

인종 모발의 형태학적 차이에 관한 전자현미경적 연구

이 귀 영¹, 장 병 수*

한서대학교 보건학부 피부미용학과, ¹화학과 미용화학전공

Electron Microscopic Studies on the Morphological Differences of Ethnic Hair

Gui Young Lee¹ and Byung Soo Chang*

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

(Received September 1, 2008; Accepted September 18, 2008)

ABSTRACT

We investigated the morphological differences of the ethnic hairs using scanning electron microscopy and transmission electron microscopy, sampled from African, Asian and Caucasian women. Transverse section of African hair had a highly elliptical type whereas those of Asian and Caucasian hairs had circular and elliptical types, respectively. The diameter of African hair showed wide variations from 90 to 115 μm . The diameter of Asian hair was 100 μm and Caucasian hair had a lesser diameter of 80 μm on average. African hair were much more damaged in cuticle layer compared with Asian or Caucasian hairs. In particular, endocuticle of cuticle cell had a lot of holes in it, which resulted that it tends to be easily broken. Phaeomelanin in the cortex of Caucasian hair had a concentrically helical structure in it.

Keywords : Ethnic hair, African hair, Asian hair, Caucasian hair, Cuticle layer

서 론

사람들은 제각기 다른 모습을 하고 있어서 서로를 구분한다. 더욱이 서로 다른 인종 간의 차이는 확연히 다르게 구별된다. 이런 다른 모습의 원인은 유전적 요인과 환경적 요인에 의해서 나타난다. 인간은 피부의 색깔이나 모발의 형태 등이 인종에 따라서 뚜렷한 차이점을 가지고 있는데 이와 같은 외형적 차이에도 불구하고 아름다워지고자 하는 욕망을 이루기 위해 시간과 노력을 아끼지 않는다.

이러한 이유로 미용시장은 계속 발전되고 세분화되어 가고 있는 추세이다. 특히 흑인의 심한 곱슬머리는 빗질이 힘들고 빗는 힘에 의해 부러지기 쉬워 스타일링에 특별한 주

의가 필요하며 제품 또한 특징에 맞는 것을 사용해야 한다. 따라서 미용기술이나 미용제품이 인종의 특징에 맞는 맞춤형 화장품개발과 디자인이 요구되고 그에 맞는 시장개발이 이루어지고 있다.

모발은 외부형태에 따라 직선모(straight hair), 파동모(wavy hair), 곱슬모(curly hair), 양모(woolly hair), 말린모(peppercorn hair)로 구분된다(Lantis & Pepper, 1978). 직선모는 대부분의 황인종 모발로 일직선을 나타내며(Chang, 2003), 곱슬모는 긴 나선형의 머리채이고, 양모는 아주 납작한 나선형으로 이것은 머리채를 형성하지 못한다. 말린모는 흑인에서 일반적으로 나타나는 머리카락 형태로 작은 단추모양을 하는 납작한 코일형태의 나선형이다.

또한, 모발은 인종의 기원에 따라 황인종 모발(Asian hair),

* 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

백인종 모발(Caucasian hair), 흑인종 모발(African hair)의 3개의 범주로 구분한다(Franbourg et al., 2003).

인종 모발의 형태학적, 생화학적 차이에 관하여 최근까지 많은 연구가 진행되어 왔다. 인종 간에 모발의 단백질과 케라틴을 구성하는 아미노산은 비슷하여 단백질 구조에 대한 차이점은 없으며, 흑인종, 황인종, 백인종의 모발에서 동일한 케라틴 단백질 구조가 보고되었고, 생화학적 차이는 없는 것으로 확인되었다(Dekio & Jidoi, 1988; Nappe & Kermici, 1989; Franbourg et al., 2003).

그러나 Franbourg et al. (2003)은 백인종, 흑인종, 황인종의 모발 섬유는 뚜렷한 차이점은 없지만 인종에 따라 모발의 형태적, 기계적 특성과 수분흡수에 의한 모발의 팽윤 정도가 서로 다르다고 보고하였다.

