SEM을 이용한 출토 견섬유의 손상 형태에 관한 연구

배순화 · 이미식[†]

서울여자대학교 의류학과

Fracture Morphology of Degraded Historic Silk Fibers Using SEM

Soon Wha Bae · Mee Sik Lee[†]

Dept. of Clothing Science, Seoul Women's University

접수일(2013년 4월 17일), 수정일(2013년 6월 18일), 게재확정일(2013년 6월 20일)

Abstract

After analyzing excavated 17-18th century silk fibers through a scanning electron microscopy, we discovered seven different kinds of fracture morphology. Using Morton & Hearle fiber fracture morphology, we classified the findings into four different categories. Type I is tensile failure resulting from brittle fracture, granular fracture, and ductile fracture. Type II is fatigue failure caused by tensile fatigue, flex fatigue, and axial split (fibrillation). Type III is bacterial deterioration discovered only in excavated artifacts. Type IV is a combination of the three above. Humid underground conditions and the infiltration of bacteria caused the fibers to swell and weaken its interfibrillar cohesion. Fractures occur when drying and processing an excavated artifact that is already in a fragile condition. Therefore, one must minimize damage through a prompt cleaning process and make sure that the least possible force is exerted on the fabric during any treatment for repair and exhibition.

Key words: Excavated fabrics, Tensile fracture, Fatigue fracture, Bacterial deterioration, Scanning Electron Microscopy (SEM); 출토직물, 인장에 의한 손상, 피로에 의한 손상, 미생물에 의한 손상, 주사전자현미경

I. 서 론

섬유류 유물인 직물, 복식유물들은 유기물로 구성되어 있기 때문에 시간의 경과에 따른 퇴화를 피할 수 없다. 특히 우리나라 복식유물에서 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것은 출토유물로서 수백 년 동안 매장환경에서 지속적인 열화 과정을 거쳐 퇴화된 채로 발굴된다.

이러한 출토유물 중 가장 많은 소재는 견섬유와 마섬유이며, 이 두 가지 섬유는 수백 년간의 매장환경에도 불구하고 출토된 후에 일정 수준 이상의 강도를 유지하

고 있는 경우도 있으나 대부분의 유물들은 수백 년 동안의 매장환경에서 섬유들이 손상된 경우가 많다. 그러므로 출토 이후에 이루어지는 보존처리 과정에서 유물에 가해지는 여러 가지 물리, 화학적인 힘을 충분히 감내하기는 어려운 유물이 대부분이다. 이러한 유물을 보존처리하는 경우 가능한 최소한의 힘을 가하여 최대한의 효과를 얻을 수 방법을 모색하는 것은 매우 의의가 있다 할 수 있다.

본 연구에서는 출토복식 보존처리 시 필요한 정보를 얻기 위하여 지하에서 오랜 시간 퇴화 과정을 거친 견섬유의 손상 형태를 출토직물에서 채취한 시료를 대상으로 전자현미경을 이용하여 조사분석하였다.

견은 피브로인과 세리신으로 이루어진 단백질 섬유로 천연섬유에서는 유일한 필라멘트 섬유이다. 피브로

[†]Corresponding author

E-mail: mslee@swu.ac.kr

본 논문은 2013학년도 서울여자대학교 교내학술특별연구비의 지원을 받았음.

인은 견섬유의 주요 성분으로 17종류의 아미노산으로 이루어졌으며 중합도는 300~3,000 정도로 분포되어 있으며 블록 공중합체 형태로 존재한다고 알려져 있다(Timár-Balázsy & Eastop, 1998). 세리신은 피브로인과는 다른 아미노산 조성을 갖는 단백질로 친수성이 강한 극성기를 갖는 아미노산이 주요 성분이므로 끓는 물이나 알칼리에 쉽게 용해된다. 세리신을 제거하지 않은 견은 생견이라 하고 세리신을 제거한 견은 정련견이라 하며 출토된 견직물 복식을 보면 대부분 정련견이 사용된 것이 많고 가끔 생견으로 된 것이 출토되는 경우도 있다.

