

레이저 반사광을 이용한 표면 거칠기 측정 시스템에서 스크린의 영향에 관한 연구

서영호[†] · 김화영* · 안중환* · 최이준**

Study on the influence of a screen in the surface roughness measure system based on parametric optical analysis

Young-Ho Seo, Hwa-Young Kim, Jung-Hwan Ahn and Lee-Jon Choi

Key Words : Surface Roughness(표면 거칠기), Optical System(광학계), Screen (스크린)

Abstract

The scattered light pattern from a machined surface generally contains much information concerning the surface roughness. The light pattern can be acquired by optical system and analyzed by statistical method. This kind of surface roughness measurement system can be easily adopted on the machine measurement. But the fully assembled system is too complex to implement on small systems using micro-controller. This study proposes the idea of reducing the number of optical components by removing screen and examines image processing of a light pattern to minimize the negative result of incomplete optical system. And the Gaussian blur filtering is concluded to be the best method of proposed measurement system. Furthermore light intensity variation of image pattern can be treated as a signal, therefore FIR filtering gives the similar result of Gaussian blur effect.

1. 서 론

파라미터 방식의 광학식 비접촉 측정법은 측정이 편리하고 측정 환경의 영향을 크게 받지 않으며 다양한 재료의 측정이 가능하여 현장 적용성이 매우 좋다. 그리고 측정 속도가 비교적 빠르고 별다른 이송 기구를 필요로 하지 않으므로 실시간 및 인프로세스 계측에 큰 이점을 지닌다⁽¹⁾⁽²⁾.

선행 연구를 통해 이미 PC 기반에서 광학식 비접촉 측정기를 설계 개발하였다⁽³⁾. 그러나 PC 기반에서 광학 요소에 여유를 두고 충분히 조립하였기 때문에 상대적으로 시스템이 복잡하고 커지게 되었다. 그러므로 이러한 시스템을 산업 현장에서 활용하고자 할 때 소형화와 상품화에 어려움이 있

을 것으로 예상된다. 따라서 임베디드 시스템 상에서 광학 요소를 적절히 제거하여야 한다. 그리고 스크린의 유무에 따른 영향을 선행 연구의 결과와 충분히 비교 검토해 볼 필요가 있다.

본 논문에서는 광학 요소 중 일부를 제거하거나 대체하는 시도를 행하였으며 그로 인한 신호처리에 있어 부적절한 영향을 줄이기 위한 방법을 제시하였다.

2. 측정 원리

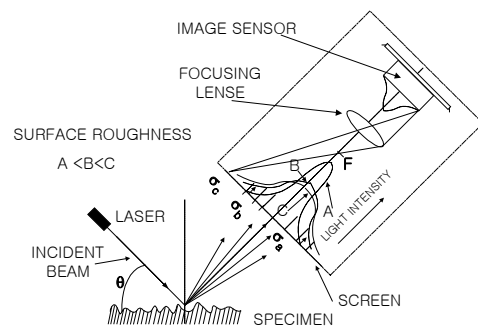


Fig. 1 Principle of surface roughness measurement

[†] 부산대원 지능기계공학과

E-mail : essay76@hitel.net

TEL : (051)510-2864 FAX : (051)514-0685

* 부산대학교 기계공학과

** (주) 새미

그림 1은 광학식 비접촉 표면 거칠기 측정기의 원리를 보여주고 있다. 그 방법은 세 가지 단계로 나뉘어 진다. 첫째, 측정하고자 하는 표면에서 반사되어 온 레이저 광을 스크린 상에 투영시킨다. 스크린에 맺히는 영상 패턴은 패턴의 중심에서 사방으로 평균치 0의 가우시안 분포와 유사한 광 강도 분포를 그리는 특징을 갖고 있다. 이 광 강도 분포를 관찰해 보면 측정하고자 하는 시편 표면이 거칠면 거칠수록 확산 정도가 A에서 C로 바뀌어진다. 그리고 이러한 광 분포의 확산 정도는 표면 거칠기에 대해 거의 선형적인 성격을 가지고 있는 것으로 확인되었다. 둘째, 포커싱 렌즈를 통해 CCD 이미지 센서를 이용하여 그 영상을 획득한다. 마지막으로 영상 패턴의 확산 정도를 통계적인 기법으로 분석하여 표면 거칠기를 추정한다. 이것은 광 분포의 확산 정도와 측정 시편의 표면 거칠기가 높은 상관 관계를 갖기 때문에 가능하다. 본 연구에서는 광 분포의 표준 편차를 매개 변수로 선정하여 측정 시편의 표면 거칠기를 추정하였다.

