

미세주름 측정을 위한 비접촉식 영상측정기술의 발전

김 남 수[†] · 김 용 민

(주)엘리드 피부과학 연구소
(2005년 6월 30일 접수, 2005년 9월 5일 채택)

Development of Non-contact Image Measuring Technique for Evaluating Micro-relief

Nam Soo Kim[†] and Yong Min Kim

Ellead Skin Research Center, 272-1, Seohyun-dong, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do 463-824, Korea
(Received June 30, 2005; Accepted September 5, 2005)

요 약: 피부노화의 정도를 판정하기 위해 사용되는 주름측정법들은 객관성과 재현성의 확보가 중요한 요소이다. 최근의 경향은 주름의 형태나 깊이에 주는 영향을 최소화하기 위해 주름 측정시 피부에 직접 기계나 도구를 접촉하지 않고 측정하는 비접촉식 측정방법으로 빠르게 전환되고 있는 상황이다. 저자들은 주름측정 기술의 변천 과정을 간단히 살펴보고, 비접촉식 fringe projection 방식의 미세주름 측정기기인 PRIMOS를 중심으로 측정원리, 특징들을 접촉식 측정방법인 모사판을 이용한 방법과 비교하였다.

Abstract: Assurance of the objectivity and reproducibility is a major key point in wrinkle measurement used for evaluating the degree of skin aging. The measurement of relief is quickly converted to a non-contact method, of which tools or instruments do not come in contact with skin directly, to minimize the artificial effects which influence the shape or depth of the relief. Here, we showed how wrinkle measurement techniques have been changed briefly and compared PRIMOS and replica method in the point of view of measurement principle and features, the former is non-contact fringe projection tool and the latter is contact type of the method.

Keywords: micro-relief, fringe projection, PRIMOS, roughness, digital micro-mirror device (DMD)

1. 서 론

기능성화장품의 정확한 평가를 위하여 새로운 비침습적 측정기기의 적용이 필요하며, 최근 몇 년간 인체적용 시험에 적합한 몇몇의 신기술 및 기기들이 연구의 중심이 되고 있다. 그 대표적인 예로서 노화로 인한 주름개선 효과 평가 분야에서 간섭줄무늬를 이용한 광학측정장비들의 발전이 그 예이다. 국내에서는 아직 이들 방식에 대한 연구가 초기 단계이지만, 지속적인 연구와 응용기술의 개발이 병행된다면 기능성화장품에 대한 더욱 정확하고 신뢰성 있는 평가가 가능할 것이다.

2. 미세주름의 분류와 측정방법의 발전과정

2.1. 미세주름의 분류

인체 피부의 표면은 인체조직과 인체를 둘러싼 환경 사이의 경계층을 말하며, 피부표면의 주름은 진피와 피하조직의 삼차원적인 조직을 반영한다. 피부의 가장 상단에 존재하는 층인 표피는 미세주름을 덮고 있으며, 미세주름의 외관을 변형시킨다[1]. 피부의 미세주름은 인체 노화과정이 잘 반영된 표시라고 할 수 있다. 피부의 미세주름을 칭하는 용어는 'relief', 'frown', 'wrinkle', 'line' 등으로 다양한데, 일반적으로 'wrinkle'은 얼굴에 생기는 주름을, 'frown'과 'line'은 전완부에 생성된 주름을, 'relief'는 이상의 단어들을 통칭하는 용어로 사용된다[2].

