J. Soc. Cosmet. Scientists Korea
Vol. 36, No. 4, December 2010, 253-258

투명감 측정을 통한 제형의 미백 효능 평가와 투명감에 관여하는 요소들에 대한 분석

정 춘 복 · 김 한 곤 · 남 개 원†

아모레 퍼시픽 기술연구원

(2010년 9월 14일 접수, 2010년 11월 14일 수정, 2010년 11월 27일 채택)

Evaluating the Efficacy of Whitening Products by Using Luminescence Measurement and Revealing Correlation between Luminescence and Other Parameters

Choon Bok Jeong, 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 September 14, 2010; Revised November 14, 2010; Accepted November 27, 2010)

요 약: 현재까지 피부 미백에 대한 평가는 피부 반사광 전체에 대한 분석이 주를 이루어 왔다. 그 예로 SHV (Saturation, Hue, Value), L* a* b* (CIELAB color space system) 등 색차계를 사용하여 검출된 빛을 몇 가지 기준으로 나누어 분석하는 방법이 이용되어왔으며, 밝기나 채도 변화를 기준으로 피부 미백을 평가해왔다. 하지만 이러한 기존의 미백 평가법들은 빛의 전체 피부 반사량을 통한 측정이라는 한계를 가지고 있어 투명감, 화사함, 윤기 등 소비자들이 원하는 새로운 미백 효능의 평가에는 사용하기 힘든 단점이 있었다. 이번 연구에서는 이전까지 정량적으로 표현하기 힘들었던 투명감에 대한 새로운 측정법을 활용하여 8주 동안 자사의 2가지 미백 제형 효능 평가에 사용하였으며, 이를 위해 루미스캔(Lumiscan^{TM})이라고 명명된 편광을 활용한 각도별 반사광 측정 장치를 제작하여 실험에 활용하였다. 또한, 투명감 측정 이외에도 15가지 측정치에 대한 실험을 병행하여 투명감에 주요한 영향을 미치는 요소를 분석하고자 하였으며 결과적으로 자사의 2가지 미백 제형은 각각 4, 8주에 5 ~ 9 %의 투명도 개선을 보여주었다. 그리고 피부결(-28 %), 멜라닌(-17 %), 홍반(-7 %), 수분량(15 %), 피부 밝기(6 %) 등이 피부 투명감에 주요한 영향을 주는 요소라는 사실을 보여주었다.

Abstract: Until now, evaluating the efficacy of brightening mainly depends on total reflective light measurement. For example, SHV (Saturation, Hue, Value), L* a* b* (CIELAB color space system) color space system was used and lightness and saturation changes were chosen as major parameters for evaluating brightening effect. However, those parameters were calculated from total reflective light on the skin and it is hard to evaluate perceptive efficacy such as luminescence, and glossy. In this research, we applied new method for estimating change of luminescence of skin by using 'Lumiscan' which uses polarized light for detecting surface and inside reflective light independently. We also tested 15 different parameters for finding correlations between luminescence and those parameters. As a results, our 2 different brightening products showed 5 ~ 9 % increase of luminescence at 4 and 8 weeks. And we also found that skin roughness (-28 %), melanin index (-17 %), redness (-7 %), hydration (15 %), and lightness (6 %) were related to luminescence of skin.

Keywords: *luminescence, brightening, efficacy test, perceptive efficacy, polarized light*

† 주 저자 (e-mail: bokj@amorepacific.com)

1. 서 론

색소 침착이나 피부색 개선은 주름 개선 및 자외선 차단과 더불어 화장품 소비자에게 커다란 관심사 중의 하나로 기능성화장품의 카테고리 안에서 개발되어왔다. 색소 침착은 피부에서 시각적으로 주변 부위와 색의 강도를 통해 구별 가능한 변화 부위로 정의되며, 피부색은 각질층, 표피, 진피 등 피부층의 전체적인 광학 특성이 종합적으로 나타나는 현상이다. 이러한 색소 침착의 평가에 있어 초기에 피부색을 평가하는 방식이 주로 사용되었으며 후에 멜라닌에 대한 정량평가, 얼굴사진으로부터 색소 침착을 추출하는 방식으로 이어져왔다[1-6].

