

觸針式 3次元 表面거칠기 測定評價에 관한 研究

한응교* 김희석*** 김경석***

A study on measuring and evaluating in stylus type 3-D surface roughness.

Han Eung Kyo, Kim Hee Seouk, Kim Koung Suk

ABSTRACT

Measurement of surface roughness has been done by two dimensional method until now. In recent, three dimensional method is introduced for the precise measurement of surface roughness. But the study about stylus type three dimensional measurement method is a little.

Therefore, in this study, arbitrary machined surface is selected and same part is measured by two dimensional and three dimensional method.

The result is that the ratio of two dimensional to three dimensional value is 0.9-1.1 in Ra. But two dimensional measurement method is underestimated because the ratio is 0.5-0.9 in Rz, Rmax. And it is suitable that the number of measuring line is 100 and y pitch is 5 um by three dimensional surface roughness measuring method.

1. 序 論

加工部品の幾何學的인 精度는 치수精度, 形狀精度, 表面거칠기 등이 있다. 이러한 精度項目은

加工部品の 機能을 評價하는데 있어 중요한 척도이다.

最近 加工技術의 진보와 함께 加工面의 기능 즉 耐荷重性, 密封性, 외관품질에 대한 요구가 엄격해 지고 따라서 加工面에 생긴 미세한 凹凸의 形

*한양대학교 공과대학(정회원)

***한양대학교 대학원

狀에 대한 요구도 엄격 해 지고 있다.

이와 같은 形狀 파악을 위한 한 방법으로 觸針式 表面거칠기 測定 즉 2次元(斷面곡선의 높이와 橫方向) 測定은 가장 일반적인 것이다. 그러나 2次元 測定으로는 정확한 形狀 파악이 어렵다. 즉 실제 加工에 의한 거칠기인지 흠 따위인지 또 거칠기 방향 등을 알 수 없고 단순한 거칠기값으로 구별이 안되는 경우 즉 Ra Rmax 값은 같으나 表面形狀이 다른 경우 등이 있어 表面의 구조와 그 幾何學的 形狀을 충분히 파악하기 위해 3次元(面과 높이 방향)³⁾ 表面거칠기 測定에 관심이 집중되었다.

3次元으로 表面거칠기를 알아 보는 方法중 光學的 현미경법은 表面形狀 파악은 가능하지만 미세한 부분은 알아보기 어렵고 미분간섭 현미경은 미세한 부분은 볼 수 있지만 Rmax 이외의 거칠기 값은 물론 높이 방향의 배율조정의 불가능으로 정확한 Rmax 값도 알기 힘들며 佐藤¹⁾ 등의 走査電子현미경에 의한 방법은 眞空維持 및 校正의 어려움이 있으며 Young²⁾ 등의 電子放射를 이용한 3次元 거칠기 測定은 放射量 일정 유지를 위한 Probe 높이 제어 등의 어려움이 있어 본 논문에서는 현재 사용하고 있는 表面거칠기 測定の 70% 이상을 차지하고 있는³⁾ 觸針式을 이용하여 3次元의 表面거칠기 測定에 의하여 面的情報¹³⁾를 얻는데 있어서의 그 방법과 장점을 알아 보고

자 한다.

그러나 觸針式 3次元 表面거칠기 測定器가 塚田⁴⁾ 등에 의하여 試作된 이후 이에 대한 研究⁵⁾가 많지 않을 뿐 아니라 KS, JIS⁶⁾, ISO⁹⁾ 등規格化 되지 않아, 2次元의 規格에 준하여 3次元 表面거칠기의 測定 및 評價法에 대하여 제시하고자 한다.

2. 理論

表面의 凹凸形狀을 $\cos wx \cos wy$ 의 平面으로 되어 있다고 가정하였을 때 出力 Z는 다음과 같다.