Hasimoto[3]의 분류에 따르면 피부의 미세주름은 다음의 사단계로 구분된다. 일차주름은 20 ~ 100 μm 의 깊이를 갖는 주름이고, 이차주름은 5 ~ 40 μm , 삼차주름은 0.5

[†] 주 저자 (e-mail: ellead@ellead.com)

Table 1. Process of Development for Measuring Micro-relief

Generation	Analysis type	Model	Specification
1 st	Visual observation of wrinkles	A powerful and useful model	
2 nd	Production of wrinkle imprints	A quantitative and reproducible model	Silicon replica Mechanical tools(Stylus method)
3 rd	A better use of wrinkle imprints	A quantitative and illustrative model	Silicon replica Using light projection(Shadow) Laser tools Transparent method 3D images with color illustrations
4 th	Wrinkle analysis with non-contact	A quantitative model and no deformation of skin surface	Using fringe projection 3D reconstruction of the skin 3D images with color illustrations

μm , 사차주름은 $0.05 \mu\text{m}$ 이며 이들이 함께 모여 소위 피부의 topographical map을 형성한다. 이들 중 일차와 이차 미세주름만이 육안적으로 관찰할 수 있다. 나이가 들어감에 따라 일차주름은 더 깊어지고 반면에 이차주름은 감소한다고 보고되었다[4,5].

2.2. 인체 피부표면 측정기술의 역사

1930년대에 독일과 영국에서 처음 시작된 물체표면의 거칠기(roughness)에 대한 측정연구와 기기의 제작은 1950년대 컴퓨터의 발전과 더불어 급진전을 거듭하였고 1970년대 들어서면서 피부표면 주름(거칠기)의 평가분야에서 응용하기 시작하였다.

미세주름 측정기기의 변천은 현재까지 사세대의 기기까지 발전하였고, 일 세대는 주름의 육안평가시기로 제품 사용 전후의 개선정도를 측정하기 위하여 전문가에 의한 육안평가가 주를 이루었다. 이 세대는 주름자국의 생성을 시도한 시기로 실리콘 재질을 기본으로 주름자국을 재현하는 모사판(replica) 제작을 시도하였다. 산업계에서 사용되는 기계적인 방법을 사용하여 이들 모사판을 기계적 측정기기로 피부표면의 거칠기를 간접적으로 분석하였다[6]. 삼 세대는 이 세대 방법의 응용과 연구가 더욱 심화되어 실리콘 모사판을 제작하고 분석하여, 이를 색도해가 첨가된 이차원 또는 삼차원영상으로 재구성하였다[4,7,8]. 일반적인 빛 조사를 이용한 주름의 분석이 이루어졌고, shadow method를 이용한 주름깊이 측정이 이루어졌으며, 특히 laser를 이용한 시험방법이 시도되어 기계적 측정기기를 대체하기도 하였다[9,10]. 1990년대 후반부터는 빛이 실리콘을 투과하는 방식을 이용한 주름 분석을 시도하였다[2]. 사 세대는 비접촉식 주름분석의 시기이다.

간섭줄무늬 조사(fringe projection)를 이용한 피부의 3차원적인 재해석이 시도되어, 심화된 삼차원 영상의 구현과 이들의 측정이 가능해졌으며, 모사판 제작에 따른 피부

표면의 변형을 유도하지 않게 되었다. Table 2는 이상에 거론된 미세주름 측정 방식들의 특징을 비교, 정리하였다.

3. 미세주름 측정방법 및 측정기기

3.1. 주름의 측정방법 및 작동원리: 접촉식과 비접촉식

피부표면의 미세주름을 측정하는 방법은 전술한 바와 같이 여러 가지 방법들이 있으며, 이들을 접촉유무에 따라 접촉식과 비접촉식의 두 가지로 나눌 수 있다. 접촉식은 모사판을 사용하여 피부의 형태 모형을 제작하고, 이를 여러 가지 분석기기(측침 방식, laser profilometry, optical 방식 등)와 영상처리 프로그램을 사용하여 주름의 거칠기를 측정한다[11]. 비접촉식은 주로 하나 또는 그 이상의 여러 가지 빛을 이용한 광학측정 기기들(laser scanning 방식, interferometry 방식, 간접줄무늬 조사방식, moire 방식)을 사용하여 측정한다. Laser scanning 기술은 laser 빛을 물체에 주사하여 반사된 결과를 CCD 카메라로 받아들이어 이미지 처리 및 삼각법을 통해 데이터를 얻는다. Moire 방식은 격자 또는 줄무늬 모양의 패턴을 피부표면에 생성되도록 하여 무늬의 변화 형태로부터 형상데이터를 얻는 기술로서, 잘 정렬된 데이터를 빠른 시간 안에 얻을 수 있다는 특징을 갖고 있다.