무덤에서 출토된 견직물로 만들어진 복식을 보면 매장환경에 따라 심하게 손상된 경우도 있으나 외관이 원형을 그대로 잘 보존된 경우도 있다. 그러나 외관이 잘 보존된 유물이라 해도 견의 물리적 특성이 많이 손상되어 강도 저하가 큰 경우가 대부분이다. 이처럼 강도가 많이 저하된 출토복식의 경우 보존처리 과정에서 손상 정도에 따라 세척방법을 잘 선택해야 유물의 손상을 최소화할 수 있다.

복식유물은 부패가 용이한 유기물이므로 시간이 지남에 따라 손상이 일어난다. 유물이 존재했던 환경에 따라 손상 정도, 손상 유형 및 손상 속도가 다를 수 있으며 특히 습도가 매우 높고 균류가 많이 존재하는 땅속에 묻혀 있는 경우 손상 속도는 훨씬 빨라질 수 있을 것으로 예상되고 그 유형도 다를 것으로 사료된다.

1960년대 주사전자현미경의 출현으로 여러 과학적인 학문분야에서 사물의 현상을 정확하게 이해하는데 큰 도움이 되었고 섬유류의 절단 형태도 전자현미경을 통하여 자세하게 조사되고 분석되었다. Morton and Hearle (2008)은 전자현미경을 이용하여 섬유의 절단 형태를 연구하여 그 형태가 섬유의 종류에 따라 다르며 어떤 힘을 받았느냐 하는 이력에 따라서도 다르다고 하였다. 이들은 섬유의 절단 형태를 크게 3가지 카테고리; 인장절단(tensile fracture), 피로손상(fatigue failure), 기타손상으로 나누어 각각의 카테고리를 세분화하여 18가지 유형으로 구분하였다(Fig. 1).

전자현미경을 이용하여 섬유의 절단 형태를 연구한 연구는 다수 있으나 거의 일반적인 섬유의 절단에 관한 것이고 오랜 시간을 지나며 다양한 환경에 처해지고 또한 다양한 종류의 힘을 받아 퇴화가 많이 진행된 역사적인 유물들의 손상을 연구한 논문은 많지 않다.

Lee et al.(2001)은 천연염색된 면과 견직물의 환경조건에 따른 물성 변화 연구에서 1년간 땅속, 물속, 공기 중에서 퇴화시킨 면직물과 견직물의 색, 강도, 유연도

변화를 측정하였고 그에 따른 섬유 형태 변화도 관찰하였다. 땅속, 물속 그리고 공기 중에서 퇴화된 직물의 경우 처했던 환경에 따라 그 형태 변화가 다르게 나타났으며 물성 변화도 각각 상이하게 나타났다. 또한 섬유 간에도 차이가 있어 면과 견은 땅 속과 물속에서 물성 변화 패턴이 달라서 땅속에서 견은 면에 비해 강도 저하가 서서히 일어났으며 물속에서는 견이 면보다 손상이 빨리 일어난다고 보고하였다. Ahn(1998)은 미국에서 출토한 인피섬유에서 관찰된 형태학적 손상을 7가지로 나누어 분석하였으며 매장방법(화장한 경우와 일반 매장한 경우)과 직물의 조직에 따라 각각 형태학적 손상과의 관계를 분석하였다. 매장방법에 따라 그 손상 형태와 정도가 다르다고 보고하였으며 조직에 따라서는 유의한 차이가 없었다고 하였다. Bresee and Goodyear(1986)은 자연 퇴화된 오래된 견섬유의 절단면을 전자현미경을 사용하여 분석한 결과 실험실에서 열이나 빛에 의하여 급속히 퇴화시킨 실크섬유와 비교하여 훨씬 복잡한 절단 메카니즘을 나타냈다고 하였다. 일반적인 견섬유와는 달리 오랜 시간 퇴화한 견직물은 여러 가지 손상 메카니즘이 복합적으로 나타나는 경우도 있었고 가장 많이 나타나는 절단은 피브릴 간 결합력의 저하로 절단이 일어나는 경우라고 하였다.

오래된 유물의 손상은 보관된 환경에 따라 다양한 힘에 의해 다양한 형태로 섬유의 절단이 일어날 수 있으며 땅속에 오랜 기간 묻혀 있던 유물들은 또 다른 형태의 절단 모습을 보여줄 가능성도 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 여주박물관 소장의 창녕조씨 유물, 서울 신내동 무연고묘 유물, 그리고 경남 사천시에서 발굴된 무연고묘의 견직물 유물에서 탈락된 섬유들을 대상으로 주사전자현미경 촬영을 하여 출토 견섬유의 손상 형태를 분석하고, 다른 조건에서의 견섬유 퇴화 유형과 비교하여 그 차이점을 분석하였다.

