

# 광학식 표면 거칠기 계의 디지털 신호처리 Digital Signal Processing for the Optical Surface Roughness System

김희남\* 허웅\* 구만서\*  
Hee Nam Kim Woong Huh Man Se Gu

## ABSTRACT

In this paper, we study effect of waveness at the optical surface roughness measurement. In generally, waveness components cause errors in calculation of the roughness value of metal surface. We study about surface roughness signals in the frequency domain for separate two signal component of real roughness and waveness by digital signal processing methods. Thereafter, determine low and high Component of frequency spectrum. By this separating frequency value we design liner low and high pass filter which cutoff frequency is 1 Hz. After this process, converted each filtered spectrum by inverse discrete fourier transformation to time domain waveness and real roughness signals.

We calculate surface roughness value from filtered roughness signals. For evaluate this method, we use five specimens roughness signal which obtained from optical surface roughness measuring system in 3mm/s moving speed with 0.1 mm laser beam spot size. As a result, we obtain more linerized roughness value than that of unfiltered roughness signals.

### 1. 서론

초정밀가공 분야에서 생산성을 높이기 위하여

가공면을 실시간 계측을 하면서 그 조건에 따라 가공조건을 변화시키는 인프로세스 연구가 활발히 진행 되고 있다. 인프로세스 계측에서 중요한 한가지 사항은 가공물에 영향을 주지 않고 표면 상태를 비 접촉식으로 연속계측하는 것이다. 이

\*正會員 : 명지대학교

때 사용되는 주된 계측 방식은 레이저광선을 이용한 비 접촉식 계측이 일반적이다. 이러한 방식은 Robert A. Sprague, W.B. Ribbens, C.R. Munnerlyn, 등에<sup>1-16)</sup> 의하여 연구되어 왔다. 본 연구자들도<sup>17,18)</sup> 앞서 연구결과를 발표한 바가 있으나, 이러한 연구에서 얻어진 표면 거칠기의 결과에서 가공물의 waveness를 제거하여 순수 거칠기값을 결정할 필요가 있다. waveness값은 측정구간에서 직류파형이거나 정현파 일 경우는 평균값이 영이지만 그러하지 않는 경우는 유한한 값을 갖는다. 또한 일반적인 가공물의 가공조건에서는 완벽한 조건을 갖을수가 없으므로 유한의 파형을 갖게된다. 따라서 표면의 거칠기값과 가공물의 waveness가 가산된 형태의 거칠기값을 갖게되므로 오차를 갖게된다.

본 연구에서는 표면 거칠기 신호를 디지털 필터링에 의하여 waveness신호와 거칠기신호를 분리하여 종전의 연구를 보완하는데 그 목적이 있다. 일반적으로 waveness는 가공물 표면의 형상

을 이루고 있으므로 낮은 주파수 성분이 주된 성분이다. 또한 거칠기성분은 표면의 거칠기를 나타내므로 높은 주파수 성분을 갖고 있다. 따라서 시간영역에서 얻어진 거칠기 신호를 주파수 영역에서 고찰하면 두가지 성분이 구분되므로 필터로 두가지 성분을 분리해 낼 수 있다.

사용된 디지털 필터는 waveness용의 저역필터와 거칠기 신호용의 고역필터로 구성하였다. 각 신호의 대역폭을 결정하기 위하여 주파수 영역에서 여러가지 시편의 거칠기를 검토하였다. 검토 결정된 주파수를 필터의 차단 주파수로 하였으며 사용된 필터의 형은 주파수 영역의 선형필터를 사용하였다.

