

산화형 영구 염모제로 처리한 모발의 인장강도 특성에 관한 연구

이 귀 영¹, 장 병 수*

¹한서대학교 화학과 미용화학전공, 보건학부 피부미용학과

Study on the Tensile Strength of Oxidative Permanent Dyed Hair

Gui Young Lee¹ and Byung Soo Chang*

Departments of ¹Chemistry and Cosmetology, Hanseo University, Seosan,
Chungnam 356-706, Korea

(Received November 19, 2008; Accepted December 17, 2008)

ABSTRACT

In this study, we compared the stress and tensile strength of the hair treated with oxidative permanent dye with those of virgin hair. We investigated the fine structure of the hair section after the tensile test using scanning electron microscopy. The tensile strength of the virgin hair was measured as 14.66 g/cm², tensile energy was 108 erg/cm², and the maximum stress was 146.64g. Those of the dyed hair were 13.69 g/cm², 89.62 erg/cm² and 136.90 g, respectively. The differences in the tensile strength, the tensile energy and the maximum stress were -0.97 g/cm², -18.38 erg/cm², -9.74 g, respectively, which showed that the dyed hair had less elasticity and strength than the virgin hair. In the scanning electron microscopy investigation of the damaged hair after the tensile test, lift-off of the cuticle outer layer were shown in both virgin hair and dyed hair, which was more severe in the dyed hair than the virgin hair. Adjacent cuticular cells of the cuticle layer were separated by the destruction of intercellular membrane complex. The macrofibrils were exposed and separated from the cortex torn by tensile strength.

Keywords : Dyed hair, Tensile strength, Rheometer, Scanning electron microscopy

서 론

모발에 대한 미용기술이 다양하게 발전 해감에 따라 부수적으로 모발의 손상문제가 더욱 심각해지고 있는 상태이다. 모발은 미용실에서 이루어지는 모든 물리적 화학적 기술에 의한 손상 이외에도 태양광선과 물리적 마찰 및 환경오염 등에 의해서 손상을 받게 된다. 이와 같은 모발의 손상을 풍

화(weathering)라고 한다(Wall, 1974; Georgalas & Dowbarrands, 1993; Hong et al., 2000; Chang, 2003; Chang et al., 2005; Chang & Lee, 2006; Chang et al., 2006). 모발의 풍화과정은 모발 케라틴 단백질의 분해와 신축성 및 강도의 상실을 초래하게 된다. 모발은 풍화에 의해서 결국 건조해지고, 강도가 감소하게 된다. 또한, 표면이 거칠어지고 색깔을 잃게 되며 쉽게 부숩지게 된다(Rook, 1976; Santos & Joekes, 2004).

이 논문은 2008년도 한서대학교 교비 학술연구 지원 사업에 의하여 연구되었음.

* Correspondence should be addressed to 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

경제의 발전과 함께 현대인은 미적 감각을 향상시키기 위하여 모발에 다양한 색조의 염색을 부여하는 것이 일상 생활화되었다. 최근에 모발 염색은 남성과 여성 모두에게 널리 사용되고 있다. 모발 염색은 일반적으로 시술 후 시간 경과에 따라 모발에 남겨지는 색으로 분류하는데, 이것은 일시적인 염모제와 반영구염모제 및 영구염모제로 분류된다(Bolduck & Shapiro, 2001).

이외에도 모발 염모제를 분류하는 다양한 분류법이 있는데 가장 일반적인 방법은 염모 효과의 유지 기간에 따라 분류하는 방법 및 화학적인 성분에 따라 분류하는 방법, 식물성 헤나(henna) 성분이나 금속염(metallic salt) 등을 함유한 염모제 등을 포함한 분류법 등이 있다(Halal, 2002; Robbins, 2002).

현재 한국시장에서 유통되고 있는 염모제의 대부분은 일반적으로 유지기간에 따라서 분류하고 있는데, 염모의 유지기간이 다음 삼푸시까지 유지되는 염색인 일시적 염모제(temporary coloring agent)와 산성염모제나 헤어매니큐어 등과 같이 염모의 유지기간이 4~6주 정도로 시간이 지날수록 색이 빠져나가는 반영구 염모제(semi-permanent coloring agent) 및 알칼리성 산화 염모제와 같이 한 번의 염색으로 모발이 잘려나가기 전까지 모발 내부에 염모효과가 남아 있는 영구 염모제(permanent coloring agent)로 분류된다(Halal, 2002).

