

피부결 및 주름 평가에 있어 광학단층영상술(Optical Coherence Tomography, OCT) 활용 연구(Pilot Study)

김 승 훈[†] · 안 유 진* · Askaruly Sanzhar* · 김 필 운** · 정 응 규* · 이 해 광

(주)아모레퍼시픽 기술연구원, *울산과학기술원, **(주)오즈텍
(2017년 9월 15일 접수, 2017년 9월 25일 수정, 2017년 9월 26일 채택)

Evaluation of Skin Texture and Wrinkle Using Optical Coherence Tomography (Pilot Study)

Seunghun Kim[†], Yujin Ahn*, Askaruly Sanzhar*, Pilun Kim**, Woonggyu Jung*, and Haekwang Lee

Amorepacific Corporation R&D Center, 1920 Yonggu-daero, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 17074, Korea

*Department of Biomedical Engineering, UNIST, Korea

**Oz-Tec Co., Ltd., Korea

(Received September 15, 2017; Revised September 25, 2017; Accepted September 26, 2017)

요약: Optical Coherence Tomography (OCT)는 광 산란과 간섭 현상을 이용하여 비침습적으로 생체조직의 표면 및 내부 구조를 이미지화 할 수 있는 영상기술이다. OCT 기술은 질병의 조기진단과 같은 의료 분야에서 활발히 활용되어 왔으나 미용을 위한 피부진단으로의 적용은 아직 초기단계라 할 수 있다. 본 연구에서는 OCT를 피부효능평가에 도입하여 피부결 및 주름 평가에 활용 가능성을 살펴보았다. 모사판(replica)을 대상으로 한 평가에서 PRIMOS와 유사한 패턴을 보여 주었고 주름을 모사한 3차원 모델을 이용한 평가에서는 PRIMOS에 비해 측정각에 따른 오차가 적음을 확인할 수 있었다. 그리고 커버력 화장품을 이용한 사용 전후의 평가에 있어서도 이를 구분할 정도의 해상도를 보였다. 이러한 평가를 통해 OCT의 미세주름평가에서의 가능성을 알 수 있었고 향후 더 구체화된 연구를 통해 그 활용가능성에 대한 신뢰도를 높일 예정이다.

Abstract: Optical Coherence Tomography (OCT) is a non-invasive imaging method that utilizes the optical scattering and interference for visualizing the surface as well as cross-sectional structures of tissue. OCT has been used for diagnosing diseases in early stage in various medical fields, but an application in cosmetics is still at early stage. In this study, OCT was adopted to evaluate skin texture and wrinkle. Results showed similar patterns of evaluation with PRIMOS in the assessment using replica. In addition, OCT produced smaller errors at different angles compared to the PRIMOS in the assessment using 3-dimensional models of wrinkles. The resolution of the image was also high enough to differentiate the images of before and after the application of makeup products. Possible use of OCT in the evaluation of fine wrinkle assessment was studied in this research. Further development of methods is necessary to provide more evidences of the effectiveness.

Keywords: OCT (Optical Coherence Tomography), PRIMOS, skin roughness, wrinkle, evaluation

† 주 저자 (e-mail: shkim1228@amorepacific.com)
call: 031)280-5979

1. 서 론

화장품 사용에 따른 효과를 평가하기 위한 방법들은 지난 수십 년간 다양한 효능 카테고리별로 발전되어 왔으며, 특히 피부결, 주름평가에 대한 평가법은 그러한 효능 카테고리 중 대표적이라 할 수 있다. 미세주름을 측정하는 방법은 여러 방법들이 있으며, 접촉식 방법으로 모사판(replica)을 이용하여 피부 형태 모형을 제작하고 이를 분석기기(laser profilometry, optical 방식 등)로 측정, 평가하는 방법과 비접촉식 방법으로 하나 이상의 빛을 활용한 광학측정 기기(laser scanning, interferometry, moire topography 등)를 이용한 방법이 있다[1]. 현재 상기의 여러 방법들은 지속 발전되어 사용되고 있으며 비접촉식 측정에서는 줄무늬 생성을 위해 투사하는 방법에 따라 digital micro-mirror device와 photographic grids (splitter) 방식으로 나뉘게 된다. 전자의 대표적 기기는 GFM社의 PRIMOS (phaseshift rapid in vivo measuring of human skin)이 있고 후자의 방식으로는 Breuckmann社의 Derma Top-blue가 있다[1].

