

<技術報告>

# 평면연삭기 BALL WAY 조립품에 최소가공비를 고려한 각 부품의 치수공차 부여 방법에 관하여

## On the allocation of the optimum tolerance about the ball way part for the surface grinding machine.

玄 昌 憲\* · 李 奉 珍\*

CHANG HUN HYUN · BONG JIN LEE

### 1. 서 론

어떤 조립품을 설계하는데 있어서, 그것을 구성하는 각 부품들에 어느정도의 치수공차를 지정하는 것이 좋은가 하는 것을 생각하여야 한다.

여기에는 사용자의 요구와 기업의 경제 및 기존설비의 등의 여러가지 요소를 포함시켜, 그 상호관계간에 최적인 상태의 치수공차를 각 부품치수에 부여할아 이상적인 일이라 하겠다.<sup>1)~2)</sup>

그러나 일반적으로, 어떤 조립품이 생산된 후 여러가지 불합리한 조건<sup>3)</sup>이 발생되지 않도록 하기 위해, 그 기능이 중요하다고 고려되는 부품의 치수공차는 가능한 작게 취해지는 것이 상례이며, 임의대로 공차의 범위를 작지만 취하게 되므로써 과잉품질의 제품이 생산되어 생산성이 떨어지는 원인<sup>4)</sup>도 되고 있다.

만일 조립품에 대하여 사용자가 바라는 것이, 조립품의 최종정밀도와 염가의 제품이라면, 그때 각 부품의 공차의 값을 어떤 특정 방식을 사용하여 산출 하므로써주어진 최종정밀도를 만족시키고 동시에 생산비에 영향을 주는 가공비를 염가가 되도록 할 수 있다.

이것에 대한 연구로서, 어느 특정한 경우에만 사용되는 최종정밀도의 식<sup>5)</sup>을 사용하여 M. F. Spotts가 쓴 논문이 있다.

여기에서, M. F. Spotts가 사용한 생산비식을 써서, 현재 KIST 정밀기계기술센터에서 시작개발(試作開發)

하고있는 평면연삭기의 상기 문제점에 응용해 보기도 했다.

즉, 평면연삭기의 최종정밀도에 관련된 문제론 제기하고 그에 필요한 식을 유도한 후, 그것의 각 부품치수가 어떤 공차 범위내에 들면 최종정밀도를 만족시키고 또한 가공비를 감소시킬 수 있는가 하는 문제의 해결을 시도해 보았다.

### 2. 문제의 제기

우선 문제를 풀기 전에 다음과 같은 기정을 세운다.

① 베드(Bed), 테이블(Table), 서플(Saddle) 및 기타 관련 부품들은 강체(Rigid Body)이다.

② 진동의 영향은 무시한다.

③ 컬럼(column) 및 주축대에 관한 지반 영향은, 여기서 제외시킨다.

즉, 고려하는 부품들의 치수변동만을 문제의 대상으로 한다.

[평면연삭기 테이블 상면의 최종정밀도에 대한 고찰]

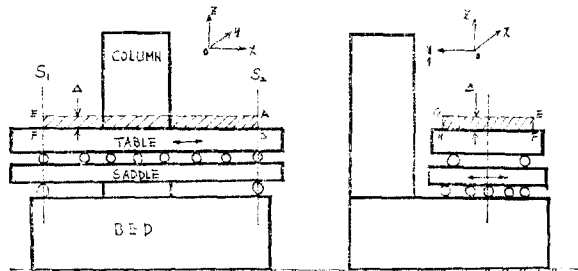
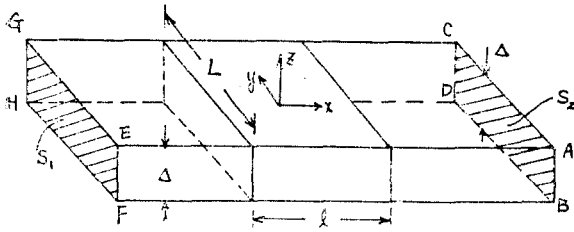


