

Micro-Factory 공정간 마이크로 부품 검사 프로브 개발

김기홍*, 이득우⁺

Development of Optical Probe to Inspect Micron Scale Part in Micro-Factory

Geehong Kim*, D.W. Lee⁺

Abstract

This paper shows a non-contact optical method to inspect micron scale parts which will be manufactured in micro-factory system. This inspection system should have some characteristics like a small size, flexibility, and high measuring speed. In the viewpoint of measuring capabilities, it also has resolution under micron scale with measuring range over millimeter scale. Two methods will be presented in this paper, one is Moire and the other is white-light scanning interferometry. Also some experimental results will be presented to show the possibilities of the proposed inspection system.

Key Words : Micro-Factory, Moire, White-light scanning interferometry, 3D measurement, inspection

1. 서론

μ -Factory는 IT, BT, NT, ST 등 신산업이 등장하면서 이를 구성하는 Micro/Meso 크기의 핵심 기계부품을 생산하기 위하여, 공간, 자원, 에너지, 유연성, 가변성 등의 효율화를 도모하기 위한 초소형 생산시스템을 의미한다. 이러한 새로운 생산 시스템에는 여러 가지 요소 기술이 필요한데 이중 공정간 마이크로부품 검사 프로브 기술 개발은 유기적으로 연결된 공정간에 이송되는 마이크로 부품의 외관 검사를 통하여 제품의 양·불을 판단하는 프로브 기술 개발을 의미한다.

이 연구에서 개발하고자 하는 프로브 기술은 적용하고자 하는 마이크로 부품의 특성을 고려하여야 하며 크게 측정·검사의 성능적인 면과 공정 상의 면을 고려하여야 한다. 먼저 측정·검사의 성능적인 면에서는 Meso 스케일의 특성을 가진다. 즉 전체적인 검사 범위는 mm 스케일이고, 측정 분해능은 μm 이하를 가져야 한다. 둘째, 공정 측면에서 볼 때 μ -팩토리의 유연성과 공간의 제약성, 그리고 생산성 향상을 위한 측정·검사 시간 등을 고려하여야 한다. 이러한 점들을 고려할 때 광학식 방법을 이용한 비접촉 측정법과 부품의 기하학적 특성과 3차원적 특성을 측정할 수 있는 방법이 가장 적합하다고 판단된다.

* 주저자, 한국기계연구원 지능형정밀기계연구본부 나노공정장비연구센터 (geehong@kimm.re.kr)
주소: 305-343 대전광역시 유성구 장동171

+ 공동저자 : 부산대학교 나노과학기술학부 (dwoolee@pusan.ac.kr)
주소 : 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30

이 논문에서는 본 과제의 적용대상인 핸드폰용 마이크로 렌즈를 주요 대상으로 선정하고 이를 효과적으로 측정·검사할 수 있는 프로브를 개발하는데 초점을 둔다.

2. 비접촉 측정법

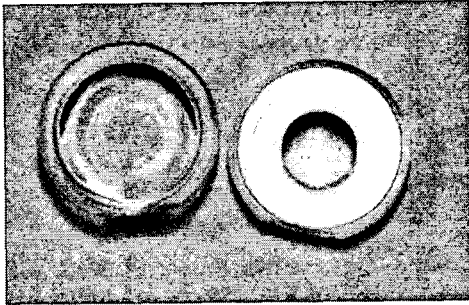


Fig. 1. 핸드폰용 마이크로 렌즈

Fig.1은 본 연구에서 측정하고자 하는 핸드폰용 마이크로 렌즈를 보여준다. 이 렌즈는 3개로 구성되는 렌즈군 중 2개를 보여주며 대략적인 크기는 6mm이다. 핸드폰용 렌즈는 공간상의 제약으로 인하여 경박단소의 특징을 가지며 적은 렌즈군으로 다양한 수차를 보정하여야 하므로 일반적으로 비구면 표면을 가진다. 이러한 비구면 렌즈 측정에서 가장 중요한 부분은 가장 자리인데 이는 가장 자리의 형상으로 비구면 렌즈의 성능이 결정되기 때문이다. 비구면 렌즈에서 가운데 부분은 일반적으로 구면 렌즈의 곡률과 크게 다르지 않다. 그리고 차이가 있더라도 곡률 자체가 크지 않으므로 비접촉식, 접촉식 측정법이 모두 적용 가능하다. 그러나 가장 자리로 갈수록 구면 형상에서 크게 벗어나고 광축을 기준으로 볼 때 경사가 매우 급해진다. 그리고 렌즈 표면은 경면(mirror surface)에 가까워 입사되는 모든 빛을 결상렌즈 바깥으로 반사시키므로 가장 자리의 영상을 획득하는 것도 어렵다. 이러한 점으로 비구면 렌즈의 표면 측정이 그동안 산업계의 큰 연구의 대상이었다.