흑인종 모발은 백인종 모발보다 인장강도가 낮고 부러지기 쉬우며, 아주 심하게 꼬여 있기 때문에 빗질하기가 상당히 어렵다(Kamath et al., 1984). 또한, 흑인종 모발은 백인종 모발보다 보습율이 낮는데 이것은 모발을 구성하는 성분 중에서 지질성분의 차이에 기인하는 것으로 보고되었다(Syed et al., 1995).

인종 모발은 외부형태와 굵기 및 강도 등에 많은 차이를 가지고 있다. 황인종 모발은 백인종 모발보다 굵고 강도가 크다. 흑인종 모발은 코일모양으로 납작하게 꼬여 있다(Kamath et al., 1984; Khumalo et al., 2000).

이와 같은 차이점 때문에 국내에서도 모발관리제품들의 제조와 생산에 있어서 인종간의 모발 특성을 이해하고 모발의 특성에 맞는 맞춤형 제품 개발이 필요하다.

국내에서 모발의 물리화학적 변화에 관한 연구 및 형태학적 연구는 많이 진행되어 왔지만(Hong et al., 2000; Chang, 2003; Chang et al., 2005; Chang & Lee, 2006; Chang et al., 2006) 인종 차이에 따른 모발 특성에 관한 연구는 미흡한 상태이다. 본 연구는 국내에서 거주하는 황인종, 흑인종, 백인종 모발의 외부 형태와 내부 미세구조적 특징을 전자현미경을 사용하여 비교 분석하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

실험에 사용된 모발은 국내에 거주하고 있는 10대 후반에서 20대 초반의 흑인, 백인, 황인여성의 모발로서 물리화학적 손상을 전혀 받지 않은 건강한 시료를 각각 채취하여 사용하였다. 모발은 실험용 가위를 사용하여 두피에서 2~3 cm 떨어진 부위에서 잘라내었으며, 채취한 머리카락의 길이는 약 7~15 cm이었다.

2. 실험 방법

1) 주사전자현미경 관찰

인종 모발을 채취 후 초음파세척기로 세척한 다음 실험 재료로 사용하였다. 각각의 시료를 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde (4°C, phosphate buffer, pH 7.4)로 1시간 동안 전고정하고 이어서 인산완충용액 (4°C, 0.4 M phosphate buffer, pH 7.4)으로 15분씩 2회 세척한 다음, 1% OsO₄ (4°C, phosphate buffer)로 1시간 후고정 하였다. 고정이 끝난 재료는 동일 인산완충용액 (4°C, 0.4 M phosphate buffer, pH 7.4)으로 15분씩 2회 수세한 다음, ethanol 농도 상승순으로 탈수하여 isoamyl acetate로 치환하였다. 처리된 재료는 임계점 건조기(critical point dryer, Hitachi SCP-II)에서 건조시킨 후, 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 관찰하였다.

2) 투과전자현미경 관찰

인종 모발을 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde (4°C, phosphate buffer, pH 7.4)에 1시간 전고정하고, 1% OsO₄ (4°C, phosphate buffer)로 1시간 후고정 하였다. 고정이 끝난 재료는 동일 완충용액으로 2회씩 세척한 후, 알콜농도 상승순으로 탈수하고, propylene oxide로 치환하여 Epon-Araldite 혼합액에 포매한 다음, 60°C vacuum drying oven (Yamato, Japan)에서 36시간 동안 중합반응 시켰다. 포매된 조직은 초박절편기(ultramicrotome, LKB-2088)로 준초박절편을 제작하였다. 이어서, 초박절편을 제작하여 copper grid에 부착시킨 다음, uranyl acetate와 lead citrate로 이중 염색하여 투과전자현미경(H-7500, Hitachi, Japan)으로 100 kV에서 관찰하였다.

