

# 표면거칠기 측정용 다이아몬드 축침의 마모에 관한 연구

한응교\*, 노병옥\*\*, 박두원\*\*\*, 김종억\*\*\*

## A Study on the Wear of Diamond Stylus for Surface Roughness Measurement

Eung-kyo Han\*, Byung-ok Rho\*\*, Du-won Park\*\*\*, Jong-ock Kim\*\*\*

Key Words : Ion Sputter (이온 스파터), Surface Roughness (표면거칠기), Measuring Length (측정거리), Diamond Stylus (다이아몬드 축침), Tip Radius (선단반경)

### Abstract

The practicability of Ion-Sputter machining renders it possible to make diamond stylus for surface roughness measurement with micro stylus tip radius less than  $2\mu\text{mR}$ , and to measure surface roughness of fine-machined surface.

In this study, we researched the wear of Ion-Sputtered stylus with  $0.1\mu\text{mR}$  and  $0.5\mu\text{mR}$  for micro-figure measurement and polished stylus with  $0.5\mu\text{mR}$  according to measurement distance.

As a result, we know that the case of Ion-Sputtered stylus is worn down easilier the case of polished stylus. And we know that in the evaluation of stylus wear, it is more useful method that examine the wear by measuring the variation of stylus tip radius than by evaluating the variation of Ra values.

### 1. 序 論

다종 다양한 가공법에 의하여 제작된 고정도 부품의 미세한 표면거칠기는 기계 혹은 기계부품의 기능

과 밀접한 관계가 있기 때문에, 치수의 정도와 형상의 정도는 가공의 품위를 평가하는 중요한 척도가 된다.

또한 정밀한 기계가공을 목표로 하는 경우에는 표면거칠기에 관한 정보가 필수 불가결하기 때문에 표

\* 한양대학교 정밀기계공학과

\*\* 현대전자(주) 산업전자연구소

\*\*\* 한양대학교대학원 정밀기계공학과

면거칠기 측정의 중요성이 높아지고 있다.

표면거칠기 측정법에는 측정법, 광절단법, 광파간섭법, 반사광분포법, 전기용량법, 주사형 전자현미경법, STM법등 여러가지 종류가 있지만, 이 중에서 다이아몬드 측침을 이용한 측정식 표면거칠기 측정법이 가장 일반적이고 신뢰도가 높은 측정법으로 알려져 있어서, 표면거칠기 측정시에 가장 널리 사용되어지고 있으며 현재 표면거칠기 측정의 약 70% 이상을 점유하고 있다.<sup>11, 22)</sup>

최근 기계가공법의 현저한 발달에 의해 미세한 가공면의 표면거칠기를 고정도, 고배율로 측정할 필요성이 높아지고 있다.

종래에는 기계 가공에 의한 2 $\mu$ mR 이하의 미소선단 반경을 갖는 측침의 가공에는 여러가지의 가공상의 어려움이 있었으나, 최근 이온 스파터 가공법의 개발과 실용화에 의하여 실제화 되면서 미세한 가공면의 표면거칠기를 고정도, 고배율로 측정할 수 있게 되었다.<sup>13)</sup>

2차원적인 표면거칠기 측정은 한 단면의 형상정보에 의하여 면에 대한 평가를 하였으나 표면거칠기 측정이 3차원화 되어감에 따라 한 단면의 측정시 측정위치가 겹치지 않는 표면 형상정보를 얻어서, 그것을 동일 기록지상에 확대 기록함으로써 그 표면을 평가하고 있다.<sup>14)</sup>

그러나 한장의 3차원 표면거칠기 기록도형을 얻기 위해서는 많은 단면기록을 필요로 하므로 당연히 측침의 피측정면에서의 주행거리가 종래의 2차원 측정에 비하여 훨씬 길어지게 된다.

따라서 측침의 선단 부분의 마모가 중요한 문제가 된다.<sup>15, 16)</sup>

즉 측정길이가 길어짐에 따라 측침의 선단 부분의 마모에 의하여 미세한 표면거칠기를 측정하는데 적합하지 않게 된다.