이러한 비구면 렌즈를 측정하는 방법으로는 피조 간섭계, Lateral shearing 간섭계, 접촉식 측정법 등이 있다. 피조 간섭계는 평면과 구면의 형상을 측정하는 가장 보편적인 방법으로 현 산업계에도 많이 이용되고 있다. 피조 간섭계의 특징은 항상 기준면(reference plane)이 있어야 한다는 점이다. 즉 피조 간섭계로 측정된 표면 형상은 이 기준면과의 오차량

을 표시한 것이다. 그러므로 기준면의 오차 성분은 측정 결과에 포함되어 있으며 일반적으로 제거하기 어렵다. 특히 비구면 렌즈의 경우 기준면도 비구면으로 제작되어야 하는 점에서 어려움이 있다. 이러한 기준면의 문제점을 해결하기 위하여 개발된 것이 Lateral shearing 간섭계이다. 이는 측정대상을 통과한 광을 기준광과 측정광으로 분리한 후 상호 간섭을 일으켜 형상을 측정하는 방법이다. 이 방법은 전술한 바와 같이 기준면이 필요없고 광학계가 간단하고 소형으로 제작할 수 있는 장점이 있지만, 측정 결과가 직접적인 표면 형상 정보가 아니라, 형상의 1차 미분 결과이며 이로부터 형상을 복원하는 적분(integration) 과정에서 많은 오차가 유발되는 단점을 가진다. 마지막으로 가장 많이 이용되는 방법은 접촉식 측정법으로 사용자에게 가장 신뢰를 주며, 가장 정확하게 비구면 렌즈의 표면을 측정하는 방법이다. 그러나 느린 측정 속도와 정확한 측정 위치 조절이 어려운 단점으로 마스트 측정 또는 샘플링 검사에만 사용된다.

일반적으로 Meso 크기의 마이크로 부품의 표면 형상을 측정하는데 가장 효과적인 비접촉 측정법으로는 크게 모아레(Moire) 측정법과 백색광 주사 간섭법(White-light scanning interferometry)을 들 수 있다.

2.1 모아레 측정법

모아레 측정법[1,2,3]은 측정면에 조사된 격자(ruling) 무늬의 변형 정도를 관측함으로써 표면을 해석하는 방법이다. 이 방법은 사람 신체와 같은 대형 측정물에서 패키징 분야의 BGA(ball grid array)에 이르기까지 매우 다양한 적용분야를 가지고 있다.

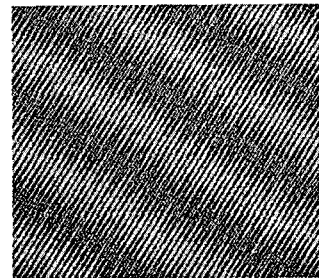


Fig. 2. 2개의 유사 주기 패턴으로 생성되는 모아레 무늬

그림 2는 모아레 현상을 보여주는 그림으로 2개의 유사한 격자가 겹쳐질 때 모아레 무늬가 생성되며, 이는 두 격자 사이의 정보를 포함하고 있다. 이러한 정보는 거리 측정 센서

뿐만 아니라 표면 형상 측정용으로도 널리 이용되어 왔다. 모아레 측정은 크게 두가지로 분류되는데 격자의 영상을 측정면에 맺히게 한 후 다시 동일한 격자를 통하여 모아레 무늬를 생성시키는 그림자식 모아레(shadow moire)와 그림자를 만드는 격자와 모아레를 생성시키는 격자가 분리된 영사식 모아레(projection moire)로 구분된다. 그림자식 모아레는 구성이 간단하고 선명한 모아레 무늬를 얻을 수 있지만 격자를 측정면에 근접시켜야 하는 단점을 가진다. 이에 비하여 영사식 모아레는 측정 프로브를 측정물에서 분리하여 위치시킬 수 있고 격자 영상을 측정면에 투영시키므로 측정물의 크기에 제약이 적다. 그러나 그림자식 모아레에 비하여 가시도가 떨어지고, 조명계, 결상계, 격자 이송 장치 등 다소 복잡한 시스템을 요구한다. 일반적으로 영사식 모아레가 실제 적용에는 많이 이용되지만, 측정물의 특성에도 많은 영향을 받는다.

