

원자간력 현미경을 이용한 초소형 마이크로 부품 표면 형상 측정 시스템 개발

홍성욱*, 고명준+, 신영현+, 이득우**

(논문접수일 2005. 8. 24, 심사완료일 2005. 10. 6)

Development of a Measurement System for the Surface Shape of Micro-parts by Using Atomic Force Microscope

Seong-Wook Hong*, Myung-Jun Ko+, Young-Hyun Shin+, Deug-Woo Lee**

Abstract

This paper proposes a measurement method for the surface shape of micro-parts by using an atomic force microscope(AFM). To this end, two techniques are presented: First, the measurement range is expanded by using an image matching method based on correlation coefficients. To account for the inaccuracy of the coarse stage implemented in AFM, the image matching technique is applied to two neighboring images intentionally overlapped with each other. Second, a method to measure the shape of relatively large specimen is proposed that utilizes the inherent trigger mechanism due to the atomic force. The proposed methods are proved effective through a series of experiments.

Key Words : Atomic force microscope(원자간력 현미경), Image matching(영상정합), Correlation coefficient(상관계수), Coordinate measuring machine(3차원 측정기), Contact/Noncontact measurement(접촉/비접촉 측정), Force gradient(힘구배)

1. 서론

부품의 초소형화에 따라 그 가공에 있어서 필요한 만큼 최소한의 가공능력을 가진 이른바 초소형 미세제조 시스템이 요구되고 있다. 초소형 미세제조 시스템은 미세가공 기술, 초소형/고정도 이송 기술, 초소형 부품의 조립, 공정간

부품 계측 시스템이 필요하며 최종적으로 가공된 부품의 품질을 검사하는 시스템을 필요로 한다. 본 논문에서는 부품의 품질검사 시스템으로 최근 나노 관련 기술개발에 따라 각광 받고 있는 원자간력 현미경(Atomic Force Microscope)을 이용한 소형 부품 표면측정 시스템에 대하여 연구하였다.

원자간력 현미경은 기존의 현미경으로는 관측이 불가능

* 금오공과대학교 기계공학부 (swhong@kumoh.ac.kr)

주소: 730-701 경북 구미시 양호동 1번지

+ 금오공과대학교

++ 부산대학교

했던 시료의 표면을 원자단위까지 측정 가능하게 하는 기술이다. 원자간력 현미경의 원리는 시료의 표면을 캔틸레버(Cantilever)라 불리는 작은 막대가 주사를 하게 되고 이때 캔틸레버 끝에 붙어있는 탐침이 시료 표면에 접근하여 탐침과 시료 표면의 원자 사이에 서로의 간격에 따라 인력과 척력이 작용하게 되며 이 힘에 의해 캔틸레버가 아래 또는 위로 휘어지게 되는 특성을 이용하여 표면형상을 측정하는 것이다^(1,2). 원자간력 현미경의 발달로 더욱 정밀한 시료 표면형상의 측정이 가능하게 되었으나 별도의 구동장치를 포함하지 않는 상태의 일반적인 측정범위 한계는 대체로 $100 \times 100 \times 10 \mu\text{m}^3$ 이하로서 측정 면적이 대단히 제한적이다. 따라서 원자간력 현미경을 이용하여 소형 부품과 같은 상대적으로 큰 시료의 표면을 전반적으로 관찰하기는 어려운 실정이다.

본 논문에서는 원자간력 현미경을 이용하여 소형 부품의 표면을 측정하기 위해 두 가지 기술을 개발하고자 하였다. 즉, 원자간력 현미경에 의해 연속적으로 측정된 여러 개의 중첩된 표면형상 영상에 영상처리 기법을 적용하여 정합시키는 방법과, 이송계가 포함된 원자간력 현미경의 접촉 및 비접촉 방식 측정 원리를 이용하여 임의의 형상을 갖는 대면적 부품의 표면을 3차원측정기와 유사한 방식으로 측정할 수 있는 방법을 제안하였으며 실험적으로 유용성을 확인하였다.

2. 영상정합에 의한 측정 범위 확대

2.1 기본 개념

원자간력 현미경(Fig. 1 참조)에 의해 얻어진 표면형상의 높이 정보는 측정된 영역의 수직·수평 좌표에 대한 높이 값으로 행렬을 구성할 수 있고 또한 높이 정보에 단계적으로 밝기 값을 대응시켜 수치영상(Digital image)과 같이 표현할 수도 있는데 이렇게 표현된 영상은 표면의 높이 정보를 나타내는 행렬과 같은 의미이다. 이러한 방식으로 표현된 영상은 시료 표면에 대한 높이 정보를 그대로 포함하고 있으므로 밝기(Intensity)영상이나 RGB 영상의 변환에 의한 오차 및 왜곡에 대한 문제가 없고 또한 정밀한 데이터를 유지할 수 있다.

