

모발 손상 후 모발 단백질의  
정량적 분석

연세대학교 대학원  
의 학 과  
전 수 영

모발 손상 후 모발 단백질의  
정량적 분석

지도 이 원 수 교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2005년 1월 일

연세대학교 대학원

의 학 과

전 수 영

전수영의 석사 학위논문을 인준함

심사위원\_\_\_\_\_ (인)

심사위원\_\_\_\_\_ (인)

심사위원\_\_\_\_\_ (인)

연세대학교 대학원

2005년 1월 일

## 감사의 글

이 논문을 완성할 수 있도록 도움을 주신 모든 분들께 깊이 감사 드립니다. 연구를 시작하는 순간부터 논문을 마칠 때까지 모든 방면에 끊임없는 격려와 세심한 배려로 지도해 주신 이원수 지도 교수님께 깊은 감사를 드리며, 연구와 강의로 바쁘신 가운데도 좋은 논문이 될 수 있도록 관심과 조언으로 충고와 격려를 주셨던 박주영 교수님과 최종환 교수님께도 감사를 드립니다.

항상 따뜻한 배려와 관심과 많은 가르침을 주시는 안성구 교수님, 최응호 교수님께 깊이 감사드리며 논문이 완성되기까지 많은 실험과정을 함께 하며 도와주신 이은영 연구원과 피부과 의국원들께 감사 드립니다.

그리고 저를 항상 사랑해 주시고 믿고 응원해 주시는 부모님, 할아버지, 할머니를 비롯한 가족과 함께 이 기쁨을 나누고 싶습니다.

저 자 씬

# 차 례

그림차례 .....	iii
표차례 .....	iv
국문요약 .....	v
I. 서론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	6
1. 재료 .....	6
가. 연구대상 .....	6
나. 연구재료 .....	7
2. 방법 .....	7
가. 전체 모발 단백질(whole hair protein) 추출 및 농축.....	7
나. 부분 모발 단백질(partial hair protein) 추출 및 농축.....	7
다. 전체 및 부분 모발 단백질 정량 .....	8
라. 전체 및 부분 모발 단백질 전기영동 및 western blot 분석 .....	8
마. 결과판정 .....	8
(1) 전체 모발 단백질 western blot 시행.....	8
(2) 부분 모발 단백질 western blot 시행.....	8
III. 결과 .....	9
1. 전체 모발 단백질 western blot 시행 결과 분석.....	9

2. 부분 모발 단백질 western blot 시행 결과 분석..... 9

IV. 고찰 .....

11

V. 결론 .....

22

참고문헌 ..... 24

부록 ..... 29

영문요약 ..... 35

## 그림 차례

<b>Fig. 1.</b> Western blot analysis of whole protein from subject A	··· 30
<b>Fig. 2.</b> Western blot analysis of partial protein from subject A	··· 30
<b>Fig. 3.</b> Western blot analysis of partial protein from subject B	··· 31
<b>Fig. 4.</b> Western blot analysis of partial protein from subject C	··· 31
<b>Fig. 5.</b> Western blot analysis of partial protein from subject D	··· 32
<b>Fig. 6.</b> Western blot analysis of partial protein from subject E	··· 32
<b>Fig. 7.</b> Western blot analysis of partial protein from subject F	··· 33
<b>Fig. 8.</b> Western blot analysis of partial protein from subject G	··· 33

## 표 차 례

<b>Table 1.</b> Subject information .....	34
<b>Table 2.</b> Summary of western blot analysis of partial proteins from the subjects .....	35



## 국 문 요 약

### 모발 손상 후 모발 단백질의 정량적 분석

모발에 대한 관심이 증가하면서 다양한 모발 관리 방법이나 모발 용품의 사용은 매우 보편화되어 외인성 모발손상을 초래하는 대표적인 모발 관리 방법인 퍼머넌트 웨이브나 염색은 남녀노소를 막론하고 현대인이라면 누구나 흔히 접할 수 있는 것이지만, 이로 인한 모발 손상의 의미 및 회복과 관련된 의학적 연구는 아직까지 형태학적 분석을 기반으로 하고 있어 미약한 실정이다. 모발의 손상 정도를 분자생물학적으로 측정할 수 있으면 형태학적인 변화에 비해 보다 객관적이고 계량화가 가능한 결과를 도출할 수 있을 것이고 따라서 그 결과를 모발 손상 정도 및 회복 여부를 가늠할 수 있는 지표로 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

이 연구는 피실험자를 대상으로 퍼머넌트 웨이브와 염색으로 모발에 손상을 가한 후 일련의 일정한 시간 간격으로 모발 표본을 채취하여 western blot 분석을 시행하고 이를 통해 케라틴으로 구성된 모발 단백질의 손상 및 회복 양상을 분자생물학적으로 살펴보고 그 의미를 규명하고자 하였다.

연구 시행 시작 전 6 개월 동안 모발에 손상을 줄 수 있는 다른 인자가 없었던 자원자 7 명을 대상으로 3 그룹으로 구분하여 각각 퍼머넌트 웨이브, 염색, 그리고 퍼머넌트 웨이브 시행 1 시간 후 염색을

시행하였다. 이때 단백질 성분의 분석에 있어 모발 섬유질의 원위부는 평소 관리 과정 중 모발 손상이 주로 일어나는 부위로 분석에 혼동을 초래할 수 있어 제외하고, 안드로겐 호르몬의 영향을 받지 않는 정상 성인의 후두부 두피에서 근위부 모발 3-5 cm를 선택하여 표본을 채취하였다. 이를 대상으로 전체 모발 단백질 추출 및 농축, 부분 모발 단백질 추출 및 농축 후 정량하고 전기영동 후 western blot 분석을 시행하여 단백질 양상의 변화를 관찰하고 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전체 모발 단백질의 western blot 분석 상에서는 퍼머넌트 웨이브만을 시행한 피실험자 1 명을 제외한 나머지에서 band 의 변화 양상이 관찰되지 않았으며, 이는 전체 모발 단백질에 포함되어 있는 부분 단백질의 양이 미약하기 때문으로 생각된다.
2. 부분 모발 단백질의 western blot 분석 상에서는 실험 시행 직후 채취한 모발 표본 분석에서, 실험 기간 중 band 에서 양성 소견을 보였던 5 명의 피실험자 모두 양성 소견을 보였다. 또한 4 명의 피실험자에서는 실험 중간 과정에서 지속적으로 관찰되지 않던 양성 소견이 실험 후반부인 12 주와 14 주째에 나타나는 소견이 보였다. 이는 분자생물학적 측면에서 모발 손상이 14 주까지 계속 나타날 가능성을 제시한다고 생각된다.

이상의 결과로 모발 손상 후 모발 단백질의 변화를 확인하였으며 이러한 변화는 형태학적 변화에서 관찰된 소견보다 더 오랜 기간 실제로 손상이 지속될 가능성을 확인한 것으로 생각된다.

---

핵심 되는 말 : 모발 손상, 모발 단백질, western blot 분석

# 모발 손상 후 모발 단백질에 대한 정량적 분석

<지도 이 원 수 교수>

연세대학교 대학원 의학과

전 수 영

## I. 서론

인간의 모발은 생명과 직접적으로 연관되어 있는 생리적인 필수 기관은 아니지만, 두피 모발은 태양 광선에 의해 발생할 수 있는 두피의 손상을 방지하고 눈썹과 속눈썹은 햇빛과 땀으로부터 눈을 보호하는 기능이 있다. 특히 두피 모발은 성적인 매력을 제공하는 요소로서 신체상(body image) 과도 밀접한 관계가 있어 사회 생활 및 대인 관계에서 중요한 의미를 가진다. 이러한 모발의 사회심리학적 의미는 산업 사회에 접어들어 생활이 풍요로워짐에 따라 많은 사람들의 관심의 대상이 되어 왔다. 이에 따라 모발 관리 및 모발 건강과 관련된 산업 분야는 지속적으로 발전하고 있으며, 관련 분야에 대한 학술적인 연구의 필요성이 점점 더 대두되고 있다.

이렇게 모발에 대한 관심이 증가하면서 다양한 모발 관리 방법이나 모발 용품의 사용은 현대인에게 있어 생활의 중요한 부분으로 자리잡고 있다.