## 2. 실험 방법 및 장치

### 2-1 측정계의 구성과 측정 방법

본 실험에서 사용한 광학식 표면 거칠기 측정

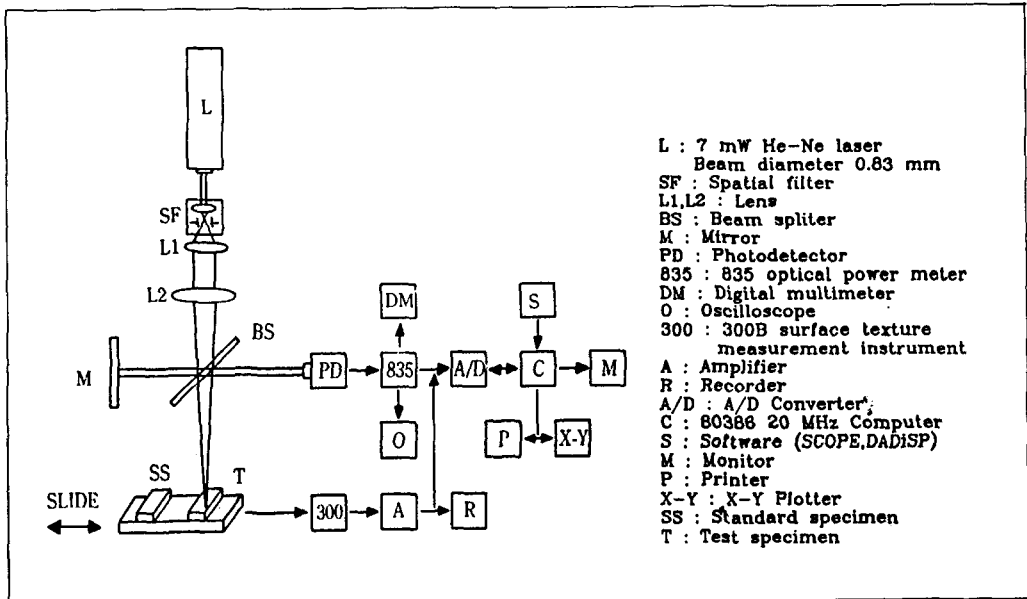


Fig.1 Measuring system of surface roughness

시스템의 개요도는 Fig.1같으며 Fig.2는 그 사진이다. Fig.3은 He-Ne laser head와 보조장치로 구성된 신호측정계의 블록도이다. Fig.1에서 사용된 광원은 안정화된 7mW He-Ne laser를 사용하였으며 레이저광선은 검사면에서 반사된 다음 광분리기를 거쳐 광검출기에 입사된다. 이곳에서 표면의 조건에 따라 후면 스펙큘러 반사값이 달라지는 값을 검출하여 증폭기로 전압증폭한 후 12비트 A/D변환기로 입력된다. 이때 시편 이송과 거칠기신호의 입력과정은 컴퓨터의 프로그램 제어

에 의하여 시작되고 또한 데이터가 받아들여지게 하였다.

2-2 표면 거칠기 신호의 분석

측정계로부터 받아들여진 표면 거칠기 신호는 Fig4와 같다. 거칠기 신호는 Fig5와 같은 wave-ness신호가 중첩되어 있으므로 이들 신호를 분리할 필요가 있다. 분리에 사용될 필터를 설계하기 위해서는 Fig4와 같은 거칠기 신호를 주파수 영역에서 분석 검토할 필요가 있다. 먼저, 거칠기 신호를 연속시간영역의 값인  $X_a(t)$ 로 두자.  $X_a(t)$ 의 주파수 영역으로의 변환은 푸리에 변환을 사용하여 변환한다.

$$X_a(t) \xrightarrow{FT} X_a(f) \dots\dots\dots (1)$$

이를 푸리에 적분식으로 표현하면 다음과 같다.

$$X_a(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X_a(t) \exp(-j\omega t) dt \dots\dots\dots (2-a)$$

$$\omega = 2\pi f \dots\dots\dots (2-b)$$

거칠기 신호  $X(t)$ 가 T주기로 A/D변환이 된 신호로 바뀌면 이산형 신호 영역 신호가 되므로  $X_a(nT)$  이다.

편의상  $X_a(nT) = X_a(n)$ 로 했을때 이신호의 이산 푸리에 변환과 그 역변환 즉, DFT(Discrete Fourier Transformation)와 IDFT(Inverse Discrete Fourier Transformation)는 다음과 같다.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} X(n) \exp(-j2\pi kn/N) \quad k=0,1,2,\dots,N-1 \dots\dots\dots (3-a)$$

$$X(n) = 1/N \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \exp(j2\pi kn/N) \quad n=0,1,2,\dots, N-1 \dots\dots\dots (3-b)$$

