

피부 마찰 소음 측정을 통한 피부 상태 연구

장윤희·서대훈*·고아름·김선영·임준만·한종섭·이상화·박선규·김양한*†

LG 생활건강 기술연구원

*KAIST 기계공학과

(2015년 12월 4일 접수, 2016년 5월 2일 수정, 2016년 5월 15일 채택)

A Study on Skin Status with Acoustic Measurements of Skin Friction Noise

Yun Hee Chang, Dae Hoon Seo*, A Rum Koh, Sun Young Kim, Jun Man Lim,
Jong Seup Han, Sang Hwa Lee, Sun Gyo Park, and Yang Han Kim*†

LG Household & Healthcare Research Park, 84 Jang-dong, Youseong-gu, Daejeon 34114, Korea

*Department of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon 34141, Korea

(Received December 4, 2015; Revised May 2, 2016; Accepted May 15, 2016)

요약: 화장품 사용 전후의 피부 상태는 주로 시각과 촉각 및 피부 구조에 기초한 정성적, 정량적 방법에 의해 평가되어 왔다. 본 연구에서는化妆품을 피부에 도포할 때 문지름으로 인한 마찰 소음이 발생한다는 사실을 기반으로, 피부 문지름에서 발생하는 소리를 측정하여 청각을 기반으로 하는 새로운 피부 상태 평가법을 개발하고자 하였다. 우선 무향 조건에서 고감도의 계측용 마이크로폰을 사용하여 피부를 문질렀을 때 발생하는 소리를 계측하였으며, 주파수 영역(1/3 옥타브 스펙트럼) 해석법을 이용하여 세정 전, 세정 후, 화장품 도포 후의 세 가지 피부 조건에 따른 소리의 스펙트럼 변화를 분석하였다. 그 결과, 세정 전보다 세정 후에 피부 문지름에서 발생하는 소리의 세기가 증가하는 경향을 보였으며, 화장품 도포 후에는 문지름 소음의 총 세기가 가장 작음을 확인하였다. 또한, 화장품 도포 후에는 도포 전과 비교해볼 때, 2 kHz 미만의 저주파 대역의 에너지는 증가하며 반대로 2 kHz 이상의 고주파 영역의 에너지는 상대적으로 감소하는 변곡점이 발생하였다. 화장품 도포 후에 변곡점 근처에서 에너지 차이가 반전되는 이러한 현상은 피부의 물리적 모델인 풍선으로 해석되며, 저주파 영역에서의 소리 세기의 증가를 설명하기 위해 “유연함 지표”를 도입하고, 고주파 영역에서의 소리 세기의 감소를 설명하기 위해서는 “부드러움 지표”를 도입하였다. 그리고, 이러한 소리 측정을 통한 유연함 증가와 부드러움 증가는 각각 cutometer와 primos를 사용한 피부 유연함 측정과 피부 거칠기 측정 결과와 유사함을 확인하였다. 이상의 연구 결과를 통해 유연함과 부드러움 지표를 사용하는 청각에 기초한 평가 방법은 새로운 피부 상태 평가법으로 활용 가능할 것으로 판단된다.

Abstract: Efficacy of cosmetics has been mainly evaluated by qualitative and quantitative methods based on visual sense, tactile sense and skin structure until now. In this study, we suggested a novel evaluation method for skin status based on sound; measuring and analyzing the rubbing noise generated by applying cosmetics. First, the rubbing noise was measured at a close range by a high-sensitivity microphone in anechoic environment, and the noises were analyzed by 1/3 octave band analysis in frequency-domain. Three conditions, 1) before washing, 2) after washing and 3) after application of cosmetics, were compared. As a result, sound pressure level (SPL) of rubbing noise after washing was larger than that of before washing, and the SPL of rubbing noise after cosmetic application was the smallest. Furthermore, the energy of rubbing noise after application was higher than that of the before and after washing conditions in a low

† 주 저자 (e-mail: yanghankim@kaist.ac.kr)
call: 042)350-3025

frequency band (lower than 2 kHz region). Conversely, the energy of rubbing noise after application was much lower than the others in a high-frequency band (upper than 2 kHz region). This change of energy distribution was described as a balloon-skin model. High SPL in the low frequency region after the cosmetic applications was due to the increase of “flexibility index”, while SPL in the high frequency region significantly decreased because of the attenuation which is related to “softness index”. Therefore, we developed two indices based on the spectrum-energy difference for evaluating skin conditions. This proposed method and indices were verified via skin flexibility and roughness measurement using cutometer and primos respectively. These results suggest that acoustic measurement of skin friction noise may be a new skin status evaluation method.