Optical Coherence Tomography (OCT)는 광 산란과 간섭 현상을 이용하여 생체조직의 표면 및 내부 구조를 비침습적으로 영상화 할 수 있는 영상 진단기기로 1991년 Science지에 소개된 이후 안과를 포함한 다양한 의료분야에서 질병의 조기진단 기기로 사용되어 왔다[2-5]. 피부관련 응용분야에서는 인공피부 및 인체피부를 대상으로 주변 환경과 외부 요인에 따른 조직학적 변화를 OCT 영상 촬영을 통해 2차원 혹은 3차원적으로 관찰하고 이를 정량적으로 분석하는 연구에 활용되고 있다[6-9]. OCT는 초음파 진단 기기의 원리와 유사하게 비침습 영상진단이 가능하며, 광침투 깊이의 제한으로 수 밀리미터의 투과 영상을 제공하나 분해능 측면에서는 수십 마이크로미터 레벨의 고해상도 영상 획득이 가능하다는 장점을 가지고 있다(Figure 1)[5]. OCT는 저가간섭 간섭계(low coherence interferometry) 또는 백색광 간섭계(white-light interferometry)로 구성될 수 있으며, 시편에서 조사되어 반사된 광의 깊이별 광산란 신호를 분석하여 조직의 단면 미세구조를 고해상도로 실시간 영상화하는 원리를 가진다(Figure 2).

본 연구에서는 OCT를 피부효능평가에 도입하여 피부결 및 주름 평가 등의 미세주름평가에 있어 활용 가능성을 살펴보고자 하였다. 이를 위해 총 3단계에 걸친

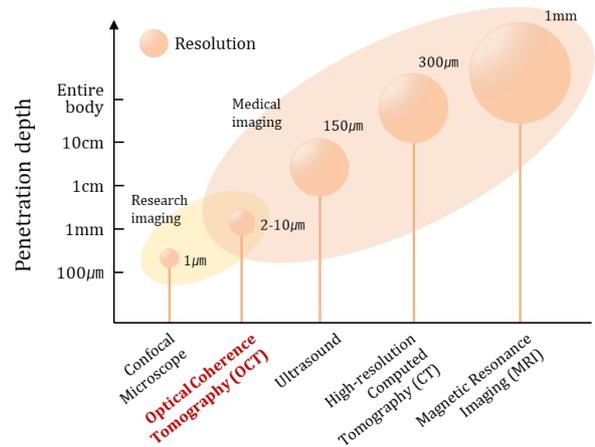


Figure 1. Comparison of imaging resolution and penetration depth between OCT and other imaging devices.

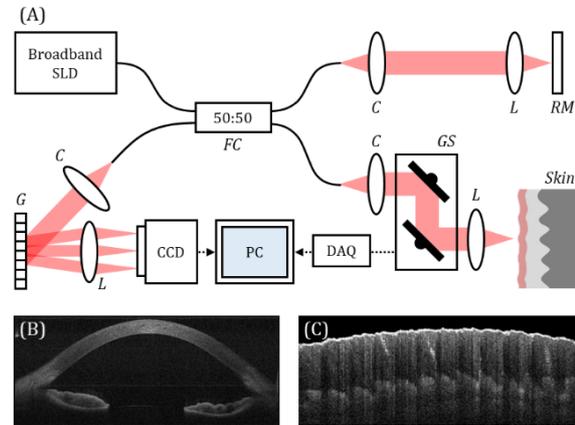


Figure 2. (A) Schematic diagram of the SD-OCT system (FC: fiber coupler, C: collimator, L: lens, RM: reflection mirror, G: grating, GS: galvanometer scanner), OCT images of (B) Human cornea, (C) Human skin.

연구과정을 수행하였으며, (1) 먼저 나이에 따라 나누어진 Young 그룹과 Old 그룹의 각각 5명의 피험자를 대상으로 전박, 뺨, 눈가 부위에서 모사판(replica)을 채취하여 PRIMOS와 OCT로 각각 촬영한 후 주름의 거칠기(Roughness)를 분석하였을 때의 경향성을 비교평가하였다. (2) 이후 주름을 모사 한 여러 형태의 3차원 모델을 제작하고 이를 동일 위치에서 각도를 바꿔가며 PRIMOS와 OCT로 직접 촬영하여 피대상의 각도에 따라 주름 평가 값이 어떻게 변화하는지를 비교함으로써 각 장비에 대한 분석 신뢰성을 검증하고자 하였으며, (3) 마지막으로 총 10명의 피험자를 대상으로 이마, 전박, 손등에 피부결 커버 제품을 도포하여 제품의 사용

전과 사용 후에 대한 주름 거칠기 값의 변화를 PRIMOS와 OCT로 각각 촬영 및 분석하여 비교평가를 진행하였다.