이 중에서 알칼리성 산화 염모제인 영구 염모제가 시장 판매의 70~80%를 차지하고 있어서 현대인의 모발 손상에 큰 영향을 주고 있다. 영구염색(permanent coloring)은 자연 모발을 밝게 또는 어둡게 할 수 있으며 흰 모발을 어둡게 염색할 수 있다. 영구 염모제를 사용한 모발 염색은 영구적이며 새로 자라난 모발은 재염색이 필요하다. 또한 염색에 만족하지 못했다면 모발이 자랄 때까지 기다리거나 재염색을 해야 된다. 물론 재염색이 모발에 더 심한 손상을 준다. 이에 따라 손상된 모발을 복구하고자 또 다른 시술이 이어지는 순환이 거듭되고 있다. 그러나 단백질로 구성되는 모발은 한 번 손상되면 치유될 수 없으므로 결국 잘라내게 된다(Kim et al., 2008).

최근 국내 화장품회사에서는 염색 인구의 증가와 빠르게 달라지는 유행에 따라 각종 염모제를 선보이고 있다. 한번 손상된 모발은 손상된 부분을 잘라내기 전에는 치유되기 힘들기 때문에 탈색이나 염색시술시 사전에 방지되어야 한다. 그러므로 염색을 하는 시술자와 피시술자에게서 어떠한 제품을 선택하느냐의 문제는 중요하게 인식되고 있다. 모발 염색이 일반화 및 다양화 되면서 염모제의 시장성이 점점 확대가 되어가고 있다. 이에 국내 제조회사와 수입제품 간의 경쟁도 그만큼 치열해지고 있다. 아름다움이 중요한 미용제품의 한 분야이지만 더욱 중요한 것은 인체에 적용되는 물질인 만큼 해롭지 않고 모발의 손상도 고려해야하

로 염모제를 선택하는 데 매우 신중하여야 한다.

본 실험은 염색에 의한 모발의 물리적 특성에 관한 연구의 일환으로 30대 여성의 건강한 모발에 산화염모제를 적용하여 염색에 따른 모발의 인장 변화를 관찰하였다. 건강모발과 염모제를 처리한 모발의 응력(stress)과 인장력(strain)을 인장강도기(rheometer)를 사용하여 비교 측정하였고, 또한 인장강도 측정 시 절단된 모발의 미세구조를 주사전자현미경(scanning electron microscopy)을 사용하여 관찰하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

산화형 영구 염모제 처리에 의한 모발의 물리적 변화 과정을 관찰하기 위하여 물리적, 화학적 영향을 받지 않은 30대 여성의 건강 모발(virgin hair)을 준비하였다. 염색에 사용된 모발시료는 두피로부터 약 5cm 떨어진 곳에서 15cm 길이로 잘라서 채취하였다. 염모제는 국내에서 일반적으로 사용하는 A사 제품을 사용하였다. 알칼리제인 1제와 농도 6%의 산화제인 2제를 1:1로 혼합하여 제조한 염모제를 모발시료에 골고루 도포한 후 상온에서 30분간 방치하였다. 염색이 끝난 시료는 흐르는 물에 세척하고 자연건조 시켰다.

2. 실험 방법

1) 인장강도 측정

모발의 인장강도는 모발의 양쪽 끝에서 모발이 절단 될 때까지 당기는 힘을 증가시키면서 모발을 인장시켜 모발의 인장길이와 응력 및 인장력을 측정하는 방법으로 결정한다. 인장강도기(Rheometer, CR-500DX-SII, Japan)의 0점을 조정된 다음 재물대(stage)의 계측기에서 측정할 모발의 인장거리 간격을 10cm로 고정하였다. 이어서 30분 이상 항온($20 \pm 2^\circ\text{C}$), 항습(40%) 조건에 방치한 건강모발과 염색모발을 기기에 장착했다. 인장실험은 각각 총 10회를 실시하고 얻어진 값을 통계처리 했다.

2) 주사전자현미경 관찰

자연모발과 영구 염모제로 처리한 모발의 인장강도를 측정 후 절단된 모발의 형태적 변화를 관찰하기 위하여 각각의 시료 모발을 1.5cm 길이로 자른 다음 초음파세척기(Ultra sonic cleaner, Branson 2510)로 10분간 세척하여 모발 표면의 이물질을 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 끝

난 재료는 동일 완충용액으로 수세한 후, 알코올 농도 상승 순으로 탈수하여 isoamyl acetate로 치환하고 처리된 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.

