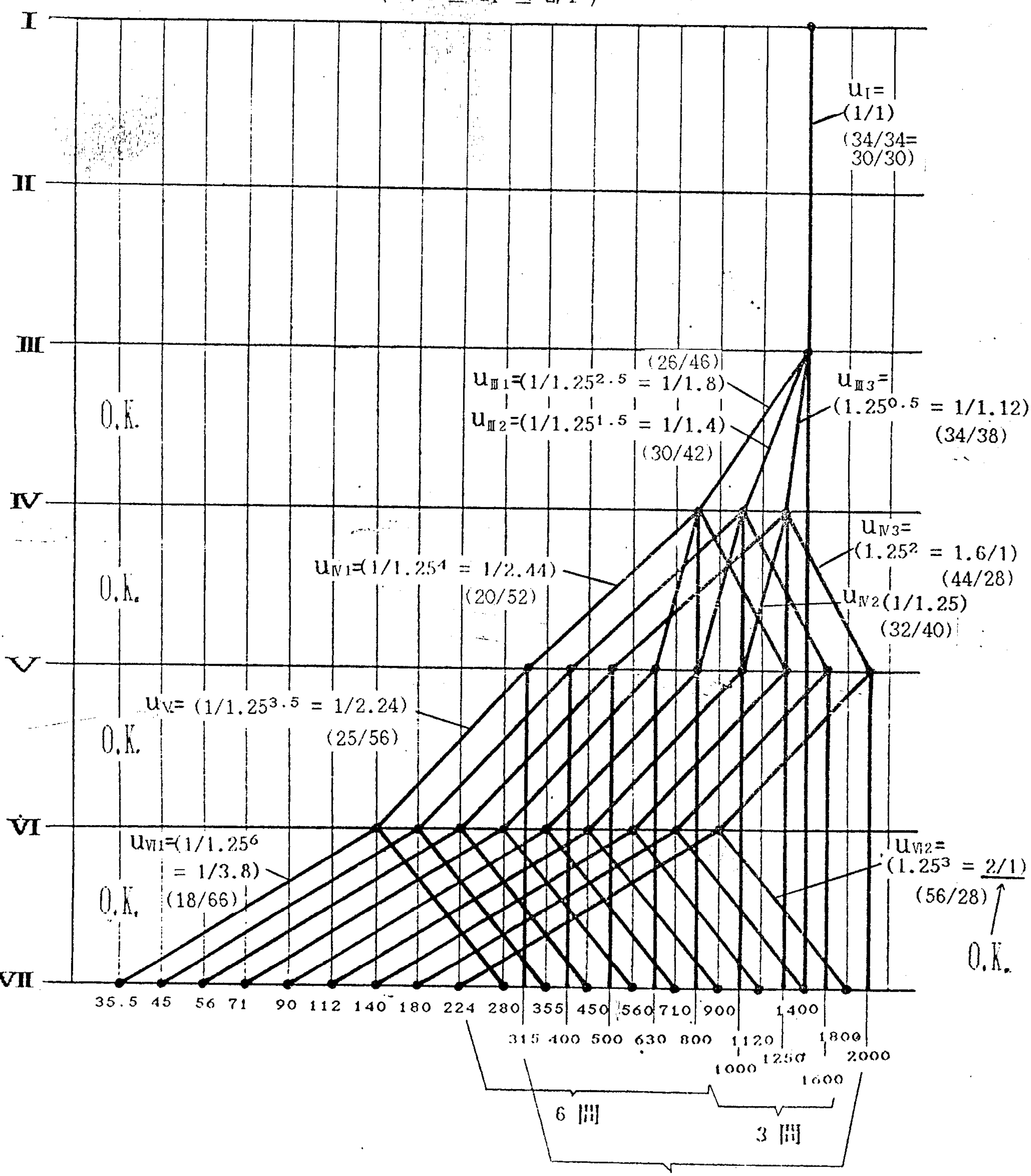


(1/4 ≤ ui ≤ 2/1)



