

# 인체 두피 모발에서 수질의 미세구조적 특성에 관한 연구

장병수

한서대학교 피부미용향장화학과

## Study on the Ultrastructural Characteristics of Human Hair Medulla

Byung-Soo Chang

Department of Cosmetology, Hanseo University

**요약** 본 연구는 모발 수질의 형태적, 미세구조적 특성을 주사전자현미경과 투과전자현미경을 사용하여 관찰하였다. 수질은 모발의 중앙부위에 존재하며 모발의 장축을 따라 기부에서부터 정단부위까지 불연속적으로 존재한다. 또한, 수질은 일정한 모양으로 존재하지 않고 매우 불규칙한 모양을 하고 있다. 한 개의 모발에서 연속되는 수질의 두께는 매우 다양하게 나타났다. 모발의 가로 절단면에서 수질의 두께는 최고 21 $\mu$ m로 측정되었고 세로 절단면에서는 최고 27 $\mu$ m로 측정되었다. 수질은 모발 직경의 1/3-1/4을 차지하고 있다. 수질은 각화된 수질형성세포의 거대원섬유들이 분리되면서 빈 공간을 형성하고 있다. 수질에 형성된 빈공간은 최고 6.5 $\mu$ m의 직경을 가지고 있으며 공기로 채워져 있다.

• 주제어 : 모발, 수질, 피질, 주사전자현미경, 투과전자현미경

**Abstract** Morphological and ultrastructural characteristics of human hair medulla was investigated with scanning electron microscopy and transmission electron microscopy. The medulla is located in the central position of hair shaft and appear greatly variable forms which discontinuous shape arranged from hair root to apical portion according to longitudinal axis. The thickness of medulla from a single hair presented as very variable in size. The diameter of cross section of human hair medulla measured as 21 $\mu$ m and longitudinal section showed 27 $\mu$ m. It grows up to 1/3 from 1/4 in diameter of human hair shaft. It appears emptied hole during separating of macrofibrils in the keratinocyte. The empty space measured 6.5  $\mu$ m in diameter as maximum size and it was filled with air.

• Key Words : Hair shaft, Hair cortex, Hair medulla, Scanning electron microscope, Transmission electron microscope.

### 1. 서론

인체 두피 모발은 해부학적으로 큐티클층(cuticle layer)과 피질(cortex) 및 수질(medulla)로 구분된다. 큐

티클층은 모근(hair root)의 바깥부위에 존재하는 상피세포들이 성장하면서 형성된다. 큐티클층을 구성하는 큐티클세포(cuticle cell)들은 모낭(hair follicle)에서부터 밀려 올라가면서 편평 납작해지고 세포의 핵과 세포소기관이

\*Corresponding Author : 장병수(bschang@hanseo.ac.kr)

Received May 22, 2017

Accepted July 20, 2017

Revised July 4, 2017

Published July 28, 2017

용해되거나 분해되면서 각질화가 진행된다[1].

일반적으로 큐티클층은 4개에서 11개의 큐티클세포들로 구성되어 있는데 이런 큐티클층을 구성하는 세포 수는 모발의 굵기와 성장 단계에 따라 영향을 받는다[2]. 두피 모낭에서 처음 성장하여 피부 밖으로 노출되는 모발은 아주 가늘며 1개의 큐티클세포가 큐티클층을 형성하고 있지만 이후 모발은 굵어지면서 큐티클층이 여러 개의 큐티클세포들로 이루어지게 된다.

큐티클세포는 각화된 편평무핵상피세포이다. 큐티클세포는 미세구조적으로 표면큐티클(epicuticle), A층(A layer), 외큐티클(exocuticle) 및 내큐티클(endocuticle)로 구분한다. 표면큐티클은 큐티클세포의 세포막으로 표면에 지방산인 18-methyleicosanoic acid가 존재하고 있다. 각화된 큐티클세포는 전자밀도(electron density) 차이와 시스틴(cystine) 아미노산 함량의 차이 및 분해된 핵과 세포소기관의 잔유물의 존재에 따라 A층과 외큐티클 및 내큐티클로 뚜렷하게 구분된다[3,4,5].

