

인장강도 측정에 의한 스트레이트 펌 모발의 형태학적 변화에 관한 연구

노 정 애, 장 병 수^{1,*}, 최 태 부*

건국대학교 일반대학원 미생물공학과, ¹한서대학교 보건학부 피부미용학과

Study on the Morphological Change of Straight Permanent Waved Hair by Tensile Strength Test

Jung Ae Roh, Byung Soo Chang^{1,*} and Tae Bu Choi*

Department of Biological Engineering Sciences, Konkuk University, Seoul, Korea

¹Department of Cosmetology, Hanseo University, Seosan, Chungnam 356-706, Korea

(Received February 2, 2009; Accepted February 19, 2009)

ABSTRACT

In this study, we investigated tensile properties and ultrastructural changes of straight permed hair using the rheometer and the scanning electron microscopy. First, we compared the morphological characteristic between the virgin hair and the straight permed hair after testing tensile strength. Cuticle cells were heavily lifted off in straight permed hair than in the virgin hair. Cuticle cells were separated by the destruction of intercellular membrane complex and no destruction or damage were found in cytoplasm. In the comparative test for tensile characteristic between the virgin hair and the straight permed hair, tensile distance of the straight permed hair was decreased by 24.5% or 3.05 mm than the virgin hair. The tensile strength was decreased by 34.63% or 5.62 g/cm² and the maximum stress by 34.59% or 56.12 g. As a result, the tensile property dropped to the lowest level with the straight permed hair than with the bleached hair or the permanent dyed hair of previous studies.

Keywords : Straight permed hair, Tensile strength, Rheometer, Scanning electron microscopy

서 론

펌 (perm)은 일반적으로 퍼머넌트 웨이브 (permanent wave) 또는 컬링헤어 (curling hair)를 의미하는 이름이다. 사람들은 다양한 헤어 스타일 (hair style)을 연출하기 위해서 직선모발을 곱슬모발로 또는 곱슬모발을 직선모발로 변형시키는 기술을 수세기 동안에 걸쳐서 발전시켜 왔고 요즘은 미용실에

서 일반적으로 시술하는 헤어스타일링이 되어 왔다 (Palladino, 2003). 펌은 전기세팅기나 드라기로 모발을 곱슬모발이나 직선모발로 만드는 것과 달리 모발을 영구적으로 곱슬모발 형태나 직선모발 형태로 만들어 준다.

펌 시술에는 환원제 (reducing agent)와 중화제 (neutralizer)의 두 가지 화합물을 필요로 한다. 환원제는 웨이브로션 (wave lotion)이라고 불리우는데 thioglycolic acid를 기본 성분으로 하고 있으며 중화제 (neutralizer)는 과산화수소 (hyd-

* Correspondence should be addressed to Dr. Tae Bu Choi, Department of Biological Engineering Sciences, Konkuk University, Seoul, Korea. Ph.: (02) 450-3523, Fax: (02) 3436-5594, E-mail: tbchoe@konkuk.ac.kr
Dr. Byung Soo Chang, Department of Cosmetology, Hanseo University, Seosan, Chungnam 356-706, Korea. Ph.: (041) 660-1584, Fax: (041) 660-1590, E-mail: bschang@hanseo.ac.kr

rogen peroxide)를 기본성분으로 하고 있다(Borish, 1997).

환원제는 모발의 이황화 결합(disulfide bond)을 절단하여 재배열 해주는 역할을 한다. 모발 케라틴을 구성하는 폴리펩티드 사슬(polypeptide chain) 사이의 교차결합 중에 이황화 결합이 가장 강력한 결합을 하고 있다. 이황화 결합은 시스테인(cysteine) 아미노산에 있는 황(sulfur)원자가 또 다른 시스테인의 황원자와 결합하여 시스틴(cystine)을 형성한다. 펴 시술이 진행되는 동안 이들 이황화 결합은 절단되어서 시스틴이 두 개의 시스테인 단위로 전환되어 모발은 부드러워지고 유연해 지는데 이때 웨이브와 컬 도구의 모양에 따라 시스테인이 위치를 새롭게 자리 잡는다(Palladino, 2003).

환원제를 사용한 후에 이를 씻어내고 난 다음에 중화과정을 거쳐야 한다. 중화제는 시스테인들에 의해서 새롭게 형성된 시스틴을 단단하게 연결해주어 웨이브된 모발을 확고하게 지지 해줌으로서 새로운 머리 모양을 연출하게 된다. 이와 같이 산화반응에 의해서 새롭게 연결된 이황화결합을 견고하게 만들고 환원과정에서 첨가된 수소원자를 산소와 결합시켜 물분자를 형성하게 되면 케라틴 단백질은 α -herix 구조를 유지하게 되고 모발은 곱슬 모양을 유지하게 된다(Halal, 2002; Palladino, 2003).