Keywords: friction noise, rubbing noise, 1/3 octave analysis, sound pressure level, sound quality

1. 서 론

개인의 피부 상태 및 화장품 사용 후의 변화를 측정하는 인체시험 항목에는 피부의 보습, 탄력, 결, 부드러움 및 피부색 측정 등이 있다. 피부 보습 즉 피부 수분량의 경우 corneometer을 사용하여 수분 함량에 따라 전기적 저항이 달라지는 원리를 이용하여 피부 각질층 내의 수분량을 측정하며, 피부 탄력은 cutometer을 사용하여 피부에 음압(negative pressure)을 발생시킨 후, 음압이 제거되었을 때 피부가 원래 상태로 복원되는 성질을 이용하여 측정하며, 피부 결과 부드러움은 피부 영상을 촬영하는 장비인 primos나 피부의 본(replica)으로 피부 표면의 이미지를 확보하여 측정하거나, 마찰 계수(friction coefficient)를 측정하여 평가한다. 마지막으로 피부 색은 색차계(colorimeter)를 이용하여 피부 표면의 밝기를 측정한다. 이와 같은 기존의 피부 측정은 인간의 오감 중 주로 시각 및 촉각에 기반한 평가방법이다. 그러나, 최근 피부의 상태에 따라, 피부에서 발생하는 소리가 변화하고, 그 변화를 피부 마찰 소리의 전체 크기 레벨(sound pressure level, SPL)로 나타내고자 하는 연구 결과가 발표되기도 하였다[1].

일반적으로化妆품을 피부에 바른 뒤, 피부에 좀 더 잘 스며들게 하기 위해 사용자는 피부를 문지르게 된다. 이러한 문지름 현상을 시스템적 해석에서 보면, 피부 조직은 시스템에 해당하며 문지름 현상은 외부 입력이 되며, 그에 따른 피부의 진동, 소리, 마찰 등은 시스템의 출력에 해당한다. 따라서, 문지름 입력은 피부 조직과의 마찰을 유발하며, 스틱-슬립(stick-slip) 현상에 의해서 마찰음을 발생하게 된다. 실제로 사람과 직접적으로 접촉하는 직물의 경우 직물에서 발생하는 마찰 소리가 착용자와 상대방에게 영향을 미치기 때문에, 이러한 마찰 소음을 제어하거나, 심리적으로 적절

한 소리를 만들어 내기 위해 음질(sound quality)을 연구한 사례가 있다[2,3].

본 연구에서는 청각을 기반으로 한 새로운 피부 상태 평가법을 개발하고자, 음향 측정법을 활용하여 세정 전, 세정 후, 화장품 도포 후의 문지름 소리를 분석하고, 화장품 사용 전후의 피부 성능 개선의 기준이 될 수 있는 새로운 음향적 지표를 도출하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 화장품의 제조

화장품은 mannitol, arginine, serine, sucrose, PCA, citrulline, glycogen, histidine HCL, alanine, threonine, glutamic acid, lysine HCL 혼합물 0.01%와 0.5% ceramide-3, 2% niacinamide를 주원료로 사용하여 호모믹서(TK robomix, Primix, Japan)로 제조하였다.

2.2. 피부 마찰음의 측정 장소 및 장비

전무향실(all anechoic room, 3.5 m × 3.5 m, 차단주파수 100 Hz, 압소음 16.5 dB, 온도 24 ~ 25 °C, 습도 50 ~ 60% RH)에서 발생된 소리는 고성능 마이크로폰(free-field type 1/2 inch, free-field type, 20 ~ 20 kHz, dynamic range: 16.5 ~ 134 dB, 48.9 mV/Pa (type 4189, B&K, Demark)을 이용하여 녹음하고, A/D DAQ 컨버터(24 bit, ± 5 V, Fs 51.2 kHz), Signal Express (National Instruments, USA)를 사용하여 51.2 kHz의 샘플링 주파수로 계측하였다.