간접줄무늬 조사방식은 다른 방법들에 비해 늦은 1990년대 들어서 개발되기 시작하였다. 이 방법의 중요한 특성은 정해진 투사각으로 피부표면에 정교한 디지털 투영기기에 의한 일정한 줄무늬를 투사하여 규칙적인 사인파형의 명암도 패턴을 투영하고, 생성된 표면의 높이정보는 상변화를 통해 비틀린 명암도 패턴으로 부호화 되고, 이들은 적절한 영상 기술에 의하여 기록된다. 제품에 투사하는 줄무늬 생성 방법에 따라 DMD (digital micro-mirror device)와 splitter (photographic grids) 방식으로 나뉜다.

DMD 방식의 대표적인 기기로는 GFM社의 PRIMOS

Table 2. Comparison of the Performance of the Various Techniques for the Measurement of Skin Topography

Method	Accuracy (mm)	Acquisition time (min)	Measurement area	Special functions/limits
Optical	10^{-2}	< 0.1	Normally 3 - 10 cm ²	Objects have to be flat, real time
Mechanical	< 10^{-3}	< 8	Normally 3 - 10 cm ²	Solid or silicone (rigid) objects
Laser	10^{-5}	< 30	Over than 3 cm ²	It takes long time
Transparency	5×10^{-3}	< 0.1	Small plane areas of 1 cm ²	Very shallow depth of field (under 500 μm)
Fringe projection	5×10^{-3}	< 0.1	Over than 60×40 mm ²	Shallow depth of field (1 mm) Normal Skin (8 cm)

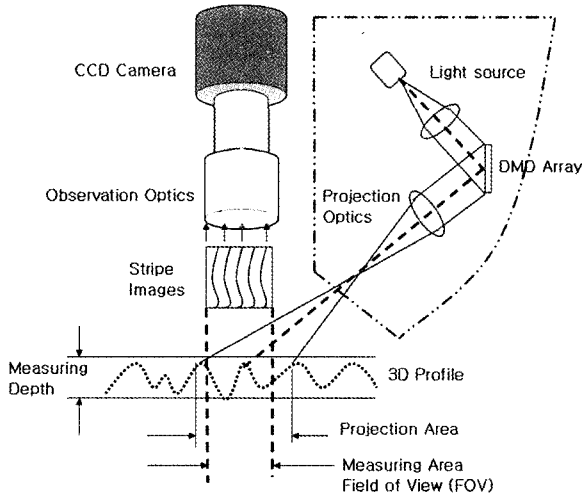


Figure 1. Surface measurement by DMD type of the fringe projection method.

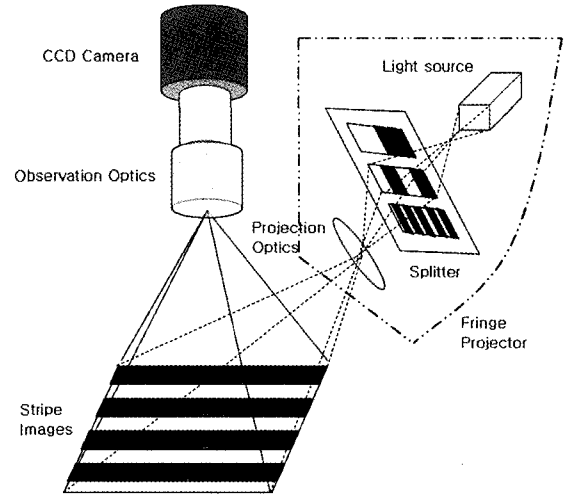


Figure 2. Principle of surface measurement by splitter type of the fringe projection method.