펌은 모발의 유형과 시술 방법에 따라 콜드펌(cold perm)과 열펌(heat perm) 및 스트레이트 펴기로 구분한다. 콜드펌은 뜨거운 열을 사용하지 않고 웨이브를 할 수 있는 방식으로 mercaptan이나 황화물(sulfite)을 기본성분으로 하고 있는데 가장 일반적으로 사용되는 성분으로 약 0.6N 농도의 thioglycolic acid를 pH 9~9.5 사이에서 사용한다(Bolduc & Shapiro, 2001).

열펌은 콜드펌에서 시술하는 과정에 추가로 열처리를 하여 모발을 유연하게 해주는 방식이다. 알카리성 환원제를 모발에 바른 후 로드(rod)를 사용해서 원하는 모양으로 말은 다음 수분동안 열기구를 이용하여 100°C의 온도를 유지시킨다(Zviak & Sabbagh, 2005).

스트레이트 펴는 퍼머넌트 웨이브와 같은 화학적 반응에 의해서 이루어진다. 이들 제제는 thioglycolate와 황화물(sulfite)이 기본성분으로서 다른 퍼머넌트웨이브 환원제보다 좀 더 높은 점성을 띠고 있다. 콜드펌에 사용되는 환원제는 로션상태이나 스트레이트 펴에서는 크림상태로 carbopol, glyceryl monostearate, steric acid, alcohol과 같은 중합체가 첨가되어 걸쭉한 상태가 된다. 스트레이트 펴에 사용되는 환원제는 pH가 8.8~9.1로서 퍼머넌트웨이브에 사용되는 환원제의 pH 9.2~9.6보다 낮다(Robbins, 2002).

펌 과정에서 일차적으로 모발의 손상은 머리를 마는 도구인 로드나 curler 및 모발을 일직선상으로 펴주는 아이롱기(straightening iron)에 의해서 일어날 수 있다. 그리고 펴 제제를 모발에 시술하였을 때 모발은 팽창되어 이들 제제가 큐티클 사이로 유입되어 피질까지 도달하게 된다. 모발

의 피질에 있는 케라틴 단백질과 반응하여 폴리펩티드 사슬의 교차연결이 파괴된다. 이와 같은 화학반응을 환원과정에 의해서 일어나는데 펴제제에 있는 수소원자와 반응에 의해서 이황화결합의 교차 연결이 파괴된다. 모발을 구성하는 나선구조의 α -케라틴 단백질은 풀어져서 병풍구조인 β -케라틴 단백질로 전환된다.

펌 시술에서 모발은 높은 알카리성 용액에 의해서 팽윤되고 화학물질이 피질내로 전달되어 일어나는 화학 변화 등에 의해서 큐티클의 박리현상이나 피질섬유의 탄력성 및 유연성이 떨어지게 된다. 이와 같이 모발은 다양한 물리적 화학적 작용과 환경의 노출에 의해서 손상되어 풍화(weathering) 된다(Hong et al., 2000; Chang, 2003; Chang et al., 2005; Chang & Lee, 2006; Chang et al., 2006).

본 실험은 퍼머넌트 웨이브와 동일한 기작에 의해서 곱슬모발이나 심하게 꼬인 모발을 직선모발로 변형시켜주는 미용시술 방법인 매직 스트레이트 펴기를 30대 여성의 모발에 시술한 다음 모발의 인장력을 인장강도기(rheometer)를 사용하여 분석하였고, 또한 모발이 물리적으로 신장될 때 나타나는 형태학적 변화와 인장강도 측정 시 절단된 모발의 미세구조를 주사전자현미경(scanning electron microscopy)을 사용하여 관찰하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

물리화학적 영향을 받지 않은 20대 여성의 건강 모발(virgin hair)에 thioglycolic acid 제제인 크림상의 환원제를 도포하고 비닐 캡을 씌워 15분 동안 방치한 다음 모발의 연화 정도를 확인하기 위해서 손으로 모발을 잡아당겨서 늘어나는 정도를 육안으로 확인한 후 흐르는 물로 세척하였다. 세척된 모발은 수건으로 수분을 제거한 다음 모발로부터 10~20cm 정도 떨어진 거리에서 헤어드라이기를 사용하여 건조시켰다. 건조된 모발은 180°C의 온도를 유지하는 아이롱기를 사용하여 일정한 힘으로 모발을 펴 주었다. 이어서 과산화수소(H₂O₂) 성분을 함유한 크림상의 산화제를 모발에 골고루 도포하고 15분 동안 실온에서 방치한 다음 세척하여 자연건조 시켰다. 스트레이트 펴 시술이 완료된 모발을 후두부의 두피에서부터 5cm 떨어진 부위에서 15cm 길이로 잘라낸 다음 실험 재료로 사용하였다.

