

## 매장 후 사람 머리털의 풍화과정에 대한 주사전자현미경적 연구

황규성<sup>1</sup>, 임도선<sup>1</sup>, 안동춘<sup>2</sup>, 이상완<sup>3</sup>, 백두진<sup>3</sup>

을지대학교 보건산업대학 장례지도학과, <sup>1</sup>보건과학대학 치위생학과  
<sup>2</sup>강원대학교 수의학부(대학) 수의학과, <sup>3</sup>한양대학교 의과대학 해부·세포생물학교실

**간추림** : 본 연구는 매장 후 풍화작용으로 머리털에서 나타나는 형태적 변화를 시간경과에 따라 관찰하고 법의학 적 기초자료로 제공하기 위하여 실시하였다.

사용된 머리털은 정상대조군으로 정상인의 머리털과 실험군인 매장 머리털로 구분하고, 매장 후 시간경과에 따라 30년까지는 5년 단위로, 30년 이후는 10년 단위로 분류하여 관찰하였다. 실험군은 사망 나이 및 시간경과가 명확히 밝혀진 봉분에서 이·개장시 유가족의 동의를 받아 현장에서 수집한 머리털을 비교·분석하였다.

매장 후 풍화된 머리털에서는 털겉질의 연속적 탈락, 털속질의 공동화현상 등이 시간경과에 따라 심화되었으며, 시간경과에 따라 나타나는 머리털의 형태적 변화양상은 유사하였다.

본 연구의 결과는 유용하게 사용될 법의학 자료로 생각된다.

**찾아보기 낱말** : 풍화, 사람 머리털, 매장, 형태적 변화양상, 법의학 자료

### 서 론

머리털은 수많은 화학적 및 생물학적 성분을 오랫동안 축적, 저장할 수 있기 때문에 병리학적, 법의학 적 및 문화인류학적으로 매우 중요한 연구재료로 알려져 있다(Lin 등 1995, Linch와 Prahlow 2001, Shin 등 2003). 특히 매장 후에도 풍화에 대한 저항성이 높아 토양 내에 오래 잔류하여 쉽게 채취할 수 있고 실온에서도 보존이 쉽고 소량으로 다양한 분석이 가능하기 때문에 유용한 법의학 적 자료로 사용되어져 왔다(Daniel과 Piraccini 2004, Amory 등 2006). 머리털이 풍화에 대해 저항성이 있기는 하지만, 시간경과에 따라 주변의 매장환경에 의해 머리털에서 형태학적 변성이 나타나기 때문에 매장 후 머리털의 연속적 변성에 대한 연구는 매장 경과 시기 등을 판별할 수 있는 중요한 법의학 적 자료로

사용되고 있다(Chang 등 2006).

풍화(weathering)란 털줄기가 지속적으로 노출된 환경에 의해 점차적으로 손상되는 현상을 의미하며(Rook 1976), 물리·화학적 요인에 의해 털줄기의 외부를 둘러싸고 있는 털겉질이 손상되면서 털겉질이 노출되는 일련의 과정이다(Whiting 1987). 풍화에 의해 머리털의 가장자리부터 조금씩 깎여나가는 국소적 털겉질 손상은 틈새를 만들어 결과적으로 손상된 부분이 부러지게 되며, 장력감소와 광택소실도 관찰된다고 보고되었다(Tobin 등 1997, Nogueira와 Joeques 2004, Chang 등 2005). Ratnaphndian 등(1998)은 풍화된 머리털에서 변색 및 탈색, 약하고 부서지기 쉬운 머리끝, 거친 느낌, 인장력 감소 등이 관찰되며, 이것은 시스틴(cystine) 단백질의 화학적 손상에 기인한다고 하였다.

매장된 머리털에 대한 연구는 대부분 미라를 통한 연구이다. 미라 머리털을 대상으로 한 연구는 풍화현상에 대한 머리털의 형태변화 보다는 사망당시

문화적, 환경적 배경을 유추하기 위한 연구가 주류를 이루고 있으며, 매장 머리털의 시간경과별 형태학적 변화와 인장력 감소 등의 세부적 연구는 미라 머리털이라는 연구재료의 제한성과 추정기간의 불확실성 때문에 다소 미비하였다 (Du 등 1996, Báez 등 2000, Kempson 등 2003, Cotte 등 2005).