3. 광학계의 구성

3.1 스크린이 있는 경우

선행 연구에서 구현한 광학계의 개념도는 그림 2(a)와 같다. PC 기반에서 스크린에 반사광의 패턴을 투영한 뒤 이를 광학 렌즈를 이용하여 초점을 맞춘 후 CCD 이미지 센서에서 획득하는 방법이다.

종래의 실험 장치에서 설계한 방식은 몇 가지 장점을 가지고 있다. 첫째, 스크린에 상이 맺히면서 영상 패턴에 첨부된 노이즈 성분이 쉽게 제거될 수 있으며 둘째, 광학 렌즈를 이용하기 때문에 정확하게 초점을 맞추어 영상을 획득할 수 있는 장점이 있다. 셋째, 획득한 이미지를 고속의 프로세서 사용하는 PC 상에서 처리하기 때문에 복잡한 영상 처리 알고리즘을 다양하게 적용해 볼 수 있는 이점도 갖추고 있다. 그러나 실험 장치가 불필요하게 커지는 단점을 갖고 있으며 이것은 소형화, 경량화에 있어 어려움으로 작용할 수 있다. 그리고 스크린에서 과도한 필터링 현상이 일어날 경우 이로 인해 중요한 영상 정보도 함께 제거될 가능성을 가지고 있다.

3.2 스크린이 없는 경우

임베디드 시스템 기반으로 옮겨서 그림 2(a)와 같이 광학 요소를 적절히 재구성하였다. 이전의 실험 장치에서 많은 크기를 차지하였던 스크린과 광학 렌즈를 제거하였으며 여러 개의 모듈로 구성

되어 있던 레이저 다이오드와 프레임 그래버를 하나의 모듈로 대체하였다. 스크린과 렌즈를 제거하였기 때문에 종래에 스크린이 놓였던 위치에 CCD 이미지 센서가 바로 오게 된다. 따라서 광학계의 구조가 단순화되어 크기가 작아지는 대신 표면에 반사된 레이저 광이 아무런 필터링 없이 직접 획득되게 된다. 그러므로 노이즈 성분을 제거하면서 동시에 반사광 속에 있는 표면의 정보도 잘 살릴 수 있는 방법을 찾아낼 필요가 있다.

표 1에서 종래의 실험 장치와 스크린을 제거하여 새롭게 제안하는 실험 장치를 서로 비교하였으며 제안한 실험 장치가 소형화, 경량화 설계에 있어 장점을 가지고 있음을 알 수 있다.

