

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.²⁰⁰

等差級數速度列은 계속 일정한 數(公差 a)를 가산하여 主軸의 速度를 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 ϕ=1.44라 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. (경제철삭속도)

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	18.75	25	7.65
n_2	6.25	2.67	17.35	5.35
n_3	3.58	1.08	12.0	3.74
n_4	2.5	0.58	8.26	2.51
n_5	1.92	0.36	5.75	1.80
n_6	1.56	0.25	3.95	1.23
n_7	1.31	0.17	2.72	0.84
n_8	1.14	0.14	1.88	0.58
n_9	1.0	0.11	1.3	0.41
n_{10}	0.89		0.89	

$$d_1 = \frac{65.6 \times 12}{\pi \times 40}$$

$$d_2 = \frac{65.6 \times 12}{\pi \times 14.4}$$

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

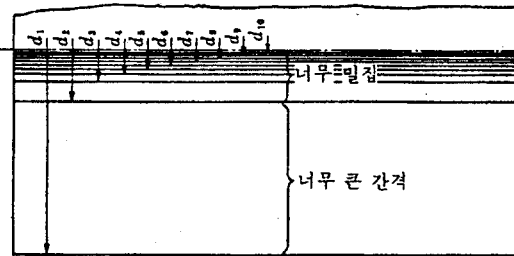
이와 같은 문제들을 연구하기 위하여 $n_1=10$ rpm, $n_{10}=280$ rpm 및 $v=65.6$ ft/min인 機械의 例로 돌아가 보자.

소기의 切削速度에서 切削할 수 있는 加工物 直徑의 間격이 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 直徑 0.89in에 대한 主軸의 速度를 쉽게 구할 수 있다(n_9 및 n_{10}). 直徑 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 直徑의 差가 무려 18.75 in나 된다.

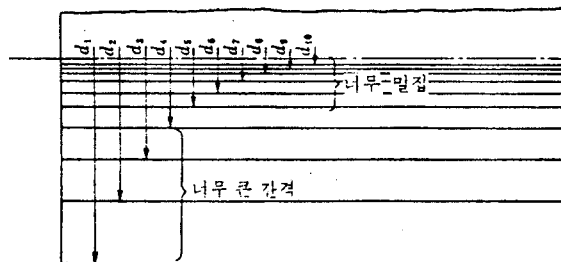
等比級數速度列을 취하면 사정은 크게 좋아진다. 切削速度를 65.6 ft/min으로 할 때 작은 直徑에서 直徑差가 0.41in이고 큰 直徑(n_2 와 n_1)에서는 直徑差가 7.65in로서 等差級數列의 18.75보다 좋은 상태이다.

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 直徑의 전범위에 걸쳐 65.6 ft/min인 切削速度의 切削은 불가능하다.

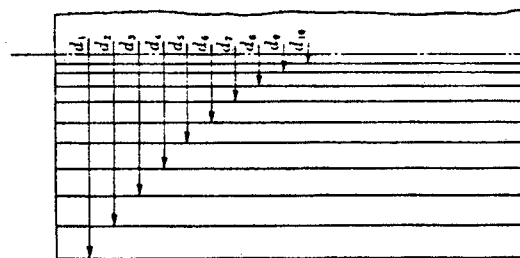
소요의 切削速度에 달하기 위한 물림깊이를 Fig. 257과 같이 軸(加工物)에 層을 그리어 표시하였다. 等差級數速度列에서는 速度配列이 아주 좋지 않고, 等比級數速度列에서는 速度配列이 잘 되어 있는 것을 볼 수 있다. 著者가 개발한 對數級數速度列에 대하여 지금부터 설명하고자 한다.



等差級數速度列



等比級數速度列



對數級數速度列

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

p. 313 식 (5-15)

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

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

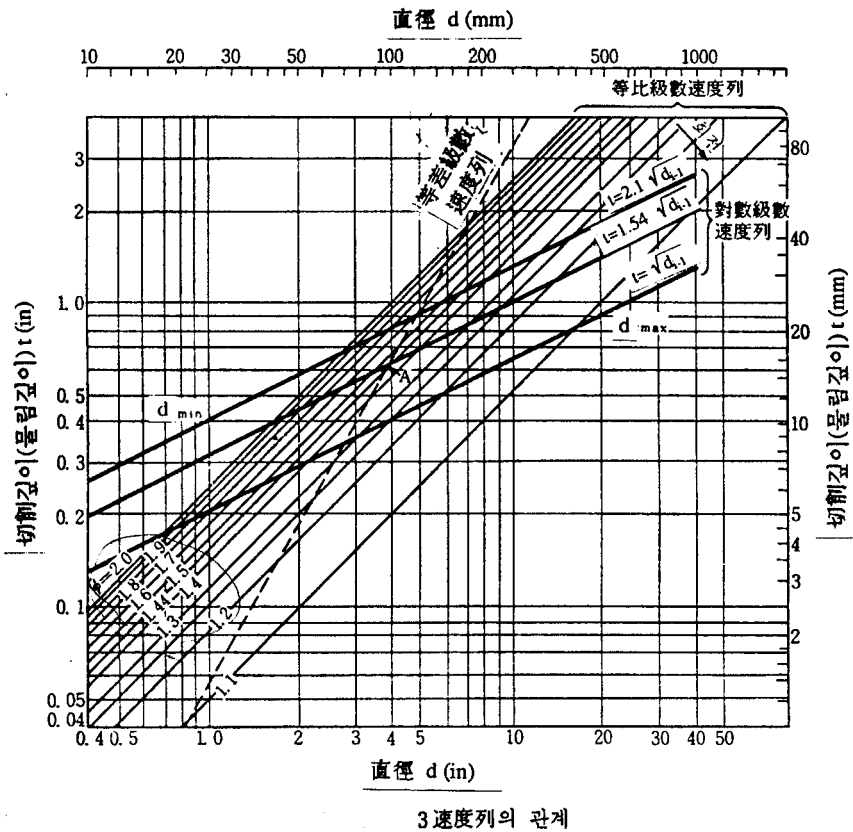
∴ ①, ② 에서

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

직경감소량은

→ $d_{i-1} - d_i = 2 \cdot t$ ④

그림은 양대수방안지에 3가지 속도열에 의한 직경 d 와 물림깊이 t의 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

$$d_{i-1} - d_i = 2 \cdot C \cdot \sqrt{d_{i-1}} \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

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 代入하면

$$\begin{aligned} \frac{1000 \times 40}{\pi \cdot n_{i-1}} - \frac{1000 \times 40}{\pi \cdot n_i} &= 2 \cdot C \sqrt{\frac{1000 \times 40}{\pi \cdot n_{i-1}}} \\ \frac{40000}{\pi} \left(\frac{1}{n_{i-1}} - \frac{1}{n_i} \right) &= 2 \cdot C \sqrt{\frac{40000}{\pi}} \sqrt{\frac{1}{n_{i-1}}} \\ \frac{40000}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi}{40000}} \left(\frac{1}{n_{i-1}} - \frac{1}{n_i} \right) &= C \sqrt{\frac{1}{n_{i-1}}} \\ 56.42 \left(\frac{1}{n_{i-1}} - \frac{1}{n_i} \right) &= C \sqrt{\frac{1}{n_{i-1}}} \end{aligned}$$

단, $i = 2 \sim 10$

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

이와같이 계속 n_3, \dots, n_{10} 의 식을 구하고 $n_{10} = 560(\text{rpm})$ 으로 놓아 C 를 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 $n_2 \sim n_9, C$ 로 9개 이므로 연립방정식의 해를 구할 수 있음.