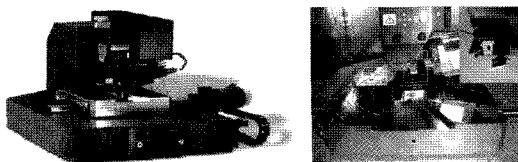


Fig. 1 Atomic force microscope(AFM)

본 논문에서는 원자간력 현미경에 의해 측정된 영상에 대하여 영상들 사이에 존재하는 상관성에 의해 정합좌표를 추출하고 이 좌표를 바탕으로 부분 표면형상들을 정합하여 측정범위를 확대하는 방법을 제안하였다. 영상정합의 기본 원리는 Fig. 2에서와 같이 시료의 표면형상을 측정할 때 원자간력 현미경의 측정범위 한계인 $M \times N$ 크기의 두 영상을 서로 정확히 이웃하도록 정합하는 것이다. 서로 정확히 이웃이 되는 영역을 획득한다면 영상들 간의 정합은 특별한 알고리즘의 적용 없이 간단하게 이루어질 수 있지만 원자간력 현미경의 이송장치 분해능 문제와 측정환경 등의 여러 가지 외부요인으로 인하여 측정 시 이웃 표면을 연결하는 동일한 측정점을 찾고 이 측정점을 기준으로 하여 다른 영역을 측정하기에는 많은 어려움이 있다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 Fig. 3과 같이 현미경의 최대 측정범위인 $X \times Y$ 크기의 영상 A, B, C, D를 획득하는데 있어서 영상들 상호간의 일정한 영역을 중복되게 측정을 하고 중복 측정영역에 대한 영상은

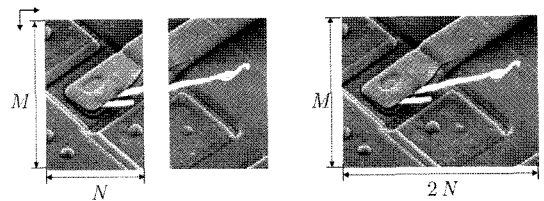


Fig. 2 Illustration of image matching

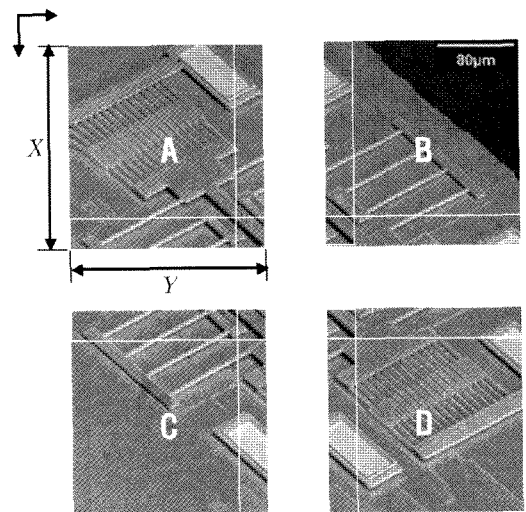


Fig. 3 An illustrative set of Four overlapped images of a sample surface

상관계수(Correlation coefficient)에 의한 정합 알고리즘을 적용하면 영상 상호간 공액점(Conjugate point) 즉, 정합좌표를 추출할 수 있다. 이러한 방법으로 추출된 정합좌표를 이용하여 영상들을 정합하면 측정범위 한계를 극복한 대면적 표면형상 영상을 얻을 수 있다.

2.2 상관계수에 의한 영상정합 방법

영상정합은 물리적으로 유사한 영상에 존재하는 영역들을 기하학적으로 일치시키는 처리로서 기본적인 절차는 영상의 일부를 다른 부분과 비교함으로써 수행되는데 대상 영상의 회전, 수평과 수직위치, 크기를 변환하면서 두 영상의 유사성이 최대가 되는 인자를 추출하는 것이 가장 핵심적인 내용이다⁽³⁻⁹⁾.

영상정합 기본 알고리즘 중에서 상관성에 의한 정합 방법은 한 영상에 기준영역(Target area)과 정합 대상 영상에 탐색영역(Search area)을 설정하고 기준 영역에서의 수치 값과 통계학적 분포와 탐색영역에서의 수치 값의 통계학적 분포의 상관성을 고려하여 기준영역 및 탐색영역의 중앙점을 공액점으로 결정하는 방법이다. 예를 들어 좌측 영상의 대상점을 중심으로 하는 일정한 크기의 기준영역을 설정하고 우측 영상에서 공액점이 존재할 가능성이 있는 범위를 탐색영역으로 설정하여 영상정합을 실시한다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 $M_1 \times N_1$ 크기인 좌측영상의 기준영역을 $f(x, y)$ 로 설정하고 이에 대응하는 $M_2 \times N_2$ 크기인 우측 영상을 $w(x, y)$ 로 설정하여 좌측 영상의 기준영역을 우측 영상의 탐색영역 내에서 한 화소씩 이동하면서 각각의 위치에 대한 상관계수($\rho(x, y)$)를 결정하게 되는데, 상관계수식은 다음과 같다.

$$\rho(x, y) = \frac{\sum \sum \{f(x, y) - \bar{f}\} \cdot \{w(x, y) - \bar{w}\}}{\sqrt{[\sum \sum \{f(x, y) - \bar{f}\}^2] \cdot [\sum \sum \{w(x, y) - \bar{w}\}^2]}} \quad (1)$$

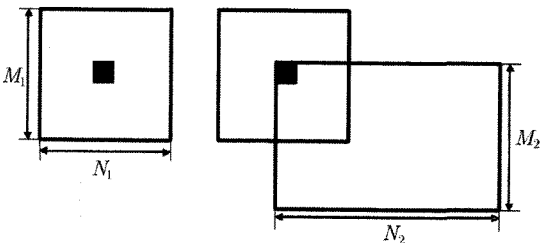


Fig. 4 Image matching based on target and search areas

여기서,

- \bar{f} : 기준영역(배열) 수치 값의 평균,
- \bar{w} : 탐색영역(배열) 수치 값의 평균,
- $f = f(x, y)$: 기준영역에서 임의 화소의 수치 값,
- $w = w(x, y)$: 탐색영역에서 임의 화소의 수치 값

이며 상관계수는 다음과 같은 조건을 만족한다.

$$-1 \leq \rho(x, y) \leq 1 \quad (2)$$

식 (1)에 의해 탐색영역 내의 모든 화소의 상관계수를 계산하여 가장 높은 상관계수를 갖는 점을 정합점으로 결정하게 된다.

