

# 백색광 주사간섭을 활용한 3차원 표면 형상 분석 시스템 개발

전용태\*, 이현\*, 최재성\*  
\*선문대학교 컴퓨터공학부  
e-mail: jyt5814@naver.com

## Development of 3D surface shape analysis system using white light scanning interference

Yong-Tae Jeon\*, Hyun Lee\*, Jae Sung Choi\*  
\*Dept of Computer Science and Engineering, Sunmoon University

### 요 약

최근 산업의 급격한 발전으로 부품의 정밀한 가공에 대한 요구치가 높아지고 있다. 또한 생산 공장에서 기계를 효율적으로 운용하기 위해 가공된 제품을 정밀하게 분석 할 필요가 있다. 이를 위해서는 육안으로 판단할 수 없는 미세한 차이를 구분 할 수 있어야한다. 이전 연구에서는 2차원적으로만 분석이 가능했으며, 분석 가능한 시스템은 PCB 회로판심, 폭, 원의 지름 등 이었다. 하지만 정밀한 제품을 생산하기 위해 2차원만으로 제품을 분석하기에는 무리가 있다. 따라서 본 논문에서는 3차원을 통해 제품의 입체형상을 제공하고 실제 단면의 모습을 구체화하여 기존의 2차원적 방식에서 제품의 정밀도를 더 명확하게 판단 할 수 있도록 3차원 입체형상을 더한 확장된 분석 시스템을 제안한다.

### 1. 서론

최근 산업의 급격한 발전을 통해 기계구성 및 부품의 정밀한 가공에 대한 요구치가 높아지고 있다. 또한 생산 공장에서는 기계를 효율적으로 운용하며, 대량생산을 위해 제품의 정밀도 향상을 중요시 하고 있다[1-5].

제품을 가공하고 품질을 향상시키기 위해 제품의 상태를 정확히 측정 할 수 있어야 하며, 더 나아가 여러 기법들을 활용한 가공품질 시뮬레이션을 필요로 한다. 가공품의 품질향상 시뮬레이션을 위하여 다음과 같은 요구사항을 만족 하여야한다.

첫 번째로 품질의 표면을 정확하게 측정할 수 있는 방법이 필요하며, 그 방법으로는 가공품의 거칠기를 측정 하는 것이다. 측정된 거칠기 값을 통해 제품의 표면이 얼마나 정밀하게 만들어 졌는지를 판단할 수 있다.

두 번째로 측정된 제품 표면의 거칠기 값을 통해 알려진 거칠기 파라미터를 활용하여 각각의 거칠기 상태를 파악 할 수 있어야 한다. 또한 측정된 데이터는 수정이 가능 하여야 한다.

본 논문에서 두 가지 조건을 만족시키기 위해 백색광 [6,7,8.]을 사용한다. 백색광 간섭원리란 빛이 광 분할기에서 나뉜 빛이 샘플과 기준거울에서 반사되며 다시 광 분할기에서 만나면 빛의 중첩의 원리에 의거하여 간섭이 일어난다. 그 간섭패턴을 이용하여 높이를 측정한다. 백색광 주사 간섭계(white light scanning interferometry)는 기존의 위상 천이 감섭계 와는 달리 측정 대상물의 3차원

형상을 측정할 수 있기 때문에. 공초점 현미경과 함께 현재 반도체 및 LCD 산업 분야에서 검사장비로 활용되고 있다.

또한 마이크로렌즈 등을 이용하여 높은 분해능으로 인해 백색광 주사 간섭계는 많은 분야에서 널리 응용되고 있다. 거칠기 정도를 파악 할 수 있는 거칠기 파라미터는 앞서 우리가 연구한 내용을 기반으로 한다[9,10]. 따라서 본 논문에서는 백색광을 이용하여 측정된 데이터를 시각화하여 3차원으로 표현하는 분석프로그램을 제안하고자 한다.

### 2. 관련연구

기존의 표면 형상 측정 방식으로는 비접촉 방식으로 영상을 이용하여 패턴 및 거리를 2차원으로 측정하기 위한 설비로 치수측정기가 주로 사용되었다. 여기에 레이저 변위계를 이용하여 3차원 형상을 측정 하지만 분해능이 수백 um에 이르기 때문에 정밀한 3차원 형상에는 사용이 불가능하며, 백색광 간섭에 비해서 높이 분해능과 측정 반복성이 떨어지는 문제점을 가지고 있다[13].

