

6. 강도저하

- 유통보관이나 소비자 사용시에 섬유제품에 일광, 산, 알칼리 등의 화학작용 또는 곰팡이나 박테리아와 같은 미생물의 작용이 가해진 경우, 그 작용이 강하거나 또는 약하더라도 장기간에 걸쳐 계속되면, 변퇴색이 발생하고 동시에 섬유의 강도가 저하됨.

6.1 화학작용에 의한 강도저하

- 섬유의 강도열화에 의한 사고는 소비자의 착용 및 세탁시에 구멍이나 찢어짐으로 발견되는 경우가 많음.
- 강도열화는 대부분의 경우 화학작용에 의한 고분자 주쇄의 분열에 의해서 일어나고, 기본적으로는 앞서 염색이상에서 언급한 고분자의 화학손상 중 주쇄의 분열을 동반하는 화학손상의 메커니즘과 일치함. 그 화학작용이 특히 강하게 작용하거나 장기간에 걸쳐 작용이 계속되면 강도저하 현상이 나타나게 됨.

□ 해석과정의 개요

(1) 강도저하를 촉진시키는 화학작용과 섬유와의 관계

<표 6-1> 섬유의 종류와 고분자 주쇄를 분열시키는 화학작용

섬유	고분자 주쇄를 분열시키는 작용
셀룰로스계	산(특히, 불휘발성의 산)에 의한 셀룰로스 주쇄의 가수분해 천이금속 및 중금속에 의해 산화 촉매작용을 수반하는 강한 산화
양모	알칼리에 의한 단백질의 분해 박테리아나 곰팡이 같은 미생물에 의한 단백질의 효소분해 곤충 및 유충에 의한 식해(食害)
나일론	산에 의한 아미드결합의 가수분해
폴리에스터	장기간에 걸친 일광노출에 의한 에스테르결합의 분열 유기 아민에 의한 에스테르결합의 가수분해와 아미드화

(2) 소비자의 생활에서 취화의 원인이 되는 작용 및 화학제품의 특성

<표 6-2> 일상생활에서의 취화 원인

취화작용의 종류		구체적인 예
산화	화학약품	산화표백제
	일광 + 습기	식사 일광에 항상 노출되는 방 세탁후 일광건조 및 땀에 젖은 식사일광 하에서의 작용
	산화촉매	습기로 천이금속이나 중금속이 용출하는 금속장식품 의복에 부착한 철분 녹
산	화학약품	배터리액(황산), 금속녹 제거제, 화장실 세제
알칼리	인체(단백질)에 대한 작용이 강하기 때문에 생활 화학제품 중에 강알칼리의 것은 적음	
효소	미생물, 세제	곰팡이 및 박테리아, 단백질 분해효소를 함유한 세제
기타	곤충과 유충	양모를 갉아먹거나, 물어뜯음에 의한 열화