모발 표면은 큐티클세포의 일부가 노출되어 비늘(scale)을 형성하고 있다. 비늘은 모발을 윤기 있고 광택이 나게 해준다[6, 7]. 모발 표면의 손상 즉, 큐티클층의 노출된 비늘이 물리화학적으로 손상되어 찢어지거나 부서지게 되면 머릿결은 거칠고 부서부석하게 보인다.

피질은 각화된 피질세포(cortical cell)들로 구성되어 있다. 모근의 중앙부 주위에 있는 피질세포는 성장과 분화 및 멜라닌과립의 함입(engulf) 과정을 거치면서 신속하게 각질화가 진행된다[1,8,9].

두피 표면으로 노출된 모발의 피질에는 각화된 피질세포들이 모발의 장축을 따라 길게 신장된 다각형의 형태로 존재한다. 이들 피질세포는 세포막이 서로 연결되어 결합되어 있다. 피질세포의 세포질에는 직경이 약 0.5  $\mu\text{m}$ 의 거대원섬유(macrofibril)들로 채워져 있으며 이들 사이에 멜라닌과립(melanin granule)들이 존재하고 있다. 거대원섬유의 한계막(limited membrane) 안에는 2nm의 직경을 가지는 미세원섬유(microfibril)들이 동심원적으로 배열되어 있다. 모발에서 인장력(tensile)과 탄력성(elasticity) 및 강도(strength)는 피질내 존재하는 거대원섬유 다발들에 의해서 전적으로 유지된다[10,11].

모발에서 큐티클층은 피질을 보호하고 외부 마찰이나 물리적 자극에 저항하는 기능을 가지고 있다. 특히, 큐티클세포의 A층과 외큐티클에는 풍부한 시스틴아미노산의 강한 화학결합에 의해서 외부환경으로부터 물리화학적

자극에 쉽게 파괴되지 않는다.

피질은 염색, 펌, 탈색 및 헤어드라이기 사용과 같은 헤어 컬링(hair curling) 등의 물리화학적 자극에 반응하여 다양한 헤어 스타일링을 연출함으로써 아름다운 외모를 표현할 수 있게 해준다[12,13,14]. 특히, 현대인은 모발의 갈라짐이나 손상을 예방하고 윤기가 나는 모발관리에 많은 관심을 가지고 있다[15].

이와 같이 모발의 큐티클층과 피질은 모발에서의 다양한 역할과 기능을 가지고 있기 때문에 많은 연구가 진행되어 왔다[2,6,10,12,13,14].

그러나 모발의 수질은 단순히 모발의 중앙에 많은 구멍을 가지고 있는 불규칙한 빈 공간으로만 알려져 왔을 뿐 수질의 역할과 기능에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구는 수질의 형태적, 미세구조적 특성을 주사전자현미경과 투과전자현미경을 이용하여 규명하고 향후 수질의 역할과 기능을 확인하는데 중요한 단서를 제공하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험 재료

염색 펌, 탈색, 헤어드라이 등의 물리화학적 자극을 받지 않은 20대 남성의 정상 모발을 두피에서부터 3cm 떨어진 부위에서 잘라낸 다음 모발 표면에 부착된 유기물과 이물질들을 제거하기 위해서 초음파세척기(Ultrasonic cleaner, Branson 2510, USA)로 3분간 세척한 다음 사용하였다.

### 2.2 실험 방법

#### 2.2.1 주사전자현미경 관찰

채취한 모발을 약 1mm 길이로 자른 후 모발 가로 절단면 관찰을 위한 시료로 준비한 다음 탄소 테이프를 처리된 지지대(stub) 위에 수직으로 나열하였다.

모발의 세로 절단면을 관찰하기 위해서 주사전자현미경용 지지대 위에 양면테이프를 붙인 후 약 1.5cm 길이의 모발 시료를 붙인 다음 목공용 접착제를 뿌려서 건조시켰다. 이어서 예리한 면도칼을 사용하여 모발의 세로 절단면이 노출되도록 지지대 표면과 수평 방향으로 모발을 잘랐다. 준비된 각각의 모발시료는 이온침착기(IB-5 ion coater, Eiko, Japan)를 사용하여 20nm 두께로 백금 도금

(platinum coating)한 다음 주사전자현미경(S-4700, Hitachi, Japan)으로 15 kV에서 관찰하였다.