2.3 Z축 편차 제거 방법

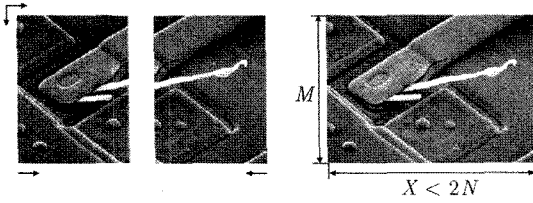
원자간력 현미경을 이용하여 측정된 표면형상의 높이 정보는 시료 표면의 표면형상에 따라 설정된 기준치에 의해 높고 낮음이 양과 음의 값으로 표현되는데 원자간력 현미경의 특성상 동일한 영역에 대한 표면형상도 서로 다른 기준치의 값이 설정된다. 따라서 동일한 영역을 측정된 표면형상에 대해서는 이러한 기준치를 모두에 부합하는 값으로 설정하고 높이 정보를 적합하게 조정하는 것이 필요하다.

본 논문의 경우 측정 영상에 존재하는 중복 측정영역에 대하여 정합을 실시하게 되므로 영상마다 기준치가 다르게 설정될 경우 정합이 되는 경계부분에서 영상간의 상하 편차에 의한 부조화가 나타나게 된다. 따라서 다르게 설정된 기준치의 조정이 요구되는데 본 논문에서는 기준 영상을 선정하고 기준 영상과 기준 영상에 정합되는 영상에 존재하는 동일한 영역인 중복 측정영역에 대하여 평균값의 차이를 계산하고 이 값을 정합되는 영상에서 차감함으로써 기준치 차이에 의한 경계부분에서의 편차(Offset) 문제를 해결하는 방식을 채택하였다.

3. 원자간력 현미경 영상에 적용

3.1 적용 방법

Fig. 5와 같이 원자간력 현미경의 최대 측정범위인 $M \times N$ 크기의 영상 A를 측정하고 이웃하는 영역 B를 측정할 때 영상 A의 측면에 어느 정도의 중복 측정영역을 설정하여 영상을 획득하면 영상 A와 B에는 서로 동일한 영역의 영상이 일부 존재하게 된다. 중복 측정영역의 영상은 동일한 정보를 포함하고 있으므로 매우 높은 상관계수 값을 갖게 된다. 본



(a) image A (b) image B (c) matching of images A&B

Fig. 5 Illustration of the image matching of two overlapped images for a sample surface

논문에서는 이러한 특성을 이용하여 영상들 사이에 존재하는 최대 상관계수를 갖는 화소 위치를 선정하고 이를 바탕으로 정합하는 방법을 제안하였다.

영상 A는 좌측부터, 영상 B는 우측부터 화소의 위치를 옮기면서 두 영상의 상관계수를 계산하면 두 영상의 중복 측정영역이 시작되는 위치에서 상관계수의 값은 최대가 된다. 두 영상의 상관계수가 최대가 되는 화소의 위치는 정합좌표가 되고 이를 바탕으로 두 영상을 정합하게 된다. 이 방법은 좌우 방향 영상과 상·하 방향 영상 모두에 적용가능하다. 영상 A와 B에 존재하는 중복 측정영역의 위치 및 크기는 측정자의 의도에 따라 대략적으로 판단이 가능하므로 중복 측정영역을 포함하는 부분 영상을 영상 A와 B로부터 기지의 좌표로 획득하고 획득한 두 영상을 이용하여 위와 같은 방법을 적용하면 영상의 크기에 따른 상관계수 계산 속도를 향상시킬 수 있다. 이러한 이유에서 본 논문에 적용되는 상관계수에 의한 영상정합 방법은 기준영역과 탐색영역의 크기가 대체로 일정하기 때문에 기준영역과 탐색영역의 크기로 인한 영상정합의 정확도 문제, 효율성 및 계산속도 등은 크게 문제가 되지 않는다⁽⁵⁾.

본 논문에서 제안한 영상정합 알고리즘의 유용성 및 효율성을 판단하기 위해 Matlab⁽¹⁰⁾을 사용하여 계산 프로그램을 구현하였으며 실험적으로 원자간력 현미경(TM Autoprobe M5)에서 측정된 표면영상에 적용하였다. Fig. 6은 컴퓨터 저장 장치인 하드디스크의 디스크 표면형상 영상으로서 앞절에서 논의한 바와 같이 시료의 표면을 중복 측정영역이 일부 존재 하도록 측정된 4분할 영상이다. 분할 영상 각각의 측정영역은 가로·세로 30 μ m이며 중복 측정영역은 해당위치에 따라 가로 30 μ m, 세로 10 μ m 또는 가로 10 μ m, 세로 30 μ m가 되도록 측정하였다. 여기서, 중복영역은 시료 표면형상의 특성과 측정시스템의 특성을 고려하여 설정해야 한다. 그림에서 알 수 있듯이 두 영상 사이에 중복 측정영역이 존재함을 알 수 있다. 영상정합의 순서는 좌측영상의 상·하 방향부터 실시하였으며 그 후 우측영상의 상·하 방향 정합을 실시하고