2.3. 피부 접촉 소음의 측정

9명의 여성 피험자(평균 연령 28.3세)를 대상으로, 상기한 전무향실에서 세정 전, 세정 후, 화장품 사용 후의 피부 마찰 소리를 측정했다. 1/2” 마이크로폰의

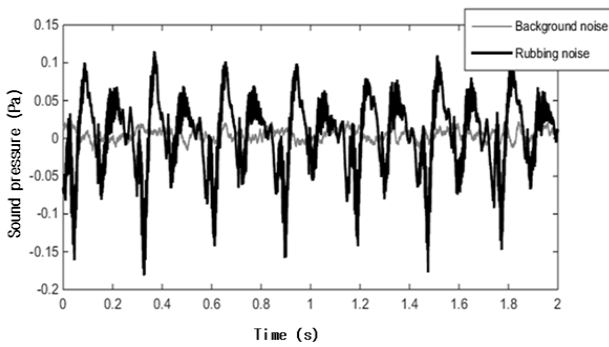


Figure 1. Rubbing noise data (background noise: 16.5 dB, ref: 20 μ Pa).

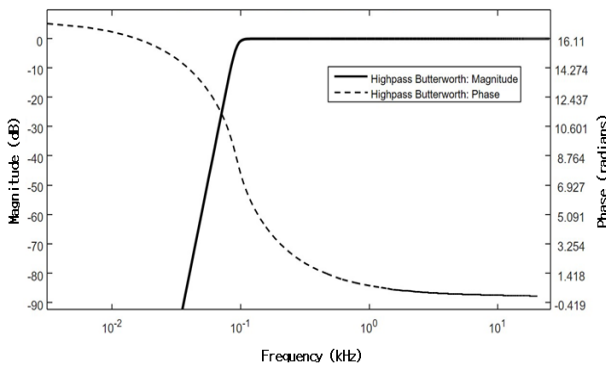


Figure 2. High-pass filter response for rubbing noise measurement (cut-off frequency: 100 Hz).

위치는 피부에서 3 cm 상공에 떨어진 위치에 피부 표면과 마이크론의 다이어프램면이 평행하게 위치시켰다. 하박의 안쪽 평평한 부위에 4 cm × 12 cm 크기로 측정 부위를 표시하고, 아래와 같은 각각의 조건에서, 피부의 접촉 소음을 측정하였다. (a) 세정 전(before washing): 측정 부위를 무세정, 무도포 상태에서 문지름을 발생시키고 소음을 측정하였다. (b) 세안 직후(after washing): 측정 부위를 세안제를 이용하여 세정 후 건조된 상태에서 문지름을 발생시키고 소음을 측정하였다. (c) 화장품 도포 후(after application of cosmetics): 세정 후化妆품을 측정 부위에 도포 직후(120 μ L / 4 cm × 12 cm), 도포 10 min 후 문지름 소음을 측정하였다. 모든 문지름은 10 s 동안 0.6 s/cycle (= 1.67 Hz)의 속도로 동일한 힘을 가하여 쉬지 않고 정상적(stationary)인 가진 상태로 문지르며, 하나의 실험 당 10 s 동안 문지름을 발생시켰다(Figure 1).

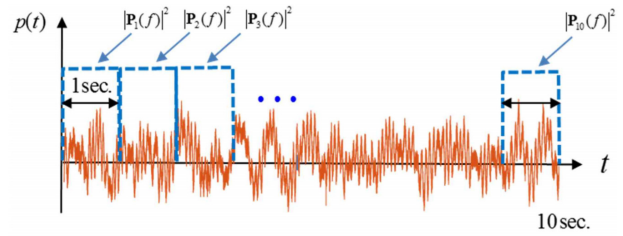


Figure 3. Window for 10 times averaged-power spectrum (hanning window, window length: 1 s).

2.4. 신호 처리 방법

2.4.1. High-Pass 필터링

최초 계측된 피부 문지름 소음의 원 자료(raw data)를 FIR butterworth high-pass filtering을 이용하여 100 Hz 미만의 주파수 대역에서의 암소음으로 인한 신호대 잡음을 확보하고, 반사파의 영향으로 스펙트럼의 왜곡 발생을 제거하고, 마지막으로 문지름 주기에 따른, 즉 1 s에 몇 번 문지름을 발생시키는가에 따른 기본 주파수(fundamental frequency) 성분을 제거하였다(Figure 2).