그림 1. 평면연삭기의 정면 및 우측면의 개략도

\* 正會員, 韓國科學技術研究所 精密機械技術센터  
<原稿接受 1977. 10. 20>



(주) L=SADDLE STROKE=y방향의 STROKE  
l=TABLE STROKE=x방향의 STROKE

그림 2. Table 상면의 변동범위

(그림 1)은 안내면(案内面)에 강구(steel ball)를 사용해서, 테이블 및 새들의 운동을 쉽게 하도록한 평면연삭기의 정면도와 우측면도를 나타낸 것인데, 간략하게 하기 위해서 안내면들은 포함시키지 않고 그 기능만을 표시한 것이다.

(그림 1)의 빗금친 부분은 평면연삭기 테이블상면의 경도구간(精密度區間)을 표시하는데, 그것만을 테이블 자세히 그리면 (그림 2)와 같다.

윗 그림들에서, 테이블상면을 이상평면이라 가정하고 x방향으로 테이블이 이동시,  $\Delta$  범위내에 그 상면이 존재하고 또한 y방향으로 이동시  $\Delta$  범위내에 존재하기 위해선  $s_1, s_2$ 의 위치에서 테이블상면은, 빗금친 면적  $\square ABCD$  및  $\square EFGH$  내에 있어야 한다. 즉, 테이블이 움직이거나 정지하거나간에,  $s_1, s_2$  위치에서 x방향 및 y방향에 수직인 평면에서 테이블 상면의 위치변동량은  $\Delta$  범위내에 있어야 한다.

지금,  $s_1, s_2$  위치에서 테이블의 변동량에 영향을 주는 것을 생각해보면 다음과 같다.

테이블의 안내면과 접촉되는 테이블몸체에 파인 홈, 테이블과 새들사이의 볼(Ball), 테이블 안내면, 새들 윗 안내면, 새들 윗 안내면과 접촉되는 새들 윗 홈, 새들 아래 안내면과 접촉되는 새들 아래 홈, 새들 아래 안내면, 볼(Ball), 베드 안내면이다.

여기서, 베드에 안내면을 얹히기 위하여 만든 평면은 이상평면(理想平面)이라고 가정한다. 그리고 이 평면은 위 부품들을 결합할 때 기준면(Datum)이 된다.

이런 경우 위에서 언급한  $\Delta$ 의 값에 어떤 요구되는 수치가 주어졌을 때, 각 부품들에 어떤 공차범위가 부여되면 최종 정밀도  $\Delta$ 의 값을 만족시키게되며 또한 각 부품들의 가공비를 저렇게할 수 있는가에 대해서 문제를 해결해 보기로 한다.

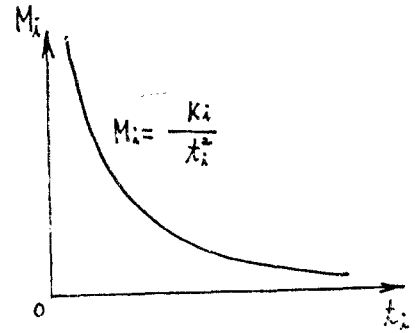


그림 3. 가공비-공차관계선도

### 3. 문제의 해석

제기된 문제를 해결하기 위해서 우선 생산비에 관한 식을 고찰해 보기로 한다.

#### (1) 생산비의식

M.F. Spotts의 제인에 의하면

$C_i$  : 조립품중 어느 한 부품을 생산하는데 드는 비용.

$M_i$  : 어떤 부품에서 소요의 치수공차를 제작하는데 드는 비용.

$M_i'$  : 어떤 부품에서  $M_i$ 를 제외한 나머지 비용.

