

화상 신호를 이용한 금속표면의 미소 결함 측정

Measurement of Fine Scratches on Metallic Surface by Image Signal

김 용 수* · 이 주 상** · 김 회 남*** · 허 응****

Y. S. Kim · J. S. Lee · H. N. Kim · W. Huh

ABSTRACT

This paper reports a method of measuring surface scratch using microscope and CCD. Included are both the theory of the technique and experimental verification. The range of surface scratch which can be accurately measured by this method is also reported.

1. 서 론

생산 기술이 발달함에 따라 제품의 정밀도가 높아지고 있으며 이에 따른 표면 마무리는 완제품의 평가에 있어서 대단히 중요하다.

특히, 고출력 레이저용 mirror, 컴퓨터용 자기 디스크판, 레이저 프린터용 폴리곤 mirror 등의 초 세사상면에 있어서의 미세 형태 측정의 중요성은 더욱 증가되고 있다.

종래에는 취급이 용이하고 측정 범위가 넓은 이유로 촉침식 방법이 많이 사용되었으나 in-process 계측의 중요성이 대두되고 촉침식 거칠

기계의 사용시 발생하는 표면 손상을 없애기 위해 다양한 비접촉식 측정법이 연구되어지고 있다. 이러한 연구들은 M. Shiraishi¹⁾, 三好隆志^{2,3)}, 高谷裕浩⁴⁾, Gray.white⁵⁾ 등에⁶⁾⁻¹⁷⁾ 의해서 이루어졌으나 아직도 표면거칠기 측정에 대한 충분한 정량적인 검토가 이루어지지 않았으며, 특히 microscope와 화상 정보를 이용한 초세사상면의 미소 傷에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않고 있다.

따라서 본 연구는 microscope을 이용하여 자기 디스크 판의 미소 傷을 화상 정보를 이용하여 계측할 때 미소 상의 깊이, 폭, 조명 밝기의 변화가 화상 신호 측정에 미치는 영향을 검토하여 in-process 측정의 적용 가능 범위를 밝히는데 목적을 두었다.

* 국립 서울산업대학 산업안전공학과

** 명지대학교 대학원 기계공학과

*** 명지대학교 기계공학과

**** 명지대학교 전자공학과

2. 실험 방법 및 장치

2.1 측정계 구성

본 실험에서 사용한 화상 신호를 이용한 금속표면의 미소 결함 측정 시스템의 개요도는 Fig. 1과 같다.

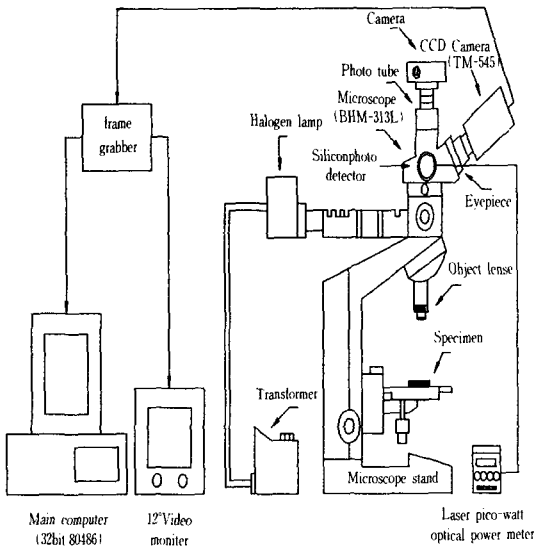


Fig. 1 Schematic diagram of experimental equipment

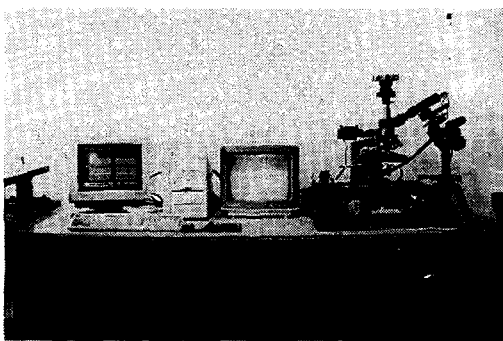


Fig. 2 Layout of experiment system

같으며 Fig. 2는 그 사진이다. Fig. 3은 할로겐 램프와 광학 현미경 및 화상처리계로 구성된 실험 장치에 대한 측정 시스템의 블록 선도를 표시한 것이다.