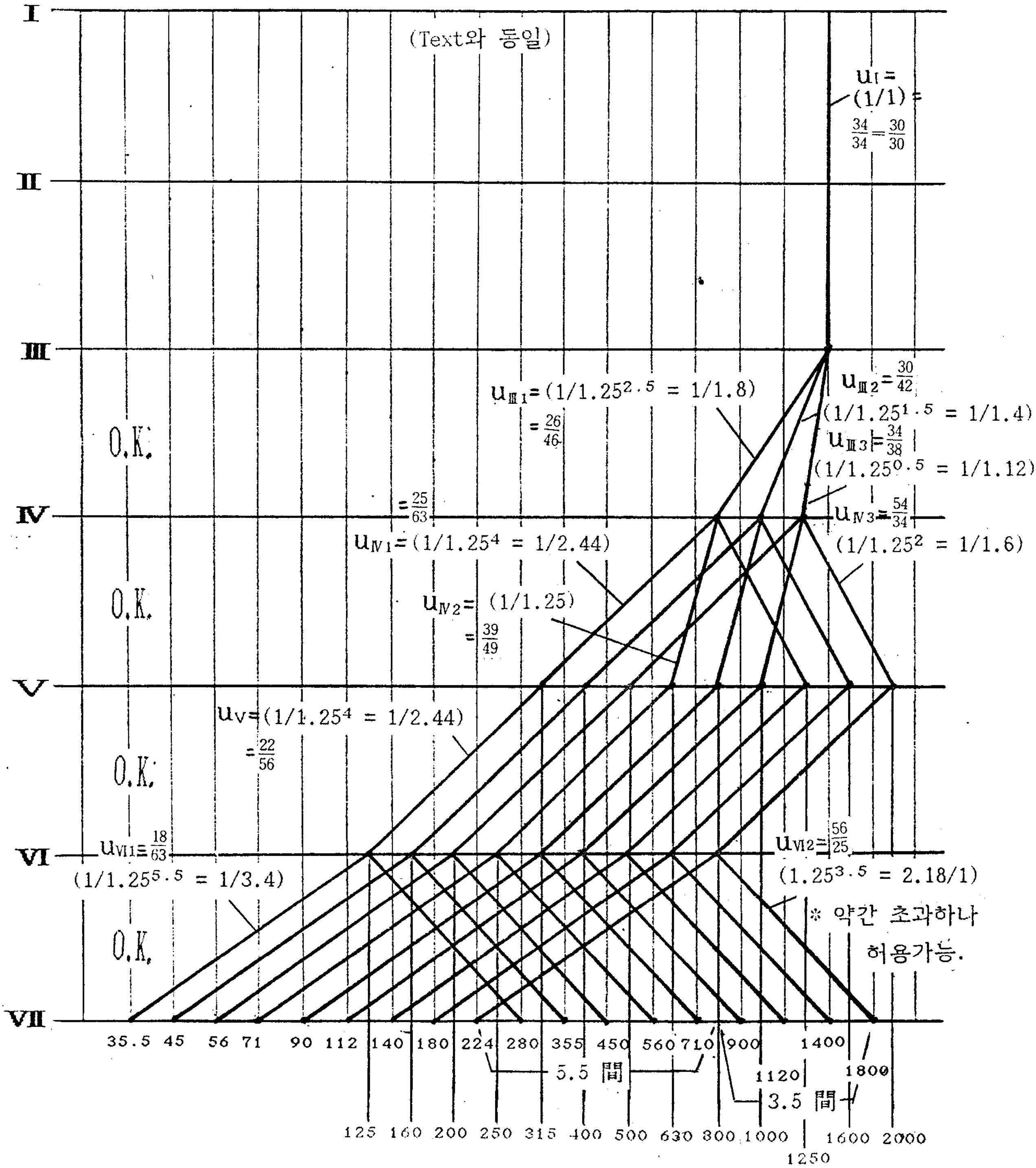
* 9間 / 2 을 고려하여 4와 5間으로.