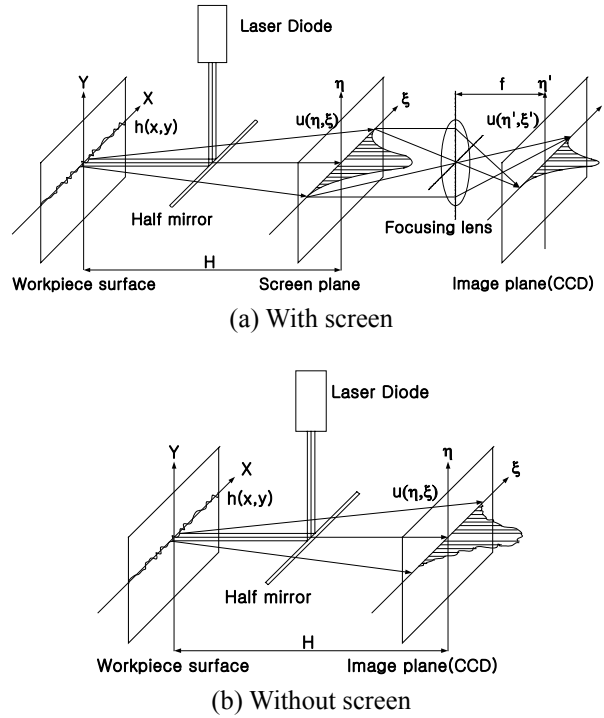


Fig. 2 Design of optical system

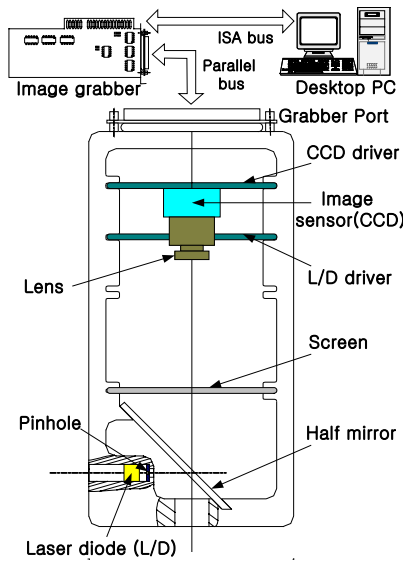
Table 1 Comparison of proposed system

	Developed system	Proposed system
Image Acquisition	Indirect	Direct
Projection of Pattern	Projection on a screen	Direct projection on a CCD sensor
System Components	L/D Driver, CCD Driver, Image Grabber, CPU	(L/D Driver + CCD Driver + Image Grabber), MCU
Portability	Fixed on a desk	Handheld

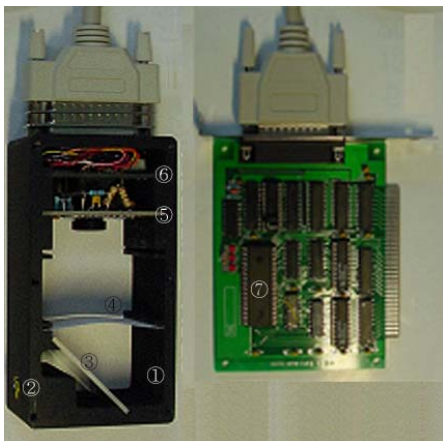
4. 실험 방법 및 결과

4.1 실험 방법

그림 3 은 스크린이 있는 경우의 실험 장치이며 (a)는 개략도이고 (b)는 실제로 구현한 것이다. ① 은 케이스, ②는 레이저 다이오드, 그리고 ③은 하프 미러(빔 스플리터)이다. 그리고 ④가 스크린, ⑤가 CCD 드라이버, ⑥이 L/D 드라이버이다. ⑦ 은 이미지 그래버이며 PC 내의 ISA 슬롯에 장착 된다.



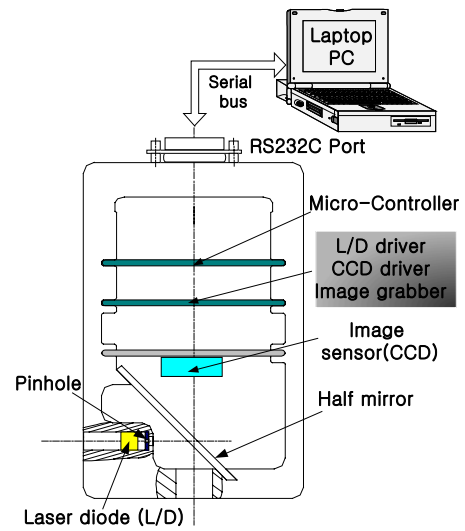
(a) Schematic diagram of measurement device



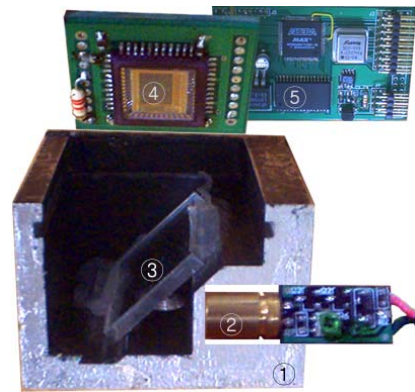
(b) Implementation of measurement system

Fig. 3 Experimental system with screen

그림 4 는 스크린이 없는 경우의 실험 장치이다. (a)는 개략도이고 (b)는 이를 실제로 구현한 것이다. 하나의 작은 인쇄 회로 기판 상에서 대부분의 모듈들이 실장되었다. ①은 케이스, ②는 레이저 다이오드, 그리고 ③은 하프 미러(빔 스플리터) ④가 CCD 센서이다. 그리고 L/D 드라이버와 CCD 드라이버 그리고 이미지 그래버가 ⑤의 보드에 동시에 실장되었다.



(a) Schematic diagram of measurement device



(b) Implementation of measurement system

Fig. 4 Experimental system without screen



(a) Ra 0.2 μm (b) Ra 0.4 μm (c) Ra 0.8 μm

Fig. 5 Microscopic surfaces of the specimen

실험을 위한 시편은 Ra 0.2, 0.4, 0.8 μm 의 세 가지를 준비하였으며 그림 5 에서 각 시편의 광학 현미경 사진을 보였다. 각각의 시편에 대해 스크린이 있는 경우와 없는 경우에 나누어 실험을 행하였으며 그 특징을 분석하였다.