할로겐 램프 광은 object lens를 통과하고 미소 화상은 광학 현미경의 eyepiece를 통해 CCD 카메라에서 받아들여지며 frame grabber를 통해 컴퓨터와 비디오 모니터로 화상이 보내어진다. 주변 보조 장치들은 측정계로부터 입수되는 미소 상의 정보를 저장하며 적절한 처리과정을 거쳐 원하는 데이터를 얻으며 측정식 표면거칠기 계는 비교 분석을 위한 것이다.

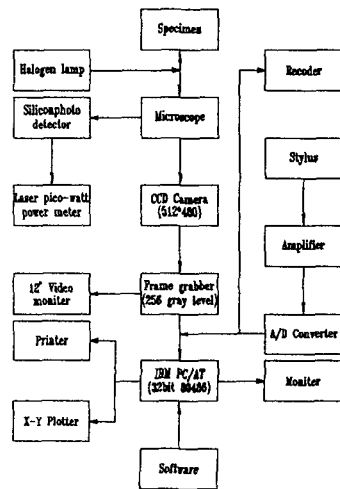


Fig. 3 Block diagram of measuring system

2.2 실험 방법

할로겐 램프 광은 object lens를 통해 직경 4mm와 7mm의 크기로 가르면 표면에 입사되고 가장 전형적인 0°의 반사각을 갖는다.

광학 현미경의 광 밝기를 0.25W~2.75W로 변화시킨 광은 autocollimator와 mirror를 거친 후 object lens를 통해 시험편에 조사된다. 광은 시험편의 계측대상을 확대시켜 현미경의 eyepiece에 나타난 상을 CCD카메라로 보낸다.

CCD카메라에 잡힌 미소 像은 frame grabber (1024*1024*16bit)에서 일시 저장되고 main computer와 video monitor로 보내져 화상 처리되어 미소 像의 폭과 깊이에 대한 인자(factor)를 구한다.

화상에 의한 미소 像의 깊이는 피 검사체에서 반사되는 휘도 값으로 나타남으로 거리에 대한 휘도 신호를 이용하여 계측하며 미소 像의 폭계측은 결합부의 폭을 화상 신호의 픽셀(pixel)수로서 계측된다. 계측의 분해능은 광학계의 배율과 화상 소자의 피치에 의해 결정된다. 일반적으로 깊이의 계측은 2개의 영상 신호를 기하학적으로 분석하여 계측하여야 하나 그 계측 장치가 매우 복잡하여 실현성에 문제가 있다.

본 연구에서는 자기 디스크판의 미소 像을 측정하기 위하여 화상 신호로 미소 像의 깊이, 폭을 측정하고 조명의 밝기가 이에 미치는 영향을 조사한다.

2.3 표면 구조와 화상 신호

본 연구에서 실험 대상으로 삼은 광 자기디스크의 표면 결합 구조를 표면거칠기 계로 계측하면 Fig. 4(a)와 같다. 그림에서 X축은 거리이고 Y축의 높이 값은 전압으로 표시한다. 같은 시편을 microscope에 장착된 CCD 영상 소자로 입력시킨 화상들에서 표면거칠기 계로 계측한 동일위치의 화소들을 선택하여 각 화소의 휘도 준위(gray level)를 신호화하면 Fig. 4(b)와 같다.