최근 매장 후 머리털의 풍화현상에 대한 연구가 Hong 등 (2000), Chang 등 (2006)에 의해 시도되고 있으나, 여러 지역의 미라 머리털을 연구재료로 사용했기 때문에 Wilson 등 (2001)이 언급한 매장 환경 및 조건에 의해 매장 후 시간경과에 따른 머리털 부패 정도의 차이가 발생할 수 있어 연속된 머리털 풍화과정에 대한 지표로 삼기에는 부족한 점이 있다. 이 밖에도 매장 후 시간경과별 머리털 변성에 대한 연구를 Bradford 대학 등에서 실행하고는 있으나, 인체와 조직이 비슷한 돼지를 대상으로 하는 것이기에 매장 후 인체에서 발생하는 본질적인 머리털의 풍화라 볼 수 없다 (Wilson 등 2001). 매장 후 시간경과에 따른 머리털의 연속적인 풍화 연구를 위해서는 다양한 매장 환경 및 토양에서 머리털의 변화양상을 비교하는 연구가 선행되어야 할 것이다.

이 연구는 매장 후 시간경과에 따라 풍화작용으로 나타나는 머리털의 형태학적 변화를 관찰하여 법의학적 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 머리털 수집

2005년부터 2008년까지 국내 전역에 산재되어 있는 무덤에서 머리털을 수집하였다. 일반적 한국형 봉분내 매장된 목관에 안치되었던 시신을 대상으로, 사망일자, 사망시 연령 및 매장 후 경과시간 등이 명확한 머리털만을 수집하였으며 (Table 1), 반드시 유가족에게 머리털 채취 승낙을 얻은 후 수집하였다. 무연고로 정보가 명확하지 않은 머리털은 제외하였다.

시신은 대부분 오동나무 재질의 관에 넣어져 지

**Table 1.** An analysis of sex/age of death (unit: number)

Sex of sample	Male	Female	Total
Total	21	24	45

(unit: year, number)

Age at death point in time	30	40	50	60	70	80	90	100	Total
Sample	3	3	6	13	7	7	4	2	45

하 1~2미터 아래에 위치해 있어, 머리털의 자연적인 풍화현상은 오직 무덤 주변의 환경에 의해서만 일어난 것임을 확인하였다. 육안으로 두개골에 붙어 있는 머리털을 확인하여 채취 백에 넣어 수집하였으며, 육안으로 구별이 불가능할 시에는 두개골 주위의 흙을 채집 후 채로 걸러 분석하였다. 총 70구에서 수집한 머리털 중 형태가 육안적으로 구별이 가능한 총 45구의 머리털을 선정하여 조사하였다.

수집된 매장 머리털의 사망시 연령이 60~80대에 분포되어 있었으므로 70세의 정상 머리털을 정상대조군으로 사용하였다. 수집된 머리털의 성비는 남성 (21구)이 47%, 여성 (24구)이 53%이었다 (Table 1).

채취된 머리털은 노출환경에서 일어날 수 있는 머리털의 부패를 방지하기 위하여 Wilson 등 (2001)의 방법을 이용하여 수집 즉시 냉동 보관하였다.

### 2. 머리털의 분류

연구에 사용된 머리털은 정상대조군으로 정상인의 머리털과 실험군으로 국내 전역의 공동묘지 또는 매장지에서 수집한 매장 머리털을 대상으로 하였다. 매장 후 경과시간에 따른 머리털의 풍화양상을 관찰하기 위하여 매장 후 30년까지는 5년 단위로, 30년 이후는 10년 단위로 분류하여 관찰하였다 (Table 2).

### 3. 주사전자현미경적 관찰

발굴현장에서 바로 채취한 머리털의 표면에 붙어 있는 물질과 머리털 표면구조를 각각 관찰하기 위해서 채취 후 전처리 과정을 거치지 않은 시신 머

**Table 2.** Classification of hair groups according to duration of burial (unit: year, number)

Duration of burial	5 ~ 10	11 ~ 15	16 ~ 20	21 ~ 25	26 ~ 30	31 ~ 40	41 ~ 50	Over 50	Total
Sample	9	5	5	8	6	6	2	4	45
Percentage (%)	20	11	11	18	13	13	5	9	100

리털과 생체의 정상 머리털을 실험재료로 사용하였다. 각각의 시료를 2.5% glutaraldehyde-4% paraformaldehyde (4°C, PBS, pH 7.4)로 2시간 전고정하고, 인산완충용액 (4°C, 0.1 M PBS, pH 7.4)으로 15분씩 3회 세척한 다음, 1% osmic acid (4°C, PBS)로 1시간 고정하였다. 고정이 끝난 시료는 동일 인산완충용액으로 15분씩 3회 세척한 다음, 에탄올 농도상승 순으로 탈수하여 isoamyl acetate로 치환하였다. 처리된 시료는 임계점건조기 (critical point dryer, SCP-II Hitachi, Japan)에서 건조시킨 후, 이온침착기 (ion coater, E-1030, Hitachi, Japan)를 사용하여 20 nm두께로 금도금 (gold coating)한 다음 주사전자현미경 (S-4700, Hitachi, Japan)으로 10 kV에서 관찰하였다.