특히 미용을 위한 일상적인 열처리 과정에서 드라이어기 등을 사용하거나 퍼머넌트 웨이브나 염색 및 탈색과 같은 화학 약물을 모발에 처리하는 것은 남녀노소를 막론하고 매우 상용화된 상태이다. 이와 같은 것들은 모두 모발에 외인성 손상을 주는 것으로서 현대인에게는 이미 일상적인 일이 되고 있으나 손상의 의미 및 회복과 관련된 의학적 연구는 아직 미약한 실정이다.

외적인 모발 손상은 매우 다양하며 크게 물리적 원인과 화학적 원인 두 가지로 구분된다. 물리적 원인은 주로 열 자극과 관련된 것으로 드라이어기 등을 통한 인공적인 모발 건조 과정과 자외선에 대한 노출 및 태양 광선에 의한 건조 등이 있고<sup>1,2</sup>, 화학적 원인으로는 퍼머넌트 웨이브에 사용되는 화학 약제나 탈색제, 모발 염색제에 의한 손상을 들 수 있다<sup>3,4</sup>.

물리적인 열 자극에 의한 모발 손상에 대한 이전 보고를 살펴보면, 일상 생활에서 모발을 건조시키기 위해 40-70℃의 건조한 바람이 나오는 드라이어기를 사용한 모발을 고배율의 전자현미경으로 관찰한 결과, 모각피(hair cuticle)의 최외각 층에 있는 비늘이 손상되어 들떠있는 소견이 관찰되었고 노출된 피질(cortex)은 갈라져서 모발의 장축 방향으로 갈라졌으며 탈락되기 직전의 멜라닌과립들이 관찰되었다. 또한 투과전자현미경 상에서 피질을 채우고 있는 각화세포는 세포내의 대섬유(macrofiber)가 분리되어 틈을 형성하고 그 사이로 피질의 내부가 공기에 노출되는 소견이 보였고 멜라닌 과립들의 크기가 정상 상태에서보다 작아져서 빈 공간을 형성하는

조건이 보였다. 이러한 변화는 모발에 가해진 열에 의해 피질의 수분이 소실되고 단백질의 화학구조에 변성이 초래되어 궁극적으로 피질의 탄력성이 소실되는 데에서 기인하는 것으로 생각된다<sup>5</sup>.

한편 화학적 원인에 의한 모발 손상의 기전을 살펴보면, 우선 퍼머넌트 웨이브에 의한 모발 손상은 시행 과정 중 사용된 화학제가 충분히 세척되지 못하여 모발 중에 알칼리 성분과 산화제가 남게 됨으로써 케라틴 단백질의 변성과 멜라닌 색소의 퇴색으로 발생하게 된다<sup>6</sup>. 염색제는 일시 염모제, 저분자량의 직접 염색제를 사용하는 반영구 염모제, 그리고 방향족 아민계와 페놀계를 주성분으로 하는 영구 염모제 등 크게 세가지로 나눌 수 있는데, 특히 영구 염모제의 사용은 단층의 모소피, 두꺼운 모피질, 그리고 가는 모수질(hair medulla)에 모두 손상을 줄 수 있다. 이 중 모피질을 물리적으로 보호하고 화학적 손상에 대한 장벽의 역할을 수행하는 것으로 알려진 모소피가 가장 손상에 취약하여 이 층의 손상은 고유의 보호 기능을 약화시키게 된다<sup>7,8</sup>.

모발과 관련된 미용 제품은 기본적으로 모발 구조에 어느 정도의 영향을 초래함으로써 그 효과를 발휘하는 것이므로 아무리 주의해서 사용하더라도 어느 정도의 손상은 발생하기 마련이다. 대부분의 경우 시간이 지나면서 모발 손상이 점차 회복되므로 크게 문제를 일으키지는 않는다. 그러나 이러한 화학제제를 너무 자주 사용하거나 적정 용량보다 과도하게 사용할 경우 모발의 내성과 재생 능력을 초과하는 변화가 발생하여 비가역적인 모발

손상이 나타나게 되며 심한 경우 임상적으로 회복이 어려운 탈모와 같은 상태가 초래될 수 있는데, 실제 임상에서는 이러한 중요성이 간과되는 경향이 많다고 할 수 있다<sup>9</sup>. 따라서 모발 손상에 관한 연구는 학문적인 중요성 외에도 모발 손상을 최소화할 수 있는 제품 개발의 중요성과 아울러 실제 임상 의사들이 화학적으로 유발된 모발 손상을 파악할 수 있도록 관심을 제고시키는 면에 있어서도 중요한 의미가 있다고 하겠다.

퍼머넌트 웨이브나 염색과 같은 과정에 의한 모발 손상은 미용적 측면 뿐 아니라 의학적 측면에서도 많은 관심을 불러 일으킬 수 있는 분야이지만 아직 이에 대한 연구는 대부분 모발 표면의 윤기나 촉감으로 측정하는 육안적 소견에 의존하고 있다<sup>9</sup>. 이러한 방법은 주관적인 평가에 의존하는 것이므로 재현성이 떨어지며 실제적인 모발 형태의 변화에 대한 자세한 기술에는 어려움이 많다. 주사 및 투과전자현미경을 이용하여 시행한 형태학적 연구에서는 이러한 화학적 모발 손상 후의 변화로 첫째, 모발 표면의 각피가 탈락되고 둘째, 각피세포 사이의 세포간층이 손상을 받으며 셋째, 각피세포 안에서는 특히 내각피(endocuticle)가 주로 손상을 받는 결과가 나타났다<sup>10</sup>. 또한 각피세포 사이의 세포간층에 존재하는 지질층에 대한 전자현미경 관련 연구에서는 모발 염색 후 지질층의 연결이 소실되고 내각피층의 공포화가 관찰되는 등 시기별로 각피의 손상이 관찰되었고, 이러한 손상은 염색 1 주일 후부터 서서히 회복되는 양상을 보였다<sup>11</sup>. 한편 퍼머넌트 웨이브 후에 모발 장벽 지질의 변화를 관찰한 연구에서는 염색제 사용 시에 비해 각피세포의 손상은 비교적 적으나 세포간 지질층의 손상이 심한

것으로 나타났다<sup>12</sup>. 이런 결과들을 살펴볼 때 모발이 형태학적으로 손상을 받으면 손상 받은 모발의 근간을 차지하는 케라틴 단백질도 당연히 단백질 성분의 화학적 변화를 겪을 것이라는 추론이 가능하다. Inoue 등<sup>13</sup>은 모발 표본을 채취한 후 체외에서 퍼머넌트 웨이브와 탈색제를 처리하여 단백질의 변화 양상을 보고한 바 있다. 이렇게 단백질을 기본으로 하는 화학적 요소의 생체 내 변화 양상을 관찰한다면 형태학적인 변화에 비해 보다 객관적이고 계량화가 가능한 결과를 얻을 수 있게 되고, 따라서 그 결과를 모발 손상 정도 및 회복 여부를 가늠할 수 있는 지표로 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

따라서 이 연구에서는 퍼머넌트 웨이브나 염색시 사용되는 화학약제에 의한 모발 손상의 형태학적 변화에서 한 단계 더 나아가 모발 구성 요소 중 단백질과 관련된 부분에서의 손상 정도 및 시간에 따른 손상의 회복 정도를 관찰하고자 하였다. 특히 이 연구의 의미는 모발을 잘라낸 후 외인성 손상을 주고 변화를 관찰하는 것이 아니라 모발이 잘려지지 않은 상태에서 손상을 준 후 생체내 변화를 관찰하고, 또한 모발 손상 후 한 시점에서의 단면적 관찰에 그치는 것이 아니라 일련의 시간대별 모발 단백질 성분의 변화를 관찰하는 데 있다. 이 결과가 모발 손상의 정도 및 복원 정도를 측정하는데 있어서 하나의 지표로서의 이용 가능성이 있는지를 알아보하고자 하였다.