4.2 실험 결과

그림 6 은 간유리, 백색지, 흑색지를 스크린 재질로 사용하여, Ra 가 0.8 μm 인 시편을 대상으로 측정 실험을 행하였을 때 스크린에 맺힌 영상 패턴들이다. 스크린의 재질에 따라 레이저 광의 반사 패턴이 영향을 받는 것을 알 수 있으며 동일한 면을 대상으로 하여 적용하더라도 스크린 재질의 반사 특성, 방향성, 균일성에 따라 서로 다른 분포 특성을 가질 수 있음을 보여 준다. 광학 측정에 많이 사용되고 있는 간유리는 반사율이 크고 굴절율이 크기 때문에 산란 패턴이 가장 작게 형성되며 백색지와 흑색지는 간유리와 같이 굴절율의 영향을 받지 않지만, 반사율의 차이가 있는 것으로 보인다. 흑색지를 스크린 재질로 사용하였을 때 가장 큰 패턴을 형성하며 흑색지를 스크린으로서 채택하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

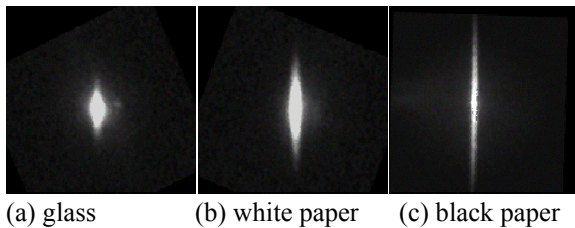


Fig. 6 Different image patterns due to screen material

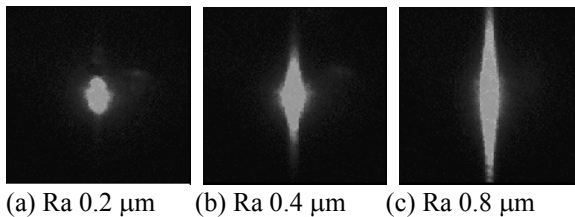


Fig. 7 Reflected image patterns of conventional system

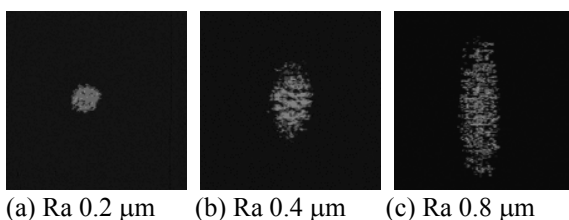
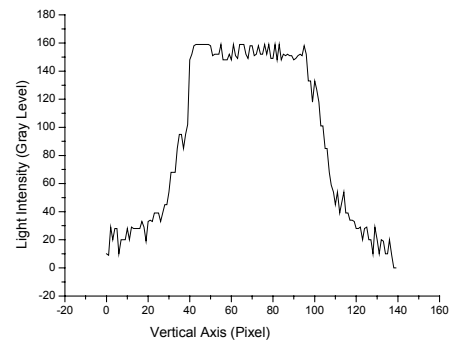


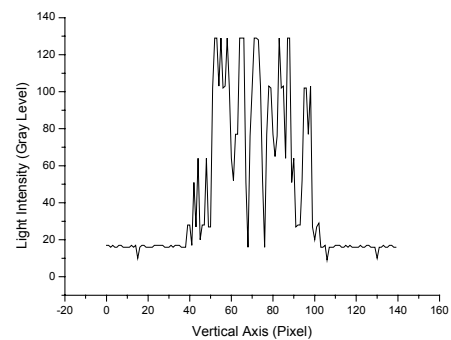
Fig. 8 Reflected image patterns of proposed system

그림 7 은 각각의 시편에 대해 스크린이 있는 실험 장치에서 획득한 반사광의 영상 패턴들이며 그림 8 은 스크린이 없는 실험 장치에서 얻은 영상 패턴을 보인다. 두 가지 실험 장치에서 얻은 영상 패턴은 서로 유사하지만 분명한 차이점을 보인다. 그것은 스크린이 있는 실험 장치에서 획득한 영상의 패턴은 중앙부에서부터 외부로 향해 점진적인 광량의 분포를 보이지만 스크린이 없는 실험 장치에서는 패턴의 내부에 빛살 무늬가 생겨나며 이로 인해 광량의 분포가 선형적이지 않음을 알 수 있다. 이것은 스크린이 제거되었기 때문에 레이저 광이 측정 시편의 골과 산 부분에서 과장되게 반사되어 그 형상 정보를 포함하지만 스크린에 의해 필터링이 되지 않은 채 슬릿 무늬를 나타낸 것으로 짐작할 수 있다.