그러나, 식의 전개가 너무나 복잡하여 $C = 2.00 \sim 2.09$ 까지 대입하여 표를 만들고 비례 식으로 C 를 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 C 를 2.00으로 하고 $i=2, i=3, i=4, i=5, i=6, i=7, i=8, i=9, i=10$ 을 차례로 구한다.

$$i=2 \text{ 일때 } \left(\begin{array}{l} 56.42 \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) = C \sqrt{\frac{1}{n_1}} \\ 56.42 \left(\frac{1}{20} - \frac{1}{n_2} \right) = C \sqrt{\frac{1}{20}} \\ \left(\frac{1}{20} - \frac{1}{n_2} \right) = C \sqrt{\frac{1}{20}} / 56.42 \\ - \frac{1}{n_2} = \left(C \sqrt{\frac{1}{20}} / 56.42 \right) - \frac{1}{20} \\ \frac{1}{n_2} = \frac{1}{20} - \left(C \sqrt{\frac{1}{20}} / 56.42 \right) \end{array} \right)$$

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

$$n_2 = \frac{1}{\frac{1}{20} - \left(2.00 \sqrt{\frac{1}{20}} / 56.42 \right)}$$

$$n_2 = 23.77$$

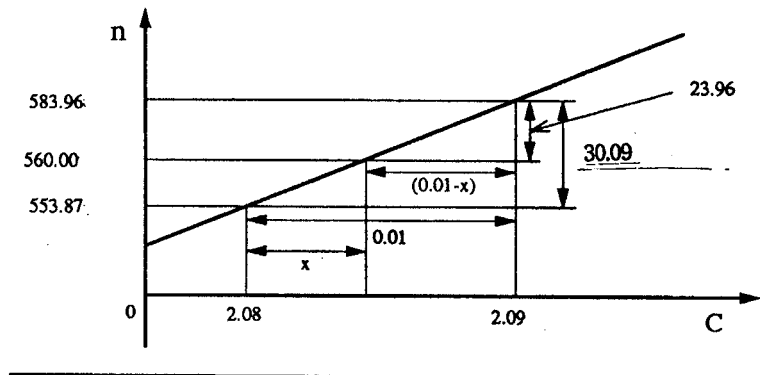
$$\begin{aligned}
 i=3 \text{ 일때 } & \left(\begin{aligned}
 56.42 \left(\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_3} \right) &= C \sqrt{\frac{1}{n_2}} \\
 56.42 \left(\frac{1}{23.77} - \frac{1}{n_3} \right) &= C \sqrt{\frac{1}{23.77}} \\
 \left(\frac{1}{23.77} - \frac{1}{n_3} \right) &= C \sqrt{\frac{1}{23.77}} / 56.42 \\
 -\frac{1}{n_3} &= \left(C \sqrt{\frac{1}{23.77}} / 56.42 \right) - \frac{1}{23.77} \\
 \frac{1}{n_3} &= \frac{1}{23.77} - \left(C \sqrt{\frac{1}{23.77}} / 56.42 \right)
 \end{aligned} \right) \\
 \therefore n_3 &= \frac{1}{\frac{1}{23.77} - \left(C \sqrt{\frac{1}{23.77}} / 56.42 \right)} \\
 n_3 &= \frac{1}{\frac{1}{23.77} - \left(2.00 \sqrt{\frac{1}{23.77}} / 56.42 \right)} \\
 n_3 &= 28.73
 \end{aligned}$$

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



$$\begin{aligned}
 0.01 : (0.01 - x) &= 30.09 : 23.96 \\
 \therefore 30.09(0.01 - x) &= 23.96 \times 0.01 \\
 0.01 - x &= \frac{23.96 \times 0.01}{30.09} \\
 \therefore x &= 0.01 - \frac{23.96 \times 0.01}{30.09} \\
 &= 0.00203722 \\
 &\approx 0.002 \\
 \therefore C &= 2.08 + 0.002 \\
 &= 2.082
 \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

$$= 104.9$$

$$\therefore d_2 = 531.55$$

$$\therefore n_2 = \frac{1000 \times V_c}{\pi \cdot d_2} = \frac{1000 \times 40}{\pi \times 531.55} = 23.95$$

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.

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

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

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

즉 3번째를 택하면 공비는 ϕ 의 3자승이 된다.

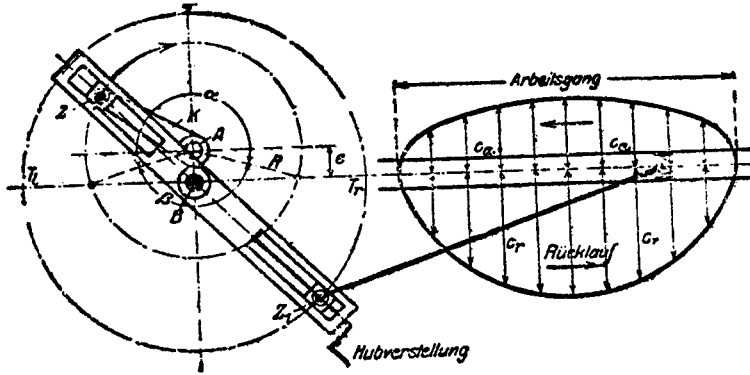
* $n_1 \phi^{x-1}, \dots, n_1 \phi^{2x-1}$

공비 $\phi^{(2x-1)-(x-1)} = \phi^x$

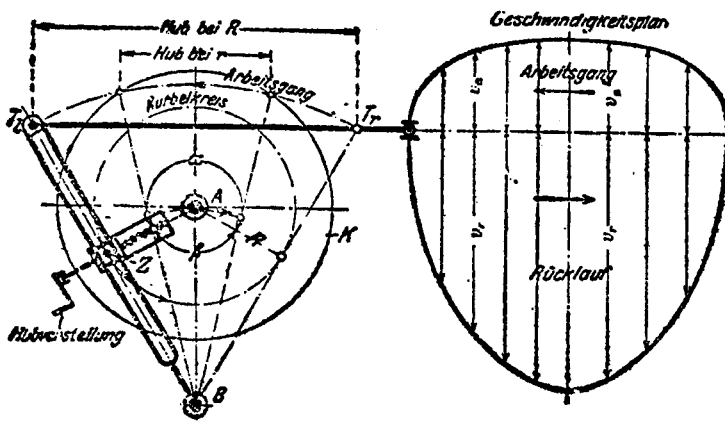
③ $n_1, n_1 \phi, n_1 \phi^2, n_1 \phi^3, \dots$: 공비 ϕ

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

④ Table 5-2 또는 Table 5-4 를 이용하여 설명

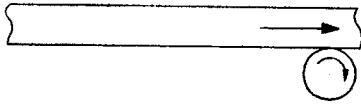


회전활자 회전기구(p.367참조)



요동활자 회전기구(p.367참조)