그러므로 본 논문에서는 미세형상 측정용 선단반경 0.5 $\mu$ mR의 기계 연마가공한 측침과 이온 스파터 가공한 측침의 마모에 대한 비교와 초정밀 미세형상 측정용 선단반 0.1 $\mu$ mR의 이온 스파터 가공한 측침의 마모에 대하여 실용상의 관점으로 연구 하였다.<sup>17-20)</sup>

## 2. 표면거칠기 측정용 다이아몬드 측침의 마모 평가방법

일반적으로 마모량은 실험에 의하여 마모의 깊이 혹은 중량 감소등을 측정하여 그러한 값들을 마모 체적으로 환산하는 방법에 의하여 마모량을 평가하고 있다.<sup>21)</sup>

그러나 본 실험에서 사용한 미세표면거칠기 측정용 다이아몬드 측침의 경우는 측침선단 부분이 아주 미소하기 때문에 종래의 마모량의 측정법인 마모 깊이 또는 중량 감소등을 측정하여 마모량을 평가하는 것은 불가능하다.

따라서 본 논문에서는 미세형상 측정용 다이아몬드 측침의 마모를 측정하기 위하여 아래의 두가지 방법으로 실험을 하여 마모량을 평가하였다.

1) 일정한 표면형상과 치수를 갖고 있는 그레이팅(Grating)을 비교평가용 시료로서 사용하여, 각각의 시료에 대한, 마모 실험의 전과 후에 실험용 다이아몬드 측침으로 그레이팅(Grating)의 2차원 측정을 행하여 Ra(중심선 평균거칠기) 값의 변화량을 측정하여 마모의 여부를 평가한다.

2) 각각의 시료에 대한 마모 실험의 전과 후에 실험용 다이아몬드 측침의 선단 반경의 변화를 나이프-에지(Knife-edge)를 사용하여 선단반경의 변화를 측정해 마모 여부를 평가한다.

## 3. 실험장치 및 실험방법

### 3.1 실험장치

Photo. 1, 2는 본 실험에서 사용한 미세 형상측정기(ET-30HK)와 삼차원 거칠기 해석장치(SPA-11)의 사진이다.

Table. 1은 본 실험에서 사용한 ET-30HK의 각 사양이다.

본 실험에서 사용한 ET-30HK는 접촉식과 비접촉식의 측정이 가능하며 아주 미세한 표면거칠기와 3차원 표면거칠기의 정량적인 해석이 가능하다.

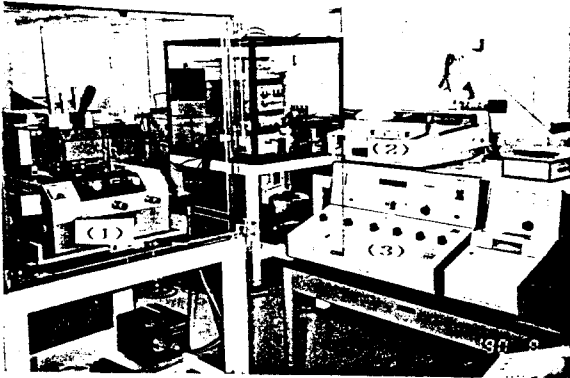


Photo. 1 Photography of ET-30HK

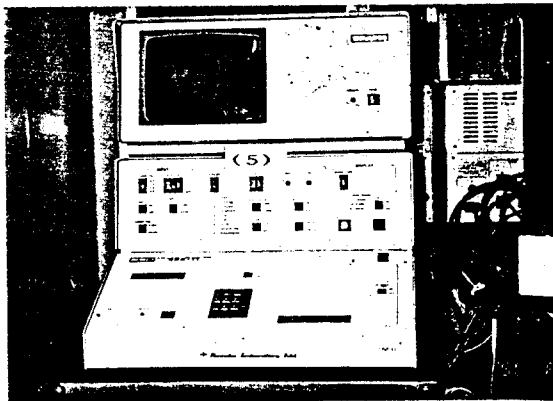


Photo. 2 Photography of SPA-11

또한 종배율은 100만배 까지 확대가 가능하고 미소한 측정력에서의 표면거칠기 측정과 측정력의 관찰이 용이한 장치이다.

