

원통 축 방향의 표면거칠기 측정을 위한 시료의 자세 보정

조남규*

Orientation Correction of a Cylinder for Surface-Profile Measurement

Nahmgyoo Cho*

Abstract

A new technique and theory are proposed which correct orientation of a cylinder to perform a reliable measurement of the surface profile. We analyze characteristics of machined surfaces, e. g., ground, lapped and turned surfaces. Based upon the results, the optimum correction technique is derived by the statistical method. To verify the techniques, measurements are carried out by using the contact stylus profilometer on a controllable table. The measurement shows that surface information of cylinders can be acquired with high accuracy.

Keywords : roughness(표면거칠기), cylinder(원통), profilometer(윤곽 측정기), stylus(촉침), measurement(측정), surface profile(표면 윤곽), specimen(시료)

1. 서 론

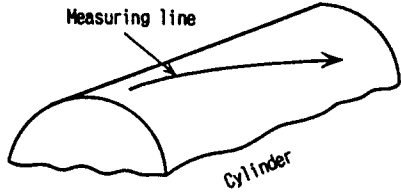
원통 베어링이나 니들 베어링의 제조 과정 등에서는 원통형 부품의 축 방향 표면거칠기 측정을 필요로 하는 경우를 자주 접하게 된다. 그러나, 측정 시스템의 주사 방향을 원통의 축 방향과 평행하게 설정하는 것이 용이하지 않아, 측정을 위한 시료의 설정 작업에 많은 시간과 노력이 소요된다.

특히, 니들 베어링의 니들과 같이 반경이 작은 원통 부품의 경우에는 촉침의 이동 방향과 원통 부품의 축 방

향과의 미소한 불일치만으로도 바람직한 측정 정도를 얻기 위한 측정이 곤란하게 되며, 고정도 부품의 정확한 가공 상태 판단을 위한 고배율의 측정이 요구되어질 경우 이러한 어려움은 더하여진다.

현재, 시판되고 있는 표면거칠기 측정 시스템은 평면 가공물을 주된 측정 대상으로 설계·제작되어, 상기와 같은 측정에는 적용이 어렵고 따라서, 많은 경우에 짧은 측정 길이의 데이터를 사용하거나 저 배율의 측정 결과로 대치하여 사용하고 있으나 이러한 측정 방식으로는 결코 만족할 만한 평가가 이루어진다고 할 수 없을 것이다.

* 한양대학교 기계공학과



(a) Schematic View



(b) Measured profile

Fig. 1 Cylinder axis and tracing direction of stylus

본 연구는, 원통 부품의 축 방향의 단면 곡선 측정을 대상으로 하여 축침의 이동 방향과 원통의 축 방향을 가능한 한 일치시켜, 적절한 측정 및 평가가 가능한 고 배율에서의 단면 곡선을 얻기 위한 기법을 검토하였다.

2. 원통 축 방향의 단면 형상 측정에 미치는 시료 설정 오차의 영향

측정 방향이 원통의 축 방향과 일치하지 않는 경우 축침이 추적하는 표면 형상은 타원으로 된다. 원통의 반지름을 R , 데이텀 평면상에서의 측정 방향과 원통 축 방향의 각도를 Ψ 라고 하면, Fig. 1의 좌표계에 있어서 타원은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$(x - x_0)^2 / A^2 + (z - z_0)^2 / B^2 = 1 \quad (1)$$

여기에서 x_0, z_0 는 타원의 중심 좌표이고, $B = R, B/A = \sin(\Psi)$ 이다. 측정 방향은 원통의 축 방향에 가깝게 설정되므로, $A \gg B$ 로 된다. 따라서 $|(x - x_0)/A| \ll 1$ 로 생각하면 식 (1)은

다음의 근사식으로 대치가 가능하다.

$$z \cong -B x^2 / 2 A^2 + B x_0 x / A^2 - B x_0^2 / 2 A^2 + z_0 + B \quad (2)$$

또, 타원 표면을 주사하는 경우, Fig. 1에 보이는 X-Y수직면 내의 주사 방향과 원통 축 방향에도 시료의 설정 오차에 의한 경사가 발생한다. 따라서, 이에 의한 경사각 η 를 고려하면, 피측정물인 원통 부품의 설정 오차가 측정 결과에 미치는 영향은 다음과 같이 된다.

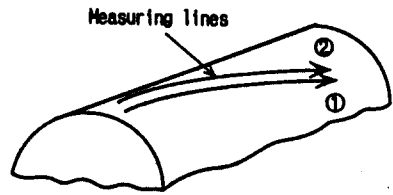
$$z \cong -B x^2 / 2 A^2 + B x_0 x / A^2 - B x_0^2 / 2 A^2 + z_0 + B + \eta x \cong -B x^2 / 2 A^2 + (B x_0 / A^2 + \eta)x - B x_0^2 / 2 A^2 + z_0 + B \quad (3)$$

시료의 설정 오차 Ψ 및 η 의 검출은 Fig. 2에 보이는 바와 같이

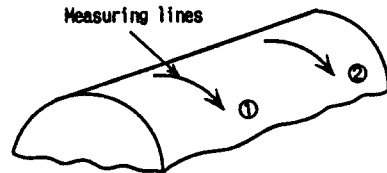
추정법 I: 축 방향에 가까운 방향의 단면 곡선으로부터 추정하는 방법.