2. 실험 방법

2.1. 모사판을 이용한 기기간 비교 평가 연구

2.1.1. 연구대상

Young 그룹 5명(26세, 26세, 27세, 28세, 29세)과 Old 그룹 5명(43세, 53세, 59세, 60세, 62세)의 총 10명의 인원이 참여하였다.

2.1.2. 연구방법

아모레퍼시픽 기관 IRB를 통해 본 연구에 대한 승인을 받았으며(승인번호 2016-1CR-N011P), 피험자 선정 및 제외 기준에 따라 상기 연구대상 인원을 모집하였다. 측정은 눈가, 뺨, 전박 3군데에서 진행하였으며 피험자는 클렌징폼으로 측정부위를 씻고, 항온항습조건 (22 ± 2 °C, $45 \pm 5\%$)에서 약 15 min을 대기한 후, 연구자에 의해 모사판(replica)을 채취하였다. 이후 채취된 모사판을 PRIMOS와 OCT를 이용하여 촬영한 후 PRIMOS는 기기에 제공되는 프로그램으로 분석하였으며, OCT 이미지는 PRIMOS의 Ra (arithmetic roughness average), Rq (quadratic roughness average), Rmax (maximal roughness), Rt (total roughness) 파라미터의 정의를 참고하여 개발한 별도의 프로그램으로 분석하였다.

2.1.3. 측정기기

PRIMOS는 PRIMOS Premium (GFM, Germany)을 사용하였으며 OCT는 (주)오즈텍(Korea)에서 개발한 기기를 사용하였다. 본 연구를 위해 개발된 OCT는 스펙트럼로미터(spectrometer)를 광 검출기로 사용하는 SD-OCT (spectral domain OCT)로 넓은 대역의 광원과 검출단으로 CCD 카메라를 이용하는 특징을 가진다. SLD (super-luminescent diode) 광원으로부터 광섬유를 통해 전달된 근적외선 파장의 빛은 광 결합기(optical coupler)에서 둘로 나뉘어 각각 샘플단과 레퍼런스단으로 전달된다. 샘플단을 통해 전달된 빛은 피부 조직의 각 층에서 반사되어 돌아오고 레퍼런스단을 통해 전달된 빛은 거울에서 반사되어 돌아와 광 결합기에서 다시

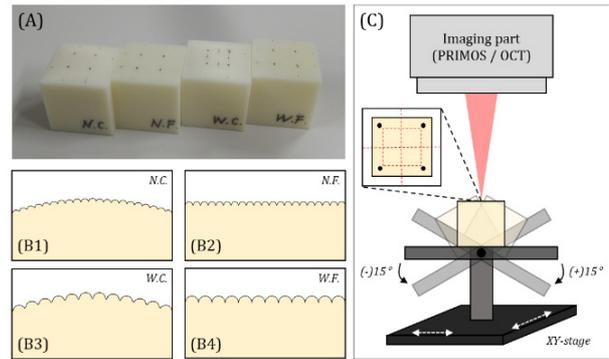


Figure 3. (A) Skin phantom model categorized four different shape, (B1) NC: narrow/curvature, (B2) NF: narrow/flat, (B3) WC: wide/curvature, WF: wide/flat, (C) Image acquisition method by tilt and linear stage.

만나게 된다. 이 과정에서 광 경로의 차이에 의해 다르게 나타나는 간섭무늬를 푸리에 변환(Fourier transform)을 통해 영상으로 구현하여 피부조직의 2차원 단층영상을 획득하게 된다.

하나의 OCT 단층영상은 스캐너(galvanometer scanner)를 통해 획득된 다수의 선형 데이터(A-line profile)로 구성되어 있으며, 2축 스캐너를 통해 단층영상을 누적하여 3차원 영상을 획득할 수 있다. 본 연구에서는 실험조건에 따라 500-1,000개의 선형 데이터를 이용하여 하나의 단층영상을 획득하였으며, 500-1,000장의 단층영상으로 하나의 3차원 영상을 구성하였다. 개발된 OCT는 초당 20장 내외의 단층영상을 촬영하여 1 min 내에 하나의 3차원 피부영상을 획득함으로써 움직임에 따른 외부 영향을 최소화하였다.

2.2. 주름 모형을 이용한 기기간 평가 연구

2.2.1. 연구대상

주름 간격과 피부 굴곡의 2가지 조건을 이용하여 총 4종류의 피부주름을 모방한 모형을 제작하였다. 피부주름 모형은 3D CAD 프로그램인 Solidworks를 통해 3차원 모델링을 구현하고 stratasys社(USA)의 3D 프린터를 이용하여 구조물을 출력하였다. 모형의 주름 간격이 좁은 경우 narrow, 넓은 경우 wide로 구분하였으며, 피부 굴곡이 없는 경우 flat, 피부 굴곡이 존재하는 경우 curvature로 표기하여 실험을 진행하였다 (Figure 3).