### 3.2 시료 및 측정

Table. 2에서는 본 실험에서 사용한 시료와 측침에 대한 사양을 나타내었다.

Fig. 1은 본 실험에서 사용한 다이아몬드 측침의 그림이다.

Table. 1 Specification of ET-30HK

No.	Item	Model
1	Three Dimensional Microfigure Measuring Instrument	ET-30HK KOSAKA Ltd.
2	X - Y Recorder	RA-XY 4A KOSAKA Ltd.
3	Amplifier with Processor	Surfercorder ET-30HK KOSAKA Ltd.
4	Recorder	KOSAKA Ltd.
5	Surface Picture Analyzer	SPA-11 KOSAKA Ltd.

Table. 2 Specification of Work-piece and Stylus

Work-Piece	Stylus Tip Radius( $\mu\text{m}$ )	Method of Machining
Al	0.1 ( A1 )	Ion-Sputtering
	0.5 ( A2 )	Polishing
	0.5 ( A3 )	Ion-Sputtering
Block-Gauge	0.1 ( B1 )	Ion-Sputtering
	0.5 ( B2 )	Polishing
	0.5 ( B3 )	Ion-Sputtering
Ceramic	0.1 ( C1 )	Ion-Sputtering
	0.5 ( C2 )	Polishing
	0.5 ( C3 )	Ion-Sputtering

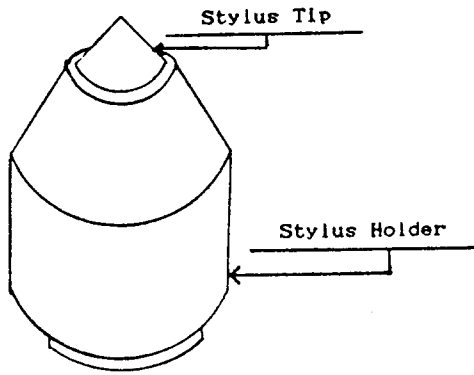


Fig. 1 Shape of diamond Stylus

이온 스파터 가공한 선단반경  $0.1\mu\text{mR}$ 의 촉침은 먼저 기계 연마가공에 의하여 선단반경  $0.5\mu\text{mR}$ 의 촉침으로 만든 후, 다시 이 촉침을 이온 스파터 가공에 의하여 선단반경  $0.1\mu\text{mR}$ 의 촉침으로 가공한 것이다.<sup>(11)</sup>

또한 이온 스파터 가공한 선단반경  $0.5\mu\text{mR}$ 의 촉침은 먼저 기계 연마가공에 의하여 선단반경을  $2\mu\text{mR}$ 의 촉침으로 만든 후 다시 이 촉침을 이온 스파터 가공하여 선단반경  $0.5\mu\text{mR}$ 의 촉침으로 가공한 것이다.<sup>(11)</sup>

또한 선단반경  $0.5\mu\text{mR}$ 의 기계가공한 촉침은 기계 연마가공에 의하여 가공한 것이다.

Table. 3에는 본 실험에서 사용한 시료의 가공 방법을 나타내었다.

Table. 3 Machining Method of Work-Piece (12-13)

Work-Piece	Method of Machining
Al	Mirror Like Finishing
Block-Gauge	Lapping
Ceramic	Lapping

Photo. 3은 본 실험에 사용한 시료의 사진이다.

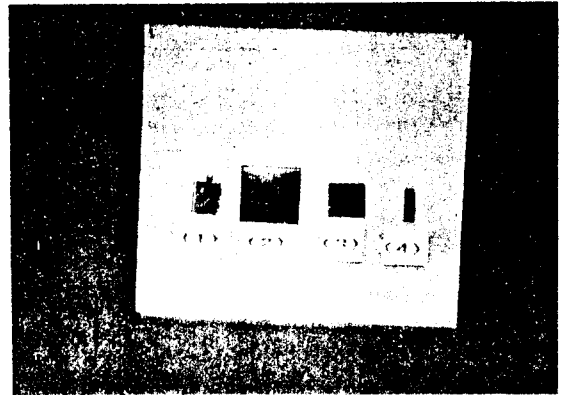


Photo. 3 Photography of Work-Piece

Table. 4 Work-Piece

No	Iten
1	Al
2	Ceramic
3	Grating
4	Block-Gauge

Table. 4의 그레이팅(Grating)은 본 실험에서 각각의 시료에 대하여 측정 전후의 마모의 여부를 판단하기 위한 비교용 시료이다.<sup>(14)</sup>

그레이팅(Grating)은 Fig. 2와 같이 일정한 형상과 치수를 갖는 광학 기구의 반사경으로 사용되며 일정한 각도로 빛을 반사시킬때 사용된다.