이러한 방법의 기초가 되는 색을 측정하는 방식은 인간의 눈이 색을 인식하는 메커니즘에 근거를 두고 개발되었다. 인간의 눈은 3종류의 원추세포를 통해 빨강, 녹색, 청색(RGB) 영역의 빛을 감지해 색을 인지하게 된다. 국제조명위원회는 이러한 인간의 색 지각 원리에 기초하여 RGB에 해당하는 3종 자극 XYZ를 정의하고 색을 함수로 나타낼 것을 제안하였다. 그리하여 피부의 색을 XYZ로 계측, 이후 L*, a*, b*, (CIELAB color space system)[7] 표색계로 변환하여 주로 사용하게 되었다. L*, a*, b*는 각각 명도, 빨강-녹색도, 노랑-청색도를 나타내며 L*이 주로 피부 밝기를 나타내는 지표(혹은 멜라닌 지표), a*는 적화 정도, b*는 자외선에 의한 색소 침착의 정도[8]로 사용되고 있다.

하지만 이렇게 측정되는 색소 침착[9,10]이나 피부색은 칙칙함, 투명감과 같은 인지효능과의 연계점을 찾기 힘든 단점이 있어, 이들 인지효능에 대한 정의가 우선적으로 이루어졌으며 후에 이에 대한 평가법도 개발되었다. 피부의 칙칙함에 대해서는 얼굴 전체 또는 눈 주위나 뺨 등의 부위에 생기는, 피부의 붉은 기 감소, 노란 기 증가 그리고 광택이나 투명감이 감소하거나 피부 표면의 요철 등으로 인한 그림자로 인해 명도가 저하하여 어둡게 보이는 현상이라고 정의하였다. 이어서 피부 투명감은 피부가 탁하지 않고 투명해 보이는 상태로 각질층의 입사광에 대한 투과광의 비율이 높은 것이라고 정의하였다[11-13]. 이러한 투명감의 정의에 중요한 피부 위에서 빛의 거동을 보기 위해 Anderson 등[14]에 의해 제안된 피부 광학모델을 Figure 1에 나타내었다. 피부에 입사한 광은 약 5 %가 표면에서 반사되고, 내부로 들어간 빛 중 멜라닌을 함유하는 층(주로 표피기저층)과 혈액층에서 흡수되는 빛 이외에는 표피나 진피에서 산란되어 되돌아나가는 것을 알 수 있다. 이 중 전체 피부 반사광이 아닌

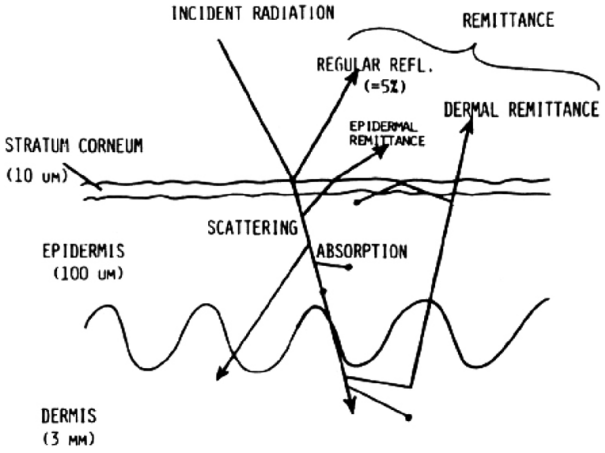

Figure 1. Schematic diagram of optical pathways in skin[9]. Dermal and epidermal chromophore like melanin, hemoglobin, bilirubin, and carotene constitute the pigments in skin.

내부 산란광을 선택적으로 측정하기 위해 선형 편광 필터를 활용하여 빛을 조절하였다. 편광을 활용한 피부에서의 반사광의 분리에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 왔으며 단방향 편광의 광원으로부터 나온 빛이 표면에서 반사될 때에는 편광의 방향 변화가 없으며, 피부 내부의 물질들과의 상호작용 이후에 생성된 반사광은 방향성을 잃는 성질을 활용하고 있다[15,16]. 이러한 배경 하에 투명감이 있는 피부는 동일한 광량을 조사하였을 때 피부 내부로부터 빛이 많이 되돌아 나오는 피부라고 재정의되며, 피부로부터의 반사광(표면 반사광과 확산 반사광의 합) 중 확산 반사광을 측정함으로써 투명감을 정량적으로 측정하는 것이 가능하게 된다.

