

원자간력 현미경을 이용한 소프트 렌즈 측정 Soft Lens Measurement by Using Atomic Force Microscope

*정판곤¹, 배규현², #홍성욱³

*P. G. Jung¹, G. H. Bae², #S. W. Hong(swhong@kumoh.ac.kr)³

¹ 금오공과대학교 기전공학과, ² 금오공과대학교 기계공학부, ³ 금오공과대학교 기계공학부

Key words : Atomic Force Microscope, Soft contact lens, Contact measurement, Shape measurement, Spherical shape, Image matching

1. 서론

신소재와 나노기술의 발전으로 미세가공기술, 초소형/고정도 공정 이송기술, 초소형 초경량의 부품의 조립, 각 공정 간의 계측 시스템이 필요하며 최종적으로 가공된 부품의 품질을 검사하는 시스템의 필요성이 높아지고 있다. 원자간력 현미경은 시료 표면을 매우 정밀하게 측정할 수 있으나 일반적인 측정범위 한계로는 대체로 $100 \times 100 \times 10 \mu\text{m}^3$ 이하로서 측정 면적이 대단히 제한적이기 때문에 소형 부품의 전체 품질을 검사하기에는 적합하지 않았다. 이와같은 측정한계의 극복을 위해 영상처리 기법에 의한 측정영역의 확대와 이송계를 이용한 형상측정 방법이 제안되었으며 그 유용성이 입증되었다¹. 본 연구에서는 기존의 측정 시스템으로 측정이 매우 어려운 소프트 렌즈(Soft lens)의 형상 및 표면 특성을 원자간력 현미경을 이용하여 측정하고 그 결과를 검증하였다.

소프트 렌즈는 특히 콘택트렌즈로 널리 쓰이고 있으나 생산 후 표면에 대한 정보를 얻기가 매우 어렵다. 특히, 접촉식 측정 장치 및 3차원 측정기 등을 이용할 경우, 물질 특성 때문에 접촉점에서 변형이 생겨 정밀한 측정이 어렵고 파손되며 투명체이므로 대체로 광학적 방식으로 구성된 비접촉 방식을 사용하기 어려운 문제가 있다. 본 연구에서는 원자간력 현미경을 이용하여 소프트 렌즈의 구면형상 및 표면 영상을 획득하였고 이를 근거로 가공상의 문제점 및 시료의 상태를 검증할 수 있었다. 먼저, 원자간력 현미경을 이용한 형상 측정 방법에 의해 렌즈의 형상을 측정하였으며 그 특성을 분석하였고 그 결과를 근거로 여러 개의 중첩된 표면형상 영상을 획득하여 정합시킴으로서 가공 표면의 특성을 얻었다. 이와 같은 방법으로 얻어진 표면 형상 정보를 소프트 렌즈의 가공 개선 및 품질향상에 유용하게 활용할 수 있었다.

2. 형상 측정 및 분석

2.1 측정 방법

Fig. 1은 원자간력 현미경에 측정을 위해 장착된 상태를 보여주고 있다. 측정은 기준 위치에서 각 방향으로 $100 \mu\text{m}$ 간격으로 이송시키며 높이 값(Z방향 데이터)을 측정하였다. 측정 데이터의 신뢰성을 위해 5회 반복 측정하였다.

구면 형상에서는 측정 조건이 설정된 상태에서 전체 영역은 측정할 수 없고 일부분만을 측정할 수 있다. 이 때 구면의 반경을 측정하고자 한다면 Fig 2(a)에서 보여주는 바와 같이 Y축을 움직이지 않게 고정하고 X축을 이동하면서 Z축 높이 값을 구하여 측정한 값의 최대값이 되는 곳을 찾는다. 그 데이터를 원형 보간하여 X축 중심점을 찾는다. 이렇게 얻어진 원으로부터 Z축 값이 최대가 되는 위치에서 X축을 고정하고 Y축을 움직이면서 마찬가지로 방식의 측정을 실시하여 얻어진 Y, Z 값을 이용하면 반경과 중심을 찾을 수 있다. 본 연구에서는 시료의 전체적 형상을 측정하였으므로 Fig 2(b)에서 보여주고 있는 바와 같이 상부 근처의 일정한 영역 전체를 측정하였다. 5회 반복 측정하며 20×20 의 행렬로 측정하여 Z축의 평균값으로 구면체 형상을 재현하였다.