$K_i$  : 상수

$t_i$  : 부품의 평균치수로 부더의 변동량(즉, 공차)

$C_0$  : 조립품을 생산하는데 드는 총 비용.

이러 할 때, 일반적으로  $M_i = \frac{K_i}{t_i^2}$ 인 관계가 성립한다. (그림 3 참조)

그리고  $C_i = M_i + M_i'$ 이고,  $n$ 개의 부품이 있을 때 다음과 같은 관계가 있다.

$$C_0 = \sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^n (M_i + M_i') = \sum_{i=1}^n \left( \frac{K_i}{t_i^2} + M_i' \right) \quad (1)$$

#### (2) 임계치수(Critical Dimension or Dimension Condition)

임계치수<sup>(2)</sup>식에 관한 고찰을 해 보기로 한다.

일반적으로,

$y$  : 임계치수

$x_i$  : 임계치수에 관련되는 부품들의 치수

이라 하면,

$$y = f(x_1, x_2, x, \dots, x_n) \quad (2)$$

로 표현된다.

또한 임계치수의 변동량  $v_y$ 는 다음과 같이 표현된다.

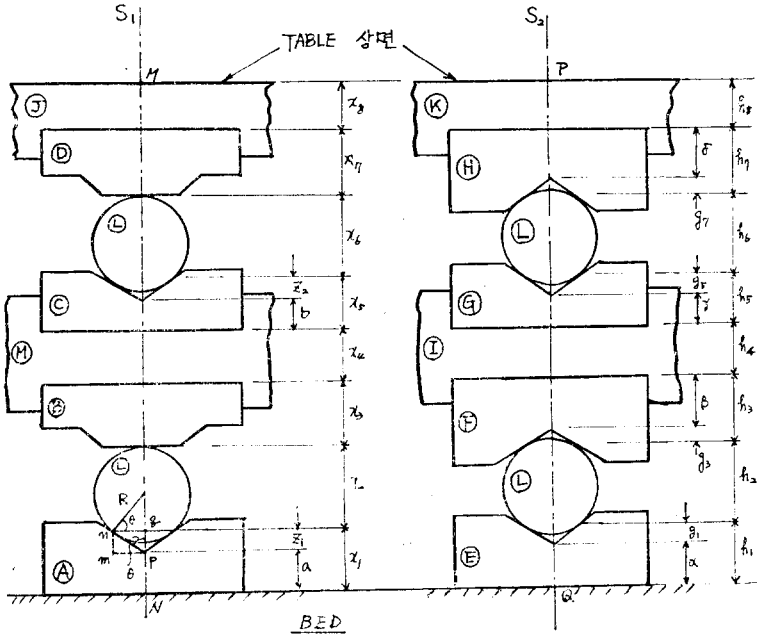


그림 4. S<sub>1</sub> 위치에서의 부품조합

그림 5. S<sub>2</sub> 위치에서의 부품조합

(A) Sure fit인 경우,

$$v_w = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| t_i \quad \text{③}$$

(B) Statistical fit인 경우,

$$v_w^2 = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|^2 t_i^2 \quad \text{④}$$

(3) 평면연삭기에 있어서 소요임계치수식의 유도

그림 1에서는 안내면을 표시하지 않았으나, 실제로는 그것들이 포함되며, 그때 부품들간의 관계를 살펴보면, 그림 4 및 그림 5와 같이 단순화시켜 생각할 수 있다.

위 그림에서 문제를 간단히 하기 위하여 다음과 같은 가정을 한다.

- ㄱ. 부품 ㉠과 ㉡, ㉢, ㉣, ㉤, ㉥는 동일 사양의 부품이다.
- ㄴ. 볼 ㉦는 4군데 모두가 반경 R인 것들이다.
- ㄷ. 부품 ㉧와 ㉨는 동일 사양의 부품이다.

그리고  $\overline{MN} = y_1$ ,  $\overline{PQ} = y_2$ 라고 표시하자.

이때 다음과 같은 관계가 성립한다.