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

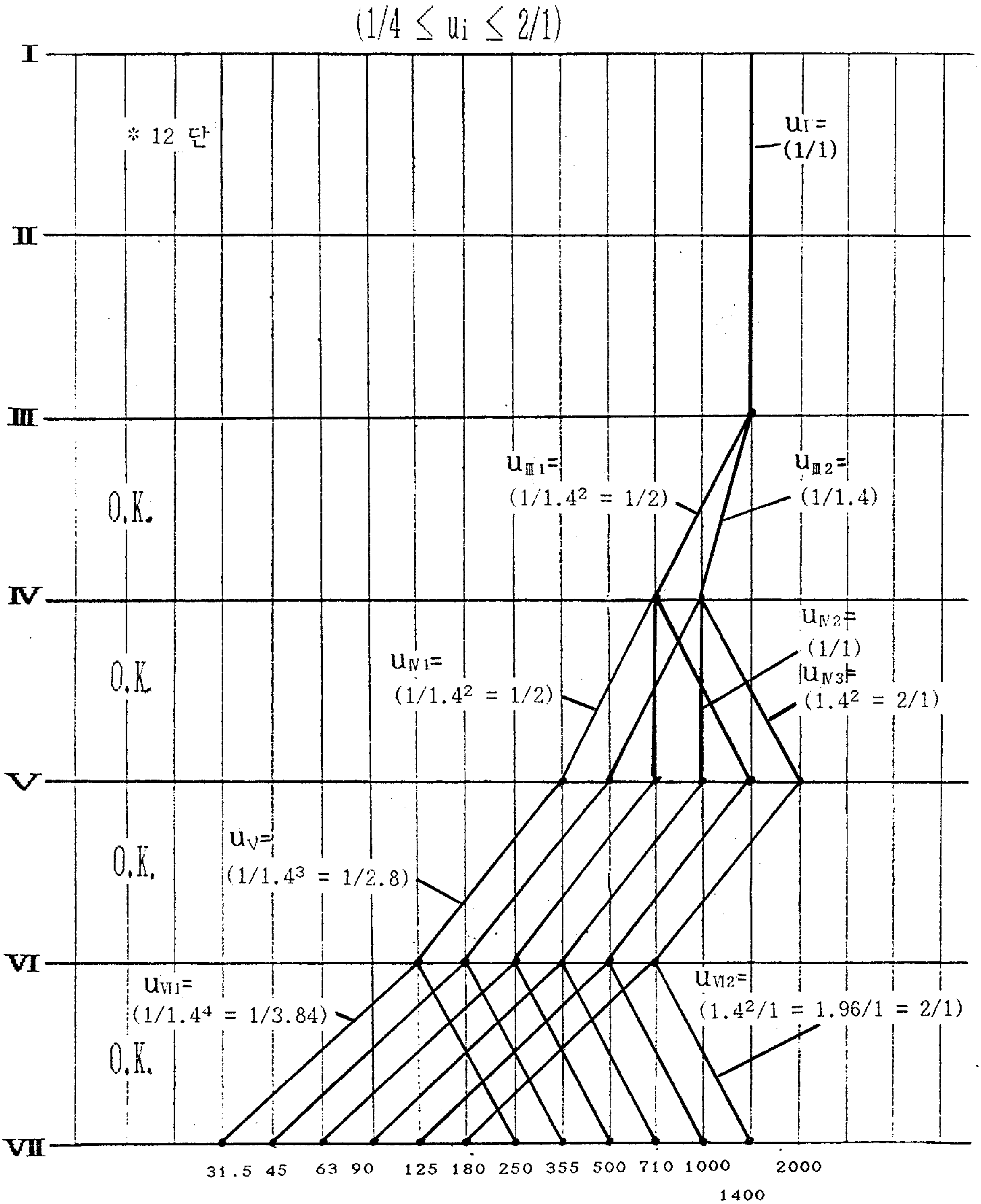


* 제 2의 등비급수 속도열을 얻을수 있다

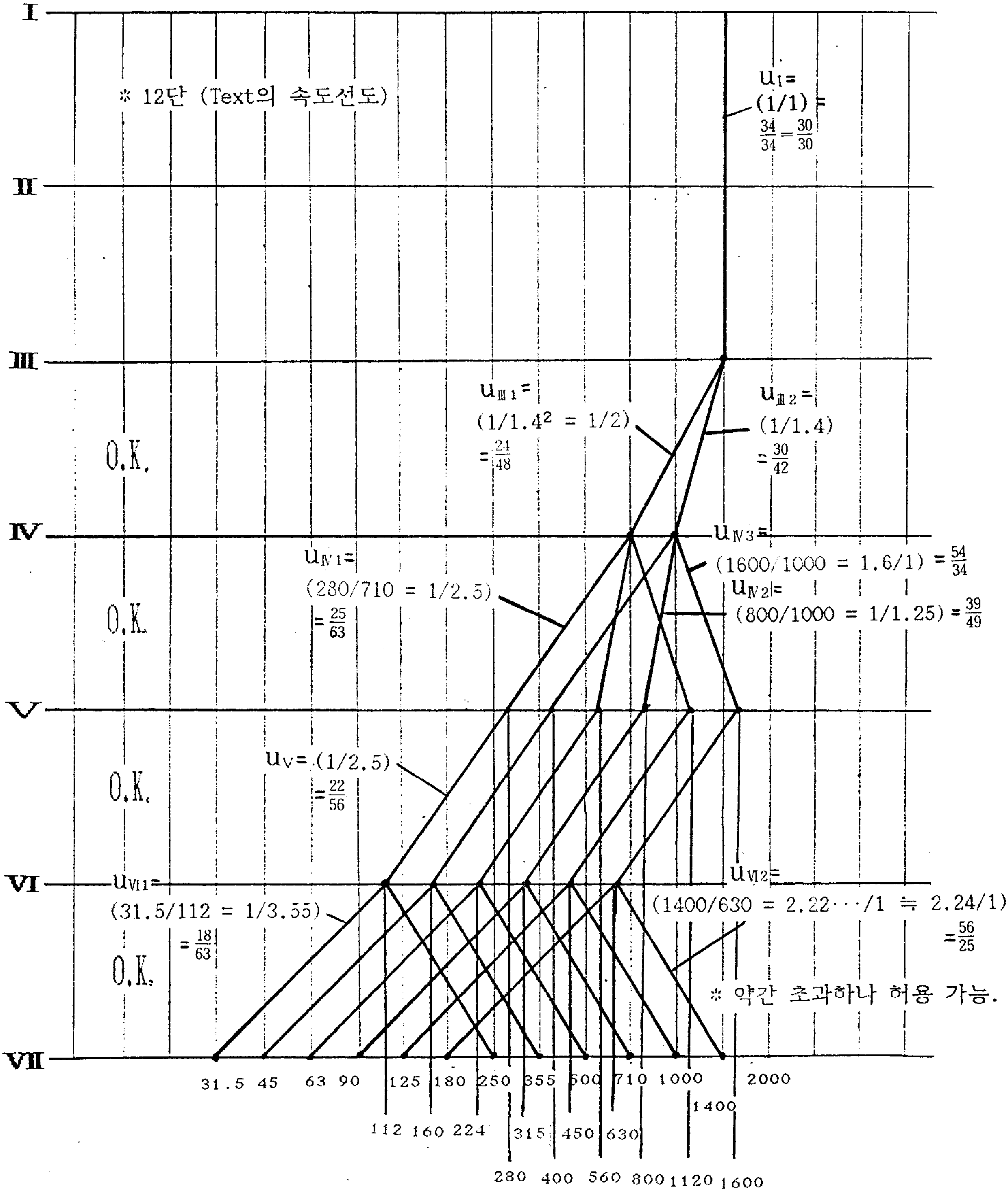
$(1/4 \leq u_i \leq 2/1)$



※ 제 2의 등비급수 속도범위가 No.4의 것보다 확대되었음..


(1/4 ≤ ui ≤ 2/1)
I
II
III
IV
V
VI
VII
* 12 단
uI =
(1/1)
uIII1=
(1/1.4² = 1/2)
uIII2=
(1/1.4)
O.K.
uIV1=
(1/1.4² = 1/2)
uIV2=
(1/1)
uIV3=
(1.4² = 2/1)
O.K.
uV=
(1/1.4³ = 1/2.8)
O.K.
uVI1=
(1/1.4⁴ = 1/3.84)
uVI2=
(1.4²/1 = 1.96/1 = 2/1)
O.K.
31.5 45 63 90 125 180 250 355 500 710 1000 2000
1400

(1/4 ≤ ui ≤ 2/1)



* 소수 gear만 교체하면 또 다른 속도를 얻을 수 있다는데 관점을 두고
수평선상의 속도점을 어긋나게 하였음.