위의 정의에 따라 이번 연구에서는 편광을 활용한 피부에서의 각도별 반사광 측정 장치를 통해 입사광에 대한 투과광의 반사 정도를 측정하여 투명도를 측정하고자 하였다. 또한, 멜라닌, 홍반, 진피 치밀도, 수분량, 피부색, 피부결, 혈행 개선 실험을 병행하여 투명감에 영향을 주는 주요 인자를 찾고자 하였다.

2. 재료 및 실험

본 인체적용시험은 30 ~ 40대 여성 44명(기미, 잡티, 홍반 등 피부고민이 있는 여성)을 대상으로 시험 시작 전 피부 투명감, 수분량, 피부결, 멜라닌/홍반지수, 피부색, 혈류량, 진피 치밀도, 얼굴사진 측정을 실시하였으며 측정은 피부 안정화를 위해 항온 항습실(온도 22 ± 2 ℃,

표면 반사광 = 동일방향 편광면에서의 광량(a)
- 직각방향 편광면에서의 광량(b)
내부 반사광 = 직각방향 편광면에서의 광량(b) × 2

Equation 1. Method to calculate amount of internal / external reflective light.

상대습도 40 ± 2 %)에서 30 min 이상 적응 이후에 진행되었다. 첫 방문 1주 전부터 시험결과에 영향을 줄 수 있는 시중의 화장품. 기능성 화장품의 사용은 물론, 팩이나 마사지 등의 시술을 모두 금지할 것을 피험자에게 고지하였으며, 피험자에게 시험의 목적과 개요, 시험 방법 및 인체적용시험 참가에 따른 위험성과 피부 이상반응에 대한 충분한 설명을 한 후 시험 동의서를 작성하고 피험자의 기초정보와 자신의 피부상태에 대한 설문지를 작성하게 하였다.

피험자들의 양쪽 볼 중 전체적으로 색소침착이 보이는 부분을 시험부위로 지정하여 미백 제품을 아침 저녁으로 2회씩 사용하게 하였으며, 제품 사용 2주, 4주, 8주에 측정 항목들에 대한 재측정을 실시하였다. 제형은 세럼과 크림으로 된 자사(아모레퍼시픽)의 미백 제형 2가지를 사용하였다.

투명감(화사함)의 측정은 루미스캔(Lumiscan^{TM})이라 명명된 신규 측정기기를 활용해 측정하였다. 이 기기를 통해 할로겐램프의 광원으로부터 나온 빛을 편광 처리하여 45 ° 각도로 피부 표면에 입사시킨 후 반사되는 빛의 양을 20 ~ 70 ° 각도에서 역시 편광 처리된 수광부를 통해 10 ° 간격으로 양방향 편광조건 하에서 측정하였다. 이렇게 입사되는 빛과 반사되는 빛은 모두 편광 필터를 통해 조절되며 두 편광 필터의 조합을 통해 피부의 각도별 표면 반사와 확산 반사를 각각 측정하게 된다.

또한 투명감과 함께 아래의 측정들을 같이 수행하여 변화를 평가하였고 이를 통해 투명감 개선에 영향을 준 요소들을 분석하였다.

2.1. 수분량(Corneometer - CM825, Courage and Khazaka, Germany)

Corneometer를 활용하여 측정하였으며 이를 통해 피부에서의 정전부하용량을 측정한다. 정전부하용량은 수분함량과 비례하는 경향이 있어 수분량을 대표하게 된다. 측정은 총 4회(인체적용시험 시작 전 0주, 시험시료 사용 2주, 4주 및 8주 경과 후) 실시하였다. 방문 시마다 동일부위를 5회 측정 후 최대값과 최소값을 제외한 평균값을 구하였다.