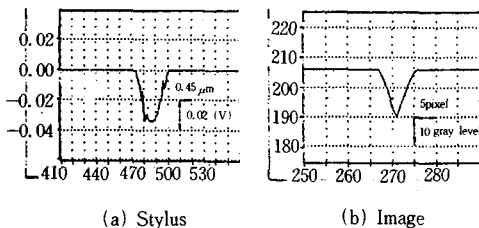


Fig. 4 Stylus profile vs. image profile

그림에서 X축은 화소 수로 표현되는 거리이고 Y축은 휘도 준위로 표시되는 표면 결함의 깊이를 나타낸다. 2개의 그림에서 비교된 바와 같이 2개의 신호는 표면 결함에 대하여 같은 모양을 하고 있음을 알 수 있다. 따라서 화상 신호로부터 표면 형상 계측의 가능성이 있다. 화상 신호에 의한 결함의 깊이는 휘도 준위로 계측할 수 있고 결함의 폭의 계측은 픽셀(pixel)수로서 정확히 계측할 수 있다. 그러나 표면에 조사되는 광조도에 따라 휘도 준위가 변

동될 수 있으므로 광조도의 변화에 따른 결함의 깊이를 검토할 필요가 있다.

2.4 실험 장치 및 시편

본 연구 실험에서 사용된 기기들의 구성은 다음과 같다.

- (1) Metal microscope : BMH-3131, OLYMPUS
- (2) CCD Camera : PULNiX TM545W(512*480) Scanning 525lines 60Hz interlace(EIA)
- (3) Computer : IBM compatable, CPU-Intel 80486
- (4) Halogen lamp : 12V 50WHAL, wavelength 400 λ
- (5) Surface roughness tester : Surfctest 402
- (6) A/D Converter : 12bit, 16 channel(HADC 574Z) 0.015% of reading ± 1 bit accuracy, conversion speed 30kHz max, PCL-812
- (7) Optical power meter : Laser pico-watt optical power meter(M835-SL-04), resolution 0.005%, power range 2nW to >2W
- (8) Detector : Siliconphoto-detector(818-SL photo-voltaic type), wavelength range 400~1100nm, active area-1cm²
- (9) 시편

① 재질

본 실험에 사용된 재료는 컴퓨터용 자기디스크판이다.

② 형상과 치수

하나의 시편으로 각각 다른 조건을 부가하기 위하여 Fig. 5와 같이 미량의 기울기와 폭을 갖는 시편을 제작하여 사용하였다. Fig. 6는 본 실험에 사용된 시편들이다.

③ 실험 조건

Table 1은 화상 신호를 이용한 금속 표면의 미소 결함 측정시의 실험 조건을 나타낸 것이다.

④ 표면거칠기 측정

촉침식 표면거칠기 측정 장치인 Surfctest402는 촉침의 상하 변위를 전압으로 변환시킨 후 아날로그 측정 신호를 이용하여 디지털 표면 평가를 하기 위하여 컴퓨터 인터페이스를 구성한다. 거칠기 곡선 신호와 단면 곡선 신호는 12bit A/D 변환기를 통해 디지털 형태로 변환한 후에 마이크로 컴퓨터 메모리에 저장된다. 이 메모리에 저장된 측정자료들은

표면 평가를 위해 제어되는 intel-80486 CPU에 의해 처리되고 모니터를 통해 표시된다. 또한, 산출된 거칠기 변수들과 단면 곡선 그래프는 마이크로 컴퓨터의 주변 기기인 프린터에 의해 출력된다.