(phaseshift rapid invivo measuring of human skin)가 있으며, splitter방식의 대표적인 기기로서 Breuckmann 社의 Derma Top-blue가 있다. 이후로는 GFM 社의 PRIMOS의 측정방법에 초점을 두고 자세한 고찰을 하고자 한다.

3.2. PRIMOS의 특징

PRIMOS는 미세주름 측정을 위하여 고안된 장비이다. Texas Instrument 社의 영상기술을 사용하여 DMD를 제작하였고, 이들 DMD안에 내장된 작은 거울들이 미세한 줄무늬(stripe)를 만들어 내고, 이렇게 만들어진 줄무늬는 광원에서 조사된 빛에 의하여 피부에 투영된다. 피부에 투영된 영상은 피부표면의 3차원적인 profile 정보를 나타내면서 CCD 카메라에 의하여 영상신호로서 컴퓨터에 입력되고, 입력된 신호는 적절한 필터과정을 통해 프로그램에 의하여 분석된다. PRIMOS의 특징은 다음과 같이 미세주름 측정 시 요구되는 필수조건으로 설명할 수 있다. 첫째, 인체피부는 측정부위가 입체적이며, 시험부위의 표시가 용이하지 않으므로 시험부위에 대한 정확한 재현성

이 중요하다. 이를 위하여 기존 측정부위와 새로운 측정부위를 겹쳐서 비교할 수 있는 overlay (or compare)방법과 시험 후 측정부위와 시험 전 측정부위를 일치시켜주는 registration (or matching)방법이 필요하다.

PRIMOS는 이들 두 기능을 실시간으로 측정에 응용하도록 프로그램화 되었다. 특히 registration의 경우 기존의 화상분석 프로그램과는 차별화되어 3차원적으로 일치할 수 있는 장점이 있다. 둘째, 시험제품의 효능은 최종적으로 고객의 육안으로 판정되므로 시험 시에서도 육안으로 관찰되는 이차 주름(5 μm)까지 분석할 수 있는 해상도를 지녀야 한다. 또한 시험대상이 고정된 자세를 유지하는 것이 어려우므로 가능한 짧은 시간 안에 데이터를 수집하고, 분석할 수 있어야 한다. PRIMOS의 경우 5 μm의 측정 한계치를 갖으며, 측정시간이 수초 밖에 되지 않아 모사판 제작 시 얼굴근육의 움직임 등에 따른 오차발생 요인을 최소화한다. 아직까지 미세주름을 이상적으로 완벽하게 측정하는 기술은 개발되지 않았다. 하지만 PRIMOS를 비롯한 간접줄무늬 조사방식의 기기들은 이상의 필요사항

에 가장 접근한 기술이며, 이들에 대한 보완이 더 이루어진다면 현재보다 진일보된 피부표면의 측정이 가능하리라 본다.

4. 최근 연구동향 및 전망

간접줄무늬를 이용한 사 세대 방법에 대한 검증작업은 최근 몇 년간 계속 이루어지고 있으며, 그 응용범위 또한 계속적으로 확대되고 있다. Jasper 등[12]은 간접줄무늬 조사방식이 거시표면측정학(모반, 흉터, 상처)과 미시표면측정학(주름, 기미)에 모두 적합하며, 이들 새로운 비접촉식 기술들은 어떤 치료들의 결과로서 각질세포나 인설의 제거 없이 피부표면형태 변경의 정확한 측정들이 가능하도록 해준다고 하였다. 더욱이 피부의 자극, 피부 수화의 영향 그리고 젊은 피부와 나이든 피부사이의 차이가 새로운 광학적인 방법의 측정결과에서 발견될 수 있다고 보고하였다. Lagarde 등[13]은 간접줄무늬 조사방식의 정확도와 재현성의 검증시험을 실시하였다. 정확도 측정을 위하여 표준금속판을 이용한 측정을 실시하였고, 0.99 이상의 상관계수를 관찰하였다. 모사판을 이용한 재현성의 검증시험에서 최대 6% 이하의 편차를 보였으며, 반복시험에서도 최대 4% 이하의 편차를 보여 만족할 만한 결과를 얻었다. Laser 치료에 의한 교원섬유의 remodeling 시험에서 Friedman 등[14]은 간접줄무늬 조사방식이 육안 평가나 모사판을 이용한 분석보다 고해상 능력을 보인다고 기술하였다. 최근까지 PRIMOS를 비롯한 간접줄무늬 방식의 연구가 계속 진행되고 있지만, 이들의 응용에 대한 연구는 미비한 상태이고, 의학 및 피부과학, 화장품 분야에서 그 응용방안에 대한 연구가 계속 진행 중이다.