추정법 II: 축 직각 방향에 가까운 단면 곡선으로부터 추정하는 방법

이 생각되어진다. 추정법 I은 측정 시스템의 측정 방향에 의한 측정 데이터를 이용하므로,



(a) In axial direction



(b) In tangential direction

Fig. 2 Two tracing methods to get data for correction of setting errors

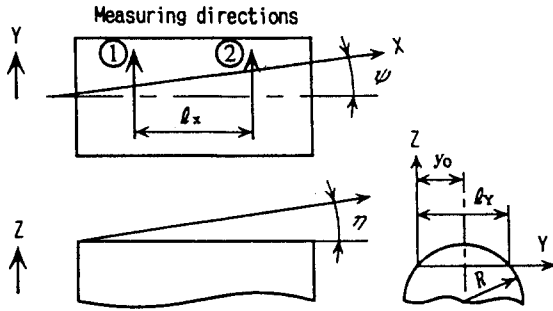


Fig. 3 Coordinates for measurement in tangential directions

그로부터 얻어지는 데이터의 신뢰성 면에 있어서 바람직한 방식으로 생각되어진다. 그러나, 이 방식을 채택할 경우, 원통 부품의 반경 R 의 정보를 별도로 필요로 하거나, 이를 피하기 위하여 미세 형상 성분을 포함하는 데이터만을 이용할 경우에는, 반경 R 이 큰 경우나 설정 오차 Ψ 가 작은 경우에 식(3)의 계수들의 흠어짐이 커지며 따라서 획득한 계수값들의 신뢰성이 저하하는 등의 문제가 있다. 따라서, 본 연구에서는 이하에 기술된 축 직각 방향의 단면 형상 데이터로부터 Ψ 및 η 를 추정하는 추정법 II에 대하여 검토하였다.

3. 원통 축 직각 방향의 데이터에 의한 시료 설정 오차의 검출과 보정법

3.1 기본식

원통 축에 직각인 방향으로 두 단면 형상을 측정하고, 이들의 단면 형상 데이터로부터 정점을 구하고, 그로부터 Ψ , η 를 추정하는 경우의 좌표계를 Fig. 3에 보인다.

축 직각 방향을 y 축으로 하면 단면 형상 $z(y)$ 는 원호에 가까운 모습으로 된다.

$$z(y) = -[R - \{R^2 - (y - y_0)^2\}^{1/2}] \quad (4)$$

$$\cong - (y - y_0)^2 / 2R = ay^2 + by + c$$

식(4)의 최소 제곱법에 의한 근사식은 측정 데이터를 z_i 라고 하면

$$F = \{z_i - (ay_i^2 + by_i + c)\}^2 \quad (5)$$

가 목적 함수로 되며, 이를 최소로 하는 a , b , c 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \sum y_i^4 & \sum y_i^3 & \sum y_i^2 \\ \sum y_i^3 & \sum y_i^2 & \sum y_i \\ \sum y_i^2 & \sum y_i & \sum 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum z_i y_i^2 \\ \sum z_i y_i \\ \sum z_i \end{bmatrix} \quad (6)$$

Fig. 3의 측정선 ①과 ②로부터의 데이터를 이용하여 식(6)으로부터 얻어지는 a , b 및 정점의 위치 y_0 에 첨자 1, 2를 사용하면 다음 식과 같이 된다.

$$y_{01} = -b_1 / 2a_1, \quad y_{02} = -b_2 / 2a_2 \quad (7)$$

따라서, Fig. 3의 기하학적 관계로부터, 두 단면 곡선의 간격 l_x 를 써서 나타내면,

$$\tan \Psi = (y_{02} - y_{01}) / l_x, \quad (8)$$

$$\eta = \{z_2(y_{02}) - z_1(y_{01})\} / l_x$$

이 얻어진다.

3.2 표면의 불규칙 미세 형상을 고려한 측정 조건

식(6)에 있어, 측정값 $z(y)$ 에 측정 표면의 미세 형상 성분이 포함되어지면 계수 a , b , c 에 오차가 발생하며, 식(7), (8)의 결과 역시 흠어짐을 갖는다. 이제 Fig. 3과 같이 y 방향의 측정 길이를 l_y 로 하고 측정 시작점에 대한 정점의 위치를 y_0 로 한다. 이 경우 식(6)으로부터 근사적으로

$$a = -1/2R, \quad b = y_0/R, \quad c = -y_{02}/2R \quad (9)$$

로 대치할 수 있다.

이 단면 형상에 직선 회귀하는 거칠기 곡선을 중첩한 경우, 측정 길이에 의존하여 거칠기 곡선의 중심선은 경사의 흠어짐 η_s 와 z 방향 위치의 흠어짐 δ_s 가 발생한다.¹⁾ 따라서, 거칠기 곡선을 중첩시킨 원호를 근사화한 2차곡선의 정점의 y 좌표를 y_{0R} 로 하고, 거칠기 곡선의 중심선이 근사곡선의 정점을 통과하는 것으로 하면 식(4)는 다음과 같이 된다.

$$z(y) \cong a y^2 + by + c + b_R(y - y_{OR}) + c_R \quad (10)$$

b_R, c_R 은 식(8)에 의하여 Ψ 와 η 를 보정한 후, 표면 거칠기와 웨이비니스 등의 불확정 성분에 의한 흠여점의 최대값을 나타낸다.

여기에서, 거칠기 곡선의 최대 범위를 $2W_R$ ($W_R \cong 3\sigma$: 가우스분포를 갖는 경우, $R_a = 0.798\sigma$ 의 관계가 있다²⁾)로 생각하면,

$$\eta_{Smax} = (33W_R / \epsilon_0) (\ell_Y / \epsilon_0 + 5)^{-1.9}$$

$$\delta_{Smax} = 19W_R (\ell_Y / \epsilon_0 + 20)^{-0.87} \quad (11)$$

$$\epsilon_0 = 3R_a + 4$$

이 된다.

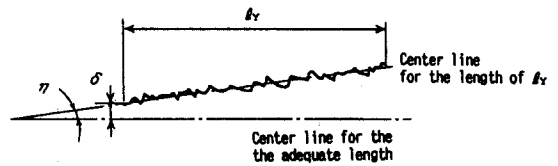
여기에서, $\eta_{Smax}, \delta_{Smax}$ 는 Fig. 4(a)에 보이는 바와 같이, 직선 회귀에 의한 충분한 측정 길이의 데이터로부터 재 추출하여 구하여진 임의의 길이 ℓ_Y 의 거칠기 곡선을 최소 제곱 직선으로 근사시켰을 때, 최소 제곱 직선의 경사 η 의 표준편차와 최고 제곱 직선 끝점의 z 방향 위치 δ 의 표준편차를 각각 3배 한 값이다.³⁾

식(10)에서는 Fig. 4(b)에 보이는 바와 같이 y_{OR} 의 위치에서 최소 제곱 직선의 z 방향 위치 $c_R = \delta_{Smax}^*$ 를 나타내고 있는데, 이것은 다음과 같은 이유에 의거한다.