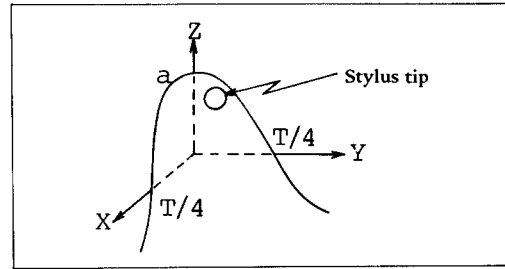


Fig.1. (A) 3-D Representation by Stylus tip Radius R

Zy平面과 Zx平面으로 나누어 생각하면

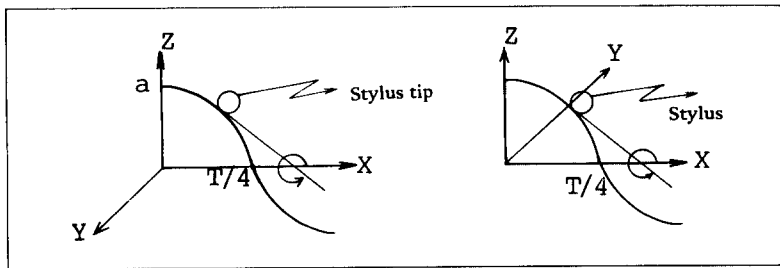


Fig.1. (B) Out-put by Stylus tip Radius R

Zy平面에서

入力波형을 $a \cos \omega y$ 出力波형을 Z_y 觸針의 중심을 $O'(Y, Z)$ 접점을 (y, z) 觸針앞끝 반지름을 R로 하면

$$\begin{aligned} Z_y &= z + R \cos \theta \\ Y &= y - R \sin \theta \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\sin \theta = \frac{z'}{\sqrt{1+z'^2}} \quad \cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1+z'^2}}$$

$$\begin{aligned} Z_y &= z + R \cdot \frac{1}{(1+z'^2)^{\frac{1}{2}}} \\ &= z + R \left(1 - \frac{1}{2} z'^2 + \frac{3}{8} z'^4 - + \dots \right) \end{aligned}$$

3 항 이하를 무시하면 (z'는 아주 미소값)

$$Z_y \doteq z + R(1 - \frac{1}{2} z'^2) \dots\dots\dots (2)$$

$$\theta_0 = 2\pi a / T$$

$$\alpha = 2\pi R / T$$

$\gamma = \alpha \theta_0$ 로 각각 정의하면

$$Z_y = z + R - \frac{1}{2} R \theta_0^2 \sin^2 \omega y \dots\dots\dots (3)$$

$$z + a \cos(\omega Y - \gamma \sin \omega Y)$$

$$\cos(\gamma \sin \omega Y) \doteq 1$$

$$\therefore Z = (R + \frac{1}{4} a \gamma)^2 + a(R + \frac{1}{4} a \gamma) (\cos \omega X - \frac{1}{4} \gamma \cos^2 \omega X + \cos \omega Y - \frac{1}{4} \gamma \cos^2 \omega Y)$$

$$+ a^2 (\cos \omega X - \frac{1}{4} \gamma \cos^2 \omega X) (\cos \omega Y - \frac{1}{4} \gamma \cos^2 \omega Y) \dots\dots\dots (6)$$

KS B 0161의 2次元 규격에 준한 3次元 중심면 평균거칠기 SRa는

$$SRa = \frac{1}{l_x \cdot l_y} \int_0^{l_x} \int_0^{l_y} |f(x, y)| dy dx$$

이므로

$$SRa = \frac{4^2}{T^2} \int_0^{\frac{T}{4}} \int_0^{\frac{T}{4}} |Z(x, y) - \bar{z}| dy dx$$

$$= \frac{\pi^2 a^2}{16 \omega} (1 + \frac{\gamma^2}{4})$$

$$\sin \{ \gamma \sin \omega X \} \doteq \gamma \sin \omega X$$

$$a \gamma = R \theta_0^2 \text{ 이므로}$$

$$z = R + a \cos \omega Y + \frac{1}{2} a \gamma \sin^2 \omega Y$$

$$Z_y = R + \frac{1}{4} a \gamma + a \cos \omega Y - \frac{1}{4} a \gamma \cos^2 \omega Y \dots\dots\dots (4)$$

같은 방법으로 ZX平面에서도

$$Z_x = R + \frac{1}{4} a \gamma + a \cos \omega X - \frac{1}{4} a \gamma \cos^2 \omega X \dots\dots\dots (5)$$

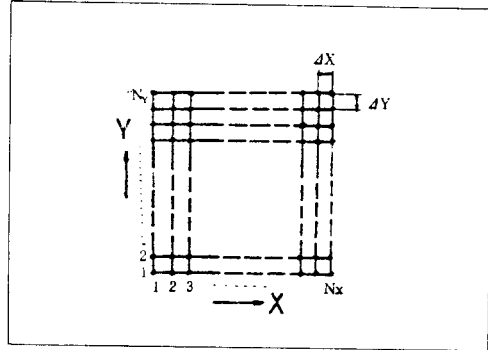


Fig. 2. Sampled data point

3. 触針式 3次元 表面거칠기 測定法

3-1. 測定 System

試料表面의 微細한 부분의 情報은 Fig.2와 같이 x방향 500point, Y방향 500line으로 Digital化한다.

