

피부 투명감 측정 기기의 소형화 및 피부의 확산 반사광과 투명감 사이의 연구

이 명 렬 · 정 춘 복 · 정 유 철 · 김 한 곤 · 남 개 원[†]

아모레퍼시픽 기술연구원

(2011년 3월 15일 접수, 2011년 3월 28일 수정, 2011년 6월 9일 채택)

Correlation between Skin Translucency and Scattering Reflection using Miniaturized New Optical Device

Myeong Ryeol Lee, Choon Bok Jeong, Junng Yu Chul, Han-Kon Kim, and Gae Won Nam[†]

Amore-Pacific Co. R&D Center, 314-1, Bora-dong, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 446-729, Korea

(Received March 15, 2011; Revised March 28, 2011; Accepted June 9, 2011)

요약: 미백과 더불어 피부 칙칙함은 많은 여성들의 고민거리다. 칙칙함이란 피부의 붉은 기와 광택이 감소하고, 노란 기는 증가하며 피부의 명도가 저하되어 보이는 상태를 말하며, 최근까지 피부 칙칙함의 경우, 일반적으로 피부색 측정을 통해 명도, 색 불균일성 등으로 많이 평가하였다. 명도는 $L^* a^* b^*$ 표색계(CIELAB color space system)의 L^* 로 나타낸다. 하지만 L^* 값은 칙칙함 중 하나의 현상, 명도를 측정할 지표일 뿐만 아니라 칙칙함(투명감)같은 인지효능과의 연계 점을 찾기 힘든 단점이 있다. 이에 투명감이 높은 피부(칙칙하지 않은 피부)는 동일한 광세기에서 피부로 입사하였을 때 피부 내부로부터 빛이 많이 돌아오는 피부이고 이는 확산 반사광(내부 반사광)이 큰 피부라는 피부 투명감 측정 방법에 따라 편광기술을 이용한 자사 제작의 이전 투명감 측정 기기와 측정의 용이성과 휴대성을 개선한 LumiscanTM이라 명명한 신규기기를 개발, 기존 투명감 측정기기와 신규기기로 20 ~ 30대 남성과 여성의 얼굴 피부 투명도를 측정하여 육안을 통한 투명감과 확산반사광 값의 관계를 통해 신규기기의 성능을 확인하고자 하였다. 이번 연구에서 육안 평가와 신규기기의 확산 반사광 값 사이에 단순 비교가 아닌 강한 상관성($R = 0.732, p < 0.01$)이 있음을 확인할 수 있었으며 이전 자사개발 기기가 지닌 낮은 휴대성과 측정의 불편함을 개선한 LumiscanTM의 성능평가를 확인할 수 있었다.

Abstract: Skin darkness is the source of trouble to many women. Skin darkness is the state that while skin redness and brightness are reduced, skin yellowness is increased. Skin translucency which is measured by skin color, especially brightness is an another expression of skin darkness. Skin brightness is usually expressed by L value of $L^* a^* b^*$ (CIELAB color space system). However, it is hard to find the relationship between L value and perceptive efficacy such as translucency because the L value is just a factor of evaluation of skin darkness. The skin with high translucency has high scattering reflective light value than low value. In this study, we measured the skin translucency of 20 ~ 30 ages men and women face by both our designed previous device which use polarized light to detect surface and scatter reflective light independently and LumiscanTM which is improved designed to confirm our new device working ability by calculation of relationship between translucency and scattering reflective light value. The result of this study indicate that there is a high correlation ($R = 0.732, p < 0.01$) between translucency and scattering reflective light value, and suggest that LumiscanTM is portable and easy measuring device more than previous device.

