높은 공간 분해능을 위한 미세표면 데이터의 5자유도 정합 방법

The 5-d.o.f. Stitching Method of Micro-surface Data for High Spatial Resolution

*이동혁[1], #조남규[2]

*D. H. Lee[1], #N. G. Cho(ngcho@hanyang.ac.kr)[2]

[1]한양대학교 대학원 기계설계 · 메카트로닉스공학과, [2]한양대학교 기계공학과

Key words : Stitching, High spatial resolution, Surface metrology, Microscope

1. 서론

오늘날 산업이 발전함에 따라 고정밀 부품에 대한 요구가 증대되고 있다. 고정밀 부품의 생산을 위해서는 가공표면의 미세형상을 정밀하게 측정/평가 할 수 있어야 한다. 그 측정 방법으로는 WLI(white light interferometric) microscopy, PSI(phase shifting interferometric) microscopy, CLSM(confocal laser scanning microscopy) 등과 같은 광학식 측정 방법을 이용하여 3차원 미세형상을 측정하는 경우가 급속도로 증가하고 있다. 3차원 미세형상을 측정하기 위한 대부분의 광학식 측정기는 CCD나 CMOS와 같은 이미지 센서를 활용하고 있다. 그래서 측정영역 내의 모든 데이터를 한 번에 측정할 수 있는 장점을 가지고 있지만, 대물렌즈의 배율에 따라 측정영역 및 횡방향 분해능의 제한을 받는다. 이런 문제점으로 인해, 웨이퍼, 솔라셀, 대형 광학계와 같은 대면적의 측정영역을 횡방향 분해능의 손실 없이 측정하기에는 어려움이 있다. 이 문제점을 해결하기 위해서는, 여러 개의 단일 측정영역을 병합하는 정합 방법을 이용하면 보다 쉽고, 낮은 비용으로 그 문제를 해결할 수 있다.

3차원 미세형상 데이터를 정합하는 방법에는 크게 영상의 특징점을 추출하여 정합하는 영상처리기법과 인접한 측정영역 사이에 존재하는 공통영역의 높이의 차이가 최소가 되도록 하는 최소제곱접합(least squares fitting) 방법이 있다. 특징점을 추출하여 정합하는 방법은 파노라마 영상을 만들거나, 패턴인식과 같은 영상처리에서 많이 사용되며, 특징점을 가지고 있는 영상만 강인하게 정합할 수 있는 한계가 있다. 그에 비해, 최소제곱접합 방법의 경우, 기계적 이송장치를 이용하여 순차적을 측정한 여러 개의 측정영역들 사이에 존재하는 공통영역(common area) 내의 높이 차이가 최소가 되도록 접합함으로써 특징점이 없는 기계가공면과 같은 미세형상의 정합에 적합하다.

그러나 현재 제안되고 사용되고 있는 최소제곱접합을 이용하고 있는 정합 방법은 모두 3자유도로 데이터를 교정한다. 즉, 3자유도 정합 방법은 Fig. 1과 같이, X축과 Y축 방향에 대한 회전 오차(roll, pitch) 와 Z축에 대한 수직진직도(vertical straightness)에 대한 오차가 최소가 되도록 정합을 한다.[1] 그로 인해서 스테이지의 이송오차가 횡방향 분해능에 비해 작은 경우만 사용이 정합의 신뢰성이 유효했다. 그러나 고배율의 대물렌즈를 사용하여 측정하는 경우, 횡방향 분해능이 작아져서 측정데이터를 정합하려면 그에 상응하는 스테이지의 정확도와 정밀도를 가져야 했다. 따라서 기존의 정합 방법에서는 스테이지의 진직도와 측정 프로브의 자세로 인한 오차만을 고려하였고, 스테이지의 구동 오차는 고려하지 못했다. 그래서 본 연구에서는 기존의 3자유도 정합 방법의 단점을 보완하기 위해, 스테이지의 구동 오차까지 고려한 5자유도 정합 방법을 개발하였다.

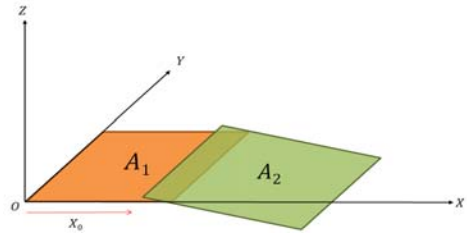

Fig. 1 Illustration of roll, pitch, vertical straightness between the adjacent measured areas A1 and A2

2. 5자유도 정합 방법

기존의 3자유도 정합 방법을 이용하여 측정데이터를 정합하려고 할 때, Fig. 2와 같이, 스테이지의 이송량을 X_0로 입력하여 구동하면, 스테이지의 위치결정오차(positioning error)로 인해 실제 이송량은 X_0'가 되고 X방향으로 ΔX의 오차가 추가적으로 발생한다. 게다가 스테이지 내의 리니어 가이드의 수평진직도(horizontal straightness) 정도에 따라 ΔY가 추가적으로 발생한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 Fig. 1과 같은 오차를 교정하기에 앞서 ΔX와 ΔY를 교정할 수 있는 알고리즘을 추가하였다. 그 알고리즘은 중첩된 공통영역 내에 존재하는 두 데이터들에 대해 Y축 방향과

X축 방향에 대해 각각 상호상관함수(cross-correlation)를 구하고 그 계수가 최대가 되는 시간지연(time delay)을 산출한다. 그리고 산출된 시간지연이 ΔX와 ΔY에 대한 보정값의 크기 같고, 이에 대해 교정할 수 있도록 한다.