2.2.2. 연구방법

PRIMOS와 OCT를 이용한 주름 측정에서 피촬영대상의 각도에 따른 주름 거칠기 값의 차이를 확인하기 위해 상기의 연구대상을 각도 변경과 동일 위치로의 이동을 위한 틸트 스테이지와 선형 스테이지를 이용하여 중앙과 -15°, +15° 각도에서 PRIMOS와 OCT로 촬영한 후 각각의 프로그램으로 분석하였다(1 × 1 cm의 정사각형 영역을 표시하여 동일 영역을 촬영 분석하였음) (Figure 3).

2.2.3. 측정기기

PRIMOS는 PRIMOS Premium (GFM, Germany)을 사용하였으며 OCT는 (주)오즈텍(Korea)에서 개발한 기기를 사용하였다(상세설명은 2.1.3. 참조).

2.3. 피부결 커버 화장품 사용 전후 비교 평가 연구

2.3.1. 연구대상

총 10명(35.3 ± 8.5세)의 인원이 참여하였다.

2.3.2. 연구방법

아모레퍼시픽 기관 IRB를 통해 본 연구에 대한 승인을 받았으며(승인번호 2017-1CR-N029), 피험자 선정 및 제외 기준에 따라 상기 연구대상 인원을 모집하였다. 측정은 이마, 전박, 손등 3군데에서 진행하였으며 피험자는 클렌징폼으로 측정부위를 씻은 후, 항온항습 조건(22 ± 2 °C, 45 ± 5%)에서 약 15 min간 대기하였다. 이후 측정부위에 1 × 1 cm 정사각형 영역을 표시하였으며 PRIMOS와 OCT를 이용하여 촬영한 후, 피부결 커버 화장품을 도포한 후 15 min 대기 후 동일하게 촬영하였다. 이후 각각의 분석 프로그램을 이용하여 Sa (arithmetic roughness), Sq (quadratic roughness), Smax (maximum stretching of the roughness profile)에 대한 파라미터 분석을 진행하였다.

2.3.3. 측정기기

PRIMOS는 PRIMOS Lite (GFM, Germany) 모델을 사용하였으며 OCT는 (주)오즈텍(Korea)에서 개발한 기기를 사용하였다(상세설명은 2.1.3. 참조).

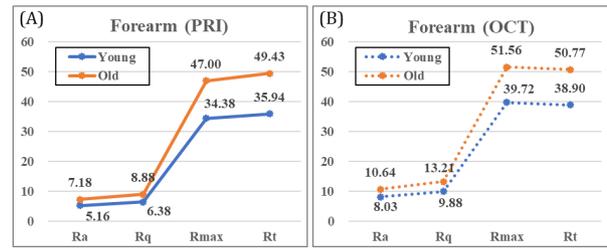


Figure 4. Results of Ra, Rq, Rmax, Rt parameters in forearm imaging, (A) PRIMIS and (B) OCT.

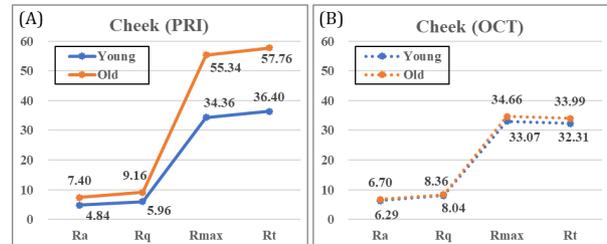


Figure 5. Results of Ra, Rq, Rmax, Rt parameters in cheek imaging, (A) PRIMIS and (B) OCT.

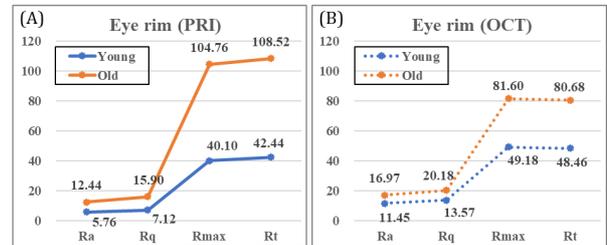


Figure 6. Results of Ra, Rq, Rmax, Rt parameters in eye rim imaging, (A) PRIMIS and (B) OCT.