Keywords: translucency, scattering reflective light, $L^* a^* b^*$, skin darkness, LumiscanTM

[†] 주 저자 (e-mail: ilvanin@amorepacific.com)

1. 서 론

칙칙함이란 어떤 특성의 시각적 판단으로 얼굴 전체 또는 눈 주위나 뺨 등의 부위에 생기고 피부의 붉은 기가 감소하고 노란 기가 증가하며, 피부의 광택이 감소하거나 명도가 저하되어 어둡게 보이는 상태로[1,2] 2007년도에 여성을 대상으로 스킨케어를 통해 개선하고 싶어 하는 고민에 대해 조사한 결과, 칙칙함이 조사 연령대에서 공통적으로 고민하는 요소이다[1]. 칙칙함이 발생하는 원인으로서는 혈액 순환의 불량에 의한 피부색의 붉은 기 저하, 넓은 영역에서의 멜라닌 침착, 피부 두께의 두꺼워짐, 피부 탄력의 저하와 피부 표면에서의 난반사에 의한 광택의 저하 등 이고, 이런 원인이 단독으로 또는 복합적으로 작용한 결과로 알려져 있다[1,3].

칙칙함을 측정하는 방법으로 1) 피부색의 명도 또는 색, 2) 피부색의 불균일성, 3) 피부의 요철 등을 측정하는 방법이 사용되어 왔다[3-5]. 이중 피부의 명도 또는 색으로 피부의 칙칙함과 미백을 판단하는 방법을 일반적으로 사용한다[1,4,6,7].

피부의 명도는 피부색을 $L^* a^* b^*$ (CIELAB color space system) 표색계로 값중 L^* 값으로 a, b는 각각 명도, 빨강-녹색도, 노랑-청색도를 나타낸다[3,8,9]. L^* 값이 높을수록 피부가 희다고 얘기하지만 이렇게 측정된 피부 색은 우리가 언급한 칙칙함을 평가하는 한 요소일 뿐이며 칙칙함과 투명감과 같은 인지효능과의 연계점도 찾기 힘든 단점이 있다[1]. 이에 칙칙함의 평가를 L^* 값이 아닌 투명감의 정도로 표현하게 되었고 투명감에 대한 정의 및 평가법도 개발되었다[10,11]. 피부 투명감의 일본 화장품공업연합회 효능효과 전문위원회는 시각적인 표현으로, 피부는 탁하지 않고 투명해 보이는 상태로 각질층의 입사광에 대한 투과광의 비율이 높은 것으로 정의 하였으며 일반적으로 투명감은 칙칙함은 반의적 표현이라 할 수 있다[12].

Anderson 등에 의해 제안된 피부 과학모델을 Figure 1에 나타내었다. 이에 따르면 피부에 입사한 빛은 표면에서 약 5% 반사(surface reflection)되고, 내부로 들어간 빛 중 혈액과 멜라닌에서 흡수되는 빛을 제외하고는, 표피나 진피에서 산란(scattering reflection or internal reflection)되어 밖으로 나간다[13]. 즉, 투명감이 높은 피부는 정의 및 피부 광반사 모델에 따라, 동일한 광세기가 피부로 입사하였을 때 피부 내부로부터 빛이 많이 돌아오는 피부로 생각할 수 있고 이는 확산 반사광이 큰 피부라 할 수 있다[12]. 피부에서 돌아오는 반사광 중 확산

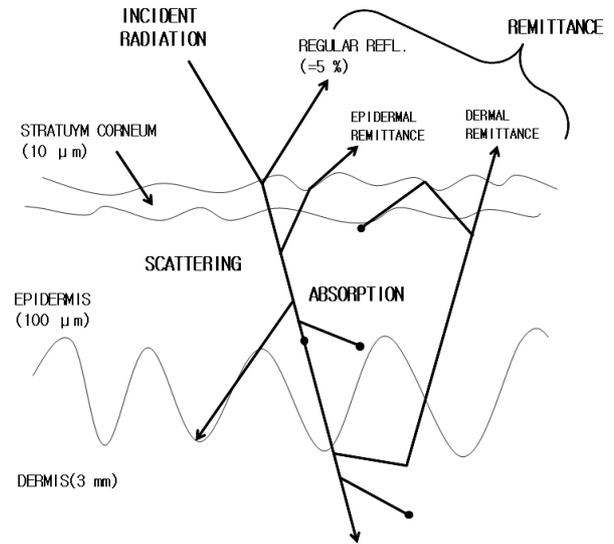


Figure 1. Schematic diagram of optical pathways in skin[14]. Incident radiation is reflected and absorbed by skin chromophore like melanin and hemoglobin in skin.