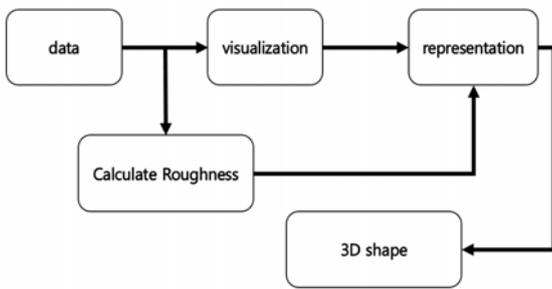
하지만 백색광 간섭을 이용한 3차원 형상의 측정방식에도 측정 오차 값이 존재한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 영상처리 기법중 하나인 필터링기법들이 사용되고 있다. 기존의 2차원적 방식은 거칠기 파라미터를 통해 PCB회로 판심, 폭, 원의지름, 지름간의 거리등 2차원적 평면을 대상으로 측정이 이루어 졌으며, 백색광을 이용한 3

차원 측정대상으로는 회로의 거칠기, 깊이, 지름, 라인폭 등 3차원 형상을 측정해왔다. 본 논문에서는 기존의 거칠기 파라미터를 통한 2차원 측정방식과 백색광을 활용한 3차원 측정방식을 혼합하여 측정가능한 제품의 종류를 확장하고 다양한 필터링 기법을 통해 오차 값에 대한 문제점을 보완한 시스템을 제안하고자 한다.

### 3. 연구개발 목표

본 논문에서는 2차원으로 표현된 시료 이미지를 개선하여 3차원적으로 표현하고 사용자에게 정밀도 높은 제품의 상태와 시각적 편리성을 제공하고자 한다.

#### 1) 3차원 형상의 시스템 구조



(그림1) 시스템 구조

그림 1.같이 거칠기 데이터가 주어지게 되면 깊이에 따라 색상을 부여하게 되고, 그 데이터를 기준으로 2차원 이미지를 생성하며, 2차원 표면 거칠기 값을 바탕으로 3차원 형상을 생성한다. 시각화 작업이 끝나게 되면 거칠기 파라미터를 계산한다. 계산은 아래 수식으로 구현된다[9].

#### 1-1) Ra(Roughness average)

$$R_a = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |y(x_i)| \quad (1)$$

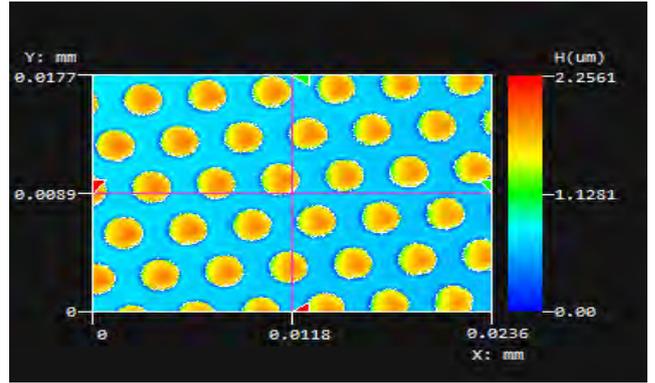
$M$ 의 값은 데이터의 총 크기를 의미하며,  $x_i$ 는 데이터 값을 의미한다. 전체적으로 측정된 표면의 형상을 분석하는데 사용이 된다[9-10].

#### 1-2) Rq(Root mean square)

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M y(x_i)^2} \quad (2)$$

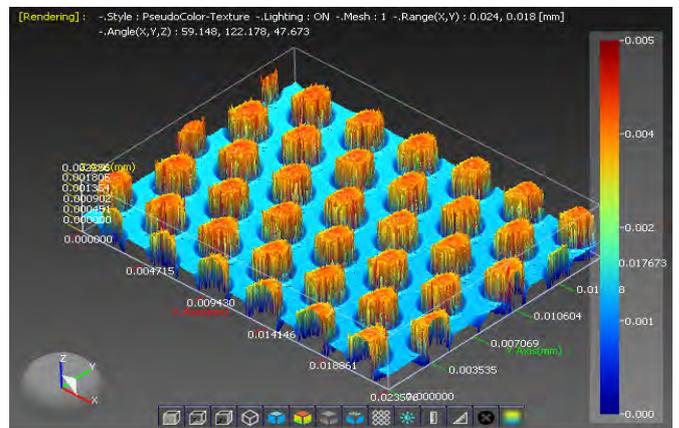
Rq는 식(1)을 통해 계산된 값을 제곱근하여 광학적 표면의 마무리 처리작업을 하는데 주로 사용되며, 형상 표면의 표준편차를 표시한다.

