

백색광 간섭계를 이용한 안구 돌출 값 측정

장중수^{1*} · 김영길²

Exophthalmometric values using White-light Scanning Interferometer

Jung-soo Chang^{1*} · Young-kil Kim²

^{1*}Department of Bio Medical Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

²Department of Electronic Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

요 약

안와 내에서 안구의 상대적 위치는 여러 병적인 상태를 짐작할 수 있는 하나의 기준이 될 수 있다. 특히 안와골절, 갑상선 안질환, 안와 종양 등의 진단과 이에 약물 및 수술적 치료의 결과를 판단하는데 유용하다. 현재 안구 돌출 값을 측정하기 위해 주로 사용되는 대표적 측정 기기인 Hertel과 Naugle 안구돌출계 등은 검사자가 다를 경우, 같은 검사자가 반복적으로 측정하더라도 검사할 때마다 안와의 고정부위가 달라지는 등 측정자에 의한 오차가 필연적이다. 또한 동일한 안구 돌출 계라고 하더라도 제조 회사가 다르다면 안와의 고정부위 디자인이 달라 검사자에 의한 측정 오차가 발생한다. 본 논문에서는 안구돌출값의 측정을 3차원 영상 측정기술인 백색광 간섭계를 이용하여 검사 정밀도 및 반복 정도를 크게 올릴 수 있는 자동 측정 방법에 대한 연구를 제안하고자 한다.

ABSTRACT

The relative position of the eyeballs in the orbit can be a criterion for estimating multiple pathological conditions. Especially, it is useful to diagnose orbital fracture, thyroid eye disease, orbital tumor, and to evaluate the result of drug and surgical treatment. The Hertel and Naugle exophthalmometer, which are the most commonly used measuring instruments for measuring the prominence of the eye, are different from each other. Even if the same examiner repeatedly measures, it is inevitable. Also, even if the same exophthalmometer is different from the manufacturing company, the design of the fixed part of the orbit is different, and a measurement error is caused by the inspectors. In this paper, we propose a method of automatic measurement that can increase the accuracy and repeatability of measurement of exophthalmos using white light scanning interferometer, which is a 3D image measurement technique.

키워드 : 안구 돌출 값, 백색광 간섭계, 영상 처리, 자동 검사 시스템

Key word : Exophthalmometric values, White light Scanning Interferometer, Image processing, Inspection System

Received 03 August 2017, Revised 16 August 2017, Accepted 18 August 2017

* Corresponding Author Jung-Soo Chang(E-mail:d2osoft@ajou.ac.kr, Tel:+82-31-379-4132)

Department of Bio Medical Engineering, Ajou University, 16499, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.12.2341>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

안와 내에서 안구의 상대적 위치, 즉 안구의 돌출 정도는 여러 안와 골절, 갑상선 안질환, 안와 종양 등과 같은 안와 내의 여러 병적인 상태를 진단 및 치료에 대한 약물 및 수술적 치료에 있어서 매우 중요한 역할을 한다[1].

현재 안구 돌출을 측정하는 제품 중 가장 많이 사용하는 것은 각막의 정점에서 외안화면의 가장 심부를 지나서 전두면까지의 수직 거리를 측정하는 Hertel 안구 돌출 계와 상, 하 안와면을 고정부위로 하는 superior and inferior orbital rim based exophthalmometer, 일명 Naugle 안구돌출계이다[1,2].

하지만 위의 안구돌출계들은 검사자가 다를 경우 또는 동일한 검사자라 하더라도 검사할 때 마다 안와의 고정 부위 위치가 변할 수 있기 때문에 그 측정값은 검사할 때마다 달라질 수 있다. 검사자가 다를 경우 혹은 동일한 검사자의 반복 측정일 경우에 위의 안구돌출계들을 사용한 측정 오차는 일반적으로 $\pm 1.0\text{mm}$ 에서 $\pm 1.5\text{mm}$ 까지 차이가 발생할 수 있다고 연구되어져 있으며, 안구돌출계의 제작회사가 다르고 그것의 위치 고정 부위의 모양이 달라 발생하는 원인으로 인해 검사자간 측정기준이 달라질 경우 최대 3mm 이상의 측정 오차가 발생된 연구도 발표되었다. 일반적으로 한국 성인의 안구 돌출 값은 13.6-14.7mm라고 알려져 있으나, 발표된 연구마다 다소 차이가 있어 16.5mm, 18.9mm등으로 매우 크게 측정된 경우도 있어 절대적인 안구 돌출 값은 측정 환경에 따라 그 편차가 매우 크다는 것을 알 수 있다[1, 2].