반사광만을 측정하기 위해 편광필터를 이용한 측정법이 발달하였고 이는 편광을 피부표면에 입사시킬 때 표면 반사광의 경우 편광의 방향에 변화가 없지만 피부 속으로 들어간 편광은 피부 속에서 여러 반사로 인해 그 방향성을 잃는 성질을 이용해 다음과 같은 수식을 이용해 확산 반사광만을 정량적으로 측정할 수 있다[14-16].

$$\begin{aligned} \text{표면 반사광} &= \text{동일방향 편광면에서의 광량}(a) - \text{직각방향 편광면에서의 광량}(b) \\ \text{확산 반사광} &= \text{직각방향 편광면에서의 광량}(b) * 2 \end{aligned}$$

Equation 1. Method to calculate amount of surface / scattering reflective light[12].

하지만 현재까지 피부의 확산 반사를 측정하는 기기로는 자사에서 개발한 것으로 빛을 조사하는 발광부와 빛을 받아들이는 수광부가 위치적으로 분리되어 있었으며 구성 또한 측정부위와 조사부위로 나뉘어져 있을 뿐만 아니라 측정 시 넓은 면적이 필요하며 좁은 부위 및 굴곡면 측정이 어려워 결과적으로 얼굴 피부의 투명감 측정이 어려웠다. 또한, 기기 큰 크기로 인해 휴대성이 낮았으며 보관하기 불편하다는 단점들이 있었다. 이에 자사에서 손쉽고 정확한 얼굴 피부에서의 투명감 측정을 위해 발광부와 수광부를 동일 상에 위치한 방법으로 휴대성 및 측정 용이성을 개선한 피부 투명감 측정 장치

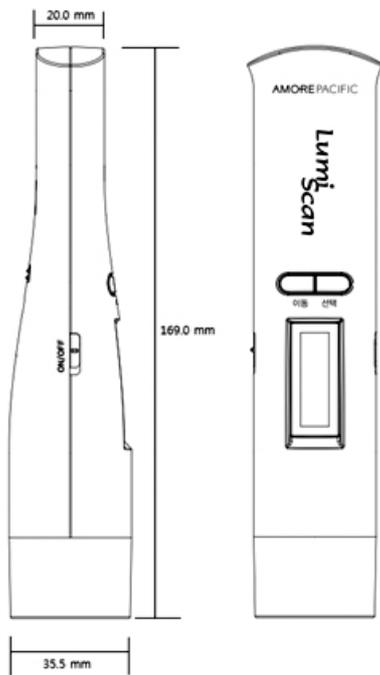


Figure 2. Lumiscan™ drawing.

Lumiscan™을 Figure 2와 같이 고안 및 제작하여 신규기기의 성능 평가를 진행하였다.

2. 재료 및 실험

신규 기기의 성능 평가는 다음과 같이 3단계로 진행하였다.