## II. 재료 및 방법

### 1. 재료

#### 가. 연구대상

연구 시행 시작 전 6 개월 동안 모발 관리 제품의 과도한 사용 또는 퍼머넌트 웨이브나 염색과 같은 모발에 손상을 줄 수 있는 다른 인자가 없었던 자원자 7 명을 대상으로 실험을 시행하였다. 피실험자 7 명을 3 그룹으로 구분하였으며 첫 번째 그룹은 3 명의 피험자로 퍼머넌트 웨이빙을 시행하였고 두 번째 그룹은 2 명의 피험자로 염색을 시행하였으며 세 번째 그룹은 먼저 퍼머넌트 웨이빙을 시행하고 1 시간 경과 후 다시 염색을 시행하였다(Table 1). 총 연구 기간 동안 추가로 퍼머넌트 웨이브와 염색은 시행하지 않도록 하며, 그 외 샴푸, 스프레이 등의 모발용품은 평소 습관대로 사용하도록 하였다. 시행 전 미리 연구에 사용할 제제를 이용하여 상박에 동전 크기 정도로 도포하여 자연 건조시키고 2 일 후, 4 일 후에 반응을 관찰하고 4 일 후에 도포 부위에 반응이 없으면 접촉 피부염 음성 반응으로 판독한 후 퍼머넌트 웨이브와 염색을 시행하였다. 이때 단백질 성분의 분석에 있어 모발 섬유질의 원위부는 모발 관리 제품이나 빗의 사용 등과 관련된 모발 손상이 주로 일어나는 부위로 분석에 혼동을 초래할 수 있어 제외하고 안드로젠 호르몬의 영향을 받지 않는 후두부 두피에서 근위부 모발 3-5 cm를 선택하여 잘라낸 후

분석하였다. 분석을 시행하는 시점은 퍼머넌트 웨이브 또는 염모제의 사용 직전, 사용 직후, 1 일 후, 3 일 후, 1 주일 후, 2 주일 후, 4 주일 후, 6 주일 후, 8 주일 후, 10 주일 후, 12 주일 후, 14 주일 후 등 총 12 번의 시간대를 기준으로 시행하였다.

## **나. 연구재료**

30% Acrylamide/bisacrylamide solution, Trizma base, Sodium dodecyl sulfate(SDS), Dithiothreitol(DTT), 2-mercaptoethanol, Coomassie Brilliant Blue G-250 은 Sigma 사에서 구입하였다. YM-3 membrane 이 장착된 centricon 은 Millipore 사에서, ubiquitin monoclonal antibody 는 Zymed laboratories Inc.에서 구입하여 사용하였다.

## **2. 방법**

### **가. 전체 모발 단백질(whole hair protein) 추출 및 농축**

1% SDS, 0.2M DTT 를 포함하는 0.2M Tris-HCl(pH 9.0) 완충액을 이용하여 37℃ 배양 진탕기에서 90 시간 동안 추출한 후 농축하였다.

### **나. 부분 모발 단백질(partial hair protein) 추출 및 농축**

0.2M 2-mercaptoethanol 을 포함하는 0.2M Tris-HCl 완충액을 이용해 37℃에서 16 시간 동안 흔들며 추출하였다. 추출한 부분 단백을 Amicon 의 YM-3 membrane 이 장착된 centricon 을 이용하여 농축하였다.

### **다. 전체 및 부분 모발 단백질 정량(protein assay)**

단백질 정량은 사용하여 Bradford 법<sup>14</sup>을 이용하여 정량하였다.

## **라. 전체 및 부분 모발 단백질 전기영동 및 western blot 분석**

가, 나, 다 과정을 통해 얻은 전체 모발 단백질과 부분 모발 단백질에 각각 16.5% SDS-PAGE를 시행해 Coomassie Brilliant Blue로 염색하여 band의 양상을 분석하고 또한 동일한 조건으로 SDS-PAGE를 시행하여 polyvinylidene difluoride membrane으로 전이시키고 ubiquitin에 대한 monoclonal antibody를 이용해 western blot 분석을 수행하였다.

## **마. 결과판정**

### **(1) 전체 모발 단백질 western blot 시행**

Western blot을 시행한 전체 모발 단백질을 시행 직전, 시행 직후, 1일 후, 3일 후, 1주일 후, 2주일 후, 4주일 후, 6주일 후, 8주일 후, 10주일 후, 12주일 후, 14주일 후 등 표본을 얻은 총 12번의 시간대별로 정리하여 band 형태의 변화를 관찰하여 비교하였다.

### **(2) 부분 모발 단백질 western blot 시행**

Western blot을 시행한 부분 모발 단백질을 시행 직전, 시행 직후, 1일 후, 3일 후, 1주일 후, 2주일 후, 4주일 후, 6주일 후, 8주일 후, 10주일 후, 12주일 후, 14주일 후 등 표본을 얻은 총 12번의 시간대별로 정리하여 band 형태의 변화를 관찰하여 비교하였다.

### Ⅲ. 결과

#### 1. 전체 모발 단백질 western blot 시행 결과 분석

가. 퍼머넌트 웨이브를 단독으로 시행한 실험군에서는 피실험자 A 에서 시행 1일 후 10 kD 영역에서 band 가 출현하였으며 시행 전이나 시행 이후의 다른 시간대에서는 특별한 소견이 관찰되지 않았다(Fig. 1).

나. 염색을 단독으로 시행한 실험군에서는 피실험자의 표본으로 시행한 모든 western blot 에서 특별히 관찰되는 단백질은 없었다.

다. 퍼머넌트 웨이브 시행 1 시간 경과 후 염색을 추가로 시행한 실험군에서는 피실험자의 표본으로 시행한 모든 western blot 에서 특별히 관찰되는 band 는 없었다.

#### 2. 부분 모발 단백질 western blot 시행 결과 분석

가. 퍼머넌트 웨이브를 단독으로 시행한 실험군에서 채취한 표본으로 시행한 western blot 상에서, 피실험자 A 는 실험 시행 직전부터 14 주째까지 모든 경우에서 10 kD 영역의 밴드가 관찰되었다(Fig. 2). 피실험자 B 는 직후, 1 일 후, 3 일 후와 14 주 후에서 10 kD 영역에서 밴드가 관찰되었으며 피실험자 C 에서는 실험기간 전체에 걸쳐서 특별한 변화는 관찰되지 않았다(Fig. 3, 4).

나. 염색을 단독으로 시행한 실험군에서 채취한 표본으로 시행한 western blot 상에서 피실험자 D 는 염색 직후, 1 일 후, 3 일 후와 12 주 후에서 10 kD 영역의 band 가 관찰되었다(Fig. 5). 피실험자 E 는 염색 직후, 3일 후, 1 주 후, 2 주 후, 6 주 후, 8 주 후, 14 주 후에서 10 kD 영역에서 band 가 관찰되었다(Fig. 6).

다. 퍼머넌트 웨이브 시행 1 시간 경과 후 염색을 추가 시행한 실험군에서 채취한 표본으로 시행한 western blot 상에서 피실험자 F 는 시행 직전, 직후, 1 일 후, 3 일 후, 6 주 후, 10 주 후, 12 주 후, 14 주 후까지 10 kD 영역에서 band 가 관찰되었으며, 피실험자 G 는 전체 실험 기간에 걸쳐 특별한 변화는 관찰되지 않았다(Fig. 7, 8). 이상의 결과를 표로 정리하였다(Table 2).

## IV. 고찰

인체 모낭은 모유두(dermal papilla), 모기질(hair matrix), 모간(hair shaft), 내측 모근초(inner root sheath), 외측 모근초(outer root sheath)의 5 부분으로 구분할 수 있고 이중 모간은 모각피, 모피질, 모수질로 구성되어 있으며 내측 모근초는 내측 모근초 소피, Huxley 층, Henle 층으로 구성되어 있다. 모낭은 세포 성장, 상피조직과 간엽조직 간의 상호작용, 표피 분화 및 호르몬의 작용 등 여러 가지 요소의 영향하에 독특한 모발의 주기성을 갖게 되는데, 각각의 모낭은 성장기(anagen), 퇴행기(catagen), 휴지기(telogen)의 3 단계로 구성된 모발주기(hair cycle)를 갖는다. 또한 대부분의 포유류에서는 인접한 모낭 사이의 주기에 일치성(synchrony)이 있으며 이러한 특성이 출생시뿐만 아니라 성체가 되어서도 유지되는데 비해 사람에서는 출생 후부터 인접한 모낭끼리의 활성화도에 차이가 생기면서 각기 다른 주기를 갖는 불일치성(asynchrony)을 보이는 특성이 있다<sup>15,16</sup>.