이 때 A/D 변환 주기 T와 데이터 수는 시간 변

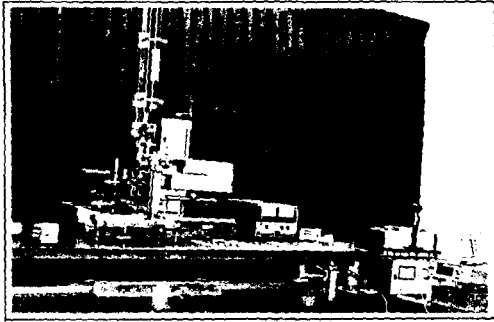


Fig.2 Layout of experiment system

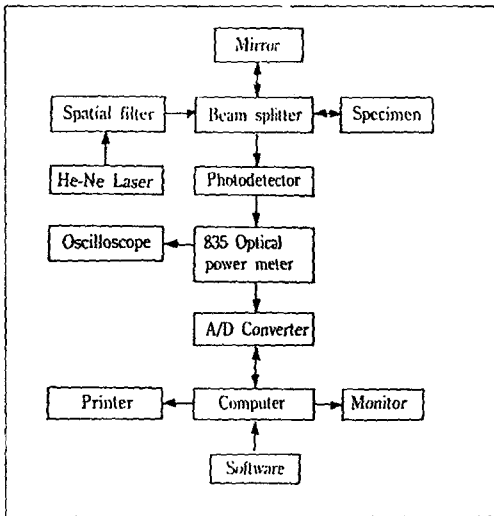


Fig.3 Block diagram of measuring system

수  $t$ 와 다음과 같은 관계이다.

$$t = nT = n/F_s \dots\dots\dots (4)$$

여기서,  $F_s$ 는 A/D 변환시의 샘플링 주파수이다.

식(3)에 따라 Fig4와 같은 신호를 DFT 하여  $X(f)$ 를 표시하면 Fig6과 같다.

Fig.6은 512개 데이터중 신호 성분이 주로 모여

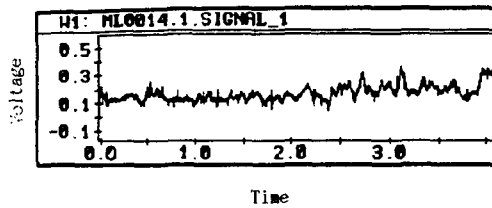


Fig.4 Time domain surface roughness signal

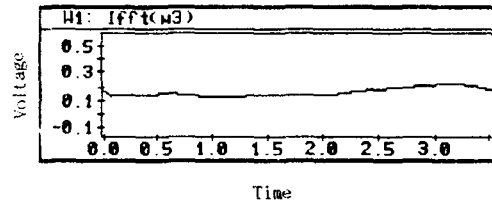


Fig.5 Time domain waveness signal

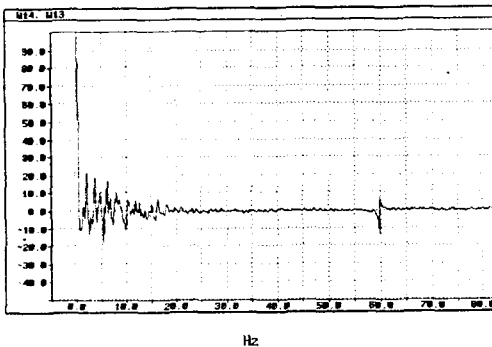


Fig.6 Frequency spectrum of Fig.4's

있는 80개의 데이터만 표시한 것이다.

이송속도를 3mm/s로 하고 A/D 변환기의 샘플링 주파수를 1KHz로 하면  $T$ 는 1ms 이다.

그리고 데이터 윈도우를 4096 포인트로 하면 데이터 1포인트가 1ms이므로 이송구간은 4.096초가 된다. 따라서 이송거리 분해능은  $2.93 \mu\text{m}/\text{point}$  이다.

DFT는 시간이 많이 소모됨으로 FFT(Fast Fourier Transformation) 알고리즘을 사용한다. FFT는 1024포인트를 사용했으므로 4096 데이터를 1024로 압축하였다. 따라서, 변환된 데이터는 샘플 주파수가 250Hz이므로 데이터의 1포인트는 4ms이고 주파수 분해능은 0.244Hz이다. Fig.6에서 X축의 좌표의 10은 10Hz에 해당한다.

1Hz 미만은 waveness의 주파수 성분을 나타내고 1Hz이상은 표면 거칠기의 주파수 성분을 나타내고 있다. 1Hz의 주기는 3mm/s의 이송속도에서 약 3mm를 나타낸다.