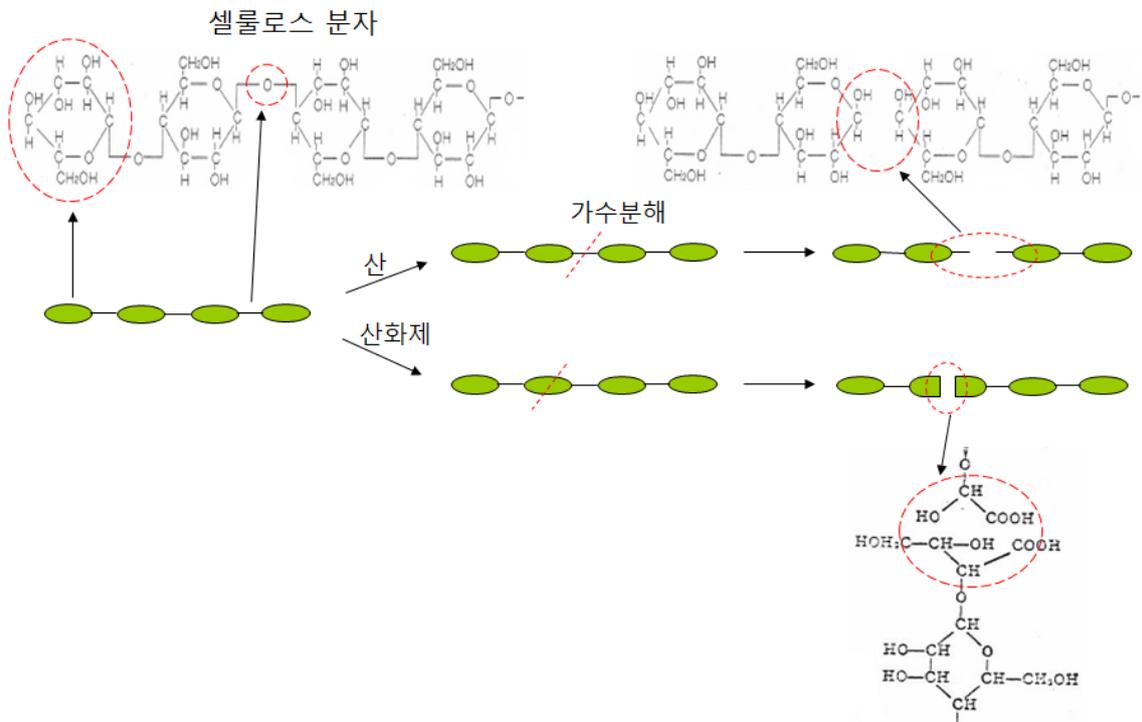
(3) 혼방 및 교편(交編), 자수 등 여러 종류의 섬유가 공존하는 경우 어느 종류의 섬유가 취화했는지를 파악해서 작용 원인을 유추

(4) 염색가공 공정에서 사용되는 일반적인 약제의 화학작용

이상의 관점에서 추정된 원인을 바탕으로 취화된 섬유를 시료로 하여 확증을 위한 화학분석을 하는 것이 일반적인 해석과정임.

○ 셀룰로스계 섬유

- 면과 같은 셀룰로스계 섬유는 산에 의해 용이하게 가수분해되어 주쇄가 분열하고 취화됨.
- 산화의 경우 보통 주쇄의 분열보다는 관능기의 산화를 유발하지만 천이금속이나 중금속의 촉매작용에 의해 산화과정이 촉진 된 경우 취화를 발생시킬 수 있음.
- 과거에는 비스코스 레이온에 잔류유황이 산화되어 강도열화를 일으킨 경우도 있었음.



<그림 6-1> 셀룰로스 주쇄의 취화

• 사례 (1)

리오셀 원단의 양복을 드라이클리닝 하였더니 앞부분 몇 곳에 작은 구멍이 났음.

• 해석과정 (1)

- 자동차 배터리를 교환하거나 액 보충시 배터리액(황산수용액)이 의복에 부착하여 가수분해를 일으켜 취화된 경우. 셀룰로스계 섬유에서 산에 의한 가수분해 취화의 전형적인 사례
- 하리손 시험에서는 구멍 주위를 따라 가수분해에 의한 알데히드의 생성을 나타내는 흑색의 정색이 인지되었음.
- 이와 같이 클리닝 후에 사고현상이 발견된 경우, 배터리액의 성분인 황산은 유실되므로 화학분석에 의한 검출은 불가능한 경우가 대부분임. 이 사례에서 '구멍이 앞부분에 있다는 점', 또 '소비자가 주유소에서 일하며, 이 양복을 입고 작업을 한 적이 있다'는 것이 사용상황 조사에서 입수되었다는 점에서 원인이 배터리액이라고 추정된 것임.