2.2. 피부결(PRIMOS High Resolution - Phaseshift Rapid *In vivo* Measurement of Skin High Resolution, GFMesstechnik GmbH, Germany)

측정 피부 부위의 수축, 이완과 움직임을 방지하기 위하여 PRIMOS 측정용 고정 장비세트에 피험자의 안면을 고정시킨 상태로 피부결을 측정하였다. 피험자의 지정된 시험 부위의 피부결을 PRIMOS High Resolution으로 측정하고, 시료사용에 따른 피부결 개선을 PRIMOS software를 이용하여 분석하였다. 측정은 총 4회(인체적용시험 시작 전 0주, 시험시료 사용 2주, 4주 및 8주 경과 후) 실시하였다.

2.3. 미세 혈행 개선(Laser Doppler Perfusion Imager - LDPI, Periscan PIM2, Perimed AB, Sweden)

시험부위에 대해 LDPI 및 image analysis software (LDPIwin version 2.6)를 이용하여 피부의 미세 혈행을 측정하고, 그 결과를 분석하였다. 표준화를 위하여 동일 연구자가 시행하였으며, 실내외 조명 및 빛을 모두 차단한 공간 내에서 측정조건(해상도, 측정거리 등)을 동일하게 하여 측정하였다.

2.4. 멜라닌(Mexameter - MX18, Courage and Khazaka, Germany)

Mexameter는 흡광 원리에 기초하여 특수한 탐침이 정해진 세 가지 파장의 빛을 방출하고, 피부에서 반사된 빛을 측정함으로써 멜라닌의 양을 측정한다. 측정은 총 4회(인체적용시험 시작 전 0주, 시험시료 사용 2주, 4주 및 8주 경과 후) 실시하였다. 방문 시마다 동일 부위를 5회 측정 후 최대값과 최소값을 제외한 평균값을 구하였다.

2.5. 피부 밝기(Chromameter - CR-300, Minolta, Japan)

피부색 측정을 위해 시험 부위의 L*, a*, b* value 변화를 인체적용시험 시작 전 0주, 시험시료 사용 2주, 4주 및 8주 경과 후에 Chromameter를 이용해 측정하였다. Chromameter는 사람에 의해서 인지되는 색들을 세 가지 인자로 구성된 디지털 코드로 전환하는 장비이다. L*, a*, b* value는 각각 다음과 같은 parameter를 의미한다.

L* : luminosity / a* : green-to-red spectrum / b* : blue-to-yellow spectrum

Table 1. Improvement Rate (%) of Using Brightening Products

Improvement rate of experiments	Brightening serum product			Brightening cream product		
	2 weeks	4 weeks	8 weeks	2 weeks	4 weeks	8 weeks
Hydration (%)	6.95	8.85*	10.49*	4.26**	4.42*	4.57*
Melanin index (%)	0.11	5.05**	14.31***	0.64	3.41*	18.01***
L value (%)	0.68	0.7	1.29*	1.06*	0.70**	1.29**
a value (%)	29.44***	36.95***	27.51***	26.62***	26.65***	24.13***
b value (%)	-18.6***	-19.78***	-17.39***	-17.34***	-16.04***	-17.19***
LDPI (%)	-1.45	8.87	11.14*	-5.7	17.78***	5.73
Skin roughness (Primos, Ra) (%)	-2.17	1.53	6.33*	-4.23	-9.4	6.24
Dermascan C (Thickness) (%)	0.64	2.96	5.66*	1.61	1.86	8.07*
Dermascan C (Intensity) (%)	0.01	-0.45	3.9**	-1.12	-3.87***	0.72
Red (%)	0.13	-0.37	-2.04***	-1.72	-2.22	-2.6
Green (%)	-0.01	0.12	-2.81**	-1.56	-1.72	-2.16
Blue (%)	-0.41	-0.48	-3.12**	-2.1	-2.44	-2.32
Hue (%)	1.06	2.88	-4.12	10.56	11.72	10.07
Intensity (%)	-1.1	-1.27	-2.17	-1.77	-2.12	-2.39
Saturation (%)	0.58	0.64	-0.88	1.89	1.82	0.64

이 때 L*은 luminance parameter (채도 인자)이고 a*와 b*는 chrominance parameters (색채 인자)이다. 방문 시마다 동일 부위를 5회 측정 후 최대값과 최소값을 제외한 평균값을 구하였다.