[그림 4의 경우]

$$\text{㉠ } x_1 = x_5 \quad \therefore a = b, \quad z_1 = z_2 \quad (\text{단 } a = \text{상수}, \quad z_1 = R \cos \theta \cdot \cot \theta)$$

$$\text{㉡ } x_3 = x_7$$

$$\text{㉢ } x_2 = R + R \sin \theta = x_6$$

[그림 5의 경우]

$$\text{㉣ } h_1 = h_3 = h_5 = h_7 = x_1$$

$$\therefore \alpha = \beta = \gamma = \delta = a, \quad g_1 = g_3 = g_5 = g_7 = z_1$$

$$\text{㉤ } h_2 = h_4 = 2R \sin \theta$$

다음에 각각의 경우에 대해서 그 임계치수식을 유도해 보면,

(A) 그림 4 경우의 임계치수식

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \\ &= 2(a + z_1) + 2x_2 + 2x_3 + x_4 + x_8 \\ &= 2R(\cos \theta \cdot \cot \theta + \sin \theta + 1) + 2x_3 + x_4 + x_8 + C_1, (\text{단, } \\ &C_1 = 2a) \\ &= H(R, \theta, x_3, x_4, x_8) \end{aligned}$$

또한

$$\left. \begin{aligned} \left| \frac{\partial H}{\partial R} \right| &= 2 \left( \frac{1}{\sin \theta} + 1 \right) \\ \left| \frac{\partial H}{\partial \theta} \right| &= 2R(\csc \theta \cdot \cot \theta) \\ \left| \frac{\partial H}{\partial x_3} \right| &= 2 \\ \left| \frac{\partial H}{\partial x_4} \right| &= 1 \\ \left| \frac{\partial H}{\partial x_8} \right| &= 1 \end{aligned} \right\} \quad \text{⑤}$$

(B) 그림 5의 경우의 임계치수식

$$\begin{aligned}
 y_2 &= h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 \\
 &= 4(a + z_1) + 2 \times 2R \sin \theta + h_4 + h_8 \\
 &= 4(R \cos \theta \cdot \cot \theta + a) + 4R \sin \theta + h_4 + h_8 \\
 &= 4R(\cos \theta \cdot \cot \theta + \sin \theta) + h_4 + h_8 + C_2, \quad (\text{단 } C_2 = 4a) \\
 &= 4R \left( \frac{1}{\sin \theta} \right) + h_4 + h_8 + C_2 \\
 &= G(R, \theta, h_4, h_8) \\
 \therefore \left. \begin{aligned} \left| \frac{\partial G}{\partial R} \right| &= \frac{4}{\sin^2 \theta} \\ \left| \frac{\partial G}{\partial \theta} \right| &= 4R \operatorname{csc} \theta \cdot \cot \theta \\ \left| \frac{\partial G}{\partial h_4} \right| &= 1 \\ \left| \frac{\partial G}{\partial h_8} \right| &= 1 \end{aligned} \right\} \quad \textcircled{6}
 \end{aligned}$$

(4) 생산비를 최소로 하기 위한 공차 계산

<Sure fit의 경우>

식①을 제한조건 ③의 밑에서 최소화시키기 위해서, Lagrange's Multiplier  $\lambda$ 를 도입하여, Lagrange Function을 만든다.<sup>5-6)</sup>

즉,

$$\Phi(t_i, \lambda) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{K_i}{t_i^2} + M_i' \right) + \lambda \left( v_w - \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial t_i} \right| t_i \right) \quad \textcircled{7}$$

의 함수를 최소화시키면 된다.

$C_w, v_w$ 는 모두 Convex Function이므로, 식 ⑦의 최소치는  $\frac{\partial \Phi}{\partial t_i} = 0, \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} = 0$  되는  $t_i$ 값에서 생긴다.