2.4.2. 옥타브 분석(Octave Analysis)

옥타브 분석은 해당 밴드별 음압의 자승 평균값을 계산하는 방법이고, 1/3 옥타브 분석 방법은 하나의 밴드를 더욱 세밀하게 3개의 밴드로 나눈 분석 방법이다. 피부 문지름 소음의 1/3 옥타브 스펙트럼을 얻기 위해서는 랜덤 오차를 최소화시키기 위한 평균화 단계가 필수적으로 요구된다. 랜덤 오차는 문지름 방법(속도, 누르는 세기)의 변화 및 문지름 소음 이외의 잡음의 영향 등에 의해 발생하며, 이와 같은 랜덤 오차를 최소화시키기 위한 평균화 단계로 아래와 같은 방법을 사용하였다. 즉, 10 s 동안 계측한 피부 문지름 소음은 길이가 1 s인 hanning window 함수에 대입하여 평균화된 스펙트럼을 얻고, 1/3 밴드별 음압의 자승평균값으로 계산하였다. 10 s 동안 측정된 피부 문지름 소음 $s(t)$ 에 대해서 1 s 길이의 윈도우함수를 취한 파워 스펙트럼을 $|P_i(f)|^2$ 라고 하면, 평균화된 파워 스펙트럼

$$\bar{P}(f) = \sum_{i=1}^{10} |P_i(f)|^2 \text{와 같다(Figure 3).}$$

Table 1. Peak to Peak, Root Mean Squared (RMS), and Crest Factor of Rubbing Noise under Three Conditions

	Peak to peak (Pa)	RMS (Pa)	Crest factor
Before washing	0.22	0.02	5.71
After washing	0.35	0.05	4.16
After application of cosmetics	0.28	0.04	4.05

2.5. 피부 유연성 및 거칠기 평가

본 연구에서 피부 유연성은 피부에 외압이 가해졌을 때, 압력에 의한 피부 변형이 많이 발생하는 것이라고 정의하였다. 따라서, Cutometer MPA 580 (Courage and Khazaka, Germany)의 R_0 지표를 이용하여 피부 유연성을 측정하였다. 측정 방법은 2 mm 직경의 측정 프로브를 피부에 밀착시킨 후, 450 mbar의 음압을 가했을 때, 가해진 음압에 의하여 피부가 빨리 들어가는 정도를 3회 측정하고, 평균 유연성 값(R_0)으로 산출하였다. 피부의 거칠기는 PRIMOS software version 5.8E (Canfield, USA)로 3회 측정하고, 평균 거칠기 값(R_a)으로 산출하였다.

2.6. 통계적 분석

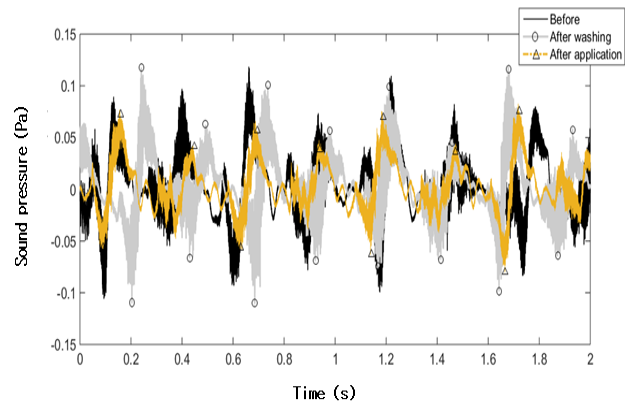
실험 결과는 피시험자군의 평균값과 표준편차로 나타내었고, paired t -test법을 이용하여 p -value가 0.05 미만인 경우 통계적으로 유의성이 있는 것으로 판정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 세정 전, 세정 후 및 화장품 도포 후 피부 문지름 소리 변화

피부 문지름 소리의 변화를 정량화하기 위하여 시간 영역 분석법과 주파수 영역 분석법[4]을 적용하여 각 결과를 고찰하였다.