결과 및 고찰

모발의 인장강도는 인종에 따라 차이가 있는데, 모발의 굵기나 횡단면의 모양과 꼬임 정도에 따라 다르게 나타난다. 흑인종 모발의 응력과 인장력은 백인종이나 황인종의 모발보다 낮다. 흑인종의 모발이 인장강도가 낮은 것은 모발의 장축을 따라 심하게 꼬여 있고 꼬인 부분의 모발직경은 작으며 모발 표면 큐티클층의 미세한 균열 및 부서짐에 의해서 쉽게 끊어진다(Kamath et al., 1984; Syed et al., 1995; Franbourg et al., 2003).

산화형 영구 염모제로 처리한 모발의 인장력을 인장강도기를 사용하여 측정하였다. 염모제로 처리한 모발의 인장강도를 측정하기 위해서 처리된 모발 시료를 10개 선택하여 반복실험을 실시한 다음 평균값을 구하였다. 산화형 영구 염모제로 처리한 모발의 인장강도 측정 그래프에서 10개 모발 시료의 전향복 부위는 1.8g에서부터 2.8g의 힘이 가해질 때까지 나타났다(Fig. 1). 영구염색 모발에서 인장거리는 평균 11.34 mm로 측정되었다. 인장강도는 13.69 g/cm²이었고 인장에너지는 89.62 erg/cm²로 나타났으며, 최고응력은 136.90 g으로 측정되었다(Fig. 1, Table 1).

이와 같은 결과는 건강모발에 비해서 염색모발의 인장강도가 0.97 g/cm² 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 최고응력은 9.74 g 감소하였고, 인장에너지는 18.38 erg/cm² 줄었으며, 인장거리는 0.95 mm 감소한 것을 확인할 수 있었다(Table 1).

Lee & Chang (2008)은 탈색모발의 인장강도에 관한 연구에서 건강모발의 전향복부위의 인장력은 4g의 힘이 작용할 때 나타났고 탈색모발은 2.8g의 힘이 작용할 때 나타났는데, 이와 같은 결과는 모발이 신장되었다가 자극이 소멸되면 원래상태로 돌아올 수 있는 최소한의 인장력을 의미하는 것으로 탈색모발이 건강모발보다 전향복 부위의 인장강도가 1.2g 정도 낮은 것으로 보고하였다. 본 연구에서 산화형 영구염모제로 처리한 모발의 전향복부위의 인장력은 Lee & Chang (2008)이 탈색모발을 대상으로 연구한 결과와 유사하게 나타났다.

Lee & Chang (2008)이 건강모발과 탈색횟수에 따른 모발의 인장강도 변화에 관한 선행연구에서 탈색 1회, 2회, 3회

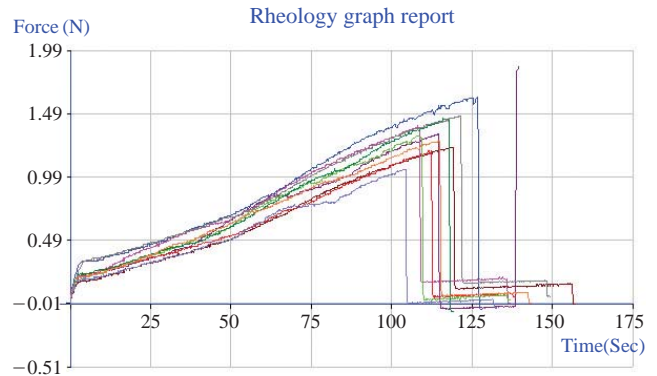


Fig. 1. Stress strain curves of oxidative permanent dyed hair. The result of tension tests obtained using 10 measurements of permanent dyed hair samples.

Table 1. Mechanical properties of virgin hair and permanent dyed 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	146.64	1.00	12.29	108.00	14.66
Dyed hair	136.90	1.00	11.34	89.62	13.69

모발은 각각 12.95 g/cm², 12.61 g/cm², 11.43 g/cm²으로 나타났으며 탈색모발은 탈색 횟수가 증가할수록 인장강도가 감소하는 것으로 보고하였다.