P. 321 下에서 6行



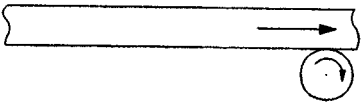
10회전/stroke 라면
20회전/왕복

∴ 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.

$$\begin{aligned} \text{주축의 동력} &= \text{절삭 저항} \times \text{절삭 속도} \\ \text{이송기구의 동력} &= \text{절삭 저항} \times \text{이송 속도} \end{aligned}$$

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

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

$$\phi = z^{-1} \sqrt{\frac{d_1}{d_z}}$$

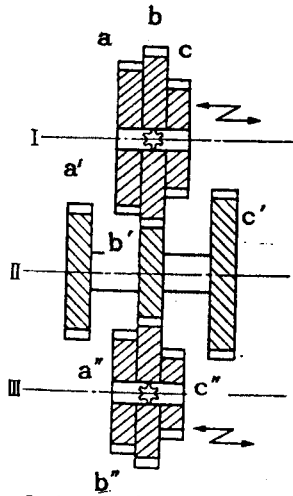


Fig 5-22 3단 2조 변속 gear 열

$$\textcircled{1} \quad \frac{a}{a'} = u_1, \quad \frac{b}{b'} = u_2$$

$$\frac{a'}{a''} = u_1', \quad \frac{b'}{b''} = u_2'$$

$$a+a' = b+b'$$

$$a'+a'' = b'+b''$$

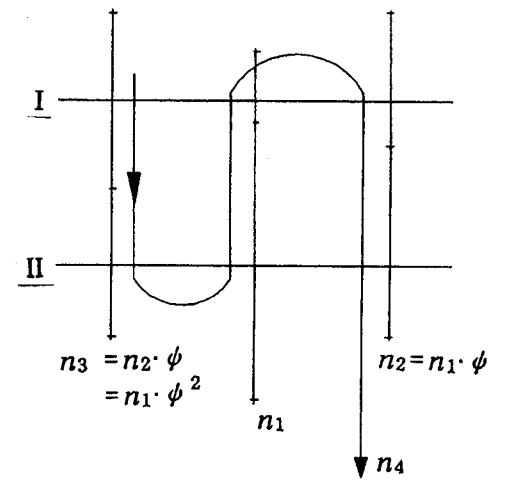
단, u_1, u_2, u_1', u_2' 는 기지수

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

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

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

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



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

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

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

$n_4 = n_1 \cdot \phi^3$ 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 1축의 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.

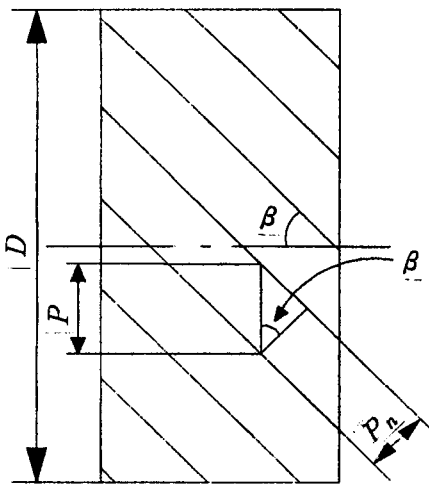
P. 337 上에서 3行 式(5-68)

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{i_3}{i_2} = \frac{i_4}{i_3} = \frac{i_5}{i_4} = \frac{i_6}{i_5} = \phi \text{ 이므로 } \frac{u_2}{u_1} = \frac{u_3}{u_2} = \phi \text{ 가 되어 최종 회전수가 등비급수열}$$

이 되기 위해서는 부분속도비 u_1, u_2, u_3, u_4 가 등비급수 속도열이 되어야 한다.

