

모발의 마찰계수를 통한 모발 손상 인식 연구

임병택·서홍안·송상훈·손성길·강내규[†]

LG생활건강기술연구원

(2020년 7월 23일 접수, 2020년 8월 25일 수정, 2020년 9월 15일 채택)

A Study for Perception of Hair Damage Using Friction Coefficient of Human Hair

Byung Tack Lim, Hong An Seo, Sang-Hun Song, Seong Kil Son, and Nae-Gyu Kang[†]

E10 LG Science Park, LG Household & Health Care, 70 Magog Jungang 10ro, Seoul, Korea, 07795

(Received July 23, 2020; Revised August 25, 2020; Accepted September 15, 2020)

요약: 염색과 같이 산화제를 이용한 미용은 모발의 큐티클 구조를 바꾸거나 단백질 변성 및 지질의 소실을 야기하여 모발을 손상시킨다. 본 연구에서는 모발 손상 변화를 기기 평가를 통해 마찰계수를 측정하고 이것이 소비자들의 손상 인지와 상관성이 있는지 알아보고, 더 나아가 손상 원인을 수분 변화에서 찾아 분석 하였다. 염색, 펌, 탈색 과정을 모발에 반복할 때 마찰계수를 측정한 결과 염색의 경우는 3 회 처리에서 마찰계수 0.60 을 기록했는데, 일반인들을 대상으로 동일 모발에 대한 촉감에 의한 손상 인지 조사에서 응답자의 58%가 이 모발에서 처음으로 손상을 인지한다고 답하였다. 탈색의 경우 3 회 처리에서 마찰계수가 0.84 로 크게 변하였는데 응답자의 88%가 손상모로 인지하였다. 지질 소실을 통한 손상에 따른 인지를 알아보기 위하여 모발 표면의 18-methyleicosanoic acid (18-MEA)를 제거하며 마찰계수를 인위적으로 높인 다양한 모발을 제작하였다. 이 경우 마찰계수가 0.60 인 모발부터 전체 응답자의 68%가 최초로 손상을 인식한다고 답하였다. 기기평가로 확인된 마찰계수와 이와 연관되는 손상 인지가 모발에서 가장 많은 양을 차지하는 수분으로부터 기여되는지 확인하기 위하여 손상모의 수분함량을 측정하였다. 염색 처리 횟수가 증가할수록 모발의 접촉각이 감소하며 모발이 친수성으로 변함을 확인하였는데, 실제로 염색 손상모가 건강한 모발보다 0.42% 더 많은 수분량을 가짐을 유의차 있게 확인하였다. 최종적으로는 손상 모발의 수분량 증가가 마찰계수와 비례하는 점착력 증가를 유도하며 마찰계수가 0.60 이상으로 증가할 때 손상 인지가 됨을 알아보았다.

Abstract: Treatment for beauty using oxidizing agents damages hair with inducing structural alteration in cuticle layer, degradation of protein, and loss of lipid. This study connects a frictional coefficient upon the damaged hair by an instrumental test to the texture test by human being, and considered a moisture as a factor of the damage. A friction coefficient has been measured upon the hair with successive treatment of dye, perm, and bleach. The friction coefficient from the hair dye-treated three times was defined with 0.60, where 58% of answerer indicated an initial damage point as the hairs of iteration of dye-treatment increased. Even bleach treated three times results in 0.84 of friction coefficient corresponding to 88% of answerer attributed the hair to an initially damaged hair. In order to figure out a lipid loss in hair for human being to respond damage, a friction coefficient of the hair was controlled by removing 18-methyleicosanoic acid (18-MEA). The initial damage has been recognized by 0.60 of the friction coefficient for the 68% of answerer. Since moisture is the largest portion of the components in hair, moisture analysis has been performed to study a relationship between texture of damage and the friction coefficient from an instrumental evaluation. As an iteration of dye increases, the hair became hydrophilic with smaller contact angle. It is found that a damaged hair by dyeing possessed more than 0.42% of moisture compared to a healthy hair. Finally, it is elucidated that

[†] 주 저자 (e-mail: ngkang@lghnh.com)
call: 02-6980-1533

an increase of moisture in hair induced higher adhesive force corresponding to the friction coefficient, and the friction coefficient above 0.6 is attributed to the preception of hair damage.

Keywords: friction, hair, damage, emotional evaluation

1. 서 론

인간의 모발은 외모를 대표하는 가장 큰 특징 중 하나로서 개인의 성향이나 취향에 따라 다양한 방법으로 모발에 변화를 주고 이를 통해 개성을 표현하고 있다. 모발 미용을 위한 방법으로 염색 및 탈색으로 대표되는 화학적 처리, 빗을 이용한 모발 정돈 및 드라이기 혹은 고데기를 이용한 열처리로 대표되는 물리적 처리가 보편적으로 사용되고 있으며 목적에 따라 적절한 방법을 선택하여 자신을 표현한다. 그런데 이러한 방법들은 모발 내부 황 구조를 끊거나 큐티클에 자극을 가함으로써 모발을 손상시키기 때문에 모발 손상에 대한 관심이 증가하고 있다[1].

사람의 감성으로 손상을 평가하는 방법은 평가자나 주변 환경에 큰 영향을 받기 때문에 절대값을 매기는 것이 어렵다. 따라서 모발이 손상된 정도를 객관화하여 상대 비교가 가능하도록 기기를 이용하여 손상도의 정량적 지표를 도입하는 연구가 이루어져왔다[2,3]. 특별히 모발 손상에 대한 관심과 더불어 현대에는 모발의 힘 측정과 내부 손상을 분광학적 기술로 물리적 특성을 분석하고 있다[4-6]. 하지만 기기 평가로부터 측정된 모발 손상에 대한 정량적인 분석과 실제 사람이 손상을 인지하는 감성적인 측면에 대한 상호 관련성에 대한 연구는 상대적으로 최근에야 시작되었다[7,8].