Table 3-9

구동 gear	입력속도	총전달비	출력속도	표준속도	정확치	정확치에 대한 편차
단수	[rpm]	$u_{III} \cdot u_{IV} \cdot u_{V} \cdot u_{VI}$	[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

실제 gear 齒數에 의한 계산값

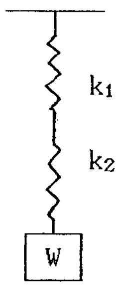
속도비에 의한 계산값

(例)

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

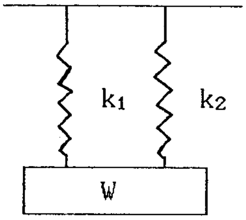
$$\frac{35.2 - 35.481}{35.481} = 0.792\% \fallingdotseq 0.8\%$$

P.135　　Fig. 4-3

① 

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \frac{W}{k_1} + \frac{W}{k_2} = W\left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}\right) = \frac{W}{(k_1 \cdot k_2 \;/\; k_1 + k_2)}$$

$$\therefore \text{合成 Spring constant } k = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}$$



$$\delta = \frac{W}{k_1 + k_2}$$

$$\therefore \text{合成 Spring constant } k = k_1 + k_2$$

② $\delta = \dfrac{W}{k}$ 에서 $\dfrac{1}{k} = \dfrac{\delta}{W}$ → (단위하중에 대한 伸長)

③ $\phi = \theta \cdot l = \dfrac{T \cdot l}{G \cdot I_p} = \dfrac{T \cdot l}{k_t}$ (단 $G \cdot I_p = k_t$: 비틀림 강성계수. P.174 참조)

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

→ (단위 torque에 대한 비틀림각)

$$\frac{l_o}{k_{t(total)}} = \frac{l_i}{k_{ti}} + \frac{l_o - l_i}{k_{to}}$$

k_{to}: 구멍의 영향이 없는 부분에서 단위 torque에 대한 비틀림각

k_{ti}: 각각 구멍의 영향부 에서 단위 torque에 대한 비틀림각

$k_{t(total)}$: 평균강성계수에 대한 단위 torque당의 비틀림각

P. 139

식(b)

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

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

P.139 ※ 감쇠 자유진동

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

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

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

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

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

$n^2 < \omega_o^2$ 이라 하면 $\sqrt{\omega_o^2 - n^2} = \omega_{o1} > 0$ 이다.

$\therefore$ $r_1 = -n + \omega_{o1} \cdot i$, $r_2 = -n - \omega_{o1} \cdot i$

※※ $\cos z = \dfrac{[e^{i \cdot z} + e^{-i \cdot z}]}{2}$, $\sin z = \dfrac{[e^{i \cdot z} - e^{-i \cdot z}]}{2}$

$$\therefore x_1 = \frac{C_1[e^{r_1 \cdot t'} + e^{r_2 \cdot t'}]}{2} = \frac{C_1[e^{(-n+\omega_{o1} \cdot i)t'} + e^{(-n-\omega_{o1} \cdot i) \cdot t'}]}{2}$$

$$= C_1 \cdot e^{-n \cdot t'}\left[\frac{e^{\omega_{o1} \cdot i \cdot t'} + e^{-\omega_{o1} \cdot i \cdot t'}}{2}\right] = C_1 \cdot e^{-n \cdot t'} \cdot \cos(\omega_{o1} \cdot t')$$

$$x_2 = \frac{C_2[e^{r_1 \cdot t'} - e^{r_2 \cdot t'}]}{2\,i} = \frac{C_2[e^{(-n+\omega_{o1} \cdot i)t'} - e^{(-n-\omega_{o1} \cdot i) \cdot t'}]}{2\,i}$$

$$= C_2 \cdot e^{-n \cdot t'}\left[\frac{e^{\omega_{o1} \cdot i \cdot t'} - e^{-\omega_{o1} \cdot i \cdot t'}}{2}\right] = C_2 \cdot e^{-n \cdot t'} \cdot \sin(\omega_{o1} \cdot t')$$

$\therefore$ 일반해는

$$x = x_1 + x_2 = e^{-n \cdot t'} \cdot [\, C_1 \cdot \cos(\omega_{o1} \cdot t') + C_2 \cdot \sin(\omega_{o1} \cdot t')]$$

P.145 下에서 1 行

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

※ h(Kcal/m²·hr·℃) : 열전달율 (coefficient of surface heat transfer)

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

열대류(thermal convection)

단, A : 전열면 면적[m²] Q : 열량[Kcal]