따라서 안구 돌출 정도를 측정하는 방법 중 다른 검사자가 측정 할 경우 등의 환경적 영향이 측정값에 반영되는 양이 최소화된 재현성(reproducibility)이 높은 측정 기구의 필요성이 높아지고 있고 재현성이 높을수록 안와질환 정도를 더 정확히 판단하고 변화를 비교하는데 큰 도움을 얻을 수 있다[3, 4].

본 연구에서는 기존의 수동식 안구돌출계의 측정 방식에서 필연적으로 발생하는 측정오차를 획기적으로 줄이고자 반도체 검사 분야에서 이미 활발하게 연구되고 있는 백색광 주사 간섭계(WSI - white light scanning interferometer)를 이용하여 각막의 정점과 외안화면의 가장 심부를 지나서 전두면의 높이를 측정하여 그 차이를 안구 돌출 값으로 수치화하여 재현성이 높은 측정값

을 얻을 수 있는 측정기 구현에 대한 연구를 수행하였다.

II. 시스템 구성

2.1. 백색광 간섭계

백색광 간섭계는 넓은 주파수의 광원을 고르게 가진 백색광을 이용하여 3차원 측정에 사용하는 측정 기술로서 1982년에 최초로 Balasubmanian에 의해 측정기로서 발표되었고, 이후 1987년 Dvasion에 의해 “Coherence Probe Microscope”라는 이름으로 처음 상용화되었다. 백색광 간섭계는 비교적 구성이 간단하고 검사 속도가 빠르다는 장점을 가지고 있어 현재까지도 많은 연구가 이루어지고 있다[5, 6].

백색광 간섭계는 그림 1과 같이 광원(light source)에서 나온 빛이 렌즈에 의해 평행광이 된 후, 대상물체에 인접한 빔분할기(beam splitter)에 의해 분광이 된다. 이때 빔분할기를 투과하여 측정 대상체로 향하는 빛을 측정광, 반사하여 기준 거울(reference mirror)로 향하는 빛을 기준광이라고 부르며 이 분광된 빛이 다시 합쳐져서 센서(sensor; camera)로 향할 때는 두 광이 지남 거리 차에 따라 그림 2와 같이 간섭무늬가 발생하게 된다.