- 1단계: 신규 기기 조건 적합성 점검
- 2단계: 기존 확산반사광 측정기기와 신규기기 확산 반사광 값 간의 상관성확인
- 3단계: 육안평가 점수와 신규기기 확산 반사광 값 간의 상관성확인

이에 본 실험에서 얼굴 및 전박 피부에 여드름과 같은 피부 문제가 없으며 피부과 시술을 최소 3개월 동안 받지 않았으며 투명감의 차이가 있는 20 ~ 30대 여성 5명(23세, 24세, 27세, 31세, 33세)과 남성 2명(27세, 30세)을 대상으로 얼굴의 일반광학 사진과 얼굴 피부의 확산반사광을 측정하였다. 측정은 피부 안정화를 위해 항온 항습실(온도 22 ± 2 °C, 상대습도 40 ± 2 %)에서 30 min 이상 적응 이후에 진행되었으며 피험자에게 시험의 목적과 개요, 시험 방법 및 인체적용 시험 참가에 따른 위험성과

Table 1. The Specification of Previous Device and New Device

Specification	Devices	
	Previous device	New device
Component	Detector	Detector
	Light devide	
Lamp	120 W Halogen	3 W LED
Power	220 V, 60 Hz	1.5V AA battery × 2
Size	21 × 8.5 × 11 cm	3.5 × 3.5 × 17 cm
Weigh	3 Kg	160 g
Measurement area	40 cm ²	9.62 cm ²

피부 이상반응에 대한 충분한 설명을 한 후 시험 동의서를 작성하였다[12].

2.1. 신규 기기 조건 적합성 점검

휴대성 및 측정 용이성을 개선하기 위해 발광부와 수광부를 동일 상으로 변경한 신규기기의 빛의 입사 반사각의 검증을 위해 기존 확산반사광 측정 장치로 신규기기에 해당하는 각도(입사각 반사각 모두 70°)의 확산 반사광 값을 측정하여, 기존기기 빛의 입사각, 반사각이 모두 45°일 경우보다 70°인 경우가 확산 반사광 값이 크지만 70° 조건의 확산 반사광 값 또한 투명감이 좋은 피부가 그렇지 않은 피부보다 확산 반사광의 값이 크다는 것을 확인 하였다(실험 결과 미표기). 또한 신규 기기에 사용된 LED 램프(STW8T36B, 서울반도체, Korea)의 스펙트럼을 확인하였다.

2.2. 얼굴 사진 촬영(Facial Stage DM3, Moritex, Japan)

설문을 통한 육안 평가를 위해 피험자들의 양쪽 측면 45° 얼굴을 일반광원으로 사진 촬영하였다. 측정 시, 귀걸이, 목걸이 등은 착용하지 않았으며 머리띠와 검정색 가운을 착용하고 검정색 차광막을 통해 외부광원을 차단함으로써 외부 영향을 통제하였다.

2.3. 확산 반사광 측정(Lumiscan™, Truesystem, Korea)

확산 반사광 측정은 암실에서 피험자 눈꼬리의 수직연장선과 입꼬리의 수평 연장선이 교차하는 볼 부위로 피험자의 양쪽 모두 측정하였다. 측정기기는 자사에서 개발/제작한 기존 확산 반사광 측정기기와 Lumiscan™이라 명명된 신규 측정 기기로 3회 반복 측정하였으며 간단하게 기기 비교를 Table 1에 하였다. 기존 기기를 통해 할로겐 램프의 광원으로부터 편광 처리된 빛을 45° 각도

로 피부 표면에 입사시킨 후 반사되는 빛의 양을 45° 각도에서 역시 편광 처리한 수광부를 통해 평행 및 90° 교차 편광조건 하에서 측정하였다. 편광 필터를 통해 조절된 입사되는 빛과 반사되는 빛의 두 편광 필터의 조합을 통해 측정된 반사값을 수식 1에 의하여 피부의 표면 반사와 확산 반사를 각각 계산하게 된다. Lumiscan™은 가시광선영역의 LED 램프의 빛을 편광 처리하여 70° 각도로 피부 표면에 입사시킨 후 반사되는 빛의 양을 70° 각도에서 역시 편광 처리하여 반사광을 측정 및 그 값을 계산하였다.