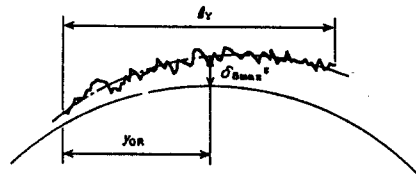
즉, 최대 범위를 추정하는 경우는 과대평가 되는 것을 허용하여 최소 제곱 직선의 경사 η 와 z 방향의 편위량 δ 를 독립으로 가정하였으나 η 의 분포는 δ 에 의존하고 있다고 생각된다. $\delta \gg 0$ 의 경우, δ 이상의 데이터가 적어지기 때문에 $\eta \leq 0$ 이 많아지게 되며, 마찬가지로 $\delta \ll 0$ 인 경우에는 $\eta \geq 0$ 이 많아지는 것이 예상된다. Fig. 5는 그 모습을 측정 길이 ℓ 에 의해서 나타낸 것으로, δ 와 η 에는 상관관계가 보여지고 있다. 이러한 점들을 고려하여 보면, $\delta_{Smax}^* = \delta_{Smax}$ 로 하는 것에는 무리가 있다. 따라서 임의의 δ 에 대한 η 의 분포형을 파악하여 δ_{Smax}^* 의 유도가 필요하다.

나 이러한 작업에는 대단히 많은 데이터가 필요하므로, 본 연구에서는 다음과 같은 대응책을 이용한다.

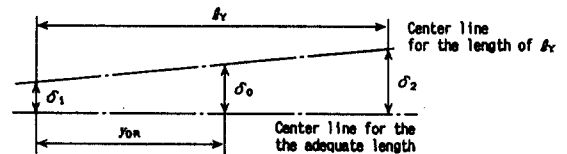
우선, ℓ_Y 길이의 거칠기 곡선으로부터 구하여진 최소 제곱 직선의 양 끝점의 z 방향 위치 분포는 δ 의 분포와 일치하는 것으로 가정한다. δ 의 분포형을 $N(0, \sigma_\delta^2)$ 으로 하고, 양 끝점을 첨자 1, 2로 구분하면, y_{OR} 에서의 높이 δ_0 의 분포형 $H(\delta_0)$ 는 다음과 같이 된다.



(a) On the flat surface

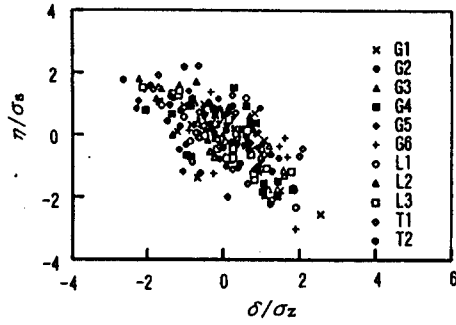


(b) On the cylinder surface

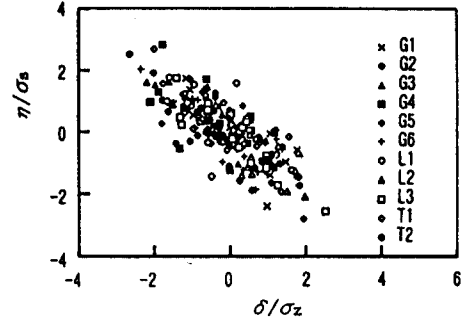


(c) Meaning of δ_0

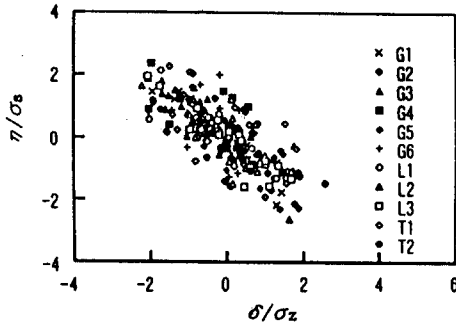
Fig. 4 Definition of δ and η



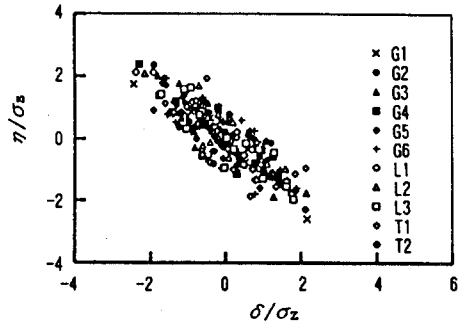
(a) $l = 0.05$ mm



(b) $l = 0.1$ mm



(c) $l = 0.05$ mm



(d) $l = 0.1$ mm

Characteristics of specimen

Specimen	Ra (μm)	Specimen	Ra (μm)	Specimen	Ra (μm)
G1	1.9	G5	0.2	L3	0.1
G2	1.3	G6	0.1	T1	2.7
G3	0.9	L1	0.5	T2	0.3
G4	0.4	L2	0.2		

(G : ground surface, L: lapped surface,

T: turned surface)

Fig. 5 Correlation between δ and η

$$H(s) = \int_{-\infty}^{+\infty} \exp[-(\delta_1/\delta_2)^2] \exp[-\delta_0/h_2 - h_1\delta_1/h_2]^2 dz / 2\pi\delta_{z1}\delta_{z2} \quad (12)$$

한편, Fig. 4(c)의 관계로부터

$$\begin{aligned} \delta_0 &= (l_Y - y_{OR}) \delta_1 / l_Y + y_{OR} \delta_0 / l_Y \\ &= h_1 \delta_1 + h_2 \delta_2 \end{aligned} \quad (13)$$

이므로, $\sigma_{z1} = \sigma_{z2} = \sigma_z$ 로 두면 식(12)는 다음과 같이 된다.

$$H(\delta_0) \propto \exp[-(\delta_0/\delta_{z0})^2],$$

$$\sigma_{z0} = \sigma_z (h_1^2 + h_2^2)^{1/2} \quad (14)$$

따라서 식(10)은

$$\begin{aligned} c_R &= \delta_{Smax}^* = 3\sigma_{z0} \\ &= 3\sigma_z (h_1^2 + h_2^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (15)$$

로 된다.