Fig.3은 y table 및 測定檢出部의 驅動部를 설명한 것으로, y table⑥의 운동은 驅動나사⑦에 의하여 움직이며, 이는 stepping motor(1.8°/step) ②에 의하여 驅動되며, 기어에 의하여 1μm ~ 0.1mm까지 pitch의 변화가 가능하다.

Fig.4는 測定時 觸針의 移動經路를 설명한 것이며 測定順序는 다음과 같다.

- 1) 測定절이, line數 및 y pitch 설정
- 2) 보통 2次元과 같은 방법으로 測定

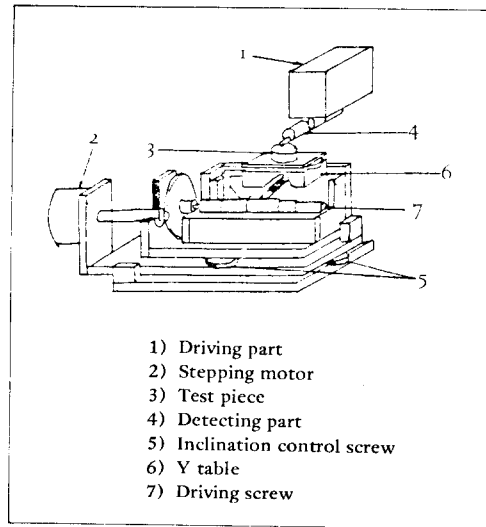


Fig. 3. Measuring system

- 3) xy plotter 및 SPA (Surface Picture Analyzer) 에 기록
- 4) 觸針의 원위치 복귀

- 5) 被測定物 즉 y table 이 직각방향으로 설정한 pitch 만큼 이동
- 6) 같은 방법으로 설정 line 수 만큼 반복

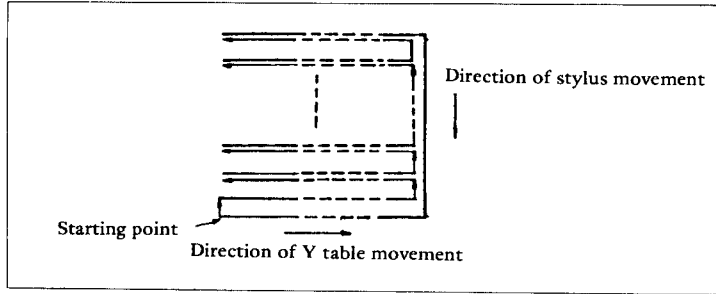


Fig. 4. Travelling path of stylus

3-2. 等高線 探索法

測定하여 얻은 Data 는 表面形狀解析器 (SPA : Surface Picture Analyzer) 의 CRT 화면에 나타나며 이것은 다시 임의의 높이의 等高線으로 볼 수 있으며 探索原理는 다음과 같다.

Fig.5 에서 等高線은 探索方向 右側 Data 가 항상 높고 左側이 항상 낮은 방향으로 한다. 그림에서 ABCD 에 있어 밑의 방향에서 AB 쪽으로 접근하는 경우를 생각하면 等高線의 기준을 AB 상에 높이 C_k 인 점 P 를 결정한다. 다음 다른면에 대하여 반시계 방향으로 探索하게 된다. 가장 가까운

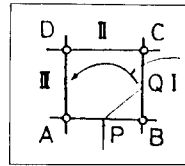


Fig. 5. A contour line research method

점 BC 상에 높이 C_k 인 점이 있으면 PQ 인 等高線으로 I 에 진행하게 된다. 그러나 BC 상에 C_k 인 점이 없고 CD 혹은 DA 상에 있으면 II 혹은 III 으로 진행한다. 만일 格子點의 높이가 C_k 인 경우에는 그 점을 C_k 보다 높은 점으로 간주하고 探索을 계속한다.

