

## 3차원 측정에서의 화이트 노이즈 평가 방법에 관한 연구

안동우, 김기승, 박윤창\*  
선문대학교 정보통신학과

### A Study on White Noise Evaluation Methods in 3D Scanning

Dong-Woo Ahn, Gi-Seung Kim, Yoon-Chang Park\*  
Department of Information and Communications Engineering, Sunmoon University

**요약** 3차원 측정의 정밀도가 떨어지면 제품의 치수나 형상 등에 문제가 생길 수 있다. 이를 위해 노이즈(noise)가 없는 더 정확한 3차원 측정 결과가 필요하다. 3차원 측정에서 생길 수 있는 노이즈는 센서의 불안정성, 조명의 불균일성, 환경적 요인 등의 원인으로 발생할 수 있다. 이러한 노이즈 중에서도 측정 데이터에 영향을 미치는 화이트 노이즈는 측정 결과의 정밀도를 저하하는 중요한 요소 중 하나이다. 3차원 측정법을 연구하는 과정에서 다양한 측정조건의 변화에 따라 노이즈가 증가 혹은 감소하는 미세한 변화를 확인해야 할 필요가 있고, 이를 위해서 화이트 노이즈를 수치화하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 화이트 노이즈의 수치화를 위하여 표면 조도 검사방법인 산술 평균 거칠기(Ra)와 십점 평균 거칠기(Rz), 그리고 디지털 영상처리에서 주로 사용되는 Total Variation(TV)를 적용해보았다. 3D 측정을 위해서 영사되는 격자 패턴에서 위상 이송 버킷(Bucket)의 수가 증가할수록 노이즈가 감소하는 PMP(Phase Measuring Profilometry)의 특성을 사용하여 기준 데이터를 확보하고, 이 데이터를 Ra, Rz 및 TV로 평가하였다. 실험 결과에서 위상 이송 버킷의 수가 증가할수록 Ra, Rz 그리고 TV가 모두 줄어드는 경향이 확인되었고, 특히 TV를 이용한 평갯값이 가장 일관성 있게 감소하는 것이 확인되었다.

**Abstract** If the accuracy of three-dimensional measurements decreases, problems such as the wrong size and shape of a product may occur. More accurate three-dimensional measurement results without noise are required. In 3D measurement, noise can arise from sensor instability, uneven lighting, and environmental factors. White noise in measurement data is one of the important factors that decrease the accuracy of measurement results. In the process of researching 3D measurement methods, it is necessary to check minute changes in which noise increases or decreases according to changes in various measurement conditions. For this purpose, it is necessary to quantify white noise. In this study, white noise was quantified by applying the Ra and Rz methods, which are surface roughness inspection methods, and the TV method, which is a noise-evaluation method in digital image processing. Reference data were obtained using the characteristic of the PMP, in which noise decreases as the number of phase-shift buckets increases in a projection-grid pattern. The data were evaluated by Ra, Rz, and TV. The experimental results confirmed that Ra, Rz, and TV all tended to decrease as the number of phase-shift buckets increased. In particular, the evaluation value using TV decreased most consistently.

**Keywords** : 3D Measurement, White Noise, Total Variation, Ra, Rz

---

\*Corresponding Author : Yoon-Chang Park(Sunmoon Univ.)

email: y0827cc@hanmail.net

Received June 16, 2023

Accepted August 10, 2023

Revised August 2, 2023

Published August 31, 2023

## 1. 서론

삼차원 측정에서 정밀도가 떨어지면, 제품의 치수나 형상 등과 같은 중요한 요소가 부정확하게 측정될 가능성이 커진다. 이는 제품의 품질이 저하되거나, 제조 과정에서 생산 오류를 유발할 수 있으며 제품의 안전성을 저해할 수도 있다. 정밀도를 떨어트리는 요인으로는 환경적 요인, 측정 기기의 정밀도, 노이즈 등이 있다[1,2].

3D 측정에서 화이트 노이즈는 측정 결과의 정밀도를 저하시키는 중요한 요소 중 하나이다[3]. 그러므로 3D 측정 기술을 연구하는 과정에서, 다양한 실험조건과 측정환경에서 화이트 노이즈의 증가 혹은 감소가 세밀하게 관찰되어야 하고, 이를 위해 3D 측정 결과에 포함된 화이트 노이즈의 수치화가 필요하게 된다[4,5].