시간 영역 분석 방법을 사용하기 위해서 세정 전, 세정 후 및 화장품 도포 후에 2 s 동안 마이크로폰에 계측된 피부 문지름 소음의 변화를 시간-음압 데이터로 나타내고(Figure 4), 대표적인 정량화 지표인 피크 대 피크값(peak to peak (Pa)), 실효값(RMS (Pa)), 그리고 파고율(crest factor)을 각각 나타내었다(Table 1). 문지름 소음은 Figure 4에서 보는 것과 같이 신호 분류상 정상적(stationary) 신호의 특성을 보였고, Figure 4와 Table 1에서 알 수 있듯이 정상적으로 발생하는 문지

**Figure 4.** Time-pressure data of rubbing noise under three conditions.

름 소음의 경우, 각각 지표에 따른 수치 차이가 미미하여 시간 영역 지표를 이용하여서 유의미한 결과 해석을 하기에는 부적합하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 시간 영역 지표 값은 랜덤 오차에 아주 취약하여 문지름 소음과 같이 정상적인 랜덤 신호에는 적용하기 힘들음을 확인하였다.

이에 비해 주파수 영역 해석 방법인 1/3 옥타브 스펙트럼을 적용한 결과, 전체 소리 세기(overall SPL) 기준으로 세정 후, 세정 전, 화장품 도포 순으로 전체 소리 세기가 감소하였다. 즉, 세정 후가 세정 전보다 평균 0.8 dB 증가하며, 화장품 사용 후 모든 피 시험자에 대하여 세정 전 보다 평균 4.3 dB, 세정 후 보다 평균 5.1 dB이 감소하였다(Figure 5). 이러한 소리 세기의 변화는 세정 후 피부 거칠음 증가 및 화장품 도포로 완화되는 거칠음 감소 효과에 기인한다고 판단된다. 그리고, 세정 전, 세정 후, 및 화장품 도포 후 스펙트럼을 비교해보면 Figure 6과 같이 2 kHz 대역 주위에서 저주파 영역의 에너지와 고주파 영역의 에너지가 반전되는 변곡점이 발생이 발생하였다. 즉,化妆품을 피부에 도포하게 되면 2 kHz 미만의 저주파 대역에서는 에너지가 증가하고, 2 kHz 이상 고주파 대역에서는 에너지 감소

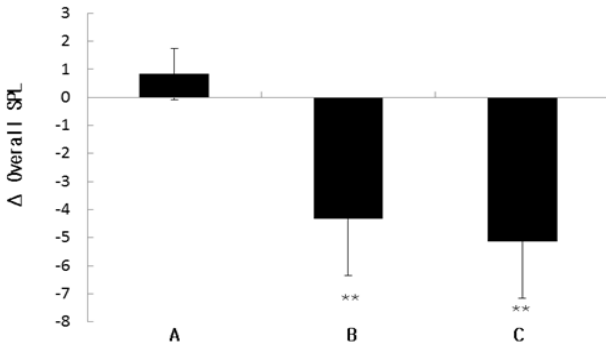


Figure 5. Change in overall SPL. (A) after washing overall SPL-before washing overall SPL, (B) after application of cosmetics overall SPL-before washing overall SPL, (C) after application of cosmetics overall SPL-after washing overall SPL ** $p < 0.005$ (n=9)

하는 경향을 보였다. 주관적 음질 평가 요소인 음질 지수(sound quality index)에 따르면 저주파 영역과 고주파 영역에서의 에너지 분포의 차이는 음질 지수 중에서 음의 거칠기(sharpness)를 결정하는데[5], 따라서 화장품 도포는 저주파 영역의 에너지 증가 및 고주파영역의 에너지 감소로 인해 음의 거칠기를 변화시키게 되어 상대적으로 “부드러운” 소리가 증가하고 반대로 “날카롭고, 거친” 소리는 감소하는 등 주관적 감각 차이를 발생시킨다고 할 수 있다.