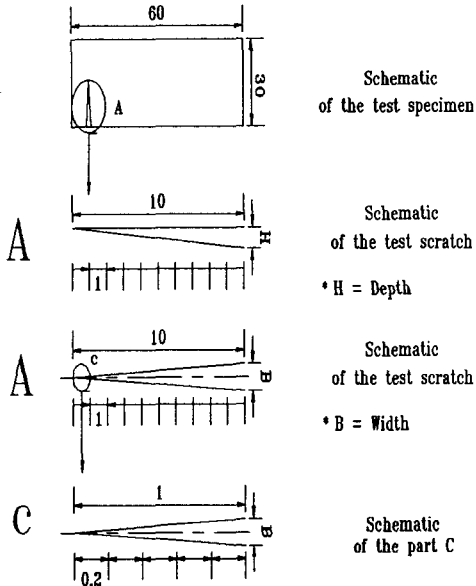


Fig. 5 Dimension of test specimen

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 시편의 가공 깊이와 화상 신호

시편의 가공 깊이 변화에 따르는 화상 신호의 계측 변화를 알아보기 위하여 시편의 가공 깊이를 0.

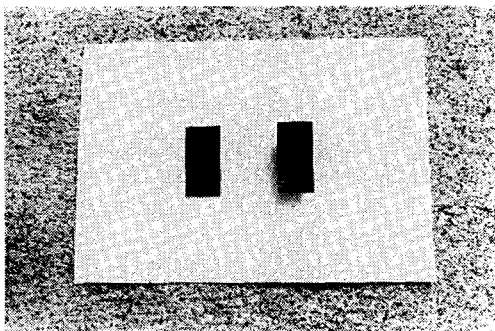
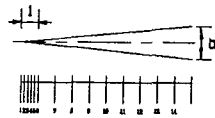


Fig. 6 Configuration of test specimens

Table 1 Working condition of surface roughness



* Working Condition of Surface Roughness (Magnetic Disk)

Specimen No. 1.

Measuring point	Ra (μm)	Rmax (μm)	Depth of scratch [H(μm)]	Width of scratch [B(μm)]	Scattering angle (θ)	Beam spot diameter (D)(mm)	Light source intensity
1	0.026	0.181	0.300	20.0	0°	7 (×50)	0.25
2	0.018	0.213	0.345	21.2			0.50
3	0.018	0.374	0.548	21.0			0.75
4	0.028	0.475	1.291	21.0			1.00
5	0.029	0.504	1.611	20.0			1.25
6	0.030	0.548	1.771	22.8			1.50
7	0.045	0.588	2.202	31.0			1.75
8	0.060	0.784	2.900	39.0		2.00	
9	0.075	0.647	3.427	47.0		2.25	
10	0.082	1.115	3.401	47.0		2.50	
11	0.080	0.980	3.972	51.0		2.75	
12	0.105	1.024	4.099*	53.0		0.25	
13	0.130	1.152	4.689	57.0		0.50	
14	0.161	1.327	5.597	70.0		0.75	

3, 0.345, 0.546, 1.291, 1.611, 1.771, 2.202, 2.9, 3.427, 3.401, 3.972, 4.099, 4.689, 5.597 μm 로 변화시켜 주었으며 이들의 결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. 이때 입사광선의 지름은 4mm, 7mm인 2가지로 하였으며 임의의 광 조도를 0.25, 0.5, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00, 2.25, 2.50, 2.75W가 되도록 하였다.

Fig. 7, 8에서 알 수 있는 바와 같이 화상 신호 처리시 결삭 깊이와 gray level관계는 직선적으로

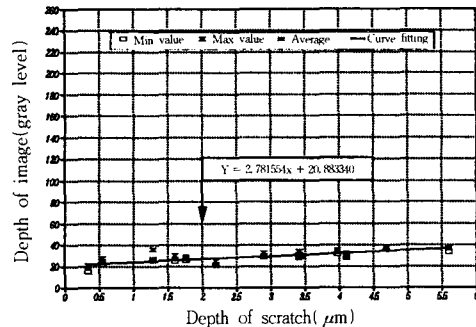


Fig. 7 Gray level vs. depth of scratch (Beam diameter : 4mm)

비례하고 있으며 최소자승법을 이용하여 계산한 결과는

$$Y = aX + b$$

이다. 그림에서 像의 깊이가 깊을수록 산란광의 크기에 따라 gray level은 비례적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다.