모발의 생화학적 특성을 살펴보면, 모발 섬유는 핵이 없는 각질세포로 구성되어 있으며 생물학적으로 죽은 상태이다<sup>17</sup>. 모발에 존재하며 단백질의 대부분을 구성하는 케라틴 섬유는 주로 불용성의 케라틴 중간 섬유 단백질로 구성되어 있고 이는 중간 섬유 단백질의 가장 복잡한 집합체로 모든 상피 세포에 구조적 원형을 제공한다. 중간 섬유 단백질의 사이 공간은 케라틴 관련 단백질로 이루어진 간질로 채워져 있으며 사람의 모발에서 이 간

질은 고�황단백(high-sulfur protein), 비고황/고글리신 타이로신 단백질(non high-sulfur/high glycine-tyrosine containing protein)로 이루어져 있다<sup>18,19</sup>. 인체 모발 케라틴은 두종류로 구분할 수 있는데 첫째는 1형 케라틴으로 이는 17번 염색체 단완(17q12-q21)의 유전자집합에서 암호화되며 산성을 띄고 크기는 40-56.5 kDa 으로 비교적 작다. 1형 케라틴은 다시 3가지 군으로 구분할 수 있는데 A 군에는 hHa1, hHa3-I, hHa3-II, hHa4 이, B 군에는 hHa7, hHa8 이 속하며 이 두 군은 서로 연관성이 높은 모발 케라틴을 함유한다. C 군에는 hHa2, hHa5, hHa6 이 해당되는데 구조적으로 연관성이 없는 모발 케라틴을 함유한다<sup>20</sup>. 2형 케라틴은 12번 염색체 단완(12q11-13)의 유전자집합에서 암호화되며 중성에서 염기성을 띄고 크기는 52-67 kDa 으로 비교적 크다. 2형 케라틴은 다시 A 와 C 2가지 군으로 구분할 수 있는데 A 군에는 hHb1, hHb3, hHb6가 속하고 이것들은 서로 연관성이 높은 모발 케라틴을 함유한다. 한편 C 군에는 hHb2, hHb4, hHb5 이 속하며 연관성이 적은 모발 케라틴을 함유한다<sup>21</sup>. 또한 케라틴 관련 단백질은 크게 2가지 군으로 나눌 수 있는데 첫째는 고�황 단백질로 분자량이 9-25 kDa 에 해당하는 시스테인이 풍부하며 피질의 케라틴 미세섬유(filament) 사이에서 생물학적 접착제로서 그 기능을 수행한다. 둘째는 고글리신/타이로신 함유 단백질로 분자량은 6-9 kDa 에 해당한다<sup>22,23</sup>.

현대 사회에서는 생활이 풍요로워지고 외모에 대한 사람들의 관심이 높아지면서 모발 관리와 관련된 산업 분야가 지속적으로 발전하고 있다. 특

히 미용 목적의 퍼머넌트 웨이브나 염색 등은 일반 사람들이 흔히 사용하는 방법이다. 먼저 퍼머넌트 웨이브에 의한 모발의 변화 과정을 간략히 살펴보면, 수분을 공급하여 모간내 수소 결합에 물을 침투시키면 모발의 탄력성이 증가하고 thioglycolic acid 를 주성분으로 하는 환원제를 처리하면 농도에 비례하여 이황화결합이 분해되어 평형상태에 도달하게 된다. 이 결합은 모발에 변화를 주고자 하는 형태에 따라 분자 재배치를 통해 새로운 이황화결합을 다시 형성하게 되며 hydrogen peroxide 를 주성분으로 하는 중화제를 처리하면 새로 형성된 결합은 그대로 굳게 된다. 이 때 과도하게 이황화결합이 분해되면 모발에 심한 손상이 발생하여 회복이 어려워지게 된다<sup>3,24,25</sup>. 한편 염모제의 구성은 산화 과정에서 색소를 형성하는 1 차 매개물질로 흔히 orthoaminophenol, paraaminophenol 또는 phenylenediamine 이 사용되고 1 차 매개물질의 산화 산물과 결합하여 염료를 형성하는 연결기로는 meta-aminophenol, meta-diaminobenzene 이 사용되며 산화제로는 과산화수소가 사용된다. 염모제에 의한 모발의 손상은 염모제의 종류에 따라서 차이가 있는데 일시 염모제의 경우 pH가 중성에 가깝고 한번의 샴푸로도 간단히 씻겨나가므로 모발 손상과 크게 연관이 없다. 그러나 현재 주로 사용되고 있는 영구염모제는 강한 알칼리성 제제로써 모발이 자연 회복되는 시기보다 빨리 염색 횟수를 늘리거나 체제 도포 시간을 지나치게 길게 하여 사용하는 경우 심한 모발 손상을 유발할 수 있다. 극단적인 경우에는 비가역적인 모발 손상을 초래하여 임상적으로 명백한 탈모증이 발생하는 경우도 있다. 모발에 대한 염모제의 침투성은 염모제의 산성도, 수분, 열 등에 의해 영향을 받는데, 강알칼리성의 경우에



침투성이 강하여 각피의 손상을 더 많이 유발하는 것으로 알려져 있다

4,25,26

이렇게 모발에 미용적인 목적으로 화학 물질을 처리하면 모간의 정상적인 외측 및 내측 구조, 즉 모각피, 수질 및 피질에는 불가피하게 변형이 초래된다. 먼저 모각피는 모발의 외형 및 모간에 변화를 초래하는 화학 물질의 침투를 억제하는 데 있어 중요한 구조이다. 모소피는 시스틴이 풍부한 외각층인 외각피(exocuticle)와 잔여 세포로 이루어진 내각피로 구성된 층상 세포로 이루어져 있으며 모각피 세포에 손상이 발생하면 모발 표면이 거칠어지고 윤기가 떨어지며 모간의 안쪽 층이 겉으로 드러나게 되고 투과성이 증가한다<sup>23</sup>. 이런 변화에 의해 모발은 정전기나 습도의 영향에 보다 예민하게 반응하며 모발 관리가 어려워지게 된다. 모간의 안쪽 구조에 변화를 주기 위해서는 모각피가 반드시 열린 상태로 변화해야 하기 때문에 알칼리성 화학 물질에 의한 모각피의 손상은 퍼머넌트 웨이브나 염색에 있어 어느 정도 불가피한 것이다<sup>27</sup>. 모각피 안쪽에 위치하는 모피질 역시 시스틴이 풍부하며 피질 섬유는 모발의 강력과 관련된다. 모피질은 멜라닌 과립을 함유하고 있고 염색을 시행할 경우 모피질의 외각층까지 염모제가 침투해야 하며 영구 염모제의 경우 보다 안쪽까지 침투해야 원하는 효과를 얻을 수 있다<sup>28</sup>. 모수질은 모간의 가장 안쪽에 위치하는 구조로써 여기에 위치하는 단백질은 대부분의 용매에 대해 강한 저항성이 있어 퍼머넌트 웨이브나 염모제 사용시에 원하는 결과를 얻기 위해서는 강한 알칼리성 제제의 사용이 필요하다<sup>29</sup>.

과거로부터 모발의 손상 정도를 측정하기 위해 사용된 방법들을 살펴보면 우선 모발을 시진 및 촉진하여 윤기와 촉감 등을 기술하고 유사한 환경에서 손상된 모발을 표준형으로 비교하는 육안적 분석 방법이 흔히 사용되어 왔다. 육안적 소견에 의존하는 방법은 관찰 및 기술이 용이하다는 장점이 있으나 재현성이 떨어지고 실제적인 모발 형태의 변화에 대해서는 기술하지 못한다는 한계가 있다. 그 외에 모각피의 손상이 심할수록 저항이 증가한다는 점에 착안하여 모발의 마찰 저항을 측정하거나 손상된 모발에 힘을 가하면 쉽게 끊어지는 특성을 고려하여 인장강도를 측정하거나 모발 섬유의 직경을 측정하여 손상 정도를 살펴기도 했으며 손상된 모발은 수분 흡수량이 증가한다는 사실을 바탕으로 팽윤도를 측정하기도 하였는데<sup>23</sup> 이 방법들은 모발의 손상 정도를 직접 살펴보거나 혹은 모발 구성 성분의 변화를 직접 측정하는 것이 아니라 모발 손상에 의한 변화를 이차적으로 이용한 방법이라는 점에서 한계가 있다.