식(10)으로부터 얻어지는 y_0 가 y_{OR} 이므로 다음 식이 얻어진다.

$$y_{OR} - y_0 = -b_R/2a = R b_R = R \eta_{Smax} \quad (16)$$

원통 연삭된 부품에서는 원통 방향은 연삭 방향에 가깝게 되기 때문에 식(11)은 연삭 방향에 가까운 성질을 이용할 필요가 있다. 그러나, 연삭 방향과 그로부터 근

소하게 틀어진 방향에서는 거칠기의 성질이 현저하게 변화하기 때문에⁴⁾, 편의적으로 연삭 방향에 직각인 방향의 성질인 식(11)을 적용시키는 것으로 한다. 식(8)에 식(16)를 적용하면, $y_{01R} - y_{02R}$ 은 하나의 통계량으로 되고 합성할 수 있다. 이 경우 y_{01R} 과 y_{02R} 의 통계적 성질이 같다고 가정하면, η_{Smax} , δ_{Smax} 대신에 각각 $\sqrt{2}$ 배 한 값을 사용할 수 있다. 즉, 이것들에 의해 생성되는 Ψ 의 흠어짐의 최대값 Ψ_R 은

$$\Psi_R \cong (y_{02R} - y_{01R}) / \ell_X = \sqrt{2} R \eta_{Smax} / \ell_X \quad (17)$$

식(16)과 마찬가지로 $z(y_0) = -a y_0^2 + c$ 이므로 $z(y_{0R}) - z(y_0)$ 는

$$z(y_{0R}) - z(y_0) = (c + c_R - b_R y_{0R}) - (b + b_R)^2 / 4a \\ = c_R - R b_R^2 / 2 \cong c_R = \delta_{Smax}^* - (c - b^2 / 4a) \quad (18)$$

식(16)과 마찬가지로 $z(y_{02R}) - z(y_{01R})$ 역시 통계량이 되고, 두 측정선의 통계적 성질이 비슷하다고 하면 이들에 의해 발생하는 η 의 흠어짐의 최대값 η_R 은

$$\eta_R = \sqrt{2} \delta_{Smax}^* / \ell_X \quad (19)$$

로 된다. 따라서, 측정 데이터를 측정 범위 내에서 얻기 위한 자세 보정용 측정 길이는 다음 식을 만족하는 값으로 되지 않으면 안된다.

$$z_{Rmax} \cong (\ell_{0X} \phi_R)^2 / 2R + \eta_R \ell_{0X} + \delta_{Smax}^* \quad (20)$$

4. 원통 축 직각 방향 데이터에 의한 시료 자세 보정

4.1 2차식에 의한 근사 곡선으로부터 구하여진 정점 좌표의 안정성

시료 자세 보정용 데이터 수집은 종 배율 M 을 200배로 한다. 측정의 설정은 y 방향으로 주사하여 거의 최대값을 나타내는 위치를 중심으로 하고, 그 위치로부터

$\ell_Y/2$ 의 위치를 측정 시작점으로 한다. 즉, 식(4)에서 $y_0 = \ell_Y/2$ 를 의미한다. 거칠기 곡선이 중첩되는 원통의 원호 형상을 확인하고자 하는 경우를 고려하면, 기록지(폭 60mm)상에서 W_E (기록지 폭의 2/3)이내에 측정이 되지 않으면 안된다. 따라서, 식(4)의 근사식으로 부터

$$(\ell_Y/2)^2 / 2R \leq W_E = 30/M \quad (21)$$

식(17)은 측정 시작점에서 측침을 측정 영역의 거의 중앙에 오도록 하고 거칠기 곡선의 일부가 W_E 의 범위를 약간 넘는 정도를 허용하고 있다.

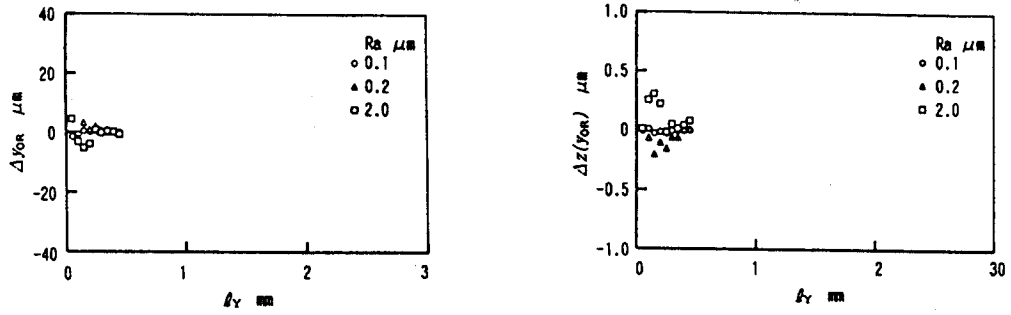
Fig. 6은 반경 R 인 원호에 평면 연삭 가공 면의 연삭 방향에 직각 방향으로부터 얻어진 거칠기 곡선을 중첩시킨 시뮬레이션 데이터를 대상으로, 2차곡선의 정점 좌표 $(y_0, z(y_0))$ 를 구한 결과이다. y_0^* , z_0^* 는 시뮬레이션 데이터에 주어진 정점 좌표이지만 $R_a = 0$ 인 경우에도 2차곡선에 의해 $[y_0, z(y_0)]$ 와 (y_0, z_0) 가 반드시 일치하는 것은 아니다. 그러나, 원호 형상에 대한 측정선①과 ②의 측정 위치가 같은 경우, 측정선①과 ②에 있어서의 $[y_0, z(y_0)]$ 가 갖는 상대적인 차이는 없다고 생각되므로