3.2. 피부 문지름 소음을 이용한 피부 평가 지표 고안

9명의 피실험자 실험 결과(Figure 6)에서 발견할 수 있는 일관된 경향은 약 2 kHz 근방에서 분기점 즉 피부 특정 주파수(characteristic frequency of skin)가 형성 되는 것이었다. 즉 특정 주파수보다 낮은 주파수(low frequency) 영역에서는 화장품 도포 시 세정 전 또는 세정 후 피부를 문질렀을 때 발생하는 소리의 세기(SPL)가 높고, 특정 주파수보다 높은 주파수(high frequency) 영역에서는 화장품 도포시 소리 세기가 가장 낮게 나타났다. 이렇게 화장품 도포에 의해 피부 문지름 소리의 크기가 특정 주파수를 중심으로 매우 다른 경향을 보이는 것을 설명하고, 피부 특성을 반영한 지표를 산출하기 위해 고무풍선(balloon) 모델을 도입하였다(Figure 7). 피부가 고무풍선과 같이 음향학적인 특성을 가지고 있다고 가정할 경우 피부가 특정 주파수 보다 낮은 주파수에서는 풍선이 Figure 7A와 같이 화장품의 도포에 의하여 강성(stiffness)이 감소하는 경향을 가지

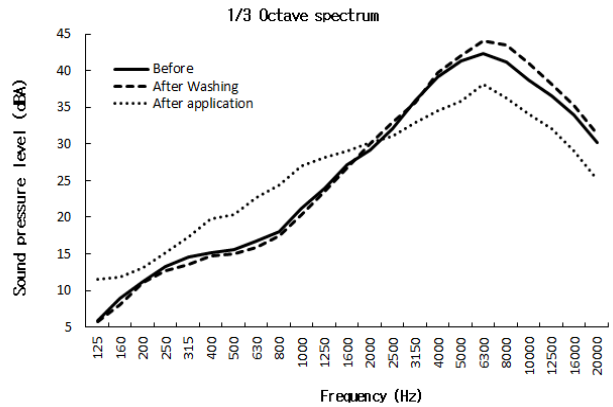


Figure 6. Averaged power spectrum of rubbing noise under three conditions (n=9).

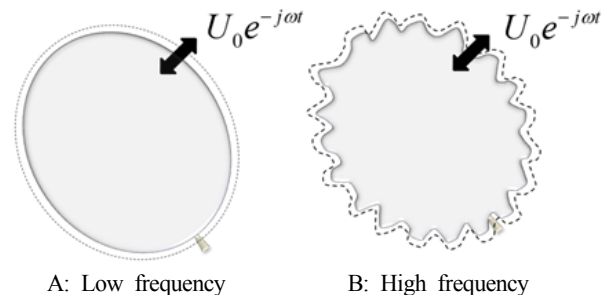


Figure 7. A model for alternating contraction and dilation balloon (U_0 : volume velocity, ω : frequency).

며, 이 주파수 보다 높은 영역에서는 Figure 7B와 같이 화장품 도포에 의하여 강성의 증가 보다는 감쇠(attenuation)가 증가하는 방향으로 변화한다고 할 수 있다. 다시 말하면, 특정 주파수보다 낮은 주파수에서는 이러한 현상은 말랑 말랑한 고무풍선(단위 힘에 대한 부피의 변화가 큰 풍선)이 딱딱한 고무풍선(단위 힘에 대한 부피의 변화가 작은 풍선) 보다 더 탄력성 있게 느껴지는 것과 동일하게 강성이 줄면, 즉 단위 힘에 의한 피부의 변형이 커지면 피부가 탄력성이 좋아지고 피부가 유연해지는 느낌을 줄 수 있다. 따라서, 특정 주파수 이하의 영역은 피부 유연함과 관련이 있다고 할 수 있다.

이와 반면, 특정 주파수 보다 높은 주파수에서는 화장품 도포 후, 소리세기가 감소하는 경향을 보이는 즉, 피부가 부드러워져서 발생하는 음의 강도가 낮아지는 현상으로 유추할 수 있다. 고무풍선 모델로 설명하면,

Table 2. Skin Flexibility Index

Subject	Before washing	After washing	After application of cosmetics
1	27.4	29.7	31.2
2	29.8	29.4	32.6
3	28.7	28.3	33.8
4	29.5	28.7	35.9
5	31.5	31.4	34.0
6	34.2	31.5	37.5
7	30.6	30.3	35.9
8	31.4	31.5	34.5
9	31.7	31.6	34.4

특정 주파수 보다 높은 영역에서는 고무풍선이 복잡한 형상으로 팽창 수축을 반복하여(Figure 7B) 강성 보다 감쇠에 의한 효과가 더욱 지배적일 것이라 가정할 수 있다. 따라서, 특정 주파수 보다 높은 영역은 피부 부드러움과 관련이 있다고 할 수 있다. 이상과 같은 결과 및 가설에 의하여 도출할 수 있는 피부 평가 지표는, 단연 “유연함 지표(dB_L)”와 “부드러움 지표(dB_H)” 이고, 이 두 지표를 수식으로 표현하면 아래와 같이 정의할 수 있다[6].