이제,  $\left| \frac{\partial f}{\partial t_i} \right| = D_i$ 라 하고 이것을 풀면 다음과 같은 관계가 있다.

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= \frac{2K_i}{D_i t_i^3} \\ \left( \frac{t_i}{t_i} \right)^3 &= \frac{D_i K_i}{D_i K_i} \end{aligned} \right\} \quad \textcircled{8}$$

식 ⑧을 ③에 대입하면, 식 ①을 최소화시키는 공차값들을 구할 수 있다. 그때의 각 공차의 값은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} t_i &= \frac{v_w}{\sum_{i=1}^n \left( D_i \sqrt[3]{\frac{D_i K_i}{D_i K_i}} \right)} \\ t_i &= \sqrt[3]{\frac{D_i K_i}{D_i K_i}} t_i \end{aligned} \right\} \quad \textcircled{9}$$

<Statistical Fit의 경우>

식 ①을 제한조건 ④식 밑에서 최소화 시키는 문제가

되며, Lagrange's Multiplier를 사용하여 Lagrange의 Function을 만들면,

$$\Phi(t_i, \lambda) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{K_i}{t_i^2} \right) + M_i' + \lambda \left( v_w - \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial t_i} \right| t_i \right) \quad \textcircled{10}$$

이 되며, 모두 Convex Function 이므로,  $\Phi(t_i, \lambda)$ 는  $\frac{\partial \Phi}{\partial t_i} = 0, \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} = 0$ 인  $t_i$  값에서 최소가 된다.

이제,  $\left| \frac{\partial f}{\partial t_i} \right| = D_i$ 라 하고 이것을 풀면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= \frac{K_i}{D_i^2 t_i^4} \\ \left( \frac{t_i}{t_i} \right)^4 &= \frac{D_i^2 K_i}{D_i^2 K_i} \end{aligned} \right\} \quad \textcircled{11}$$

⑪을 ④식에 대입하면, ①식을 Statistical Fit의 경우 최소화 시키는 공차값을 구할 수 있다.

그 때의 각 공차의 값은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} t_i &= \frac{v_w}{\sqrt{\sum_{i=1}^n D_i^2 \sqrt{\frac{D_i^2 K_i}{D_i^2 K_i}}}} \\ t_i &= \sqrt[4]{\frac{D_i^2 K_i}{D_i^2 K_i}} t_i \end{aligned} \right\} \quad \textcircled{12}$$

(5) 평면연삭기의 경우, 생산비를 최소화시키는 각부 품공차

이제 항 2로 돌아가서 다시 고찰해 보면,

$v_{w1} = s_1$  위치에서의 변동량  $\Delta = y_1$ 의 변동량

$v_{w2} = s_2$  위치에서의 변동량  $\Delta = y_2$ 의 변동량

이다.

이 때,  $v_{w1}$ 을 만족시키기 위한  $s_1$  위치의 각 부품들의 공차 및  $v_{w2}$ 를 만족시키기 위한  $s_2$  위치에서의 각 부품들의 공차값이, <Sure Fit> 및 <Statistical Fit>의 경우에 대해서 구해질 수 있다.

우선 (표-1)에서와 같이 기호를 약속한다.

그러면, (그림 4)와 (그림 5)의 각 경우에 대해 고찰해 보자.

(A) 그림 4의 경우

<Sure Fit>

식 ⑨를 (표-1)의 기호를 사용하여 표시하면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} t_{A1} &= \frac{v_{w1}}{\sum_{i=1}^5 \left( X_i \sqrt[3]{\frac{X_i K_{Ai}}{X_i K_{Ai}}} \right)} \\ t_{Ai} &= \sqrt[3]{\frac{X_i K_{Ai}}{X_i K_{Ai}}} t_{A1} \quad (i=1, 2, 3, 4, 5) \end{aligned} \right\} \quad \textcircled{13}$$