2.4. 육안평가를 통한 투명감의 점수화

인지적 피부 투명감의 수치적 표현은 설문조사를 통해 얻었다. 설문조사는 측정할 얼굴 사진 중 투명감을 측정할 부위가 포함된 볼 부분만 편집한 사진 12장(투명감을 판단하기 어려운 2장의 사진 제외)에 대한 5점 척도로 실시하였다. 평가는 다른 사진에 의한 평가에 영향을 받지 않게 하기위해 한 번에 피부사진 한 장만을 평가하게 하였으며 점수의 상한선과 하한선을 맞추기 위해 최저 점수와 최고 점수는 적어도 한번 이상씩 평가하게 하였다. 육안평가점수의 객관성을 위해 30명 이상의 평가자(연령 31 ± 3.8세, 남성 12명, 여성 19명)에 의한 결과 값의 평균을 사용하였다.

2.5. 피부의 L*값 측정(Image-Pro Plus, Media Cybernetics Inc., USA)

볼 부위를 편집한 피험자의 사진을 Image-pro 프로그램을 통해 RGB값으로 변환한 후 그 평균값을 다시 수식 2를 통해서 L*로 변환하였다[17].

1) RGB에서 XYZ로 변환

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \\ I \end{bmatrix}$$

2) XYZ에서 L*a*b*로 변환

$$\hat{L}^* = \begin{cases} 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 & (Y/Y_n) > 0.008856 \\ 903.3(Y/Y_n) & (Y/Y_n) \leq 0.008856 \end{cases}$$

Equation 2. Method to calculate L* a* b* from RGB value[18].

2.6. 상관성 분석

Minitab (Minitab 14.2 Korea, Minitab Inc., USA) 프로그램을 이용하여 피부 투명도의 육안평가 점수, 기존 기기 및 신규기기의 확산 반사값의 각 조합들(기존 측정기기 확산 반사값 - 신규기기 확산 반사값, 육안평가 점수 - 신규기기 확산 반사값, 육안평가 점수 - 기존 측정기기 확산 반사값)과 L* 값과 육안평가 및 확산 반사광 값의 상관성을 분석하기 위해 수식 3의 Pearson 상관계수를 구하였다. Pearson 상관계수란 두 변수 간의 연관 강도 측정 지표로 -1에서 1 사이의 값을 가진다[19].

$$r = \frac{\Sigma XY - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{N}}{(\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{N})(\Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{N})}$$

Equation 3. Method to calculate pearson correlation coefficient[19].

3. 결과 및 고찰

이번 실험을 통해 자사의 신규 투명감 측정기기의 단계적 성능 평가를 실시하였다. 1단계로 신규 기기의 빛의 입사 반사각 70°에 해당하는 확산 반사값을 전박에서 측정할 결과, 투명감이 높은 전박 안쪽 피부가 그렇지 않은 전박 바깥쪽 피부에 비해 확산 반사값이 더 큼을 확인하였고(실험 결과 미표기) 사용한 LED 램프가 가시광선 전체 스펙트럼을 가지고 있음을 확인하여 신규기기의 조건 적합성을 점검하였다. 2단계로 신규기기와 기존기기를 이용한 얼굴 피부의 확산 반사광 측정값 사이의 상관성 분석 결과, 각 측정값에서 높은 상관성(R = 0.905, p < 0.01)이 있음을 확인하였다. 이는 동일한 피부에 대해서 기존 확산 반사광 측정기기의 값이 높으면(또는 낮으면) 자사의 신규 피부 확산 반사광 측정기기의 값도 높게(또는 낮게) 측정됨을 확인하였다. 기기 측정값 간의 상관성은 확인하였지만 신규 기기의 측정값이 실제로 피부 투명감을 대변하는 확인과정인 3단계로 육안평가점수와 신규기기의 확산 반사광 값을 통한 피부 사진의 투명도 순위 비교(Figure 3) 및 그 상관성 관계를 확인한 결과, 두 수치 간에 상관성 R = 0.732 (p < 0.01)을 나타내었다(Figure 4). 기존 확산반사광 측정기기 역시 육안평가 값과 측정치 사이에 강한 상관성이 있음을 다시 한번 Figure 5에서 확인할 수 있었다. 이는, 이번 실험에서 확산 반사광 값과 피부 투명감의 대소 비교를 한 실험 [1] 및 투명감에 관여하는 요소들의 분석[11] 결과와