이러한 모아레 측정법의 가장 큰 장점은 다른 측정법에 비하여 광학계 구성이 간단하고 다양한 분야에 적용이 용이하며 그리고 빠른 속도이다. 그러므로 마이크로 팩토리가 추구하는 소형화, 효율화, 유연성 등에 가장 적합한 방법이라고 할 수 있다.

2-2 백색광 주사 간섭법

최근들어 LCD 산업의 발전으로 그 중요성이 부각되고 있는 백색광 주사 간섭법[4,5]은 경면류의 부품에 대하여 나노미터 이하의 분해능으로 측정할 수 있는 가장 강력한 측정법이다. 이 방법은 3~4 μm 이내의 초점 위치 근처에서만 광학적 간섭 신호를 발생시키는 백색광(white-light)의 특성을 이용하여 표면 형상을 측정하는 방법이다.

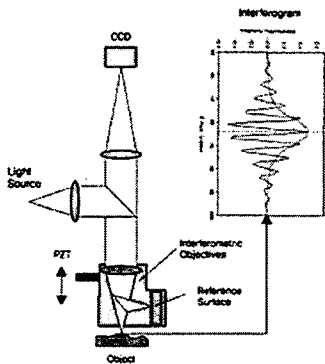


Fig. 3. 백색광 주사 간섭법의 측정 원리

그림 3은 이 측정법의 원리를 보여준다. 이 측정법은 현미경 광학계를 기반으로 간섭 광학계가 구성되며, 간섭계와 측정면을 수십 nm 간격으로 미소하게 움직이면서 간섭 신호를 획득한 후 해석하는 것이 가장 큰 특징이라고 할 수 있다. 그림에서 보듯이 간섭 신호는 초점 위치 근처에서 매우 강하게 발생하며 직관적으로 간섭 신호 가시도 곡선(envelope)의 정점이 해당 화소(pixel)의 높이라 할 수 있다. 이전까지의 연구에서는 주로 측정 분해능을 높이기 위한 알고리즘 연구가 주류를 이루었다. 즉 간섭 신호로부터 정확한 측정점의 정점을 계산하는 방법, 그리고 오차 분석을 통한 알고리즘의 정밀도 향상 등이 연구되었다. 그러나 최근의 연구는 보다 실제적인 시스템 개발에 초점을 맞추고 있으며 크게 고속화(high speed)와 대면적화가 연구의 주요 방향이다. 이는 고속화를 통하여 백색광 주사 간섭법의 약점인 느린 측정 속도를 극복하고 대면적화를 통하여 다양한 응용분야에 적용하는 것이 목표이다.

최근 이 측정법은 LCD 컬러 필터의 돌기(column spacer) 측정에서 플립칩용 PCB 기판 측정에 이르기까지 다양한 분야에 적용되고 있다.

3. 그림자식 모아레를 이용한 측정법

그림 4는 본 과제에서 구축한 그림자식 모아레 시스템을 보여준다.

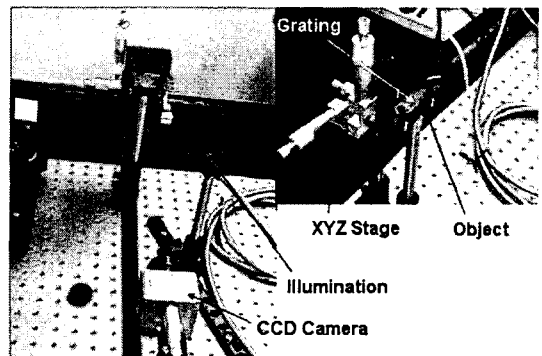


Fig. 4. 그림자식 모아레 시스템

그림에서 보듯이 시스템은 크게 CCD 카메라의 결상부, 조명계, 그리고 격자 및 위상천이(phase shifting)를 일으키는

메카니즘으로 구성된다. 그림에서 보이지는 않지만 측정물은 격자 뒤에 위치한다. 사용한 격자는 1mm에 50개의 라인이 새겨진 Ronchi ruling 격자를 사용하였다.