표-1. 기호의 설명

그림 4의 경우	그림 5의 경우
$\left  \frac{\partial H}{\partial R} \right  = X_1$	$\left  \frac{\partial G}{\partial R} \right  = Y_1$
$\left  \frac{\partial H}{\partial \theta} \right  = X_2$	$\left  \frac{\partial G}{\partial \theta} \right  = Y_2$
$\left  \frac{\partial H}{\partial x_3} \right  = X_3$	$\left  \frac{\partial G}{\partial x_3} \right  = Y_3$
$\left  \frac{\partial H}{\partial x_4} \right  = X_4$	$\left  \frac{\partial G}{\partial x_4} \right  = Y_4$
$\left  \frac{\partial H}{\partial x_5} \right  = X_5$	
$t_{A1} = R$ 의 공차 $t_{A2} = \theta$ " $t_{A3} = x_3$ " $t_{A4} = x_4$ " $t_{A5} = x_5$ "	$t_{B1} = R$ 의 공차 $t_{B2} = \theta$ " $t_{B3} = x_3$ " $t_{B4} = x_4$ "
$K_{A1} = t_{A1}$ 의 가공비에 관 된 상수 $K_{A2} = t_{A2}$ " $K_{A3} = t_{A3}$ " $K_{A4} = t_{A4}$ " $K_{A5} = t_{A5}$ "	린 $K_{B1} = t_{B1}$ 의 가공비에 관련된 상수 $K_{B2} = t_{B2}$ " $K_{B3} = t_{B3}$ " $K_{B4} = t_{B4}$ "

<Sure Fit>

식⑨에 (표-1)의 기호를 사용하여 표시하면 다음과 같다.

$$t_{B1} = \frac{v_{w2}}{\sum_{i=1}^4 \left( Y_i \sqrt[3]{\frac{Y_i^2 Y_{B1}}{Y_i K_{B1}}} \right)} \quad (15)$$

$$t_{Bi} = \sqrt[3]{\frac{Y_i K_{Bi}}{Y_i K_{B1}}} t_{B1} \quad (i=1, 2, 3, 4)$$

<Statistical Fit>

식⑩에 (표-1)의 기호를 사용하여 표시하면 다음과 같다.

$$t_{B1} = \frac{v_{w2}}{\sqrt[4]{\sum_{i=1}^4 \left( Y_i^2 \sqrt{\frac{Y_i^2 K_{Bi}}{Y_i^2 K_{B1}}} \right)}} \quad (16)$$

$$t_{Bi} = \sqrt[4]{\frac{Y_i^2 K_{Bi}}{Y_i^2 K_{B1}}} t_{B1} \quad (i=1, 2, 3, 4)$$

(6) 예제

앞의 항(5)에서는,  $s_1$  및  $s_2$  위치에서의 변동량  $d(=$  최종정밀도)에 대한 그 위치에 있는 각 부품의 공차값들이 문자(文字)로 계산되었다. 이제 (그림 4) 및 (그림 5)에 다음과같은 설계조건이 주어졌다고 가정하고, (그림 4) 및 (그림 5)에 속해 있는 각 부품의 공차값들이 어떠한 값을 갖게 되면, 가공비를 최소로 하면서 주어진 최종정밀도의 범위내에 들 수 있는가에 대해 조사해 보기로 한다.

<설계조건 : (그림 4) 및 (그림 5)에 대해>

- ①  $v_{w1} = v_{w2} = 0.001\text{mm}$
- ②  $\theta = 45^\circ$
- ③  $R = 10\text{mm}$

위 「표」들중 (표-2)는 그림 4에 속해 있는 주요부품들에 대한 가공비자료 및 기타 필요한 계산치를 구해 놓은 것이다.