### 2-3 waveness와 표면 거칠기 신호의 분리

Fig.6에서 얻어진 주파수 영역의 데이터를 1Hz를 기준으로 선형 저역 필터와 선형 고역 필터를 하여 식 (3-b)의 역변환을 각각 실행하면 저역 필터링한 데이터는 Fig.7과 같이 waveness가 얻어

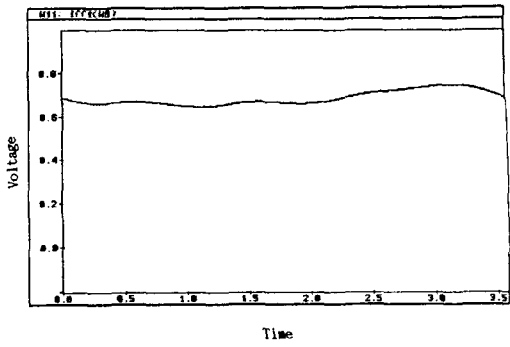


Fig.7 Time domain waveness signal of Fig.4

진다. 또한 고역 필터링한 데이터는 Fig.8과 같이 표면 거칠기 신호가 얻어진다.

전체 신호처리의 흐름도는 Fig.9와 같다.

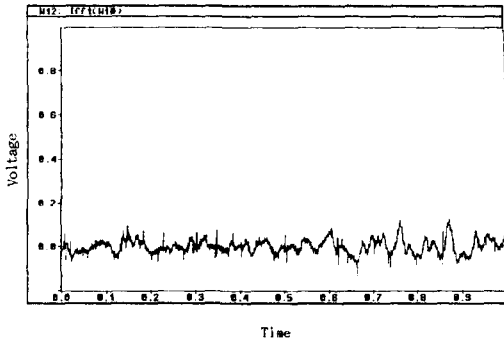


Fig.8 Time domain surface roughness signal of Fig.4

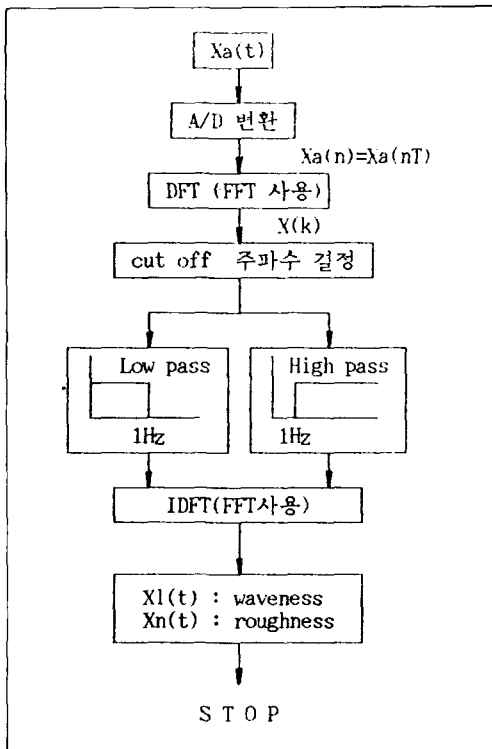


Fig.9 Flowchart of signal processing

## 2-4 실험장치 및 시편

본 연구 실험에서 사용된 기기들의 구성은 다음과 같다.

- (1)광원 : 7mW 안정화된 He-Ne laser, 파장 632.8nm 모델 Huges 3027
- (2)광 검출기 : Photovoltaic type 광 검출기, 증폭기 내장형, 명칭 Laser Pico-Watt Digital Power Meter M835-SL-04.
- (3)표면 거칠기 측정기 : 축침형 Tokyo Semitsu 제 모델 300B.
- (4)A/D 및 Digital I/O : 12bit, 16 채널, 최대 변환속도 30 KHz, 16 채널 Digital I/O, 입력  $\pm 1V \sim \pm 10V$ , 모델 PCL812.
- (5)컴퓨터 : IBM PC/AT 386
- (6)시 편

### ①재질

본 실험에 사용된 재료는 구조용탄소강(SM 45C)이며 이들의 기계적 성질과 화학적 성분은 Table 1와 같다.

### ②형상과 치수

전가공으로 래핑가공하여 금속표면의 최대 높이 거칠기가  $0.3 \mu R_{max} \sim 0.7 \mu R_{max}$ 로 가공하였으며, 시편의 형상과 치수는 Fig.10이고, Fig.11는 본 실험에 사용된 시편들이다.