## 결 과

### 주사전자현미경을 통한 머리털의 형태학적 관찰

#### 1) 정상대조군

정상 털줄기의 표면은 전체적으로 둥글고 매끄러운 외형을 보였으며, 각질화된 털겉질이 규칙적인 물고기 비늘모양으로 중첩되어 있었다. 털겉질층은 손상받지 않은 상태로 관찰되었다 (Fig. 1).

#### 2) 실험군

##### (1) 매장 후 5~10년 군

털줄기 표면은 전반적으로 약간 거친 외형을 보였으며, 다수의 결정체들이 소금을 뿌린 듯 산재되어 있었다. 털겉질의 중첩양상에는 큰 변화가 없었으나, 노출된 털겉질의 끝이 파괴되기 시작하여 예리한 각을 가진 털겉질 박편을 관찰할 수 있었다. 털줄기에서 이랑과 고랑의 간격은 40~100 µm로

불규칙하였다 (Fig. 2).

##### (2) 매장 후 11~15년 군

털줄기 표면의 형태는 매장 후 5~10년 군과 유사한 양상을 보였으며, 털겉질의 중첩양상에는 변화가 없었다. 밖으로 드러난 털겉질 끝부분이 완만한 각을 형성하고 있는 것을 관찰할 수 있었다. 이랑과 고랑의 간격은 30~60 µm로 일정하였다 (Fig. 3).

##### (3) 매장 후 16~20년 군

털겉질에서 중첩현상이 감소되었고 노출된 털겉질의 끝이 대부분 파괴되어 매우 완만한 각을 형성하고 있었다 (Fig. 4).

##### (4) 매장 후 21~25년 군

털줄기 표면은 전체적으로 매우 거칠게 보였으며, 다수의 결정체들이 표면을 덮고 있었고, 털겉질의 중첩현상은 관찰할 수 없었다. 털겉질 사이로 틈새 (fissure)가 관찰되기 시작하였다 (Fig. 5).

##### (5) 매장 후 26~30년 군

털겉질에서 털속질까지 뚫려있는 구멍이 관찰되었고, 털겉질이 들떠있는 현상과 털줄기의 먼쪽에서 미소원섬유 (microfibril)가 칫솔 형태로 갈라져 길게 주행하고 있는 것을 관찰할 수 있었다 (Fig. 6).

##### (6) 매장 후 31~40년 군

털줄기 표면에서 털겉질이 대부분 탈락되어 육안적으로 털속질 내부까지 관찰할 수 있었다. 미소원섬유의 다발인, 거대원섬유 (macrofibril) 사이로 세로로 갈라져 있거나 파괴되어 있는 미세원섬유를 관찰할 수 있었다 (Fig. 7).

##### (7) 매장 후 41~50년 군

대부분의 털줄기 표면에서 구멍을 통해 털속질 내부까지 관찰할 수 있었다 (Fig. 8).

(8) 매장 후 50년 이상군

털줄기 표면에서 털겉질이 관찰되지 않았으며, 털겉질 내부와 털속질은 완전히 사라지고 최외각의 털겉질만 존재하는 속이 빈 썩은 통나무와 같은 모습이 관찰되었다(Fig. 9).

## 고 찰

머리털의 털줄기는 털겉질, 털겉질, 털속질의 3층으로 구성되며, 털겉질은 A층, 바깥겉질 및 속겉질의 주요 층과 세포막복합체로 이루어져 있다(Bhusan 등 2005). A층은 시스틴이 강하게 결합된 화학적 저항이 높은 층으로 외부 물질의 침투를 방어하는 역할을 수행한다. 바깥겉질은 털겉질의 약 2/3를 차지하며 시스틴 결합을 절단하는 약물의 작용을 받기 쉬운 곳이다(Casperson 1994). 속겉질은 낮은 시스틴 함량을 가지고 있으며, 화학물질이 침투하여 손상이 발생하기 쉬운 조직으로 알려져 있다(Stout 등 2007).

