



Development of Optic Coherence Tomography Device for Contact Lens Inspection

Ju Hak Lee¹, Byung Ho Ha¹, Dae Kwang Jang¹, Young Mi Kim¹, Yee Rin Jung¹,
Sung mi Han², and Ki Hong Kim^{1,*}

¹Dept. Optometry & Vision Science, Catholic University of Daegu, Kyungsan

²Optical Convergence Technology Center, Catholic University of Daegu, Kyungsan

(Received July 30, 2018; Revised August 28, 2018; Accepted September 7, 2018)

Purpose: Visual inspection using a contact lens analyzer is carried out to inspect defective contact lenses that occur in the manufacturing process of contact lenses. However, visual inspections of contact lens analyzer are difficult to identify internal defects in contact lenses. Therefore, in this study, by using Optic Coherence Tomography (OCT), images of 3D contact lenses were acquired, so that it is possible to inspect not only the surface but also the internal defects. **Methods:** We fabricated a non-destructive OCT system using a 20 mW light source with a swept source wavelength of 1310 nm and a balanced optical receiver with a Balanced Photoreceiver DC-80 MHz and 900-1700 nm for contact lens measurement. 300 defective contact lenses were measured with a contact lens analyzer and OCT, respectively. To reduce the error, the measurement time was measured within 5 seconds for each sample, and was repeated three times per sample. **Results:** The results were compared with contact lens analyzer and OCT, Edge defects that can be identified with the naked eye were measured similarly, but if the surface scratches and internal bubbles or visual difficulties were difficult to observe them, it was difficult to observe with contact lens analyzer but could be confirmed with OCT. **Conclusions:** At present, most contact lens manufacturers conduct visual inspections using a contact lens analyzer when measuring defects, but they are inefficient and inaccurate. In this study, we developed OCT equipment and examined contact lens defects which can not be detected by contact lens analyzer. It is expected that the efficiency and accuracy of inspection will be improved through automation in the future.

Key words: Optic Coherence Tomography (OCT), Contact lens analyzer, Contact lens

서 론

최근에는 미적 요소에 대한 관심이 높아지면서 안경보다는 콘택트렌즈를 찾는 소비자가 증가하는 추세이다. 그러나 소프트콘택트렌즈는 눈에 직접 닿기 때문에 이물질이나 미세한 자체 결함만으로도 안구 손상으로 인한 불편함을 초래한다. 소프트콘택트렌즈의 제조 공정에서 발생하는 불량 소프트콘택트렌즈를 검사하기 위하여 확대투영기를 활용한 육안검사를 시행하고 있다. 확대투영기는 사업장에서 일반적으로 미세 측정물을 효율적인 방법으로 측정, 검사 및 관찰하기 위해 사용되는 정밀 측정기기중 하나이다. 그러나 확대투영기 육안검사는 표면의 큰 결함만 확인이 가능하고 소프트콘택트렌즈의 내부 결함은 확인하기 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 Optic Coherence Tomography (OCT)를 제작하여 3D 소프트콘택트렌즈의 영상을 얻음으로써 표면뿐만 아니라 내부의 결함까지 정확한 검사가 가

능한지 여부를 확인하고자 하였다. OCT는 뉴턴에 의해 백색광 간섭계 (White light interferometry) 의 형태로 최초로 제안되었지만 실제로 사용된 것은 1987년 광섬유를 이용한 OCDR이 최초였다.^[1] 이때의 연구는 빛의 결맞음 길이만 사용하여 1차원상에서 반사체의 위치를 알아내는데 국한되었지만 1991년 Science지에 OCT 라는 이름으로 MIT의 D. Huang에 의하여 논문이 게재 되면서 2-D 또는 3-D 단층영상에 대한 연구로 발전하게 되었다.^[2] 광학영상기법은 기존의 영상기법에 비해서 많이 향상된 분해능을 제공하여 수 μm 정도의 크기의 샘플을 측정할 수 있는 장점을 가지며 광단층영상법인 OCT는 매우 빠른 속도로 발전하고 있는 광학영상법 중의 하나이다.^[3,13] 최근에는 시간영역 방법 시스템의 여러 가지 한계점으로 인하여 주파수 영역 시스템을 사용하는 추세이다. OCT 시스템은 공초점 현미경 및 고휘도 현미경의 측정범위 보다 깊은 조직의 미세구조 단층까지 영상화 할 수 있다.^[4] 측정된 간섭무늬의