결 과

인종에 따라 각각 채취한 모발은 육안 검사에서도 머리카락의 형태나 색깔, 질감 등의 차이를 확인할 수 있었다. 흑인종 모발의 주사전자현미경상에서 모발은 비틀어지면서 휘어져 있었고(Fig. 1a), 한 개의 모발에서 두께는 일정하지 않고 90 μm에서부터 115 μm까지 굵기에 차이가 있었다(Fig. 1b). 또한 모발의 표면은 노출되어 비늘(scale)을 형성한 큐티클세포(cuticle cell)들이 분리되어 부서져 있는 상태로 관찰되었다. 모발 표면에서 최외각 큐티클세포가 떨어져 나간 부위는 큐티클세포의 잔유물이 부착되어 있어서 고배율의 주사전자현미경상에서 지저분하게 관찰되었다(Fig. 1c).

흑인종 모발의 종단면은 납작하고 길게 신장된 타원형의 형태를 하고 있었으며 수질(medulla)과 피질(cortex) 및 큐티클층이 뚜렷하게 구분되었다(Fig. 1d). 큐티클층은 5개의

큐티클세포들로 구성되어 있었으며 각각의 큐티클세포의 세포질에는 많은 구멍(hole)들이 형성되어 있었다(Fig. 1e).

투과전자현미경상에서 흑인종 모발의 큐티클세포들은 세포막복합체(cell membrane complex)가 분리되어 떨어져 있었으며 표면에는 탈락된 세포의 세포질성분이 붙어 있었다. 큐티클세포의 세포질에서 바깥쪽으로 세포막을 따라 일정한 두께로 중추하고 있는 A층(A layer)이 존재하고 있는데 이 부위는 전자밀도가 높게 관찰되었다. 또한, 내큐티클(endocuticle)에는 많은 구멍들이 형성되어 있었고 이들 구멍 중의 일부는 전자밀도가 낮은 물질로 채워져 있었다(Fig. 1f).

흑인종 모발의 피질에는 멜라닌 과립(melanin granule)들이 집중되어 모여 있거나 피질에 고르게 산재되어 있었다. 모발의 횡단면을 따라 가로 절단한 시료 표본에서 멜라닌 과립은 전자밀도가 높게 나타났으며 과립의 한계막 주변에는 빈공간이 형성되어 벌어져 있었다. 그리고 피질의 각화세포(cornified cell)의 막과 인접한 세포질에 크고 작은 구멍들이 형성되어 있었다(Fig. 1g).

주사전자현미경상에서 백인종 모발은 직경이 약 80 μm 로 측정되었고, 표면은 큐티클세포가 들떠있거나 손상된 부분 없이 비교적 매끄러운 상태로 관찰되었다(Fig. 2a). 표면의 큐티클층이 중첩되어 형성된 비늘은 일정한 간격을 유지하며 끝부분이 비교적 둥그런 모양을 유지하고 있었다(Fig. 2b). 모발의 횡단면은 타원형의 형태를 하고 있었으며 큐티클층과 피질이 뚜렷하게 관찰되었다(Fig. 2c). 백인종 모발에서 큐티클층은 7개의 큐티클세포들로 구성된 큐티클층이 피질을 둘러싸고 있었다(Fig. 2d).

투과전자현미경상에서 피질에 있는 멜라닌과립은 직경이 약 0.3 μm 로 측정되었으며, tyrosinase core를 중심으로 동심원상의 나선형을 하고 있었다(Fig. 2e). 피질에 있는 이들 과립들은 전자밀도가 낮은 페오멜라닌(phaeomelanin) 과립과 전자밀도가 높은 유멜라닌(eumelanin) 과립들이 혼재되어 관찰되었다(Fig. 2e, f).

황인종 모발은 직경이 100 μm 로 측정되었고 외부형태는 큐티클세포들이 중첩되어 지붕의 기와장과 같은 구조를 하고 있었으며 손상된 부위 없이 관찰되었다(Fig. 3a). 황인종 모발의 횡단면은 원형의 형태를 하고 있었으며, 큐티클층과 피질 및 수질이 뚜렷하게 구분되었다(Fig. 3b). 모발 표면에 노출된 비늘들은 끝부분이 비교적 둥글고 완만한 형태로 나타났었다(Fig. 3c).