$$\Delta y_{OR} = y_{OR} - y_0, \Delta z(y_{OR}) = z(y_{OR}) - z_0 \quad (22)$$

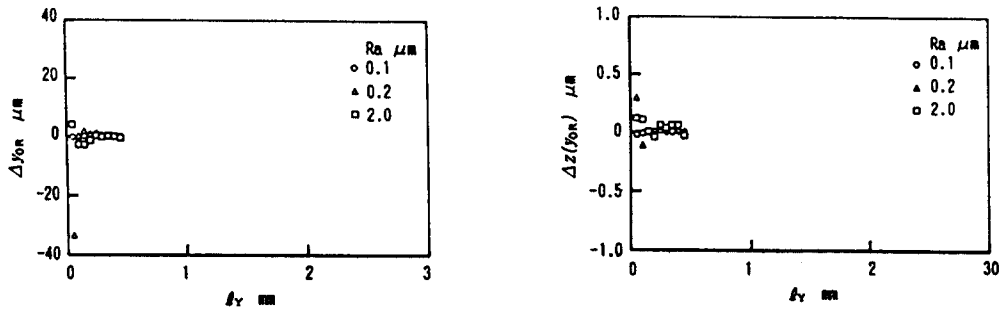
로서, 정점의 좌표값의 흠어짐 정도를 보기로 했다. $\Delta y_{OR}, \Delta z(y_{OR})$ 는 원호 형상에 중첩시킨 거칠기 곡선에 따라 ℓ_Y 에 의존하여 변화하고 있다.

Fig. 6에서는 ℓ_Y 와 R 에 강하게 의존하므로 R 이 명확히 주어지지 않는 한 최적인 ℓ_Y 의 추정은 쉽지 않다. 그러므로, Fig. 7의 관계로부터 다음 식과 같이, 측정 길이를 원호의 z 방향 위치 W_Y 로 환산한 변수의 도입을 시도한다.

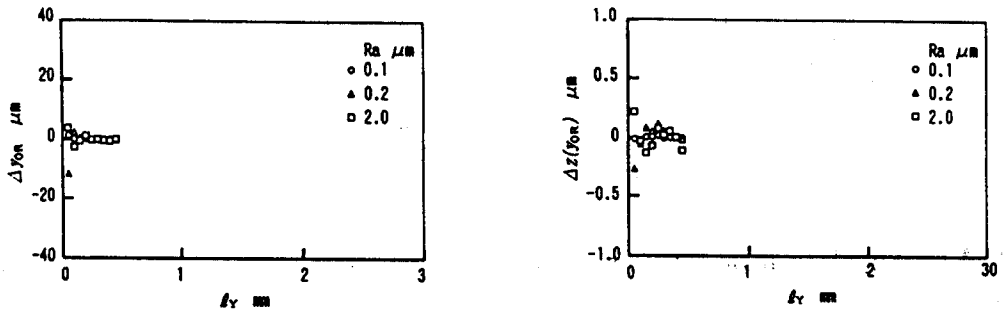
$$W_Y = (\ell_Y - y_{OR})^2 / 2R \quad (23)$$



(a) $y_0^* = 0, R = 0.5 \text{ mm}$



(b) $y_0^* = \ell_Y/4, R = 0.5 \text{ mm}$



(c) $y_0^* = \ell_Y/2, R = 0.5 \text{ mm}$

Fig. 6 (a) Errors of $\Delta y_{0R}, \Delta z(y_{0R})$ shown by ℓ_Y at the highest point (y_0, z_0) of fitted curve for $R=0.5 \text{ mm}$.

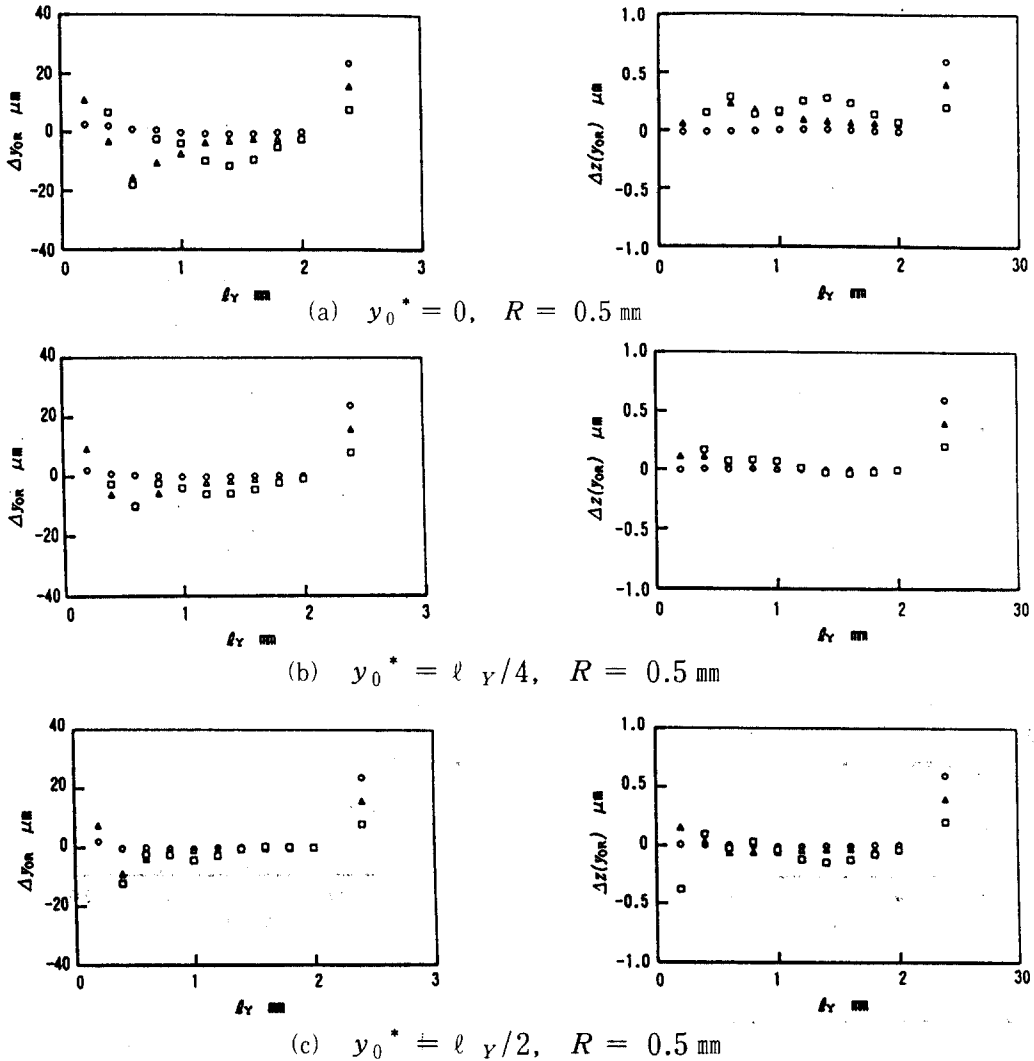


Fig. 6 (b) Errors of $\Delta y_{0R}, \Delta z(y_{0R})$ shown by ℓ_Y at the highest point (y_0, z_0) of fitted curve for $R=10\text{mm}$.