P. 343 식(5-81)

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



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

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

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

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

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

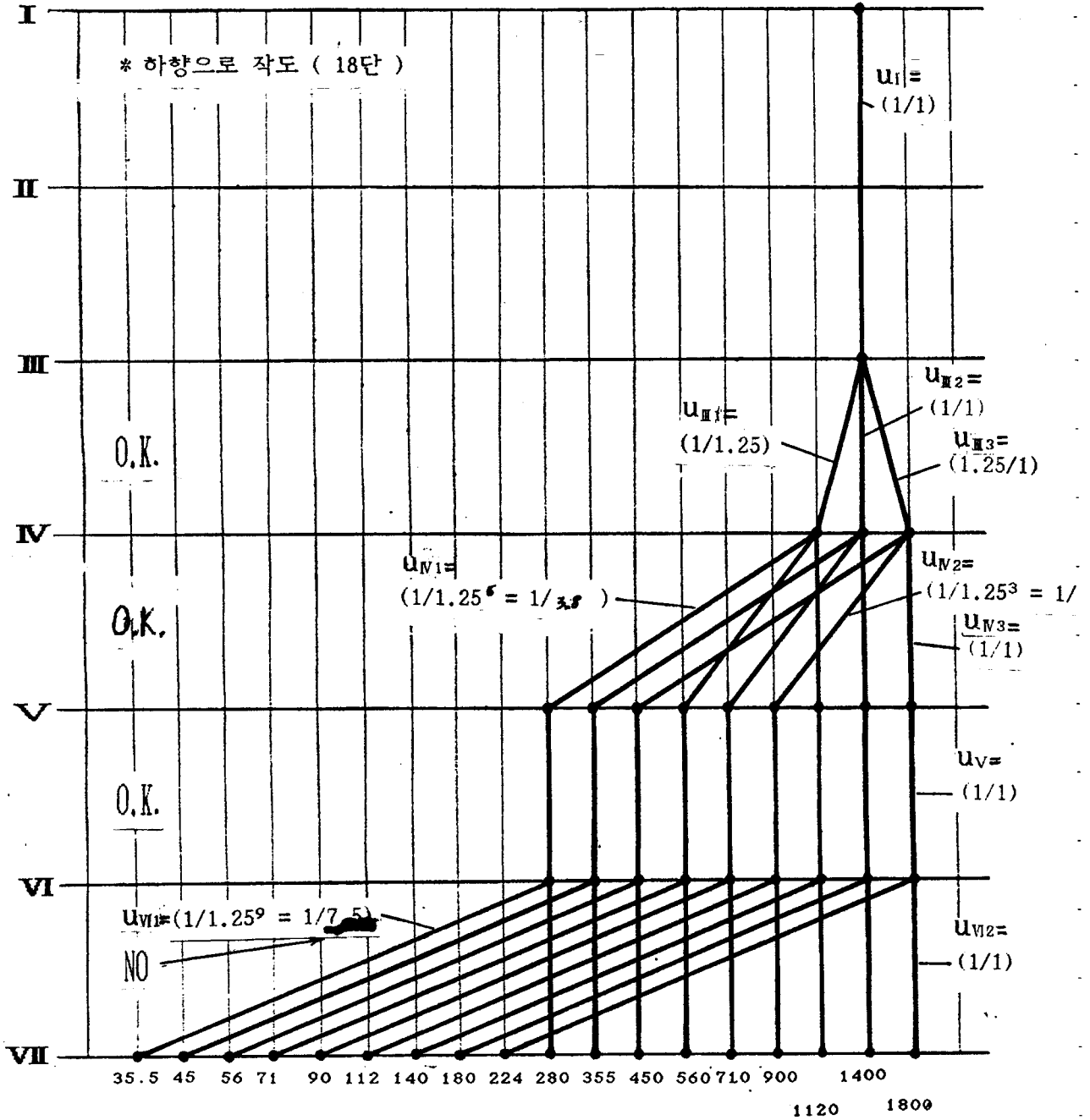
P. 343 Table.5-7

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

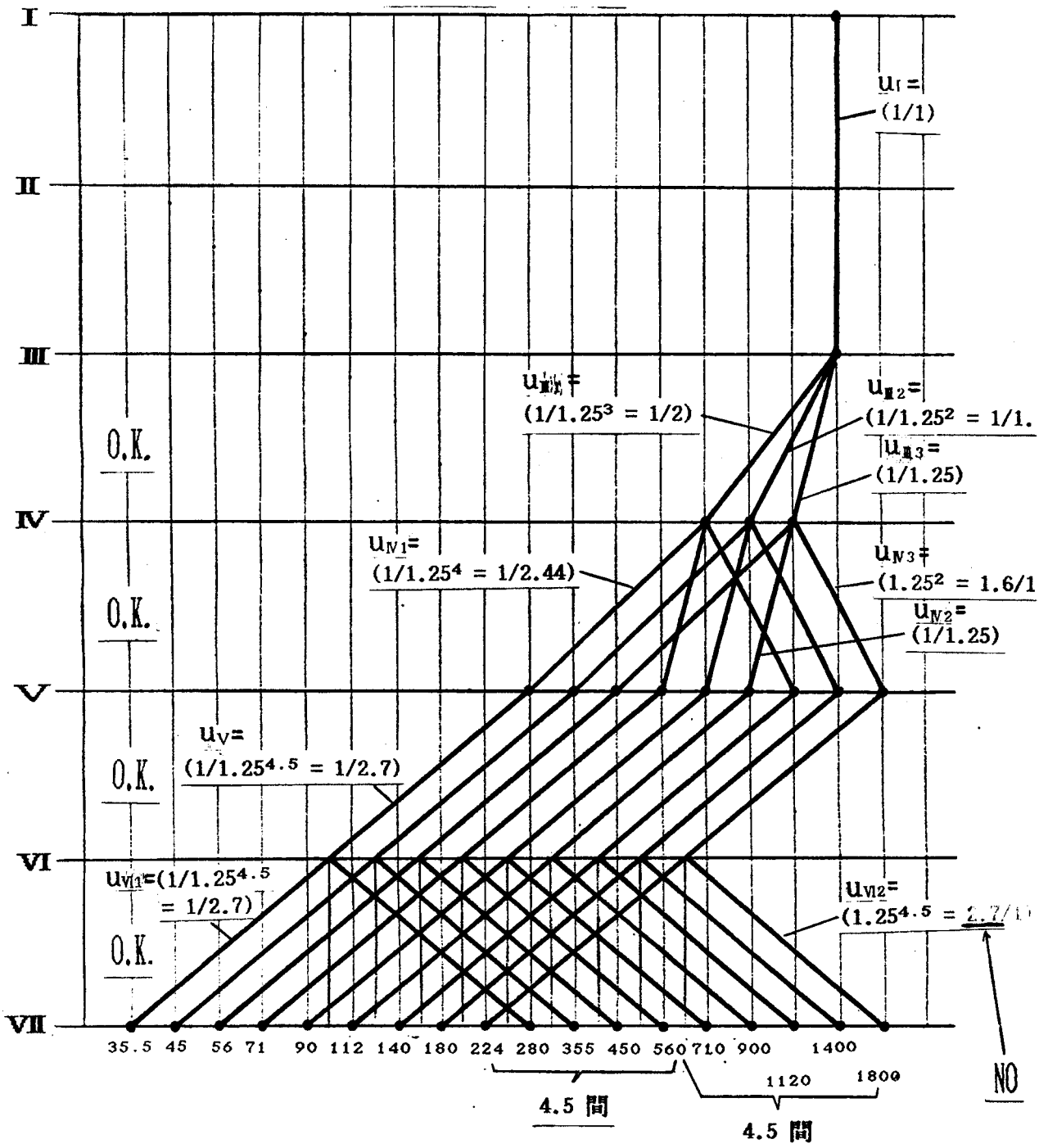
P. 344 Table.5-8

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

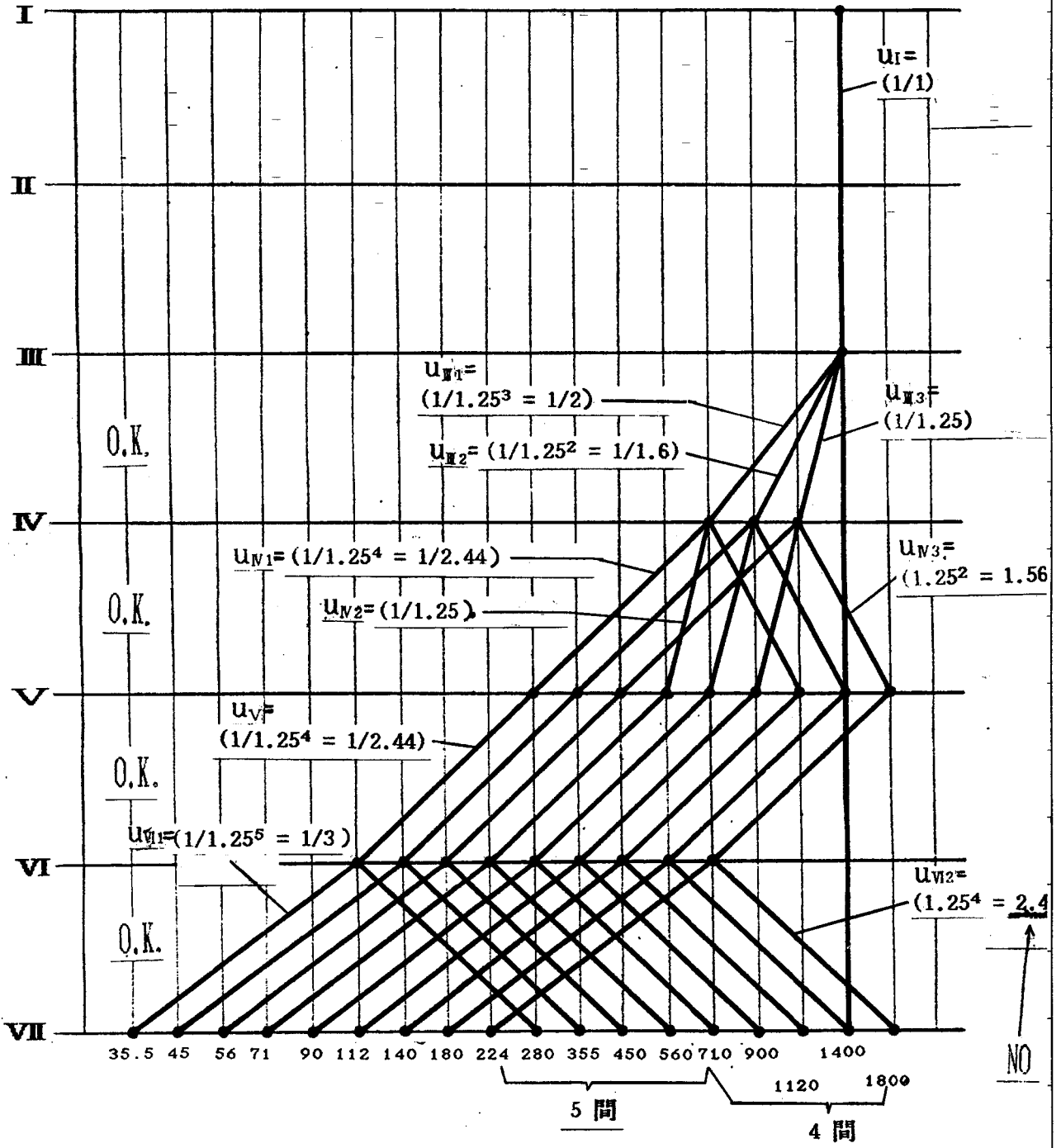
($1/4 \leq u_i \leq 2/1$) * P. 337 식(5-67)참조