2. 실험방법

1) 인장강도 측정

건강모발과 스트레이트 펴기를 한 모발의 인장 강도의 변화를 비교 측정하기 위해서 인장강도기(Rheometer, CR-

500DX-SII, Japan)의 0점을 조정한 다음 재물대(stage)의 계측기에서 측정할 모발의 인장거리 간격을 10 cm로 고정하였다. 이어서 30분 이상 항온(20±2°C) 및 항습(40%) 조건에 방치한 건강모발과 스트레이트 펌 모발을 각각 인장강도기에 장착한 다음 인장력을 측정하였다. 인장실험은 각각 총 8회를 실시하고 얻어진 값을 통계처리 했다.

2) 주사전자현미경 관찰

건강모발과 스트레이트 펌을 한 모발의 인장강도를 측정 한 후 절단된 모발의 형태적 변화를 관찰하기 위하여 각각의 시료 모발을 1.5 cm 길이로 자른 다음 초음파세척기(Ultra sonic cleaner, Branson 2510)로 10분 간 세척하여 모발 표면의 이물질 제거했다. 이물질이 제거된 모발을 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde(4°C, phosphate buffer, pH 7.4)로 전고정 한 후, 인산완충용액(4°C, 0.4 M phosphate buffer, pH 7.4)으로 수회 수세한 다음, 1% OsO₄(4°C, phosphate buffer, pH 7.4)으로 1시간 후고정 하였다. 고정이 끝난 재료는 동일 완충용액으로 수세한 후, 알코올 농도 상승 순으로 탈수하여 isoamyl acetate로 치환하였다. 치환된 재료는 임계점건조기(critical point dryer)에서 완전 건조 시킨 후 carbon tape로 처리된 지지대(stub) 위에 나열했다. 이어서 이온침착기(IB-5 ion coater, Eiko)를 사용하여 20 nm 두께로 백금 도금(platinum coating)한 다음 주사전자현미경(S-4700, Hitachi, Japan)으로 15 kV에서 관찰했다.

결 과

1. 인장력 변화

20대 여성 건강모발의 인장력을 인장강도기를 사용하여 측정하였다. 건강모발의 인장강도 측정을 위하여 8개의 모발시료를 선택하여 각각 측정 한 다음 평균값을 구하였다. 건강모발 시료의 인장거리는 최저 10.88 mm에서부터 최고 13.82 mm로 측정되었으며 평균 12.47 mm로 나타났다. 인장강도는 최저 13.80 g/cm²에서부터 최고 19.40 g/cm²로 측정되었으며 평균 16.23 g/cm²으로 나타났다. 또한, 응력은 최저 138 g에서부터 최고 194 g으로 측정되었으며 평균 162.25 g으로 관찰되었다(Fig. 1, Table 1).

스트레이트 펌 모발의 인장강도를 측정하기 위해서 처리된 모발 시료를 8개 선택하여 각각 실험을 실시한 다음 평균값을 구하였다(Fig. 2). 스트레이트 펌 모발에서 인장거리는 최저 7.8 mm에서부터 최고 11.46 mm까지 측정되었으며 이들의 평균값은 9.42 mm로 나타났다. 모발이 인장력에 저항하는 응력은 최저 85 g에서부터 136 g까지 측정되었으며 이들의 평균응력은 106.13 g으로 나타났다. 또한 모발의 세기를 나타내는 인장강도 측정에서 스트레이트 펌 모발 8개

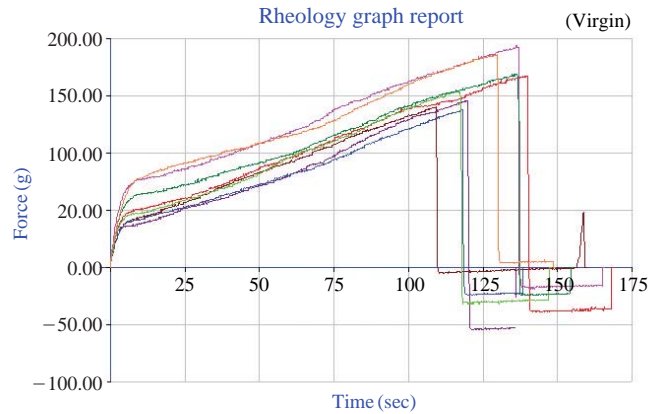


Fig. 1. Stress strain curves of virgin hair. The result of tension tests obtained using 8 virgin hair samples.

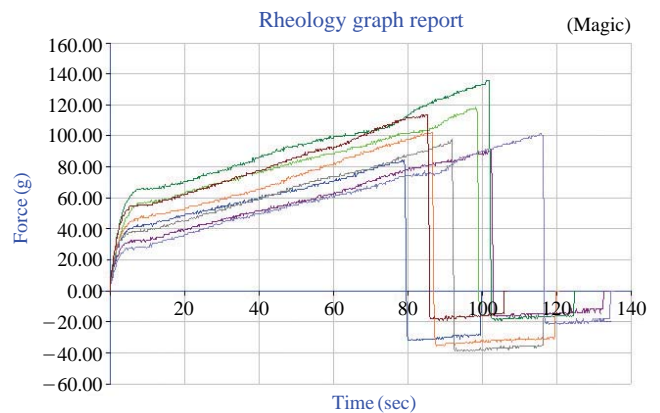


Fig. 2. Stress strain curves of straight permed hair. The result of tension tests obtained using 8 straight permed hair samples.