투과전자현미경상에서 큐티클층을 구성하는 큐티클세포는 작은 층관구조로서 전자밀도 차이나 구조적 차이에 의해서 잘 구분되었다. 큐티클세포의 세포질에는 전자밀도 차이에 의해서 내큐티클과 외큐티클(exocuticle)이 뚜렷하게 구분되었다. 내큐티클은 전자밀도가 높은 물질로 구성되어 있었고 다수의 작은 구멍들이 관찰되는 것이 특징이다. 외

큐티클은 전자밀도가 낮은 물질로 구성된 부분으로 큐티클 세포의 대부분을 차지하고 있다. 또한 외큐티클과 경계를 이루는 부분 위쪽에는 A층이 존재하는데 이 층은 외큐티클보다 전자밀도가 높은 물질로 구성되어 있어서 뚜렷하게 관찰되었다(Fig. 3d). 그리고 큐티클세포와 세포 사이에는 인접된 세포를 결합시켜주는 역할을 하는 세포막복합체가 30~50 nm의 간극으로 연결되어 있었다. 세포막복합체는 3개의 층으로 구분되는데 위의 전자밀도가 낮은 β 층(β -layer)과 가운데 전자밀도가 높은 δ 층(δ -layer) 및 아래의 전자밀도가 낮은 β 층이 뚜렷하게 관찰되었다(Fig. 3d). 각화세포의 거대원섬유(macrofibril) 사이에 존재하고 있는 멜라닌 과립은 전자밀도가 높게 나타났으며 직경이 약 0.3~0.5 μm 로 측정되었다(Fig. 3e).

고 찰

사람의 모발은 모낭의 모세포(follicle trichocyte)로부터 만들어지는 각화된 판상의 섬유성 조직(laminar fibrous tissue)이다. 모발은 피질이 약 80%를 차지하고 있고 피질을 둘러싸는 큐티클층이 약 15%를 차지하고 있으며 중앙에 모발의 장축을 따라 세포들이 각질화 되어 빈구멍을 형성하고 있는 수질이 존재한다(Scanavez et al., 2004).

큐티클층은 각화된 편평무핵세포인 큐티클세포가 중첩되어 있어서 모발의 겉을 형성하고, 큐티클세포의 1/4~1/5은 표면으로 돌출되어 비늘 모양을 하고 있으며, 3/4~4/5는 중첩되어 피질의 표면을 덮고 있다. 큐티클세포는 두께가 0.3~0.5 μm 이고 길이가 약 5~10 μm 정도이다(Chang, 2003).

본 연구에서 백인종과 황인종의 모발 표면은 비늘들이 일정한 간격을 유지하며 고르게 존재해서 모발의 겉을 이루고 있었으나 흑인종 모발은 비틀어지면서 성장하기 때문에 모발 표면의 비늘 사이 간격이 불규칙하게 배열되어 있었다. 이와 같은 구조적 특성으로 인해서 흑인종 모발이 다른 인종모발보다 머리감기나 빗질과 물리화학적 처리에 의해서 쉽게 손상을 받게 된다(Kamath et al., 1984; Lindenlof et al., 1988).

흑인종 모발의 횡단면이 납작한 타원형인 것은 모발섬유 단백질이 이종성(heterogenous)이고 비대칭성의 구조로 되어 있고 내부의 결합력의 차이가 있기 때문이다. 흑인종 모발이 납작한 나선형인 것은 단면이 타원형이기 때문인 것이 아니고 모낭이 나선형의 형태를 하고 있기 때문이다(Khumalo et al., 2000; McMichael, 2003). 이것은 모낭이 일직선상으로 곧으면 타원형의 단면을 가지고 있는 모발이라도 일직선상으로 자랄 수 있다는 것을 의미한다(Lindenlof et al., 1988).