본 연구에서 영구염색모발의 인장강도는 13.69 g/cm²로 Lee & Chang (2008)이 보고한 탈색 1회 모발의 인장강도보다 0.74 g/cm² 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 탈색모발이 영구염색모발보다 인장강도가 낮은 것으로 모발의 탈색제로 사용되는 과황산암모늄이나 과황산칼륨 등의 성분이 피질의 탄력성을 약화시키는 원인이 된다.

탈색제는 모발 케라틴 단백질의 이황화결합을 파괴시켜서 모발의 구조를 약화시키며, 큐티클세포에 손상이 일어나서 세포의 세포질에 많은 구멍을 형성하고(Bolduc & Shapiro, 2001), 모발 조직의 화학구조가 변화되어 쉽게 부서지거나 습도에 민감하게 반응하게 된다.

건강모발의 인장시험에서 모발이 신장되어 끊어지기 직전까지의 거리는 12.29 mm로 측정되었고 영구염색모발의 신장 길이는 11.34 mm로 건강모발보다 신장 길이가 0.95 mm 짧은 것으로 나타났다. 이와 같이 영구염색모발의 인장 길이가 건강모발보다 짧은 것은 염모제와 모발 피질의 단백질 분자 사이의 화학반응에 의해서 모발이 탄력성을 상실한 것을 의미한다. 영구 염모제는 p-diamine과 p-aminophenol 성분을 가지고 있으며 이 성분들이 과산화수소(hydrogen peroxide)에 의해서 산화되어 중간산물(intermediate)로 활성화된다. 이런 중간산물은 모발의 안쪽으로 깊숙이 확