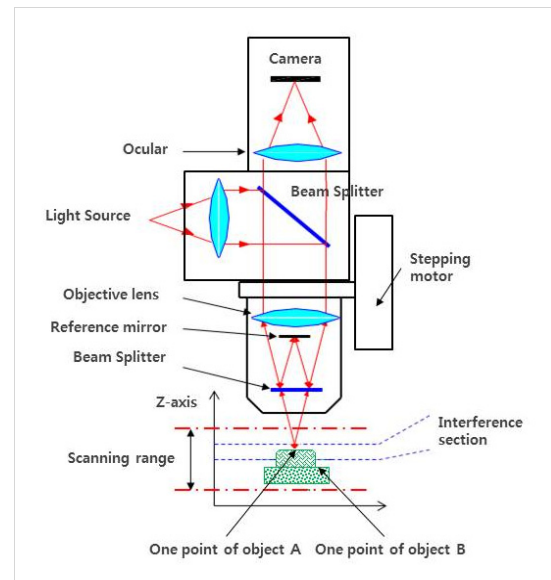


Fig. 1 principle of WSI

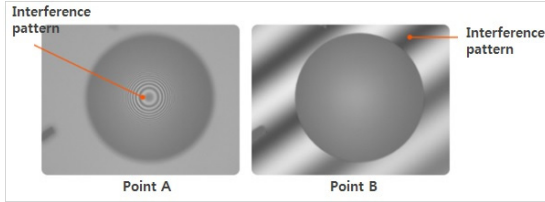


Fig. 2 interference pattern

이러한 원리를 이용하여 미세제어가 가능한 모터 (motor; stepping motor)를 일정한 속도로 이동시키며 다수의 획득한 영상을 분석하게 되면 그림 3와 같이 간섭무늬가 발생하는 구간이 존재하게 된다. 이 구간에서 간섭무늬의 세기 프로파일(intensity profile)을 구할 수 있고 가장 강한 세기를 가진 위치를 구하여 대상물의 특정 포인트에 대한 상대적 높이 값을 알 수 있으며 획득된 영상의 전 영역에서 3차원 높이 정보를 얻을 수 있다[7-9].

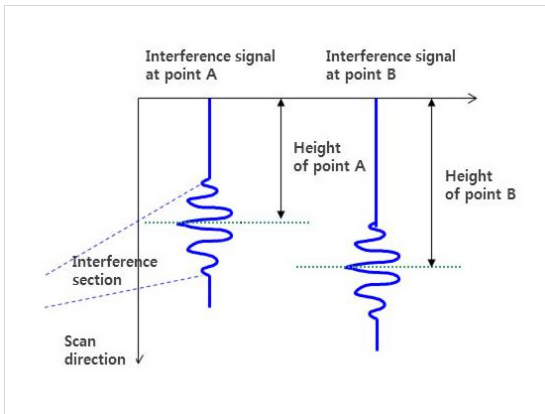


Fig. 3 interference section of WSI

2.2. 시스템 구성

그림 4와같이 좌, 우로 자유롭게 측정 대상 물체를 이동시킬 수 있는 매뉴얼 스테이지를 설치하고 그 위로 스테이지 상면과 수직하게 백색광 간섭계를 설치하였다. 이때 백색광 간섭계는 모터에 의해 상, 하로 움직일 수 있다.

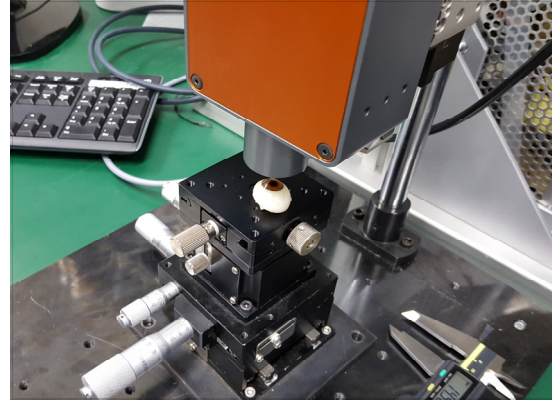


Fig. 4 system Configuration

백색광 간섭계는 Heliotis사의 HeliInspect H4를 사용하였고 주요 사양은 표 1과 같다.

Table. 1 specification of WSI

item	specification
3D sensor	heliSense s3
light source	IR LED
FOV	11.12 x 11.6 mm
resolution(x, y)	10 μ m
resolution(vertical)	0.1 μ m
scan speed	3 mm/s

본 시스템에서 사용한 조명은 사람의 눈에 직접 발광되어도 사람이 민감하게 반응하거나 신체에 악영향을 주지 않도록 적외선 엘이디(IR LED)를 사용하였다. 이때, 주변 환경의 조명은 적외선 영역의 빛과 간섭이 일어나지 않도록 하는 것이 중요하다. 따라서 암실환경이 가장 좋으나 특이하게 강한 다른 조명이 없는 일반적 실내 환경이면 무난하다. 또한 피검사자 및 측정 주위 환경에 따라 조명의 세기를 다르게 할 필요가 있기 때문에 빛의 세기를 잘 조절할 수 있는 LED 조명 컨트롤러를 사용하는 것이 좋다[10, 11].