본 연구를 통하여 견섬유의 퇴화를 잘 이해하고 이를 바탕으로 출토유물의 보존처리 및 보수 시 세탁, 손질 등 유물에 가급적 손상을 최소화 할 수 있는 개선된 방법을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

II. 연구방법

본 연구에서는 오랜 기간 동안 땅속에 매장되어 있었던 견섬유가 어떠한 손상 형태를 나타내는지 알아보기 위하여 17~18세기의 출토직물에서 채취한 섬유들을 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy, Mira II, Te-

scan)으로 관찰하고 그 결과를 분석하였다.

대부분의 출토직물은 오랜 시간 관내에서 물리화학적 열화 과정을 겪어 손상된 상태로 출토된다. 경기도 여주군의 여주박물관에 소장되어 있는 원주원씨(원익손 1722~1783)의 부인 창녕조씨 유물, 서울 신내동 무연고묘 유물(18세기), 그리고 경남 사천에서 발굴된 무연고묘(17세기 초~중반으로 추정)의 견직물도 미이라와 함께 손상된 채로 발굴, 수습되었다. 유물들은 각각 다른 시기에 발굴되었으며, 수습한 이후에 보존처리가 이루어질 때까지의 보관상태도 상이하였다.

신내동 유물은 2007년 서울 강북권역 택지개발사업의 일환으로 이루어진 발굴조사 과정에서 수습되어, 젖어있는 상태로 저온에서 수개월간의 미처리 상태로 보관되어 오다가 2008년에 보존처리를 위해 인수된 상태였으며, 창녕조씨 유물은 2010년 5월 후손이 묘를 이장하는 과정에서 수습하여 원주박물관에 거품한 상태로 상온에서 보존처리하지 않은 채 보관되던 것을 2011년에 3월 보존처리를 위해 인수한 유물이다. 사천시 무연고 유물은 2011년 10월에 발굴된 조선시대 회곽묘에서 미이라와 함께 나온 유물을 2011년 12월 해포하고 보존처리 작업을 진행한 것이다.

유물을 인수한 이후에는 적절한 과정을 거쳐 보존처리를 행하였다. 신내동 유물은 출토 당시에도 유물의 상태가 좋은 편은 아니었고, 젖은 채로 수개월간 방치되어 있었기 때문에 출토 직후의 상태에 비하여 유물의 손상이 많이 진행되었을 것으로 사료된다. 또한 유물에서 종류의 발생도 관찰되었기에 급급한 처리가 요구되는 상황이었다. 보존처리를 위하여 필요한 사전조사 과정을 거친 후, 습식세척을 해도 추가 손상이 없을 정도의 유물에 대하여 물세척 과정을 거쳐 오염물을 제거하였으며, 건조 과정에서 유물의 형태를 바로잡아 주었다. 창녕조씨 유물은 수습 후의 유물상태가 매우 건강하였으며 솔기의 뜰어짐 외에는 직물의 손상이 별로 없어 보이는 상태였다. 또한 수습된 후 거품하여 보관하였기에 수분에 의해 추가적인 손상도 덜 일어났을 것으로 추측된다. 이 유물도 물세척하여 오염성분을 제거하고 유물의 형태를 바로잡아 주는 손질을 하였다. 경남 사천시 유물은 발굴 후 미이라에 입혀진 채로 의대 해부학교실 시신보관고에 2개월간 보관되어 있던 것을 해포한 이후에 냉장 보관하며 보존처리 작업을 하였다.

이처럼 출토시기도 다르고, 출토 당시의 유물상태 및 보관상태도 상이한 조건의 건섬유들을 조사함으로써 다양한 형태의 손상 형태를 관찰할 수 있을 것으로 기대

하였다.

유물에서 채취한 섬유들을 전자현미경으로 관찰하는 작업은 각 유물별로 수개월간의 보존처리 과정과 조사가 진행되는 동안, 그와 병행하여 진행하였다. 다만 보존처리 시의 세척 과정에 의하여 섬유의 추가적인 손상 및 변형이 일어날 수 있다는 점을 고려하여, 세척하기 전의 유물에서 섬유를 채취하여 형태를 관찰하였다.