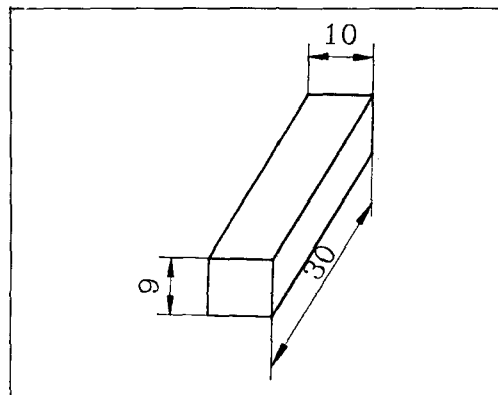


Fig.10 Dimension of test specimen

Table. 1 Mechanical properties and chemical composition of specimen(SM45C)

a) Mechanical properties

Material	Yielding strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Hardness (H <sub>RB</sub> )
SM45C	42	56	21	91

b) Chemical composition(% wt)

Material	C	Si	Mn	P	S	Fe
SM45C	0.45	0.25	0.78	0.03	0.035	Balance

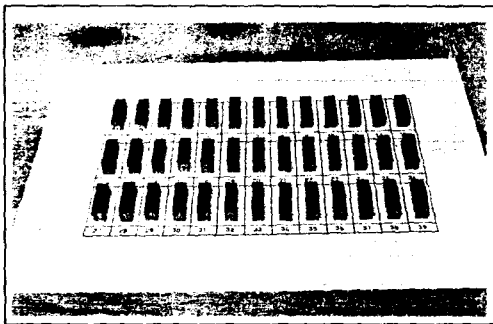


Fig.11 Configuration of test specimens

③표면 거칠기 측정

측정기는 Surfcom 300B (Tokyo Semitsu Co.LTD)를 사용하였으며 Cut off R 0.8mm, Traversing length 25, Range 2 K 로 하였으며 또한, 매 연삭과 래핑후 표면 거칠기 값을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1 시편 종류에 따른 표면 거칠기 신호처리 영향

표면 거칠기 신호중 waveness를 시편종류에 따

라 검토하기 위하여 이송 속도를 3.0mm/sec, 입사광의 광속 지름을 0.1mm로 하였으며 사용된 시편의 표면거칠기가 0.3, 0.35, 0.45, 0.6, 0.7 μRmax 인 5종류의 것을 사용하였다.

Fig.12, 13, 14, 15, 16은 각 시편에서 얻어진 거칠기 신호이다.

각 그림의 W1은 거칠기 신호이고 W2는 신호처리를 위하여 4096포인트 데이터를 취한 신호이다. W3는 주파수 영역에서 따로 1Hz미만을 저역선형 필터한 waveness스펙트럼인데 1Hz미만의 영주파수 근처에 에너지가 몰려 있음을 보이고 있다. W4는 1Hz이상을 고역선형필터한 것으로 표면상태의 거칠기를 나타내는 주파수 스펙트럼인데 에너지가 2Hz~20Hz 사이에 집중되어 있음을 알수 있다. W5는 W3를 역 푸리에 변환한 시간영역에서 순수한 waveness모양이고 W6는 W4를 역 푸리에 변환한 시간영역에서 순수한 표면 거칠기 신호이다. 그림에서 알 수 있듯이 Fig.12, 13, 14에서 waveness의 진폭이 비교적 크고 Fig.15, 16에서는 진폭은 적으나 주파수가 높은 편이다.