털줄기를 가로 절단한 주사전자현미경 관찰에서 정상 털줄기는 투명하고 얇은 털겉질이 마치 물고기 비늘처럼 서로 중첩되어 머리털 고유의 결을 형성하고 있었다. 중첩된 부분을 제외하고 밖으로 드러난 털겉질의 길이는 5~10  $\mu\text{m}$ 로 Kreplak 등(2001), Wei 등(2005)의 연구와 동일한 결과를 나타내었다.

머리털의 풍화과정에 대한 대부분의 연구는 광학현미경 및 주사전자현미경을 통한 형태학적 변화를 관찰한 것이다. Dawber와 Comaish(1970)는 머리털의 경우 단단하고 건조한 구조로 이루어져 있기 때문에 주사전자현미경적 연구방법이 매우 적합하다고 하였다. Venning 등(1986)과 Giehl 등(2004)은 개인에 따라 머리털 변이의 다양성이 나타난다고 하였으며, 머리털의 형태에 따른 이상과 각각의 특징적 형태를 주사전자현미경을 통해 분류하였다. 주사전자현미경으로 관찰된 머리털 풍화의 특징으로 털줄기의 외부를 둘러싸고 있는 털겉질 세포의 가장자리부터 조금씩 깎여나가고, 털줄기의 먼 쪽부터 발생하는 국소적 손실은 틈새(fissuring)를 형성하여

결국에는 손상된 부분이 부러지게 된다고 보고하고 있다(Whiting 1987, Scanavez 등 2003).

이번 연구에 관찰된 머리털에서도 매장 후 시간 경과에 따라 특징적인 풍화현상이 나타났다. 매장 후 풍화과정에 따른 털줄기의 손상과정은 Whiting(1987)이 언급한 대로 매장 후 5년 이후부터 털겉질 세포의 가장자리가 점차적으로 깎여나가 둥그렇게 되며, 21년 이후부터 털줄기 표면에 국소적인 틈새를 확인할 수 있었고, 육안적으로 털겉질의 거대원섬유(macrofibril)까지 털줄기 표면에서 관찰할 수 있었다.

한편, 생체 머리털의 물리·화학적 작용에 의한 풍화과정에 대해서는 많은 연구가 이루어져 있으나, 매장 후 발생하는 풍화과정에 따른 머리털의 손상에 대한 연구는 실험대상의 한계성, 제한성에 의해 연구가 미미하였다. 매장 후 풍화손상에 대한 연구는 미라 머리털이 주요 대상으로, 머리털의 형태변화에 관한 연구보다는 미라 머리털을 통한 성 감별, 미생물총 연구, 대사물에 관한 연구 등 사망당시 문화적, 환경적 배경을 유추하기 위한 연구가 대부분이다(Hess 등 1998, Linch와 Prahlow 2001, Sharp 등 2003).

최근 미라에 관한 몇몇 연구에서 자연 풍화과정에 따른 머리털의 부패원인, 머리털 채취시 주의점, 토양 내 무기질이 머리털에 미치는 영향 등 자연 매장 상태에서 머리털의 손상기전에 대한 연구가 시도되었다(Du 등 1996). Wilson 등(2001)은 토양 환경이 머리털의 부패에 미치는 영향에 대해 처음으로 체계적 연구를 시도하여, 습도가 머리털 변성에 중요한 역할을 하기 때문에 채취한 머리털을 이상적 방법으로 건조시키거나 채취 즉시 냉동시켜야 한다고 주장하였다. Kempson 등(2003)은 미라 머리털 관찰시, 외부의 오염물이 머리털에 영향을 미친다고 가정하고 비효과적인 세척과정이 인위적인 상승작용 결과를 나타낼 수도 있지만 과도한 세척은 머리털에서 얻고자 하는 생물질이 제거 될 수도 있다고 보고하였다.

매장 후 머리털의 부패는 자가용해 혹은 세균의 역할에 의한 변화라는 것이 중론이며, 주로 시신 털

즐기에서 곰팡이 혹은 벌레에 의한 변화로 보고 있다(Wilson 등 2001). 일부 연구에서는 피부사상균(dermatophytes)에 의한 케라틴용해효과(keratinolytic effect)에 의해 발생한다고 보고하였다(Linch와 Prahlow 2001). 다양한 매장 환경 및 토양에 따라 머리털의 변화양상이 다르게 나타나기 때문에 매장에 따른 부패진행의 세부적 연구를 위해서 동일 토양 내에서 시간경과에 따른 머리털의 변화양상 연구가 요구되고 있다. 이번 연구에서 머리털의 풍화 정도는 매장 후 시간경과별로 유사한 형태를 나타내었다. 이와 같은 결과는 실험 재료가 일반적으로 깊이 1~2m의 토양에서 채취한 머리털을 대상으로 하였고, 채취 장소가 유사한 기후조건과 토양환경을 가지고 있기 때문으로 유추해 볼 수 있었으나, 보다 구체적인 토양 환경과 머리털의 상관관계를 규명하기 위해서는 심도있는 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