3. 결과 및 고찰

3.1. 모사판을 이용한 비교 평가 연구

3.1.1. Young 그룹과 Old 그룹에서 Ra, Rq, Rmax, Rt 파라미터의 기기간 비교

전박, 뺨, 눈가에서 각각의 프로그램을 통해 Ra, Rq, Rmax, Rt 파라미터를 분석하였을 때, 모두에서 Young 그룹에서 미세주름에 대한 더 좋은 결과를 절대수치에서 다소의 차이를 보였지만 PRIMOS와 OCT는 모든 파라미터에서 유사한 경향성을 보였다(Figure 4-6).

Table 1. Ranking and Scoring of Young Group and Old Group

Forearm			Cheek			Eye rim		
Sample	PRIMOS	OCT	Sample	PRIMOS	OCT	Sample	PRIMOS	OCT
Y-1	9	1	Y-1	1	5	Y-1	5	5
Y-2	3	2	Y-2	2	6	Y-2	1	6
Y-3	4	6	Y-3	6	3	Y-3	4	4
Y-4	2	8	Y-4	5	9	Y-4	3	7
Y-5	1	4	Y-5	3	2	Y-5	2	1
SUM	19	21	SUM	17	25	SUM	15	23
Sample	PRIMOS	OCT	Sample	PRIMOS	OCT	Sample	PRIMOS	OCT
O-1	5	7	O-1	4	1	O-1	6	2
O-2	7	10	O-2	7	7	O-2	9	10
O-3	10	9	O-3	9	4	O-3	7	8
O-4	6	5	O-4	8	8	O-4	10	3
O-5	8	3	O-5	10	10	O-5	8	9
SUM	36	34	SUM	38	30	SUM	40	32

* Orange block: deviated sample from group attribution

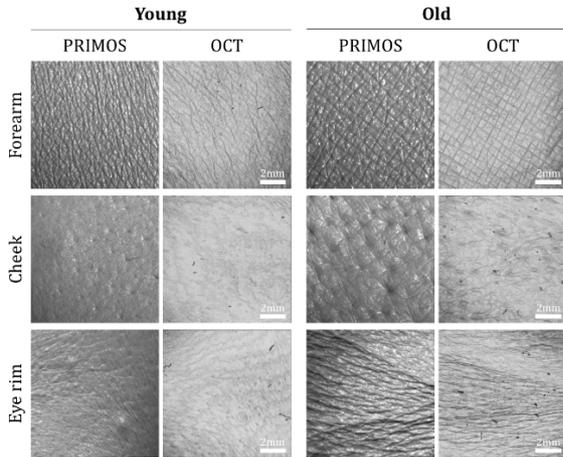


Figure 7. PRIMOS and OCT images at forearm, cheek and eyerim of Young and Old group.

3.1.2. Young 그룹과 Old 그룹에서 랭킹점수에 의한 기간 비교
 그룹당 5명의 대상자로 통계적 의미를 부여하기에는 어려움이 있어 경향성을 살펴보기 위해 수치의 순위를 매겨 점수화하였다. 이상적으로 Young 그룹이 1-5등을 Old 그룹이 6-10등에 해당하여야 하므로 등수를 점수로 하여 합계를 내었을 때 Young 그룹은 15점, old 그룹은 40점을 나타내게 된다. Table 1의 결과에서 보듯이 세부적으로는 두 기간 순위가 정확히 맞지는 않았지만 각 그룹의 속성을 보이는 정도의 유사한 경향성을 보임을 알 수 있었다(Table 1).

3.1.3. Young 그룹과 Old 그룹의 대표 이미지

각 부위의 촬영과 분석영역이 일치하지 않아 매칭이 되는 어렵지만 Figure 7에서와 같이 Old 그룹이 두

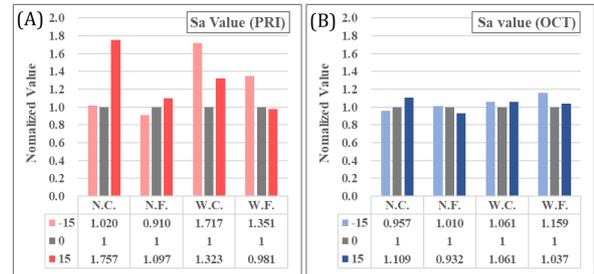


Figure 8. Deviation in Sa parameter according to measured angle, (A) PRIMOS and (B) OCT.

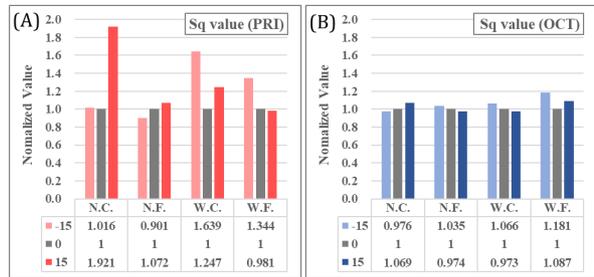


Figure 9. Deviation in Sq parameter according to measured angle, (A) PRIMOS and (B) OCT.