측정 대상 물체가 사람의 눈이므로 피 검사자마다 눈과 외안 와연의 크기와 위치가 달라질 수 있으며, 동일한 피 검사자라 할지라도 측정 때마다 눈의 절대 위치가 바뀐다. 그러므로 검사 때마다 측정 기준 위치(각막의 정점, 외안와연)가 항상 달라질 수 있으며 측정 기준 위치가 달라져도 쉽게 측정 할 수 있도록 넓은 측정영

역(FOV; field of view), 사람이 순간적으로 움직이지 않고 측정에 순응할 수 있는 짧은 시간 동안 측정 할 수 있도록 빠른 검사 시간 등을 고려하여 이미 개발된 제품을 사용하였고, 의안은 실제 안구와 시각적으로 매우 흡사한 제품을 사용하였다.

측정 대상체인 사람의 눈은 그림 5와 같이 의안(CR-1095-G20, 캐나다)으로 대체하였다.



Fig. 5 eyeball

측정 프로그램은 그림 6과 같이 스캔 모션 제어(scan motion control), 영상 획득, 간섭무늬 영상 분석, 높이 측정값 변환 알고리즘 등의 기능을 가진 Heliotis사의 HeliCommanderTM을 사용하였다.

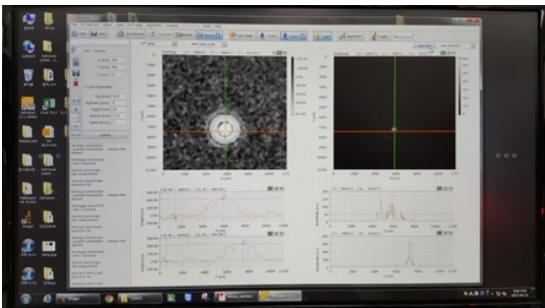


Fig. 6 measurement GUI

2.3. 실험 방법

그림 7와 같이 의안의 중심부로 광학계(백색광 간섭계)를 위치시키고 모터를 30.6mm에서 27.8mm까지 2.8mm를 수직으로 스캔한다. 이때, 28.0mm 지점부터 27.8mm까지 0.2mm 구간에서 센서에 얻어지는 간섭무늬(interferogram)들을 분석하여 그림 8과 같이 3D 데이터로 만들어 각막의 정점 위치 데이터를 얻는다.

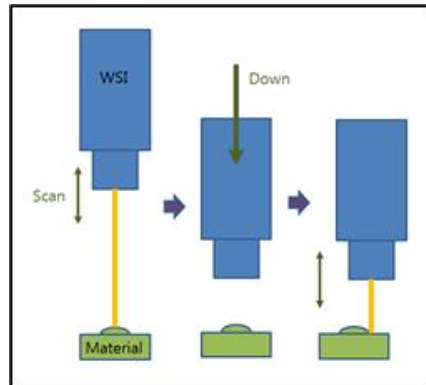


Fig. 7 experimental methods and procedures

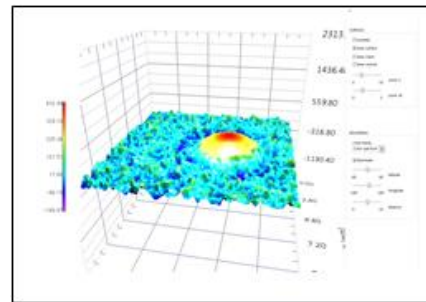


Fig. 8 3D height measurement results

외안와연의 높이 데이터를 얻기 위해 광학계를 의안의 가장자리 부근으로 위치시키고, 일반적인 성인 한국인의 안구 돌출도로 알려져 있는 대략적인 높이(14.8mm)만큼 모터의 초기위치를 이동하여 15.8mm에서 13.0mm까지 각막의 정점 높이를 얻을 때와 동일하게 2.8mm를 이동하며 의안 하부 끝의 높이 데이터를 얻는다.

사람의 실제 눈을 측정하게 될 경우, 사람은 고정되어 있고 광학계에 상하좌우로 움직일 수 있는 모터를 적용, 설치하여 자유롭게 이동이 가능한 시스템으로 구성하여 눈의 정점과 끝점을 측정할 수 있다.