2.2 측정 결과 및 분석

Fig. 3은 앞에 제안된 방식으로 X축을 $100 \mu\text{m}$ 씩 20개 점과 Y축으로 $100 \mu\text{m}$ 씩 10개 점, 총 200개점을 측정하여 구성한 형상을 보여주고 있다. 전체적으로 구면형상이 잘 반영되고 있으나

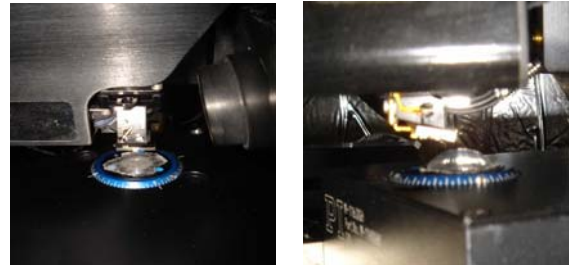


Fig. 1 Experimental setup

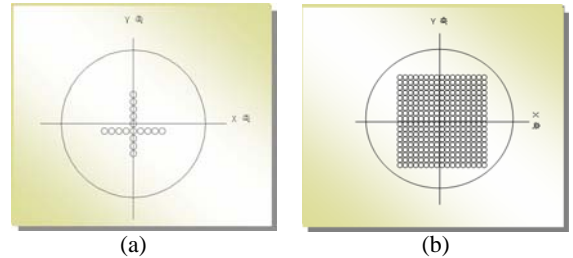


Fig. 2 Measurement points

상부의 이상돌출이 확인되어 상부의 상태를 확인되었다. Fig. 4는 측정간격을 $30 \mu\text{m}$ 씩하여 다시 세밀한 측정을 한 결과를 보여주고 있으며 상부표면이 일정하지 않음을 확인할 수 있다. 이는 렌즈 가공시의 문제점으로 추정되어 보다 정밀한 측정이 필요하게 되었다.

3. 영상정합을 이용한 대면적 표면형상 측정

3.1 대면적 표면형상 측정

형상 측정 방식으로는 표면의 세밀한 부분까지는 표현할 수 없다. 따라서 표면의 정확한 상태를 파악하기 위해 대면적 표면형상을 측정하였다. 즉, 시료 표면의 영상을 부분별로 나누어 측정자의 의도에 의해 연속적으로 중첩되는 영역을 가지고 측정된 영상들을 정합하여 대면적 형상을 구성하였다. 영상간의 상관성을 판단하는 척도로 상관계수(Correlation coefficient)를 이용하여 정합하여 형상을 구현하였다.

3.2 영상정합 결과

렌즈를 측정대상으로 하여 $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ 의 크기로 측정하고자 하는 부분을 $20 \mu\text{m}$ 중첩영역을 가지고 측정하였다. 측정하고자한 영역의 전체 크기는 $640 \times 640 \mu\text{m}^2$ 의 크기이다. 영상의 숫자는 64장 8×8 의 정방 형태로 측정하였다. Fig. 5는 64개의 영상을 정합한 결과를 2차원 및 3차원 영상으로 보여주고 있다. 정합된 영상이 A로 표시된 영역의 바깥쪽 부분에서 뚜렷한 오차를 보이고 있다. 이는 크게 두가지의 원인이 있는 것으로 생각되는데 첫 째로, 측정 시에 많은 표면을 장시간, 간헐적으로 측정하게 됨으로서 측정시스템에서 발생하는 Drift와 이송장치의 오차 등이 누적되어 발생된 오차에 영향을 미치고 있는 것으로 파악된다. 두 번째로는 사용된 원자간력 현미경의 측정한계인 $7 \mu\text{m}$ 를 벗어난 측정영역이 있어 측정이 다 이루어지지 못하고 영상이 없는 부분이 생겨 정합에 오차가 발생한 것으로 파악된다. 그러나 렌즈 상부의 전체적인 경향을 확인할 수 있다. 특히 이와같은 현상은 바깥쪽 부분의 측정 결과에서 두드러지게 나타나고 있는데, 이는 전체