### 2.2.2 투과전자현미경 관찰

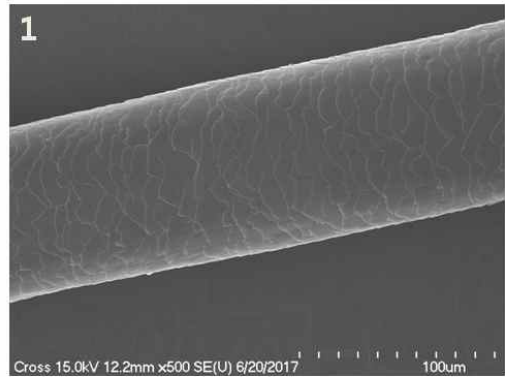
채취한 모발 세로 절단면의 미세구조를 관찰하기 위해서 모발 시료를 약 0.5cm 길이로 자른 후 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde (4°C, phosphate buffer, pH 7.4)로 1시간 동안 전고정하고, 인산완충용액 (4°C, 0.4M phosphate buffer, pH 7.4)으로 15분씩 2회 세척한 다음, 1% OsO<sub>4</sub>(4°C, 0.4M phosphate buffer, pH 7.4)로 1시간 후 고정하였다. 고정이 끝난 재료는 동일 완충용액으로 2회씩 세척한 후, 에탄올 농도 상승 순으로 탈수하였다. 탈수가 끝난 조직은 propylene oxide로 치환하여 Epon-Araldite 혼합액에 포매한 다음, 60°C vacuum drying oven(Yamato, DPF-31, Japan)에서 36시간 동안 중합반응 시켰다. 포매된 조직은 초박절편기(Ultramicrotome, LKB-2088)로 준초박절편(semi-thin section)을 제작한 다음, 1% toluidine blue(1% borax)로 hot plate(60°C) 상에서 2분간 염색하였다. 염색이 끝난 절편을 증류수로 충분히 세척한 다음 광학현미경(Olympus CH30)으로 관찰하였다. 이어서 조직의 미세구조를 관찰하기 위해 초박절편(ultra-thin section)을 제작하여 copper grid에 부착시킨 다음, uranyl acetate and lead citrate로 이중 염색하여 투과전자현미경(H-7500, Hitachi, Japan)으로 100kV에서 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

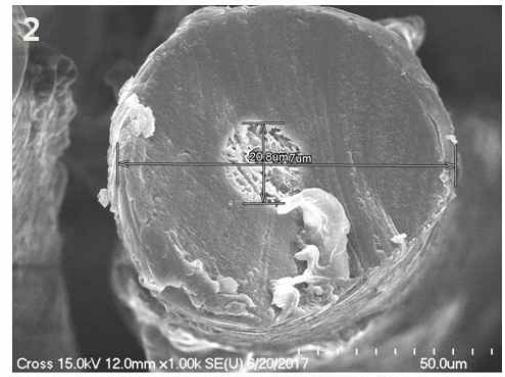
주사전자현미경 상에서 실험에 사용된 건강모발은 직경이 약 92 $\mu$ m로 측정되었고 표면은 비교적 깨끗한 상태로 전형적인 모발 표면구조를 하고 있다. 비늘은 크게 손상된 부분 없이 관찰되었으나 일부 손상되어 약간 찢어져 있거나 불규칙한 면을 하고 있다[Fig. 1]. 이와 같은 구조는 정상모발의 일반적인 특징이다.

정상모발 또는 건강모발의 의미는 헤어 스타일링을 목적으로 물리화학적 자극을 받지 않은 모발을 의미한다.