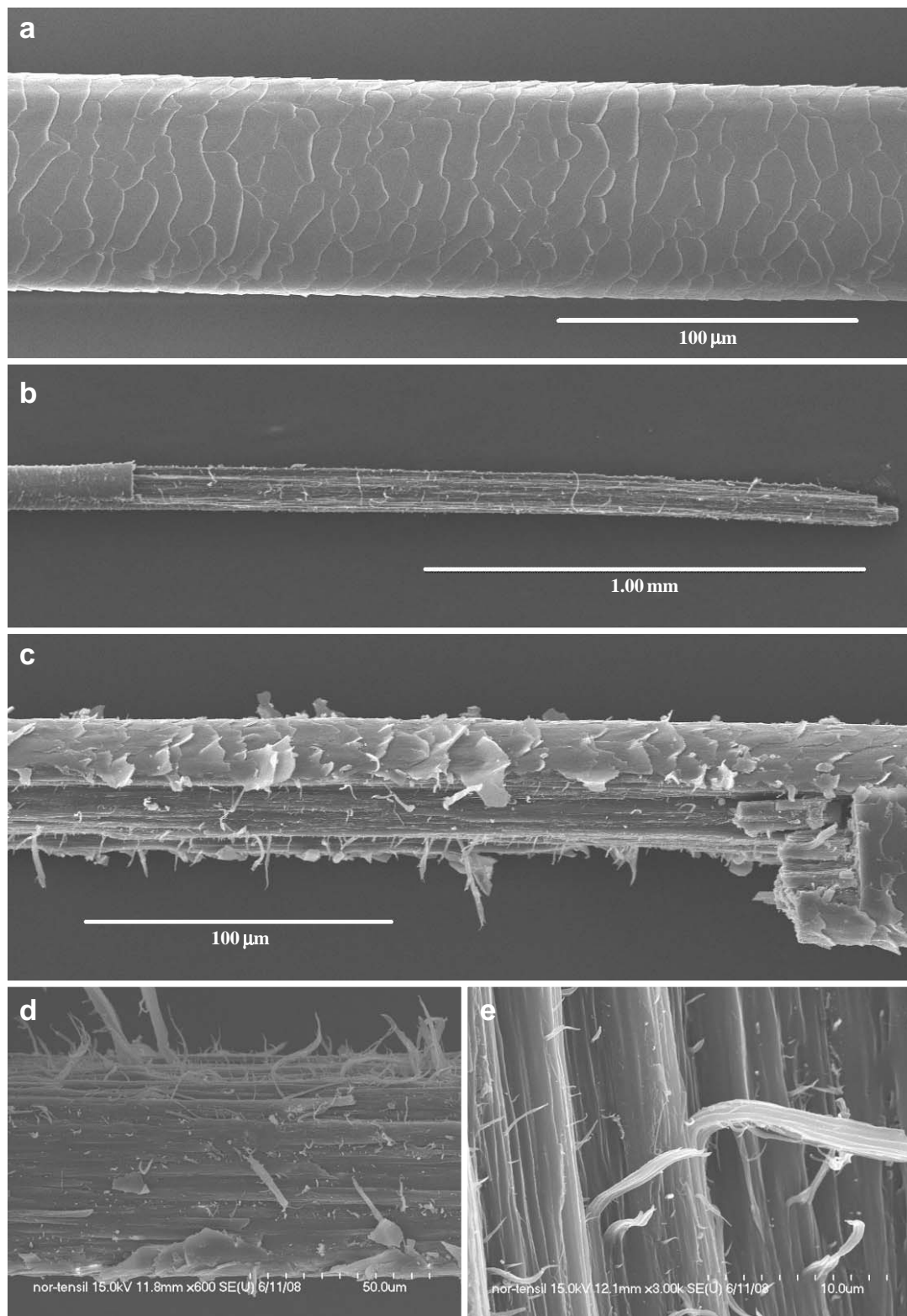


Fig. 2. (a) Scanning electron micrograph of a virgin hair shaft shows imbricated cuticular scales that the edge of the surface scales appears round border. (b) Scanning electron micrographs virgin hair after tensile test. The length of a fractured section are measured about 1.7 mm. (c) Magnification scanning electron micrograph of figure 2b shows lift-off of the scale. (d) Magnification scanning electron micrograph of figure 2c shows ripped macrofibrils in the cortical cell of the cortex. (e) High magnification scanning electron micrograph of 2c shows lift off of the macrofibrils.