삼차원 측정 시, 센서의 불안정성, 조명의 불균일성 및 환경적 요인 등으로 인해 화이트 노이즈가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 화이트 노이즈의 양을 수치화하는 효과적인 방법을 찾기 위해 실험을 진행하였다.

본 논문에서는 측정하는 버킷의 수가 늘어날수록 화이트 노이즈가 감소하는 PMP 측정법의 특성[6]을 사용하여 노이즈가 점진적으로 감소하는 3D 형상 데이터를 확보하였고, 이들 3D 측정 결과에 포함되어 있는 화이트 노이즈를 평가하기 위하여 Ra, Rz[7] 그리고 TV[8,9] 방식을 적용해 보았다. 이 실험의 결과를 분석하여 화이트 노이즈에 적합한 평가 방법을 비교하였다.

## 2. 본론

### 2.1 화이트 노이즈의 수치화

주로 기계 가공면의 표면거칠기 평가에 사용되고 있는 Ra는 기준 길이  $l$  내에서 높이  $f(x)$ 의 절댓값의 산술 평균으로 Eq. (1)의 식으로 표현된다.

$$Ra = 1/l \int_0^l |f(x)| dx \quad (1)$$

Where, Calculation formula for surface roughness Ra

Rz는 거칠기 곡선에서 샘플링한 기준 길이 내에서 가장 높은 5개 Peak( $P$ )와 가장 낮은 5개 Valley( $V$ )까지 각각의 합의 평균이고 Eq. (2)의 식으로 표현된다.

$$Rz = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 P_i - \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 V_i \quad (2)$$

Where, Calculation formula for surface roughness Rz

TV는 함수의 그래프가 얼마나 많이 상하로 움직이는지를 측정하는 방법으로, 높이 값  $H$ 의 변동폭을 합하여 계산하고 Eq. (3)의 식으로 표현된다.

$$TV = \sum_{n=1}^{n=N} |H_n - H_{n-1}| \quad (3)$$

Where, Total variation for functions of one real variable

이렇게 계산된 노이즈 수치의 크기가 클수록 거칠고 화이트 노이즈가 심하다는 것을 의미한다.

### 2.2 실험 데이터 획득

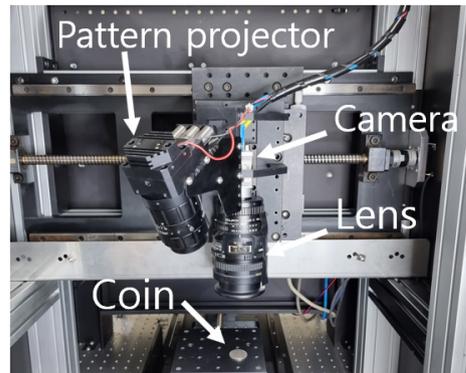


Fig. 1. 3D Scanning System using PMP Method

Fig. 1은 수직으로 카메라가 물체를 바라보고, 사선으로 미세한 격자패턴을 조사하여 이미지를 획득하는 PMP 방식의 3D 측정장치이다.

이 장비를 이용하여 백원동전의 얼굴 위치에서 위상이송을 3버킷에서 15버킷까지 순차적으로 변화시키면서 높이를 측정하였다.

PMP 측정법은 미세한 격자 패턴을 영사하고, 격자를 위상 이송시키면, 밝기가 정현파와 유사하게 주기적으로 변화하게 되는데, 이를 정현파로 간주하고 위상값을 찾아서 3D 형상을 계산하는 방식이다. 여기서 위상값을 구하기 위해서 최소 3점 이상의 밝기값이 필요하고, 더 이상의 많은 밝기값이 사용되면 실험 과정에서의 다양한 잡음 영향이 감쇄되면서 계산되는 위상값의 정확도가 향상되는 경향을 가지게 된다.