관찰시료는 각 유물에서 작은 조각으로 떨어져 나와 원래 위치를 알기 어려운 직물 편을 유물별로 5~7개씩을 채취하였으며, 이 시료들을 관찰하여 손상이 발견된 부위를 찾아 시료당 10~15매의 사진을 촬영하고, 그 결과 공통적으로 많이 나타나는 형태를 비교 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

본 연구를 통해 17~18세기의 분묘에서 출토된 건섬유들을 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 이들의 손상 형태를 brittle fracture, granular fracture, ductile fracture, tensile fatigue, flex fatigue, fibrillation, bacterial deterioration의 7가지로 분류하였고, 이를 Morton and Hearle (2008)의 섬유 손상 형태 분류방법에 근거하여 인장력에 의한 손상(tensile fracture; brittle fracture, granular fracture, ductile fracture), 피로에 의한 손상(fatigue failure; tensile fatigue, flex fatigue, fibrillation), 미생물에 의한 손상(bacterial deterioration), 그리고 두 가지 이상의 손상 유형이 동시에 발견되는 복합적인 원인에 의한 손상 형태의 4가지 유형으로 범주화하였다.

1. 인장력에 의한 손상(Tensile fracture)

1) Brittle Fracture

Morton and Hearle(2008)의 섬유 절단면 연구에서 제시한 첫 번째 유형은 인장력에 의한 파손(tensile fracture)으로서 <Fig. 1>에서와 같이 7가지 손상 형태로 세분화된다. 세분화된 형태 중에서 brittle fracture는 섬유가 딱딱해지면서 횡단면으로 손상이 전파되어 잘려나가는 형태이다(type 1, 5). 이와 유사한 손상 형태가 신내동과 사천시 출토유물에서도 나타났으며, 섬유의 축에 수직 방향으로 미세한 크랙(transverse crack)이 다수 발견되었다. 수백 년간 땅속에서 젖은 상태로 퇴화가 진행되던 건섬유들이 출토되면, 세척 후에 보존처리 과정을 거쳐 건조된다. 출토 시에 비교적 건강한 상태로 보이는 직물이더라도, 갑작스러운 환경의 변화에 쉽게 대응하지

Fig. 1. Classification of fiber ends.

Tensile fracture: (1) brittle fracture; (2) ductile fracture, (2a) modified form (light-degraded nylon); (3) high-speed break in melt-spun fiber; (4) axial split; (5) granular failure; (6) independent fibrillar failure; (6a) fibrillar break into fibrils collapsed onto free end; (7) stake-and socket break.

Fatigue failures: (8) tensile fatigue; (9) flex fatigue kink-band; (10) flex fatigue-split; (11) multiple split-bend and twist fatigue; (12) surface wear; (13) peeling and splitting; (14) rounding.

Other forms: (15a, b) transverse pressure, (a) mangled, (b) localized; (16) sharp cut; (17) melt; (18) natural fiber ends, e.g., (18a) cotton tip.

From Morton and Hearle. (2008). p. 510.

못하여 이러한 손상이 발생할 수도 있고, 출토 후 보존 처리 이전에 거품하여 건조시키는 과정에서 급속하게 섬유들이 딱딱해지거나, 또는 세척 후에 단시간에 걸친 건조 과정을 거치게 되면서 딱딱해져 손상되기도 한다. 이러한 섬유들에 미세한 크랙이 생기고 쉽게 전파되어 횡단면의 전체적인 절단 현상이 발생할 수 있다.

2) Granular fracture

<Fig. 2>에서는 횡단면으로의 매끈한 절단 형태가 보이는데 이는 습한 상태로 있던 섬유들이 빠른 속도로 건조되며 딱딱해진 섬유들에 스트레스가 한곳에 집중되며 절단된 형태이며, <Fig. 3>에서는 <Fig. 2>와 달리

Fig. 2. Brittle fracture of silk fibers (Shinnae-Dong).

Fig. 3. Granular failure of silk fibers (Sacheon).

횡단면이 입상의 절단 현상(granular fracture)을 보여주고 있다. 이러한 크랙은 피브릴 간의 결합력이 점차적으로 느슨해지는 것이 그 원인이라 할 수 있으며, 매끈한 절단면이 아닌 거친 면으로 절단되는 형태를 나타내고 Bresee and Goodyear(1986)는 이러한 손상은 젖은 상태로 존재했던 견섬유에서 주로 보이는 형태라고 하였다.