#### 2)데이터 시각화



(그림2) 거칠기값을 통한 2차원 이미지(LED sample)

그림 2.는 기존의 거칠기 파라미터를 통해 2차원으로 시각화된 LED 이미지다. 주어진 거칠기 값에 의해 색상별로 높이 값이 표현된다.



(그림3) 3차원 형상 (LED sample)

그림 3.은 기존 2차원 이미지의 거칠기 값을 이용하여 3차원으로 표현된 이미지이며, 오차 값 또는 이미지의 노이즈를 제거하기 하기 위해 다양한 필터링 기법을 사용하였으며, Qt 프레임워크를 통해 개발하였다.

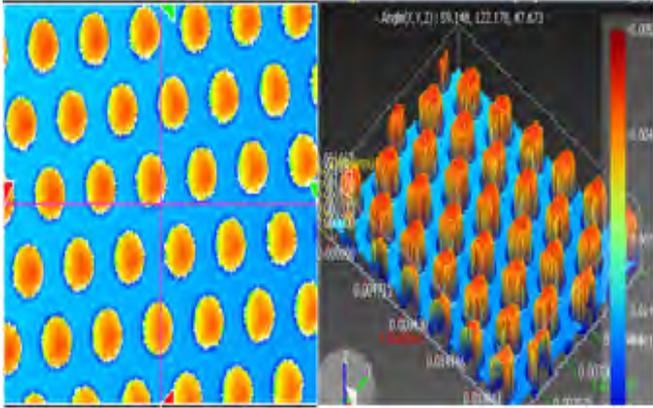
#### 3) 렌더링



(그림4) Render Mesh (LED sample)

그림 4는 mesh기능을 추가하여, 슬라이드 바 조절을 통해 mesh를 조정하고 렌더링 되는 모델의 기본적인 구조를 볼 수 있도록 하였다.

4) 필터링 기법



(그림5) Median Filter (LED sample)

그림 5와 같이 2차원 이미지에서 노이즈 필터를 이용하면 변화된 거칠기 값을 통해 3차원으로 표현 되며, 노이즈가 제거된 형상을 보여줄 수 있다.

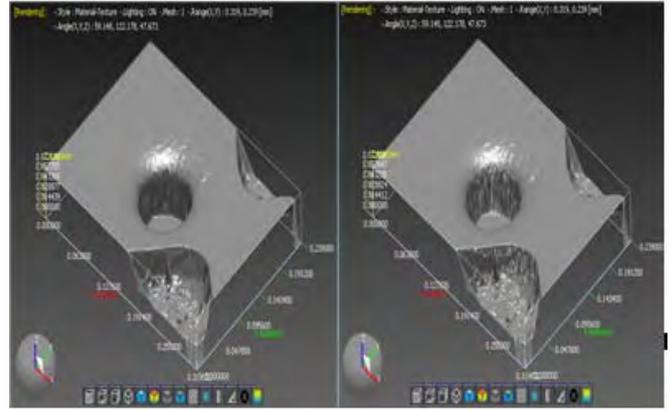
```

allocate outputPixelValue[image width][image height]
allocate window>window width * window height
edgex := (window width / 2) rounded down
edgey := (window height / 2) rounded down
for x from edgex to image width - edgex
    for y from edgey to image height - edgey
        i = 0
        for fx from 0 to window width
            for fy from 0 to window height
                window[i] :=
inputPixelValue[x + fx - edgex][y + fy - edgey]
                i := i + 1
            sort entries in window[]
            outputPixelValue[x][y] :=
window>window width * window height / 2]
    
```

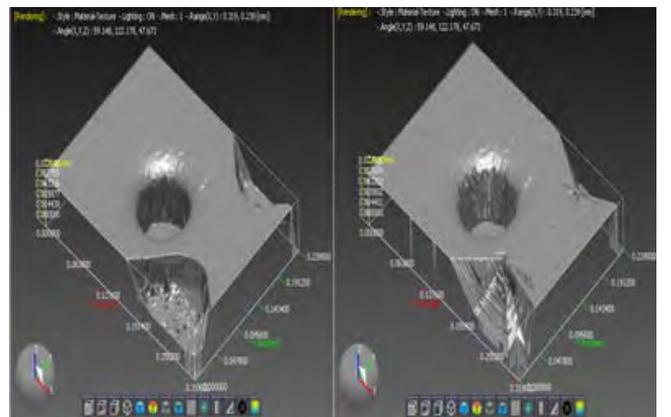
(그림 8) Median Filter algorithm pseudo code

이는 기존에 노이즈로 인해서 분석하기 힘들었던 거칠기 값의 오차율을 줄이기 위해 사용하였으며, 주어진 마스크 영역의 값들을 순서대로 정렬 후 중간 크기 값을 선택하는 필터링 기법을 적용 시켰으며 그림 8.의 미디언 필터 알고리즘을 사용하였다.