시간경과에 따른 머리털의 풍화 정도는 구조물별로 차이가 있음을 관찰할 수 있었다. 털껍질의 손상은 매장 후 5년 이후부터 부분적으로 발생되며 탈락현상은 16년 이후부터 발생하여 41년 이후에는 털껍질이 거의 탈락함을 관찰할 수 있었다. 매장 후 머리털의 풍화현상은 Chang 등(2005)의 연구와 비교적 유사하였으나, 털속질의 공동화현상이 심해져 나중에 속이 빈 통나무 같은 형태는 매장 후 25년이 아닌 매장 후 50년 이상에서 발견할 수 있었다. 속이 빈 통나무 형태가 나타나는 것은 Wilson 등(2001)의 연구 결과처럼 비교적 생분해가 쉬운 털속질부터 파괴되기 때문이며, 머리털의 구성 성분 중 친수성을 갖고 있는 아미노산이 털겉질 내부에 집중되어 있어서 수분 흡수로 인해 단백질의 화학적 부패현상이 발생하면서 털겉질 내부부터 공동화현상이 먼저 진행되기 때문에 결과적으로 최외각의 털겉질만 남게 되어 발생하는 현상이라 볼 수 있었다.

결론적으로 매장된 머리털은 시간이 경과됨에 따라 구조적 및 형태학적으로 특징적인 풍화과정이 발생되므로 머리털의 손상 정도에 따라 매장 후 경과 시기를 진단할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연

구의 결과는 머리털을 통한 매장 후 경과시간을 추정할 수 있는 법의학적 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