Brittle fracture와 granular fracture 두 가지 유형의 손상은 모두 미세하게 섬유 횡단면으로 크랙이 생기는 형태이며, 이러한 크랙이 생긴 섬유는 추후에 유물을 이동하거나 다룰 때 매우 작은 장력에도 쉽게 끊어져 예기치 않은 큰 손상을 입게 될 것임을 예측할 수 있다.

3) Ductile fracture

또 다른 tensile fracture에 의한 손상 중에서 ductile fracture(type 2, 2a) 유형은 인장에 의한 절단면의 형태를 나타내고 있으며 장력에 의해 잡아당겨진 섬유가 절단

Fig. 4. Ductile fracture of silk fibers (Shinnae-Dong).

Fig. 5. Silk fibers stored in water for 51 weeks.
From Lee et al. (2001). p. 624.

된 경우이다. <Fig. 4>는 신내동 유물에서 섬유 내부까지 전체적인 손상이 일어나 거의 스펀지화되어있던 상태에서 약간의 잡아당겨진 힘에 의해서도 쉽게 절단된 형태를 나타내고 있다. 이는 습한 땅속에서 유물이 오랜 기간 팽윤된 상태로 약화된 채로 존재하다가 출토되는 과정에서 힘을 받아 손상된 경우로 사료된다. 이를 뒷받침할 수 있는 선행연구(Lee et al., 2001)에서 비슷한 유형의 손상 형태가 발견되었는데, 51주 동안 물속에서 퇴화가 진행된 견섬유의 손상 형태인 <Fig. 5>는 <Fig. 4>와 유사하게 스펀지화된 섬유의 내부를 보여주고 있다.

2. 피로에 의한 손상(Fatigue failure)

1) Tensile fatigue

<Fig. 6>의 원주 출토 견섬유는 <Fig. 4>에서와 같이 섬유 내부까지 손상된 상태는 아니지만 반복적인 장력

에 의해 손상된 tensile fatigue(type 8)의 형태를 보여주고 있다. Bresee and Goodyear(1986)의 연구에서 최근의 견섬유에서 보여지는 손상의 50% 정도가 이러한 형태의 손상이라 한 것으로 보아 비교적 손상이 덜 일어난 출토섬유에서 보이는 손상 형태인 것으로 사료된다.

2) Fibrillation

모든 유물에서 가장 많이 나타나는 손상 유형은 세섬유화(fibrillation)이다. 세섬유화는 물에 팽윤된 섬유에 물리적인 힘이 주어졌을 때 피브릴이 벗겨져 나오는 것이다(Nemec, 1994). 오랜 시간에 걸쳐 지하환경에서 물에 잠겨 팽윤되어 있던 견섬유는 섬유의 축 방향과 평행으로 가늘게 피브릴들이 갈라지는 형태로 손상되어 있었다. 손상되어 있는 모든 유물에서 퇴화가 시작되는 비교적 초기에 분리되기 시작하는 단계부터 심하게 섬유 종축이 갈라져 있는 정도까지 다양하게 관찰되었다.

<Fig. 7>~<Fig. 9>에서와 같이 점차적으로 정도가 심해지는 세섬유화 현상은 최종적으로 축 방향으로의 섬유 분해로 이어질 것으로 예측할 수 있다. Morton and Hearle(2008)의 도식화된 손상 유형과 비교하면 type 4의 섬유 축 방향으로의 쪼개짐(axial split) 현상과 가장 유사한 형태로 나타나는 손상이지만, 유물의 경우에는 인장력이 원인이 아닌 자연적인 침수로 인한 팽윤과 물리적인 힘의 작용이 원인이 된다는 점에서 차이가 있다. 선행연구(Lee et al., 2001)에서 땅속에 51주간 묻어두었던 견섬유의 손상 형태로 출토유물에서와 유사한 세섬유화 현상을 보여주고 있다(Fig. 10). 이처럼 세섬유화는 단 51주만의 매장환경에서도 세섬유화가 시작되어 섬유의 손상이 일어나고 있는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 6. Tensile fatigue of silk fibers (Wonju).

Fig. 7. Fibrillation of silk fibers (Wonju).