5) 복구기법



(그림 9) 선형 복구를 이용한 보정 (Via Hole sample)  
(좌: 원본, 우: 선형 복구)



(그림 10) 원형 복구를 이용한 보정 (Via Hole sample)  
(좌: 원본, 우: 원형 복구)

그림 9.에서 보듯이, 복구 기법을 이용하여 서로 다른 방식으로 복구를 수행할 수 있다. 그 외에도 그림10과 같이 다양한 복구 기법도 사용하였다. 따라서 손상 형식에 따라 적용되는 복구 방법을 달리하고 그에 대한 손상처리 대응도 가능하도록 다양한 복구방법을 적용 하였다. 선형 복구 방식은 선형보간법을 사용하였으며 식(3)을 이용하여 손상된 데이터를 복원 할 수 있다.

$$f(p) = f(lerp(p1,p2,d1)) \quad (3)$$

즉, 3차원 표현에 있어서도 복구를 통해 원본 데이터의 손실을 통해 분석의 오차율이 떨어지는 것을 방지하였다.

4. 결론

기존에 사용하던 2차원적 분석 방식에는 분석할 수 있는 제품이 제한적 이었다. 또한 데이터가 손실된 부분은 복구를 할 수 없었다. 본 논문에서 제안하는 3차원적 분석 기능을 추가함으로써 분석가능한 제품의 종류를 확장하고 제품을 더욱 정밀하게 분석이 가능하며 사용자에게 편리

성을 제공할 수 있었다. 또한 다양한 경우의 수를 고려하여 데이터 손실을 보완할 수 있는 복구 기법을 통해 분석의 오차율을 줄일 수 있었다. 앞으로는 손실된 데이터를 복구하는데 있어, 다양한 복구 기법을 제공하고 여러 가지 경우의 수를 고려하여 분석의 오차범위를 줄이고자한다.

### 참고문헌

- [1] 한정식, 조형찬, 정중윤 “가공면의 표면거칠기에 관한 연구” 한국산업경영시스템학회 2005 춘계학술대회 논문집
- [2] 백대균 고태조 김희술 “표면조도 모델을 이용한 정면 밀링에서의 최적 이송속도 선정” 대한기계학회논문집 제 20권 제8호, pp.2508~2515
- [3] 이상규, 고성립 “엔드밀 가공시 표면현상예측을 통한 정밀가공에 관한 연구” 한국정밀공학회 97년 춘계학술대회논문집 pp. 788-793
- [4] 류시형, 주종남 “측벽 엔드밀 가공에서 공구 변형을 고려한 형상 오차 예측”, 한국정밀공학회 제21권 제6호
- [5] 전득 “다축 가공에 요구되는 CAD/CAM시스템의 기능” 일본 공업조사회 기계와 공구 2004년 4호
- [6] 김영식, 김승우 “백색광주사간접계에서 편광을 고려한 반사시 위상 변화에 대한 연구”, 한국광학회 2004
- [7] 김경일, 이동열, 고운호 “백색광 위상천이 간접계를 위한 개선된 삼차원 형상 측정 방법”, 대한전자공학회 2010
- [8] 박민철, 김승우, 임노빈 “광학계 수차에 의한 백색광 간접계의 측정 오차에 대한 연구”, 한국광학회 2001
- [9] 송수호, 전용태, 이현 “표면 거칠기 분석 시스템 개발”, 정보처리학회 2016
- [10] 송수호, 채병주, 이현 “표면 거칠기 분석 및 시뮬레이션 시스템 개발”, 임베디드공학회 2016
- [11] 임해동, 이민우, 이승걸, 박세근, 이일항, 오범환 “높이영상에 산포되어 있는 점 노이즈 처리를 통한 백색광 간접계의 영상 복원력 향상”, 한국광학회 2010
- [12] 김영식, Angela Davies, 이혁교 “자유 곡면 형상 측정을 위한 백색광 주사 간접계의 정확도 향상 및 시스템 오차 분석”, 한국정밀공학회 2014
- [13] 천인범, 주기남 “백색광 주사 간접계의 측정 속도 개선을 위한 서브 샘플링 기법 연구”, 한국정밀공학회지 제 31권 11호 pp.999-1006 2014