본 실험에서 사용한 시료는 광학기구나 레이저 프린터의 반사경으로 사용되고 있는 Al경면과 비교측정의 기준이 되는 것은 물론, 정밀 제작과정에서 표준

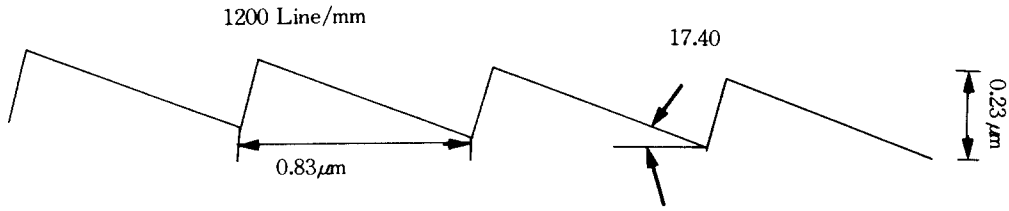


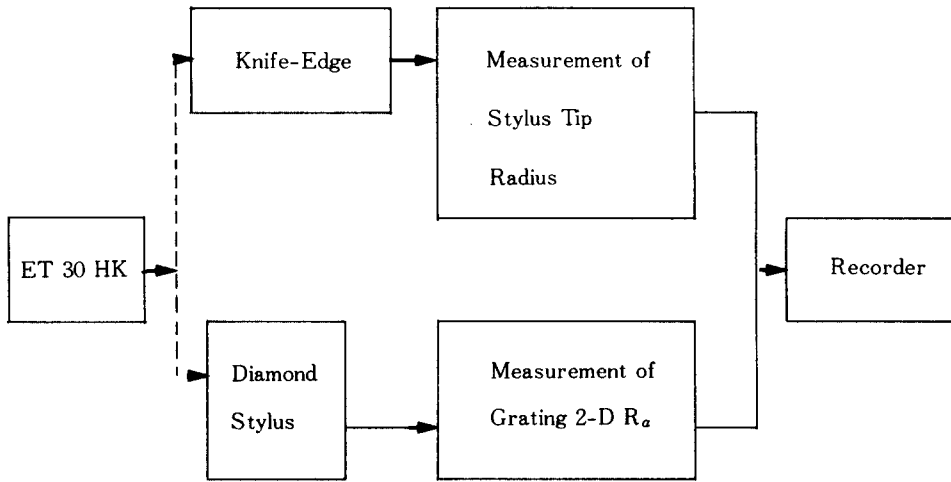
Fig. 2 Shape of Grating

측정용, 검사용, 공작기계의 조정용으로 사용되는 블록게이지(Block-Gauge), 그리고 근래 공업상으로 중요한 소재의 하나로서 각광받고 있는 세라믹을 시료로서 사용했다.

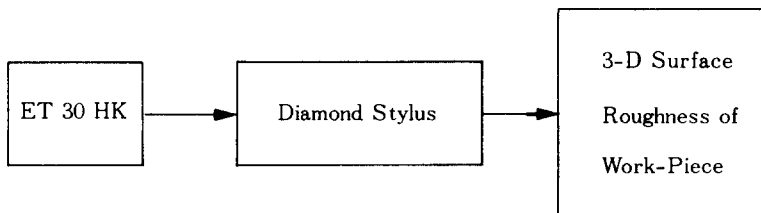
### 3.3 실험방법

#### 3.3.1 실험장치의 블록-다이아그램

Fig. 3은 본 마모 실험장치의 블록-다이아그램이다.