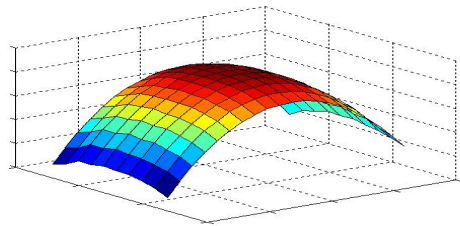


Fig. 3 Measured profile of a soft contact lens: wide range with 100µm resolution

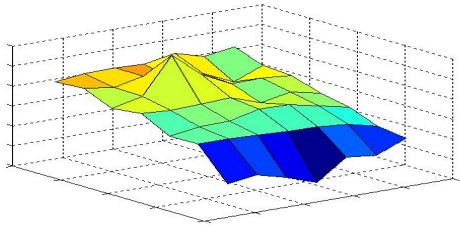


Fig. 4 Measured profile of a soft contact lens: small range with 30µm resolution

적인 형상이 구면이기 때문에 나타나고 있는 것으로 생각된다.

Fig. 5를 보면, 렌즈의 표면에 가공에 의한 나선형의 홈이 파여 있는 모습을 확인할 수 있다. 특히, 3차원 형상의 표면에서 층을 이루는 모습에서 잘 드러난다. 또한 구면의 최정상 부분에 돌출된 부위를 확인할 수 있으며 그 크기는 약 4µm 정도로 파악된다. 이 돌출부는 가공의 마무리가 적절치 않았음을 의미한다. 전체적으로는 중심에서 약 560µm 정도의 지름을 가진 환형을 볼 수 있다. 렌즈는 가공과정에서 선반을 이용하여 금속을 가공하는 과정과 유사한 가공과정을 거치게 된다. 이러한 가공과정에서 Fig. 5와 같은 형상을 가지게 된다.

영상정합기법은 시간이 많이 걸리고 영상정합 대상의 패턴이 부정확하고 표면이 근소한 값에서 변화가 있거나 그 변화가 일정치 않다면 적용에 어려움이 있으나 정합조건의 변화를 이용하여 응용을 넓힐 수 있다.

한편 또 다른 소프트 렌즈를 100×100µm² 크기의 영상을 동일하게 20µm의 중첩영역을 주고 16장 4×4의 정방형으로 측정하여 정합을 하였다. Fig. 6 영상의 전체 사이즈는 320×320µm² 정도가 되며 앞의 콘택트렌즈와 같이 가공으로 인한 나선형의 흔적과 렌즈의 가장 높은 곳에 둥근 모양의 다른 지점보다 높은 부분을 발견할 수 있다.

앞의 렌즈와 다르게 조금 더 균일한 표면형상을 가지고 있으나 렌즈 중심의 높은 부분이 약 1.5~2µm 정도 솟아나와 있어 앞의 렌즈와는 마찬가지로 특성을 보이고 있다. 측정이 이루어진 면적이 작고 지속적인 측정에 의해 전체적인 측정이 이루어짐에 의해 앞선 시편에서 발생되었던 오차가 크게 감소되었으며 정합결과 또한 매우 우수한 것을 볼 수 있다. 이 시편에서도 중앙부에 돌출된 부위가 관측되고 있어 가공과정에서 상시 발생하는 문제점으로 분석된다. 이상의 결과를 요약하면 두 소프트 렌즈에 대해 원자간력 현미경으로 측정된 표면 형상을 영상정합을 통하여 구현해 보았고, 이러한 형상정보를 통하여 렌즈의 표면 형상과 상태를 확인할 수 있었다. 측정 및 정합에 따른 오차가 개입될 여지가 있으나 형상을 파악하고 사용하는 측면에 있어 불리함은 없다. 그러나 정합의 정밀도를 판별함에 있어 실험자의 주관적인 시점에 의지해 결정 되므로 문제가 발생할 여지가 있다. 측정에 있어 장시간을 소요하므로 하나의 시료에서 많은 영상을 측정하는 것이 쉽지 않다. 원자간력 현미경의 고속 측정 방법이 도입된다면 소요시간의 감소뿐만 아니라 정밀도도 향상됨으로서 활용성의 증대가 기대되어 진다.