3-2 Waveness 제거한 표면의 거칠기의 영향

Waveness의 영향을 검토하기 위하여 표면 거칠

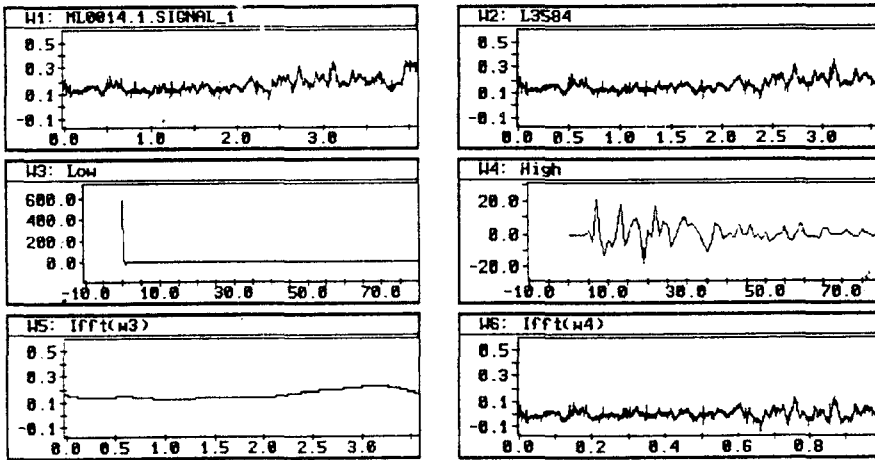


Fig.12 0.3  $\mu$  Rmax W1), W2) Surface roughness signal before processing  
 W3) Spectrum of waveness  
 W4) Spectrum of surface roughness  
 W5) Waveness signal  
 W6) Real surface roughness signal

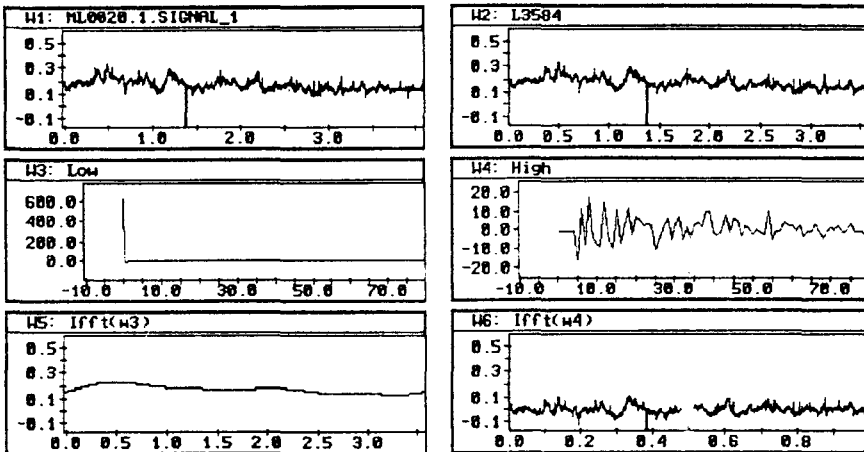


Fig.13 0.35  $\mu$  Rmax W1), W2) Surface roughness signal before processing  
 W3) Spectrum of waveness  
 W4) Spectrum of surface roughness  
 W5) Waveness signal  
 W6) Real surface roughness signal

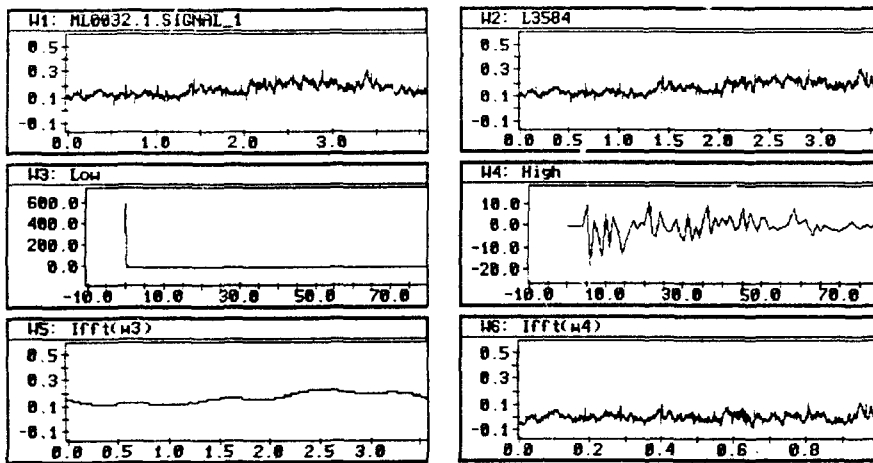


Fig.14 0.45  $\mu$  Rmax W1), W2) Surface roughness signal before processing  
 W3) Spectrum of waveness  
 W4) Spectrum of surface roughness  
 W5) Waveness signal  
 W6) Real surface roughness signal