3-3. 거칠기 값의 정의 定義

	2 次元 [KSB0161]	3 次元
最大 높이 (μm)	Rmax 斷面曲線에서 基準길이 만큼 채취한 부분의 平均線에 平행한 2 직선의 최대 간격	SRmax 斷面에서 基準面 만큼 채취한 부분의 平均面에 平행한 2 면의 최대 간격
10 점 平均거칠기 (μm)	Rz 단면곡선에서 기준길이 만큼 채취한 부분의 平均線에 平행한 직선의 높은쪽 3 번째 봉우리를 지나는 것과 깊은쪽 3 번째 골짜기를 지나는 것의 간격	SRz 단면에서 기준면 만큼 채취한 부분의 평균면에 平행한 면의 높은 쪽 3 번째 봉우리를 지나는 것과 깊은쪽 3 번째 골짜기를 지나는 것의 간격
中心線(面) 平均거칠기 (μm)	Ra 거칠기 곡선에서 측정길이를 l 로 할때 $Ra = \frac{1}{l} \int_0^l f(x) dx$	SRa 거칠기 곡선의 중심면 면적을 $l_x \cdot l_y$ 로 할때 $SRa = \frac{1}{l_x \cdot l_y} \int_0^{l_x} \int_0^{l_y} f(x,y) dy dx$

3-4 3次元의 解析方法

測定하여 얻은 被測定面의 각 scanning data를 Digital 數值化하여 画像 memory에 기억시켜 表面形狀의 높이 성분(Z방향)을 明暗으로 바꿔 CRT 화면에 표시한다. 또 記憶시킨 画像 me-

mory 内の Data를 불러내어 各種設定 기준에 等高線과 그 기준의 平面(基準面에 平行)을 절단한 切斷面 形狀의 表示와 切斷面의 面積計算 및 切斷에 의하여 발생하는 입자(산 또는 골)의 數, 粒度와 각 表面거칠기 값을 얻는다.

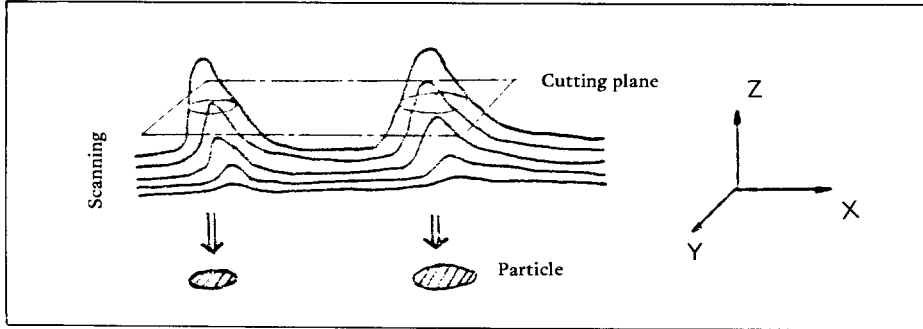


Fig. 6. Cutting plane of scanning data

4. 實驗裝置 및 實驗方法

4-1. 實驗裝置

(1) 2次元 거칠기 測定器

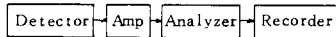


Fig. 7. The block diagram of 2-D surface roughness measuring system

(2) 3次元 거칠기 測定器

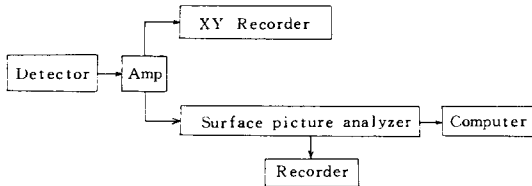


Fig. 8. The block diagram of 3-D surface roughness measuring system.

	2 차 원	3 차 원
최대측정 길이 (mm)	100	X방향: 100 Y방향: 20
측정범위 (μm)	0.001 ~ 600	X방향: 0.001 ~ 600 Y방향: 0.001 ~ 600
직진도 ($\mu\text{m}/\text{mm}$)	0.2/100	X방향: 0.2/100 Y방향: 上下 0.1/100 左右 0.3/100
측침알끝 곡률반지름 (μm)	2	2
측정력 (mN)	0.7	0.7

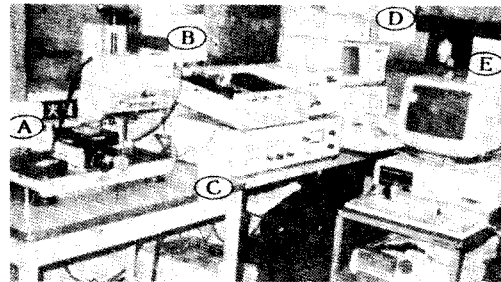


Photo 1. Experimental apparatus

4-2. 試驗片

Photo 2와 같은 거칠기 값이 다른 研削加工面 2개, 放電加工面 2개, 래핑加工面 1개를 택하였으며 가공조건은 다음과 같다.