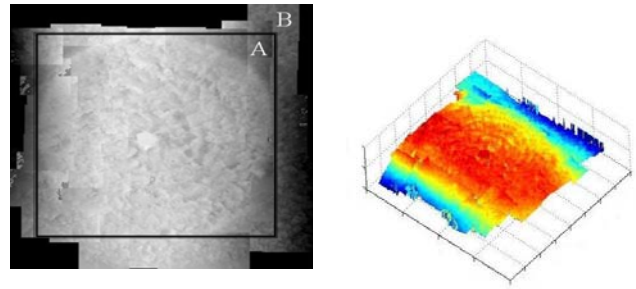


Fig 5. Image matching of a contact lens: 2D and 3D views

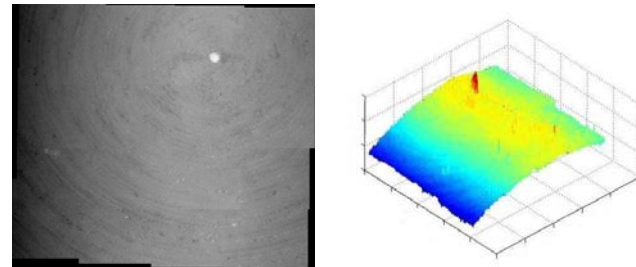


Fig 6. Image matching of another contact lens: 2D and 3D views

4. 결론

본 연구에서는 원자간력 현미경을 이용하여 소프트렌즈의 형상 및 표면 특성을 동시에 측정하였으며 그 결과를 분석하였다. 적용된 방법은 기존의 측정시스템이 갖는 접촉면에서의 변형이나 투명체 측정에서의 한계 등을 극복할 수 있는 방법으로서 매우 유용하다. 측정 대상인 소프트 렌즈의 측정을 통하여 렌즈의 가공 시 문제점을 확인하였다. 본 연구에서 사용한 형상 및 표면특성 동시 측정 시스템은 초소형 부품의 측정에 다양하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 산업자원부에서 지원하는 마이크로 팩토리 사업의 연구비 지원에 의해 이루어 졌으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 홍성욱, 고명준, 신영현, 이득우, "원자간력 현미경을 이용한 초소형 마이크로 부품 표면형상 측정 시스템 개발," 한국공작기계학회논문집, Vol. 14 No6, 2005, pp.22~30
2. 신영현, 고명준, 홍성욱, 권현규, "원자간력 현미경을 이용한 대면적 표면 형상 측정 방법," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 제주, 2005.
3. 신영현, 정판곤, 홍성욱, "원자간력 현미경을 이용한 구면 형상 측정," 한국공작기계학회 2006년 춘계학술대회 논문집, 창원대학교, 2006.
4. Seong-Wook Hong, Young-Hyun Shin, Pan-Gon Jung, and Deug-Woo Lee, "Shape measurement for meso-scale objects using atomic force microscope," ICPT, Jeju, 2006.
5. 고명준, V. Patrangeru, 홍성욱, "원자간력 현미경을 이용한 측정면적 확대에 관한 연구," 한국정밀공학회지, Vol. 23, No.4, 2006, pp.168~175
6. Seong-Wook Hong, Vlad Patrangeru, and Myung-Jun Ko, "Measurement Range Expansion for Atomic Force Microscope by Using Surface Matching Algorithm," The 1st ICOMM, Urbana-Champaign, 2006.