기기 평가를 통해 모발 손상에 대한 정량적 분석이 가능해졌다 해도, 결국 상업적인 관점에서 모발 화장료를 제조하는 기업들에게는 소비자들의 감성적인 측면이 중요하기 때문에, 기기평가에서 측정 및 분석한 물리적 특성과 소비자 실제 감성 인지를 연결하려는 시도가 시작되고 있다. L'Oreal에서는 소비자들이 인식하는 건강한 모발에 대한 기준을 분석하기 위하여 기기평가와 감성적 측면의 해석을 시도한 바 있다[9]. P&G의 경우 모발의 길이와 직경의 변화를 소비자들의 모발 건강 및 탈모의 인식 관점에서 연구하였다[10]. Kao에서는 손상모를 처리하여 물성을 개선한 모발을 소비자들에게 평가하게 하여 모발에 대한 감성응답이 어떻게 나타나는지 연구하였다[11]. 이처럼 모발 화장료를 제조하는 글로벌 기업에서는 소비자의 감성적인

요소를 객관화하여 제품 개발에 반영하는 것이 추세이다. 기존에 밝혀진 모발의 물리적 특성과 감성적인 측면의 연관성에 대한 연구는 모발 화장료 개발에 대해 심도 있는 이해를 이끄는 원동력이 될 뿐만 아니라 모발 화장료 개발에 큰 도움이 될 것이다.

본 연구에서는 일반적으로 소비자가 모발 손상을 인지하는 대표적 요소인 모발의 거칠기를 마찰계수로 정량화하여 분석하고 최종적으로 정성적인 기기 분석과 감성적인 응답의 상호관련성을 밝히고자 하였다. 마침내 마찰계수 변화의 근본적인 원인에 있어 모발의 수분거동이 미치는 영향을 보이고, 모발의 마찰 및 촉감이 상호관련성을 나타내는 근본적 이유에 수분거동이 기여함을 확인하였다. 더 나아가 본 연구가 모발에 대해 물리적인 지표 및 감성적 지표 두 요소를 결합하는데 바탕이 되고, 이를 모발의 수분거동과 연결하여 손상 모발을 대상으로 하는 다양한 제품 개발에 응용될 수 있기를 기대한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 물질

소듐라우레스설페이트(sodium laureth sulfate, SLES)는 LG 생활건강(Korea)에서 합성한 것이며, ammonium thioglycolate 50% solution, sodium hydroxide와 hydrogen peroxide 35% solution은 대정화금(Korea)을 통해 입수하였다. Potassium *t*-butoxide와 *t*-butanol은 Sigma-Aldrich (USA)를 통해 입수하였다. 리엔 흑모비책 자연갈색(LG 생활건강, Korea) 및 blondor multi blonde, koleston 6% creme developer (Wella, Germany)는 드러그스토어(USA)를 통해 직접 구매하여 사용하였다. 모발은 동양인 흑모(Beaulax)로 해피콜(Korea)에서 구입하였다.

2.2. 모발 마찰력 측정 및 마찰계수 계산

흑색 모발 4 g (16 cm) 모근방향을 아크릴판과 본드를 이용하여 고정시켰다. 고정시킨 트레스를 SLES로 2 회 세정한 후, 항온항습조건(23 °C, RH 50%)에 하루 이상 보관

하였다가 friction tester (MIT 175, Dia-Stron, UK)를 이용하여 마찰력을 측정하였다. 마찰력 측정시 수직항력은 200 g의 분동(Dia-Stron, UK)을 사용하였고, 트레스 홀더의 이동 속도는 200 mm/min으로 하였다. 모발의 마찰력을 측정하기 위한 상대 물질로는 고무 재질의 probe (Dia-Stron, UK)를 사용하였다. 모발 트레스간의 객관적인 비교를 위하여 측정된 마찰력을 이용해 수식(1)을 사용하여 마찰계수를 계산하였다.

$$\mu(\text{마찰계수}) = \frac{F_f(\text{마찰력})}{w(\text{분동의 무게}) \times g(\text{중력가속도})} \quad (1)$$

2.3. 모발 손상 처리

인간 모발을 인위적으로 손상시키기 위하여 염색, 탈색 및 펴 처리를 진행하였다. 염색처리는 모발 트레스를 SLES로 2 회 세정한 다음 드라이어로 건조시킨 후, 리엔 흑모비책 자연갈색 1제와 2제를 1 : 1로 혼합하고 모발무게의 2 배만큼을 골고루 도포하였다. 15 min 후 트레스를 흐르는 물에 2 min 간 행구고 SLES로 세척한 다음 드라이어로 완전히 건조하였다.

탈색처리는 모발 트레스를 SLES로 2 회 세정한 다음 blondor multi blonde (Wella, Germany)와 koleston 6% creme developer (Wella, Germany)를 1 : 2 로 혼합한 뒤, 혼합물을 모발무게의 2 배만큼을 골고루 도포한 뒤, 15 min 간 상온에 방치하였다. 15 min 후 트레스를 흐르는 물에 2 min 행구고 SLES로 세척한 다음 드라이어로 완전히 건조하였다.

모발 펴처리를 위하여 ammonium thioglycolate 50% solution을 정제수로 희석하여 1.0 M solution을 만든 뒤, sodium hydroxide 98%를 첨가하여 pH를 9.5로 조절하였다. hydrogen peroxide 35%를 정제수로 희석하여 3% solution을 만든 뒤, sodium hydroxide 98%를 첨가하여 pH를 7.0으로 조절하였다. 모발 트레스(16 cm, 4 g, 흑모)에 ammonium thioglycolate 1.0 M solution (pH 9.5)을 트레스 무게의 2 배만큼 고르게 도포한 뒤, 상온에서 20 min 동안 방치한 후 10 min 간 흐르는 물을 이용하여 중간 세척하였다. 세척이 완료된 트레스는 물기를 제거한 뒤, hydrogen peroxide 3% solution (pH 7.0)을 트레스 무게의 2 배만큼 고르게 도포한 뒤, 상온에서 10 min 간 방치한 후 5 min 간 흐르는 물로 세정하였다. 이후 SLES로 세척한 다음 드라이어로 완전히 건조하였다[12]. 상기 손상처리는 SLES 2 회 전처리를 제외하고 실험 설계에 맞게 반복처리 하였으며, 최종 손상처

리를 마친 모발 트레스는 모두 항온항습조건(23 °C, RH 50%)에 하루이상 보관한 뒤 사용하였다.

2.4. 18-MEA의 선택적 제거

18-MEA (18-methyleicosanoic acid)의 선택적 제거는 Tanamachi 등이 소개한 방법에 근거하여 진행하였다[13]. 18-MEA의 제거를 통한 마찰계수의 인위적 조절을 위하여 potassium t-butoxide을 t-butanol에 일정량 녹이고 (0.0001 ~ 0.2 M) 모발트레스를 1 : 10 (w/w)로 10 min 또는 120 min 정치시켰다. t-butanol로 2 회 세정하고, ethanol으로 1 회 세정한 후 최종적으로 물로 세정하였다.