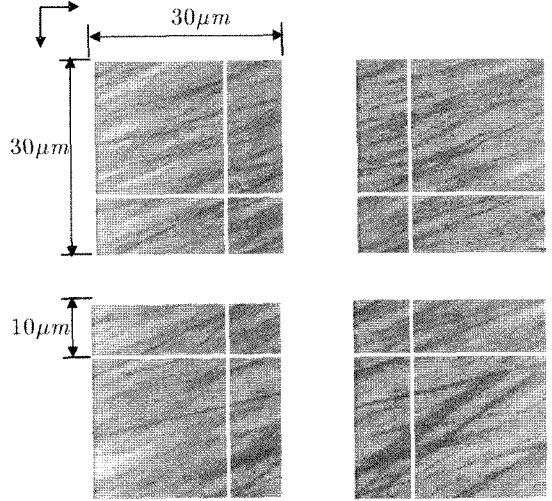


Fig. 6 Four overlapped images measured from a hard disk surface

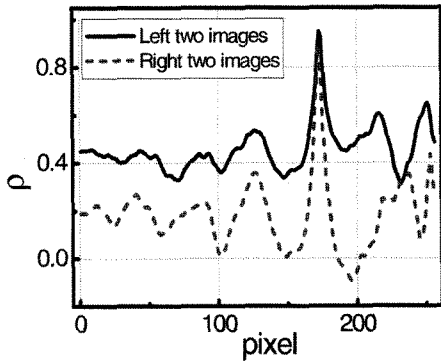
최종적으로 정합한 좌측영상과 우측영상을 정합하였다.

3.2 적용 결과

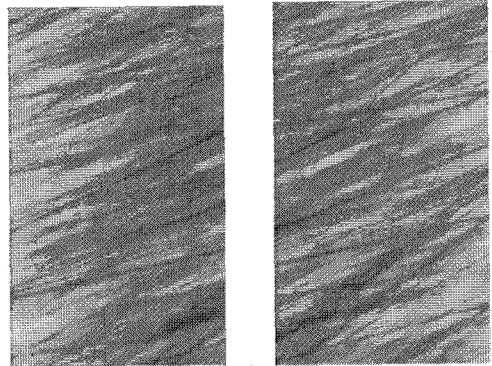
Fig. 7 (a)는 좌·우측 영상의 화소위치에 따른 상관계수 곡선을 나타내고 있으며 Fig. 7 (b)는 상관계수 최대값을 취하는 화소의 위치를 좌표로 선정하여 정합한 좌우측 영상을 보여 주고 있다. 상관계수 곡선에서 최대값을 갖는 화소 위치를 쉽게 확인할 수 있으며 일정한 중복 측정영역에 의해 최대값을 취하는 화소 위치가 정합해야 할 위치임을 알 수 있다. Fig. 7 (c), (d)는 각각 Fig. 7 (b)의 두 영상을 정합할 때의 상관계수 곡선과 최종적으로 정합된 영상을 나타내고 있다.

3.3 Z축 편차 제거

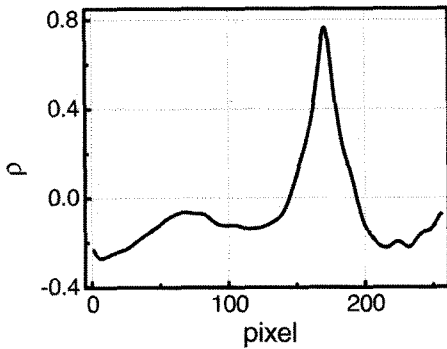
Fig. 7 (d)에서 알 수 있듯이 영상 간 중복 측정영역은 동일한 영상임에도 불구하고 영상들이 연결되는 경계부분에서 단차를 보이고 있는데 이는 앞서 설명한 표면형상에 대한 높이 정보의 높고 낮음을 판단하는 기준치의 차이 때문이다. 따라서 영상 간 편차에 대한 제거가 필요하다. Fig. 7 (e)는 Fig. 7 (d)의 A, B, C 위치에서 영상 간 편차가 있는 경우와 제거된 경우를 비교한 내용이며 Fig. 8 (a)는 Fig. 6의 4분할 영상에 대하여 윗부분 좌측 영상을 기준 영상으로 선정하고 기준 영상과 기준 영상에 정합되는 영상의 중복 측정영역에 대한 평균값의 차이를 계산한 후 이 값을 기준 영상 이외의 영상에 적용하여 다른 기준치 설정으로 인한 Z축 Offset 문제를 해결한 결과이다. Fig. 8 (b)는 영상정합이 적절하게 이루어



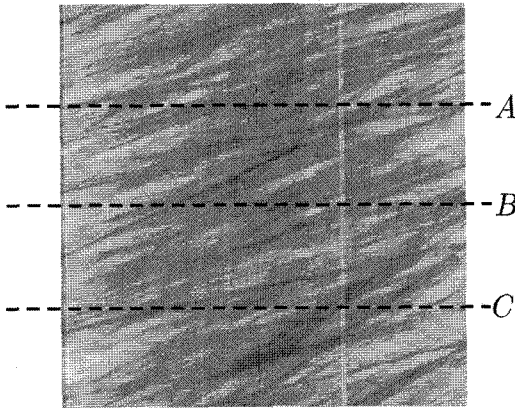
(a) correlation coefficients of left two and right two images