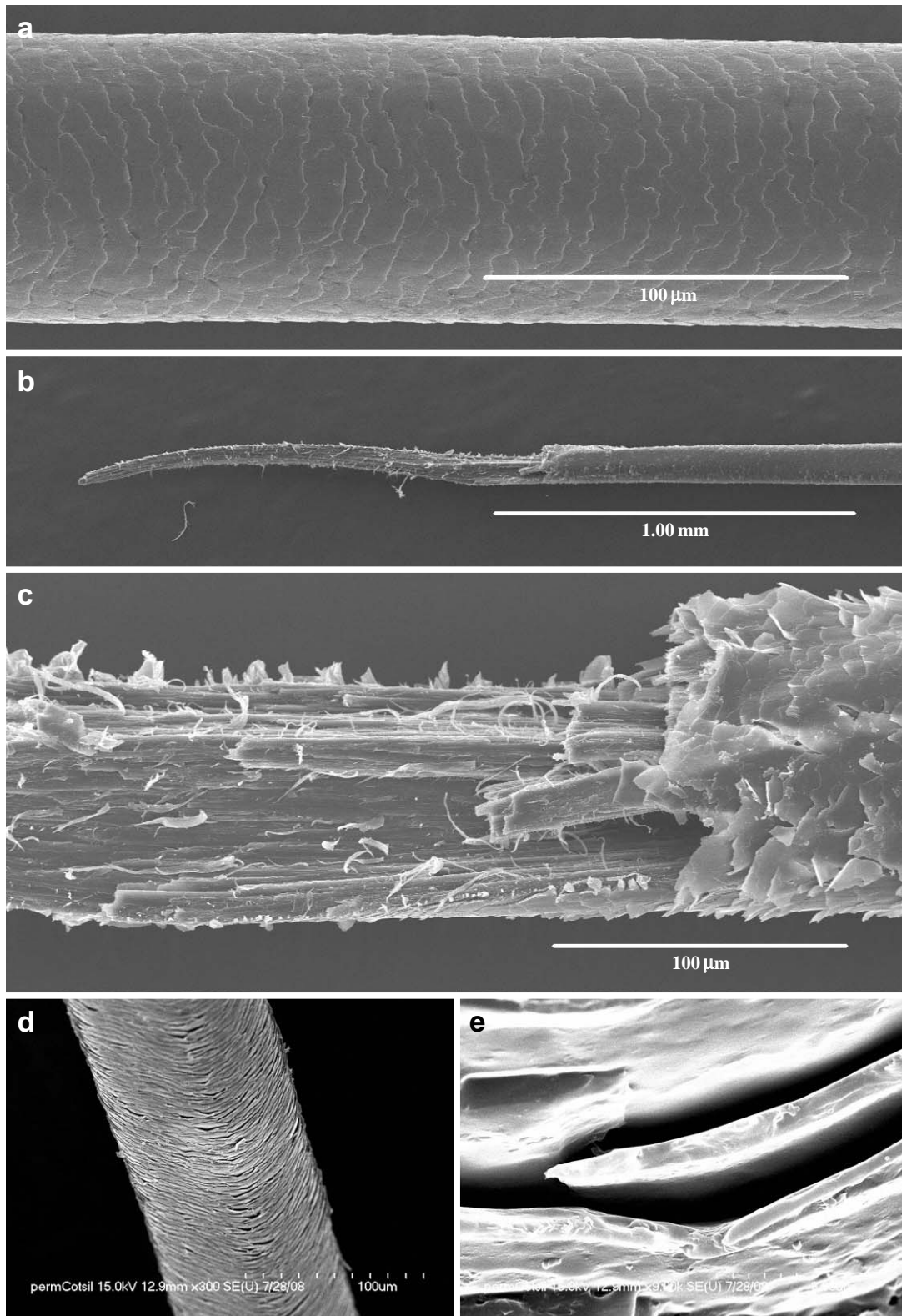


Fig. 3. (a) Scanning electron micrograph of a permanent dyed hair shaft shows sharpened scale border. (b) Scanning electron micrograph of a permanent dyed hair shaft after tensile test. The length of a fractured section are measured about 1.3 mm. (c) Magnification scanning electron micrograph of figure 3b shows exposed cortex and lift-off of the scale. (d) Scanning electron micrograph of a permanent dyed hair surface after tensile test shows respectively separated cuticle cells. (e) High magnification scanning electron micrograph of figure 3d shows the surface of hair severely separated cuticle cells.

산되고 피질섬유와 반응하여 발색단기가 생성되면서 색을 띠게 된다. 즉, 영구염색은 피질내부에서 과산화수소에 의해서 유도된 방향성 아민(aromatic amine)과 페놀(phenol)의 연결반응에 의해서 이루어진다(Bouillon & Wilkinson, 2005).

본 연구에 사용한 건강모발을 주사전자현미경으로 관찰한 결과 모발의 표면 구조를 이루고 있는 비늘(scale)은 거의 손상된 부위 없이 말단부위가 둥근 모양을 하고 있었다(Fig. 2a).

건강모발을 인장강도기로 측정된 다음 절단된 모발시료를 주사전자현미경으로 관찰한 결과 절단된 부위는 피질이 둘로 쪼개지면서 부러진 상태로 나타났으며 모발의 종축을 따라 절단된 길이는 약 1.6 mm로 측정되었다(Fig. 2b). 손상된 큐티클층은 인장력에 의해서 큐티클세포와 세포 사이의 세포막사이복합체(intercellular membrane complex)가 분리되면서 들떠있는 것을 확인하였다(Fig. 2c).

큐티클층은 4~7개의 큐티클세포로 구성되어 있는데 큐티클층의 가장 안쪽 부위에 있는 큐티클세포는 피질에 견고하게 부착되어 있고 바깥쪽 부위의 큐티클세포의 일부는 모발의 장축방향으로 돌출되어 있으며(Lee & Chang, 2005), 큐티클세포들이 표면에 돌출되어 견고하게 붙어 있는 것은 모발을 인위적으로 잡아당겼을 때 개개의 큐티클세포가 힘을 분산시키는 역할을 하고 끊어지게 되면 큐티클세포들이 바깥쪽 방향으로 휘어지게 된다(Lee & Chang, 2008).

건강모발에서 손상된 피질은 마치 장작이 쪼개지듯이 피질이 모발의 종축방향으로 둘로 갈라지면서 거대원섬유들이 덩어리져서 떨어지거나 각각 분리되어 노출되었다(Fig. 2d). 고배율의 주사전자현미경상에서 분리된 거대원섬유들은 모발의 종단면에서 수직에 가까운 상태로 노출되어 있었다(Fig. 2e).

산화형 영구 염모제로 처리한 모발 표면은 큐티클세포의 일부가 일정한 간격으로 돌출되어 형성된 비늘(scale)에 의해서 덮여 있었으나, 비늘의 끝부분은 건강모발과 달리 불규칙한 모양을 하고 있었다. 또한, 일부 비늘들은 들떠서 아래에 있는 큐티클세포와 분리된 상태로 관찰되었다(Fig. 3a).