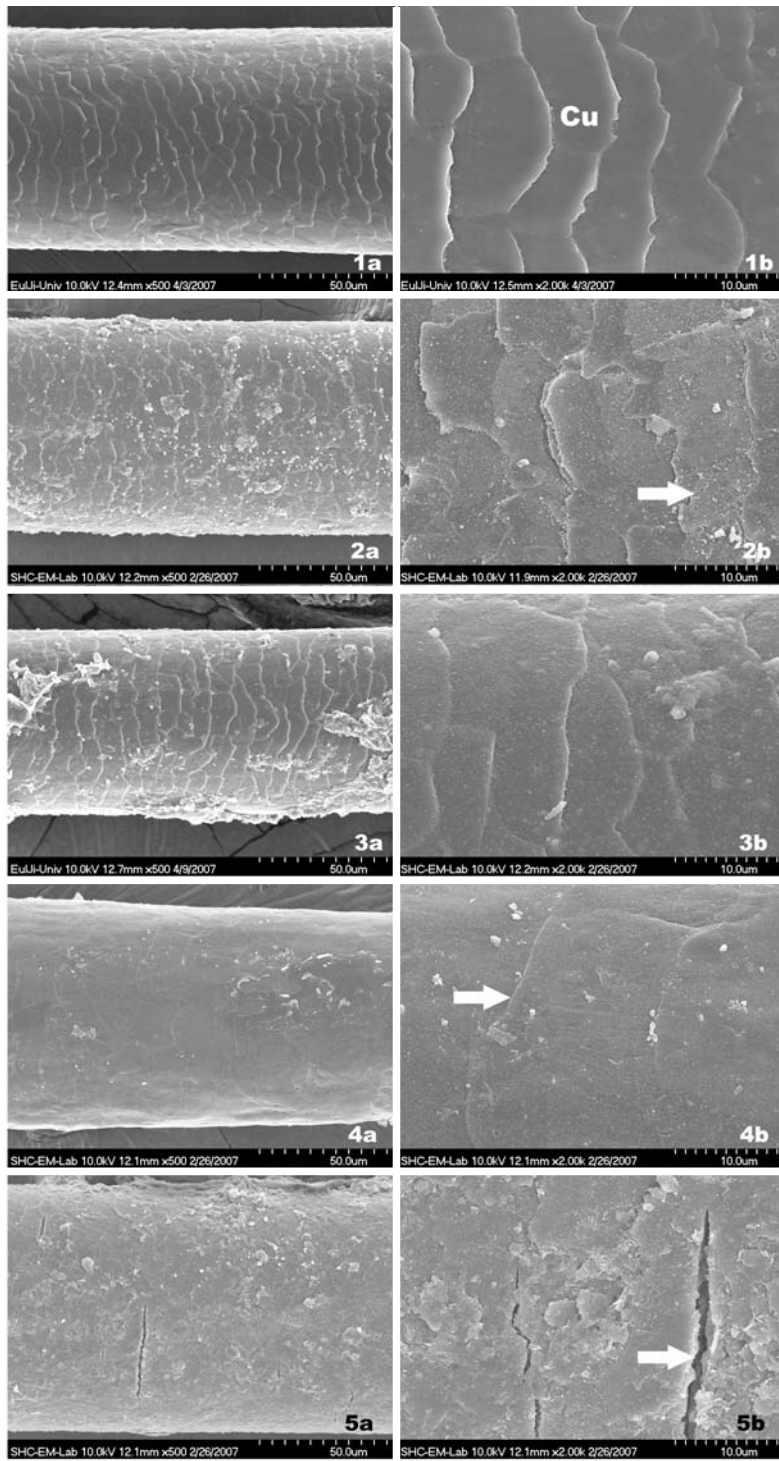
## 참고 문헌

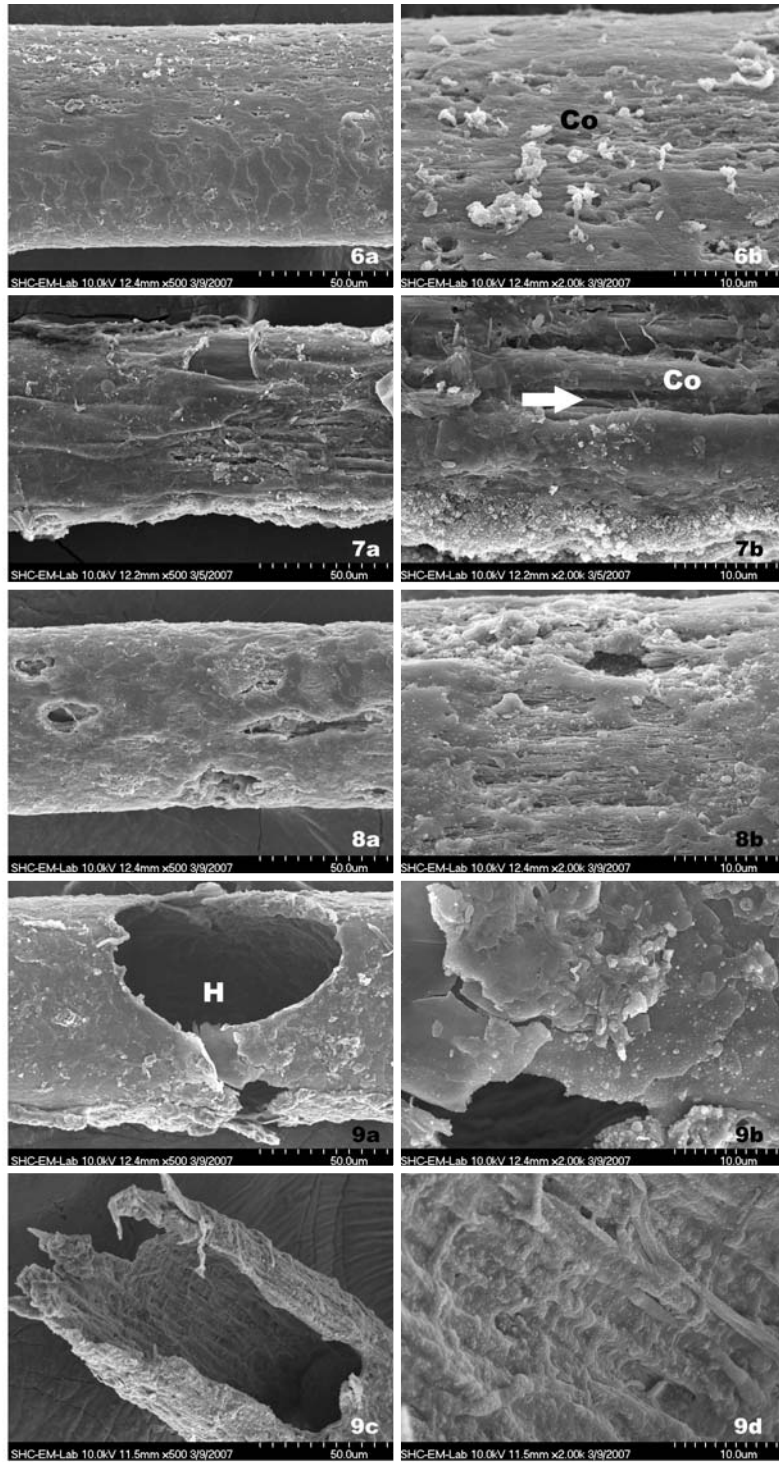
- Amory S, Keyser-Tracqui C, Crubézy E, Ludes B : Multi-substrate analysis on siberian mummies: a different way for validation in ancient DNA studies? *Int Congr Ser* 1288: 834-836, 2006.
- Báez H, Castro MM, Benavente MA, Kintz P, Cirimele V, Camargo C, Thomas C : Drugs in prehistory: Chemical analysis of ancient human hair. *Forensic Sci Int* 108: 179-179, 2000.
- Bhushan B, Wei G, Haddad P : Friction and wear studies of human hair and skin. *Wear* 259: 1012-1021, 2005.
- Casperson S : Men's hair Coloring. A review of current Technology. *Cosm & Toiletry* 109: 83-87, 1994.
- Chang BS, Hong WS, Lee E, Yeo SM, Bang IS, Chung YH, Lim DS, Mun GH, Kin J, Park SO, Shin DH : Ultramicroscopic observation on morphological changes in hair during 25 years of weathering. *Forensic Sci Int* 5: 1-8, 2005.
- Chang BS, Uhm CS, Park CH, Kim HK, Lee GY, Cho HH, Chung YH, Shin DHI : Ultramicroscopic study on the hair of newly found 15<sup>th</sup> century mummy in Daejeon, Korea. *Ann Anat* 188: 439-445, 2006.
- Cotte M, Walter P, Tsoucaris G, Dumas P : Studying skin of an Egyptian mummy by infrared microscopy. *Vib Spectrosc* 38: 159-167, 2005.
- Daniel CR, Piraccini BM : The nail and hair in forensic science. *J Am Acad Dermatol* 50: 258-261, 2004.
- Dawber R, Comaish S : Scanning electron microscopy of normal and abnormal hair shafts. *Arch Derm* 101: 315-322, 1970.
- Du AY, Mangelson NF, Rees LB, Matheny RT : PIXE elemental analysis of South American mummy hair. *Nucl Instr Meth Phys Res B* 109/110: 673-676, 1996.
- Giehl KA, Ferguson DJP, Dawber RPR, Pittelkow MR, Foeles J, Berkert DAR : Update on detection, morphology and fragility in pili annulati in three kindreds. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 18: 654-658, 2004.
- Hess MW, Klima G, Pfaller K, Künzel KH, Gaber O : Histological investigations on the Tyrolean ice man. *Am J Phys*