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

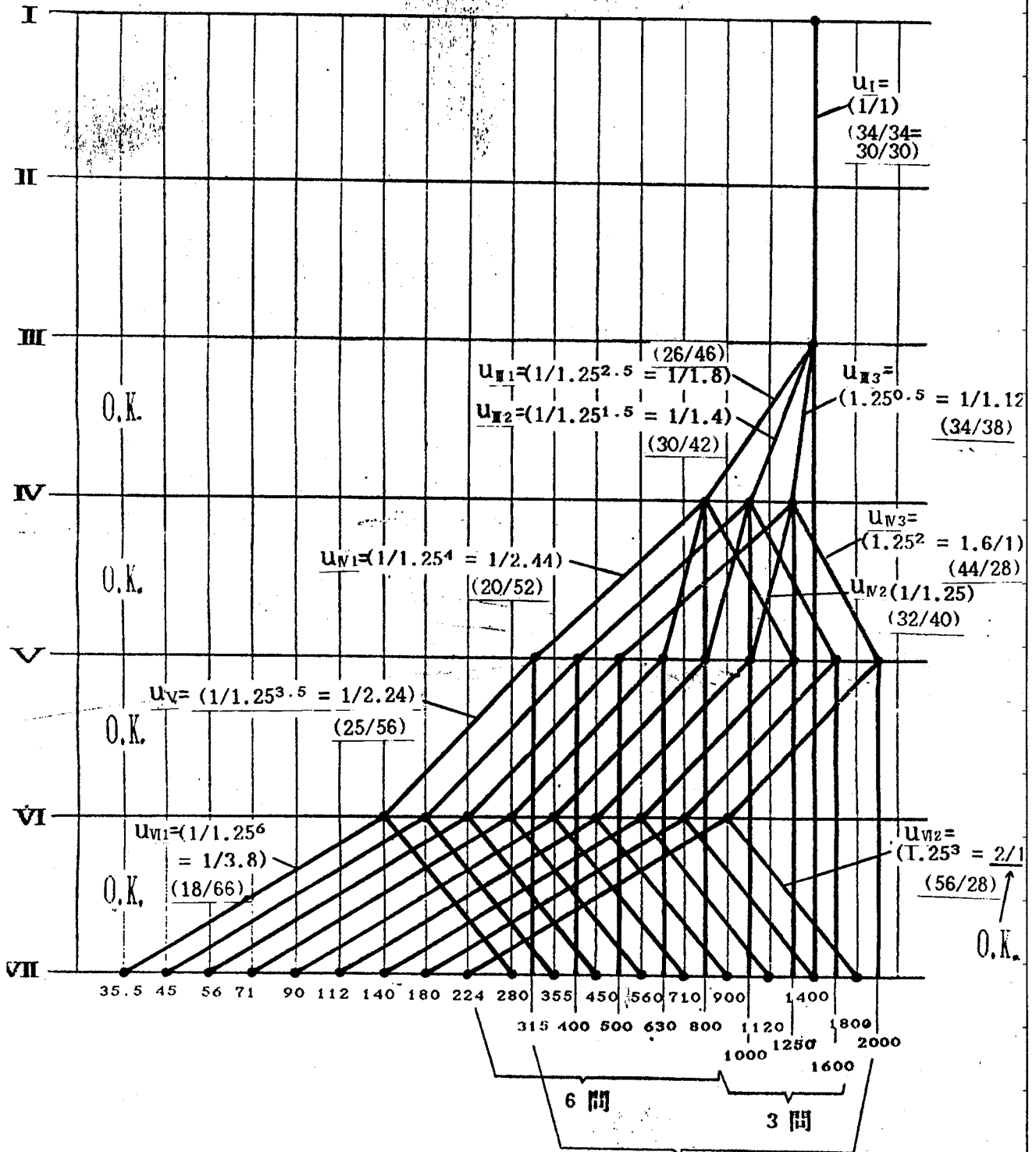


$$(1/4 \leq u_i \leq 2/1)$$



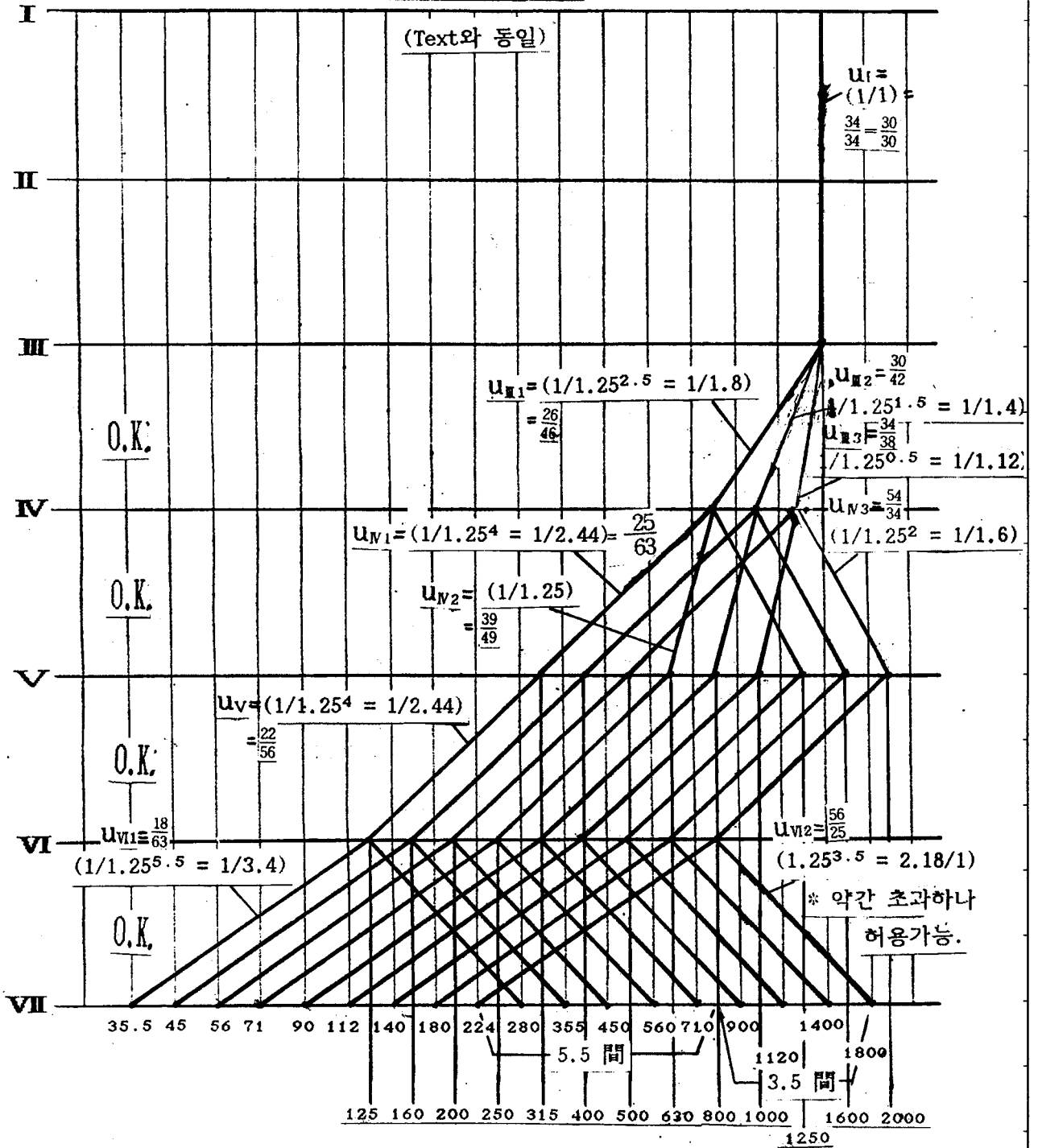
* 9間 / 2 을 고려하여 4와 5間으로.