Fig. 9. Fibrillation of silk fibers (Shinnae-Dong).

Fig. 8. Fibrillation of silk fibers (Sacheon).

Fig. 10. Silk fibers stored under the ground for 51 weeks.
From Lee et al. (2001). p. 624.

섬유의 굴곡에 의한 손상은 오랜 기간 동안에 굴곡되는 힘을 지속적으로 받고 있던 부분에서 섬유가 절단되는 것으로 관찰되었다. 출토직물은 수백 년간 관내에서 차곡차곡 접혀진 상태로 압력을 받게 되며, 이때 굴곡되는 부분의 섬유들은 매우 큰 힘을 장기간에 걸쳐 받게 되며, 이 부분은 약간의 힘에도 쉽게 손상될 수밖에 없다. 이 결과는 유물을 세척한 후 수장고에 보관하거나 전시실에 진열할 때 접히는 부분을 되도록 적게 해야 유물의 강도 저하를 방지할 수 있음을 시사하는 것이다. 실제로 출토직물에서 접혀있던 부위의 인장강도

를 측정된 결과, 유사한 구조의 표준 견직물과 비교했을 때 강도 보유율이 6%에 불과하다는 실험결과(Bac & Lee, 1999)로 접힘 부분에서의 섬유 강도가 매우 취약하다는 것을 알 수 있다.

3) Flex fatigue

<Fig. 11>은 굽혀진 섬유 부분에서 피로에 의해 섬유가 절단된 형태로 Morton and Hearle(2008)의 도식화 모형 중 flex fatigue(type 9)와 흡사한 형태를 나타내고 있다. 오랜 기간에 걸쳐서 접혀져 있던 섬유는 굽힘에 대한 피로도가 커져서 약간의 힘에도 쉽게 부러진다는 것을 알 수 있다. <Fig. 12>에서도 굽혀져 있던 섬유들이 절단되어 있는 것을 볼 수 있다. 이처럼 섬유가 굽혀져 있는 상태는 유물이 접혀진 부분에서 특히 많이 관찰되

는데, 이처럼 유물의 접힌 부분은 구조적으로 취약한 상태를 인지하고 다룰 때에는 각별히 유의하여 갑작스러운 큰 힘이 가해지지 않도록 주의할 기울여야 한다.

Fig. 11. Flex fatigue (Sacheon).

Fig. 12. Bending fracture (Wonju).

Fig. 13. Bacteria on silk fibers (Shinnae-Dong).

3. 균류에 의한 손상(Bacterial deterioration)

모든 유물에서 볼 수 있는 손상형태는 아니지만, 출토유물에서 발견된 특이한 유형으로서 균류에 의한 손상이 확인되었다. 여주와 사천시의 유물에서는 확인되지 않았지만 서울 신내동 유물에서 관찰된 균류에 의한 피해는 섬유 전체에 걸쳐서 미세한 구멍을 뚫으로써 섬유가 약화된 것을 확인할 수 있다. 유물이 처해 있던 환경은 매우 습하며 영양분을 충분히 가지고 있는 시신과 함께 부패되는 지하환경이기 때문에 다양한 종류의 호기성, 또는 혐기성 세균들이 존재한다(Lee et al., 1999). 신내동 유물에서는 다른 유물에서 발견되지 않은 균류가 촬영되었으며<Fig. 13>, 섬유에 존재하고 있던 균의 종류가 출토 이전부터 존재한 것인지, 출토 후에 오염된 것인지는 확실치 않으나 섬유의 손상 정도로 보아 균류에 의한 손상은 출토되기 전에도 존재했던 것으로 생각된다.

신내동 유물은 출토 이후에 즉시 보존처리한 것이 아니며, 다른 두 곳의 유물과는 달리 젖은 채로 수개월간 냉장고에서 보관되었던 유물이다. 따라서 이미 관내에서 미생물의 침해로 인해 피해를 입기 시작했던 섬유들이 출토 후 산소가 풍부한 지상환경에서 젖은 상태로 냉장 보관되었던 수개월 동안 활발해진 미생물의 활동으로 피해가 가중되었으리라는 것을 짐작할 수 있다. <Fig. 14>에서 볼 수 있는 것처럼 섬유의 표면이 마치 균의 분비물에 의하여 용해된 것과 같은 심각한 손상이 진행된 것을 발견할 수 있다. 아마도 출토 직후에는 미생물에 의한 피해가 심각하지는 않았을지라도 보관 시에 추가적인 손상이 많이 진행되었을 것으로 사료된다.