Table 1. Mechanical properties of virgin hair and straight permed hair after tension test

Name	Peak stress (g)	Sample height (mm)	Distance (mm)	Tensile energy (erg/cm ²)	Tensile strength (g/cm ²)
Virgin hair	162.25	1	12.47	130.85	16.23
Straight permed hair	106.13	1	9.42	67.93	10.61

의 시료에서 단위면적당 최저 8.5 g/cm²에서부터 최고 11.4 g/cm²까지 측정되었고 평균 인장강도는 10.61 g/cm²로 나타났다.

Table 1은 건강모발과 스트레이트 펌 모발의 인장거리와 인장강도 및 응력의 평균값을 상대 비교하였다. 스트레이트 펌 모발의 인장거리는 건강모발에 비하여 24.5%가 감소되어 약 3.05 mm의 차이가 나타났고 인장강도는 34.63%가 감소되어 5.62 g/cm²가 작았다. 또한, 최고응력은 34.59%가 감소되어 56.12 g이 작은 것으로 나타났다.

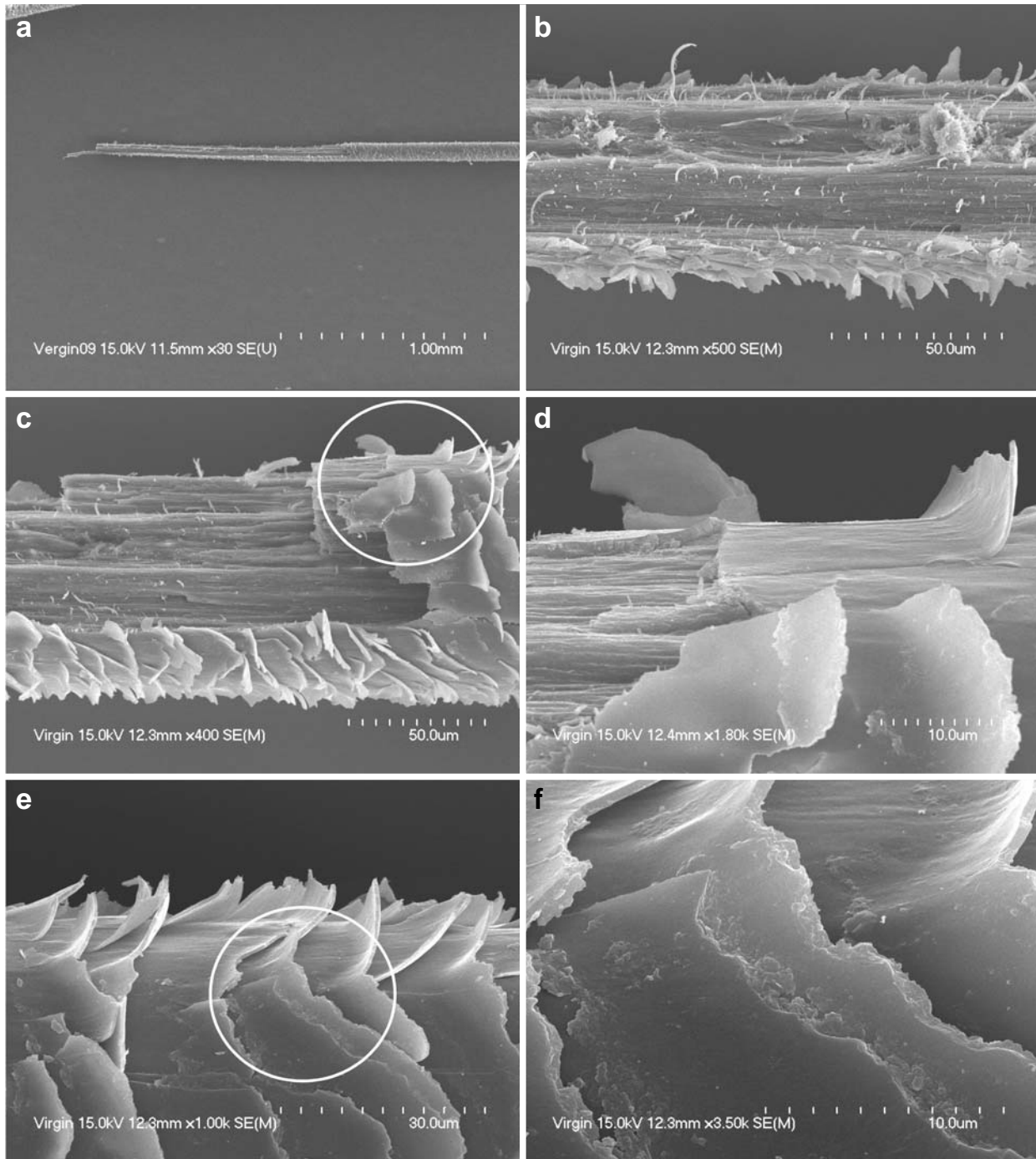


Fig. 3. Scanning electron micrographs of a virgin hair after tensile test. a : The length of a fractured section are measured about 1.2 mm. b : Note that ripped macrofibrils in the cortical cell of the cortex. c : Scanning electron micrograph shows lift-off of the scale. d : Magnification scanning electron micrograph of circle in figure 3c shows lift-off of the scale. e : The hair severely separated cuticle cells. f : High magnification scanning electron micrograph of circle of figure 3c shows lift off of the scale and cell debris.