*Corresponding author: Ki Hong Kim, TEL: +82-53-850-2551, E-mail: kkh2337@cu.ac.kr

위상정보를 분석함으로써 도플러 주파수 변이에 따른 혈류와 같은 유체의 동적 변화를 영상으로도 구현할 수 있다.^[5,6] 빛이 가지는 편광특성을 활용함으로써 생체 깊이별 복굴절 특성의 변화도 영상으로 시각화 할 수 있다.^[7] 그 밖에 생체 샘플에 조사되어진 다양한 파장성분들의 흡수특성을 분석함으로써 생체의 분광학적인 정보를 얻을 수 있다.^[8] OCT가 보편적으로 많이 사용되는 1310 nm의 파장대역에서는 생체를 물과 근사한 성분으로 간주하고 접근하고 있어 연조직에서는 광의 흡수 및 산란이 깊이를 예측하는데 사용될 수 있겠다.^[9] 광계측 분야의 측정기술을 활용하여 OCT가 가지는 고분해능의 특징을 유지하면서 단층영상의 획득속도 및 구현속도를 실시간 수준으로 향상시킬 수 있게 되었다.^[10,11] OCT 시스템은 광섬유를 사용하기 때문에 비용도 저렴하고 크기도 작아서 이동이 용이하다. 본 연구에서는 광섬유를 사용한 주파수 영역 OCT 시스템을 제작하여 소프트 콘택트렌즈 시편을 사용하여 sample조직의 단층영상을 측정하였다.

GB/s (1600 MB/s)의 빠른 데이터 처리 속도와 500 MS/s의 샘플 레이트, 그리고 최대 250MHz 전력 대역폭을 사용하는 디지털라이저 (ATS9350-102)를 사용하였다. 그리고 스캔길이 10 mm, 스캐너 빔 사이즈 5 mm를 사용하는 갈바노 미러 스캐너 (GVS102)와 일정한 전압공급 및 갈바노 미러에 전원을 전달하는 갈바노 미러파워 공급장치 (GPS011)를 사용하였으며, 110/240 V AC 전원 동작 컨트롤러와 온도제어 (+10 ~ -40도) 모듈이 같이 포함되어 있는 레이저다이오드 드라이버 (Pilot4-AC)와 단색광 구동모드로 파워 전원 공급이 가능한 CMOS 카메라를 사용하였다. 고속 컨트롤을 위한 GPU와 시스템 제어 및 데이터수집 장치를 위한 것으로 제어컨트롤러(Opti2018)를 사용하여 비파괴 광 간섭 단층촬영 장비인 OCT를 소프트 콘택트렌즈 측정용으로 제작하였다. 파장가변 광원의 빛은 1×2 광섬유 커플러를 통해 70:30으로 나뉘며, 70%의 빛은 샘플팔로 진행되고 30%의 빛은 기준팔로 진행된다.^[12] 광원과 2×2 커플러 사이에 서큘레이터를 배치하여 기준팔과 샘플팔에 반사되어 돌아오는 빛이 광원으로 피드백 되는 것을 차단하였다.^[13] 진행되었던 빛은 기준 거울과 갈바노 거울에 반사되어 돌아온 후 2×2 광섬유 커플러에 합쳐지게 되며, 샘플팔과 기준팔 두 빛의 경로 차에 의해서 간섭현상을 일으키게 된다. 이 때 발생된 간섭신호는 광 수신기로 받게 되며, 샘플 조직의 이미지 처리를 할 수 있다 (Fig. 1).