출토유물은 대부분 부패된 시신과 함께 젖은 상태로

Fig. 14. Bacterial degradation of silk fibers (Shinnae-Dong).

발굴된다. 이러한 상태의 유물은 빠른 시간 내에 세척 과정을 거쳐 오염물을 제거하는 것이 추가적인 손상을 방지하는 차원에서 바람직하다. 그러나 한 기의 분묘에서 수습되는 유물이 50~60여점에 이르는 많은 양이 한꺼번에 출토되면 모든 유물을 신속하게 보존처리하는 작업을 진행하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 한꺼번에 많은 유물을 처리하기 어렵기 때문에 거품하고 훈증처리하여 미생물의 활동을 차단하면서 시간을 두고 보존처리를 하는 경우도 있고, 비교적 신속하게 보존처리가 이루어질 수 있는 상황이라면 냉장고에 저온 보관하면서 오염물을 제거하는 방법으로 보존처리를 진행하기도 한다.

두 가지 방법 모두 추가적인 손상을 완벽하게 피하기는 어려울 것이다. 거품을 하거나 훈증처리를 한 후 세척하는 경우 오염제거가 어려워지는 단점이 있다. 반면 젖은 상태로 보관하면서 세척작업을 진행하면 오염제거가 비교적 용이하다는 장점이 있어서 냉장 보관을 한 채로 보존처리 작업을 진행하는 경우가 있으나, 이처럼 장기간의 냉장 보관 시에 유물에 미생물의 침해가 가중된다면 냉장 보관을 하는 방법 또한 안전하다 할 수 없다.

4. 복합적인 원인에 의한 손상

이상과 같이 견섬유의 매장환경에서 나타난 손상 형태는 몇 가지 특정한 유형을 나타내는 것으로 관찰되었다. 하지만 3기의 분묘에서 출토된 시료를 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 섬유의 매장환경에서의 퇴화에 의한 손상 유형은 한 가지 요인으로 인해 발생하기도 하지만 동시에 여러 가지 조건에 의해 복합적으로 발생하기도 한다는 것을 발견하였다.

<Fig. 2>에서는 세섬유화가 일어난 섬유에서 역시 인장이나 굴곡의 힘이 약간만 작용하더라도 쉽게 끊어지는 현상을 발견할 수 있었다. 또한 <Fig. 14>에서는 균류에 의하여 손상이 시작된 섬유가 약간의 힘으로 굴곡이 발생하거나 잡아당겨졌을 때 쉽게 부러져버린 것을 볼 수 있다. 이처럼 섬유의 손상이란 한 가지 요건에 의해서 일어난다기보다는 다양한 퇴화 조건이 동시에 작용하면서 복합적으로 손상이 일어난다는 것을 알 수 있다.

출토유물은 다른 유물과는 달리, 보존처리하지 않고 보관할 수 있는 유물이 아니다. 심하게 오염되어 있고, 젖어 있는 상태로 출토되기 때문에 반드시 적절한 보존처리 과정을 거쳐야 형태를 유지할 수 있고, 오랫동안 보존시킬 수 있는 유물이다. 그러나 건강해 보이는 유물이라 할지라도 내부상태는 위의 주사전자현미경 사진에서와 같이 많은 손상이 진행된 상태이기 때문에 처리 시에, 그리고 처리 후에도 각별한 관리상의 주의를 요한다.

IV. 결 론

17~18세기의 출토직물에서 채취한 견섬유의 손상 형태를 주사전자현미경으로 분석한 결과 7가지 유형의 손상 형태를 발견하였으며 이를 Morton and Hearle(2008)의 손상형태 분류에 근거하여 4개의 카테고리 분류하였다.

인장력에 의한 손상 형태에서 brittle fracture는 견섬유들이 출토 후 갑작스러운 환경 변화에 의해 발생하거나, 거품하여 건조시키는 과정 또는 세척 후의 건조 과정에서 딱딱해져 손상된 것이다. Granular fracture는 피브릴 간의 결합력이 점차적으로 느슨해지는 것으로서 절단면

이 거친 특성을 나타내며, ductile fracture는 장력에 의해 잡아당겨진 섬유가 절단된 경우로서, 오랜 기간에 걸쳐 손상이 진행된 섬유는 매우 약한 장력에도 쉽게 절단될 것으로 예측할 수 있다.