또한 입사 광선의 지름 크기가 4mm일 때는 7mm일때 보다 gray level값은 작아짐을 알 수 있다. 이는 입사 광선의 크고 작음 차로서 gray level의 값의 변화로 생각된다.

Fig. 9는 표면거칠기 계로 측정된 像의 형태와 그것에 대응한 신란광도패턴을 화상 신호로 표시한

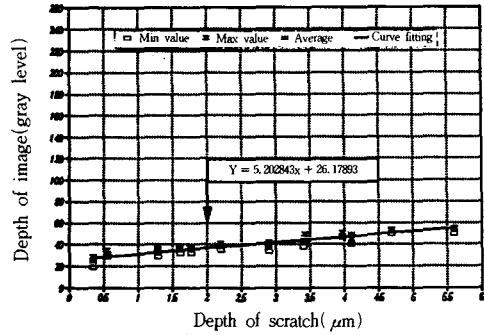
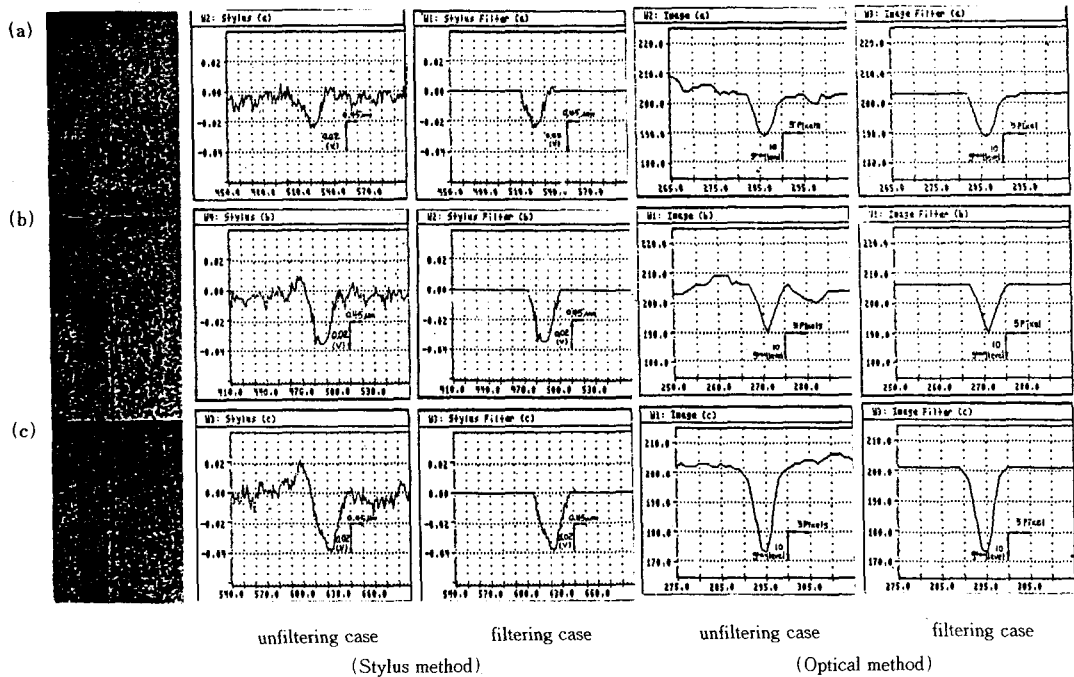


Fig. 8 Gray level vs. depth of scratch (Beam diameter : 7mm)



- (a) 0.4 μm deep, 1.0 μm width of scratch
- (b) 0.5 μm deep, 1.2 μm width of scratch
- (c) 0.6 μm deep, 1.35 μm width of scratch

Fig. 9 Surface scratch relation to the voltage and gray level

것이다. 그림에서 (a)는 像의 깊이가 0.4 μm, 폭 1.0 μm일 때 像이고 그의 단면 형태는 삼각형에 유사한 것이라고 생각된다. 이 像의 산란광강도패턴

의 사진으로부터 중앙 부근에서 밝고 그 양측에서는 어둡게 되고 또한 밝게 되는 상태가 반복되는 소위 간섭과 같은 패턴이 관찰된다.