대상 및 방법

1. OCT 제작

1310 nm 파장 범위와 12 mm의 coherence 길이를 사용하는 레이저스캐닝(HSL-20)과 8레인 PCI Express 인터페이스를 기반으로 하는 고속 12bit 파형 디지털라이저로 1.6

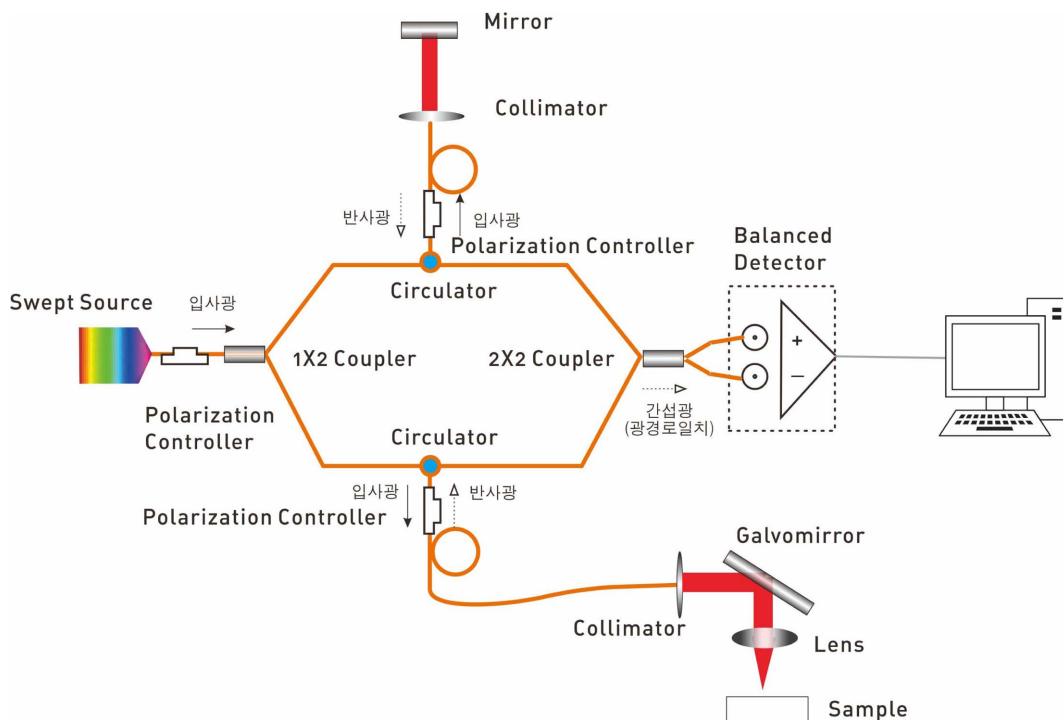


Fig. 1. Configuration of OCT system.

2. 방법

B제조업체에서 3개월간 제조 공정에서 발생하는 결함이 있는 소프트콘택트렌즈 300개(Bubble, Scratch, Edge defect 3개 그룹)를 제공받아 실제 제조 공정과 동일한 환경에서 확대투영기와 OCT로 각각 측정 하였다. 제작 방법 중 건식시료는 기공의 크기나 모양의 변화로 인하여 습식으로 제작하여 실험을 진행하였다. 확대투영기의 측정은 습식 환경에서 측정하였고 OCT 측정은 건식 환경에서 측정하였다. 확대투영기를 활용한 육안검사는 콘택트렌즈를 관찰할 때 주관적인 입장 때문에 검사 시간이 일률적이지 않고, OCT로는 5초 이내로 일률적이므로 이 점은 유의 할 필요가 있다. 오차범위를 줄이기 위해 측정 시간은 각 sample당 5초 이내로 측정하였다. 그리고 각 sample당 3회씩 반복측정 하였다.

결과 및 고찰

1. 소프트콘택트렌즈 샘플 시료

B제조업체에서 결함이 있는 소프트콘택트렌즈 300개 (Bubble, Scratch, Edge defect 3개 그룹)를 제공받아 확대 투영기와 OCT장비로 각각 측정하여 분류하였다(Table 1).

2. 확대투영기와 OCT의 2D 영상

육안으로 Edge defect의 형태를 확인할 수 있는 sample에서는 확대투영기의 2D 영상에서도 결함의 확인이 가능 했고, 2D OCT 영상에서도 소프트콘택트렌즈 결함 여부를 확인할 수 있었다(Fig. 2).