그림 9 은 0.4 μm 시편에서 반사된 영상 패턴을 대상으로 수직 축의 광 분포를 서로 비교한 것이다. 스크린이 있는 실험 장치로부터 획득한 영상 패턴의 광 분포는 자연스러운 가우스 분포를 가지는 것에 비해 없는 경우의 실험 장치에서 얻은 광 분포는 수 차례 광량의 레벨이 0 으로 떨어지면서 부드럽게 이어지지 않음을 알 수 있다.



(a) Conventional system



(b) Proposed system

Fig. 9 Light intensity distributions along vertical axis of Ra 0.4 μm specimen

위 실험 결과로부터 스크린이 있다면 스크린이 필터링 작용을 수행하면서 영상 정보에 첨부된 노이즈가 쉽게 제거되지만 표면의 상태에 대한 미세한 정보도 동시에 사라질 수 있음을 알 수 있다. 반면에 스크린이 없는 경우에는 표면의 상태에 대한 정보가 직접 나타나지만 다량의 노이즈가 포함될 수 있다.

따라서 제거된 광학 요소를 보완하여 노이즈를 저감하면서 동시에 유용한 표면의 형상 정보를 많이 포함시킬 수 있는 방법을 찾아낼 필요가 있다. 두 가지 방법을 제안하고자 하는데 하나는 획득한 영상 자체에 이미지 필터링을 수행 하는 것이고 다른 하나는 영상에서 광량 분포 신호에 한해서만 필터링 신호 처리를 행하는 것이다.

가우시안 이미지 블러 필터를 그림 8 의 영상에 적용한 결과는 그림 10 와 같다. 심한 슬릿 무늬가 많이 약해지면서 동시에 슬릿의 분포 패턴이 사라지지 않은 것을 알 수 있다. 그림 11 은 영상 필터링을 수행하였을 경우 광 분포를 보인 것이다. 그림 12 는 스크린이 있는 경우와 비교한 것으로서 B 영역에서 노이즈 저감 효과를 가지면서 A 영역에서 스크린이 있는 경우에 비해 상대적으로 표면의 상태에 대한 정보를 많이 살린 것을 알 수 있다.

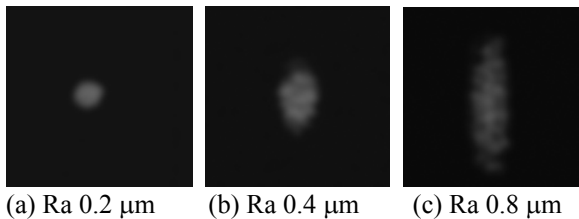


Fig. 10 Blurred image of reduced system

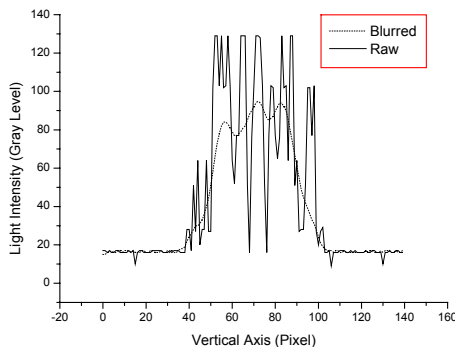


Fig. 11 Light intensity distribution of blurred image (Ra 0.4 μm specimen)

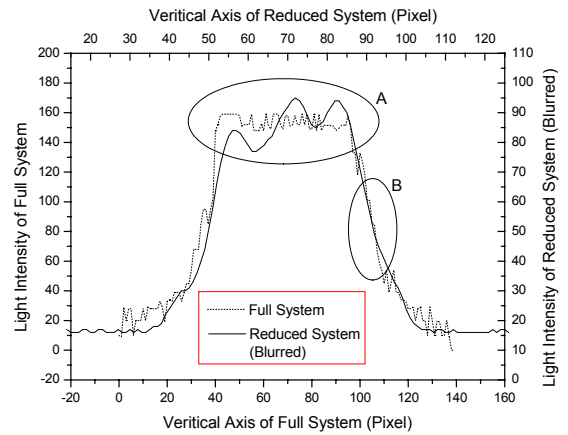


Fig. 12 Comparison of raw and blurred image (Ra 0.4 μm specimen)