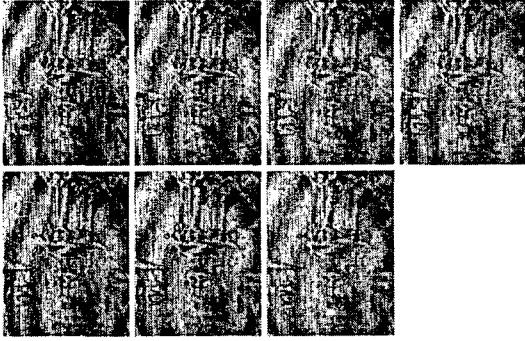


Fig. 5. 동전을 이용한 모아레 무늬 획득

그림 5는 전술한 시스템을 이용하여 획득한 모아레 무늬를 보여준다. 측정 대상은 십원 동전에서 탑이 있는 부분이다. 그림 5는 XYZ 스테이지를 움직여 위상 천이를 일으키면서 순차적으로 7장의 영상을 획득한 것이다. 그림에서 보면 동전 표면에 발생한 무늬가 조금씩 움직이는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 동전 표면은 반사율이 높으며, 특히 모아레 시스템에서는 조명이 경사지게 조사되므로 반사율이 매우 높다. 이럴 경우 카메라 방향으로 전반사되는 면이 있을 수 있다. 이를 해결하기 위하여 동전 표면에 얇은 막을 입혀 반사율을 낮추었다.



Fig. 6. 모아레를 이용한 3차원 측정 결과

그림 6은 그림 5에서 획득한 모아레 무늬를 해석한 결과이다. 해석 알고리즘은 임의 위상(A-bucket) 구동 알고리즘을 이용하였다.

그림 6의 측정 결과는 표면 형상이 아니라 각 측정점의 위상을 도시한 것이다. 그림에서 보면 표면에 단차가 발생하는 것은 위상 측정법에서 발생하는 2π 모호성(ambiguity)으로 unwrapping 과정을 통하여 복원할 수 있다. 그림에서 보면 탑의 오른쪽 부분이 다소 불분명하게 측정되었는데 이는 반사율을 낮추기 위하여 코팅된 재료가 이 부분에서 다소 불규칙하게 묻혀져 있어서 발생한 것이다. 이를 제외하고는 비교적 양호한 측정 결과를 얻었다. 측정영역은 대략 $15 \times 10 \text{mm}$ 이며 사용하는 매크로(macro) 렌즈를 이용하여 보다 작은 크기의 측정도 가능하다.

대체적으로 비접촉 측정은 측정물에 따라 많은 영향을 받지만 동전의 경우는 대표적인 Meso 스케일의 부품이라고 할 수 있다. 동전 표면에 새겨진 패턴은 mm 크기이고 높이는 수십 μm 에서 수백 μm 에 분포한다. 그러므로 동전 측정을 기반으로 프로브 시스템을 개발, 발전 시키는 것도 좋은 방법 중의 하나이다.

4. 마이크로 렌즈에 대한 적용

그림 4에서 제작된 모아레 시스템을 이용하여 그림 1의 렌즈용 마이크로 렌즈 측정에 적용하였다.

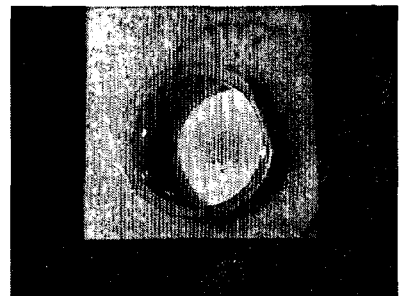


Fig. 7. 마이크로 렌즈에 대한 모아레 무늬 생성

그림 7은 그림 1의 마이크로 렌즈를 그림 4의 모아레 측정 시스템에 장착한 후 획득한 영상이다. 그림에서 보면 렌즈 배경에 격자의 영상이 투영된 것을 볼 수 있지만 렌즈 자체에서는 모아레 무늬가 발생하지 않았다.