3. 광단층촬영

Table 1. Measuring 300 soft contact lenses (bubble, scratch, edge defect) by Contact lens analyzer and OCT equipment

Kind	Edge defect	Bubble	Scratch
Quantity	212	61	27

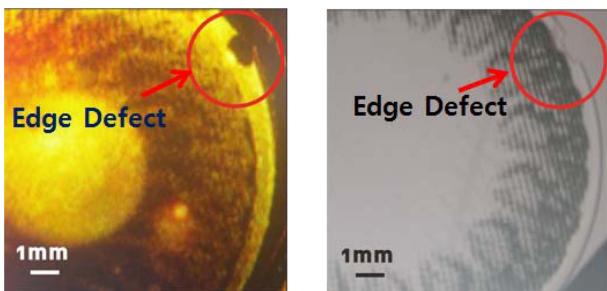


Fig. 2. Edge defect of soft contact lens image taken with OCT (left), Contact lens analyzer (right).

또 다른 소프트콘택트렌즈의 미세한 Bubble sample을 측정된 것을 OCT를 활용한 3차원 입체 영상 rendering에 이용을 하였다(Fig. 3). 측정된 영상을 3차원으로 rendering하여 확인함으로써 확대투영기로는 볼 수 없었던 소프트콘택트렌즈의 단층을 관찰할 수 있었으며 보다 명확하게 Bubble 결함 부위의 형상을 시각화할 수 있었다. 이런 영상을 통하여 소프트콘택트렌즈의 Bubble 부위를 확인하는데 도움이 될 수 있을 것이라고 판단된다. 소프트 콘택트렌즈의 Scratch 같은 경우 내부의 결함인지 외부의 결함인지 확대투영기를 활용한 육안검사로는 확인하기 힘들다. 이런 점을 고려할 때 OCT의 3차원 rendering을 통하여 방향에 따른 단층면인 Sagittal plane, Coronal plane, Horizontal plane에서 관찰되는 소프트 콘택트렌즈 결함 여부를 알 수 있다는 것은 큰 의미가 있다고 볼 수 있다(Fig. 4). 미세한

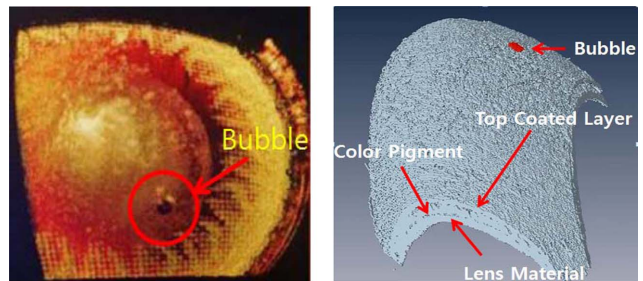
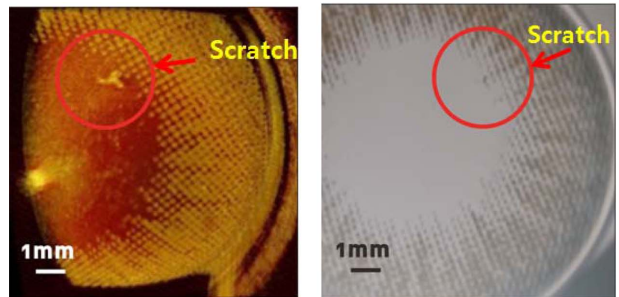
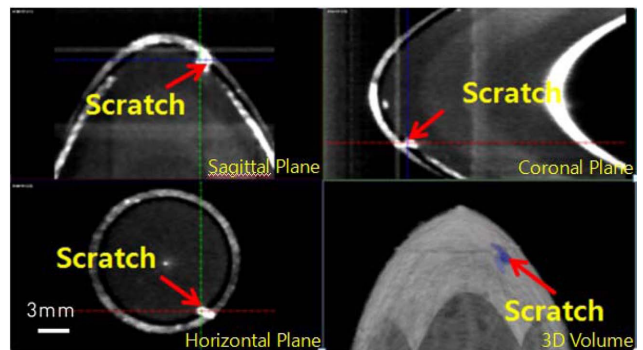


Fig. 3. Bubble of soft contact lens image taken with OCT (left), 3D tomographic image (right).