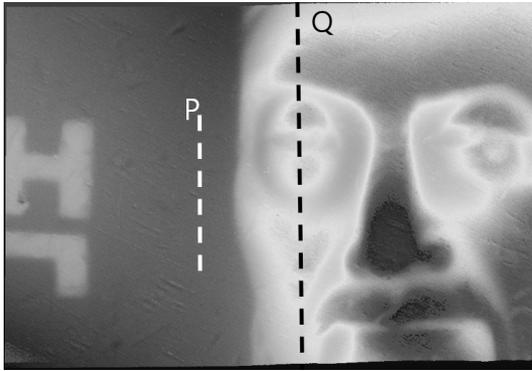


Fig. 2. PMP measurement results

본 연구에서 사용된 장비는 격자를 사선으로 조사하는 방식이기 때문에 물체에 그림자가 생길 가능성이 있다. 이는 PMP 측정 시 화이트 노이즈가 아닌 다른 종류의 노이즈로 이어질 수 있기 때문에, 그림자의 영향이 적은 위치인 평탄부 P와 곡면부 Q부분의 데이터만을 사용하여 실험이 진행되었다. 곡면과 평면에서의 결과를 확인하기 위해 Fig. 2의 평탄부 P와 곡면부 Q 데이터를 이용하여 실험이 수행되었다.

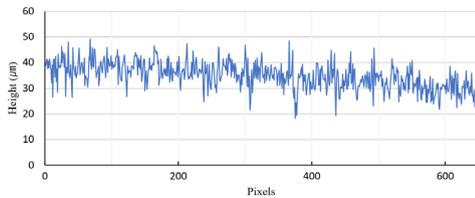


Fig. 3. Measured profile by 3 bucket at P

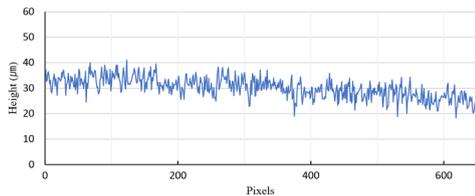


Fig. 4. Measured profile by 15 bucket at P

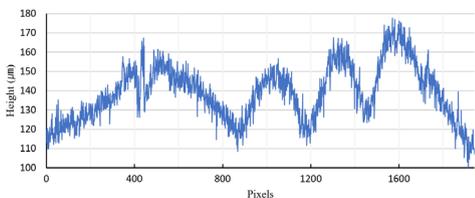


Fig. 5. Measured profile by 3 bucket at Q

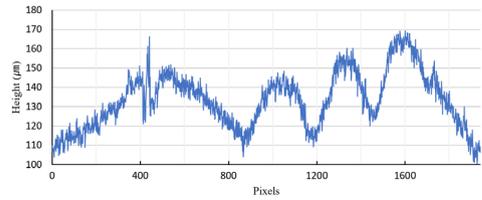


Fig. 6. Measured profile by 15 bucket at Q

Fig. 3부터 Fig. 6은 P와 Q의 측정 데이터 중 가장 큰 차이를 보이는 3버킷과 15버킷을 선택하여 비교한 결과이다. 비교 결과, 3번 버킷과 15번 버킷은 형상은 유사하지만 3버킷보다 15버킷에서 화이트 노이즈가 작음을 확인할 수 있다.

### 2.3 화이트 노이즈 수치화

PMP 측정법으로 위상 이송 3버킷에서 15버킷까지의 측정 결과를 각각 Eq. (1), (2), (3)에 대입하여 노이즈를 계산하였다.

Table 1. Calculation result of part P

Bucket	Ra(μm)	Rz(μm)	TV(μm)
3	7.91	26.23	4.34
4	19.5 ▲	25.57	4.00
5	5.05	22.66	3.78
6	10.2 ▲	20.89	3.38
7	7.96	20.42	3.45 ▲
8	3.94	18.22	3.22
9	11.0 ▲	21.85 ▲	3.29 ▲
10	3.66	18.90	3.23
11	7.73 ▲	19.08 ▲	3.11
12	5.49	18.91	3.12
13	6.16 ▲	18.38	2.98
14	3.62	16.87	3.01 ▲
15	5.92 ▲	16.67	2.91

Table 2. Calculation result of part Q

Bucket	Ra(μm)	Rz(μm)	TV(μm)
3	9.47	38.34	4.40
4	4.46	37.09	4.03
5	8.93 ▲	32.85	3.86
6	5.96	34.04 ▲	3.70
7	9.14 ▲	30.88	3.61
8	7.97	30.47	3.55
9	8.34 ▲	28.92	3.41
10	9.00 ▲	27.73	3.39
11	8.80	29.21 ▲	3.28
12	8.82 ▲	27.54	3.35 ▲
13	8.19	26.53	3.34
14	8.83 ▲	26.91 ▲	3.29
15	8.93 ▲	28.82 ▲	3.23

Table 1 와 Table 2의 평갓값에서 버킷이 증가함에 도 불규칙적으로 증가하는 평갓값을 ▲로 표시하였다.