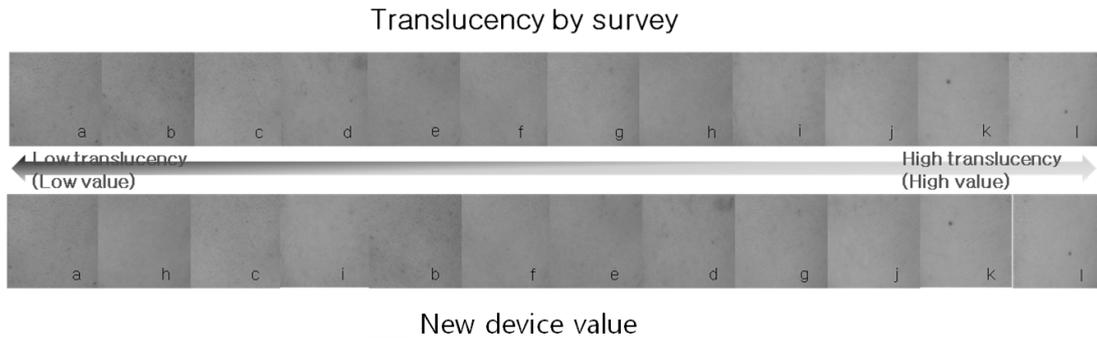


Figure 3. Comparison of skin translucency by two parameters. Both skin series figures involve translucency ranking of sample skins. Same small letters indicate same sample skins.

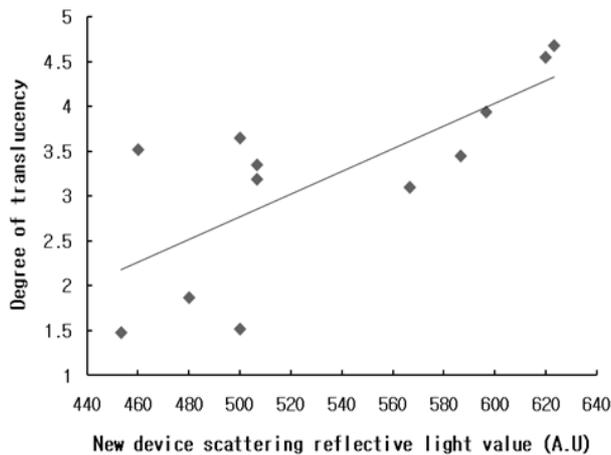


Figure 4. Correlation between skin translucency and scattering reflective light measured by new device. Degree of translucency in Y axis means evaluated degree of skin translucency by survey.

동일한 결과를 의미한다.

추가적으로, 동일 피부 부위에 3회 반복 측정값의 표준 편차가 측정 평균의 5% 미만으로 신규 기기의 “측정 시 신뢰도 높은 재현성” 또한 확인할 수 있었다. 이러한 실험 결과를 토대로 자사의 신규 확산 반사광 측정기기인 Lumiscan™은 기존 자사의 투명감 측정 기기처럼 확산 반사측정 값이 피부 투명감을 잘 나타낼 수 있을 뿐만 아니라 육안평가와 측정값 간에 상관성이 있음을 확인한 피부 투명감 측정기기라 할 수 있다.