(b)는 像의 깊이가 $0.5\mu\text{m}$, 폭 $1.2\mu\text{m}$ 일 때의 像의 크기이며, (c)는 像의 깊이가 $0.6\mu\text{m}$, 폭 $1.35\mu\text{m}$ 일 때의 像의 크기이다. 이들의 단면 형상은 (a)와 같이 삼각형과 유사하다.

사진을 통하여 볼 때 중앙부근은 유난히 어둡고 그 양쪽은 다시 어두운 모양이 되고 명암의 패턴이 반복되고 있다. 양자의 패턴의 큰 차이는 (a)의 경우 중앙부는 밝지만 (b), (c)에서는 어두워지는 간섭의 명암이 완전히 반대가 된다. 이 실험의 결과와 실험에 이용된 像의 크기는 거의 유사하게 실험의 결과와 잘 일치한다. 따라서 像의 형태를 삼각형에 근사하고 그 깊이를 산란광 강도분포로부터 추정 가능한 것을 생각할 수 있다. 그러나 실험 결과와 일부분은 다른 점도 볼 수 있다. 이는 像의 중심과 像의 끝부분에 미세한 마찰, 소성, 유동형, 절삭 부분으로 구분되므로 계속시 어느 부분이나에 따라 다소의 오차가 있지만 像의 형태를 삼각형으로 근사할 때 像의 깊이 측정이 가능함을 알 수 있다. 그러므로 본 방법은 in-process 측정이 가능하리라 생각된다.

3.2 시편의 가공 폭과 화상 신호

시편의 가공폭 변화에 따르는 화상 신호의 계측 변화를 알아보기 위하여 가공 폭을 20.0, 21.0, 21.2, 22.8, 31.0, 39.0, 47.0, 51.0, 53.0, 57.0, 70.0 μm 로 변환시켜 주었으며 이들의 결과를 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 이때 입사 광선의 지름은 4mm, 7mm인 2가지로 하였으며 입의의 광 조도를 0.25, 0.5, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00, 2.25, 2.50, 2.75W가 되도록 하였다. Fig. 10, 11에서 알 수 있듯이 가공 폭이 크면 클수록 화상 신호에서의 pixel수는 증가됨을 알 수 있다. 그림에서 가공면의 폭이 20 μm ~60 μm 사이에서 마찰, 소성, 유동부분이 나타남으로 이 부분을 계측할 때 정상적인 폭보다 미미한 크기의 오차가 발생됨을 알 수 있다.

이는 계측하고자 하는 부분에 나타난 가공면 상태의 영향으로 알 수 있다. 가공면의 폭이 60 μm ~70 μm 사이에서 화상 처리시 입사광선 지름이 4mm와 7mm는 일치됨을 알 수 있다. 이는 정상적인 가공이 이루어진 부분이기 때문에 빔의 크기에 관계 없이 일치됨을 알 수 있다. 그러므로 가공면의 폭

을 화상 신호처리로 실제측하고자 함에는 입사 광선의 지름은 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다.