한편 모발의 손상 정도를 형태학적으로 살펴보고자 하는 방법에는 미세 현미경을 통한 관찰 방법이 주류를 형성하고 있다. 퍼머넌트 웨이브나 염색제 사용 후 흔히 주사전자현미경을 이용하여 모발의 변화를 관찰하는데, 염모제 사용 후 모발의 손상을 시간대별로 살펴본 연구에 의하면 모각피의 손상은 염모제 사용 후 6시간 경과 후와 1일 경과 후가 가장 심한 것으로 관찰되었으며 서서히 회복되어 8주 경에는 모각피가 거의 완전한 회복을 보여 염모제 도포 전 상태로 돌아간 소견을 관찰하였다. 모발은 1달에 약 1 cm가량 자라며 따라서 대개 모발 염색 시행 4-6 주가 경과하게 되면 염

색이 되지 않은 모발이 두피 위로 1 cm 이상 드러나게 되므로 미용적인 관점에서 보면 이때 염색을 할 필요성을 느끼게 되지만, 모발 손상의 축적을 방지하기 위해서는 적어도 8 주의 간격을 두고 모발 염색을 시행하는 것이 좋다고 하였다<sup>10</sup>. 이렇게 주사전자현미경을 통한 관찰시에는 미세구조를 관찰하기 위해 통상적으로 OsO<sub>4</sub> 를 사용하며, 모발의 각 구조층 사이의 지질층을 관찰하기 위해서는 지질 고정액이 필요하다. 그런데 피부 각질층 지질 관찰시 사용되는 RuO<sub>4</sub> 로 모발을 처리할 경우 모발 손상이 너무 심해지는 단점이 있어서 이런 점을 극복한 새로운 고정액이 고안되기도 하였다<sup>30</sup>. 한편 보다 적은 표본을 대상으로 다른 고정과정 없이 비교적 덜 침습적인 방법으로 샴푸의 효과나 층상 중합체(layering polymers)의 균질성을 판정하거나 불투명도, 투명도, 휘도 등 모발 표면의 광학적 특성을 살펴보기 위해 공초점 주사현미경을 사용한 보고도 있으며<sup>31</sup>, X 선 회절을 이용해 인체 모낭의 각질화 과정을 살펴보고자 한 연구도 있어 향후 모발의 손상 정도를 형태학적으로 분석하는데 도움이 될 것으로 생각된다<sup>32</sup>.

이렇게 모발에 대한 다양한 연구가 진행되면서 모발 손상에 대해 보다 의학적 측면에서 접근하여 분석해야 할 필요성이 커졌고 최근에는 형태학적 연구에 덧붙여 모발의 구성 성분인 단백질과 지질 등에 대한 분자생물학적 수준에서의 연구로 그 범위가 확대되고 있다. 분자생물학적 연구는 그 결과를 정량화할 수 있고 표준화된 지수를 기준으로 하여 비교 분석이 용이하며 단일화된 지표로서 관련된 다양한 연구에 지속성을 부여할 수 있는 장점이 있다. 모발, 손톱 및 각질층 등 여러 가지 각질화된 조직으로부터

터 가용성 단백질을 추출하여 분석한 연구에서는 가용성 단백질이 전체 단백질 추출물과 다른 구성을 가진다는 사실이 보고되었고 이는 가용성 단백질이 각질화된 조직에 약하게 결합되어 있어 부분 추출물에 선택적으로 모여 있기 때문으로 생각된다<sup>33</sup>. 최근 한 보고에서는 모발에 다양한 화학 물질을 처리하였을 때 모발 단백질의 분자 단계 또는 미세환경의 변형에 의해 안정적으로 존재하던 가용성 모발 단백질이 불안정한 상태로 변환되어 심한 모발 손상이 발생할 수 있음을 제시하였고 이 불안정한 단백질을 추출하여 성분을 확인함으로써 모발 손상의 지표로서 그 가능성을 제시하였다. 아미노산 서열 분석을 통해 확인한 결과 이 불안정 단백질의 주 성분은 76 개의 아미노산으로 구성되며 약 7 kDa 정도의 크기를 가지는 ubiquitin으로 확인되었다<sup>13</sup>. ubiquitin은 비리소좀성 단백질 분해를 매개하는 것으로 알려져 있으며 ubiquitin-단백질 결합효소 체계를 통해 단백질 분해시 신호로 작용하고 다양한 표적 단백질에 공유 결합하여 기능을 수행한 후 분리되었다가 재사용된다. 최근 연구에 의하면 ubiquitin은 여러 다양한 기본적인 세포 과정에 영향을 미치는 것으로 생각되는데, 특히 세포고사, 항원 제시, 세포 주기 진행, 세포 신호 전달, 전사 조절, 수용체 하향조절, 세포내이입(endocytosis)등에도 관여하는 것으로 밝혀졌다<sup>34</sup>.

미용적인 목적으로 화학 물질을 모발에 처리하면 모발 단백질이 용해되어 분리된다는 사실을 기반으로 하여 단백질의 소실을 측정하는 방법들이 과거로부터 사용되어 왔는데 최근 제시된 불안정 단백질 측정법은 과거 다른

방법들에 비해 몇 가지 장점이 있다. 우선 손상된 모발에 알칼리 용액을 처리하면 손상된 단백질 등 모발 구성 물질들이 손상받지 않은 모발에 비해 많이 배출된다는 점을 이용한 알칼리 용해도 측정법은 과거로부터 흔히 사용된 방법이지만 역동적으로 반응하는 불안정 단백질의 특성을 고려할 때 대략적인 반응을 간접적으로 보는 방법으로 모발 손상 측정을 재현성 있게 살펴보기에는 불충분하다. 또한 손상받지 않은 모발에 비해 손상된 모발이 마모 자극에 더 취약하다는 점에 착안하여 모발 표본을 물에 침수시킨 후 흔들어 섞거나 빗으로 벗겨내 소실된 단백질을 정량적으로 측정하는 방법이 모발 표면 손상 측정에 있어 쉽고 민감한 방법으로 제시되었으나 흔들거나 빗질하는 과정을 재현하는데 기술적인 어려움이 있어 적용에 문제가 될 수 있다. 그리고 단백질 추출법은 모발의 손상 정도에 비례하는 방법으로 자외선, 퍼머넌트 웨이브 제제, 염모제 등에 의해 손상된 모발에서 적용한 보고가 있는데, 퍼머넌트 웨이브 제제 사용 후 추출된 단백질의 양이 동일한 조건에서 불안정 단백질보다 적은 양이 검출되고 탈색제 사용 후에는 특히 추출 단백질에 비해 불안정 단백질의 양이 뚜렷하게 증가하는 소견을 보여 불안정 단백질 검출 방법에 비해 예민도가 떨어지는 것으로 생각된다<sup>13</sup>.

이러한 소견을 바탕으로 하여 저자들은 ubiquitin 을 주성분으로 하는 불안정 단백질이 외인성 자극에 의한 모발 손상 후 손상의 정도와 회복을 예측하는데 있어 민감도와 재현성이 높은 방법으로써 도움이 될 수 있을 것

으로 생각하고 퍼머넌트 웨이브를 시행한 군, 모발 염색을 시행한 군, 퍼머넌트 웨이브와 모발 염색을 함께 시행한 군 등 총 3 군으로 나누어 실험을 시행하였다. 이러한 실험군의 구성은 지질층에 보다 손상을 주는 퍼머넌트 웨이브제와 각피세포에 보다 손상을 주는 염모제 중 단백질에 더 큰 영향을 줄 수 있는 제제를 비교하고자 분류하였다. 그리하여 염모제 도포 8 주째 모소피가 거의 완전한 회복을 보인 연구 결과<sup>9</sup>를 바탕으로 본 실험이 형태학적 분석이 아니라 분자생물학적 분석이라는 점을 고려하여 보다 장기간 변화 소견을 관찰하고자 하여 시행 직전, 시행 직후, 1 일 후, 3 일 후, 1 주일 후, 2 주일 후, 4 주일 후, 6 주일 후, 8 주일 후, 10 주일 후, 12 주일 후, 14 주일 후 등 총 12 번에 걸쳐 표본을 채취하여 western blot 분석을 시행하였다. 우선 전체 모발 단백질의 경우 퍼머넌트 웨이빙을 단독으로 시행한 피실험자 A에서만 시행 1 일 후 10 kDa 영역에서 양성 소견이 관찰되었으며 다른 표본에서는 특별한 양성 소견이 관찰되지 않았는데 이것은 전체 모발 단백질에 포함되어 있는 부분 단백질의 양이 미약하기 때문으로 생각된다. 부분 모발 단백질의 경우 western blot 상에서 시기별로 다양한 소견이 관찰되었는데 피실험자 A 와 F 는 실험 직전 채취한 표본에서 10 kDa 영역의 양성 소견이 관찰되었고, 이는 연구 시행 전에 모발에 외인성으로 손상을 줄만한 인자가 없는 피실험자를 그 대상으로 했으나 손상을 줄 수 있는 어떤 요소가 실험 전에 관여했기 때문으로 생각된다. 실험 시행 직후 채취한 모발 표본에서는 7 명 중 실험 기간 동안 밴드 양성 소견이 계속 관찰되지 않았던 2 명을 제외한 5 명의 피실험자에서 모두 양