Menkart et al. (1996)은 인종모발의 직경에 관해서 황인종

모발은 모발 단면의 직경이 가장 크고 흑인종 모발은 모간의 장축을 따라 모발 단면이 납작한 타원형을 이루고 있어서 직경이 아주 불규칙하게 차이가 있으며, 백인종의 모발은 중간 정도의 직경을 가지고 있다고 보고하였다. 본 연구에서도 Menkart et al. (1996)의 보고한 바와 같이 황인종 모발은 약 100 μm 로 측정되었고, 백인종 모발은 80 μm 로 측정되었으며, 흑인종 모발은 직경이 90~115 μm 로 한 개의 모발에서도 부위마다 직경이 일정치 않았다.

큐티클세포는 cystine의 양과 구조적 특성에 따라 표면큐티클(epicuticle), A층, 외큐티클, 내큐티클 등으로 구분한다. 이 층들은 cystine 성분의 차이가 아주 크다. 표면큐티클은 큐티클세포의 세포막으로서 표면에 부착된 지질막이 모발에 윤기를 갖게 해준다. 큐티클 세포의 대부분을 차지하는 A층과 외큐티클 및 내큐티클은 cystine 성분이 각각 30%, 15%, 3% 존재하고 있다(Seshadri & Bhushan, 2008).

본 연구에서 인종 차이에 관계없이 큐티클세포의 미세구조는 동일하게 관찰되었다. 모든 인종에서 황(sulfur) 성분이 많이 포함된 외큐티클은 내큐티클 보다 전자밀도가 낮게 관찰되었으며 내큐티클에는 전자밀도가 서로 다른 크고 작은 구멍들이 형성되어 있었다.

큐티클층을 구성하고 있는 큐티클세포의 내큐티클과 피질에 구멍이나 강(cavity)이 형성되는데 이것은 케라틴 성분이 없는 부위에서 발견된다(Scanavez et al., 2003). Scanavez et al. (2004)는 음이온성 계면활성제로 모발을 과도하게 씻으면 모발에 있는 지질이 용출되어 나오며, 내큐티클에 구멍이 생긴다고 보고하였다. 이와 같이 구멍이 생기는 것은 샴푸를 하는 동안 단백질의 분해가 일어나기 때문인 것으로 추측하였다. 또한 내큐티클은 서로 다른 단백질들로 구성된 부위로서 세포가 각질화되기 전의 원래 살아 있는 세포에 있었던 핵과 미토콘드리아 등의 세포소기관 및 지질 성분 등과 같은 세포잔유물들이 내큐티클의 약 50% 이상을 차지한다고 보고하였고, 일부 구멍은 핵과 세포잔유물이 제거되어서 만들어진다고 추측하였다.

큐티클세포와 세포사이에는 세포막복합체가 존재하는데 이것은 세포사이를 접촉시켜서 큐티클세포들이 분리되지 않도록 유지해준다. 세포막복합체는 바깥쪽의 β 층, 가운데 δ 층 및 안쪽의 β 층으로 구성된 층판구조이다(Seshadri & Bhushan, 2008). δ 층은 소량의 단백질과 다당류로 구성되어 있고 β 층은 지질 성분으로 18-methyleicosanoic acid가 단백질 분자와 공유결합으로 연결되어 있으며 이런 지질성분의 얇은 막이 큐티클의 바깥 표면에도 덮여 있어서 모발의 소수성(hydrophobic) 특성과 마찰력을 감소시키는 특성을 부여한다(Wolfram, 2003).

본 연구에서 황인종 모발의 큐티클세포사이의 세포막복합체는 전형적인 구조를 하고 있었으나, 흑인종 모발에서는 세포막복합체가 쉽게 파괴되어 큐티클세포들이 분리된 상

태로 관찰되었다. 이와 같은 결과는 흑인종 모발의 구조적 특성과 기계적 특성에 의해서 쉽게 손상되는 것으로 나타났다.