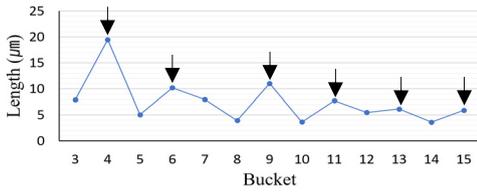


Fig. 7. Ra calculation result of P position

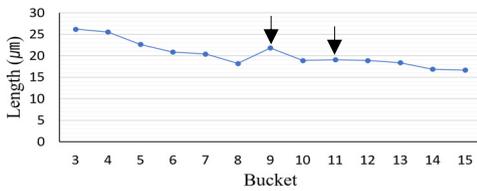


Fig. 8. Rz calculation result of P position

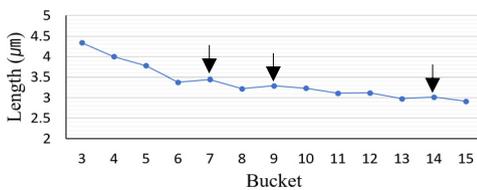


Fig. 9. TV calculation result of P position

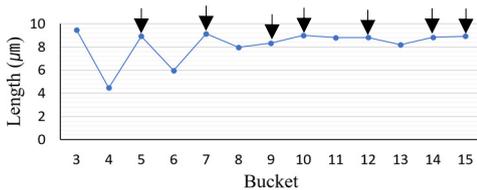


Fig. 10. Ra calculation result of Q position

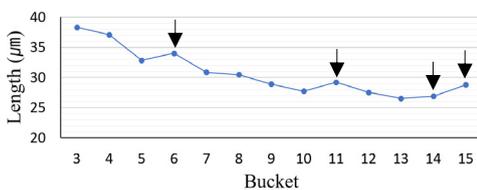


Fig. 11. Rz calculation result of Q position

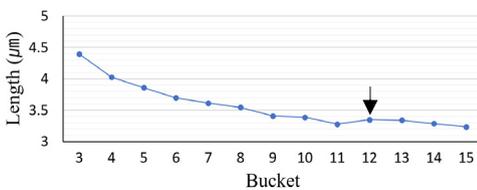


Fig. 12. TV calculation result of Q position

Fig. 7과 Fig.10에서 보이는 바와 같이, Ra 값은 버킷의 수가 증가하더라도 불규칙적으로 변동하는 경향이 심해서 3D 측정에서의 화이트 노이즈를 평가하는 수단으로는 부적합한 것으로 보인다.

Fig. 8에서 표시된 평탄부 P부분의 Rz 값은 버킷의 수가 늘어날수록 전반적으로 감소하는 경향이 있었지만, 2개의 결과에서 불규칙한 변동도 보였다.

Fig. 9에서 표시된 TV 평갓값은 Rz와 유사한 경향을 보이며, 버킷의 수가 증가할수록 수치는 낮아지고, 3개의 결과에서 비정상적인 결과가 나왔지만, 변동의 폭은 크지 않았다.

Fig. 11와 Fig. 12 에서, 곡면부 Q위치에서의 Rz와 TV는 평탄부 P에서와 전체적으로 유사한 결과가 나타났으나 Rz는 불규칙한 상승의 수가 4곳으로 늘어났고 TV는 불규칙한 상승의 수가 1곳으로 줄었다.

### 3. 결론

본 논문에서는 삼차원 측정 시 센서의 불안정성, 조명 의 불균일성, 환경적 요인 등의 외부적인 요인에 의해 생기는 화이트 노이즈를 측정하기 위해 실험이 진행됐다. 실험에 쓰일 데이터 획득을 위해 사용되는 위상이송 버킷의 수가 늘어날수록 화이트 노이즈가 줄어드는 특성을 가진 PMP 방법이 사용되었다.

3버킷부터 15버킷까지 순차적으로 증가시키며 측정을 진행하였고 버킷의 수가 증가할수록 화이트 노이즈가 감소하는 경향을 시각적으로 확인할 수 있었다. 이렇게 얻어진 3D 측정값에서 Ra, Rz, TV를 사용하여 화이트 노이즈를 계산하였다.