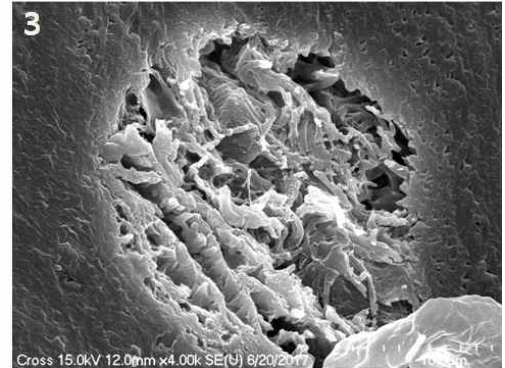
두피 모낭에서 성장한 모발은 자연환경과 외부의 물리화학적 자극에 의해서 손상을 받게 되고 결국은 풍화(weathering)된다[7,16].



[Fig. 1] Scanning electron micrograph of a normal hair shaft shows smooth and shiny surface.



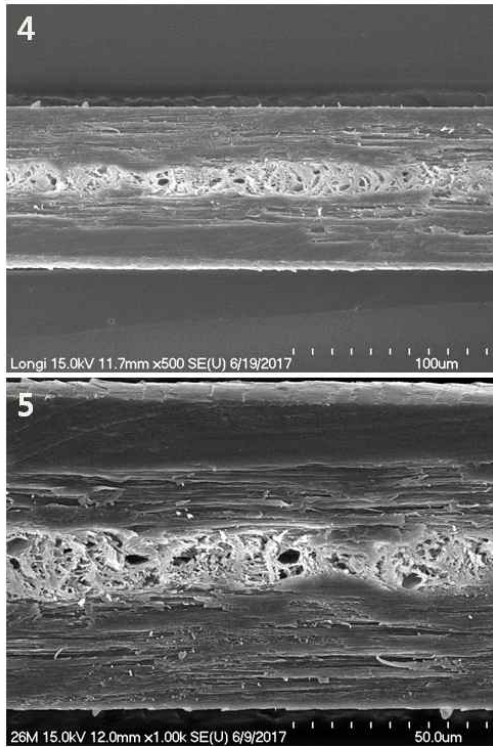
[Fig. 2] Scanning electron micrograph of transverse section of a hair shaft shows the medulla in the central portion.



[Fig. 3] Magnification of Fig. 1 shows circularly formed medulla.

[Fig. 3] Magnification of Fig. 1 shows circularly formed medulla.

모발의 가로 절단면 관찰에서 수질은 모발의 중앙부에 위치해 있으며 원형의 형태로 관찰되었다. 실험에 사용된 모발의 단면은 원형의 형태로 큐티클층과 피질이 어떠한 손상도 없이 치밀하게 배열되어 있다[Fig. 2].



[Fig. 4] Scanning electron micrograph of longitudinal section of a normal hair shaft.

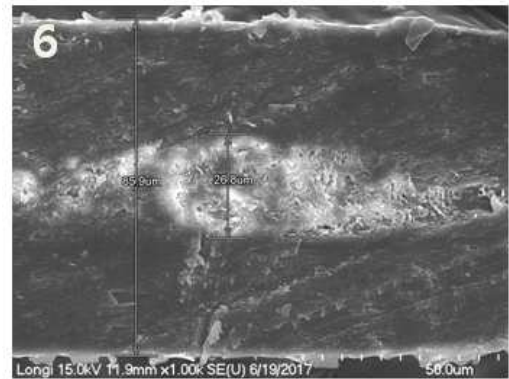
[Fig. 5] Magnification scanning electron micrograph of Fig. 4 shows irregular formed medulla.

염색과 탈색과 같은 화학적 자극에 의해서 피질에는 많은 미세한 구멍들이 형성되고 큐티클층은 인접한 큐티클 세포사이에 분리현상이 일어나지만[17], 본 연구에 사용된 모발은 이와 같은 현상들이 나타나지 않는 전형적인 건강모발로 관찰되었다.

수질은 모발의 중앙부에 위치해 있고 원형의 형태로 관찰되었으며 직경이 약  $21\mu\text{m}$ 로 모발 가로 절단면 직경의 약 1/4을 차지하고 있다[Fig. 2].

그림 3의 고배율 주사전자현미경 관찰 상에서 수질은 각질화된 거대원섬유 다발이 불규칙하게 엉켜 있는 모양으로 관찰되었고 이들 사이에 빈 공간이 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다[Fig. 3].