(a) Scratch of contact lens image taken with OCT. (b) Contact Lens Analyzer.



(c) 3D tomographic image.

Fig. 4. Scratch of soft contact lens image taken with (a) OCT, (b) Contact lens analyzer, (c) 3D tomographic image.

결합을 확인하기 위해서는 상당히 조밀한 단층영상을 촬영해야 하며 이에 따라 많은 시간이 소요될 수 있다. OCT 장비를 활용한 소프트콘택트렌즈의 단층영상은 Edge defect, Bubble, Scratch 등의 결합 여부를 정확하고 편리하게 찾아낼 수 있는 유용한 방법이 될 가능성이 높다.

결 론

본 연구는 가변파장이 1200 nm~1400 nm인 OCT 시스템을 제작하여 결합이 있는 소프트콘택트렌즈를 확대투영기와 OCT로 단층영상을 측정하였다. 육안으로도 확인이 가능한 Edge defect 경우 확대투영기와 OCT의 2D 영상으로 모두 확인이 가능했다. 그러나 미세한 Bubble의 경우에 확대투영기로는 소프트렌즈의 결합 여부를 확인하기 힘들었지만 OCT 단층영상을 사용하여 소프트콘택트렌즈의 층을 확인 할 수 있었고 결합이 소프트콘택트렌즈의 외부에 있으면 확대투영기로 확인이 가능하지만 내부에 있을 경우 콘택트렌즈 외부의 패턴(컬러 무늬)에 의하여 확인이 불가능할 경우가 있으므로 Bubble의 결합 부위를 시각화 하는데 많은 도움이 되었다. Scratch의 경우 아주 미세한 결합이기 때문에 외부 보다 내부에서 결합이 있으면 더욱 관찰하기 어렵다. 이러한 경우에 확대투영기로는 확인이 어렵고 OCT를 이용한 3D 단층영상을 통해 문제점을 해소할 수 있는 장점이 있다. 소프트렌즈의 결합을 미연에 방지하는 것이 중요하다는 점에서 OCT를 이용한 영상법이 큰 의미를 가질수 있겠다. 현재 소프트콘택트렌즈의 결합 유무를 판단하기 위해 확대투영기를 사용하는 것은 비효율적이며 부정확하다는 단점을 가지지만, OCT를 활용할 경우 조금 더 빠르고 정확한 검사가 가능할 것으로 예상해볼 수 있다. 이 검사의 목적은 소프트콘택트렌즈의 결합 유무에 대한 확인을 디지털화 하는 것이고, 향후 측정 데이터가 쌓인다면 불량검사의 완전한 자동화를 위한 기초로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 창의산업거점기관지원사업 지원으로 수행한 [안광학렌즈 소재기술 및 신뢰성기반구축사업] 연구결과입니다(No. R0004080).