성 소견이 관찰되었고, 퍼머넨트 웨이브를 시행한 피실험자 2 명, 염색을 시행한 피실험자 1 명, 그리고 퍼머넨트 웨이브 시행 1 시간 후 염색을 시행한 피실험자 1 명에서는 실험 중간 과정에서 지속적으로 관찰되지 않던 양성 소견이 실험 후반부인 12 주와 14 주째에 나타나는 소견이 보였다. 이는 분자생물학적 측면에서 모발 손상이 14 주까지 계속 나타날 가능성을 제시한다고 생각되며, 한편으로는 실험 중간 과정에서 모발 손상 이후 어느 정도의 회복 후에 단백질 패턴에 변화가 생겼을 가능성도 배제할 수 없다고 생각된다. 실험군별로 결과를 비교했을 때 퍼머넨트 웨이브만을 시행한 군, 염색만을 시행한 군, 퍼머넨트 웨이브와 염색을 함께 시행한 군별로 구분되는 특이한 소견은 나타나지 않았으며, 이는 차후 보다 다수의 피실험자를 대상으로 비교해야 할 것으로 생각된다.

모발 손상을 미리 예방하거나 손상으로부터 회복시키는 방법은 손상된 모발의 회복을 촉진시키는 방법과 손상을 줄이기 위한 방법으로 나누어 생각해 볼 수 있다. 우선 회복을 돕는 방법으로는 알칼리에 의한 경미한 모발 손상이 산성 린스에 의해 회복되는 점에 착안하여 모각피의 투과성을 감소시키는 산성 모발 보호 제품을 모발 염색 직후에 사용하는 것이 도움이 될 수 있다<sup>8,35</sup>. 또 염모제 사용 후 stearalkonium chloride 등의 양이온 계면활성제나 양이온중합체(cationic polymer)등을 함유한 모발 용품을 사용함으로써 손상된 모발의 회복을 도울 수 있다<sup>36</sup>. 하지만 이러한 방법을 손상된 모발에 적용하였을 때 육안적인 호전은 관찰되었으나 실제 모발의

구조에 어떤 변화가 나타나는지에 대한 연구 결과는 아직 분명하지 않다. 둘째로 염모제 등 모발 용품을 사용하는 단계에서 모발의 손상을 감소시키는 방법이 있다. 주된 손상요인으로 알려져 있는 염색제의 pH를 낮추는 방법이나 염색제의 도포 시간을 감소시키는 방법 등을 고려할 수 있는데 미용적 효과를 만족할 만한 수준으로 유지하면서 손상 요인을 최소화할 수 있는 적정선에 대해서는 더 연구가 필요할 것으로 사료된다<sup>9</sup>.

이 연구는 퍼머넌트 웨이브나 염색시 사용되는 화학약제에 의한 모발 손상의 형태학적 변화에서 한 단계 더 나아가 모발을 구성하는 여러 요소 중 손상에 예민하게 반응하는 단백질의 분석을 통해 손상의 종류 및 시간에 따른 손상의 회복 정도를 관찰하고 그 회복 양식을 분석하고자 하였다. 이를 기반으로 보다 대규모의 연구를 시행하면 모발 손상의 정도 및 복원 능력을 측정하여 모발 손상을 포함한 각종 모발 질환의 치료 과정에 있어서 하나의 지표로서의 가능성을 확인할 수 있을 것으로 생각된다.



## V. 결론

이 연구는 피실험자를 대상으로 퍼머넨트 웨이브와 염색 방법으로 모발에 손상을 가한 후 일정한 시간 간격으로 모발 표본을 채취하여 모발 단백질을 추출하여 western blot 을 시행하고 이를 통해 단백질의 손상 및 회복 양상을 분자생물학적으로 살펴보고 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전체 모발 단백질의 western blot 상에서는 퍼머넨트 웨이브만을 시행한 피실험자 1 명을 제외한 나머지는 band 의 변화 양상이 관찰되지 않았으며, 이는 전체 모발 단백질에 포함되어 있는 부분 단백질의 양이 미약하기 때문으로 생각된다.
2. 부분 모발 단백질의 western blot 상에서는 실험 시행 직후 채취한 모발 표본에서 실험 기간 중 band 에서 양성 소견을 보였던 5 명의 피실험자에서 모두 양성 소견이 관찰되었다. 또한 4 명의 피실험자에서는 실험 중간 과정에서 지속적으로 관찰되지 않던 양성 소견이 실험 후반부인 12 주와 14 주째에 나타나는 소견이 보였다. 이는 분자생물학적 측면에서 모발 손상이 14 주까지 계속 나타날 가능성을 제시한다고 생각된다.

이상의 결과로 퍼머넨트 웨이브와 염색제 사용을 통해 모발 손상 후 부분 모발 단백질의 변화를 관찰하고 모발 손상 후 단백질의 변화가 있음을 western blot 분석을 통해 확인하였다. 또한 western blot 상에서 이러한

손상 단백질의 출현이 이전의 형태학적 모발 손상과 회복 소견에 비해 보다 장기간 관찰된 것으로 보아 분자생물학적 측면에서 모발의 손상이 회복 될 때까지는 더 오랜 기간이 필요할 가능성이 제시되었다 할 수 있겠다. 또한 실험군별로 단백질 변화 양상에 뚜렷한 차이는 없었으므로 이러한 소견을 바탕으로 향후 보다 다수를 대상으로 한 장기간의 실험을 통해서 모발 손상의 정도를 분석함에 있어 그 지표로서 단백질의 사용 가능성을 추가로 연구해야 할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

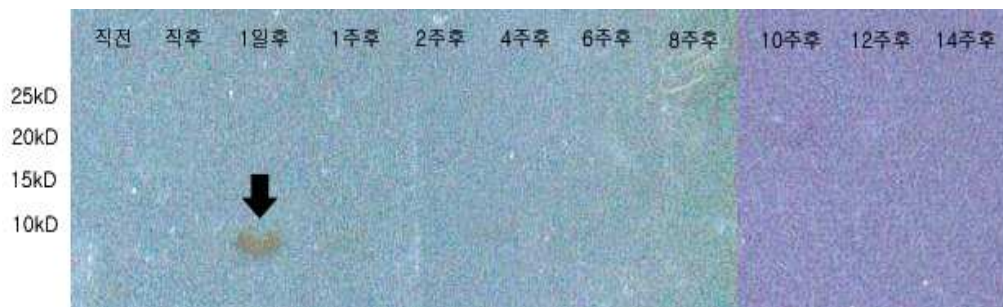
1. Ruetsch SB, Kamath YK. Effects of thermal treatments with a curling iron on hair fiber. *J Cosmet Sci* 2004;55:13-27.
2. Detwiler SP, Carson IL, Woosley JT, Gambling TM, Briggaman RA. Bubble hair. Case caused by an overheating hair dryer and reproducibility in normal hair with heat. *J Am Acad Dermatol* 1994;30:54-60.
3. Edward TB. Hair waving. In: Johnson DH. *Hair and hair care*. 1<sup>st</sup> ed. New York: Marcel Dekker; 1997. p.167-190.
4. Keith CB. Hair coloring. In: Johnson DH, editor. *Hair and hair care*. In: 1<sup>st</sup> ed. New York: Marcel Dekker; 1997. p.191-215.
5. 장병수. 미용을 위한 일상적인 열처리에 의해서 손상된 모발의 미세구조. *한국전자현미경학회지* 2003;33:215-221.
6. Skopp G, Potsch L, Moeller MR. On Cosmetically treated hair— aspects and pitfalls of interpretation. *Forensic Sci Int* 1997;84:43-52.
7. Spoor HJ. Hair-coloring-resume. *Cutis* 1997;20:311-313.
8. Larsen WG, Jakson EM, Barker MO, Bednarz RM, Engasser PG, O'Donoghue MN, et al. A primer on cosmetics. *J Am Acad Dermatol* 1992;27:469-481.