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



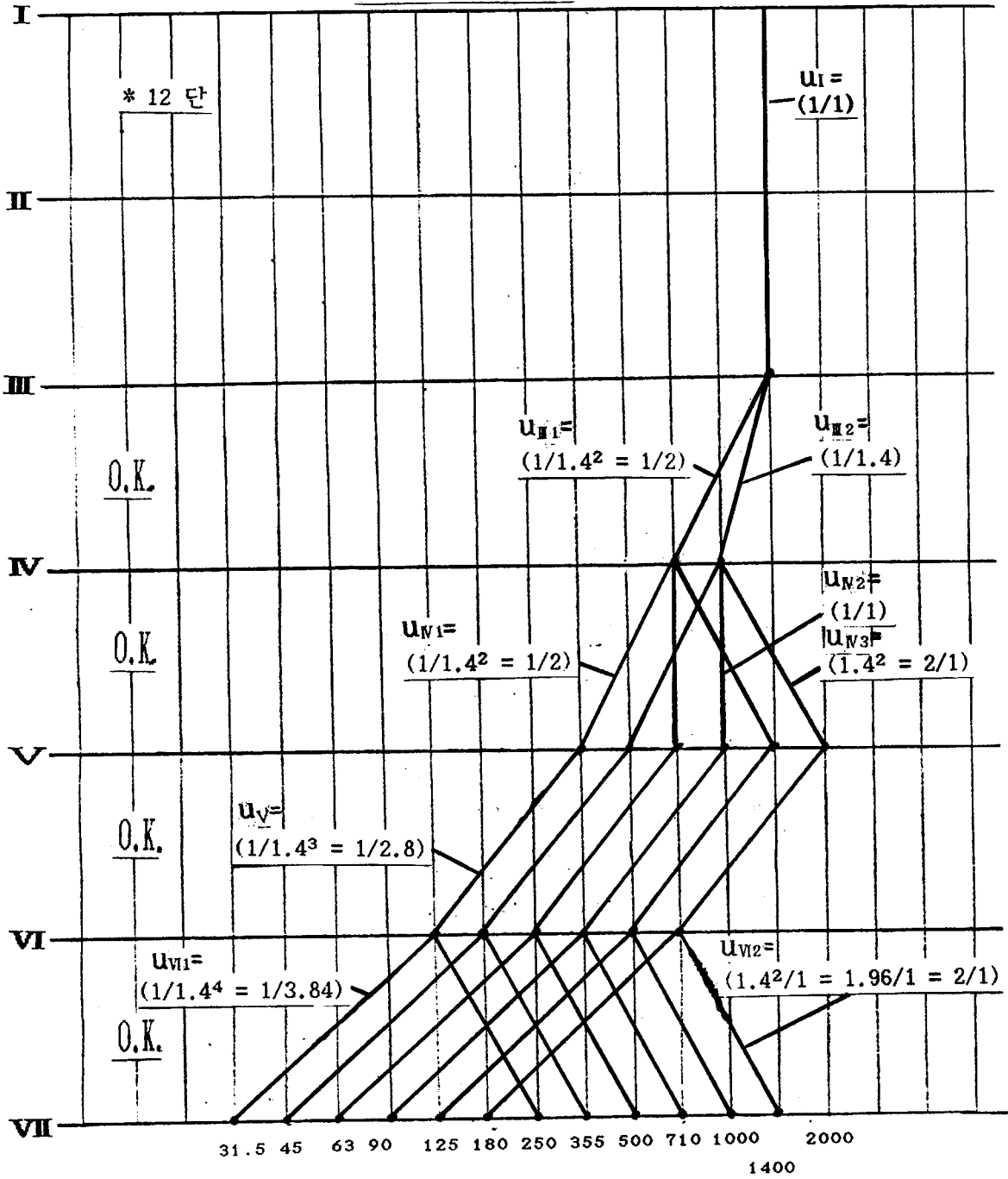
* 제 2의 등비급수 속도열을 얻을수 있다
(14-4)