2.5. 모발의 손상 인지에 대한 조사

모발(32 cm, 4 g)의 모근방향을 본드와 케이블타이를 이용하여 고정시켜 모발 트레스를 제작하였다. 제작한 모발 트레스를 SLES를 이용하여 2 회 세정한 후, 위 단락 2.3 또는 단락 2.4에서 묘사한 같은 방법을 이용하여 모발을 처리하였다. 처리가 완료된 모든 모발 트레스를 항온항습 조건(23 °C, RH 50%)에 하루이상 보관하였다.

염색, 탈색에 의한 손상처리가 이루어진 모발 트레스에 대해 일반인 50 명 (여성 25 명, 남성 25 명)을 대상으로 조사를 진행하였다. 모발 평가는 순수하게 모발의 촉감만을 인지할 수 있게 진행되었으며, 일반인들이 모발을 직접 만진 후 질문에 응답하도록 하였다. 본 실험은 LG생활건강 생명윤리위원회(IRB) 표준지침 제 16조(심의 면제 사유 법규 2항①-라)에 따라 결격 사유가 없는 범위에서 실험을 진행하였다.

2.6. 접촉각 측정

항온항습조건(23 °C, RH 50%)에서 모발 한 가닥을 슬라이드 글라스에 고정시킨 후, 분무기를 이용하여 모발에 증류수를 정량 분무하였다. 모발 위에 도포된 증류수 방울을 카메라로 촬영한 뒤, 이미지를 Image J (USA)로 분석하여 접촉각을 측정하였다.

2.7. 모발의 총 수분량 측정

항온항습조건(23 °C, RH 50%)에 하루이상 보관하였던 모발을 잘게 잘라(2 mm 이하) moisture analyzer (HS 153, Mettler Toledo)에 넣고 1 차로 65 °C에서 40 min 가열시켜 모발의 비결합 수분을 증발시킨 뒤, 바로 이어서 180 °C로 30 min 간 2 차 가열시켜 모발의 속 수분을 증발시켰다. 1

차 가열 후 모발의 무게와 2 차 건조 후 무게를 각각 가열 전 무게 값으로 차이를 내어 모발 무게 대비 전체 수분량을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 모발 표면의 마찰력 변화와 모발 손상 인식

모발이 손상되면 모발 표면에는 다양한 변화가 나타난다. 이미 밝혀진 바와 같이, 모발 최외각 구조에서는 큐티클이 들뜨거나 혹은 파괴되기도 하며 18-MEA와 같은 지질이 손실된다[14,15]. 따라서 손상에 의해 모발의 거칠기를 반영하는 마찰계수의 변화가 있음은 자명하며, 이를 구체적으로 확인하기 위한 조사를 진행하였다. Figure 1은 손상에 의해 변화한 모발 표면을 마찰계수의 정량적 수치로 관찰한 결과이다.

손상처리를 가하지 않은 흑색 모발의 경우 0.275 ± 0.05 의 마찰계수를 나타내었다. 손상 처리가 3 회 누적될 때까지의 모발의 마찰계수는 통계적 유의차가 나타났다($N = 5$, $p < 0.01$). 탈색 처리를 제외한 펌과 염색 처리가 이루어진 모발은 4 회의 누적된 처리 간 마찰계수에서 통계적 유의차가 나타났다($N = 5$, $p < 0.01$). 4 회까지의 누적된 손상 처리에 의한 마찰계수의 변화를 관찰해보면 처리 방법과

상관없이 반복적인 손상처리가 이루어질 경우 마찰계수가 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 널리 알려진 바와 같이, 염색, 탈색, 펌 처리에 의해 모발 산화 반응이 일어났고 [16], 그 결과 마찰계수의 증가가 나타났음을 의미한다.

손상 방법과 무관하게 대체로 4 회 손상 처리까지는 마찰계수가 증가하였으며, 4 회 이후부터는 마찰계수의 변화에 있어 통계적 유의차가 나타나지 않았다($N = 5$, $p < 0.01$). 다만 펌의 경우는 6 회까지만 진행하였는데 그 이상 펌 처리를 할 경우에는 케라틴 단백질의 손상이 심각하여 모발의 강도가 심각하게 훼손됨에 따라 모발 가닥들이 영겨서 마찰력 측정이 불가능하였기 때문이다. 4 회의 손상 처리에 손상 방법이 다른 3 가지 모발 트레스 모두 비슷한 마찰계수 ~ 0.88 을 나타내었고, 5 회 처리부터는 이전 4 회까지의 손상처리와 대비하여 통계적으로 유의한 마찰계수의 변화가 나타나지 않았다($N = 5$, $p < 0.01$). 즉 손상에 의해 어느 시점까지는 모발 표면의 마찰력이 증가하지만, 특정한 시점부터는 더 이상 마찰력이 변화하지 않았다. 이는 추가 손상 처리가 모발을 더 이상 손상시키지 않는다는 것이 아니라 모발의 마찰력 측정이 기기상의 한계로 더 이상의 손상을 관찰하기 힘든 것으로 판단된다.