9. 김수정, 이원수, 최응호, 안성구. 모발염색으로 인한 각피의 손상과 재생 : 시간 경과에 따른 형태학적 변화. 대한피부과학회지 1996;34:257-263.
10. Ahn HJ, Lee WS. An ultrastructural study of hair fiber damage and restoration following treatment with permanent hair dye. *Int J Dermatol* 2002;41:88-92.
11. 이상훈, 이은영, 천승현, 오택현, 이원수. 염모제에 의한 모발장벽 지질의 손상과 회복. 대한코스메틱피부과학회 제 4 차 학술대회 초록집 2003.
12. 천승현, 이은영, 이원수. 모발 permanent waving 후에 모발장벽 지질의 손상과 회복. 제 56 차 대한피부과학회 추계학술대회 초록집 2004.
13. Inoue T, Ito M, Kizawa K. Labile proteins accumulated in damaged hair upon permanent waving and bleaching treatments. *J Cosmet Sci* 2002;53:337-344.
14. Magnani M, Stocchi V, Serafini G, Chiarantini L. Quantitation of electrophoretic eluted protein. *Ital J Biochem* 1998;37:96-103.
15. Paus R, Cotsarelis G. The biology of hair follicles. *N Engl J Med* 1998;341:491-497.
16. Sperling LC. Hair anatomy for the clinician. *J Am Acad Dermatol* 1991;25:1-17.

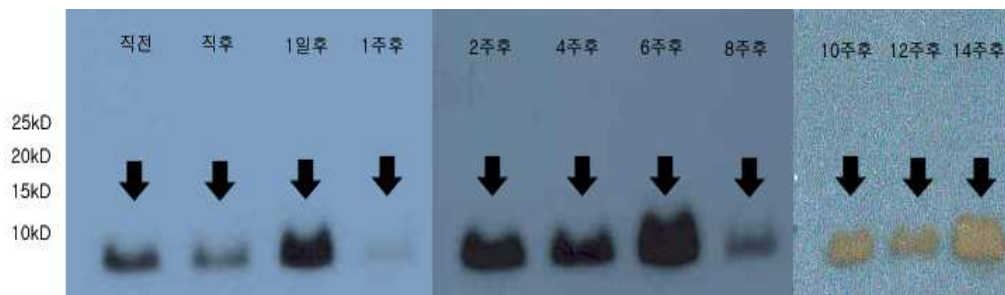
17. Feughelman M. Morphology and properties of hair. In: Johnson DH, editor. Hair and hair care. 1<sup>st</sup> ed. New York: Marcel Dekker, 1997. p.1-12.
18. Jones LN, Simon M, Watts NR, Booy FP, Steven AC, Parry DA. Intermediate filament structure: hard alpha-keratin. *Biophys Chem* 1997;68:83-93.
19. Powell BC, Rogers GE. The role of keratin proteins and their genes in the growth, structure and properties of hair. *EXS* 1997;78:59-148.
20. Langbein L, Rogers MA, Winter H, Praetzel S, Beckhaus U, Rackwitz HR, et al. The catalog of human hair keratins. I. Expression of the nine type I members in the hair follicle. *J Biol Chem* 1999;9:19874-19884.
21. Langbein L, Rogers MA, Winter H, Praetzel S, Schweizer J. The catalog of human hair keratins. II. Expression of the six type II members in the hair follicle and the combined catalog of human type I and II keratins. *J Biol Chem* 2001;276:35123-35132.
22. Rogers MA, Langbein L, Winter H, Beckmann I, Praetzel S, Schweizer J. Hair keratin associated proteins: characterization of a second high sulfur KAP gene domain on human chromosome 21. *J Invest Dermatol* 2004;122:147-158.

23. Wolfram LJ. Human hair: a unique physicochemical composite. *J Am Acad Dermatol* 2003;48:S106-114.
24. Gray J. Cosmetic hair treatments. In: Gray J, editor. *The world of hair*. 1<sup>st</sup> ed. London: Macmillan Press Ltd, 1997. p.167-190.
25. Bolduc C, Shapiro J. Hair care products: waving, straightening, conditioning, and coloring. *Clin Dermatol* 2001;19:431-436.
26. Draelos ZK. Hair cosmetics. *Dermatol Clin* 1991;9:19-27.
27. Plewig G, Fulton JE, Kligman AM. Pomade acne. *Arch Dermatol* 1970;101:580.
28. Whiting DA. Structural abnormalities of the hair shaft. *J Am Acad Dermatol* 1987;16:1-25.
29. Ebling FJ. The biology of hair. *Dermatol Clin* 1987;5:467-481.
30. 이상훈, 이은영, 김영희, 이원수. 인체 모낭에서의 지질분포. *대한피부과학회지* 2003;41:564-568.
31. Hadjur C, Daty G, Madry G, Corcuff P. Cosmetic assessment of the human by confocal microscopy. *Scanning* 2002;24:59-64.
32. Baltenneck F, Bernard, Garson JC, Engstrom P, Riekel C, Leroy F, et al. Study of the keratinization process in human hair follicle by X-ray microdiffraction. *Cell Mol Biol(Noisy-le-grand)* 2002;46:1017-1024.

33. Inoue T, Kizawa K, Ito M. Characterization of soluble protein extracts from keratinized tissues: identification of ubiquitin universally distributed in hair, nail, and stratum corneum. *Biosci Biotechnol Biochem* 2001;65:895-900.
34. Hershko A, Ciechanover A. The ubiquitin system. *Annu Rev Biochem* 1998;67:425-479.
35. Draelos ZD. The biology of hair care. *Dermatol Clin* 2002;18:651-658.
36. Michael W. Cleansing of Hair. In: Johnson DH, editor. *Hair and hair care*. In: 1<sup>st</sup> ed. New York: Marcel Dekker; 1997. p.33-64.

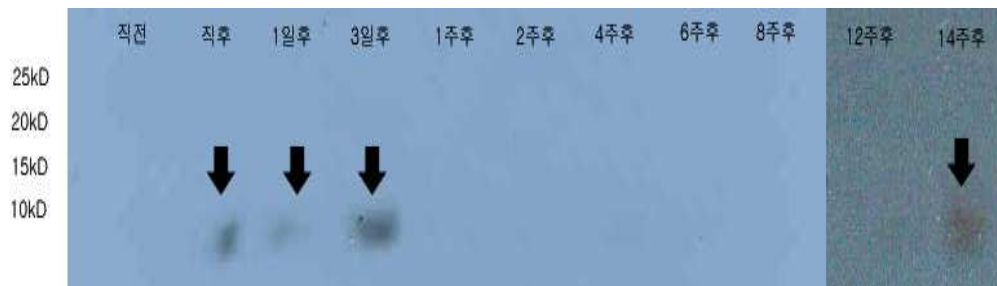


**Fig. 1.** Western blot analysis of whole protein from subject A. There is a linear band on the 10 kDa area on the 1<sup>st</sup> day after the treatment.

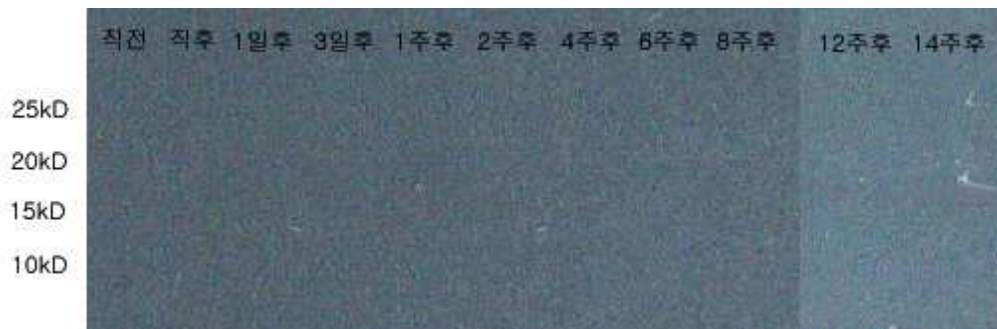


**Fig. 2.** Western blot analysis of partial protein from subject A. There is a linear band on the 10 kDa area right before the treatment, right after the treatment, 1<sup>st</sup> day, 1<sup>st</sup> week, 2<sup>nd</sup> week, 4<sup>th</sup> week, 6<sup>th</sup> week, 8<sup>th</sup> week, 10<sup>th</sup> week, 12<sup>th</sup> week, and the 14<sup>th</sup> week after the treatment.