추가적으로 기존 평가 지표인 밝기(L* 값)를 통한 피부 투명감과 확산 반사광 값을 통한 투명감과의 관계에 대해서 비교하였다. L*과 설문조사를 통한 피부 투명감 간의 상관관계를 확인할 수 있었다(Figure 6). 상관관계수 $R = 0.742$, $p < 0.01$ 로 신규기기 확산 반사광 측정값과

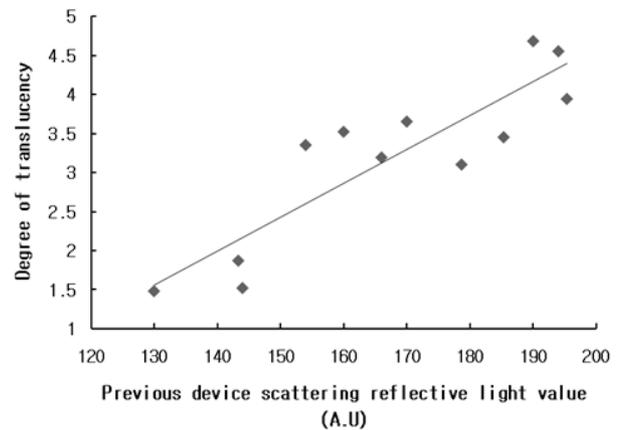


Figure 5. Correlation between skin translucency and scattering reflective light measured by the previous device. Degree of translucency in Y axis means evaluated degree of skin translucency by survey.

육안평가와의 상관관계수($R = 0.716$)와는 큰 차이가 없지만 기존 기기의 확산반사광 측정값과 육안평가와의 상관관계수 $R = 0.884$, $p < 0.01$ 과 차이가 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 피부 투명감이 미백 평가와 많은 부분을 공유하고 있으며, 아직까지 많은 사람들이 미백과 투명감을 비슷한 의미로 받아들이기에 L* 값과 피부 투명감 사이의 상관성이 유사하게 보여지는 것으로 생각된다.

많은 여성이 고민하는 피부 칙칙함 혹은 피부 투명감은 미백과 연관이 있다[1]. 현재의 미백(brightening)은 피부를 하얗게 한다는 whitening 의미에 투명하다, 깨끗하다는 translucency 개념이 합쳐진 뜻으로 변화하는 추세이다. 투명감 같은 인지효능적인 표현을 정량적으로 표현하는 시도 및 그 요인에 대한 연구가 지속적으로 일어나고 있는 상황[20]에서 이번 연구를 통해 투명감과 피부 확산 반사값의 상관분석을 통해 투명감의 정량적

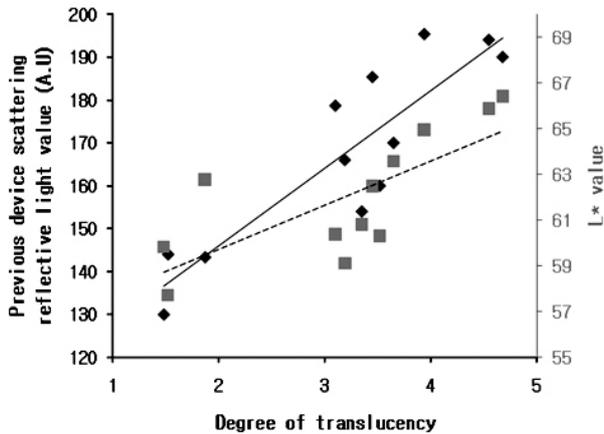


Figure 6. Correlation between skin translucency and scattering reflective light measured by the previous device and L* value. Degree of translucency in X axis means evaluated degree of skin translucency by survey. A dot line is a trend line of between translucency and L* value.

표현이 가능함을 다시 한번 보여주었으며, 발광부와 수광부의 위치를 조정하여 Figure 2와 Table 1같이 작은 크기로 기존 자사의 확산반사광 측정기기의 단점인 큰 부피와 3 kg에 달하는 무게로 인한 낮은 휴대성과 측정 시 넓은 면적이 필요하다는 점을 개선함은 미백을 원하는 고객에게 연구소가 아닌 일상생활에서도 미백화장품의 투명감 개선 효능을 확인할 수 있는 계기를 마련했다고 생각된다.