모발 표면의 손상을 측정할 마찰력 변화를 실제 소비자의 관점에서 감성적으로 어떻게 인식하는지 알아보기 위

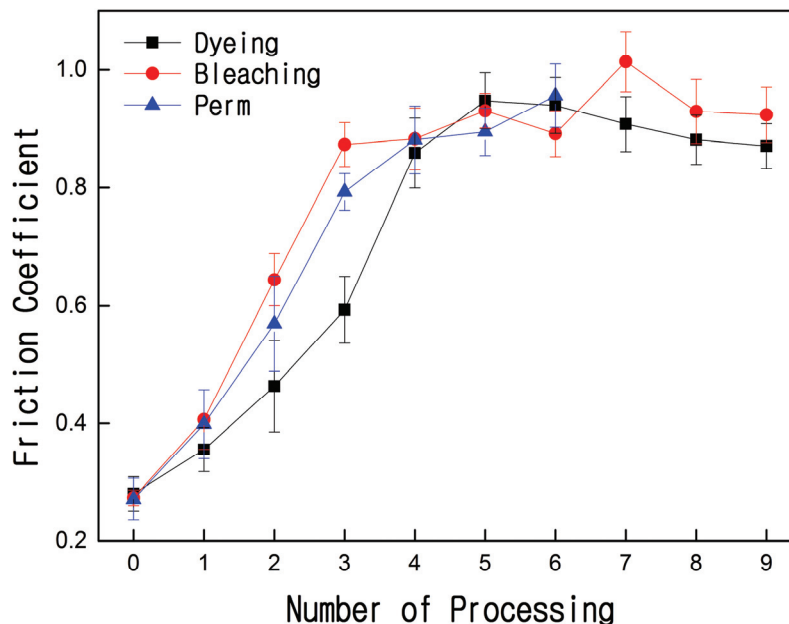
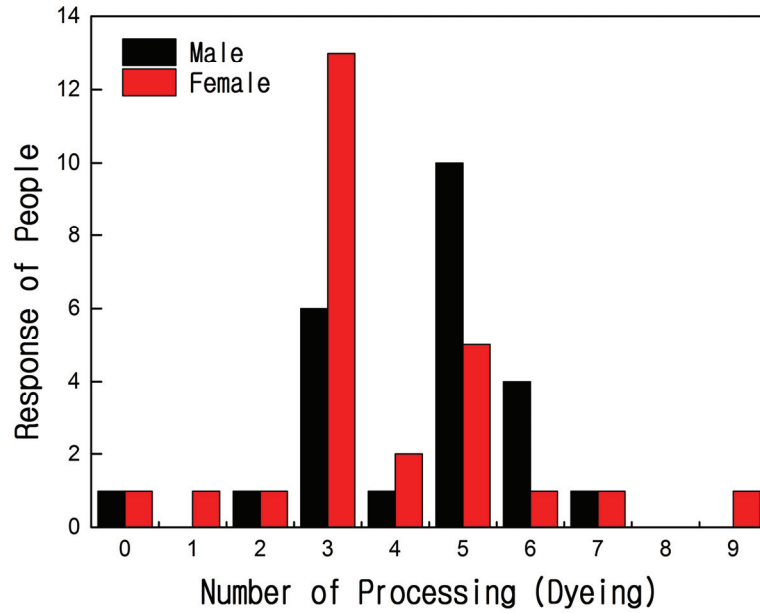


Figure 1. The change of friction coefficient of the damaged hair that various treatment of dyeing, bleaching, and perm was applied successively. ($N = 5$)

하여 염색과 탈색으로 손상 처리 한 모발을 일반인(N = 50, 남: 25 명 여: 25 명)을 대상으로 직접 만져보게 하였다. 시각 등 다른 감성 요인을 배제하기 위해 블라인드 테스트로 진행하여 마찰력과 관계가 깊은 감성적 인식요소

인 촉감을 평가하였다. 구체적으로 모발 손상처리가 누적 되었을 때, 어느 시점에서 손상을 인지하는지 조사하였다. 다만 손상처리 중 펴기 처리의 경우 1 회 처리에도 모발의 구조적 변형이 발생하여 촉감만을 기준으로 한 손상인지

(A)



(B)

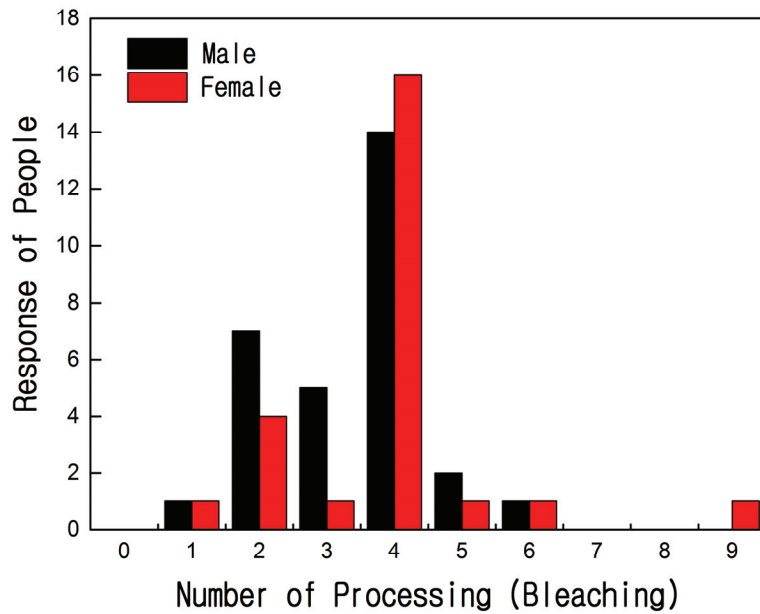


Figure 2. Texture test for the perception of damage upon the hair repeatedly treated either by dyeing (A) or bleaching (B). The texture test was done by rubbing hair swatch between fingers. (N = 25 for male, and 25 for female)

평가에는 펄 처리 모발이 부적합하기에 제외하였다.

Figure 2는 촉감으로 모발의 손상을 인지한다고 응답한 인원수를 나타낸다. 대체로 전체 모발 샘플에서 곱고루 손상을 인지한다고 응답하고 있다. 응답이 많은 처리 회수를 기준으로 결과를 관찰해보면 Figure 2A에서 나타나는 것과 같이 모발에 염색이 3 회 이루어졌을 때 전체 조사자 중 38%의 인원(남성 6, 여성 13)이 촉감으로 손상을 인지한다고 응답하였다. 염색이 5 회 이루어진 모발 샘플을 상대로 전체 30%의 인원(남성 10, 여성 5)이 손상을 인지한다고 응답하였다. 탈색의 경우에는 Figure 2B에서와 같이 탈색이 4 회 이루어졌을 때, 60%의 인원(남성 14, 여성 16)이 손상을 인지한다고 응답하였다.

염색 1 회 모발 트레스부터 5 회 처리 모발 트레스까지 손상을 인지한다고 응답한 수는 42 명으로 전체의 84%가 손상을 인지하는 것이며, 탈색의 경우는 4 회의 반복처리가 이루어지면 전체의 88%가 촉감을 기준으로 손상을 인지하는 것으로 볼 수 있다. Figure 1에서 염색 또는 탈색 4 회 처리를 할 경우 모발의 마찰계수는 $f = 0.88$ 로 평가되었다. 따라서 Figure 2의 결과를 Figure 1에서 관찰된 바와 연관시키면 0.88의 마찰계수부터 많은 소비자들은 촉감을 기준으로 손상을 인지한다고 볼 수 있다. 또한 Figure 1의 결과와 감성평가가 정비례하지는 않는 양상을 보이는데 이는 감성평가의 특성상, 모발손상에 대한 정의가 평가자 개별마다 다르기 때문이다.