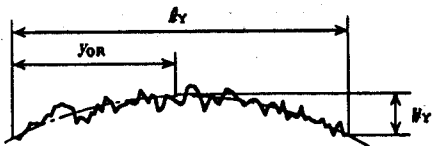


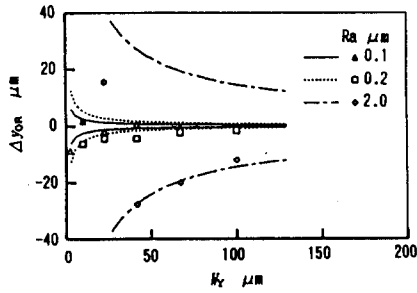
Fig. 7 Relationship between W_Y and ℓ_Y ($y_{0R} \leq \ell_Y/2$)

단, $W_Y \leq W_E$ 를 만족하지 않으면 안된다. W_Y 에 의해 정리한 결과를 Fig. 8에 나타낸다. 횡축이 R 에 강하게 의존하지 않게 된 것을 알 수 있다. 또, Fig. 8로부터 알 수 있는 바와 같이, W_Y 가 작은 경우에 흠어짐 $\Delta y_{0R}, \Delta z(y_{0R})$ 이 작게 되지만 $y_0^* = \ell_Y/2$ 의 경우에 가장 작게 된다. 따라서, 시료의 자세 보정을 위한 데이터의 측정은 $y_0^* = \ell_Y/2$ 로 되도록 설정하기로 한다. 이 경우 식(23)은

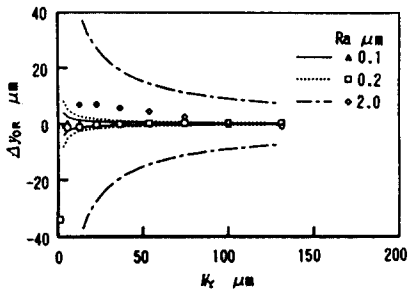
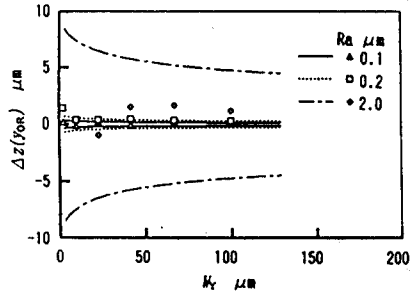
$$W_Y = \ell_Y^2 / 8R \quad (24)$$

로 된다. Δy_{0R} , $\Delta z(y_{0R})$ 는 표면 미세 형상의 영향이라고 생각되어지는 흠어짐이므로, 식(20)과 식(25)로부터 추정된 Δy_{0R} , $\Delta z(y_{0R})$ 와 W_Y 의 관계를

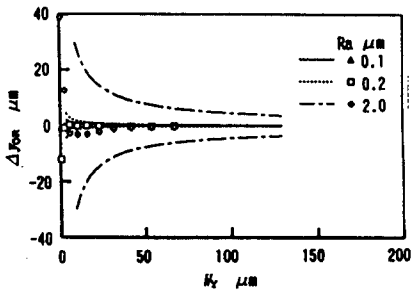
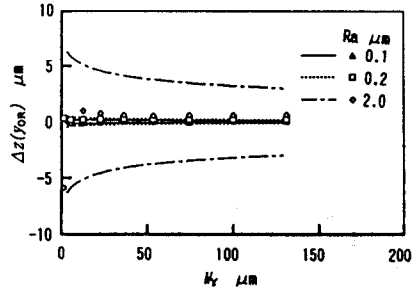
Fig. 9에 곡선으로 나타내었다. Fig. 9에 보이는 추정 값은 시뮬레이션 결과보다 큰 편이며, Δy_{0R} , $\Delta z(y_{0R})$ 의 상한을 나타낸다.



(a) $y_0^* = 0$, $R = 0.5 \text{ mm}$



(b) $y_0^* = \ell_Y / 4$, $R = 0.5 \text{ mm}$



(c) $y_0^* = \ell_Y / 2$, $R = 0.5 \text{ mm}$

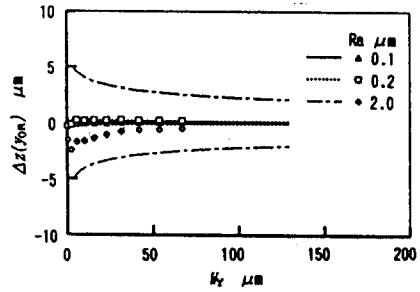
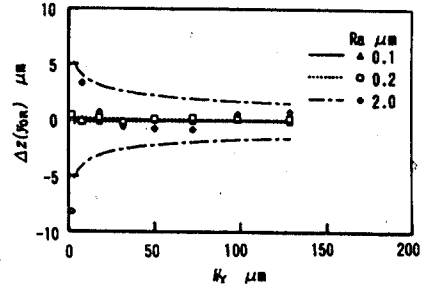
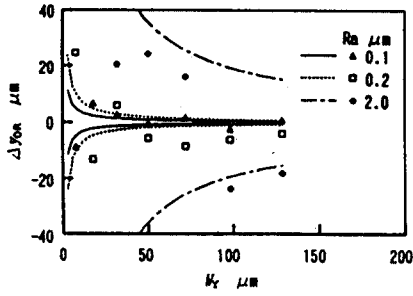
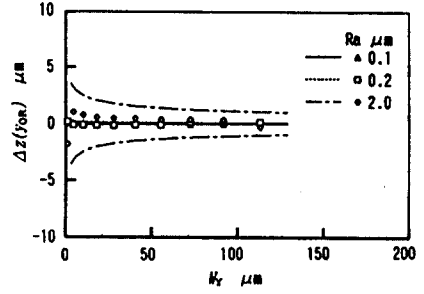
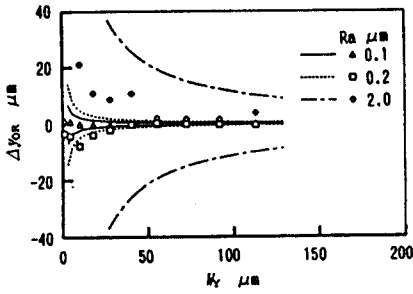