또한 (표-3)은, 그림 5에 속하는 주요부품들에 대한

<Statistical Fit>

식 ⑩에 (표-1)의 기호를 사용하여 표시하면 다음과 같다.

$$t_{A1} = \frac{v_{w1}}{\sqrt[6]{\sum_{i=1}^5 \left( X_i^2 \sqrt{\frac{X_i^2 K_{Ai}}{X_i^2 K_{A1}}} \right)}} \quad (14)$$

$$t_{Ai} = \sqrt[6]{\frac{X_i^2 K_{Ai}}{X_i^2 K_{A1}}} t_{A1} \quad (i=1, 2, 3, 4, 5)$$

(B) 그림 5의 경우

표-2. (그림 4)의 경우

순서	항목	부품기호	$X_i$	전생상비(₩) $=C_{vA}$	소요공차가공비(₩) $=M_{iA}$	나머지비용(₩) $=M_{iA}$	$K_{iA}$
1		T	$X_1 = 4.828$	5,000	4,000( $t_{A1} = 0.001$ )	1,000	$4 \times 10^{-3}$
2		A(=C)	$X_2 = 28.284$	2,000	1,000( $t_{A2} = 0.001$ )	1,000	$1 \times 10^{-3}$
3		B(=D)	$x_3 = 2$	500	200( $t_{A3} = 0.001$ )	300	$2 \times 10^{-4}$
4		M	$X_4 = 1$	1,000	600( $t_{A4} = 0.001$ )	400	$6 \times 10^{-4}$
5		J	$X_5 = 1$	1,000	500( $t_{A5} = 0.001$ )	500	$5 \times 10^{-4}$

표-3. (그림 5)의 경우

순서	항목	부품기호	$Y_i$	전생산비(₩) $=C_{oB}$	소요공차가공비(₩) $=M_{iB}$	나머지비용 (₩) $=M'_{iB}$	$K_{Bi}$
1		L	$Y_1=5.657$	5,000	$4,000(t_{B1}=0.001)$	1,000	$4 \times 10^{-3}$
2		E(F. G. H)	$Y_2=5.568$	2,000	$1,000(t_{B2}=0.001)$	1,000	$1 \times 10^{-3}$
3		I	$Y_3=1$	1,000	$600(t_{B3}=0.001)$	400	$6 \times 10^{-4}$
4		K	$Y_4=1$	1,000	$500(t_{B4}=0.001)$	500	$5 \times 10^{-4}$

표-4. (그림 4)의 경우

공차	항목	Sure fit	전생산비	Statistical fit	전생산비
$t_{A1}$		$5.72 \times 10^{-5}$	4,173,335	$10.1 \times 10^{-5}$	1,651,378
$t_{A2}$		$1.99 \times 10^{-5}$		$2.94 \times 10^{-5}$	
$t_{A3}$		$2.82 \times 10^{-5}$		$7.34 \times 10^{-5}$	
$t_{A4}$		$5.13 \times 10^{-5}$		$13.7 \times 10^{-5}$	
$t_{A5}$		$4.82 \times 10^{-5}$		$12.9 \times 10^{-5}$	

표-5. (그림 5)의 경우

공차	항목	Sure fit	전생산비	Statistical fit	전생산비
$t_{B1}$		$4 \times 10^{-5}$	10,732,900	$7.14 \times 10^{-5}$	4,747,900
$t_{B2}$		$1.16 \times 10^{-5}$		$1.61 \times 10^{-5}$	
$t_{B3}$		$3.78 \times 10^{-5}$		$10.6 \times 10^{-5}$	
$B_4$		$3.56 \times 10^{-5}$		$10.1 \times 10^{-5}$	

가공비자료 및 기타 필요한 계산치를 구해 놓은 것이다.

(표-2) 및 (표-3)에서  $X_i$ 와  $Y_i$ 는 (표-1)의  $X_i$  및  $Y_i$ 와 같으며, 전생산비  $C_{oA}$  및  $C_{oB}$ 는 순서 1~9의 각 부품들을  $t_{Ai}$  및  $t_{Bi}$ 가 1μ이 되도록 가공했을 때 드는 「소요공차가공비」에 「나머지비용」을 더한 값이다. 즉  $C_{oA} = M_{iA} + M'_{iA}$ ,  $C_{oB} = M_{iB} + M'_{iB}$ 의 관계가 있다.