2.6. 이미지 분석을 통한 HIS 측정(Visia-CR, Canfield Imaging System, USA)

피부 균일도 측정을 위해 Visia-CR을 이용하여 인체 적용시험 시작 전 0주, 시험시료 사용 2주, 4주 및 8주 경과 후 안면 전체를 촬영하였다. Visia-CR은 특수하게 제작된 턱 받침대와 이마 고정대가 장착되어 있어 촬영 시 일정한 각도를 유지하며 피험자와 카메라의 거리가 항상 일정하게 유지된다. 매 측정 시 기기 내부에 장착된 스트로보를 이용하여 촬영조건을 고정한 후 측정하였다. 촬영된 안면 사진은 이미지 분석 프로그램(Image-Pro Plus, USA)을 이용하여 시험부위의 H (Hue), I (Intensity), S (Saturation) value들을 도출하고, 이 값들의 표준편차를 이용하여 피부 균일도 개선효과를 평가하였다.

2.7. 피부두께, 치밀도(Dermascan C (Cortex technology, Denmark))

Dermascan C는 초음파를 이용하여 피부 속 변화, 콜라겐 섬유 반사율에 의한 진피층 조밀도 관찰 및 항산화 물질에 대한 진피세포 변화 등 피부층을 영상화하는 장치이다. 피부 두께, 피부 치밀도는 20 MHz의 고해상도의 초음파 영상 장치인 Dermascan C로 초음파 검사용 젤리를 바른 후 probe를 피부와 직각이 되도록 한 후 약간 눌러 볼 부위에서 측정하였다. 분석 범위는 표피 바로 아래에서 피하지방층 윗부분으로 한정하였으며, 피부 치밀도를 의미하는 파라미터인 intensity를 측정 및 분석하였고 피부 두께도 병행하여 측정, 분석하였다

투명도와 측정된 각각의 결과값은 PLS (partial least square) 분석법을 통해 투명감에 주요한 영향을 주는 요인들을 확인할 수 있었다. PLS 방법은 주효과도 분석이라 불리는 통계적 분석법으로 관련된 데이터 인자들 간의 관계를 1차원으로 나타내는 선형회귀 분석 방법이며 이를 통해 각각의 연관된 데이터 인자들이 결과에 미치는 영향 정도를 파악하였다.

3. 결과 및 고찰

8주간의 임상실험을 통해 두 가지 미백 제형의 투명감에 대한 평가를 진행한 결과 미백 세럼의 경우, 수분량은 제형의 사용 전에 비하여 사용 2주 후에 6.95 %, 4주 후에 8.85 % ($p < 0.05$)의, 8주 후에 10.49 % ($p < 0.05$)의 보습 개선율을 나타내었으며, 멜라닌은 시험시료 사용 2주 후에 0.11 %, 4주 후에 5.05 %의, 8주 후에 14.31 %의 melanin index 개선율을 나타내었다. 또한 다른 측정치들도 전반적으로 개선되는 양상을 보여주었다(Table 1).

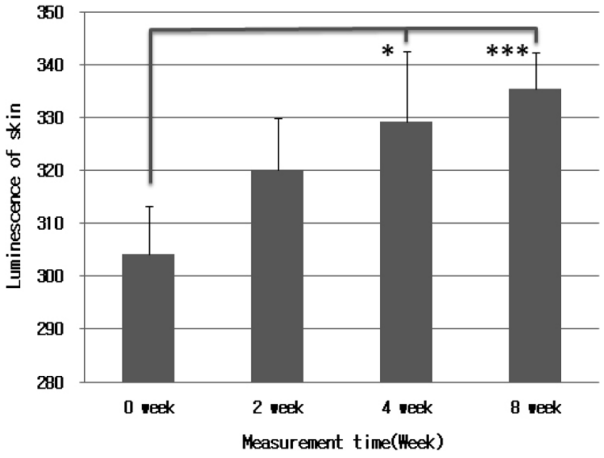

Figure 2. Efficacy of brightening serum for improvement of luminescence of skin.