- Anthropol 106: 521-532, 1998.
- 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. (in Korean)
- Kempson IM, Skinner WM, Kirkbride PK, Nelson AJ, Martin RR : Time-of-Flight secondary ion mass spectrometry analysis of hair from archaeological remains. Eur J Mass Spectrom 9: 589-597, 2003.
- Kreplak L, Merigoux C, Briki F, Flot D : Investigation of human hair cuticle structure by microdiffraction: Direct observation of cell membrane complex swelling. J Doucet Biochimica et Biophysica Acta 1547: 268-274, 2001.
- Lin Z, Kondo T, Minamino T, Ohtsuji M, Nishigami J, Takayasu T, Sun R, Ohshima T : Sex determination by polymerase chain reaction on mummies discovered at Taklamakan desert in 1912. Forensic Sci Int 75: 197-205, 1995.
- Linch CA, Prahlow JA : Postmortem microscopic changes observed at the human head hair proximal end. J Forensic Sci 46: 15-20, 2001.
- Nogueira ACS, Joekes I : Hair color changes and protein damage caused by ultraviolet radiation. J Photochem Photobiol B 74: 109-117, 2004.
- Ratnaphndian S, Warner SB, Kamath YK : Photodegradation of human hair. J Cosmet Science 49: 309-320, 1998.
- Rook A : The clinical importance of "weathering" in human hair. British J Dermatol 95: 111-117, 1976.
- Scanavez C, Silveria M, Joekes I : Human hair: Color changes caused by daily care damage on ultra-structure. Coloids Surf B: Biointerfaces 28: 39-52, 2003.
- Sharp ZD, Atudorei V, Panarello HO, Fernández J, Douthitt C : Hydrogen isotope systematics of hair: Archeological and forensic applications. J Archaeol Sci 30: 1709-1716, 2003.
- Shin DH, Choi YH, Shin KJ, Han GR, Youn MY, Kim CY, Han SH, Seo JC, Park SS, Cho YJ, Chang BS : Radiological analysis on a mummy from a medieval tomb in Korea. Ann Anat 135: 377-382, 2003.
- Stout PR, Roper-Miller JD, Baylor MR, Mitchell JM : Morphological changes in human head hair subjected to various drug testing decontamination strategies. Forensic Sci Int 172: 164-170, 2007.
- Tobin DJ, Hann SK, Song MS, Bystryk JC : Hair follicle structure targeted by antibodies in patients with alopecia areata. Arch Dermatol 133: 57-61, 1997.
- Venning VA, Dawber RPR, Ferguson DJP, Kanan MW : Weathering of hair in trichothiodystrophy. British J Dermatology 114: 591-595, 1986.
- Wei G, Bhushan B, Torgerson PM : Nanomechanical characterization of human hair using nanoindentation and SEM. Ultramicroscopy 105: 248-266, 2005.
- Whiting DA : Structural abnormalities of the hair shaft. J Am Acad Dermatol 16: 1-23, 1987.
- Wilson AS, Dixon RA, Dodson HI, Janaway RC, Pollard AM, Stern B, Tobin DJ : Yesterday's hair-human hair in archaeology. Biologist (London) 48: 213-217, 2001.