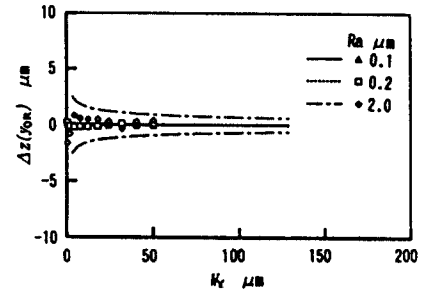
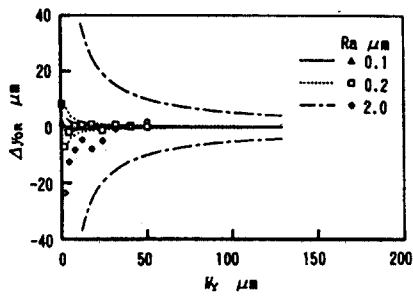
Fig. 8(a) Errors of Δy_{0R} , $\Delta z(y_{0R})$ shown by W_Y at the highest point (y_0, z_0) of fitted curve for $R=0.5 \text{ mm}$.



(a) $y_0^* = 0, R = 0.5 \text{ mm}$

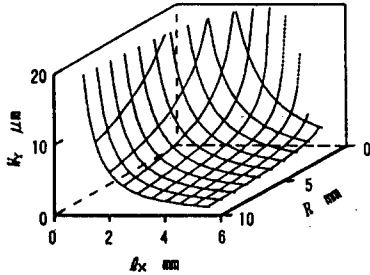


(b) $y_0^* = l_Y/4, R = 0.5 \text{ mm}$

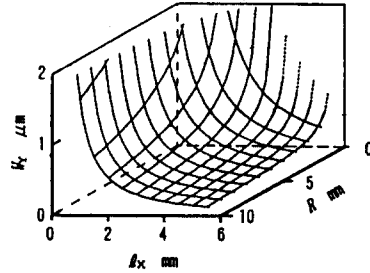


(c) $y_0^* = l_Y/2, R = 0.5 \text{ mm}$

Fig. 8(b) Errors of $\Delta y_{0R}, \Delta z(y_{0R})$ shown by W_Y at the highest point (y_0, z_0) of fitted curve for $R=10\text{mm}$.



(a) $R_a = 2.0 \mu\text{m}$



(b) $R_a = 0.1 \mu\text{m}$

Fig. 9 Effects of l_x and R on W_y

4.2 최적 측정 조건의 추정

본 연구의 경우에는 원통의 반경을 고려하지 않으면 안되기 때문에 평면 시료에서 시험한 수법을 그대로 적용하는 것은 곤란하다. 따라서 아래와 같은 조건을 주어 l_x , W_y 에 추천값을 유도하기로 한다.

(1) R 의 작은 시료에도 적용할 수 있도록 $W_y \leq W_E$ 범위 내에서 W_y 를 가능한 한 작게 한다.

(2) $l_x \leq L_{OX}$ 로 한다.

상기의 조건은 $l_x = L_{OX}$ (측정하고자 하는 표면 형상 곡선의 측정 길이로 본 연구에서는 5.6 mm를 목표표로 하였다¹⁾)로 되는 것을 의미하지만, 가능한 한 허용할 수 있는 범위에서 l_x 를 짧게 설정한다.

R_a 로서 $3.75R_a = W_R = 10 \times 10^3/M$ (거칠기 곡선의 최대 진폭이 $2W_R$ 로 되도록 설정하고 $R_a = 0.798\sigma$ 의 관계를 이용²⁾)의 관계로부터 Z_{Rmax} 의 허용 영역은 기록지의 폭을 고려한 경우에는 $Z_{Rmax} \leq 2W_E/3 = 20/M$, 선형 출력의 범위를 고려한 경우에는 $Z_{Rmax} \leq 5W_R/6 = 50/M$ 으로 한다.^{3, 5)}

$l_x = L_{OX} = 5.6\text{mm}$, $y_{OR} = l_y/2$, $Z_{Rmax} = 2W_E/3 = 20/M$ 으로 한 경우의 식(20), (23)에 의한 W_y 는 Fig. 9와 같이 된다. 본 연구에서 대상으로 하는 범위를

$R \geq 0.5\text{mm}$, $R_a \leq 2.0\mu\text{m}$ 로 하면 W_y 는 7~10 μm 정도로 충분하리라 생각된다.

단, 이상의 결과는 시료 자세 보정이 충분한 정도에서 행해지고 있는 것이 전제로 되어 있다.