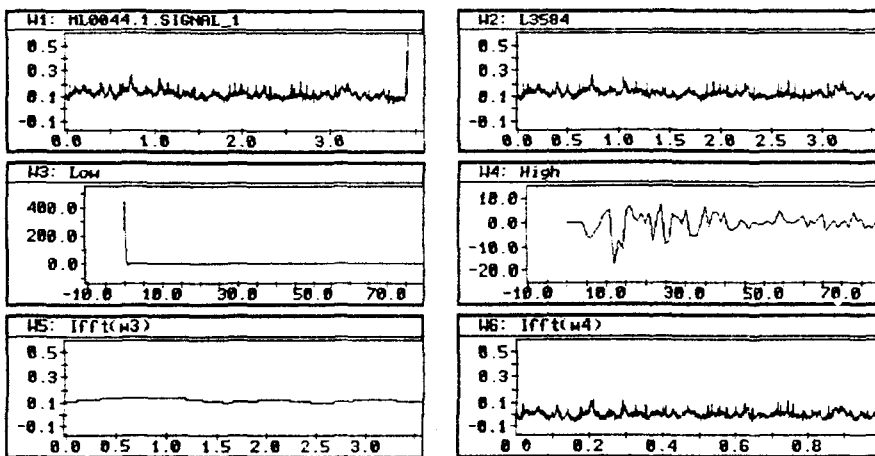


Fig.15 0.6  $\mu$  Rmax W1), W2) Surface roughness signal before processing  
 W3) Spectrum of waveness  
 W4) Spectrum of surface roughness  
 W5) Waveness signal  
 W6) Real surface roughness signal



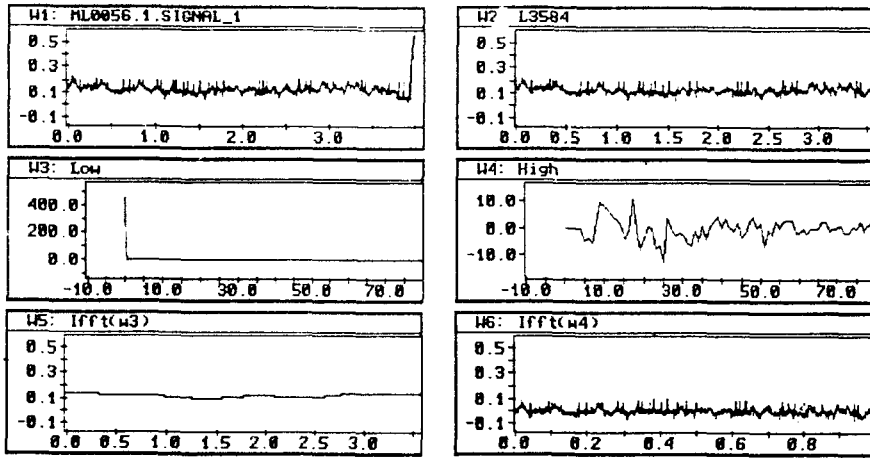


Fig.16 0.7  $\mu R_{max}$  W1), W2) Surface roughness signal before processing  
 W3) Spectrum of waveness  
 W4) Spectrum of surface roughness  
 W5) Waveness signal  
 W6) Real surface roughness signal

기가 0.3, 0.35, 0.45, 0.6, 0.7  $\mu R_{max}$ 인 경우의 각 신호중 waveness를 제거한 경우의 신호와 제거하지 않은 경우의 신호를 이용하여 측정식 거칠기 측정장치의 거칠기값과 비교 하였다. Fig.17은 waveness가 제거되지 않았을 때 표면 거칠기와의 관계를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 비 선형이어서 선형화 했을 때 편차가 상당히 존재하고 있다. Fig.18은 waveness를 제거한 각 신호에

서 얻어진 결과를 표면 거칠기와의 관계를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 거의 선형의 관계를 나타내고 있다.

#### 4. 결 론

본 연구는 laser 광선을 사용하는 금속표면 거칠기 측정에서 waveness의 영향을 디지털 신호처

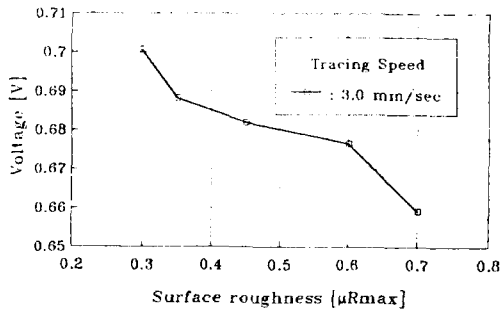


Fig.17 Surface roughness relation to the voltage(unfiltering case)  
 (Beam spot diameter 0.1mm)