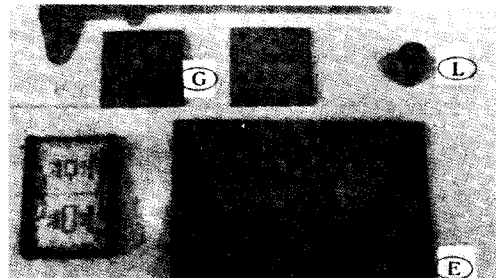


Photo 2. Test specimens

研削加工面

材質 : SPS 3 경도 : HRC63
 회전속도 : 1400rpm 연삭깊이 : 1 μm
 지름 : 260, 290 (mm) 이송 : 10, 6 (mm)
 슷돌 : WA46H-1 γ Pitch : 20m/min
 왕복회수 : 7, 4 (회)

放電加工面

材質 : S 45C 加工方法 : 충전가공
 방전시간 : 2.5 μsec 가공전압 : 180V
 peak 전류 : 1 A condensor : 0.001 μF

래핑加工面

습식, # 1000

4-3. 實驗方法

SSG 20161(A)표준시험편 (Rmax 0.97 μm) 로 교정한 후에 다음과 같이 실험하였다.

1. 2次元 거칠기 測定값 및 3次元 거칠기 測定값의 비교

(1) 2次元 測定

各 加工面을 測定길이 1 mm와 2.5 mm로 하여 測定方向의 직각으로 1 mm (研削), 0.1 mm (放電) 0.05 mm (래핑)씩 이동하며 5回 測定.

(2) 3次元 測定

各 加工面을 測定길이 1 mm로 하여 γ pitch 0.02 mm (研削), 0.002 mm (放族), 0.001 mm (래핑)로 250 line 測定

2. 3次元 測定에 있어 γ pitch變化에 따른 거칠기값 비교

같은 면적을 γ pitch와 line數를 變化시키며 測定

○ 研削加工面

γ pitch : 2, 5, 10, 20 (μm)
 line數 : 200, 80, 40, 20 (line)

○ 放電加工面

γ pitch : 2, 5, 10, 20 (μm)
 line數 : 300, 120, 60, 30 (line)

5. 實驗結果 및 考察

Fig. 9에 나타난 것처럼 Ra의 경우 2次元 거칠기 값은 3次元 거칠기 값에 비하여 0.9~1.1

배 정도의 값을 나타내므로 Ra만의 값이 필요한 경우 2次元 測定만으로도 충분하다. 그러나 Rmax Rz의 경우 0.9~0.5배의 값을 나타내므로 2次元 測定値는 3次元 값보다 過小評價되고 있으며 그 比率이 일정하지 않아 2次元 測定으로 3次元 Rmax, Rz 값을 算出할 수 없다. 조사⁶⁾에 따르면 거칠기값 評價時 Rmax로 評價하는 경우가 42%로 가장 많고 그 다음 Ra 27%, Rz 11% 순이다.