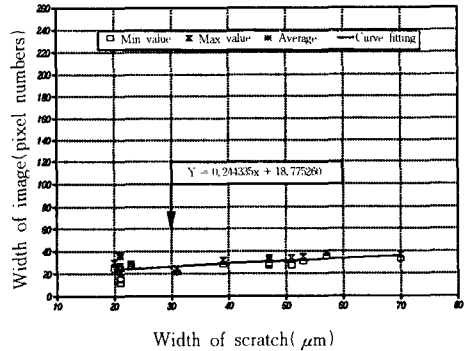


Fig. 10 Pixel numbers vs. width of scratch (Beam diameter : 4mm)

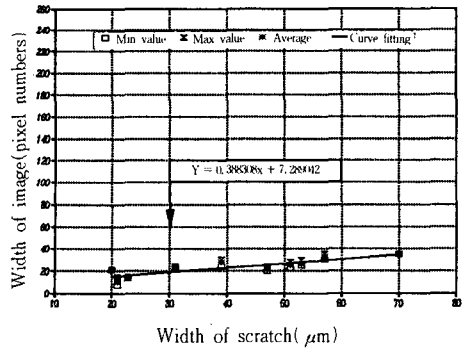


Fig. 11 Pixel numbers vs. width of scratch (Beam diameter : 7mm)

3.3 조명의 밝기와 화상 신호

시편의 가공 깊이와 폭의 변화에 따르는 화상 신호 계측시 조명의 밝기가 화상 신호 측정에 미치는 영향을 알아보기 위하여 조명의 밝기를 0.25, 0.5, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00, 2.25, 2.75W로 변환시켜 주었으며 이들의 결과를 Fig. 12와 Fig. 13에 나타내었다.

이때 입사 광선의 지름은 4mm, 7mm인 두가지를 사용하였으며, 가공 깊이는 0.345, 0.546, 1.291, 1.611, 1.771, 2.202, 2.900, 3.427, 3.401, 3.972,

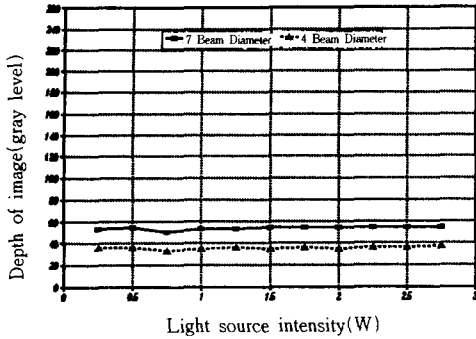


Fig. 12 Gray level vs. light source intensity

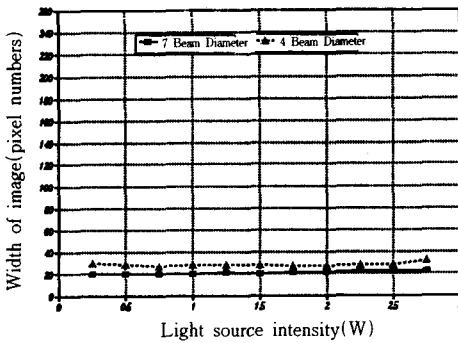
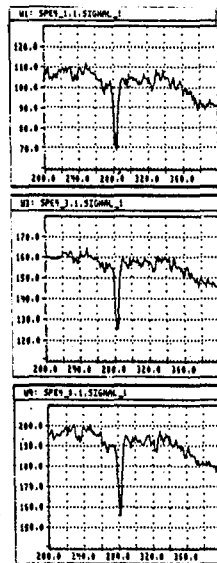


Fig. 13 Fixel numbers vs. light source intensity

(a) Light source 0.25W

(b) Light source 0.75W

(c) Light source 2.00W



Depth of scratch $H = 3.2 \mu\text{m}$
 Width of scratch $H = 1.04 \mu\text{m}$

Fig. 14 Scattering intensity distribution of fine scratch in experimentals

4.099, 4.689, 5.597 μm 로 가공 폭은 20.0, 21.0, 21.2, 22.8, 31.0, 39.0, 47.0, 51.0, 57.0, 70.0 μm 가 되도록 하였다. 조명의 밝기에 따라 실크기의 값은 변화가 없음을 알 수 있었다. Fig. 14에서 알 수 있듯이, 결함의 깊이를 나타내는 화상 신호의 gray level신호는 결함 부위와 평면 부위의 gray level의 차이는 조명의 밝기에 차이가 없음을 알 수 있다. 조명의 밝기가 0.25W~2.75W사이에서는 화상 신호 처리에 의한 실제측은 차질이 없을 것이다.