Lee & Chang[18]은 인종모발의 형태적 차이에서 황인종 모발의 가로 절단면은 원형의 형태로 큐티클층과 피질 및 수질이 뚜렷하게 구분된다고 보고하였다. 본 연구에서 사용된 모발은 Lee & Chang[18]이 보고한 바와 같이 전형적인 구조를 하고 있다.



[Fig. 6] Scanning electron micrograph of longitudinal section of a normal hair shaft showing discontinuous medulla region.

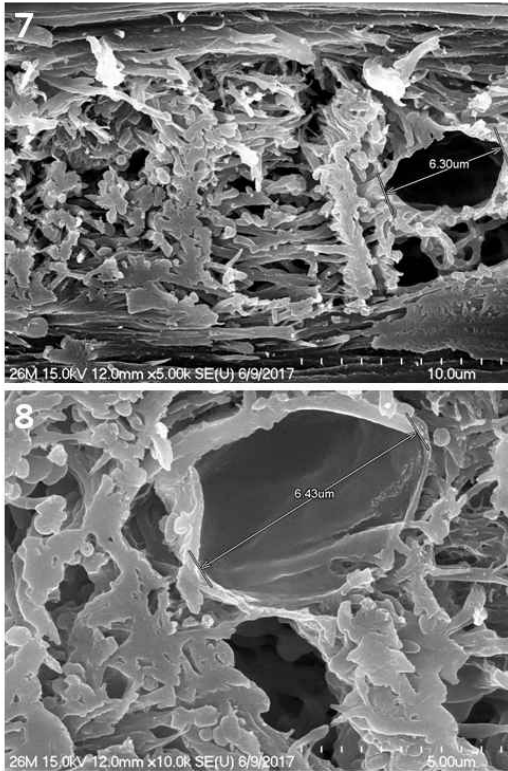
모발 세로 절단면의 주사전자현미경 관찰에서 수질은 모발의 중앙부위를 따라 길게 형성되어있는 것을 확인할 수 있다. 수질은 모발의 장축을 따라 일정한 모양으로 존재하지 않고 매우 불규칙한 모양을 하고 있다[Figs. 4, 5].

또한, 모발의 세로 절단면에서 수질은 일정한 모양을 유지하지 않고 불규칙하며 불연속적인 형태를 하고 있는 것을 확인할 수 있다[Fig. 6]. 본 연구에서 수질은 모발의 중심부에 존재하며 모발의 장축을 따라 기부에서부터 정단부위까지 연속적으로 존재하지 않는 것을 확인하였다.

이와 같은 결과는 한사람의 두피모발에서 수질은 모든 모발에 존재하지 않고 또한 한 개의 모발에도 수질은 두피 기저부에서부터 모발 끝까지 연결되어 존재하지 않는다는 것을 의미한다.

수질이 크게 형성된 부위에서 단축 직경은 약  $27\mu\text{m}$ 로 모발 직경의 약 1/3을 차지하고 있다[Fig. 6]. 본 연구에서 수질은 모발의 장축을 따라 크게 형성된 부위도 있고 적게 형성되거나 형성되지 않은 부위도 쉽게 관찰할 수 있다.

모발의 세로 절단면을 고배율의 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 수질은 각화된 거대원섬유들이 각각 분리되어 그물모양으로 복잡하게 엉켜 있는 것이 확인 되었다[Fig. 7]. 수질의 대부분 채우고 있는 거대원섬유들은 서로 분리되어 작은 빈 공간을 형성하고 있고 이들 사이에 멜라닌 과립들이 존재하고 있다. 또한 수질에서 비교적 큰 구멍들이 관찰되는데 이들 관상의 구조물은 직경이 약  $6.3\text{--}6.5\mu\text{m}$ 로 측정되었다[Figs. 7, 8]. 수질은 신생아 모발을 제외하고 황인종 모발에서 대부분 존재하고 있다[19].