산화형 영구 염모제로 처리한 모발의 인장강도를 측정된 후 절단된 부위를 주사전자현미경으로 관찰한 결과 절단되어 노출된 피질의 길이는 약 1.3 mm로 측정되었다(Fig. 3b). 염색모발에 인위적으로 인장력을 가한 후 항복점을 지나 부러진 부위는 모발 표면의 큐티클층을 구성하는 큐티클세포가 심하게 분리되어 들떠 있어서 거칠게 관찰되었다. 피질은 응력이 인장력의 한계를 이기지 못하고 쪼개진 부위에서 거대원섬유들이 분리되어 노출되어 있는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3c).

또한, 피질을 둘러싸고 있는 큐티클층은 각각의 큐티클세포들이 심하게 분리되어 관찰되었다(Fig. 3d). 고배율의 주

사전자현미경상에서 분리된 큐티클세포사이의 간격은 1~2 μm 간격으로 벌어져 있었으며 분리현상은 큐티클세포막과 막사이의 세포막사이복합체의 파괴에 의해서 나타났다(Fig. 3e).

탈색모발의 인장강도 시험에서 큐티클세포는 건강모발의 큐티클세포보다 더 많이 바깥쪽으로 분리되어 휘어져 나타나는데 이와 같은 결과는 강알카리 성분이 함유된 탈색제가 탈색 모발의 세포막사이 복합체의 화학 변화를 일으키고 지질성분의 용출을 촉진시켜서 탈색모발의 큐티클세포가 바깥쪽 방향으로 둥글게 휘어지는 것으로 보고된 바 있다(Lee & Chang, 2008).

본 연구에서도 영구 염모제로 처리한 모발의 큐티클층도 탈색제로 처리한 모발의 큐티클층과 유사하게 세포막사이 복합체가 분리되면서 심하게 들떠 있는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- Bolduc C, Shapiro J: Hair care products (waving, straightening, conditioning, and coloring). *Clinic Dermatol* 19 : 431-436, 2001.
- Bouillon C, Wilkinson J: Oxidation color, In: the science of hair care, Taylor & Francis, New York, pp. 277-300, 2005.
- 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.
- Georgalas A, Dowbrands LP: Photoprotection for hair. *Cosm & Toiletries* 108 : 75-80, 1993.
- Hong WS, Chang BS, Lim DS, Park SO, Yeo 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, 2008. (Korean)
- Robbins CR: Chemical and physical behavior of human hair. Springer-Verlag, New York, pp. 311-344, 2002.
- Rook, A: The clinical importance of "weathering" in human hair. Br J Dermatol 95 : 111-117, 1976.
- Santos NAC, Joekes I: Hair color changes and protein damage caused by ultraviolet radiation. J Photochem Photobiol 74 : 109-177, 2004.
- Syed A, Kuhajda A, Ayoub H, Ahmad K, Frank EM: African-American hair: its physical properties and differences relative to Caucasian hair. Cosmet Toiletries 110 : 39-48, 1995.
- Wall RA, Hunter LD: Normal adult hair structure and properties. Cosmet Perf 89 : 31-36, 1974.

< 국문 초록 >

본 연구는 산화형 영구 염모제로 처리한 모발의 응력과 인장력을 건강모발과 비교하였으며, 인장시험 결과 절단된 모발의 미세구조를 주사전자현미경을 사용하여 관찰하였다. 염색모발의 인장강도는 13.69 g/cm^2 이었고 인장에너지는 89.62 erg/cm^2 로 나타났다. 최고응력은 136.90 g 로 측정되었고 인장거리는 평균 11.34 mm 로 나타났다. 이와 같은 결과를 건강모발에 비교하였을 때 인장강도와 인장에너지, 최고응력이 각각 0.97 g/cm^2 , 18.38 erg/cm^2 , 9.74 g 감소하였고 인장거리는 0.95 mm 짧게 나타났다. 결과적으로 염색모발이 건강모발보다 모발의 탄력성과 강도가 감소하는 것을 확인하였다. 건강모발과 염색모발의 인장강도 시험 후 절단되어 손상된 모발의 주사전자현미경 관찰에서 건강모발은 표면의 큐티클세포들이 들떠서 분리되어 있었으며, 염색모발의 큐티클세포들은 건강모발보다 더 심하게 분리되어 있었다. 염색모발에서 큐티클세포의 분리는 세포막사이 복합체의 파괴에 의해서 일어났다. 또한, 인장력에 의해서 찢어진 피질에는 거대 원섬유들이 노출되어 분리된 상태로 존재하였다.