$$\text{식 (1.1)} \quad dB_L = 20 \log_{10} \left(\sum_{m=10}^{21} |P_m| / P_{ref} \right)$$

$$\text{식 (1.2)} \quad dB_H = -20 \log_{10} \left(\sum_{m=22}^{30} |P_m| / P_{ref} \right)$$

여기서 $|P_m|^2$ 는 m 번째 1/3 옥타브 밴드의 A가중치 파워를 의미한다. 전처리 과정의 영향으로 중심주파수 125 Hz ($m=10$)부터 계산된다. 식 (1.1)과 식 (1.2)를 정리하면 “유연함 지표(dB_L)”는 1/3 옥타브 밴드기준으로 중심주파수 125 Hz ($m=10$)부터 16 kHz ($m=21$)까지의 A-가중치 SPL로 정의되고, “부드러움 지표(dB_H)”는 1/3 옥타브 밴드기준으로 중심주파수 2 kHz ($m=22$)부터 20 kHz ($m=30$)까지의 A-가중치 SPL에 음(negative)의 부호를 취한 값으로 정의될 수 있다. 식 (1.2)에 음의 부호를 취한 이유는 지표 값의 증가와 “부드러움”의 물리적 현상간의 양의 상관관계를 나타내기 위해서이다.

Table 3. Skin Smoothness Index

Subject	Before washing	After washing	After application of cosmetics
1	-49.1	-51.2	-43.1
2	-51.1	-50.8	-43.2
3	-46.5	-48.3	-43.7
4	-46.9	-48.0	-42.7
5	-53.2	-54.6	-46.5
6	-47.8	-48.5	-45.3
7	-46.8	-46.8	-43.4
8	-52.0	-51.6	-45.8
9	-53.2	-54.6	-46.5

Table 2와 Table 3에 식 (1.1)과 식 (1.2)로 정의되는 2가지 지표에 대한 9인의 피 실험자의 문지름 소음 적용 결과를 나타내었다. 화장품 사용 전, 후를 비교해 볼 때 화장품의 사용은 유연함 지표와 부드러움 지표를 증가시켰다.

3.3. 고안된 피부 평가 지표와 기존의 피부 평가법과의 비교

피부 문지름 소리 측정을 통해서 도출된 상기한 피부 평가 지표와 기존 피부 평가법과의 비교를 위해서 실험을 실시하였다. 피부 유연성을 평가하기 위해서는 cutometer로 피부에 음압을 가한 후, 피부가 당겨지는 정도(R_0)를 측정하였다(Figure 8A). 그 결과 화장품 도포 후 증가하는 피부 유연성 지표와 같이 피부가 당겨지는 정도 즉 피부 유연성이 증가한다는 것을 확인하였다. 그리고, 피부 부드러움은 primos를 이용한 피부 표면의 요철(R_a)를 측정하였다. 그 결과 화장품 도포 후 증가하는 피부 부드러움 지표와 유사하게 피부 부드러움이 증가한다는 것을 확인하였다(Figure 8B). 따라서, 이러한 결과는 새로 고안된 피부 평가 지표가 피부 상태를 평가하는 새로운 방법으로 활용될 수 있는 가능성을 보여준다 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 피부 문지름 소리의 변화를 측정 및 분석하여 소리를 이용한 새로운 피부 상태 평가법 및 피부 상태 지표를 창안하고자 하였다. 고감도의 측측