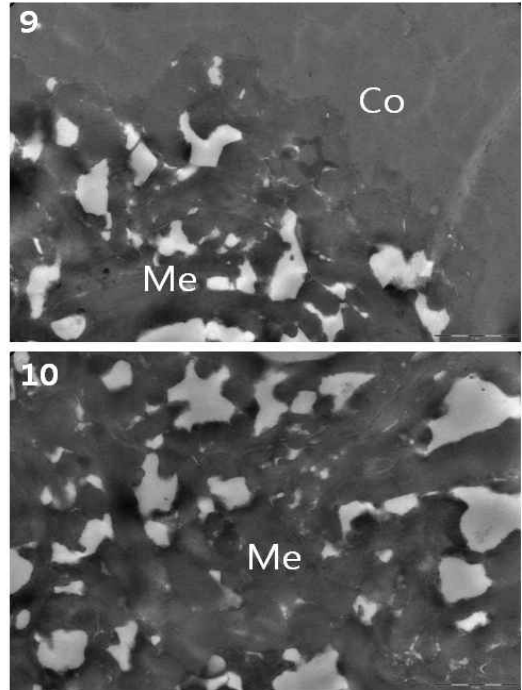


[Fig. 7] Scanning electron micrograph of longitudinal section of a normal hair shaft showing uncontinuous medulla region.

[Fig. 8] Transmission electron micrograph of cross sectioned hair medulla

모발 가로 절단면의 투과전자현미경관찰에서 피질과 수질의 경계는 각질형성세포의 세포막에 의해서 뚜렷하게 구분되어 관찰되었다[Fig. 9]. 수질의 전자밀도 (electron density)가 높은 부위에는 피질에 존재하는 거대원섬유와 동일한 구조의 거대원섬유다발들이 분리되어 있고 이들 분리된 틈 사이에 미세구조적으로 크고 작은 많은 구멍들이 관찰되었다[Fig. 9].

고배율의 투과전자현미경상에서 수질에 많은 공간을 형성하는 거대원섬유 사이의 빈 공간은 매우 불규칙한 모양으로 크기도 아주 다양하게 관찰되었다[Fig. 10].



[Fig. 9] Transmission electron micrograph of a cross sectioned hair medulla. Co: cortex, Me: medulla

[Fig. 10] High magnification Transmission electron micrograph of Fig. 9. Me: medulla