(a) Confirm of Wear



(b) Experiment of Wear

Fig3. Block Diagram of Wear

### 3. 3. 2 실험방법 및 실험조건

실험은 모든 측침에 대하여 매회 실험 전후에 그레이팅(Grating)의 2차원 측정과 나이프-에지(Knife-Edge)를 이용하여 각 측침의 선단 반경의 변화를 측정 하였다.

또한 그레이팅(Grating)의 2차원 측정은 각 측침에 대하여 실험 전후의 표면거칠기 파라미터(Ra : 중심선 평균거칠기)를 비교하여 붐으로써 그 파라미터의 변화에 의하여 측침의 마모의 여부를 판단하는 기준으로 삼았다.

그레이팅(Grating)의 2차원 측정은 그레이팅(Grating)면의 5단면을 측정한 값의 평균치를 기준으로 삼았다.

Table. 5는 그레이팅(Grating) 2차원 측정의 측정 조건을 나타내었다.

Table. 5 Measurement Condition of Grating (2-Dimension)

Measuring Length	20 $\mu$ m
Z - Magnification	x 100,000
X - Magnification	x 10,000
Measuring Speed	2 $\mu$ m / sec
Measuring Force	5mgf
Cut - Off	80 $\mu$ m

Table. 6은 나이프-에지(Knife-Edge)를 이용한 측침의 선단 반경 측정의 측정조건을 나타내었다.

(15)

Photo. 4는 본 실험에서 사용한 나이프-에지(Knife-Edge)의 EPMA 사진이다. (16)

나이프-에지(Knife-Edge)는 선단 각도가 120°이

Table. 6 Measurement Condition of Stylus Tip Radius

Z - Magnification	x 10,000
X - Magnification	x 10,000
Measuring Speed	2 $\mu$ m / sec
Measuring Force (Peak - Weight)	27 - 30mgf

고, 선단 반경은 0.05 $\mu$ m이하의 다이아몬드 측침으로서 주로 표면거칠기 측정용 측침의 선단 반경 측정용으로 사용된다.

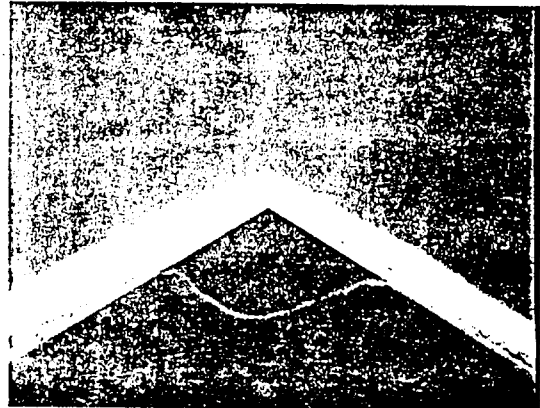


Photo. 4 EPMA Photography of Knife-Edge

Table. 7은 마모 실험의 실험조건을 나타내었다. (단, 측정 라인수는 1회 실험당의 측정 라인수를 나타낸다.)

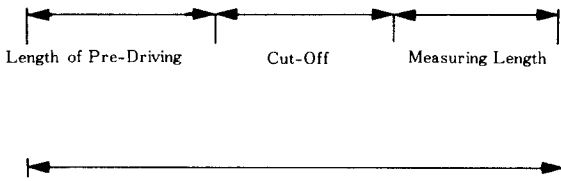
Fig. 4에는 1라인당의 실제 측정 거리를 나타내었다.

1라인당의 실제 측정길이는 (예비 구동거리+Cut-Off + 측정길이)  $\times$  2가 된다.

그러므로 1라인당의 실제 측정길이는 380 $\mu$ m가 된다.

**Table. 7 Measurement Condition of Wear Experiment**

Mode	3 - Dimension Auto	
Measuring Length	50 $\mu$ m	
Measuring Force	5mgf	
Measuring Speed	20 $\mu$ m / sec	
Cut - Off	80 $\mu$ m	
Number of Measuring Line (M : Polishing I : Machining of Ion-Sputter)	0.1 $\mu$ mR	20Line
	0.5 $\mu$ mR(M)	100Line
	0.5 $\mu$ mR(I)	100Line



**Fig4. True Measuring Length**

**4. 실험결과**

**4.1 측정거리에 따른 Ra 값의 변화**

Fig. 5는 선단 반경 0.1  $\mu$ mR의 촉침의 각각의 시료에 대한 측정거리에 따른 그레이팅(Grating)의 2차원 측정 Ra값의 변화를 나타낸 그래프이다.