Khumalo et al. (2000)는 흑인종 모발은 모간(hair shaft)의 중축을 따라 찢어져 있거나 틈이 형성되어 있는데 이것은 황인종 모발과 백인종 모발에서는 발견되지 않는다고 보고하였다. 또한 대부분의 흑인종 모발은 머리감기와 빗질 등의 물리적인 영향에 의해서 모발이 엉키고 꼬여서 매듭을 형성한다고 보고하였다. 그리고 흑인종 모발의 가장 중요한 특성은 모발의 끝부분이 백인종이나 황인종에 비해서 부러져 있다고 보고하였는데, 이것은 매듭져 있고 꼬여 있는 모발에 빗질을 하면 할수록 더욱 꼬이게 되고 모근이 잡아당기는 힘에 의해서 저항력을 받기 때문이다.

피질은 길게 신장된 다각형의 각화세포들로 채워져 있다. 이 세포들은 거대원섬유와 황 함유 단백질성분으로 된 간충물질인 기질(matrix)로 구성되어 있으며 기질 사이에는 멜라닌과립이 산재되어 있다. 거대원섬유는 이성결정체 형태의 미세원섬유(microfibril)들로 채워져 있고 이들 사이에는 무정형 기질(amorphous matrix)이 채워주고 있다.

X-ray 회절 분석으로 모발의 3차원 구조를 분석한 결과 미세원섬유를 따라 5.15Å 간격의 알파 나선 구조의 케라틴 분자 배열이 용수철 모양으로 주기적으로 나타나고 이중으로 꼬여 있는 고리의 두께는 평균 9.8Å인데 고리의 두가닥 사이는 다소 규칙적인 거리를 유지하고 있다(Busson & Doucet, 1999). 이들 고리분자들은 반결정체 상태로 미세원섬유를 형성한다(Fraser et al., 1976).

본 연구의 모든 인종 모발에서 각화세포의 거대원섬유들이 치밀하게 배열되어 있었고 이들 사이에 멜라닌과립이 산재되어 있었다. 그러나 흑인종 모발에서 각화세포의 막과 인접한 부위에 막을 경계로 작은 구멍들이 형성되어 있었고, 멜라닌과립이 집중적으로 분포하고 있는 부위에서도 과립과 거대원섬유 사이에 틈이 형성되어 있었다.

멜라닌과립은 모구(hair bulb)에 위치한 멜라닌세포(melanocyte)로부터 생성된다. 멜라닌은 유멜라닌과 페오멜라닌의 두 종류가 존재 하는데 인종에 따라 흑갈색에서부터 금색에 이르기까지 다양한 색상을 나타낸다. 일반적으로 대부분의 사람들은 유멜라닌을 공통적으로 가지고 있는데 이것은 갈색에서 검정색까지의 어두운 색조를 띤다. 페오멜라닌은 금색과 적갈색, 적색의 색조를 나타낸다(Bolduck & Shapiro, 2001). 유멜라닌과 페오멜라닌의 조화로 인종마다 다양한 색조의 모발 색깔을 나타내게 한다. 모발 색깔은 모발의 굵기와 페오멜라닌과 유멜라닌의 비율 및 색소과립의 크기와 양에 의해서 결정된다.

본 연구에서 백인종 모발의 멜라닌과립은 다른 인종 보다 전자밀도가 낮은 과립으로 관찰되었는데 이 과립들은 동심원상의 나선형 구조를 나타냈다.