2. 주사전자현미경소견

20대 여성의 건강모발을 채취하여 인장실험을 실시한 후 주사전자현미경으로 관찰한 결과 모발은 모발의 중심부인

수질이 통과하는 부분에서 피질이 모발의 종단면과 같은 방향으로 쪼개지면서 절단되었다. 절단되어 노출된 피질은 1.2mm로 측정되었다(Fig. 3a). 노출된 피질에는 거대원섬유들이 모발의 장축방향으로 고르게 배열되어 있었는데 일부

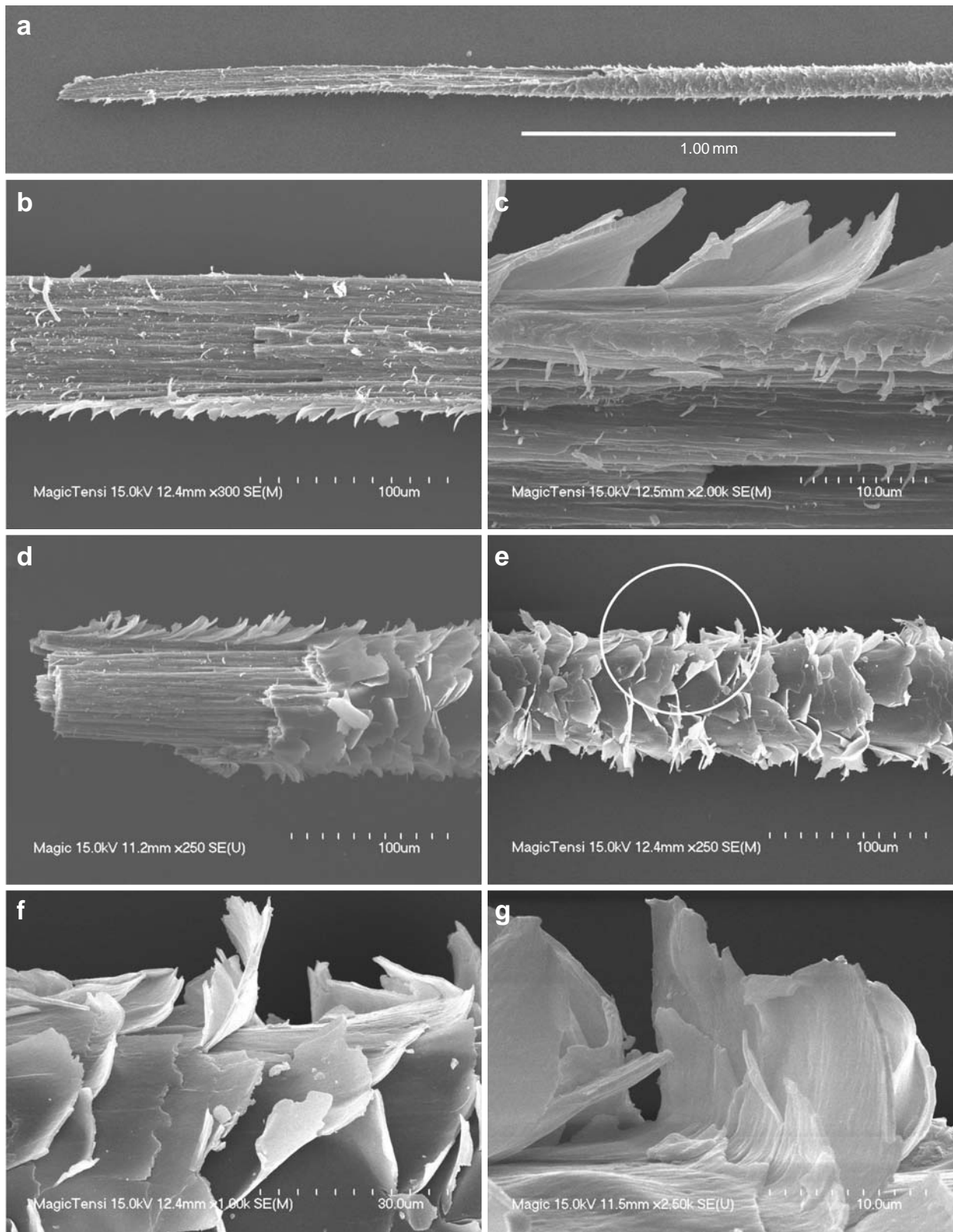


Fig. 4. Scanning electron micrograph of a permed hair after tensile test. a : The length of a fractured section are measured about 1.45 mm. b : The shaft shows exposed cortex and lift-off of the scale. c : Magnification figure 4b shows lift off cuticle cells and exposed cortex. d : Fractured section of hair shaft. e : The permed hair shaft shows cuticle fracture. f : Magnification of circle in figure 4e shows cuticle rupture. g : High magnification scanning electron micrograph of cuticle cells shows the severely separated.