### Legends for Figures

- Fig. 1.** Scanning electron micrograph (SEM) of a normal hair shaft (Control group). The shaft shows smooth surface and the scales are well arranged like roof tiles (Cu: Cuticle).
- Fig. 2.** SEM of weathered hair shaft, 5 to 10 years after burial. A Part of surface of cuticle shows rough. Crystals were spreaded over the cuticles (White arrowhead: weathering of the cuticle).
- Fig. 3.** SEM of weathered hair shaft, 11 to 15 years after burial. The margins of cuticle are slightly smoothed and flattened.
- Fig. 4.** SEM of weathered hair shaft, 16 to 20 years after burial. The margins of cuticle are more flattened and smoothed. The lengths between the ridge and furrow of cuticle are 20~40  $\mu\text{m}$  (White arrowhead: Flatten and smoothed the cuticle).
- Fig. 5.** SEM of weathered hair shaft, 21 to 25 years after burial. Most of cuticle layers are hardly discernible. Fissures in the cuticle were evident and the free margins of the cell were lifted and extensively abraded (White arrowhead: fissure).
- Fig. 6.** SEM of weathered hair shaft, 26 to 30 years after burial. Longitudinal splitting and irregular coarse pits are seen. The free margins of the cell were severely lifted and broken sharply (Co: Cortex).
- Fig. 7.** SEM of weathered hair shaft, 31 to 40 years after burial. Most of cuticular layer are decayed. The medulla is easy seen through pits of cortex (White arrowhead: Microfibril, Co: Cortex).
- Fig. 8.** SEM of weathered hair shaft, 41 to 50 years after burial. The large areas of the cortex of the cuticle layer which has severe damage are seen.
- Fig. 9.** SEM of weathered hair shaft, Over 50 years after burial. Only the outer cortex remained, whereas the other structure of the inner cortex and medulla were disappeared (H: Holes).





**Abstract**

## **SEM Observation on the Weathering Human Hair after Burial**

Kyu-Sung Hwang, Do-Seon Lim<sup>1</sup>, Dong-Choon Ahn<sup>2</sup>,  
Sang-Wan Lee<sup>3</sup>, Doo-Jin Paik<sup>3</sup>

*Department of Funeral Science, College of Health Industry*

<sup>1</sup>*Department of Dental Hygiene, College of Health Science, Eulji University*

<sup>2</sup>*Department of Veterinary Medicine, School of Veterinary Medicine, Kwangwon National University*

<sup>3</sup>*Department of Anatomy and Cell Biology, College of Medicine, Hanyang University*

---

This study was undertaken to investigate the morphological changes of hair according to weathering after burial and to offer basic data for forensic science.

To examine the effect of weathering degree, the 45 hairs buried for 5~50 years were taken from deceased individuals in tombs in Korea. The morphological changes in weathering hair shafts of the scalp were investigated using the scanning electron microscopes.

There were little morphological differences of weathering depending on the regions of burial. The weathering changes includes exclusion of cuticle, separation of hair cortex and hollow formation in the medulla according to the burial period.

These results could provide basic data to the field of forensic medicine.

---

**Key words :** Weathering, Hair shaft, Burial, Morphological changes, Forensic medicine