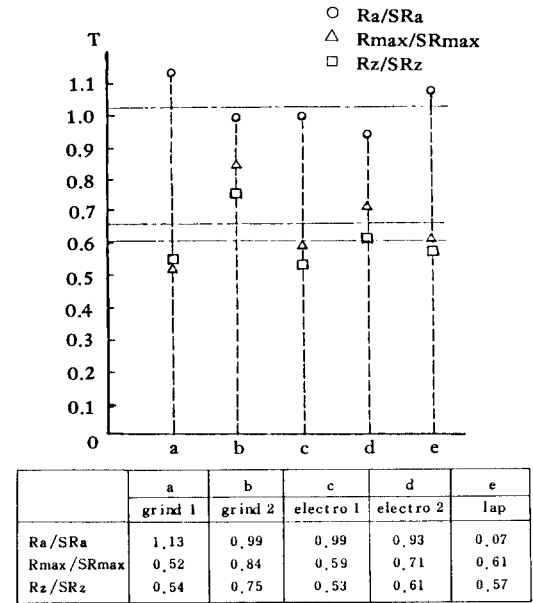


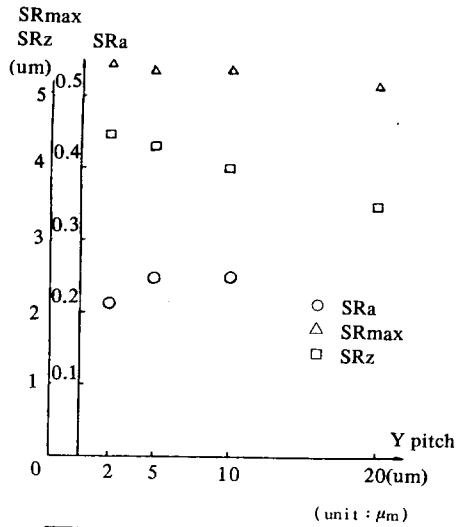
Fig. 9. The ratio 3-D data to 2-D

2次元 表面거칠기 測定에 비하여 3次元 測定은 좀더 정확한 값을 얻을 수 있고 여러가지 해석이 가능하지만 測定이 長時間 소비되고 이에 따라 Noise에 대한 대비를 충분히 알고 있지만 機械自體 혹은 外部의 Noise가 들어와 誤差가 발생할 가능성이 있기 때문에 特別한 경우 외에는 Fig. 10, Fig. 11을 근거로 다음과 같은 방법으로 測定하는 것이 바람직하다고 생각된다.

γ pitch 5 μm

line數 100 line (단, Rmax < 6.3 μm)

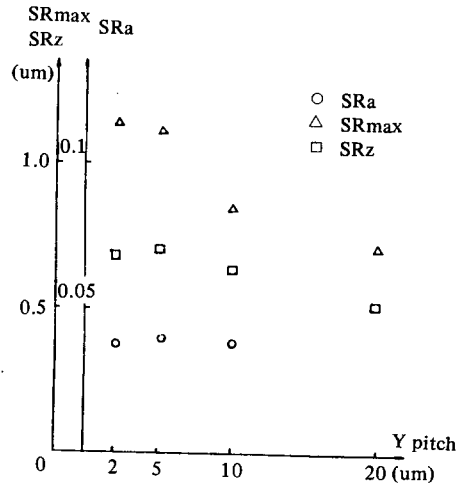
단, Low pass filter 및 high pass filter가 Amp에 내장되어 있음.



(unit : μm)

y pitch	2 μm	5 μm	10 μm	20 μm
SRa	0,215	0,257	0,272	
SRmax	5,563	5,469	5,469	5,188
SRz	4,594	4,413	4,081	3,588

Fig. 10(a) 3-D roughness vs. Y pitch variation (electric discharge machining)



(unit : μm)

y pitch	2 μm	5 μm	10 μm	11 μm
SRa	0,037	0,039	0,038	
SRmax	1,138	1,113	0,850	0,713
SRz	0,683	0,698	0,585	0,510

Fig. 10(b) 3-D roughness vs. Y pitch variation (grinding)

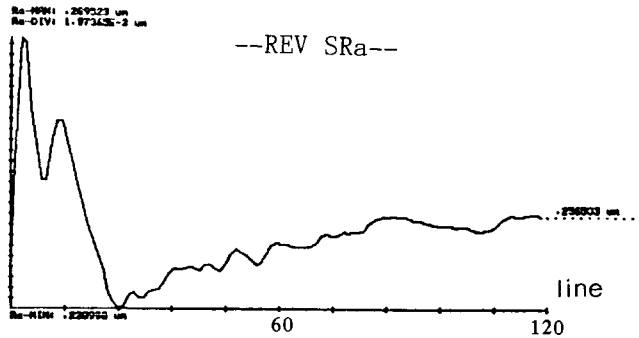


Fig. 11(a) Average SRa vs. the number of line (grinding)

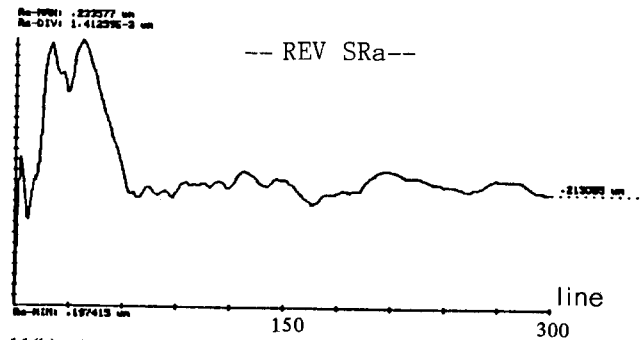


Fig. 11(b) Average SRa vs. the number of line (electric discharge machining)