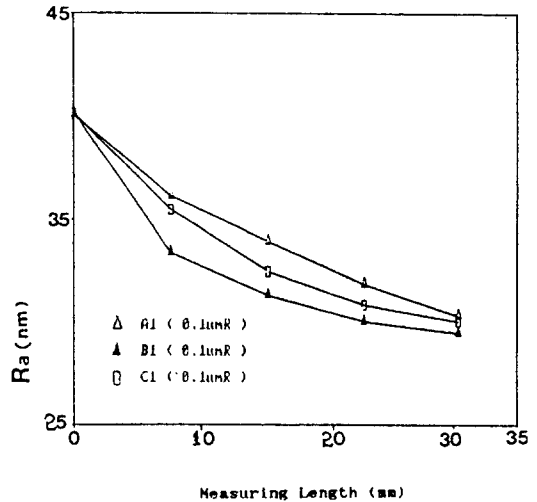
Fig. 5에서 알 수 있듯이 측정거리 7.6mm 부근에서 블록-게이지(Block-Gauge)의 Ra값의 변화율이 AI경면보다는 약 7%, 세라믹의 경우보다는 약 5%정도가 큰 것을 알 수 있었다. (여기에서 변화율이란 초기의 Ra값을 기준치로 하고 그 다음에 측정한 Ra값들을 비교치로 하여 백분율로 나타낸 것을 말한다.)

또한 측정거리 7.6mm까지가 Ra값의 변화율이 가

장 크고, 7.6mm 이후에는 Ra값의 변화율의 폭이 점점 완만해지고 있는 것을 알 수 있었다.

이것은 초기마모의 영향이라고 생각된다.

또한 각 촉침 모두 측정거리 30.4mm에서 실험전에 비하여 Ra값이 약 23%에서 26%정도의 변화를 보이고 있는 것을 알 수 있었다.



**Fig5. Variation of Ra With Measuring Length (Case of 0.1  $\mu$ mR)**

Fig. 6은 선단반경 0.5  $\mu$ mR의 기계가공한 촉침과 이온 스파터 가공한 촉침의 각각의 시료에 대한 측정거리에 따른 그레이팅 2차원 측정의 Ra값의 변화를 나타낸 그래프이다.

Fig. 6에서와 같이 측정거리 38mm 부근에서 기계가공한 촉침에 비하여 이온 스파터 가공한 촉침의 경우가 Ra값의 변화율이 약 3%에서 4%정도가 큰 것을 알 수 있었다.

또한 측정거리 38mm 부근에서 Ra값의 변화율이 가장 큰 것을 알 수 있었고, 38mm이후에는 Ra값의 변화율의 폭이 완만해지고 있는 것을 알 수 있는데, 이것은 초기마모의 영향이라고 생각된다.

각 촉침 모두 측정거리 190mm에서 실험전에 비하여 Ra값이 기계가공한 촉침의 경우는 28%에서 30%, 이온 스파터 가공한 촉침의 경우는 30%에서 33%정도의 변화를 보이고 있는 것을 알 수 있었다.

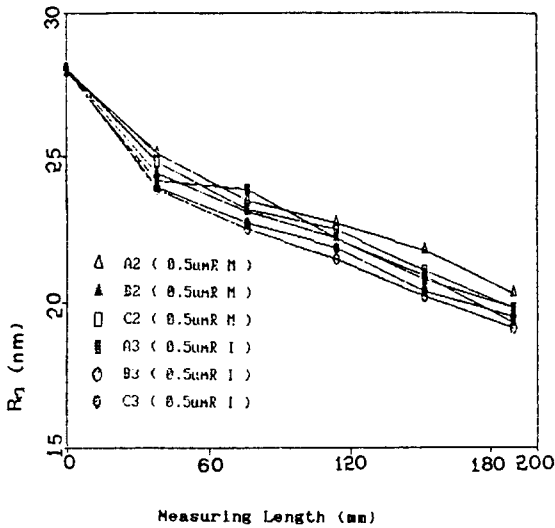


Fig6. Variation of Ra With Measuring Length (Case of 0.5  $\mu$ mR)