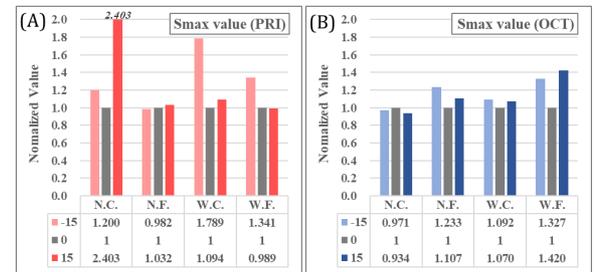


Figure 10. Deviation in Smax parameter according to measured angle, (A) PRIMOS and (B) OCT.

기기 이미지 모두에서 더 거칠고 미세주름이 많은 걸 알 수 있었다.

3.2 주름 모형을 이용한 기간 평가 연구

정면 측정을 기준으로 각도에 따른 수치 값을 정규화하여 변화 정도를 살펴보았을 때 OCT가 PRIMOS에 비해 Sa, Sq, Smax 파라미터 모두에서 각도에 따른 주름 값의 편차가 적은 것을 확인할 수 있었다(Figure 8-10). PRIMOS의 경우 동일한 부위를 촬영함에도 불구하고 대상과 영상장비의 각도에 따라 주름에 대한 분석 값에 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 반면 OCT

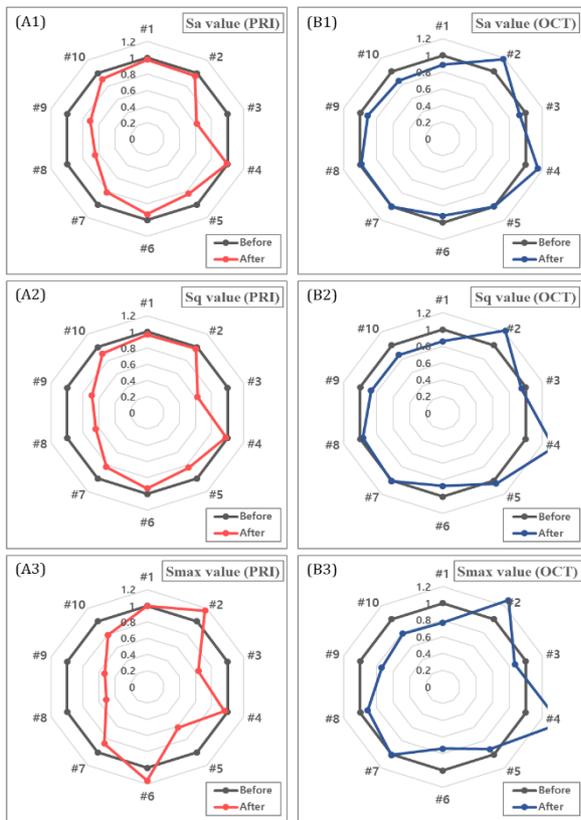


Figure 11. (A) PRIMOS and (B) OCT about Sa, Sq, and Smax parameters according to before and after applying cosmetics in ‘forehead’ region.

는 3차원 영상 데이터를 기반으로 하기 때문에 대상의 각도가 바뀌어도 결과 값에 큰 편차가 없음을 알 수 있었다. 이는 반복적인 긴 연구기간의 주름 연구에 있어 발생할 수 있는 각도에 따른 측정오차를 줄이는데 OCT가 효과적으로 활용될 수 있음을 보여준다.

3.3. 피부결 커버 화장품 사용 전후 비교 평가 연구

피부결을 커버해주는 제품의 도포 전후에 따라 주름의 수치 값이 어떻게 변하는지 PRIMOS와 OCT를 이용하여 분석하였다. 화장품 도포 전을 기준으로 도포 후의 주름 값을 정규화 하여 변화 정도를 살펴보았을 때 PRIMOS와 OCT 모두 전반적인 값들이 감소함을 확인할 수 있었다(Figure 12-14).