기기에서 측정된 모발의 마찰계수 값의 수렴이 화학적 손상 처리 4 회에서 일어났으며, 감성적인 응답 또한 화학적 손상 처리 4 회부터 대다수가 인지한다고 응답하였으므로 둘 사이에 상관관계가 있음을 확인하였다. 이는 마찰계수 $f = 0.88$ 이라는 정량적인 값이 특별한 의미를 가질 수 있음을 보이고 있다. 앞서 언급하였듯이 모발 표면의 감촉 및 감성(texture)이 변화하는 이유는 표면 단백질의 변성과 큐티클 상태, 그리고 지질의 소실에 의해서다[1,16]. 화학적 손상은 모발 표면의 황 결합을 끊어내어 황이 시스테인 산으로 변하게 되는 단백질의 변성을 야기하며, 강한 염기성으로 인한 스웰링이 나타나고 이로 인해 큐티클 들뜸 또한 발생되기 때문에 모발의 마찰력이 변화할 수 있다. 한편, 지질에 의한 소실, 즉 18-MEA 제거에 의해 발생하는 모발 마찰력의 변화와 감성적 인식을 연결하기 위하여, 모발 최외각 지질 18-MEA를 인위적으로 제거한 모발의 마찰계수의 변화를 측정하고 이 모발에 대한 소비자들의 손상 인식 응답을 조사하였다.

Figure 3은 모발 최외각에 존재하는 표면지질인 18-MEA를 인위적으로 제거하여 각기 다른 마찰계수를 보이는 모발을 제작하고, 일반인들(여성, $N = 18$)이 손상도를 평가한 결과를 그래프로 표기한 것이다. 마찰계수가 다양하게 제작된 모발을 평가자에게 보이면서 모발 손상을 최초로 인지되는 시점의 모발 샘플을 Figure 3A에 표기하였다. 한편 이 모발 샘플들의 손상 상태에 대해 0 ~ 5 점 사이의 점수로 평가하게 하였고 Figure 3B에 나타내었다.

Figure 3A에서 나타내었듯이 18-MEA 제거에 의해 인위적으로 모발의 마찰력을 조절한 모발 샘플 중 대략 0.60의 값을 가지는 모발에서 가장 많은 손상 인지 응답(11 명, 72%)이 나타났다. 이는 Figure 1과 2에서 논한 마찰계수 0.88 값과 0.28 정도 차이가 난다. 그런데 염색의 경우 Figure 1에서 3 회 처리의 경우 마찰계수가 0.60 정도로 평가되었는데, 실제로 Figure 2에서 응답자 중 가장 많은 19 명의 사람이 염색 3 회 모발을 처음으로 손상 모발로 인지했다는 사실은 Figure 3A의 결과에서 보인 마찰계수 0.60 값이 수긍할 수 있는 결과임을 보이고 있다. 한편 손상 요인에 따라 큐티클 들뜸이나 단백질의 변성 정도가 다르기 때문에 모발의 표면 마찰계수가 달라지는데 대체로 마찰계수 0.60에서부터 손상을 인지하는 것으로 생각된다.

다음으로 모발의 마찰계수 변화와 촉감에 기반한 모발 상태를 구체적으로 점수로 나타낸 응답을 Figure 3B에 표기하였는데, 선형 회귀분석을 통한 기울기의 양상이 비슷한 것을 알 수 있으며(adjusted $R^2 > 0.95$), 서로 상관관계가 있음을 암시한다. 즉, 소비자들이 인지하는 모발의 건강함 및 손상 정도는 마찰계수의 변화와 관계가 있는 것으로 보인다. 또한 보편적인 관점에서 모발의 마찰계수가 수치적으로 0.60 이 되었을 때 소비자들 다수가 그것을 인지할 수 있다는 점은 손상된 모발에 대해 마찰계수를 0.60 이하로 유지시키면 모발 건강에 대한 긍정적인 인식을 전달할 수 있다고 볼 수 있다.