또한  $K_{Ai}$  및  $K_{Bi}$ 는  $K_{Ai} = M_{iA} \times t_{Ai}$  및  $K_{Bi} = M_{iB} \times t_{Bi}$ 에서 구해진 값들이다.

다음에 (표-4) 및 (표-5)에 대해 설명하자.

(표-4)는, (표-2)의 자료를 근거로하여 그 값들을 식 ⑬에 대입한 것이 <Sure Fit>의 경우이고, 식 ⑭에 대입한 것이 <Statistical Fit>의 경우이다.

그리고 전생산비항은, 각 경우 공차  $t_{A1} \sim t_{A5}$ 를 가공하는데 드는 소요비용과 나머지비용(표-2 참조)을 합한 값이다.

여기서 다시 정리해 보면, (표-4)의 <Sure Fit> 및 <Statistical Fit> 각 경우의 공차값들은 최종정밀도  $v_{m1}=0.001$ 을 만족하는 값들이며, 또한 각 경우에 대해서 가공비를 최소로 하는 공차들의 집합이다.

(표-5)는 (표-3)의 자료를 근거로하여 그 값들을 식 ⑮에 대입한 것이 <Sure Fit>의 경우이고, 식 ⑯에 대입한 것이 <Statistical Fit>의 경우이며, 위에 설명한 것과 같은 설명이 된다.

그러면 (표-4)와 (표-5)의 결과를 종합해 보자.

<Sure Fit>의 경우 :

(표-4)와 (표-5)의 공차값을 해당부품에 적용시키므로서, 최종정밀도인  $s_1, s_2$  위치에서 테이블상면의 변동량  $\Delta$ 는 0.001mm이 되며, 또한 가공비를 최소로 하게 되어 그때의 전생산비는 (표-4)와 (표-5)의 값을 더하여 ₩14,906,235이 된다.

<Statistical Fit>의 경우 :

(표-4)와 (표-5)의 Statistical fit 경우의 공차값을 해당 부품에 적용시키므로서, 최종정밀도  $\Delta$ 는 0.001mm이 되며, 가공비는 최소가 되어 그때의 전생산비는 ₩6,399,278이 된다.

#### 4. 결 론

이상으로 Ball way를 사용한 평면연삭기의 Critical

dimension식을 유도하고, 최종정밀도와 가공비를 고려한 각 부품의 최적공차를 구하는 계산을 행하였다.

예제에 주어진 소요가공비는 가정적인 조건이지만, 「가공비—공차」간의 관계곡선이 소요부품들에 대하여 실험적으로 구해진다면, 상수  $K_1$ 를 구할 수 있고, 주어진 설계조건들을 앞에서 구한 식들에 대입함으로써 실제적인 최적공차의 값을 구할 수 있게 된다.

### 참 고 문 헌

- 1) 山田卓郎：加工限界と精度設計，「生産設計と設計の能率化」教材昭和 52.6. pp. 15-29. (日機)
- 2) 李奉珍·宋森弘：生産設計工學(正祐社) 1977. pp. 161-164.
- 3) M.F. Spotts: Allocation of Tolerances to Minimize Cost of Assembly. Trans. ASME (B) Aug. 1973. pp. 762-764.
- 4) Harold A. Rothbart: Mechanical Design & Systems Handbook. McGraw-Hill Book Co. 1964. pp. 19-10~19-11.
- 5) Leon Cooper & David Steinberg: Introduction to Methods of Optimization. W.B. Saunders Co. 1970. pp. 287-295.
- 6) Aramanovich et al: Mathematical Analysis (Differential & Integration) Pergamon Press. 1965. pp. 65-71.