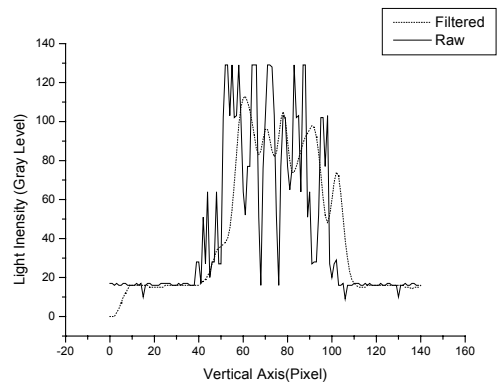


Fig. 13 Filtered signal of light intensity variation (Ra 0.4 μm specimen)

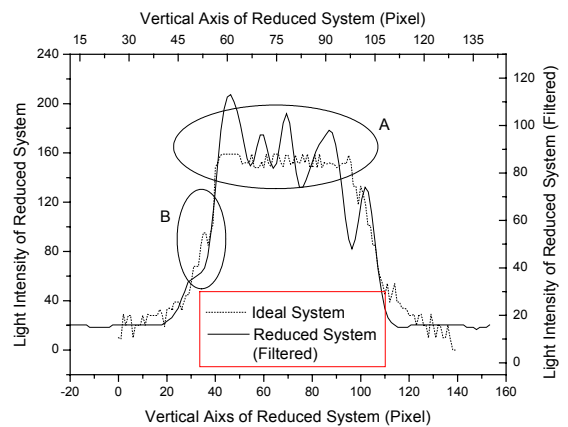


Fig. 14 Comparison of raw and filtered signal (Ra 0.4 μm specimen)

영상의 일부에서 광량 분포만을 추출하여 디지털 필터링을 행한 것을 그림 13 에 보였다. Ra $0.4\mu\text{m}$ 의 시편에 대해 획득한 영상의 수직 축 광 분포에 대해 FIR 저역 통과 필터링을 수행한 결과이며 영상의 작은 정보 만을 선택하여 수정하므로 영상의 모든 정보를 활용하는 것은 아니며 일부만 변형을 가하게 된다. 그림 14 에서 얻은 결과가 그림 12 에서 이차원 영상 데이터에 대해 영상 처리 과정을 통해 얻은 결과와 매우 유사함을 알 수 있다. 더구나 A 영역에서 그림 12 의 A 영역보다 훨씬 많은 리플 성분을 확인할 수 있으며 표면 상태에 대한 정보가 더 자세함을 알 수 있다.

5. 결론

선행 연구 단계에서 제안하였던 PC 기반의 비접촉 표면 거칠기 측정 시스템에서 스크린을 제거하였으며 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기존에 제안하였던 측정 시스템에서 포커싱 렌즈와 투영 스크린을 제거하였다. 따라서 광학계를 훨씬 단순화 되었으며 표면의 정보도 많이 포함할 수 있다.
- (2) 스크린이 제거되는 경우 표면의 정보를 직접 획득하기 때문에 노이즈 성분이 많이 나타나게 된다.
- (3) 스크린이 제거되어 나타난 노이즈의 영향은 가우시안 블러 영상 필터링을 이용하여 저감될 수 있음을 확인하였다.
- (4) 영상 중 관심 정보만을 추출해 FIR 저역 통과 필터링을 행하는 방법도 (3)과 같은 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- (1) C.S. Lee, S.W. Kim, D.Y. Yim, An in-process measurement technique using laser for non-contact monitoring of surface roughness and form accuracy of ground surfaces, Ann. CIRP 36 (1) (1987) 425-428.
- (2) M. Shiraishi, In-process measurement of surface roughness in turning by laser beams, Trans. ASME J. Eng. Ind. 117 (1995) 439-447.
- (3) H.Y.Kim, Y.F. Shen, J.H. Ahn, Development of a surface roughness measurement system using reflected laser beam, Trans. ASME J. Eng. Ind. 130 (2002) 662-667.
- (4) R. Jain, R. Kasturi, Machine Vision, McGraw-Hill, New York, 1995.