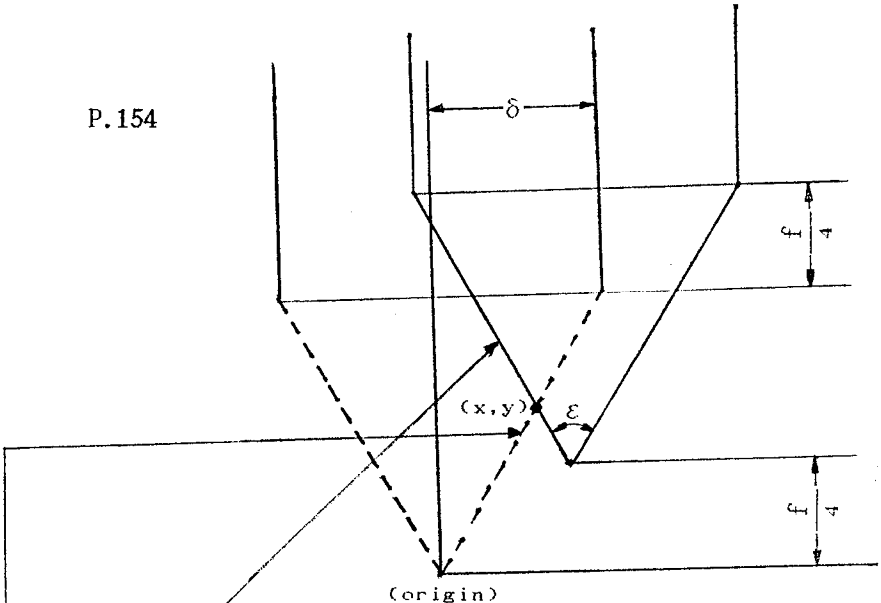
t_{fluid} : 유체의 온도[℃] T : 시간[hr]

$t_{surface}$: 고체의 온도[℃]

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

※λ : 열전도율[Kcal/m·hr·℃](열전도도, thermal conductivity)

P.154



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

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

$$y = \tan\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\varepsilon}{2}\right)\cdot\chi = \cot\frac{\varepsilon}{2}\cdot\chi \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{②}$$

두직선의 交點에서

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

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

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

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

P.176 식(6-26) 에서

$\chi=0$ 일때 $y = 0$ $\therefore c_2 = 0$

$\chi=b$ 일때 $y = 0$ $\therefore 0 = \frac{a}{b} \cdot \frac{b^3}{6} + c_1 \cdot b$

$$\therefore c_1 = -\frac{a \cdot b}{6}$$

식(6-27)에서

$\chi=b$ 일때 $y = 0$

$$\therefore 0 = -\frac{b^3}{6} + (a+b) \cdot \frac{b^2}{2} - \left(\frac{a \cdot b}{2} + \frac{b^2}{2} - c_1\right) \cdot b + c_2' \qquad (※\ c_1 = -\frac{a \cdot b}{6})$$

$$0 = -\frac{b^3}{6} + \frac{a \cdot b^2}{2} + \frac{b^3}{2} - \frac{a \cdot b^2}{2} - \frac{b^3}{2} - \frac{a \cdot b^2}{6} + c_2' \qquad \therefore c_2' = \frac{b^3}{6} + \frac{a \cdot b^2}{6}$$

이상의 상수를 식(6-27)에 대입하면

$$-\frac{EI}{P} \cdot y = \frac{(a+b)^3}{6} + \frac{(a+b)^3}{2} - \left(\frac{a \cdot b}{2} + \frac{b^2}{2} + \frac{a \cdot b}{6}\right) \cdot (a+b) + \frac{b^3}{6} + \frac{a \cdot b^2}{6}$$

$$= \frac{(a+b)^3}{3} - \left(\frac{2a \cdot b}{3} + \frac{b^2}{2}\right) \cdot (a+b) + \frac{b^3}{6} + \frac{a \cdot b^2}{6}$$

$$= \frac{1}{3}(a^3 + 3a^2 \cdot b + 3a \cdot b^2 + b^3) - \left(\frac{2a^2b}{3} + \frac{ab^2}{2} + \frac{2ab^2}{3} + \frac{b^3}{2}\right) + \frac{b^3}{6} + \frac{ab^2}{6}$$

$$= \frac{a^3}{3} + a^2 \cdot b + a \cdot b^2 + \frac{b^3}{3} - \frac{2a^2b}{3} - \frac{7ab^2}{6} - \frac{b^3}{2} + \frac{b^3}{6} + \frac{ab^2}{6}$$

$$= \frac{a^3}{3} + \frac{a^2b}{3} = \frac{1}{3}(a^3 + a^2b) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (6\text{-}28)$$