마지막으로, 이번 신규기기처럼 미백 또는 투명감 연구에 측정기기의 사용 편의성과 정확성을 함께 갖춘 측정기기의 지속적인 개발을 기대해 본다.

참 고 문 헌

1. Y. Masuda, 透明感・クスマの評価・測定法…資生堂リサーチセンター, *Fragrance Journal*, **360**(38), 37 (2010).
2. 日本化粧品工業連合會, *粧工連技術資料*, **101**, 148 (1995).
3. A. Fullerton, T. Fischer, A. Lahti, *et al.*, Guidelines for measurement of skin colour and erythema., *Contact Dermatitis*, **35**, 1 (1996).
4. P. Clarys, K. Alewaeters, R. Lambrecht, and A. O. Barel, Skin color measurements: comparison between three instruments: the chromameter (R), the dermaspectrometer (R) and the mexameter (R), *Skin Res. Technol.*, **6**(4), 230 (2000).
5. P. J. Matts, P. J. Dykes, and R. Marks, The distribution of melanin in skin determined *in vivo*, *Br. J. Dermatol.*, **156**(4), 620 (2007).
6. A. Kawada, S. Kawara, N. Oiso, *et al.*, An evaluation of whitening effect of an intense pulsed light source using computer analysis of the video-captured digital image, *Arch. Dermatol. Res.*, **300**(1), S39 (2008).
7. P. J. Matts, *et al.*, New insights into skin appearance and measurement, *Invest. Dermatol. Symposium Proceedings*, **13**, 6 (2008).
8. T. Noda, A. Kawada, *et al.*, The relationship among minimal erythema dose, minimal delayed tanning dose, and skin color, *J. Dermatol.*, **20**, 540 (1993).
9. W. Westerhof, CIE colorimetry. In: Serup J, Jemec GBE, eds. Handbook of non-invasive methods and the skin, 385, CRC Press, Boca Raton (1995).
10. J. C. Seitz, C. G. Whitmore, *et al.*, Measurement of erythema and tanning response in human skin using a tri-stimulus colorimeter, *Dermatologica*, **177**(2), 70 (1988).
11. C. B. Jeong, *et al.*, Evaluating the efficacy of whitening products by using luminescence measurement and revealing correlation between luminescence and other parameters, *J. Soc. Cosmet. Scientists Korea*, **36**(4), 253 (2011).
12. 日本化粧品工業連合會, *粧工連技術資料*, **107**, 144 (2000).
13. R. R. Anderson, *et al.*, The optics of human skin, *Invest. Dermatol.*, **77**, 13 (1981).
14. I. Sadiq and T. Stoudemayer, Five-optic microscopy system for skin surface imaging. In: Serup J, Jemec GBE, eds. Handbook of non-invasive methods and the skin, 125, CRC Press, Boca Raton (2006).
15. J. O'Doherty, J. Henricson, C. Anderso, *et al.*, Sub-epidermal imaging using polarized light spectroscopy for assessment of skin microcirculation, *Skin Res. Technol.*, **13**, 472 (2007).
16. L. Steven, R. Jessica, and L. Ken, Imaging superficial tissues with polarized light, *Lasers in Surgery and Medicin.*, **26**, 119 (2000).

17. K. Leo'n, D. Mery, F. Pedreschi, and J. Leo'n, Color measurement in $L^* a^* b^*$ units from RGB digital images, *Food Res. Int.*, **39**, 1084 (2006).
18. R. W. G. Hunt, *Measuring color* (2nd ed.), Ellis Horwood, New York, U.S. (1991).
19. W. C. Kim, *et al.*, *Introductory statistics*, **4**, 310, Youngji Publishers, Seoul, Korea (2001).
20. W. J. Henrik, R. M. Stephen, L. Marc, and H. Pat, A practical model for subsurface light transport, *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, Los Angeles, 511 (2001).