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

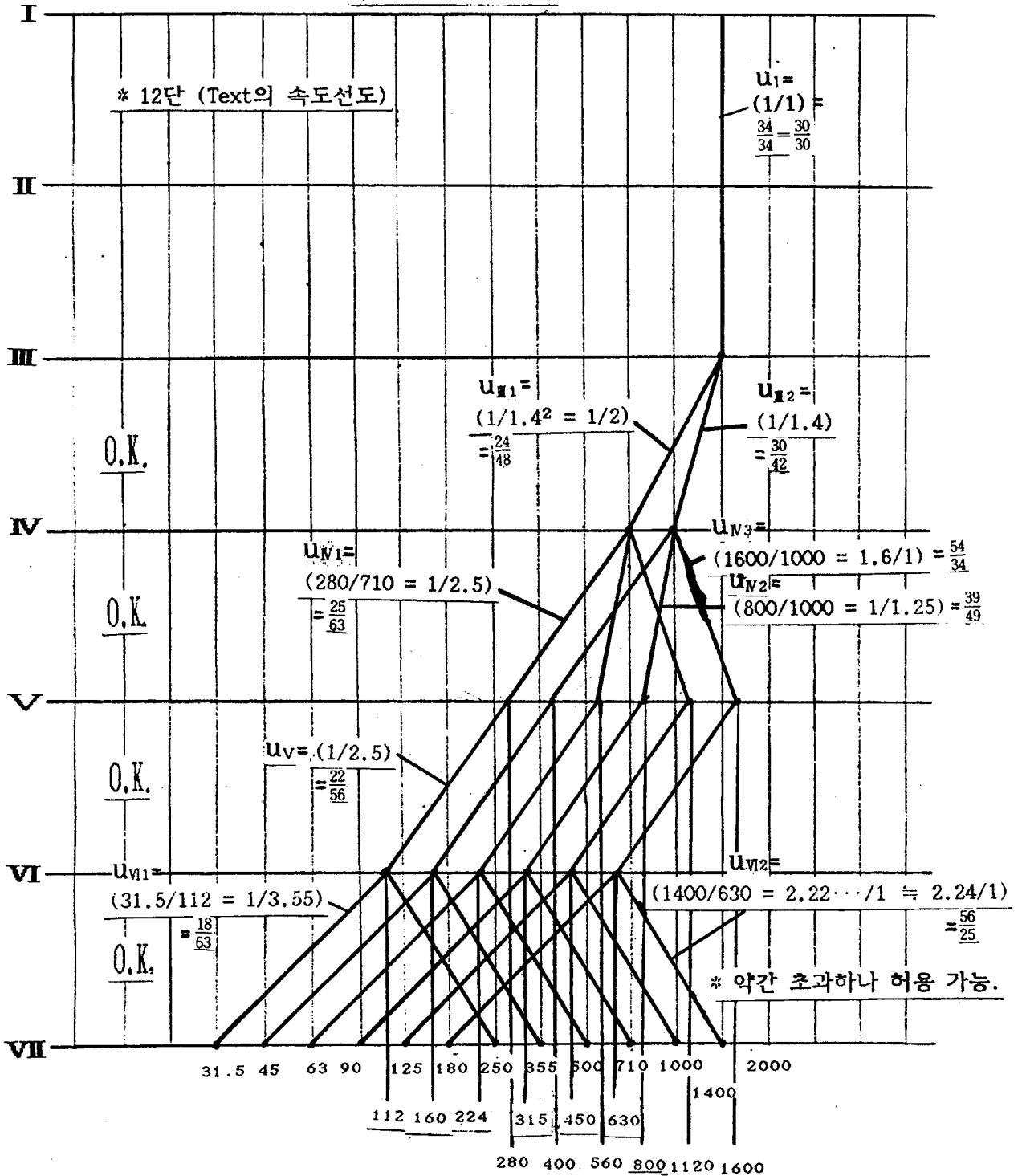


* 제 2의 등비급수 속도범위가 (14-4)의 것보다 확대 되었음.

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



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



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

Table 5-9

구동 gear 단수	입력속도 [rpm]	총전달비 $u_{II} \cdot u_{IV} \cdot u_V \cdot u_{VI}$	출력속도 [rpm]	표준속도 [rpm]	정확치 [rpm]	정확치에 대한 편차 [%]
		$\frac{26}{46} \cdot \frac{25}{63} \cdot \frac{22}{56} \cdot \frac{18}{63}$	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)

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

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

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.

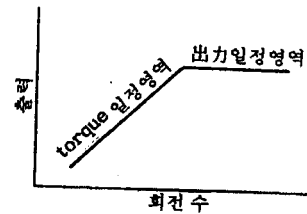


Fig.1 Motor의 특성

(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 熱變位에 의한 精度變化를 충분히 고려하여야 한다. Headstock의 온도상승을 방지하기 위하여 냉각수를 사용하는 방법, 특수 윤활방식을 채택하는 방법이 있다.

2. G50 mode 에서 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 3000rpm 이라는 표시이다.

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

Fig.2와 같이 가공을 하는 데 있어서 G96(주축일정제어) S120으로 단면절삭한다면 절삭속도가 120m/min이므로 주축회전수는

bite가 P₁점에 있을 때

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

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

bite가 P₂점에 있을 때

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

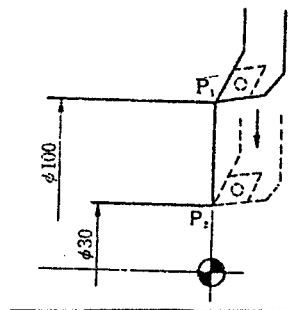


Fig.2
절삭속도
계산의 예

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 절삭출력을 고려하여 주축의 속도영역을 선택한다.

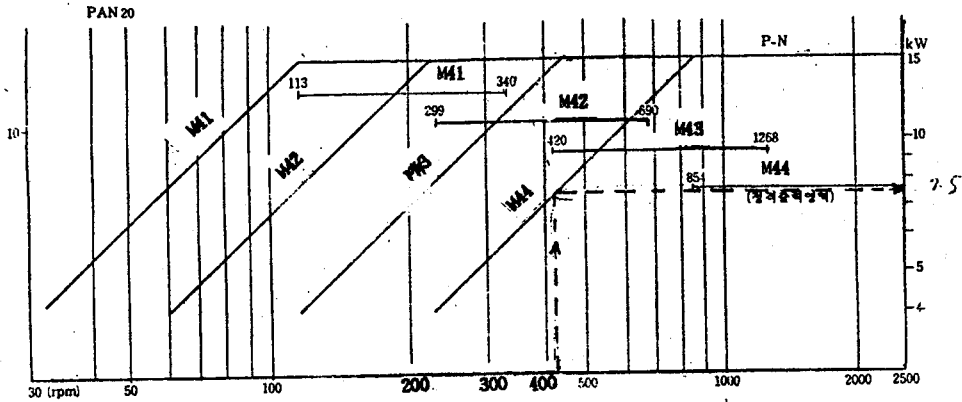


Fig. 3 주축의 출력속도

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

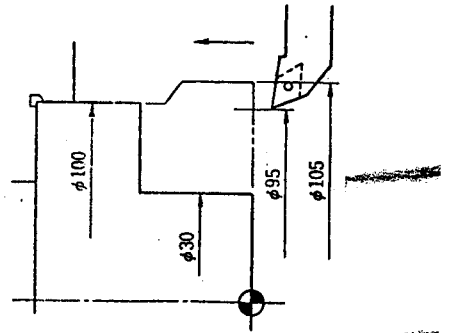
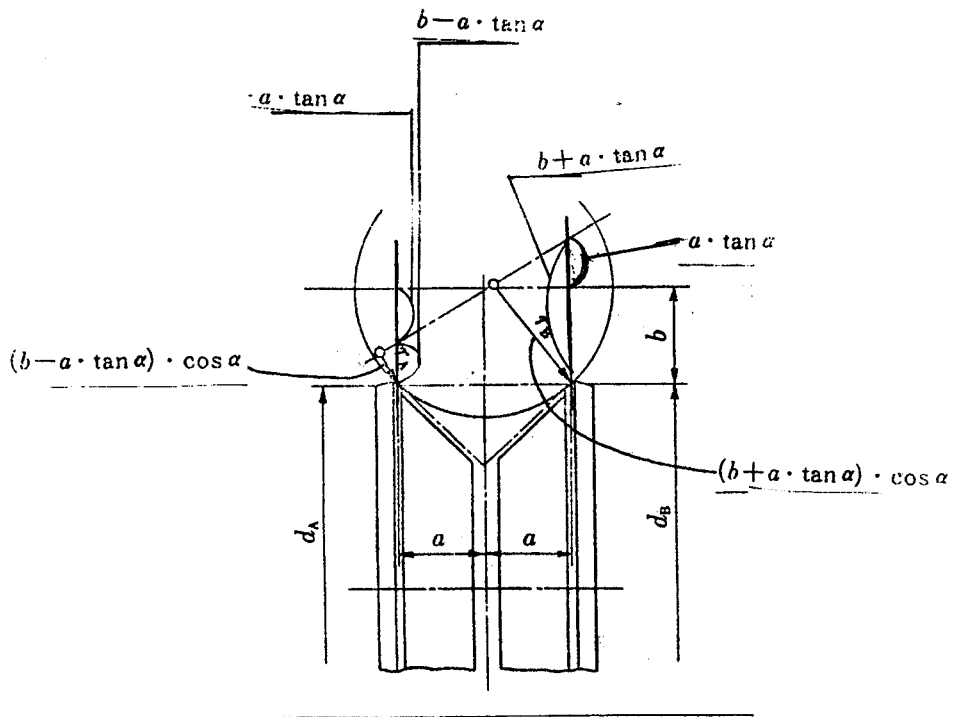