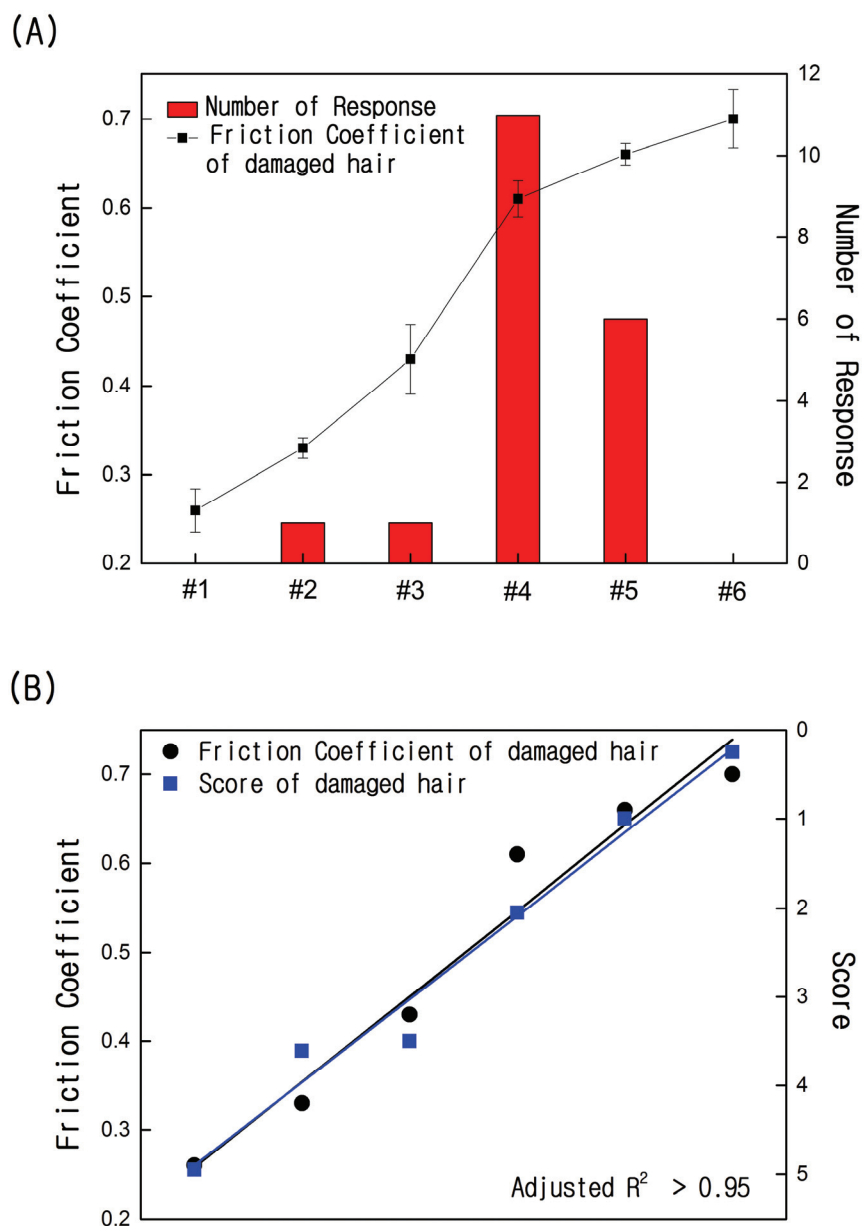


Figure 3. Friction coefficient and texture test upon the deficiency in 18-MEA. (A) Several iteration of treatment induced different lack of 18-MEA and it generates various friction coefficients. The friction coefficients are displayed with the initial response which a respondent initially perceived hair damage. (B) Correlation between the friction coefficient and averaged score (N = 16) evaluation of 18-MEA removed hair. A higher averaged score means more positive response for health.

3.2. 모발 마찰계수 변화와 모발의 수분 거동

단락 3.1에서 진술한 바와 같이, 보편적으로 일반인들이 사용하는 모발의 화학적 처리(염색, 펌, 탈색)에 따른 모발 손상은 마찰계수인 물리적인 수치로 표현이 가능함을 보

았고, 마찰계수와 감성적인 인지가 유사함을 보았으며 마찰계수가 소비자 관점에서 모발 손상을 인식하는 감성적 지표와 연결됨을 보았다. 모발 마찰계수가 변하는 요인을 Figure 1과 3에서 표면 단백질과 지질 손상으로 살펴보았

다. 마찰계수가 포화되는 지점에서의 손상도를 실험에 참가한 패널들이 손상 모발으로 인지하였는데, 이는 손상 요인과 상관없이 마찰계수에 의존하는 결과를 보였다. 따라서 마찰계수가 모발 손상 인지에 큰 영향을 미치는데, 이때 모발의 마찰계수 변화가 근본적으로 어디서 기인하는지 살펴볼 필요가 있다.

모발의 마찰계수가 변화하는 이유는 기본적으로 표면의 상태가 변화하기 때문이다. 구체적으로는 큐티클의 들뜸과 같은 구조적 변화, 단백질과 지질 손실 등이 그 이유이다. 그런데 모발을 구성하는 요소는 단백질과 지질 외에 수분이 가장 높은 비율을 차지한다[1]. 그렇다면 모발의 수분 역시 마찰계수 변화에 기여하는 바가 클 것이라는 가설을 세우고, 마찰계수 변화의 원인 분석을 모발 수분거동 변화에서 찾고자 실험을 진행하였다.

Figure 4는 누적된 손상처리 모발의 접촉각을 측정한 결과이다. 염색이 처리되지 않은 무처리 모발에서는 접촉각이 81.96 ± 4.88 이었다. 염색으로 인한 손상이 진행될수록 접촉각은 작아지기 시작했고, 4 회에서 63.58 ± 9.82 6 회에서 59.03 ± 7.86 을 기록했다. 기존에 진행되었던 연구에서 밝혀진 것과 동일하게 손상처리가 반복될수록 모발이 친수성을 나타내는 것을 확인할 수 있다[17]. 이는 모발

이 손상되면 모발 표면의 소수성을 나타내는 지질들이 손실되어 복구되지 않을 뿐만 아니라, 친수성을 나타내는 작용기들이 그 자리에 남기 때문이다. 손상이 진행될수록 모발의 표면 전하가 음의 방향으로 커지는 연구결과도 이와 같은 추측을 뒷받침한다[18]. 모발이 소수성에서 친수성으로 변할수록 세정 과정에서 일어나는 외부 수분 유입에 따른 모발 내부의 단백질 소실도 증가하게 된다[19].

Figure 4의 결과는 손상이 진행된 모발에 수분이 더욱 쉽게 결합하고 유지될 수 있음을 의미한다. 이로 인하여 모발의 손상에 따라 수분거동이 변화할 것을 쉽게 예측할 수 있다. 그렇다면 손상에 따라 모발 내부의 수분이 어떻게 변화하는지 추가실험을 해보았다.

모발의 수분은 내부에서 결합되어 있지 않은 비결합 수분과 결합되어 있는 결합 수분으로 나뉜다[20,21]. Figure 5에서 보는바와 같이 먼저 65 °C로 가열할 경우 가열전 모발 중량 대비 무처리 모발의 경우는 9.03%의 무게가 감소하였고 염색 4 회 모발의 경우는 9.16%가 감소하였다. 모발의 단백질이 타는 온도가 200 °C 이상임으로 고려할 때 이 무게 감소는 수분 감소에서 일어난 것이다. 따라서 1 차 가열에서 일어난 수분감소량은 비결합 수분의 증발량을 뜻한다. 2 차 가열에서는 결합수분의 증발이 일어나게