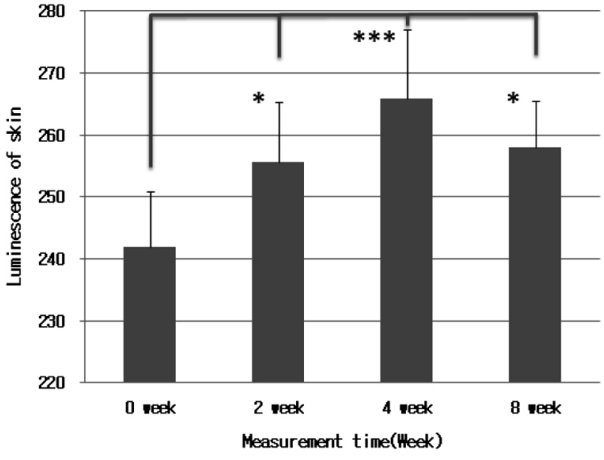

Figure 3. Efficacy of brightening cream for improvement of luminescence of skin.

피부 내부로부터의 반사광 역시 사용 후 점차 증가하는 양상(2주 후 5 % 증가, 4주 후 8 % 증가)을 보였으며 8주 후에는 사용 전 대비 10 % 이상의 투명감 증가 결과를 보였다(Figure 2). 미백 크림을 사용한 결과도 세럼의 결과와 유사하게 전반적인 측정치 개선효과(Table 1)가 보였으나 4주차까지 10 % 가량 증가했던 투명감 개선율이 8주차에서는 7 % 정도로 낮아지는 결과가 보였다(Figure 3).

실험 결과, 자사의 두 가지 미백 제형은 8주간의 사용 결과 시각적으로 환해보이는 얼굴의 연출이 가능하며, 객관적 투명감 개선 결과를 통해 이를 뒷받침할 수 있다는 것을 확인하였다. 또한 투명감의 평가와 동시에 시행한 15가지 지표의 측정을 통해 투명감에 영향을 주는 요

	Correlation[a]	% Correlation coefficient[b]	P value
Hydration	Positive correlation	15 %	0.003
Lightness	Positive correlation	6 %	0.016
Skin roughness	Negative correlation	28 %	0.000
Melanin index	Negative correlation	17 %	0.002
Pedness	Negative correlation	7 %	0.01

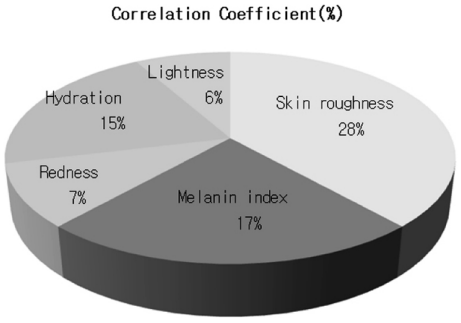

Figure 4. Correlations between luminescence of skin and other parameters. Partial least squares (PLS) regression analysis was used for revealing the relationship those parameters with luminescence. a : Correlation between luminescence and each parameter. Positive correlation means that when this parameter increases, luminescence also increase. Negative correlation means that when this parameter decreases, luminescence also decrease and b : % Correlation Coefficient. This means the degree of correlation with luminescence.

인들을 파악할 수 있었다. 그 결과 투명감에는 피부의 균일한 배열을 통한 촉촉하고 고운 피부 형성, 피부색 관련 멜라닌 감소, 밝기 증가, 색상 개선, 홍조 개선, 얇고 엉성해진 피부를 탄탄하고 치밀한 피부로 만들어주는 등의 요인들이 복합적으로 작용한 것으로 나타나고 있다.