5. 결 론

인체 피부의 표면형태를 측정하기 위하여 새로운 영상 기술인 간접줄무늬 조사방식이 개발되었으며, 이들에 대한 검증이 대부분 완료되어 그 응용범위가 계속 넓어지고 있다. 아직 국내에서는 활발한 연구가 이루어지지 않는 실정이며, 차세대 기술로 일컬어지는 영상측정방법의 연구가 시급한 실정이다. 이들 간접줄무늬 조사방식은 측정부위의 재현성이 뛰어나며, 모사판 측정 시 오차요인을 최소화 할 수 있다. 또한 측정시간의 단축은 측정대상이 인체 피부인 점을 고려하여 큰 장점이 될 수 있다. 본 연구소의 경우 국내 실정에 맞도록 PRIMOS의 검증시험을 진행할 계획이며, 또한 아직까지 알려지지 않은 신규응용분야로의 연구영역을 확대할 것이다. 이를 통하여, 모사판제작기술의 한계점을 극복하는 좋은 연구결과가 예상된다.

참 고 문 헌

1. T. H. Cook, T. J. Craft, R. L. Brunelle, F. Norris, and W. A. Griffin, Quantification of the skin's topography by skin profilometry, *Int. J. Cosmet. Sci.*, **4**, 195 (1982).
2. 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).
3. K. Hashimoto, New methods for surface ultra-structure: comparative studies of scanning electron microscopy, transmission electron microscopy and replica method, *Int. J. Dermatol.*, **13**, 357 (1974).
4. P. Corcuff, J. de Rigal, J. L. Lévêque, S. Makki, and P. Agache, Skin relief and ageing, *J. Soc. Cosmet. Sci.*, **34**, 177 (1983).
5. P. Corcuff, F. Chatenay, and J. L. Lévêque, A fully automated system to study skin surface patterns, *Int. J. Cosmet. Sci.*, **6**, 167 (1984).
6. J. K. Prall, Instrumental evaluation of the effects of cosmetic products on skin surfaces with particular reference to smoothness, *J. Soc. Cosmet. Chem.*, **24**, 693 (1973).
7. S. Makki, J. C. Barbenel, and P. Agache, A quantitative method for the assessment of the microtopography of human skin, *Acta. Derm. Venereol.*, **59**, 285 (1979).
8. M. Takahashi, Image analysis of skin surface contour, *Acta. Derm. Venereol. Suppl.*, **185**, 9 (1994).
9. A. Courteville, T. Gharbi, and J. Y. Cornu, Non-contact MMG sensor based on the optical feedback effect in a laser diode, *J. Biomed. Optics*, 281 (1998).
10. T. W. Fischer, 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).
11. 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).
12. S. Jaspers, H. Hopermann, G. Sauermann, U. Hoppe, R. Lunderstädt, and J. Ennen, Rapid *in vivo* measurement of the topography of human skin by active image triangulation using a digital micromirror device, *Skin Res. Technol.*, **5**, 195 (1999).

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 technology, *Dermatol. Surg.*, **28**, 199 (2002).