### 3. 결론

본 연구는 인체 두피모발 수질의 미세구조적 특성을 주사전자현미경과 투과전자현미경을 사용하여 관찰하였다. 모발의 가로 절단면에서 수질은 모발의 중앙부에 원형의 형태로 존재한다. 모발의 세로 절단면에서 수질은 모발의 중심부에서 모발의 장축을 따라 기부에서부터 정단부위까지 불연속적으로 존재한다. 또한, 수질은 경계가 뚜렷한 일정한 모양을 가지고 있지 않고 매우 불규칙한 모양을 하고 있다. 따라서 한 개의 모발에서 연속되는 수질의 굵기는 매우 다양하게 나타났다. 모발의 가로 절단면에서 수질의 두께는 최저  $7\mu\text{m}$ 에서부터 최고  $21\mu\text{m}$ 로 측정되었고 세로 절단면에서는 최고  $27\mu\text{m}$ 로 측정되었다. 직경이 큰 수질이 있는 부위에서 수질은 모발 직경의 1/3-1/4을 차지하고 있다. 수질은 각화세포의 거대원섬유들이 분리되면서 형성된 공간으로 이들 거대원섬유가 수질의 뼈대역할을 하는 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- [1] B. S. Chang, Z. Jin Z, "Ultrastructural analysis of outer and inner root sheath in the hair follicle during anagen phase". *Journal of Investigative Cosmetology*, Vol. 11, No. 4, pp. 325-332, 2015.
- [2] B. S. Chang, "Fine structure of damaged hair shaft by daily treatment of heat for a beautiful face". *Korean Journal of Electron Microscopy*, Vol. 33, No. 3, pp. 215-222, 2003.
- [3] J. Y. Lee, B. S. Chang, "Morphogenic types of cuticles and melanin granules in the anagen phase of hair cuticles". *Scientific Research and Essays*, Vol. 8, No. 20, pp. 807-814, 2013.
- [4] J. S. Lee, J. A. Nor, B. S. Chang, "Ultrastructural characteristics on the cuticle layer according to different thickness of hairs". *Journal of Investigative Cosmetology*, Vol. 11, No. 1, pp. 81-87, 2015.
- [5] G. Y. Lee, B. S. Chang, "General characteristics on the fine structure of scalp hair -I. Ultrastructure of hair shaft-", *Journal of Investigative Cosmetology*, Vol. 6, No. 3, pp. 265-271, 2010.
- [6] B. S. Chang, "Study on the morphological change of hair by using hair straightener" *Journal of Investigative Cosmetology*, Vol. 6, No. 1, pp. 1-6, 2010.
- [7] W. S. Hong, B. S. Chang, D. S. Lim, S. O. Park, S. M. Yoe, "Morphological change of men's hair shaft by weathering". *Korean Journal of Electron Microscopy*, Vol. 30, No, pp. 11-20, 2000.
- [8] B. S. Chang, S. K. Na, G. Y. Lee, "Study on the physicochemical change of human hair shaft following radiation with ultraviolet". *Korean Journal of Electron Microscopy* Vol. 36, No. 2, pp. 109-118, 2006.
- [9] B. S. Chang, G. Y. Lee, "Structures of scalp and hair, In: The latest trichology. pp. 87-92, Seoul. Kwangmoonkag Press, 2011.
- [10] G. Y. Lee, B. S. Chang, "Study on the tensile strength of bleached hair". *Korean Journal of Electron Microscopy*, Vol. 38, No. 3, pp. 251-257, 2008.
- [11] K. S. Kim, B. S. Chang, "Keratinization of the cuticle layer of hair follicles during the anagen phase". *Journal of Investigative Cosmetology*, Vol. 13, No. 1, pp. 43-47, 2017.
- [12] K. H. Lee, G. Y. Lee, M. S. Kim, G. E. Kim, Y. K. Kim, B. S. Chang, "Morphological study of the bleaching agent and bleaching hair". *Journal of Investigative Cosmetology*, Vol. 2, No. 3, pp. 79-89, 2006.
- [13] M. S. Oh, B. S. Chang, "Study on the damaged hair by thioglycolic acid and heat source". *Journal of Investigative Cosmetology*, Vol. 4, No.2, pp. 163-170, 2008.
- [14] G. Y. Lee, B. S. Chang, "Ultrastructural changes of hair cuticle layer treated with permanent dye". *Journal of Investigative Cosmetology*, Vol.7, No. 3, pp. 267-271, 2011.
- [15] S. Y. Kang, K. A. Lee, "A study of convergence management types based on self perception of scalp and hair among college students majoring in cosmetology". *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol 8, No. 2, pp. 235-241, 2017.
- [16] B. S. Chang, W. S. Hong, E. Lee, S. M. Yeo, I. S. Bang, D. S. Lim, G. H. Mun, J. Kim, S. O. Park, D. H. Shin, "Ultramicroscopic observations on morphological changes in hair during 25 years of weathering". *Forensic Science International*, Vol. 151, No. 2, pp. 193-200, 2005.
- [17] J. A. Rho, T. B. Choi, B. S. Chang, "Ultrastructural analysis on the straight permed hair". *Journal of Investigative Cosmetology*, Vol. 6, No. 1, pp.41-47, 2010.
- [18] G. Y. Lee, B. S. Chang, "Electron microscopic studies on the morphological differences of ethnic hair. *Korean Journal of Electron Microscopy* Vol. 38, No. 3, pp. 265-273, 2008.
- [19] H. J. Jung, B. S. Chang, "Ultrastructural characteristics of neonate scalp hair. *Indian Journal of Science & Technology*, Vol. 9, No. 26, pp. 1-7, 2016.

저자소개

장 병 수(Byung-Soo Chang) [정회원]



- 1984년 2월 : 단국대학교 생물학과 (이학사)
- 1986년 2월 : 단국대학교 대학원 생물학과 (이학석사)
- 1992년 2월 : 단국대학교 대학원 생물학과 (이학박사)
- 1993년 3월 ~ 2004년 2월 : 동남보건대학교 임상병리학과 부교수
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 피부미용향장화학 과 교수

<관심분야>

모발 및 피부구조분석, 화장품 성분분석