거대원섬유들은 각각 분리되면서 모발의 종단면에 수직에 가까운 상태로 노출되어 있었다(Fig. 3b). 또한, 수질의 각화 세포들은 덩어리져서 뭉쳐진 상태로 관찰되었고 공기가 채워져 있었던 부위는 움푹 패인 상태로 관찰되었다(Fig. 3b).

인장력과 응력의 한계점에서 절단된 모발 말단부위의 큐티클층을 구성하고 있는 큐티클세포는 세포질의 일부가 분리되어 있었다(Fig. 3c, d). 모발 표면은 큐티클세포 사이의 세포막사이복합체(intercellular membrane complex)가 각각 분리되어 떨어져 나갔는데 특징적으로 모발이 신장되면서 모발의 표면을 이루는 큐티클세포의 노출면이 정상모발에서 보다 더 넓게 관찰되었다(Fig. 3e). 고배율의 주사전자현미경상에서 큐티클세포의 표면에는 큐티클세포의 부스러기가 그대로 부착된 상태로 관찰되었다(Fig. 3f).

스트레이트 펌 모발의 인장강도를 측정 후 절단된 모발의 피질은 모발의 장축면을 따라 길게 노출되어 있었다. 절단면의 말단 부위에서부터 노출된 피질은 약 1.45 mm로 측정되었다(Fig. 4a). 파괴되어 노출된 피질에는 거대원섬유들이 일부 분리되어 모발의 장축에 수직에 가까운 상태로 존재하고 있었다(Fig. 4b). 또한 신장되어 늘어난 큐티클층에서 분리되어 노출된 큐티클세포의 폭은 약 15 μm 로 측정되었다(Fig. 4c).

절단된 모발 끝부분은 응력과 인장력의 한계점을 벗어나면서 마치 예리한 도구에 의해서 잘려나간 것 같이 피질섬유들이 수직으로 끊어져 있었다(Fig. 4d). 인장시험에 의해서 신장된 모발 표면의 큐티클층은 큐티클세포들이 각각 분리되어 있었는데 이들 세포들은 세포막사이복합체의 파괴에 의해서 분리되었고 세포질의 파괴나 부서짐의 현상은 관찰되지 않았다(Fig. 4e, f).

고배율의 주사전자현미경상에서 스트레이트 펌 모발의 인장시험에 의해 절단된 부위에 인접한 모발 표면은 큐티클층의 세포들이 모두 분리되어 나타났다(Fig. 4e). 각각 분리된 큐티클세포는 모발의 장축에 수직으로 떨어져 있었다. 분리된 큐티클세포에서 모발표면에 노출된 부위는 완전히 떨어져 있었지만 피질에 접하고 있는 부위는 견고하게 부착되어 있었다(Fig. 4g).

고 찰

모발을 일직선상으로 펴주는 기술은 기계적인 방법과 화학적인 방법이 있다. 모발을 늘려서 펴주는 기술은 1800년대 후반에 Walker가 뜨거운 빗을 사용함으로써 처음 시작되었다. 모발에 뜨거운 빗질을 하면 모발의 약한 수소결합들이 파괴되기 때문에 일시적으로 모발이 펴지게 된다(Zviak & Sabbagh, 2005).

과거에서 부터 곱슬 모발나 심하게 꼬인 모발을 일직선

으로 펴주기 위해서 여러 가지 유형의 기구나 제품들을 사용하여 왔다. 물리적인 방법으로 검(Gum)이나 수지(resin) 등을 모발에 반죽하여 일시적으로 아래로 늘어뜨리는데 사용하였고 뜨거운 빗이나 아이롱기(straightening iron)를 이용하여 곱슬 모발을 펴주는데 사용되었다. 또한 알카리성분을 함유하는 모발 이완제(hair relaxer)를 사용하여 모발을 화학적으로 변형시켜 펴주었다. 알카리성 모발 이완제는 1%에서 10%까지의 sodium hydroxide, lithium hydroxide, calcium hydroxide을 함유하고 있으며 강 알카리 상태인 pH 12.5 ~ 13.3에서 사용하였으며 이완제가 흘러내려서 눈과 두피 등에 화상을 입는 것을 방지하기 위하여 점도가 높은 크림 상태로 제조되었다(Robbins, 2002).

그러나 이와 같은 물리적인 기구나 제품의 사용은 모발에 일시적인 펴짐 현상만을 제공하고 강알카리 성분에 의해서 모발과 피부의 손상을 야기 시켜 왔다.