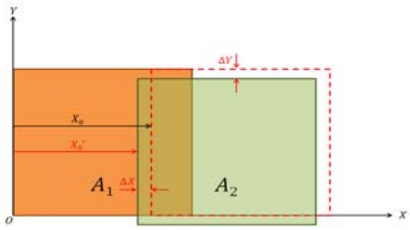

Fig. 2 Illustration of positioning error by translation stage between the adjacent measured areas A1 and A2

3. 실험 결과

기존의 3자유도 정합 방법과 제안된 5자유도 정합 방법을 비교하기 위해서 다음과 같은 모사실험을 진행하였다. 임의의 형상을 가진 측정대상을 발생시키고, 측정을 하고자하는 영역을 단일 측정영역을 이용하여 두 번에 걸쳐서 순차적으로 측정했을 경우를 모사하였다. 측정 데이터에는 앞에서 언급한 기존의 회전 오차(roll, pitch) 와 Z축에 대한 수직진직도(vertical straightness, piston error)에 대한 오차 뿐 만아니라, 스테이지의 위치결정오차(ΔX, ΔY)를 유입시켰다. 이와 같이, 측정 데이터를 발생하여 기존의 3자유도 정합 방법과 5자유도 정합 방법을 동일한 조건으로 적용하였다.

Fig. 3는 기존의 전체적 최소제곱접합(global least squares fitting)을 적용한 3자유도 정합 결과를 보인다. 스테이지의 위치결정 오차를 무시한 상태로 정합 과정이 이루어져서, 공통영역 내의 형상이 어긋난 것을 확인할 수 있다.

그에 비해, Fig. 4와 같이, 제안된 5자유도 정합 방법을 적용하면, 공통영역 내의 형상이 정확하게 일치하는 것을 볼 수 있다. 그리고 임의로 주어진 위치결정오차($\Delta X = 15$ pixels, $\Delta Y = 10$ pixels)도 상호상관함수를 통해 비교적 정확하게 추정하여 두 번째 측정 데이터를 병진이동($\Delta \hat{X} = 14$ pixels, $\Delta \hat{Y} = 8$pixels) 시켰음을 확인할 수 있다.

4. 결론

기존의 최소제곱접합을 이용한 3자유도 정합 방법을 대체할 수 있으며, 스테이지에 반드시 존재하는 구동오차로 인해 전파되는 정합 오차를 교정할 수 있음을 확인하였다. 따라서 구동 정밀도가 떨어지는 스테이지를 사용하여, 낮은 비용으로 높은 공간 분해능을 갖는 대면적의 측정데이터를 획득할 수 있는 가능성을 확인하였다.

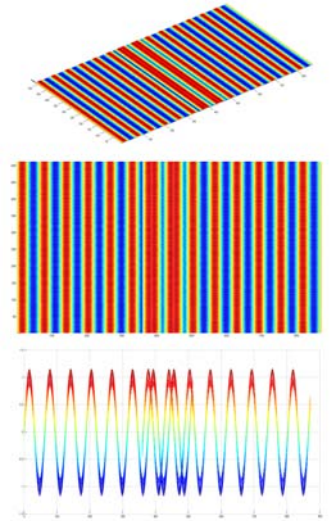

Fig. 3 Results of 3 d.o.f. stitching algorithm

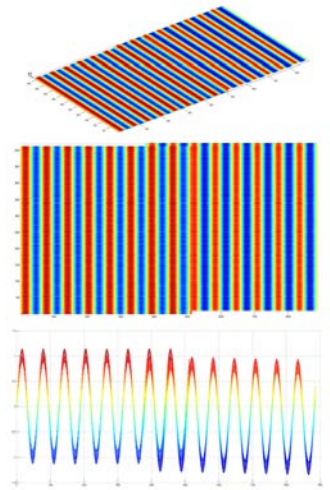

Fig. 4 Results of proposed 5 d.o.f. stitching algorithm

후기

본 연구는 지식경제부 기술혁신사업(첨단연구장비경쟁력향상 사업, 10038752)으로 지원된 연구임.

참고문헌

1. Otsubo, M., Okada, K. and Tsujiuchi, J., “Measurement of large plane surface shapes by connecting small-aperture interferograms,” Optical Engineering, 33, 2, 608-613, 1994.