III. 결과

표 2와 같이 의안의 최고 높이와 최저 높이의 측정은 각각 50회씩 실시하였고, 각각의 평균값과 표준편차를 구하였다. 안구의 정점에 해당하는 최고점의 평균 높이는 $379.469 \pm 10.619 \mu\text{m}$, 최저점은 $0.617 \pm 0.267 \mu\text{m}$ 으로 측

정되었다.

Table. 2 measurements and standard deviations of the top and bottom points of the eyeball (mean±standard deviation, μm)

item	top point	bottom point
value(μm)	379.469±10.619	0.617±0.267

이때 최고점과 최저점간의 높이는 식 1과 같이 최고점의 측정값, 최저점의 측정값 및 모터의 두 측정 지점 간 수직 이동거리의 관계식으로 결정되며 이때 본 실험에서의 두 측정 지점 간 수직 이동거리는 14.8mm이다.

$$H = (h_t - h_b) + d \quad (1)$$

where, H : 안구돌출값
 h_t : 최고점 측정값, h_b : 최저점 측정값
 d : 측정 지점 간 수직 이동거리

표 3은 총 50회씩 최고점과 최저점을 측정된 값으로 계산된 높이 값이고 평균 15.179±0.011mm의 결과를 나타낸다. 즉, 실험에 사용된 의안을 백색광 간섭계를 사용하여 측정된 결과는 평균 15.179mm의 높이를 가지며 ±0.011mm의 측정 오차를 가진다.

Table. 3 height from top to bottom of the eyeball

No.	value	No.	value	No.	value
1	15.156	18	15.170	35	15.189
2	15.176	19	15.181	36	15.185
3	15.167	20	15.179	37	15.201
4	15.172	21	15.184	38	15.186
5	15.166	22	15.170	39	15.191
6	15.186	23	15.183	40	15.184
7	15.160	24	15.193	41	15.179
8	15.182	25	15.189	42	15.184
9	15.160	26	15.171	43	15.186
10	15.182	27	15.194	44	15.183
11	15.172	28	15.170	45	15.193
12	15.173	29	15.181	46	15.178
13	15.173	30	15.179	47	15.193
14	15.163	31	15.184	48	15.183
15	15.165	32	15.170	49	15.195
16	15.171	33	15.183	50	15.192
17	15.194	34	15.193		

표 4는 기존의 수동식 안구 돌출계를 사용하여 검사를 진행했을 때와 백색광 간섭계를 이용한 본 연구의 측정 방법으로 검사를 진행했을 때의 차이를 나타낸다.

기존의 발표된 연구에서는, 연구 결과마다 차이를 가지고 있지만 평균적으로 ±1.0-1.5mm의 측정 오차가 있는 것으로 알려져 있고 본 연구에서 제안한 백색광 간섭계를 이용한 측정값은 ±0.011mm의 오차를 가진다.

Table. 4 comparison of error according to measuring method

item	manual method	method using WSI
measurement error(mm)	±1.0-1.5	±0.011

IV. 결론

본 연구에서는 안와 냉의 여러 병적인 상태를 진단 및 치료에 있어서 매우 중요한 측정값 중 하나인 안구의 돌출 정도를 측정하는 방법에 대해 새로운 제안에 의한 실험을 진행하였다. 기존에 가장 많이 사용되고 있는 Hertel 안구돌출계와 Naugle 안구돌출계의 수동식 측정 방법은 검사자가 달라질 때 또는 동일 검사자라도 검사를 할 때마다 측정 기준 위치가 달라지고 검사자의 눈으로 눈금을 읽어 그 수치를 인식하여 측정하는 방식으로 사람에 의한 제거 불가능한 필연적인 오차가 발생된다. 이때 발생하는 오차를 백색광 간섭계를 이용한 3D 자동화 측정 시스템으로 구축하여 안구 돌출을 높이 값으로 측정하여 반복 재현성을 개선하고자 하였다. 기존의 수동식 방식으로 측정하는 안구 돌출값은 발표되는 연구마다 차이를 가지고 있고 평균적으로 ±1.0-1.5mm의 측정 오차가 있는 것으로 알려져 있지만 본 연구에서 제안한 백색광 간섭계를 이용한 측정값은 ±0.011mm의 오차로 나타나 기존 수동식 안구돌출계 측정 오차의 4.4% 수준으로 거의 오차가 없다고 볼 수 있다.