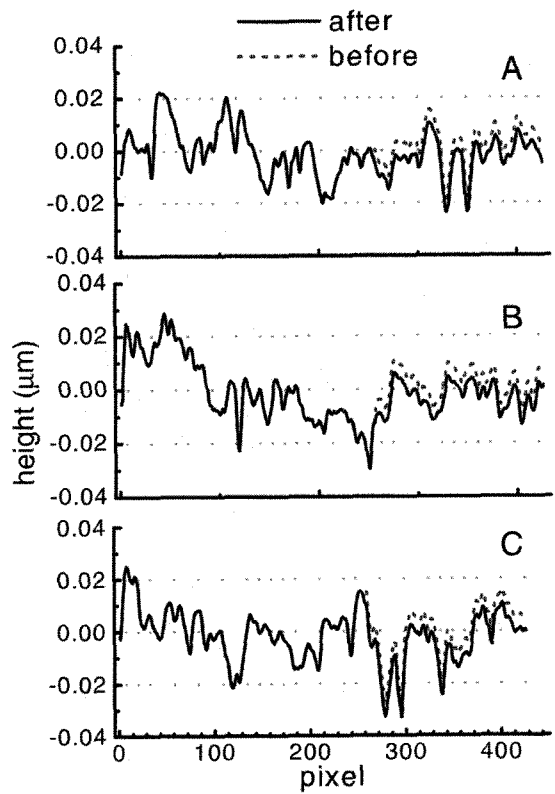
(b) matched left two and right two images



(c) correlation coefficient between two images in (b)



(d) a synthesized image



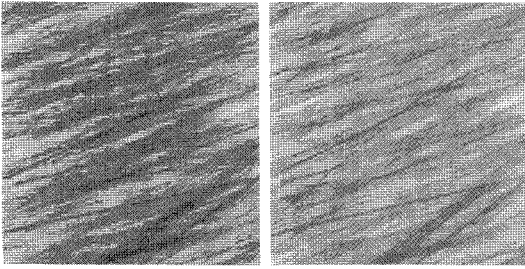
(e) surface profiles before and after offset adjustment

Fig. 7 Illustration of the image matching process for a hard disk surface

어졌는지를 판단하기 위해 Fig. 8 (a)와 같은 구역을 가로·세로 $50\mu\text{m}$ 크기로 측정한 영상이며 영상의 정합은 적절하게 이루어졌음을 판단할 수 있다.

3.4 2축 동시정합

지금까지 설명의 편의를 위해 한 축만을 고려하였으나 제안된 방법은 수평방향과 수직방향을 동시에 고려해서도 동



(a) final, synthesized im- (b) directly measured im-
age image

Fig. 8 Comparison of synthesized and measured images

일한 방식으로 적용될 수 있다. 본 논문에서 사용된 원자간력 현미경의 경우 평균적으로 수직방향으로 0~3화소 정도의 어긋남을 보이고 있었으며 이를 미리 조정하였다. 이러한 수직방향 오차를 동시에 해결하기 위해 수직과 수평좌표를 동시에 변수로 하는 상관계수를 계산하였다. 2차원 확장으로 인하여 상관계수 계산 속도에 대한 향상 방안이 필수적인데 본 논문에서는 어긋남이 존재하는 두 영상으로부터 중복 측정영역을 포함하는 부분 영상을 기지의 좌표로 추출하고 이를 중심으로 계산하여 속도를 향상하였다. 이 방법에서 부분 영상을 추출하기 위해 중복 측정영역을 포함하게 하는 임의의 좌표설정이 필요한데 이는 영상의 전체 측정영역에 관계되는 변수이다. Fig. 6의 하드디스크 표면형상 영상에 대하여 2축을 고려한 알고리즘을 적용하였으며 Fig. 9은 영상정합을 위해 계산된 상관계수 곡면과 이를 바탕으로 정합된 영상이다.

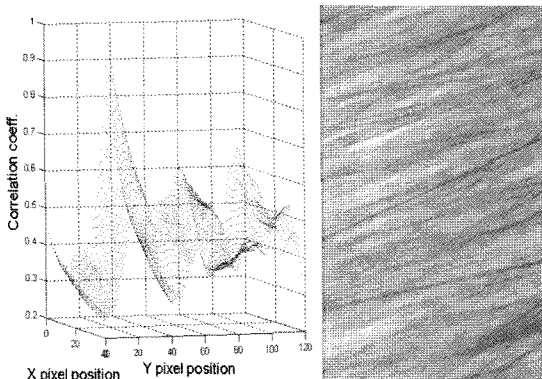


Fig. 9 2-dim correlation coefficient and the result of image matching for left two images