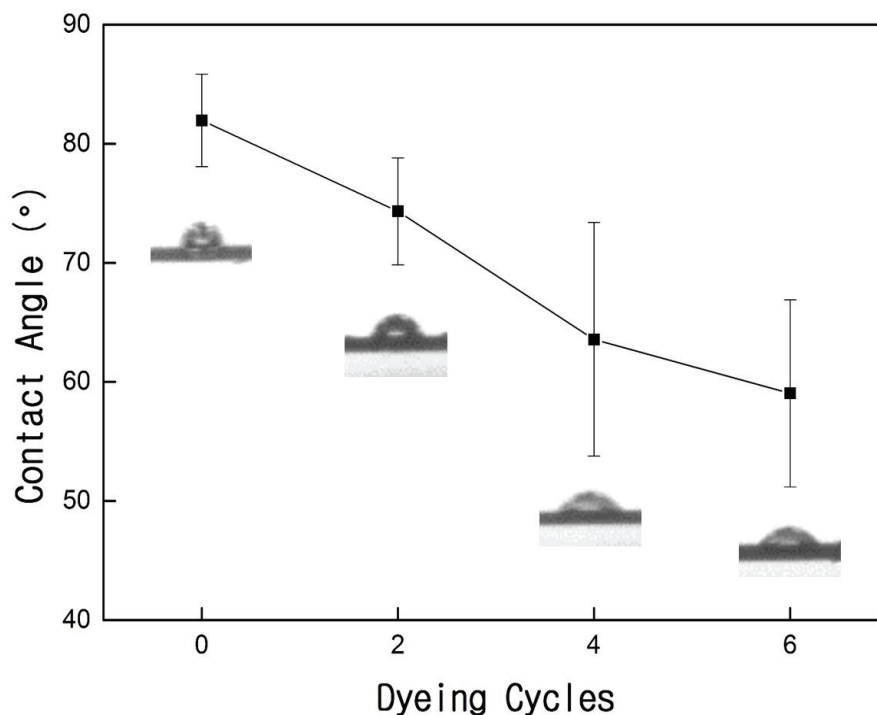


Figure 4. The contact angle of damaged hair which was repeatedly dyed. (N = 20)

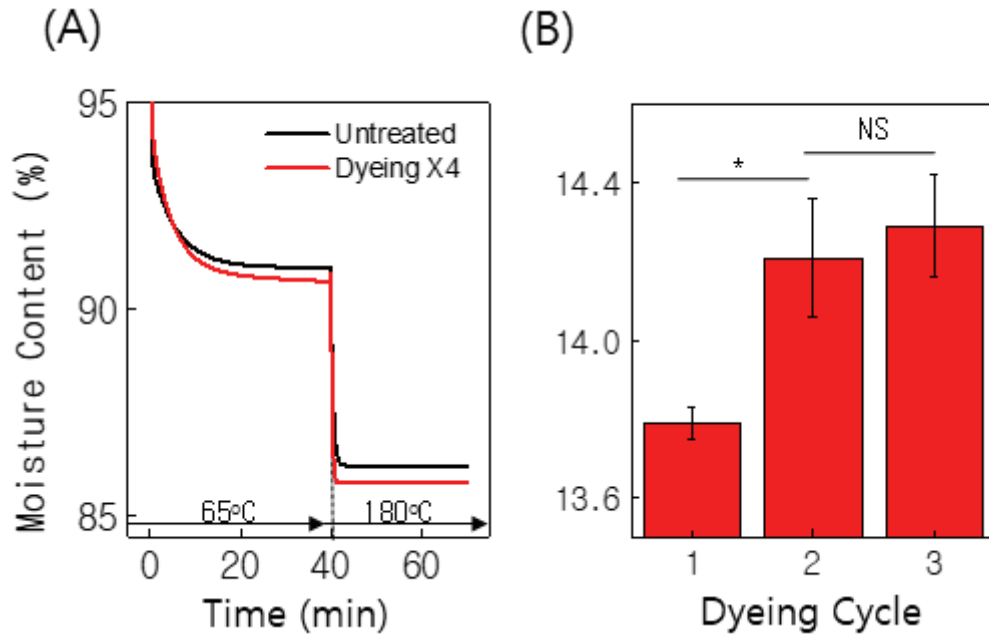


Figure 5. Moisture analyses for damaged hair by dyeing. (A) Kinetic curve of damaged hair for response to 65 °C and 180 °C as time increases. The exponential fitting curves are displayed. (B) Final weight of moisture in the damaged hair (N = 3). NS – not significant, and **p* < 0.05.

되는데 이 감소량은 무처리 모발의 경우는 13.79%로 관찰되었고 염색 4 회 모발의 경우는 14.21%가 감소하였다. 즉, 염색 4 회 모발의 경우 보다 많은 수분이 있는 것으로 관찰되었다.

Figure 5에서 최종적으로 증발한 모발의 수분을 표기하였다. 무처리와 4 회 염색 처리모발의 수분량은 유의차 있게 평가되었으며, 4 회와 6 회는 유의차가 없는 것으로 평가되었다. 모발 손상을 반복하여 손상도를 증가시킬수록 모발의 전체 수분량이 증가함을 알 수 있으며, 4 회 이상 손상부터는 마찰계수의 변화가 적었듯이 수분량의 변화도 차이가 없었다. 따라서 이 결과는 모발 마찰계수가 수분거동과 큰 상관관계를 가짐을 보이고 있다.

D. Gandryra의 연구[22]에서 원자현미경(AFM)을 이용하여 모발의 소수성이 증가할수록 점착력이 작아짐을 밝혔다. 계면의 점착력은 마찰력을 결정짓는 요소이기 때문에 소수성 모발 표면일수록 마찰력이 작아짐을 유추할 수 있다. 따라서 Figure 4에서 보인 바와 같이 모발 손상에 의해 변한 모발의 소수성이 친수성으로 변하게 되고 Figure 5에서와 같이 모발의 수분량이 증가하게 되는 결과로 나타나는데 이는 점착력을 크게 만들어 모발의 마찰력이 증가하는 것으로 판단할 수 있다.

모발의 표면 마찰력에는 다양한 요소가 관여한다. 물론 모발의 수분만으로 마찰계수의 변화를 설명할 수는 없지만, 본 연구는 모발 손상에 따른 모발 수분 변화가 마찰계수의 변화에 기여하고 있음을 밝히고 있다. 이후 컨디셔너와 같은 모발조성물을 통한 손상모발 회복을 마찰계수와 감성적인 평가를 통해 해석하는 연구의 바탕이 될 것을 기대하며 고객 관점에서의 모발제품개발에 활용하고자 한다.