참 고 문 헌

- Bolduc C, Shapiro J: Hair care products (waving, straightening, conditioning, and coloring). *Clinic Dermatol* 19 : 431-436, 2001.
- Busson B, Doucet J: Modeling α -helical coiled coils: analytic relations between parameters. *J Struct Biol* 127 : 16-21, 1999.
- 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 E, 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)
- Dekio S, Jidoi J: Hair low-sulphur protein composition does not differ electrophoretically among different races. *J Dermatol* 15 : 393-396, 1988.
- Fraser RD, MacRae TP, Suzuki E: Structure of the α -keratin microfibril. *J Mol Biol* 108 : 435-52, 1976.
- 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)
- Kamath YK, Hornby SB, Weigmann HD: Mechanical and fractographic behaviour of Negroid hair. *J Soc Cosmet Chem* 5 : 21-43, 1984.
- Khumalo NP, Doe PT, Dawber RPR, Ferguson DJP: What is normal black African hair? A light and scanning electron-microscopic study. *J Am Acad Dermatol* 43 : 814-820, 2000.
- Lantis SDH, Pepper MC: Woolly hair nevus. Two case reports and a discussion of unruly hair forms. *Arch Dermatol* 114 : 233-238, 1978.
- Lindenlof B, Forslid B, Hedblad M: Human hair form: morphology revealed by light and scanning electron microscopy and computer aided three-dimensional reconstruction. *Arch Dermatol* 124 : 1359-1363, 1988.
- McMichael AJ: Ethnic hair update: Past and present. *J Am Acad Dermatol* 48 : 127-33, 2003.
- Menkart J, Wolfram LJ, Mao I: Caucasian hair, Negro hair and Wool: similarities and differences. *J Soc Cosmet Chem* 17 : 769-787, 1996.
- Nappe C, Kermici M: Electrophoretic analysis of alkylated proteins of human hair from various ethnic groups. *J Soc Cosmet Chem* 40 : 91-99, 1989.
- Scanavez C, Silveira M, Joekes I: Human hair: color changes caused by daily care damages on ultra-structure. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 28 : 39-52, 2003.
- Scanavez C, Joekes I, Zahn H: Extractable substances from human hair: a discussion about the origin of the holes. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 39 : 39-43, 2004.
- 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 Toiletry* 110 : 39-48, 1995.
- Wolfram LJ: Human hair: A unique physicochemical composite. *J Am Acad Dermatol* 48 : 106-114, 2003.

< 국문초록 >

본 연구는 국내에 거주하는 흑인종, 백인종, 황인종 여성의 모발을 채취하여 전자현미경으로 모발의 미세구조적 차이를 규명하였다. 흑인종 모발의 횡단면은 납작한 타원형의 형태를 하고 있었으며 황인종과 백인종 모발은 각각 원형과 타원형의 형태를 하고 있었다. 흑인종 모발은 두께가 90~115 μm 로 굵기가 일정하지 않았다. 황인종모발은 두께가 100 μm 이었으며 백인종 모발은 두께가 80 μm 로 측정되었다. 모발의 두께는 황인종 모발이 백인종 모발보다 크게 나타났다. 흑인종 모발은 황인종과 백인종 모발 보다 큐티클층이 많이 손상되어 있었다. 특히 큐티클세포의 내큐티클에는 많은 구멍들이 형성되어 있어서 쉽게 부서지는 특성이 나타났다. 백인종 모발의 피질에 있는 페오멜라닌은 내부에 동심원상의 나선구조를 하고 있었다.

FIGURE LEGENDS

Fig. 1. SEM and TEM images of African hair. a: Low power SEM micrograph of African hair shaft shows tightly curled shape. b: SEM image of hair surface shows rough shape. c: Magnification image surface of hair shows lift-off and fissured scales. d: The elliptic cross sectional shape is observed. e: Magnification image of cuticle layer showing composed of 5 cuticle cells. f: TEM image of the cuticle layer shows lift-off of the cuticle cell. Note that the holes (Asterisks) in the cuticle cells. CMC: cell membrane complex. g: TEM image of cortex shows melanin granules.

Fig. 2. SEM and TEM images of Caucasian hair. a: SEM image of hair surface shows smooth shape. b: Magnification image of hair surface shows regularly arranged scales. c: Cross sectioned appearance of hair show oval shape. d: Portion of a cross sectioned hair shaft shows well organized cuticle layer and fully developed cortex. e: TEM image of cortex shows eumelanin and phaeomelanin. f: The phaeomelanin have concentrically helical structure.

Fig. 3. SEM and TEM images of Asian hair. a: SEM of the Asian hair shaft shows cylindrical shape. b: Asian hair are seen circular shape. c: SEM image of the edge of hair surface scales appear round border. d: TEM image of cuticle cells shows cell membrane complex (CMC), A-layer (A), exocuticle (Exo), and endocuticle (Endo). The holes (asterisk) are seen in the endocuticle of cuticle cell. e: The cortex shows macrofibrils (Ma) and melanin granule.