4. 원자간력 트리거 방식을 이용한 임의 표면 형상 측정

4.1 측정 개념

원자간력 현미경은 그 측정 원리상 접촉 및 비접촉의 두 가지 방식으로 운영되는데 접촉방식에서는 시료와 탐침이 매우 근접하게 됨으로서 사실상 접촉 상태를 유지하면서 탐침과 시료간의 척력을 직접적으로 이용하는 반면 비접촉 방식은 시료와 탐침간의 거리가 좀 더 큰 상태에서 인력 구배 (Attractive force gradient)를 이용하는 방식으로서 시료 및 탐침의 훼손이 적다는 장점이 있다. 본 논문에서는 원자간력 현미경에서 이용되는 이와같은 원자간력을 좌표 측정을 위한 트리거 신호로 이용하는 방법을 제시하였다. 즉, 3차원 측정기와 유사한 방식으로 표면에 프로브(원자간력 현미경에서는 탐침)를 접근시켜 트리거 신호를 발생시키고 그때의 좌표값을 읽는 방법으로서, 시료를 이송계로 이송시킨 후 탐침을 시료 표면에 접근시켜 척력(접촉식)이나 인력구배(비접촉식)가 원하는 값이 되었을 좌표를 기록하는 방식으로 시료의 표면 형상을 측정하였다. 또한 제안된 방법의 특성을 살펴보기 위해 측정 조건의 변화에 따른 반복 측정했을 때에 대한 정밀도를 검토하였다.

4.2 좌표획득에 대한 실험 방법

접촉식과 비접촉식 두 방식 모두 시료의 표면측정에 앞서 접근 과정을 거치게 되고 접근 과정이 완료되는 지점에서 Z축 스캐너 본체는 항상 중앙에 위치하게 된다. 본 논문에서는 이러한 특성을 이용하여 이송장치가 포함된 원자간력 현미경으로 이송계의 XY좌표를 기록하고 그 위치에서 접촉식과 비접촉식의 접근이 완료되는 지점에서 Z축 데이터를 획득하는 방법으로 시료의 3차원 형상을 획득하였다. 접촉식과 비접촉식 각각의 Z축의 접근에 대한 반복 정밀도를 측정하였으며 500 μ m 이상의 단차를 가지는 시료를 이송계에 장착한 후 시료 표면의 위치 좌표를 획득하여 면을 구성하였고 그 후 두 면의 상대적인 높이 값으로 단차를 측정하였다. 또한 같은 방식으로 경사면을 가지는 시료 표면의 위치 좌표를 획득하여 면을 구성하고 두 면의 각도를 측정하였다. 실험에 사용된 원자간력 현미경은 Z축 스캐너와 XY 평면이동 스테이지로 구성되어있다. Z축 스캐너는 3축의 원통형 PZT가 장착된 스캐너 본체와 0.4 μ m의 분해능을 가지는 Z축으로 구성되어있으며 시료를 장착하는 XY 스테이지는 X축, Y축 방향으로 각각 2.5 μ m의 분해능을 가지고 있다. Fig. 10은 단차측정을 위해 선정된 1mm 이하의 단차를 가지고 있는

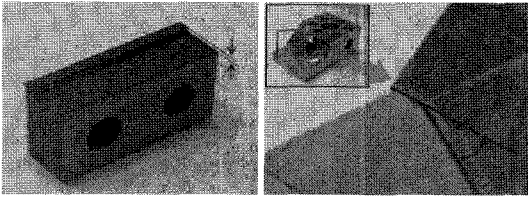


Fig. 10 Samples and measured points

연마된 정밀 기계부품과 경사면 측정을 위해 선정된 3차원 측정기의 다각형 표준 시료를 나타내고 있으며 이 시료에 대한 측정부분을 보여주고 있다.

측정값의 비교를 위해 직경 $D=500\mu\text{m}$ 인 접촉식 볼 프로브를 사용하는 3차원 측정기(ABERLINK MAXIM)를 사용하였으며 최소 4지점의 위치 좌표로 각각의 평면을 구성한 후 단차와 각도를 측정하였다.

4.3 좌표획득 실험 결과 및 토의

Fig. 10의 시편에 대하여 제안된 방법과 3차원 측정기를 이용하여 단차 및 각도를 측정하였다. 단차의 측정을 위해 각 평면에 대하여 10곳 이상의 위치에서 위치 좌표를 획득, 평균하여 높이를 구하였으며 이를 바탕으로 단차에 의해 구분되는 상면과 하면의 평균적인 상대높이를 측정하였다. 측정결과와 신뢰성을 위해 동일실험을 20회 반복 수행하였다. 각도 측정은 기준평면과 경사면을 측정하고 이를 기초로 두 평면 사이의 각도를 측정하였다.

Table 1은 제안된 방법과 3차원 측정기에 의해 측정된 시편의 단차 및 각도를 나타내고 있으며 두 방법 간의 단차에 대한 오차는 $1\mu\text{m}$ 이내임을 알 수 있고 각도의 경우 0.03° 로

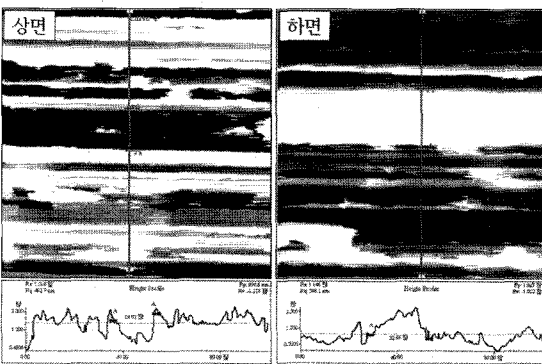


Fig. 11 Surface-shapes and height profiles for upper and lower planes of the test sample