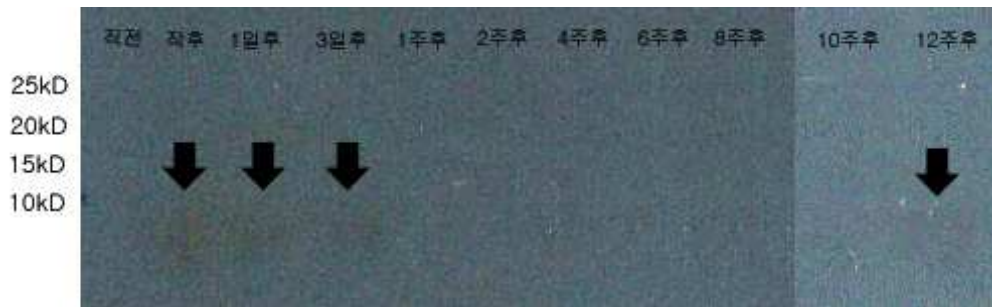




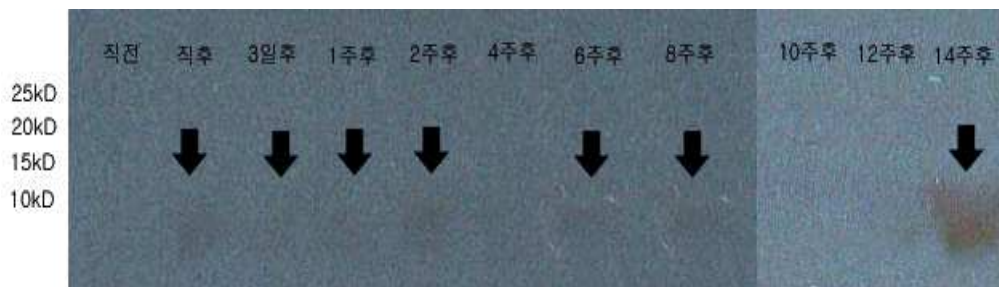
**Fig. 3.** Western blot analysis of the partial protein from subject B. There is a linear band on the 10 kDa area directly after the treatment, 1<sup>st</sup> day, 3<sup>rd</sup> day, and the 14<sup>th</sup> week after the treatment.



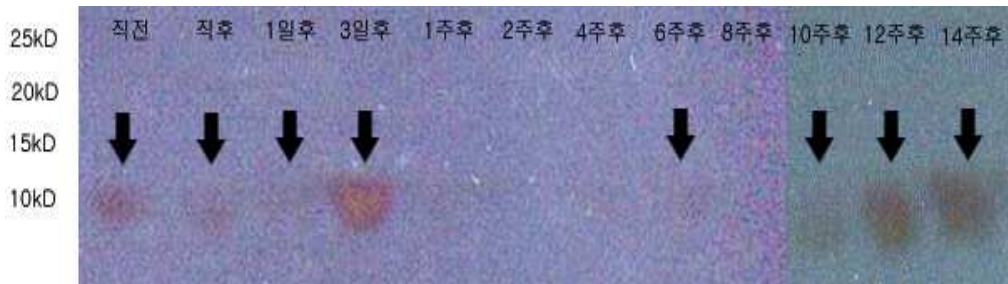
**Fig. 4.** Western blot analysis of the partial protein from subject C. There are no specific findings during the period of the treatment.



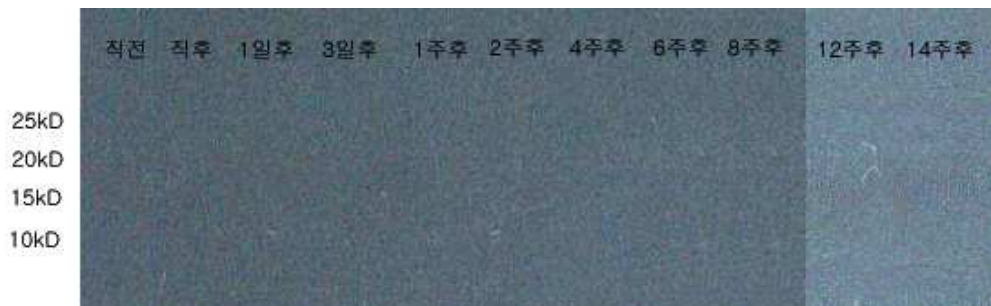
**Fig. 5.** Western blot analysis of the partial protein from subject D. There is a linear band on the 10 kDa area directly after the treatment, on the 1<sup>st</sup> day, 3<sup>rd</sup> day, and the 12<sup>th</sup> week after the treatment.



**Fig. 6.** Western blot analysis of the partial protein from subject E. There is a linear band on the 10 kDa area directly after the treatment, on the 3<sup>rd</sup> day, 1<sup>st</sup> week, 2<sup>nd</sup> week, 6<sup>th</sup> week, 8<sup>th</sup> week, and the 14<sup>th</sup> week after the treatment.



**Fig. 7.** Western blot analysis of the partial protein from subject F. There is a linear band on the 10 kDa area directly prior to the treatment, directly after the treatment, 1<sup>st</sup> day, 3<sup>rd</sup> day, 6<sup>th</sup> week, 10<sup>th</sup> week, 12<sup>th</sup> week and the 14<sup>th</sup> week after the treatment.



**Fig. 8.** Western blot analysis of the partial protein from subject G. There are no specific findings during the period of the treatment.

**Table 1.** Subject information

group	subject	age	sex	Type of treatment
1	A	34	M	Permanent waving
	B	22	M	Permanent waving
	C	24	M	Permanent waving
2	D	27	M	Hair dyeing
	E	28	M	Hair dyeing
3	F	24	M	Waving with hair dyeing
	G	24	M	Waving with hair dyeing

**Table 2.** Summary of western blot analysis of the partial proteins from the subjects

G) group, S) subject, O) positive finding, X) negative finding, N) not analyzed because of small amount of the partial proteins

G	S	Time of sampling											
		직전	직후	1일	3일	1주	2주	4주	6주	8주	10주	12주	14주
1	A	O	O	O	N	O	O	O	O	O	O	O	O
	B	X	O	O	O	X	X	X	X	X	N	X	O
	C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	N	X	X
2	D	X	O	O	O	X	X	X	X	X	X	O	N
	E	X	O	N	O	O	O	X	O	O	X	X	O
3	F	O	O	O	O	X	X	X	O	X	O	O	O
	G	X	X	X	X	X	X	X	X	X	N	X	X

## **Abstract**

# **Quantitative Analysis of Hair Protein from Hair Damage**

**Soo Young Jeon**

*Department of Medicine,  
The Graduate School, Yonsei University*

(Directed by Professor Won-Soo Lee)

Various kinds of hair products have been used widely due to the increase of interest of hair styles. The cosmetic procedures such as permanent waving or hair dyeing are very popular today, but the medical studies related to the meaning of the hair damage and the restoration pattern from damage are mainly based on the structural findings. In measuring the degree of hair damage by the moleculobiological methods rather than the structural studies, the findings seem to be highly objective and standardized.

The purpose of this study was to identify the patterns of hair damage and restoration through electrophoresis and western blot analysis of the hair proteins. The 7 volunteers who we selected as subjects did not have any specific medical illness and have not performed any special cosmetic procedures that could have caused hair damage during the previous 6 months. We conducted permanent waving on three of them,

hair dyeing on two of them, and both permanent waving and hair dyeing on the remainder of the subjects. The human hair samples were obtained from the occipital scalp that was not affected by the androgen. We performed extraction and concentration of the whole and partial hair protein, then operated electrophoresis and western blot analysis of the hair protein.

The following results were obtained from this study :

1. In the western blot analysis of whole hair proteins, there are no positive findings except subject A who permed his hair. It may result from the small amount of partial hair proteins among the whole hair proteins.
2. In the western blot analysis of partial hair proteins, there are five positive findings on the day immediately after hair damage. All of them showed one positive finding at least during the experiment. On the other hand, 4 subjects showed positive findings on the 12<sup>th</sup> and 14<sup>th</sup> week after the treatment which did not show during the middle course of the treatments. We think these findings present continuous hair damage in the moleculobiologic aspect until 14<sup>th</sup> week.

These results showed change of the hair proteins from hair damage, and we found the possibility of prolongation of actual hair damage longer than expected ultrastructurally.

---

**Key Words :** hair damage, hair protein, western blot analysis