물리적인 방법 이외에 환원제를 사용하여 모발을 펴주는 스트레이트 펌은 퍼머넌트 웨이브와 같은 화학적 반응에 의해서 이루어진다. 이들 제품은 thioglycolate와 황화물이 주성분으로서 퍼머넌트 웨이브와 화학적으로 같지만 약간의 차이가 있는데 스트레이트 펌에서 환원제가 좀 더 점성을 띠고 있다. 스트레이트 펌에 사용되는 환원제는 pH가 퍼머넌트 웨이브에 사용되는 환원제의 pH보다 낮은 조건에서 사용되며 부가적으로 모발을 물리적으로 펴주기 위해서 180°C의 아이롱기를 사용한다. 이와 같이 스트레이트 펌 모발은 강알카리 제제의 환원반응과 고열의 아이롱기에 의해서 손상을 받게 된다.

펌 시술과정에서 환원 반응이 많이 일어나는 곳은 높은 농도의 황을 함유하고 있는 큐티클세포의 외큐티클(exocuticle)과 A-층(A-layer) 및 피질(cortex)의 기질(matrix)이다.

본 연구에서 건강모발과 스트레이트 펌 모발의 인장강도 측정 후 형태적인 특징을 비교 하였을 때 스트레이트 펌 모발의 큐티클층은 건강모발에 비하여 심하게 분리되어서 들떠있는 상태로 관찰되었다. Lee & Chang (2008a)은 탈색모발의 인장강도 시험에서 큐티클세포는 건강모발의 큐티클 세포보다 더 많이 바깥쪽으로 분리되어 휘어져 나타나는데 이와 같은 결과는 강알카리 성분이 함유된 탈색제가 탈색모발의 세포막사이복합체에 화학 변화를 일으키고 지질성분의 용출을 촉진시켜서 탈색모발의 큐티클세포가 바깥쪽 방향으로 둥글게 휘어지는 것으로 보고된 바 있다.

또한, Lee & Chang (2008b)이 산화형 영구염모제로 처리한 모발의 큐티클층도 세포막사이복합체가 분리되면서 심하게 들떠 있는 것을 확인하였고 큐티클세포들이 일부 표면에 돌출되어 견고하게 붙어 있는 것은 모발을 인위적으로 잡아당겼을 때 개개의 큐티클세포가 힘을 분산시키는 역할을 하고 끊어지게 되면 큐티클세포들이 바깥쪽 방향으로 휘어지게 된다고 보고하였다. 본 연구에서도 Lee & Chang

(2008a, b)이 보고한 바와 같이 모발에 가해지는 화학물질의 종류에 관계없이 일단 화학적 변화가 야기된 모발은 건강 모발보다 더 심하게 큐티클세포들이 분리되는 것을 확인할 수 있었다.

모발의 인장강도는 개인과 인종에 따라 차이가 있다. 한 개인에 있어서도 모발의 굵기가 차이가 있으며 인종에 따라서도 모발의 굵기나 횡단면의 모양 및 꼬임정도에 따라 인장강도의 차이가 있다. 특히, 흑인종 모발은 모발의 장축을 따라 심하게 꼬여 있고 꼬인 부분의 모발직경은 작으며 모발 표면 큐티클층의 미세한 균열 및 부서짐에 의해서 황인종이나 백인종 모발보다 인장력이 약하다(Kamath et al., 1984; Syed et al., 1995; Franbourg et al., 2003).

그리고 헤어스타일링을 위해서 모발에 가해진 화학물질은 모발 케라틴 단백질과의 화학반응에 의해서 모발의 유연성과 인장력을 떨어뜨리게 된다(Seshadri & Bhushan, 2008).

Lee & Chang (2008a)은 탈색모발의 인장 시험에서 탈색된 모발은 건강모발보다 인장강도가 22.1% 감소하였고 인장거리는 6.5%가 감소하였다고 보고하였다. 또한, 산화형 염구 염모제로 처리한 모발의 인장시험에서 영구 염색된 모발은 건강모발보다 인장강도가 7.6% 감소하였으며 인장거리는 7.3% 감소하는 것으로 보고되었다(Lee & Chang, 2008b). 본 연구에서 스트레이트 펌 처리 모발은 건강모발보다 인장강도는 34.63%가 감소되어 5.62 g/cm²가 작았으며 인장거리는 건강모발에 비하여 24.5%가 감소되어 약 3.05 mm의 차이가 나타났다.

본 연구 결과를 Lee & Chang (2008a, b)의 탈색모발과 염색모발의 연구결과와 비교하였을 때 인장강도는 염색모발이 가장 강하였으며 다음으로 탈색모발이 스트레이트 펌 모발보다 강하게 나타났고 인장거리도 동일한 결과를 나타냈다.