Table 1 Measured relative height and angle

	Height(μm)	Angle($^\circ$)
Contact mode AFM	530.3	45.157
Non-Contact mode AFM	529.0	45.162
CMM	530.0	45.130

서 단차 측정 결과에 비해 상대적으로 오차가 크다는 것을 확인할 수 있다. 단차에 대한 $1\mu\text{m}$ 이내의 오차는 원자간력 현미경의 수직축 이송 분해능이 $0.4\mu\text{m}$ 이고 3차원 측정기의 분해능이 $0.5\mu\text{m}$ 임을 고려해 볼 때 충분한 신뢰성을 보이고 있음을 알 수 있다. 그러나 원자간력 현미경의 접촉식 방법과 비접촉식 방법을 비교하였을 때 $1.3\mu\text{m}$ 의 오차가 발생함으로써 이송정밀도 보다 큰 오차를 보이고 있는데 이와 같은 오차의 가장 직접적인 원인으로는 시료의 표면 거칠기인 것으로 추정된다.

3차원 측정기와는 달리 원자간력 현미경은 미세한 가공표면 형상이 측정결과에 많은 영향을 미치게 되기 때문에 원자간력을 이용한 측정 시에는 시료의 표면 거칠기에 대한 고려가 필요하다. 따라서 표면 거칠기의 영향을 고려하기 위해 측정 범위에서의 표면 미세형상을 측정하였다. 원자간력 현미경의 접촉식 방법을 이용하여 상면과 하면 각각 16개의 영역을 선택하였고 $100\times 100\mu\text{m}^2$ 의 크기로 표면형상을 측정하였다. 측정결과 표면 거칠기는 평균적으로 상면에서 $R_{\text{max}} = 3.384\mu\text{m}$, 하면에서 $R_{\text{max}} = 2.988\mu\text{m}$ 를 보이고 있다.

Fig. 11은 16개의 영역 중에서 시료에 대한 표면 거칠기의 형상을 가장 잘 나타내는 영역으로 두 면의 표면형상은 X축 방향으로 산과 골이 반복되는 양상을 보이고 있으며 평균적으로 산과 골의 폭은 $10\sim 20\mu\text{m}$, 깊이는 $1\sim 2\mu\text{m}$ 이다. 이러한 결과로부터 3차원 측정기에서는 무시되던 표면 거칠기의 영향이 원자간력 현미경에서는 결과에 중요한 변수로 작용함을 알 수 있다.

한편 각도 측정결과에 의하면 원자간력 현미경의 접촉식과 비접촉식 방법 간의 차이는 매우 작으나 원자간력 현미경과 3차원측정기와의 차이는 상대적으로 크다는 것을 확인할 수 있다. 이는 원자간력 현미경을 이용한 경사면 측정 시 복합적인 원자간력의 작용으로 인하여 경사면 측정의 정도가 떨어졌기 때문인 것으로 추정된다. 따라서 원자간력 현미경의 정밀도를 높이기 위해서는 탐침을 물체의 표면에 수직으로 접근시킬 필요가 있으며 이와 같은 특성을 개선하기 위한 방법으로 시편을 회전시킬 수 있는 구동 장치를 적용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 이밖에 결과에 영향을 미칠

수 있는 또 다른 오차 원인으로 이미 앞서도 검토한 바와 같이 3차원측정기에서는 고려되지 않던 표면 거칠기가 측정 결과에 영향을 미친 것으로 추정된다. 이 오차 성분은 측정 점을 일정 개 이상 확보함으로써 충분히 낮출 수 있을 것으로 생각된다.

4.4 반복정도 및 설정조건에 의한 변화 평가

접촉식 측정에서 트리거 설정값은 캔틸레버에 가해지는 힘의 크기로 주어진다. 트리거 설정값에 따른 변화를 관찰하기 위해 $R_{max} = 28.44nm$ 인 표준시료를 선정하였으며 기준값으로 주어지는 설정값(Set point)에서 0.1nN 간격으로 힘을 증가시키며 10회 반복측정을 수행하였다. Table 2에서 보는 바와 같이 설정값 증가에 따라 좌표 값이 증가함을 확인할 수 있으며 반복 측정된 결과로부터 동일한 트리거 설정값에 대한 최대표준편차(σ_{max})는 0.2~0.3 μm 로 측정 분해능을 벗어나지 않음을 알 수 있다.

비접촉식 측정 방법에서 트리거 설정값은 가진주파수에서의 캔틸레버 응답 크기를 나타낸다. 트리거 설정값에 따른 변화를 관찰하기 위해 접촉식 측정에서와 동일한 $R_{max} = 28.44nm$ 인 표준시료를 선정하였으며 기준값으로 주어지는 설정값에서 5nm 간격으로 설정값을 감소(주파수 증가)시키며 10회 반복 측정을 수행하였다. Table 3에서 보는 바와 같이 설정값에 대

Table 3 Experimental results for repetition accuracy and effects of set point(non-contact mode)

	Non-contact mode set-point (μm)				
	0(ref)	-0.005	-0.010	-0.015	-0.020
Number	Measured coordinates (μm)				
1	1405.6	1406.0	1406.0	1406.8	1406.8
2	1405.2	1406.0	1406.4	1406.8	1406.8
3	1405.2	1405.6	1406.4	1406.8	1407.2
4	1405.2	1406.0	1406.0	1406.4	1407.2
5	1405.6	1406.0	1406.4	1406.0	1406.8
6	1405.6	1406.0	1406.0	1406.8	1407.2
7	1406.0	1406.0	1406.4	1406.8	1406.8
8	1405.6	1406.0	1406.4	1406.8	1406.8
9	1406.0	1406.4	1406.4	1407.2	1407.2
10	1405.6	1406.0	1406.4	1406.8	1406.8
Avg.	1405.6	1406.00	1406.3	1406.7	1407.0
σ_{max}	0.30	0.19	0.19	0.32	0.21

한 좌표 값이 비례적으로 증가함을 확인할 수 있으며 반복 측정 결과로부터 동일한 트리거 설정값에 대한 최대표준편차는 접촉식 측정결과와 비슷한 0.2~0.3 μm 임을 확인할 수 있다.