이와 같이 마이크로 렌즈에 모아레 무늬가 발생하지 않는 이유는 첫째, 렌즈의 표면 반사율이 매우 낮아 표면에 결상된 격자 무늬를 얻을 수 없는 점이다. 둘째는 렌즈의 표면이 경면이어서 표면에 조사되는 조명광의 대부분이 Snell의 방

정식에 따라 면의 수직 성분을 기준으로 조사되는 각과 동일한 각도 방향으로 반사되므로, 결상 광학계로 입사되는 광량이 매우 적다는 점이다. 이러한 점으로 인하여 마이크로 렌즈의 표면에서 모아레 무늬를 획득하는데 실패하였다.

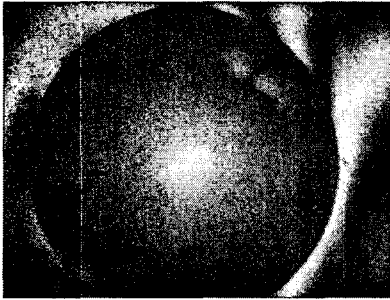


Fig. 8. 마이크로 렌즈 표면에서의 간섭 신호

두 번째는 전술한 백색광 간섭 측정 시스템을 이용하여 마이크로 렌즈의 표면에서 간섭 신호를 획득하였다. 그림 8은 그 결과를 보여준다. 그림 1의 마이크로 렌즈는 비구면 렌즈가 있는 부분과 조립을 위한 플렌저 부분이 있는데 그림 8에서 둥근 부분은 비구면 부분이고 바깥쪽은 플렌저 부분이다. 그림 8에서 보듯이 바깥 부분에서는 간섭 신호가 쉽게 획득하지만 비구면 부분에서는 간섭 신호를 쉽게 얻을 수 없었다. 이 경우에는 전체적으로 비구면의 곡률이 커서 CCD로 간섭 신호를 획득하기에는 너무 조밀한 간섭 신호가 발생한 것이 원인이며, 또한 경면으로 인하여 조사광이 대부분이 결상되지 않고 반사되기 때문이다.

이와 같은 결과로 볼때 마이크로 렌즈의 표면 형상을 측정하기 위해서는 마이크로 렌즈에 적합한 측정 시스템의 연구가 향후 진행되어야 한다.

5. 결론

이 논문에서는 μ -Factory 공정간 마이크로 부품 검사 시스템에 대하여 기술하였다. 전술한 바와 같이 이러한 검사 시스템의 중요한 설계 변수는 소형화, 유연성, 그리고 검사 속도라 할 수 있으며, 기존의 여러 검사 방법 중 모아레 방법과 백색광 주사 간섭계에 대하여 검토하였다. 모아레 시스템의 경우 이러한 조건에 부합하는 가장 적합한 검사 시스템임을 보였고, 실제 실험을 통하여 동전의 3차원 형상을 측정

하였다.

현재 국내에서 많은 관심을 가지는 핸드폰 용 비구면 렌즈의 경우 부품의 특성으로 인하여 전술한 시스템을 통한 측정이 어려웠지만, 향후 추가적인 연구를 통하여 이를 해결할 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

이 논문은 산업자원부의 차세대 신기술개발사업인 “차세대 지능형 Micro Factory 시스템 기술 개발” 사업 중 4세부과제의 위탁과제인 “Micro-Factory 공정간 μ -부품 Inspection 프로브 개발” 프로젝트의 일환으로 수행되었다. 그리고 이 논문에서 이용된 백색광 주사 간섭 측정 시스템은 (주)나노시스템(대표이사 이형석)의 NanoView 모델을 이용하여 데이터를 획득하였다.

참 고 문 헌

- (1) Daniel Post, Bongtae Han, Peter Ifju, *High Sensitivity Moire*, Springer, New York
- (2) Daniel Malacara, *Optical Shop Testing*, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 653
- (3) 최이배, *위상천이 모아레토포그래피를 이용한 3차원원체의 미세형상측정*, KAIST, 박사학위논문, 1998
- (4) 강민구, *백색광 주사 간섭계를 이용한 표면 형상 측정 알고리즘에 관한 연구*, KAIST, 박사학위논문, 1999
- (5) 한건수, *광위상간섭법에서 기준위상의 수치해석 보정*, KAIST, 박사학위논문, 1994