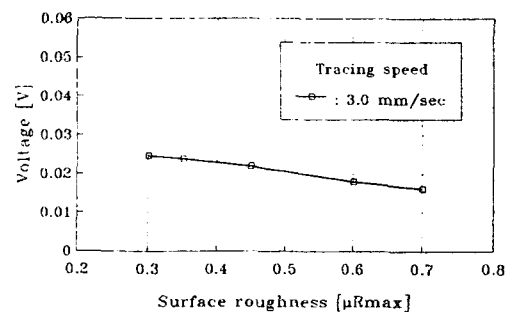


Fig.18 Surface roughness relation to the voltage(filtering case)  
 (Beam spot diameter 0.1mm)

리를 이용하여 검토한 결과로서 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 초 저주파수 대역에서 시간영역 저역 및 고역 필터링은 매우 어려운것이 사실이다. 이를 극복하기위해 시간은 어느정도 소요되나 주파수 영역에서 선형 필터링에 의해 실현할 수 있었다.
- (2) Waveness를 제거한 표면 거칠기 신호에서 선형성이 탁월한 결과를 실현할 수 있었다.
- (3) 이송 속도가 가장 빠른 3.0mm/s의 조건과 laser광선이 가장 적은 0.1mm에서 만족할 수 있었다.

이상의 결과를 토대로 하여 고속측정의 조건을 확보하면 실제 가공속도에서도 금속의 표면 거칠기 측정이 가능 한가를 검토 할 수 있을것으로 사료된다.

### 참고문헌

- (1) William B. Ribbens, Interferometric surface roughness measurement, Applied Opt., Vol.8, No.11, November 1969
- (2) W. B. Ribbens, Surface roughness measurement by holographic interferometry, Applied Opt., Vol.11, No.4, April 1972
- (3) Robert A. Sprague, Surface roughness measurement using white light speckle, Applied Opt., Vol.11, No.12, December 1972
- (4) E. L. Church and J. M. Zavada, Residual surface roughness of diamond-turned Optics, Applied Opt., Vol.14, No.8, August 1975
- (5) J. M. Elson and J. M. Bennett, Relation between the angular dependence of scattering and the statistical properties of optical surface, J. Opt. Soc. Am., Vol.69, No.1, January 1979
- (6) Osuk Kwon, J. C. Wyant and C. R. Hayslett, Rough surface interferometry at 10.6 $\mu$ m, Applied Opt., Vol.19, No.11, 1980
- (7) David Y. Lou, A. Martinez, and D. Stanton, Surface profile measurement with a dual-beam optical system, Applied Opt., Vol.23, No.5, March 1984
- (8) 谷村吉久, 豊田幸司, レーザ干渉計を應用した非接觸微細形狀測定裝置ね, 精密機械, 50卷, 10號, 10, 1984
- (9) 宮本三, 接觸式と非接觸式による表面形狀測定, 精密機械, 51卷, 4號, 4, 1985
- (10) M.S. Lan, In-Process tool Fracture detection, ASME, Vol.106, pp. 111~118, April 1984
- (11) Ming-Shong Lan, In-process detection of tool breakage in milling, ASME, Vol. 108, pp. 191~197, Aug 1986
- (12) S. M. Wu, Analysys of alignment error in a laser-based in-process cylindricity measurement system, ASME, Vol. 109, pp. 321~329, Nov 1987
- (13) S. M. Wu, In-process control of cylindricity in boring operations, ASME, Vol. 109, pp. 291~296, Nov 1987
- (14) I. Yellowley, In-process detection of tool failure in milling using cutting force models, ASME, Vol. 111, pp. 149~157, May 1989
- (15) 清野慧, 黄佩森, 鈴木博文, 粗さ測定の光スキッド法(第1報), 精密工學會誌, 55, 08, pp. 1409~1414, 1989
- (16) K. Srinivasan, On-line indentification of end milling process parameters, ASME, Vol. 111, pp. 322~330, Nov 1989
- (17) 김희남, 전영식, 구만서, Laser Beam을 이용한 금속 표면의 거칠기 측정에 관한 연구, 한국산업안전학회, Vol.15 No.2 Oct.1990
- (18) 김희남, 전영식, 구만서, Laser Beam을 이용한 금속 표면의 거칠기 측정에 관한 연구 (II), 명지대학교 산업기술연구소 논문집, 제9집, Dec.1990