Ra 값은 버킷의 수가 증가하더라도 불규칙적으로 변동하는 경향이 심해서 3D 측정에서의 화이트 노이즈를 평가하는 수단으로는 부적합한 것으로 보인다. Rz 값은 버킷의 수가 늘어날수록 전반적으로 감소하는 경향이 있었지만, 곡면부에서 불규칙적 결과값이 나오는 빈도가 늘어났다. 반면에 TV값은 평탄부에서 3곳의 불규칙적 결과값이 나왔으나 Rz에 비해서 변동 폭이 크지 않았고, 곡면부에서는 불규칙적 결과값이 1곳으로 줄었다.

이러한 결과를 바탕으로, 통상적으로 곡면부가 많이 포함되는 3D 측정 결과에서의 화이트 노이즈 평가 방법으로는 Ra와 Rz에 비해 TV값이 보다 효과적인 평가방법임을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 버킷수가 증가할수록 노이즈가 대체로

감소한다는 특성을 이용해서 실험이 이루어졌다. 하지만, 실험에 이용된 모든 데이터가 이러한 특성을 따르지 않았을 수도 있는데, 이를 확인하는 것이 쉽지 않았다. 이러한 점을 고려할 때 노이즈 변화가 큰 값일 때는 TV 평가법이 다른 방법에 비해 효과적으로 사용될 수 있겠지만, 노이즈의 변화가 미미할 경우에는 이러한 평가값을 신뢰하기 어려울 수 있다.

향후 다양한 삼차원 형상 측정기에서의 화이트 잡음을 평가할 수 있는 보다 정확한 방법에 다양한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

## References

- [1] M. S. Kim, *Study on the measuring error of a Coordinate Measuring Machine for a tilted specimen*, Master's thesis, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, Korea, pp.4-4, 2019.
- [2] Y. C. Park, S. J. Ahn, M. H. Kang, Y. C. Kwon, S. J. Ahn. "Phase error compensation for three-dimensional shape measurement based on a phase-shifting method" *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.10, No.11, pp.3023-3030. Nov.2009.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.11.3023>
- [3] S. J. Kwon, *Influence of Image noise to the Fringe Profilometry measurement accuracy*, Master's thesis, Cheongju University, Chungcheongbuk-do, Korea, pp.100-127, 2016.
- [4] W. Yin, S. Pathak, A. Moro, A. Yamashita, H. Asama, "Improving 3D Measurement Accuracy in Epipolar Directions via Trinocular Spherical Stereo", *2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, IEEE, Tokyo, Japan, pp. 981-982, October 2019.  
DOI: <http://doi.org/10.1109/GCCE46687.2019.9015551>
- [5] Q. Deng, J. Liu, Y. Tang, Y. Zhou, Y. Yang, J. Li, S. Hu, "Spatial modulation-assisted scanning white-light interferometry for noise suppression." *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol.30, No.4, pp.379-382, Dec. 2017.  
DOI: <http://doi.org/10.1109/LPT.2017.2787100>
- [6] Y. C. Park, S. J. Chang, T. Y. Lee, "A Study on Accuracy Improvement in Multi-Wavelength Phase Measurement Geometry Method.", *Proceedings of the Korean Society of Manufacturing and Manufacturing Science Conference*, Korea. pp.240-244, April 2003.
- [7] KS B ISO 4287, "Geometrical product Specifications(GPS)-Surface texture : Profile method - terms, definitions and surface texture parameters"
- [8] Clarkson, James A., C. Raymond Adams, "On definitions of bounded variation for functions of two variables.", *Transactions of the American Mathematical Society*, Vol.35, No.4, pp.824-854, 1933.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1090/S0002-9947-1933-1501718-2>

- [9] Leonid I. Rudin, Stanley Osher, Emad Fatemi "Nonlinear total variation based noise removal algorithms", *Physica D: Nonlinear Phenomena*, Vol.60, No.1-4, pp.259-268, 1992.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(92\)90242-F](https://doi.org/10.1016/0167-2789(92)90242-F)

안 동 우(Dong-Woo Ahn)

[준회원]



- 2020년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학과 (석사과정)

<관심분야>

3D 측정, 컴퓨터비전

김 기 승(Gi-Seung Kim)

[정회원]



- 2020년 2월 : 선문대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학과 (박사과정)

<관심분야>

3D 측정, 컴퓨터비전

박 윤 창(Yoon-Chang Park)

[정회원]



- 1988년 2월 : 한국과학기술원 생산공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 한국과학기술원 정밀공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>

정밀기계, 3D 측정