4. 결 론

화장품 산업의 발전과 피부미용에 대한 관심 증가는

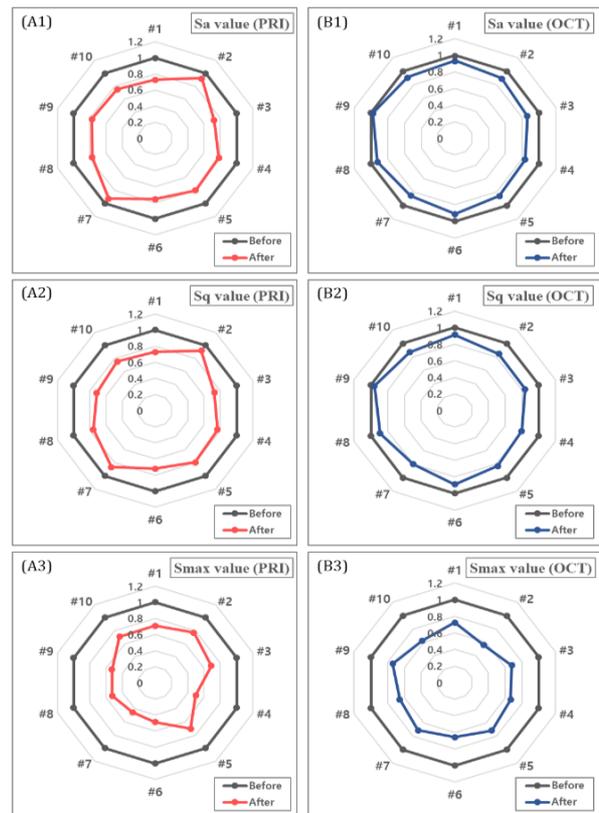


Figure 12. (A) PRIMOS and (B) OCT about Sa, Sq, and Smax parameters according to before and after applying cosmetics in ‘forearm’ region.

피부상태의 객관적 평가라는 이슈를 지속적으로 만들어 내고 있으며 이러한 이슈 중 주요한 키워드는 결과의 가시성 및 시각화라 할 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 OCT는 90년대 초 개발되어 다양한 분야에서 그 목적에 맞게 개량 발전되어 사용되고 있는 영상기기로 광 파장을 이용, 비침습적으로 표면과 내부를 살펴볼 수 있고 그 해상도도 수십 마이크로미터 수준으로 알려져 있어 다양한 방면에서 활용성이 높은 측정장비이다[6-9]. 이러한 환경 속에서 우리는 OCT를 통한 피부상태의 평가 연구의 필요성을 생각해 볼 수 있었고, 이번 pilot study 연구를 통해 그 가능성에 대해 긍정적인 결론을 낼 수 있었다. 피부 상태가 확연히 구분되는 젊은 사람과 연령이 있는 사람의 피부를 대상으로 그 적용 가능성을 살펴보았을 때 OCT는 피부 상태가 다른 두 그룹 간의 피부 상태를 구분 지을 수 있는 결과를 보여 주었다. 이후 3D 프린터로 피부주름을 모사하는 모사체를 만들어 평가한 결과에서도 OCT는 측정 각도

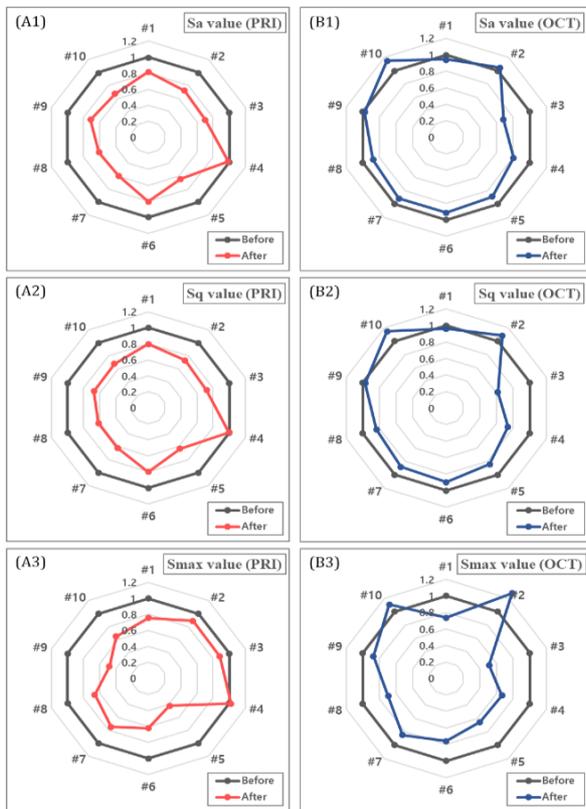


Figure 13. (A) PRIMOS and (B) OCT about Sa, Sq, and Smax parameters according to before and after applying cosmetics in ‘back of hand’ region.