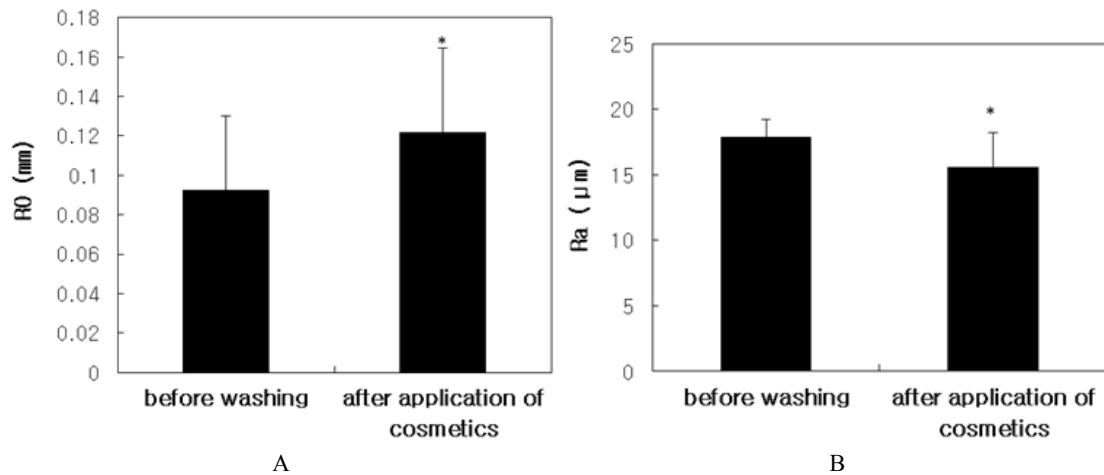


Figure 8. Skin flexibility measurement with cutometer (A) and skin smoothness measurement with primos (B). * $p < 0.05$ compared with the before washing (n=9)

용 마이크로폰을 사용하여 샘플링 주파수로 계측하였으며, 주파수 영역(1/3 옥타브 스펙트럼) 해석법을 이용하여 스펙트럼 변화 유의를 관찰하고 차단 주파수가 100 Hz인 고역 통과 필터링을 통한 평균화된 스펙트럼을 이용하였다. 그 결과 세정 후, 세정 전, 화장품 도포 후 순으로 소리의 세기가 커졌으며, 그리고, 화장품 사용 전후에 특정 주파수(2 kHz)를 기준으로 에너지 반전현상이 발생하였다. 이러한 에너지의 반전 현상을 설명하기 위해 피부의 물리적 모델로서 풍선을 도입하여 저주파 영역에서의 에너지 증가는 유연함 지표, 고주파 영역에서의 에너지 감소는 부드러움 지표를 고안하였다. 그리고, 이러한 청각의 기반으로 창안된 지표는 cutometer을 이용한 피부 유연함과 primos을 이용한 피부 부드러움 결과와 유사한 경향을 보여 본 연구를 통해 고안된 피부 평가 지표가 피부 상태를 평가하는 새로운 방법으로 활용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

향후 이 가설을 증명하기 위한 실험을 계획하고 추진하는 것도 장기적으로 볼 때 가치 있는 연구의 방향으로 본다. 향후 연구에서는 마이크로폰뿐만 아니라 가속도계를 추가로 사용하여 피부의 진동도 함께 계측하여 분석하는 방법도 고려할 필요가 있다. 또한 피부 문지름 방법 즉 가진 방법의 개선을 위해서 표준화된 실험 장치를 제작하여 마치 혈압을 측정하는 계측기와 같이 정해진 위치에 피 실험자가 착석하고 해당 피부

에化妆품을 도포하면, 그 시점부터 표준화된 단위 힘이 가진 하여 마찰을 발생시키고 정해진 위치의 센서에서 자동적으로 음압 또는 가속도의 계측이 가능한 장치가 필요하다고 판단된다.

Reference

1. H. Zahouani, R. Vargiolu, G. Boyer, C. Pailler-Mattei, L. Laquize, and A. Mavon, Friction noise of human skin *in vivo*, *Wear*, **267**(5), 1274 (2009).
2. E. J. Jin and G. S. Cho, Sound characteristics and mechanical properties of taekwondo uniform fabrics, *J. Kor. Soc. Cloth. Ind.*, **14**(3), 486 (2012).
3. J. Y. Cho and G. S. Cho, Properties influencing the fabric sound sensibility evoked by the similar sound pressure of fabric sounds, *Ergonomics in Safety and Health*, Pusan, 108 (2005).
4. Y. H. Kim, Sound propagation: an impedance based approach, 93, John Wiley & Sons, Hoboken, Singapore (2010).
5. E. Zwicker and H. Fastl, Psychoacoustics-facts and models, 2, Springer-Verlag, New York, Washington D.C. (1999).
6. Y. H. Kim and K. W. Nam, Lecture notes on acoustics, 67, Cheongmoongak, Seoul (2005).