Table 2 Experimental results for repetition accuracy and effects of set point(contact mode)

	Contact mode set-point (nN)				
	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0
Number	Measured coordinates (μm)				
1	1450.0	1450.8	1451.2	1451.2	1451.2
2	1450.4	1450.8	1451.2	1451.2	1451.6
3	1450.4	1450.8	1451.2	1451.2	1451.6
4	1450.0	1450.4	1451.2	1450.8	1451.6
5	1450.0	1450.8	1451.2	1451.2	1451.6
6	1450.0	1450.8	1450.4	1450.8	1451.6
7	1450.4	1451.2	1451.2	1451.2	1451.2
8	1450.4	1451.2	1451.2	1450.8	1451.2
9	1450.4	1450.4	1451.2	1451.2	1451.2
10	1450.4	1451.2	1451.2	1451.2	1451.6
Avg.	1450.2	1450.8	1451.1	1451.1	1451.4
σ_{max}	0.21	0.30	0.25	0.19	0.21

5. 결론

본 논문에서는 초소형 마이크로 부품 표면의 특성을 측정하기 위해 원자간력 현미경을 확장 응용하는 방법을 제시, 검증하였다. 먼저 원자간력 현미경의 측정범위의 한계로 인한 대면적 표면형상 측정의 어려움을 영상정합 방법을 이용하여 극복하는 방안을 제안하였다. 시료 표면형상에 대한 영상에 대하여 상관계수에 의한 영상정합을 수행하는 프로그램을 구현하였으며 실험을 통하여 제안한 방법의 유용성을 검증하였다. 또한 원자간력 현미경의 스테이지를 이용하고 원자간력 현미경의 접촉 및 비접촉식 측정 원리를 이용하여 임의형상을 갖는 대면적 부품의 표면 형상을 3차원 측정기와 유사한 원리로 측정할 수 있는 방법을 제안하였다. 측정을 위한 트리거 신호로 기존 원자간력 현미경의 원리인 원자간력을 사용하는 방법을 이용하였다. 본 논문에서 제안한 방법을 이용하면 원자간력 현미경이 가지는 장점에 더불어 소형 부품의 표면에 대한 전반적인 형상 및 품질을 정밀하게 관측할 수 있고 또한 시료의 미세표면형상과 전체 표면형상

정보를 한 번의 설정으로 모두 얻을 수 있는 이점이 있어 측정에 소요되는 시간을 줄이고 시료의 손상을 예방 할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 산업자원부의 차세대 기술개발사업인 “차세대 지능형 Micro Factory 시스템 기술 개발” 사업 중 제 4세부 과제의 위탁과제로 수행되었으며 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Park, J. K. 2004, *Vibration Characteristics and Performance Evaluation for Cantilever in Non-contact Atomic Force Microscopy*, M.S. Thesis, Department of Mechatronics, Kumoh National Institute of Technology.
- (2) Park, J. W. and Lee, D. W., 2005, “Fabrication of Micro Diamond Tip Cantilever for AFM and Its Application,” *Proceedings of 2005 Fall Conference of Korean Society of Machine Tool Engineers*, pp. 395~400.
- (3) Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., 2002, *Digital Image Processing*, Prentice Hall.
- (4) Baxes, G. A., 1994, *Digital Image Processing : Principles and Applications*, John Willey & Sons.
- (5) Lee, J. K. and Cho, J. H., 1997, “A Study on the Allowable Correlation Coefficient Determination for Image Matching in Digital Photogrammetry,” *Journal of Korean Society of Geospatial Information System*, Vol. 5, No. 2, pp. 99~110.
- (6) Neemuchwala, H., Hero, A., and Carson, P., 2005, “Image matching using alpha-entropy measures and entropic graphs,” *Signal Processing*, Vol. 85, pp. 277~296.
- (7) Lim, M. C., Hwang, S. C. and Kim, W. S., 2000, “Image Matching by First Eigenvector and Histogram Analysis,” *Journal of Korea Information Science Society : Software and Application*, Vol. 27, No. 10, pp. 1054~1061.
- (8) Pang, S. N., Kim, H. C., Kim, D., and Bang, S. Y., 2004, “Prediction of the suitability for image-matching based on self-similarity of vision contents,” *Image and Vision Computing*, Vol. 22, pp. 355~365.
- (9) Shinagawa, Y. and Kunli, T.L., 1998, “Unconstrained automatic image matching using multi-resolutional critical-point filters,” *IEEE Trans. PAMI*, Vol. 20, No. 9, pp. 994~1010.
- (10) Gonzalez, R. C., Woods, R. E., and Eddins, S. L., 2004, *Digital Image Processing Using MATLAB*, Prentice Hall.