에 따른 주름 분석 결과의 편차가 PRIMOS에 비해 상대적으로 적어 반복 실험 시 발생할 수 있는 측정오차 개선에 있어 장점을 가짐을 보여주었다. 그리고 모사체가 아닌 인체피부에 커버력이 우수한 화장품 도포 전후의 평가를 통해 OCT가 화장품 커버력에 의한 피부결 개선을 확인할 수 있는 수준의 해상도를 보임을 알 수 있었다.

아직 OCT의 피부 거칠기 및 주름 평가에 있어 활용에 대해 객관화 하기에는 보완해야 될 점이 많지만 비접촉, 비침습적인 이미징이 가능해 실험대상자가 편안하게 실험에 임할 수 있으며, 근적외선 파장대역의 빛을 이용하므로 가시광선 빛의 반사로 인해 발생하는 오차를 줄일 수 있는 장점이 있어 향후 측정기기 및 분석프로그램의 고도화를 통해 새로운 평가기로서 발전할 수 있을 것으로 생각된다.

이에 대한 현실화를 위해, 향후 측정장비의 간소화, 편리화 및 분석프로그램 개선 연구와化粧품의 피부

개선에 있어서의 효과 평가에 대한 연구를 진행할 예정이다.

감사의 말

본 연구는 한국보건산업진흥원 글로벌코스메틱연구개발사업단의 글로벌화장품신소재·신기술연구개발지원 연구과제(과제번호: HN13C0078)로 진행되었습니다.

Reference

1. N. S. Kim and Y. M. Kim, Development of Non-contact image measuring technique for evaluating micro-relief, *J. Soc. Cosmet. Scientists Korea*, **31**(3), 253 (2005).
2. D. Huang, E. A. Swanson, C. P. Lin, J. S. Schuman, W. G. Stinson, W. Chang, M. R. Hee, T. Flotte, K. Gregory, C. A. Puliafito, and J. G. Fujimoto, Optical coherence tomography, *Science*, **254**(5035), 1178 (1991).
3. J. Welzel, E. Lankenau, R. Birngruber, and R. Engelhardt, Optical coherence tomography of the human skin, *J. Am. Acad. Dermatol.*, **37**(6), 958 (1997).
4. B. M. Kim, Life science and optical imaging, *The Physics and the advanced technology*, 6 (2007).
5. Y. I. Kim, OCT, Optical coherence tomography, *KISTI Market Report*, **3**(2), 7 (2013).
6. A. T. Yeh, B. Kao, W. G. Jung, Z. Chen, J. S. Nelson, and B. J. Tromberg, Imaging wound healing using optical coherence tomography and multiphoton microscopy in an in vitro skin-equivalent tissue model, *J. Biomed. Opt.*, **9**(2), 248 (2004).
7. M. T. Tsai, C. H. Yang, S. C. Shen, Y. J. Lee, F. Y. Chang, and C. S. Feng, Monitoring of wound healing process of human skin after fractional laser treatments with optical coherence tomography, *Biomed. Opt. Express*, **4**(11), 2362 (2013).
8. E. C. E. Sattler, K. Poloczek, R. Kästle, and J. Welzel, Confocal laser scanning microscopy and optical coherence tomography for the evaluation of the kinetics and quantification of wound healing after

- fractional laser therapy, *J. Am. Acad. Dermatol.*, **69**(4), e165 (2013).
9. Y. Ahn, C. Y. Lee, S. Back, T. Kim, P. Kim, S. Lee, D. Min, H. Lee, W. Jung, Quantitative monitoring of laser-treated engineered skin using optical coherence tomography, *Biomed. Opt. Express*, **7**(3), 1030 (2016).
 10. K. D. Paepe, J. M. Lagarde, Y. Gall, D. Roseeuw, and V. Rogiers, Microrelief of the skin using a light transmission method, *Arch Dermatol. Res.*, **292**, 500 (2000).
 11. T. W. Fishcher, W. Wigger-Alberti, and P. Elsner, Direct and non-direct measurement techniques for analysis of skin surface topography, *Skin Pharmacol. Appl. Skin Physiol.*, **12**, 1 (1999).
 12. K. H. Lee, S. B. Son, and H. P. Park, Measurement systems for rapid product development, *J. Kor. Soc. Prec. Eng.*, **17**(5), 26 (2000).
 13. J. M. Lagarde, C. Rouvrais, D. Black, S. Diridollou, and Y. Gall, Skin topography measurement by interference fringe projection: a technical validation, *Skin Res. Technol.*, **7**, 112 (2001).
 14. P. M. Friedman, G. R. Skover, G. Payonk, ANB. Kauvar, and R. G. Geronemus, 3D *In vivo* optical skin imaging for topographical quantitative assessment of non-ablative laser technique, *Dermatol. Surg.*, **28**, 199 (2002).