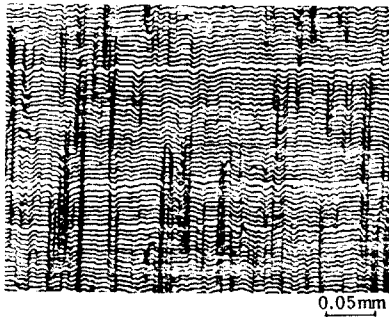


Fig. 12(a) 3-D record by xy plotter (grinding)

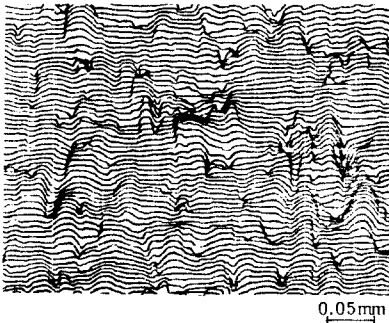


Fig. 12(b) 3-D record by xy plotter (electric discharge machining)

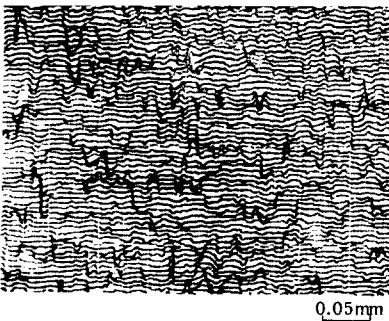


Fig. 12(c) 3-D record by xy plotter (lapping)

6. 結 論

1. 2次元 表面거칠기 測定은 3次元 表面거칠기 測定에 비하여 Ra 값은 0.9~1.1 배로 거의 같은 값을 나타내고 있으나 Rmax 의 경우 0.5~0.9 배, Rz 의 경우 0.5~0.8 배로 評價됨을 알았다.

2. 觸針式 3次元 表面거칠기 測定에 있어서는 Y pitch 를 5 μ m, line 數를 100 line 으로 하는 것이 적합하다. (단, Rmax < 6.3 μ m)
3. 3次元 거칠기 評價에 있어서 입자의 수, 粒度, 설정기준과 그 기준에 대한 규격화의 研究가 앞으로의 과제라고 생각된다.

參 考 文 獻

1. 佐藤壽芳, 大堀眞敬 : 走査電子顯微鏡による 表面粗さ 測定の研究, 日本機械學會論文集 (C編), 49, 438 (1983) 227.
2. R. Young, J. Ward & F. Scire : The Topografiner : An instrument for Measuring Surface Microtopography, Rev. Sci. Instrum, 43 (1972) 999.
3. 奈良治郎, 中野健一 : 表面粗さ의 測定・表示 に関する調査研究, 昭和 57 年度 精機學會秋季大會學術講演會論文集
4. 塚田忠夫, 笹島和幸 : 表面おとつの三次元評價 のたあの一測定法, 日本精密機械, 46, 2 (1980) 230.
5. 大原知明, 塚田忠夫, 金田 : 三次元表面粗さ 測定による評價의 信賴性, 昭和 58 年度 精機學會 秋季大會學術講演會 論文集
6. 奈良治郎 : 表面粗さ의 測定・評價法 大和 ビジネス, p. 68 ~ 120.
7. KS B 0161
8. JIS B 0022, JIS B 0621, JIS B 0601
9. ISO R 468, ISO 4287/1, ISO 4288
10. 佐藤壽芳, 三井公之 : 加工形狀精度의 온라인計測(3) 機械の研究, 33, 7 (1981) 821.
11. 趙 南圭, 觸針式表面거칠기 測定器에 있어서 觸針의 先端曲率半徑과 測定壓力이 測定에 미치는 影響, 漢陽大學校 大學院
12. 中村常郎 : 觸針의 先端曲率によるアラサ曲線의 歪みの解析 (アラサ曲線의 解析),

- 日本精密機械, 26(1960)16.
13. 觸針式粗さ測定機による三次元粗さの測定, 機械の研究, 33, 3(1981)410.
14. 宮本紘三, 川端文雄: 三次元表面形状の一評価法, 憐小坂研究所, 1982年度 精機學會秋季大會學術講演會論文集
-