4. 결 론

본 연구는 자기디스크 판의 미소 결함을 이용하여 화상 신호로 측정된 결과 다음과 같다.

- ① 미소 像의 깊이는 피검사체에서 반사되는 휘도 값으로 측정된다.
- ② 폭 측정은 화상 신호의 픽셀 수로 측정이 가능하다.
- ③ 조명의 강도에 따른 실크기의 값은 변화가 거의 없다.

이상의 결과를 토대로 in-process측정에 적용되리라 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) M. Shiraishi, A consideration of surface roughness measurement by optical method. ASME, Vol. 109, pp. 100-105, May. 1987.
- 2) 三好隆志, 姜永準, 散亂理論を用いた微小傷の測定評價に関する研究(第1報), 精密工學會誌, 54 勸, 6號, 6. 1988.
- 3) 三好隆志, 姜永準, 散亂理論を用いた微小傷の測定評價に関する研究(第1報), 精密工學會誌, 55 勸, 7號, 7. 1988.
- 4) 高谷裕浩, 三好隆志, Fraunhofer回折による超精密加工面粗さの測定評價に関する研究, 精密工學會誌, 56卷, 2號, 2. 1990.
- 5) Gray S. White, J. F. Marchiano, scattering from a V-shaped groove in the resonance domain, Applied Opt., Vol. 22, No. 15, Aug. 1982.

- 6) Osuk Kwon, J. C. Wyant, C. R. Hayslett, Rough surface interferometry at $10.6\mu\text{m}$, Applied Opt. Vol. 19, No. 11. Jun 1980.
- 7) G.S White, A. Feldman, Diffraction from a shallow rectangular, Applied Opt., Vol 20, No. 14, Jul. 1981.
- 8) D. Leger, E. Mathieu, J. C. Perrin, Optical surface roughness determination using speckle correlation technique, Applied Opt. Vol. 14, No. 4, Apr. 1975.
- 9) H. Sato. M. O-Hori, Surface roughness measurement using scanning electron microscope with digital processing, ASME, Vol. 109, No. 106, Oct. 1986.
- 10) J. A. Aas, Reconstruction of surface profile from their diffraction spectra, Applied Opt., Vol. 11, No. 7 July. 1972.
- 11) D. G. Jansson, J. M. Rourke, High-speed surface roughness measurement, ASME Vol. 106, pp. 34-39. Feb. 1984.
- 12) David Y. Lou, A. Martinez, D. Stanton, Surface profile measurement with a dual-beam optical system, Applied Opt., Vol. 23, No. 5, Mar. 1984.
- 13) 임동열, 김승우, 표면거칠기 광산란 패턴의 컴퓨터 수치 분석(I), 대한기계학회논문집, vol. 16, No 2, Dec. 1991.
- 14) 김희남, 전영식, 구만서, Laser Beam을 이용한 금속표면의 거칠기 측정에 관한 연구, 한국산업안전학회지, Vol. 5, No. 2, Oct. 1990.
- 15) 김희남, 허웅, 구만서, 광학식 표면거칠기계의 디지털 신호처리, 한국산업안전학회지, Vol. 6, No. 2, Jun. 1991.
- 16) 김희남, 남무호, 황재연, 박희재, 선삭가공시 Laser Beam을 이용한 금속의 표면 거칠기 측정에 관한 연구, 한국산업안전학회지, Vol. 6, No. 4, Dec. 1991.
- 17) 김희남, 김양술, 박희재, 황재연, 반도체레이저빔을 이용한 금속표면의 거칠기 측정에 관한 연구, 한국산업안전학회지, Vol. 7, No. 4, Dec. 1992.
- 18) Bruce Batchelor, Intelligent image processing in proiog, Springer Verlag, pp. 33~34. 1991.