피부 측정치와 투명감과의 상관성을 더욱 명확하게 규명하기 위해 0주차의 피험자 Data를 활용하여 부분최소제곱법(PLS-Partial Least Squares)을 통해 피부의 투명감과 높은 유의적 상관성(P value 0.05 이하)을 보이는 파라미터들을 Figure 4에 나타내었으며 상관성 정도를 상관 계수로 나타내었다. 피부 수분량, 피부 밝기, 피부결, 피부 멜라닌 지수 및 피부 홍반 지수가 각각 투명도와 상관성을 가지는 것을 확인할 수 있었으며 Figure 4에 따르면 피부 수분량 및 피부 밝기의 경우, 피부의 투명감에 대한 상태 레벨과 양의 상관관계가 있으며, 상관관계 지수는 각각 15 % 및 6 %이다. 또한, 피부결, 피부 멜라닌 지수 및 피부 홍반 지수의 경우 피부의 투명감에 대한 상

태 레벨과 음의 상관관계가 있으며, 상관관계 지수는 각각 28, 17, 7 %로 나타났다.

화장품의 효능을 나타내는 말로서 예전부터 "투명하다", "칙칙하다", "윤기있다" 등의 표현은 자주 사용되어져왔다. 하지만 이러한 인지효능에는 어느 한 가지 요소가 아닌 피부의 복합적인 상호작용이 관여하고 있기 때문에 직접 측정하는 것은 요원한 일이어서 멜라닌의 양이나 홍반의 정도 혹은 피부색 전반에 관한 측정이 미백 평가의 주요 흐름을 만들고 있었다. 그러나 최근 피부 광특성에 대한 연구의 진보로 인해 피부의 투명감을 측정하는 방법이나 투명감에 영향을 주는 요인이 밝혀지고 있어[17] 지금까지는 측정이 불가능했던 인지효능인 투명감에 대한 평가를 가능하게 하고 있다. 또한 이번 연구를 통해 투명감과 상관성을 보이는 지표들에 대한 분석을 진행함으로써 피부결 개선, 홍반 억제, 멜라닌 감소, 수분량 증가 등의 방법을 통해 투명감 개선이 가능함을 보일 수 있었다. 본 연구에서는 투명감 지표와 다른 지표간의 상관관계까지를 확인할 수 있었으며 각각의 지표가 어떠한 원리로 투명감에 영향을 주는지에 대해서는 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다. 이같은 연구결과는 소비자의 필요에 부합하는 투명감이 높은 화장품의 개발에 큰 도움을 줄 것으로 생각되며 기초 화장품 이외에도 투명감을 요하는 메이크업 부분에서의 활용도 기대되고 있다.

참 고 문 헌

1. A. Fullerton, T. Fischer, A. Lahti, *et al.*, Guidelines for measurement of skin colour and erythema., *Contact Dermatitis*, **35**, 1 (1996).
2. 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).
3. 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).
4. N. Tsumura, T. Nakaguchi, N. Ojima, *et al.*, Image-based control of skin melanin texture, *Applied Optics.*, **45**(25), 6626 (2006).
5. 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).
6. P. J. Matts, *et al.*, New insights into skin appearance and measurement, *Invest. Dermatol.* Symposium Proceedings, **13**, 6 (2008).
7. T. Noda, A. Kawada, *et al.*, The relationship among minimal erythema dose, minimal delayed tanning dose, and skin color, *J. Dermatol.*, **20**, 540 (1993).
8. J. C. Seitz, C. G. Whitmore, *et al.*, Measurement of erythema and tanning response in human skin using a tri-stimulus colorimeter, *Dermatologica.*, **177**, 70 (1988).
9. J. B. Dawson, D. J. Barkar, D. J. Ellis, *et al.*, A theoretical and experimental study of light absorption and scattering by *in vivo* skin, *Phys Med Biol.*, **25**, 659 (1980).
10. N. Kollias, A. H. Baqer, *et al.*, Quantitative assesment of UV-induced pigmentation and erythema, *Photodermatology*, **5**, 53 (1988).
11. 日本化粧品工業連合会, 粧工連技術資料, **101**, 148 (1995).
12. 日本化粧品工業連合会, 粧工連技術資料, **107**, 144 (2000).
13. 征矢智美 他, 粧技誌, **38**, 115-124 (2004).
14. R. R. Anderson, *et al.*, The optics of human skin, *Invest. Dermatol.*, **77**, 13 (1981).
15. J. O'Doherty, J. Henricson, C. Anderso, *et al.*, Subepidermal 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. 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, CA, USA, 511 (2001).