Fig. 4 속도역 선택 예

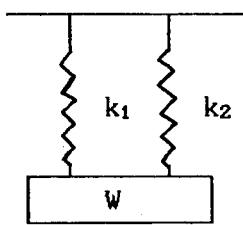
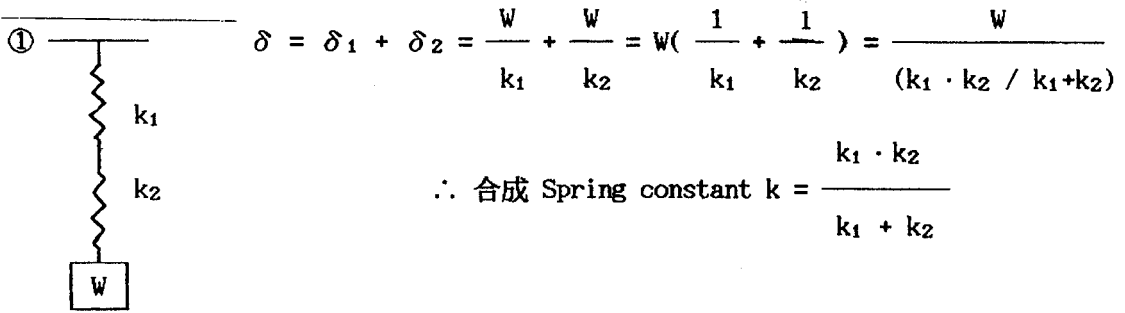
$$P_w = \frac{f \cdot t \cdot k \cdot v}{6120 \cdot y} \text{ kW} = \frac{0.3 \times 5 \times 250 \times 120}{6120 \times 0.8} = 9.2 \text{ kW}$$

로서 절삭중에 DC motor는 9.2kW의 출력을 내야 한다. 만일에 Fig.3에서 M4를 택하였다 고 하면 최저회전수 402rpm 에서는 DC motor의 출력은 7.5kW 밖에 되지 않으므로 motor는 정지하게 된다. 따라서 이 예제의 경우는 M4의 속도영역을 선택하여야 한다.

P.353 Fig. 5-39, 식(5-90)



p.375 Fig.5-66



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

\therefore 合成 Spring constant $k = k_1 + k_2$

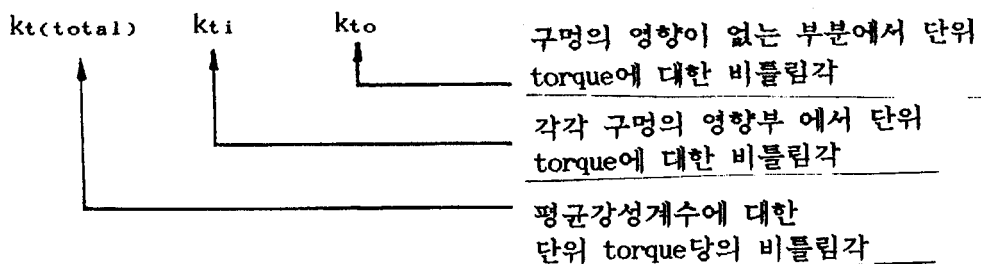
② $\delta = \frac{W}{k}$ 에서 $\frac{1}{k} = \frac{\delta}{W}$ (단위하중에 대한 伸長)

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)

$$\frac{l_0}{k_t(\text{total})} = \frac{l_i}{k_{t_i}} + \frac{l_0 - l_i}{k_{t_0}}$$



$$\text{식(b)} \left\{ \begin{array}{l} (\omega_0^2 - \omega^2) \cdot M - (2n\omega) \cdot N + 0 = 0 \\ (2\omega n) \cdot M + (\omega_0^2 - \omega^2) \cdot N + \frac{F_{\max} \cdot g}{W} = 0 \end{array} \right.$$

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

* 감쇠 자유진동

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

\(\therefore\) 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 $\frac{dQ}{dT} = q = h \cdot A \cdot (t_{\text{surface}} - t_{\text{fluid}})$

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

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

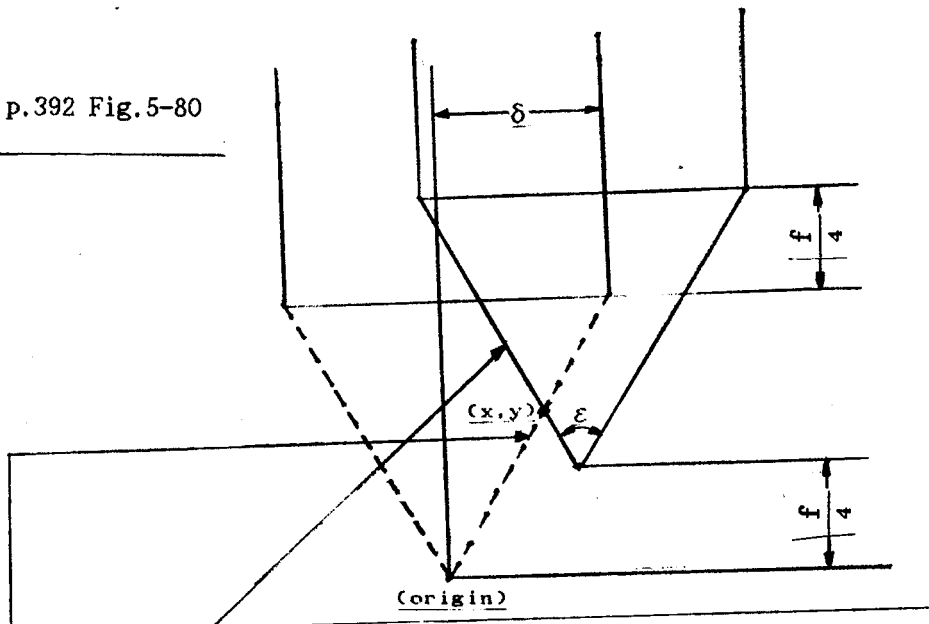
열대류(thermal convection)

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[Kcal/m·hr· $^\circ\text{C}$](열전도도, thermal conductivity)

p.392 Fig.5-80



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

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

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

두직선의 交點에서

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

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

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

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