피로에 의한 손상 형태는 반복적인 장력에 의해 손상을 tensile fatigue, flex fatigue, axial split(fibrillation)의 형태로 나타났다. 또한 오랜 시간 물속에서 팽윤되어 있던 견섬유의 fibrillation은 인장력이 원인이 아닌 자연적인 침수로 인한 팽윤과 물리적인 힘의 작용이 원인이 된다는 점에서 Morton and Hearle(2008)의 유형분석과 차이가 있다. 굽혀져 있던 부분에서 피로에 의해 섬유가 절단된 형태로 나타나는 flex fatigue는 굽힘에 대한 피로도가 대단히 크다는 것을 의미한다.

균류에 의한 손상은 출토유물에서 발견된 특이한 유형으로 섬유 전체에 걸쳐서 미세한 구멍을 뚫으므로 섬유를 약화시킨다. 매장환경에서 활동하던 균들은 산소가 풍부한 지상으로 나오면 활동이 더 활발해질 가능성이 크므로 신속한 처리를 함으로 추가적인 유물의 손상을 최소화하는 것이 중요하다.

섬유의 매장환경에서의 퇴화에 의한 손상 유형은 다양한 퇴화 조건이 동시에 작용하면서 복합적으로 발생하였다. 세섬유화가 일어난 섬유에서 인장이나 굴곡의 힘이 작용하여 손상된 형태, 균류에 의한 손상과 굴곡이나 인장의 힘이 동시에 주어져 손상된 형태 등을 발견할 수 있었다.

출토유물은 오랜 기간에 걸친 매장에 의해 심하게 오염되어 있는 경우가 대부분이고, 열악한 환경에 의해 손상된 상태로 발굴된다. 따라서 반드시 적절한 보존처리 과정을 거쳐야 형태를 유지할 수 있고, 오랫동안 보존시킬 수 있는 유물이다. 출토유물은 부패된 시신과 함께 갇힌 상태로 발굴되기 때문에 가능한 빠른 시간 내에 세척 과정을 거쳐 오염물을 제거하는 것이 추가적인 손상을 방지하는 차원에서 바람직하다.

손상의 흔적이 보이지 않는 비교적 건강한 상태의 유물이라 할지라도 내부상태는 위의 연구결과와 같이 이

미 구조적으로 많은 손상이 진행된 상태이기 때문에 유물조사 과정, 보존처리, 보수, 전시 및 보관 등 유물에 손상을 줄 수 있는 여러 가지 작업을 진행할 때 각별한 주의를 환기시키고, 이러한 작업을 통해 소중한 문화유산을 후대에 오랫동안 남겨주는 데에 기여할 수 있기를 기대한다.

References

- Ahn, C. S. (1998). Analysis of morphological degradation examined on bast fibers of archaeological textiles. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 22(6), 679–690.
- Bae, S. W., & Lee, M. S. (1999). A study on the scientific conservation of buried-fabrics from old tombs. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 23(7), 987–997.
- Bresee, R. R., & Goodyear, G. E. (1986). Fractography of historic silk fibers. In M. J. Comstock (Series Ed.) & H. L. Needles, S. H. Zeronian (Vol. Ed.), *Advanced in chemistry series: Vol. 212 Historic textile and paper material* (pp. 95–109). Washington DC: ACS.
- Lee, M. S., Park, M. J., Bae, S. W., & Lee, Y. H. (1999). Analysis of buried-fabrics from the tomb of Kim Heumjo by physical, chemical and biological method. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 23(6), 809–819.
- Lee, M. S., Hong, M. K., Kim, E. K., & Bae, S. W. (2001). Effect of storage conditions on the color and the mechanical properties of fabrics dyed with natural dyes. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 25(3), 617–628.
- Morton, W. E., & Hearle, W. S. (2008). *Physical properties of textile fibres* (4th ed.). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Nemec, H. (1994). Fibrillation of cellulosic materials - Can previous literature offer a solution? *Lenzinger Berichte*, 9/94, 69–72.
- Tímár-Balázsy, Á., & Eastop, D. (1998). *Chemical principles of textile conservation*. Oxford: Burrellworth-Heinemann.