REFERENCES

- [1] Youngquist RC, Carr S, Davies DEN. Optical coherence-domain reflectometry: a new optical evaluation technique. *Opt Lett.* 1987;12(3):158-160.
- [2] Huang D, Swanson EA, Lin CP, Schuman JS, Stinson WG, Chang W et al. Optical coherence tomography. *Science.* 1991;254(5035):1178-1181.
- [3] Huang Q, Eason JC, Claydon FJ. Membrane polarization induced in the myocardium by defibrillation fields: an idealized 3-D finite element bidomain/monodomain torso model. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1999;46(1):26-34.
- [4] Fercher AF, Hitzinger CK, Drexler W, Kamp G, Sattmann H. In vivo optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol.* 1993;116(1):113-114.
- [5] Izatt JA, Kulkarni MD, Yazdanfar S, Barton JK, Welch AJ. In vivo bidirectional color Doppler flow imaging of picoliter blood volumes using optical coherence tomography. *Opt Lett.* 1997;22(18):1439-1441.
- [6] Chen Z, Milner TE, Dave D, Nelson JS. Optical Doppler tomographic imaging of fluid flow velocity in highly scattering media. *Opt Lett.* 1997;22(1):64-66.
- [7] Strasswimmer J, Pierce MC, Park BH, Neel V, de Boer JF. Polarization-sensitive optical coherence tomography of invasive basal cell carcinoma. *J Biomed Opt.* 2004;9(2):292-298.
- [8] Faber DJ, Mik EG, Aalders MCG, van Leeuwen TG. Light absorption of (oxy-)hemoglobin assessed by spectroscopic optical coherence tomography. *Opt Lett.* 2003;28(16):1436-1438.
- [9] Kim SW, Choi ES, Lee SS, Lim WB, Kim JS, Jeon SM et al. Application of optical cross-sectional imaging based on high-resolution interferometry to oral diagnosis. *Kor J Oral Maxillofac Pathol.* 2013;37(2):39-50.
- [10] Bail MA, Haeusler G, Herrmann JM, Lindner MW, Ringler R. Optical coherence tomography with the "spectral radar": fast optical analysis in volume scatterers by short-coherence interferometry. *SPIE.* 1996;2925:298-303.
- [11] Häusler G, Lindner MW. "coherence radar" and "spectral radar"-New tools for dermatological diagnosis. *J Biomed Opt.* 1998;3(1):21-31.
- [12] Jang JY. Development and application of swept source optical coherence tomography for real-time imaging. Master Thesis. Yonsei University, Seoul. 2008;19-20.
- [13] Kim HS. Realization of swept source optical coherence tomography System using loop mirror within reference arm. Master Thesis. Kangwon National University, Chuncheon. 2007;31-32.

콘택트렌즈 검사를 위한 OCT(Optic Coherence Tomography) 장비 개발

이주학¹, 하병호¹, 장대광¹, 김영미¹, 정예린¹, 한성미², 김기홍^{1,*}

¹대구가톨릭대학교 안경광학과, 경산

²대구가톨릭대학교 안광학융합기술사업단, 경산

투고일(2018년 7월 30일), 수정일(2018년 8월 28일), 게재확정일(2018년 9월 7일)

목적: 콘택트렌즈의 제조 공정에서 발생하는 불량 콘택트렌즈를 검사하기 위하여 확대투영기를 활용한 육안검사를 시행하고 있다. 그러나 확대투영기 육안검사는 콘택트렌즈의 내부 결함은 확인하기 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 Optic Coherence Tomography(OCT)를 이용하여 3D 콘택트렌즈의 영상을 획득함으로써 표면뿐만 아니라 내부의 결함까지 정확한 검사가 가능하도록 하였다. **방법:** 파장이 1310 nm인 swept source를 사용한 광파워 20 mW 광원과 Balanced Photoreceiver DC-80MHz, 900~1700 nm인 균형광수신기를 이용하는 비파괴 광 간섭 단층촬영 장비인 OCT를 콘택트렌즈 측정용으로 제작하였다. 결함이 있는 불량 콘택트렌즈 300개를 확대투영기와 OCT로 각각 측정하였다. 측정 시 오차범위를 줄이기 위해 측정 시간은 각 sample당 5초 이내로 측정하였으며, 한 sample 당 3회씩 반복측정 하였다. **결과:** 확대투영기와 OCT로 각각 측정하여 비교한 결과 육안으로 확인 가능한 Edge defect의 경우 비슷하게 측정되었지만, 표면의 스크래치와 내부의 기포와 같이 육안으로 확인이 힘든 경우 확대투영기로는 관찰이 어려웠으나 OCT로는 확인이 가능하였다. **결론:** 현재 대부분의 콘택트렌즈 제조업체에서는 불량을 측정할 때 확대투영기를 활용한 육안검사를 실시하고 있으나 비효율적이며 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 OCT장비를 개발하여 확대투영기로 파악이 불가능한 콘택트렌즈 불량을 검사하였고, 향후 자동화를 통해 검사의 효율성과 정확도를 높일 수 있을 것으로 보인다.

주제어: Optic coherence tomography, OCT, 확대투영기, 콘택트렌즈