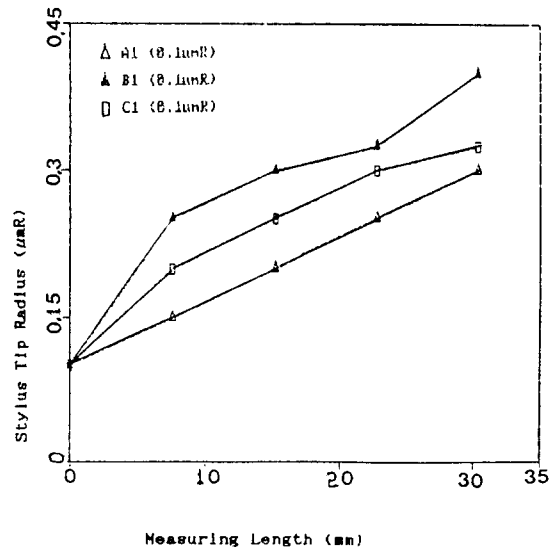


Fig7. Variation of Stylus Tip Radius With Measuring Length (Case of 0.1  $\mu$ mR)

#### 4.2 측정거리에 따른 선단반경의 변화

Fig. 7은 선단반경 0.1 $\mu$ mR의 촉침의 각 시료에 대한 측정거리에 따른 선단반경의 변화를 나타낸 그래프이다.

Fig. 7에서와 같이 선단반경 0.1 $\mu$ mR의 촉침의 경우는 측정거리 7.6mm부근에서 블록-게이지의 선단반경의 변화가 Al경면보다 0.1 $\mu$ mR, 세라믹보다는 0.05 $\mu$ mR 증가한 것을 알 수 있었다.

또한 측정거리 7.6mm부근 까지가 선단반경의 변화가 가장 큰 것을 알 수 있는데 이것은 초기마모의 영향이라고 생각된다.

측정거리 30.4mm부근에서 각 촉침은 실험전에 비하여, 선단반경이 Al경면은 0.2 $\mu$ mR, 블록-게이지는 0.3 $\mu$ mR, 세라믹은 0.225 $\mu$ mR이 증가한 것을 알 수 있었다.

Fig. 8은 선단반경 0.5 $\mu$ mR의 기계가공한 촉침과 이온 스파터 가공한 촉침의 각각의 시료에 대한 측정거리에 따른 선단반경의 변화를 나타낸 그래프이다.

Fig. 8에서와 같이 측정거리 38mm부근에서, 기계가공한 촉침과 이온 스파터 가공한 촉침의 선단반경

변화율이 큰 것을 알 수 있는데 이것도 초기마모의 영향이라고 생각된다.

또한 측정거리 38mm부근에서 이온 스파터 가공한 촉침의 선단반경의 변화율이 기계가공한 촉침에 비하여 약 25%정도가 큰 것을 알 수 있었다.

측정거리 190mm부근에서 각 촉침은 실험전에 비하여 기계가공한 촉침은 선단반경이 약 1.8배에서 2.06배 증가하였고, 이온 스파터 가공한 촉침은 약 2배에서 2.2배 증가한 것을 알 수 있었다.

#### 5. 결론 및 고찰

본 실험을 통하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 선단반경 0.1 $\mu$ mR의 촉침의 경우, 블록게이지의 경우가 측정거리 7.6mm부근에서 Al경면보다는 7%, 세라믹의 경우보다는 약 5%정도 Ra 값의 변화율이 큰 것을 알 수 있었다. 또한 선단반경 0.5 $\mu$ mR인 촉침의 경우는 기계가공한 촉침에 비하여 이온 스파터 가공한 촉침이 Ra 값의 변화율이 큰 경향이 있었다.