4. 결 론

펌, 탈색, 염색과 같은 미용을 위한 모발 처리에 따라 손상된 모발의 마찰력을 측정된 뒤 마찰계수의 정량적인 수치를 관찰하였다. 모발 손상을 일으키는 화학적 처리의 반복에 따라 마찰계수가 증가하였으며, 4 회 가량 이상의 탈색, 염색처리에서는 마찰계수에 큰 변화가 없음을 확인하였다. 펴의 경우 탈색, 염색처리와 다르게 1 회 처리에도 모발의 구조적 변형이 발생하여 촉감을 기준으로 하는 손상인지 평가에는 부적합함을 확인하였다. 따라서 탈색, 염색에 의해 손상된 모발을 대상으로 일반인들에게 감성평가를 진행하였고, 이때 마찰계수 0.6에서 0.8의 정량적인 수치 값에서 손상 인지 응답이 도출됨을 확인하였다.

한편 18-MEA를 인위적으로 소실시켜 마찰계수를 조절 한 모발에서도 마찰계수 값과 손상을 인지하는 감성적인 응답의 상호연관성이 있음을 보였다. 마침내 이와 같은 현상의 근본적인 원인에 모발의 표면의 소수성 변화에 의한 수분거동이 기여함을 확인하였다. 향후 이 연구는 모발의 손상도와 건강함을 인지하는 감성 평가를 마찰력 기기 평가 값과 병행시킬 수 있는 평가의 바탕이 될 것으로 기대한다.

Reference

1. C. R. Robbins, Chemical and physical behavior of human hair, Ed C. R. Robbins, **94**, Springer, Heidelberg (2012).
2. M. L. Tate, Y. K. Kamath, S. B. Ruetsch, and H. D. Weigmann, Quantification and prevention of hair damage, *J. Soc. Cosmet. Chem.*, **44**, 347, (1993).
3. E. Fernandez, C. Barba, C. Alonso, M. Marti, J. L. Parra, and L. Coderch. Photodamage determination of human hair, *J. Photochem. Photobiol. B, Biol.*, **106**, 101 (2012).
4. I. P. Seshadri and B. Bhushan, In situ tensile deformation characterization of human hair with atomic force microscopy, *Acta Mater.*, **56**(4), 774, (2008).
5. J. L. Bantignies, G. L. Carr, D. Lutz, S. Marull, G. P. Williams, G. Fuchs, Chemical imaging of hair by infrared microspectroscopy using synchrotron radiation, *J. Cosmet. Sci.*, **51**, 73 (2000).
6. E. Fernandez, C. Barba, C. Alonso, M. Marti, J. L. Parra, L. Coderch, Photodamage determination of human hair, *J. Photochem. Photobiol. B, Biol.*, **106**, 101 (2012).
7. W. Boucsein, F. Schaefer, M. Kefel, and P. Busch, W. Eisfeld. Objective emotional assessment of tactile hair properties and their modulation by different product worlds, *Int J Cosmet Sci*, **24**(3), 135 (2002).
8. A. Galliano, J. Y. Kempf, M. Fougere, M. Applebaum, L. J. Wolfram, and H. Maibach, Comparing touch senses of naive and expert panels through treated hair swatches: which associated wordings correlate with hair physical properties?, *Int J Cosmet Sci*, **39**(6), 653, (2017).
9. S. Bouabbache, A. Galliano, P. Littaye, M. Leportier, F. Pouradier, E. Gillot, S. Panhard, G. Loussouarn. What is a caucasian 'fine' hair? comparing instrumental measurements, self-perceptions and assessments from hair experts, *Int. J. Cosmet. Sci.*, **38**(6), 581, (2016).
10. C. Robbins, P. Mirmirani, A. G. Messenger, M. P. Birch, R. S. Youngquist, M. Tamura, T. Filloon, F. Luo. What women want – quantifying the perception of hair amount: an analysis of hair diameter and density changes with age in caucasian women, *Br. J. Dermatol.*, **167**(2), 324, (2012).
11. M. Ezure, N. Tanji, Y. Nishita, T. Mizooku, S. Nagase, T. Osumi, The secrets of beautiful hair: why is it flexible and elastic?, *Cosmetics.*, **6**(3), 40, (2019).
12. M. L. Tate, Y. K. Kamath, S. B. Ruetsch, H. -D. Weigmann. Quantification and prevention of hair damage, *J. Soc. Cosmet. Chem.*, **44**, 347, (1993).
13. H. Tanamachi, S. Tokunaga, N. Tanji, M. Oguri, and S. Inoue, 18-MEA and hair appearance, *J. Cosmet. Sci.*, **61**(2), 147 (2010).
14. Y. Masukawa, H. Tsujimura, H. Tanamachi, H. Narita, G. Imokaw, Damage to human hair caused by repeated bleaching combined with daily weathering during daily life activities. *Exog Dermatol.*, **3**, 273 (2004).
15. S. Hilterhaus-bong, H. Zahn, Contributions to the chemistry of human hair: II. Lipid chemical aspects of permanently waved hair, *Int. J. Cosmet. Sci.*, **11**(4), 167, (1989).
16. J. T. Guthrie, A. Kazlaucianas, L. Rongong, S. Rush, The characterisation of treated and dyed hair. *Dyes Pigm.*, **29**(1), 23 (1995).
17. R. A. Lodge, B. Bhushan, Wetting properties of human hair by means of dynamic contact angle measurement, *J. Appl. Polym. Sci.*, **102**(6), 5255 (2006).
18. F. M. Maddar, D. Perry, R. Brooks, A. Page, P. R. Unwin, Nanoscale surface charge visualization of human hair, *Anal. Chem.*, **91**(7), 4632, (2019).

19. S. H. Song, B. T. Lim, S. K. Son, and N. Kang, Prevention of protein loss using a shield coating according to moisture behavior in human hair, *J. Soc. Cosmet. Sci. Korea*, **46**(1), 57, (2020).
20. Y. Lee, Y. Kim, H. Hyun, L. Pi, X. Jin, and W. S. Lee, Hair shaft damage from heat and drying time of hair dryer, *Ann Dermatol*, **23**(4), 455 (2011).
21. R. Crawford, C. R. Robbins, J. Curran, and K. Chesney, A hysteresis in heat dried hair, *J. Soc. Cosmet. Chem.*, **32**(1), 27 (1981).
22. D. Gandyra, S. Walheim, S. Gorb, W. Barthlott, and T. Schimmel, The Capillary adhesion technique : a versatile method for determining the liquid adhesion force and sample stiffness, *Beilstein J Nanotechnol*, **6**, 11 (2015).