이와 같이 스트레이트 펌 모발이 염색이나 탈색모발보다 인장력이 떨어지는 것은 스트레이트 펌 시술 과정에서 1차적으로 환원제를 처리하고 난 다음 중화제를 사용하기 전에 모발에 180°C의 아이롱기를 사용하여 모발의 퍼짐 상태를 견고하게 하는 과정에 물리적으로 모발의 강직성과 탄력성에 변화가 일어나기 때문인 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

Bolduc C, Shapiro J: Hair care products (waving, straightening, conditioning, and coloring). *Clinic Dermatol* 19 : 431-436, 2001.
 Borish ET: Haie waving. In: Johason DH, ed, *Hair and Hair Care*, pp. 167-190, Marcel Dekker Inc, New York, 1997.
 Chang BS: Fine structure of damaged hair shaft by daily treatment of heat for a beautiful face. *Korean J. Electron Microscopy* 33 : 215-222, 2003. (Korean)
 Chang BS, Hong WS, Lee GY, Yeo SM, Bang IS, Lim DS, Mun

GH, Kim J, Park SO, Shin DH: Ultramicroscopic observations on morphological changes in hair during 25 years of weathering. *Forensic Sci Int* 151 : 193-200, 2005.
 Chang BS, Lee GY: Ultrastructural changes of hair treated with bleaching agent. *Korean J Electron Microscopy* 36 : 25-33, 2006. (Korean)
 Chang BS, Na SK, Lee GY: Study on the physicochemical change of human hair shaft following radiation with ultraviolet. *Korean J Electron Microscopy* 36 : 109-118, 2006. (Korean)
 Franbourg A, Hallegot P, Baltenneck F, Toutain C, Leroy F: Current research on ethnic hair. *J Am Acad Dermatol* 48 : 115-119, 2003.
 Hong WS, Chang BS, Lim DS, Park SO, Yoe SM: Morphological change of men's hair shaft by weathering. *Korean J Electron Microscopy* 30 11-20, 2000. (Korean)
 Halal J: Permanent Waving. In: *Hair structure and chemistry simplified*, Milady. New York, pp. 181-195, 2002.
 Kamath YK, Hornby SB, Weigmann HD: Mechanical and fractographic behavior of negroid hair. *J Soc Cosmet Chem* 35 : 21-43, 1984.
 Kim MS, Lee GY, Choi EY, Kim DH, Chang BS: Study on the thermal analysis of dyed hair depending on the brightness level. *Korean J Microscopy* 38 : 159-165, 2008. (Korean)
 Lee GY, Chang BS: Studies on the preservative condition and the ultrastructure of hair of newly found sixteenth century mummy in Paju. *Korean J Electron Microscopy* 35 : 211-218, 2005. (Korean)
 Lee GY, Chang BS: Study on the tensile strength of bleached hair. *Korean J Microscopy* 38 : 251-257, 2008a. (Korean)
 Lee GY, Chang BS: Study on the tensile strength of oxidative permanent dyed hair. *Korean J Microscopy* 38 : 339-345, 2008b. (Korean)
 Palladino L: *Hair dressing, the foundations, the official guide to level 2*. Tomson, London, UK, pp. 116-164, 2003.
 Robbins CR: *Chemical and physical behavior of human hair*. Springer-Verlag, New York, pp. 138-146, 2002.
 Seshadri IP, Bhushan B: In situ tensile deformation characterization of human hair with atomic force microscopy. *Acta Materialia* 56 : 774-781, 2008.
 Syed A, Kuhajda A, Ayoub H, Ahmad K, Frank EM: African-American hair: its physical properties and differences relative to Caucasian hair. *Cosmet Toil* 110 : 39-48, 1995.
 Zviak C, Sabbagh A: Permanent waving and hair straightening, In: Bouillon C, Wilkinson J, eds, *The science of hair care*, pp. 201-228, Taylor & Francis, New York, 2005.

< 국문초록 >

본 연구는 스트레이트 펌에 의해서 손상된 모발의 인장특성과 미세구조적 변화를 인장강도기와 주사전자현미경을 사용하여 관찰 분석하였다. 건강모발과 스트레이트 펌 모발의 인장강도를 측

정한 후 형태적인 특징을 비교하였을 때 스트레이트 펌 모발에서 큐티클층의 큐티클세포들은 건강모발에 비하여 심하게 분리되어서 들떠있는 상태로 관찰되었다. 이들 세포들은 세포막사이 복합체의 파괴에 의해서 분리되었고 세포질의 파괴나 부서짐의 현상은 나타나지 않았다. 건강모발과 스트레이트 펌 모발의 인장 특성에 관한 비교 실험에서 스트레이트 펌 모발의 인장거리는

건강모발에 비하여 24.5%가 감소되어 약 3.05 mm의 차이가 나타났고 인장강도는 34.63%가 감소되어 5.62 g/cm²가 작았다. 또한, 최고응력은 34.59%가 감소되어 56.12 g이 작은 것으로 나타났다. 결과적으로 스트레이트 펌 모발의 인장특성은 탈색모발과 염색모발의 선행 연구결과보다 가장 낮은 것으로 나타났다.