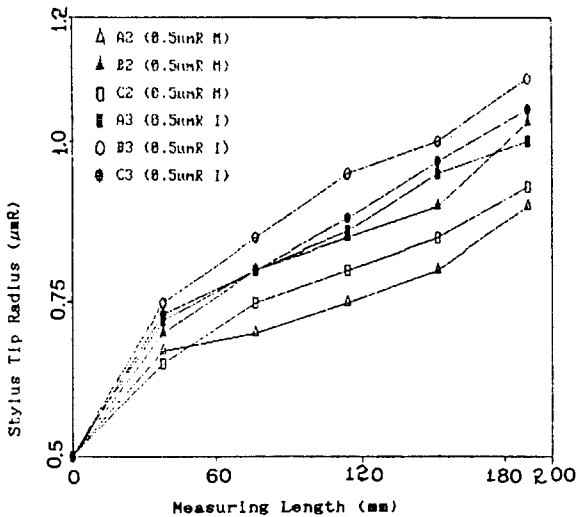


Fig8. Variation of Stylus Tip Radius With Measuring Length(Case of 0.5 μmR)

2) 선단반경 0.1 μmR인 촉침의 경우, 블록-게이지의 경우가 AI경면보다 약 25%, 세라믹의 경우보다 약 19%정도 선단반경의 변화율이 큰 경향이 있음을 알 수 있었다. 또한 선단반경 0.5 μmR인 촉침의 경우는 기계가공한 촉침의 경우에 비하여 이온 스파터 가공한 촉침의 경우가 선단반경의 변화율이 크음을 알 수 있었다.

미소 선단반경을 갖는 다이아몬드 촉침의 마모에 큰 영향을 미치는 인자로서는 측정력, 측정거리, 측정속도, 측정할 시료의 표면상태등이 있는데 본 실험에서는 일정한 측정력과 속도하에서 측정거리에 따른 촉침의 마모 실험을 했는데 앞으로 측정력과 측정속도를 가변하고 시료의 표면 상태를 고려한 실험이 필요하다.

REFERENCES

1. 韓 應教, 1986, "촉침식 3차원 표면거칠기 측정에 관한 연구", 韓國精密工學會誌, Vol. 3, No. 1, p 60-68
2. 河村 末久, 1987, "表面測定技術とその應

用", p 133-138

3. 韓 應教, 盧 炳沃, 劉 永德, 1989, "Ion Beam 가공한 Diamond 촉침의 선단반경이 표면거칠기 측정에 미치는 영향", 大韓機械學會秋季大會 抄錄集, p 294-297
4. 寮良 治郎, 1983, "表面粗さの測定評價法", テクノコンパクトシリーズ6, 綜合技術センサー, p 87-91
5. 宮本 岩男, 1983, "表面粗さ測定器用觸針の摩耗について", 昭和58年度精機學會春季大會學術講演會論文集, p 395-396
6. 高瀬 省德, 1984, "不規則な微細形狀測定に關する觸針先端曲率半徑の影響", 昭和59年度精機學會春季大會學術講演會論文集, p 395-396
7. 川野 惠 一郎, 1985, "工業用Diamond部品の實例", 精密機械
8. 宮本 岩男, 1979, "イオンスパッタ加工法の研究", 精密機械, Vol. 45, No. 3, p 292-298
9. 水野萬龜雄, 1982, 摩耗量の測定, 潤滑 第25卷12號, p 801-804
10. I. Miyamoto, 1986, "Ion Beam Machining of Single Point Dimond Tools for Ultra-Precision Turning", Proc. of the 10th ISIAT
11. N. Taniguchi, 1975, "Ion Sputter Machining of Iron and Steel", Ann. CIRP, Vol. 24, No. 1, p 125
12. 小林 昭, 1986, 超精密加工入門, p 107-113
13. 金屬表面技術協會, 1955, 金屬表面技術便覽, p 70-76
14. 松本, 1988, "非接觸方式による微細形狀測定", 光技術Contact, Vol. 26
15. 宮本 岩男, 1985, "イオンビーム加工により成形したナイフエツジを利用した觸針先端半徑の評價法", 精密機械
16. 染野, 1976, 表面分析, p 4-10