본 연구의 결과로 미루어 볼 때 제안된 방법으로 실제 사람의 안구돌출도를 측정할 수 있는 장비로 구성한다면 기존의 수동식 안구돌출계를 이용하는 방법보다 매우 재현성이 높게 안구돌출값을 측정할 수 있을 것으로 예상된다.

REFERENCES

- [1] K. H. Kook, Y. K. Kim, and S. Y. Lee, "Exophthalmometric values of Korean using Hertel and Naugle exophthalmometers," *Ophthalmological Society*, vol. 44, no. 1, pp. 10-15, Jan. 2003.
- [2] J. H. Yum, S. K. Choi, Jin Hyoung Kim, and D. H. Lee, "Comparison of Aberrations in Korean Normal Eyes Measured With Two Different Aberrometers," *Ophthalmological Society*, vol. 50, no. 12, pp. 1789-1794, Dec. 2009.
- [3] J. H. Hwang, S. Y. Lee, and S. J. Kim, "Comparison of Reproducibility between Exophthalmometer Readings Measured with Hertel and Naugle Exophthalmometer," *Ophthalmological Society*, vol. 40, no. 2, pp. 293-298, Feb. 1999.
- [4] E. Nkenke, M. Benz, T. Maier, J. Wiltfang, L. M. Holbach, M. Kramer, G. Hausler, F. W. Neukam, "Relative en- and exophthalmometry in zygomatic fractures comparing optical non-contact, non-ionizing 3D imaging to the Hertel instrument and computed tomography," *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, vol. 31, no. 6, pp. 362-368, Dec. 2003.
- [5] S. H. Lee, K. W. Ko, K. C. Ko, S. Y. Cho, "Development of White Light Scanning Interferometry Autofocusing Equipment for LCD part Inspection," *Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference*, pp. 3-4, Oct. 2006.
- [6] I. B. Chyun, K. N. Joo, "Sub-sampling Technique to Improve the Measurement Speed of White Light Scanning Interferometry," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, vol. 31, no. 11, pp. 999-1006, Nov. 2014.
- [7] Y. S. Ghim, A. Davies, and H. G. Rhee, "Accuracy Improvement and Systematic Bias Analysis of Scanning White Light Interferometry for Free-form Surfaces Measurements," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, vol. 31, no. 7, pp. 605-613, Jul. 2014.
- [8] Y. M. Goo, K. H. Lee, "Flip Chip Bump 3D Inspection Equipment using White Light Interferometer with Large F.O.V.," *Journal of the Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 23, no. 4, pp. 286-291, Aug. 2013.
- [9] K. W. Ko, J. H. Sim, and M. Y. Kim, "A High-Speed White-Light Scanning Interferometer for Bump Inspection of Semiconductor Manufacture," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, vol. 30, no. 7, pp. 702-708, Jul. 2013.
- [10] N. Arora, M. Martolia, A. Ashok, "A Comparative study of the Image Registration Process on the Multimodal Medical Images," *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*, HSST, ISSN : 2508-9080, vol.3, no.1, pp.1- 17, Mar. 2017
- [11] A. S. Oh, "LED Lighting Monitoring System Using Bluetooth BLE," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol.21, no.2, pp. 367-372, Feb. 2017



장중수(Jung-Soo Chang)

2011년 아주대학교 정보전자공학과 석사
2016년 아주대학교 의용공학과 박사과정
2004년 ~ 현재 (주)에스에프에이 수석연구원
※ 관심분야 : 임베디드 시스템, 영상 처리, 바이오 메디컬 검사 및 측정 시스템



김영길(Young-Kil Kim)

1978년 고려대학교 전자공학과 학사
1980년 한국과학기술원 석사
1984년 ENST(프랑스)박사
1984년 ~ 현재 아주대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 임베디드 시스템, 초음파 의료기기, Mobile 의료정보 시스템, RFID Platform