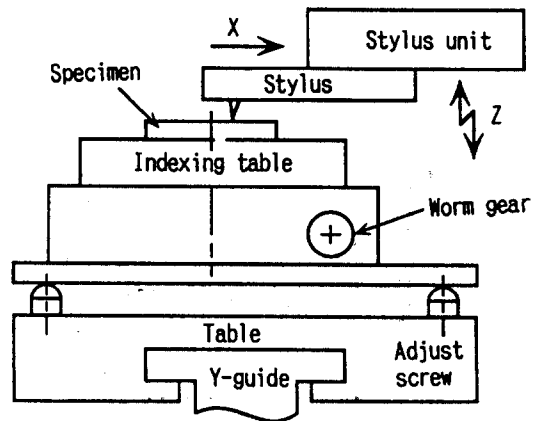


Fig. 10 Schematic view of instrument

4.3 실험에 의한 검증

4.3.1 시료의 자세 보정 방법과 실험 조건

본 연구에서 이용한 Ψ 의 시료 자세 보정용 장치의 개략을 Fig. 10에 나타냈다. 이 장치에서는 컴퓨터에 의해 지시된 Ψ 에 따라서 각도 조절 장치를 이용하여 수동

으로 수행한다. (실제의 적용에는 컴퓨터 제어를 고려한다.)

4.3.2 시료 자세 보정

본 연구는 두 정점 $(y_{01}, z(y_{01}))$, $(y_{02}, z(y_{02}))$ 에서부터 Ψ , η 를 추정하고 이 값들을 Fig. 10에 보이는 장치에 의해 보정하는 방법이며, 보정 후의 오차는 측정기에 의존하는 거칠기 곡선 중심선의 불확정한 성질에서부터 발생하는 것으로 생각된다. 이 보정에 의한 측정 작업은 다음과 같다.

(1) 측정선①의 위치에 촉침을 설정하고 y 방향으로 촉침을 주사하여 최대인 점의 위치를 찾고, 그 위치에서 측정 범위의 중앙에 촉침이 설정되도록 촉침 구동 기구의 z 방향 위치 결정을 한다.

(2) 촉침의 출력이 $-W_{0Y} = 7 \sim 10 \mu\text{m}$ 로 되는 위치에 시료 테이블을 $-y$ 방향으로 이동하고 그 점을 y 방향 측정 시작점으로 한다.

(3) 출력이 또다시 $-W_{0Y}$ 로 될 때까지 $+y$ 방향으로 촉침을 이동시켜 데이터를 수집하고 정점 $(y_{01}, z(y_{01}))$ 을 구한다.

(4) 촉침을 x 방향으로 거리 l_{0X} 만큼 이동시켜 상기의 조작을 행한다. 이 경우, (1)의 조작 후에 촉침 구동 기구를 z 방향으로 이동시킨 양 Δz 는 식(8)의 η 산출식의 분모에 더한다.

(5) 상기 (2), (3)의 조작을 한 후에 Ψ , η 를 구하고, 회전 테이블의 회전각 및 시료 테이블의 경사를 보정한다.

(6) 측정 배율을 설정하고 축 방향 단면 곡선의 측정 시작점으로 촉침을 이동한다.

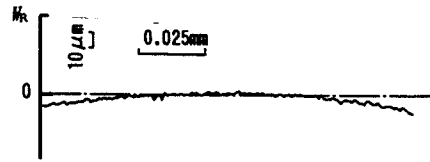
(7) y 방향으로 촉침을 이동하고 최대점에서 촉침을 설정한다.

(8) 축 방향의 단면 곡선을 측정한다.

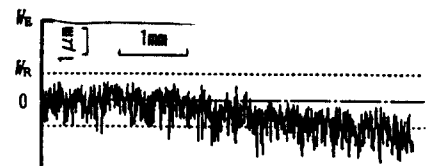
4.3.3 실험 결과

Fig. 11(a)에 $\phi 2 \text{ mm}$ 의 원통 연삭 가공 면을 200배로 측정한 예를 보인다. 본 연구에 의한 교정 방법에 따라서 Ψ 와 η 를 보정한 후, 배율 10,000배로 측정한 단면 곡선을 Fig. 11(b)에 보인다.

본 연구에 의한 기법을 사용하여, 원통 축 방향의 단면 곡선을 고배율로 측정하기 위한 시료의 자세 보정이 가능함을 알 수 있다.



(a) Before specimen orientation control



(b) After specimen orientation control

Fig. 11 Measured profile

5. 결 론

x 방향으로 l_X 만큼 떨어진 y 방향의 두 측정 선으로부터 원통의 축 직각 방향 단면 내에서의 정점을 추정하고, 촉침의 이동 방향과 원통 축선의 설정 오차 Ψ 와 η 를 추정하는 기법에 대해 검토한 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 시료의 자세 보정용 측정 데이터 길이를, z 방향의 변위 W_Y 로 대치시키고 원통 부품의 반경 R 에 관계하는 인자를 포함시키는 것이 가능하다는 것을 보였다.

(2) 표면 거칠기가 존재하는 경우의 Ψ 와 η 의 흠여짐의 통계적 추정 수법을 제안하였다.

(3) Ψ 와 η 의 흠여짐을 고려한 시료의 자세 보정용 측정 길이를 W_Y 로 환산 ($7 \sim 10 \mu\text{m}$)하여 제안하였다.

(4) 시료의 자세 보정을 위한 간단한 기구를 고안하였다.

(5) 상기 (3), (4)에 의한 실험 결과, 충분한 자세

보장이 가능하였다.

참고 문헌

- 1) N. Cho, T. Tsukada, M. Takahashi, "Measurement of Surface Roughness with Small Waviness by Contact Stylus Instrument Correcting Specimen Orientation", Int. J. of JSPE, Vol. 29, No. 1, p74, 1995.
- 2)塚田忠夫, 阿武芳朗, "機械加工面における表面凹凸の評価に関する研究(第3報)", 精密機械, Vol. 40, No. 3, p250, 1974.
- 3) N. Cho, T. Tsukada, M. Takahashi, "Correction of Specimen Orientation in

Three-Dimensional Measurement of Surface Roughness with Small Waviness by Contact Stylus Instrument (1st Report)", Int. J. of JSPE, Vol. 29, No. 2, p156, 1995.

4)塚田忠夫, 許文海, "表面粗さの異方性評価に関する研究(第2報)", トライボロジスト, Vol. 38, No. 6, p533, 1993.

5) N. Cho, T. Tsukada, M. Takahashi, "Correction of Specimen Orientation in Three-Dimensional Measurement of Surface Roughness with Small Waviness by Contact Stylus Instrument (2nd Report)", Int. J. of JSPE, Vol. 29, No. 3, p253, 1995.