• 사례 (2)

여름철 흰색 면 니트 티셔츠에 목걸이를 부착하고 착용한 바, 세탁시 마다 목걸이와의 접촉부의 원단이 얇게 되면서 나중에는 구멍이 생겼음. 더군다나 산화표백은 하지 않았음.

- 해석과정 (2)

- 땀에 의해 목걸이로부터 금속이 용출하고, 더욱이 일광에 의해 산화작용을 받았을 때 용출한 금속이 산화촉매로서 작용한 것으로 추정됨. 구멍이 생긴 부분은 하리슨 시험에서 짙은 흑색으로 정색되었음. 그러나 턴블블루 시험에서 청색의 정색은 인지되지 않음. 경험상으로는 주쇄의 분열로 구멍으로까지 진행된 산화 셀룰로스는 세탁시에 유실되기 때문에 턴블블루 시험에서 정색을 인지한다는 것은 곤란함. 또한 산화촉매로서 작용한 금속도 세탁시에 유실되기 때문에 원단 상에서의 검출은 불가능

- 나일론

나일론은 강한 산이나 장시간에 걸친 산의 작용에 의해 주쇄의 아미드결합이 가수분해를 받고 분열하여 쉽게 강도저하를 초래한다는 것이 알려져 있음.

- 사례

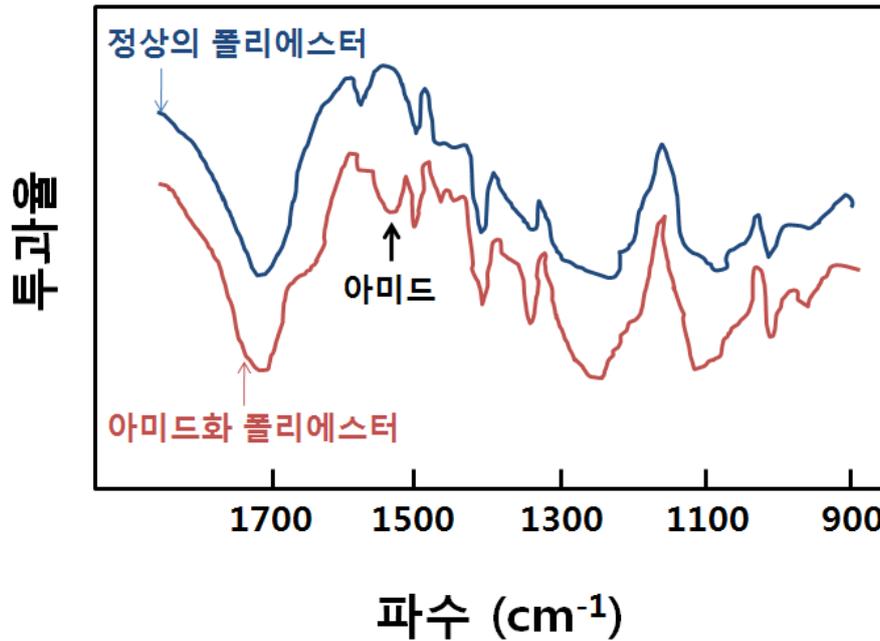
오펀가공(opal finishing) 한 외국산 니트 커튼을 클리닝하였을 때, 오펀가공한 부분에 사절이 생기고 찢어짐. 이 제품은 레이온 필라멘트사와 나일론 필라멘트사를 사용한 니트 원단임. 이 원단의 레이온을 무늬의 형태로 용해하고 나일론만을 남긴 것인데, 이 부분의 나일론의 강도가 저하되었음.

- 해석과정

무늬부분의 나일론만이 로다민 B 염색시험에서 농색으로 염색됨. 따라서 오펀가공에서 레이온 용해에 산이 사용되었고, 그 산이 나일론도 가수분해하여 강도를 저하시켰다고 추정

- 폴리에스터

폴리에스터는 원래 화학적으로 매우 안정하고, 강도열화로 결부되는 작용이 적고, 취화사고 사례도 적음. 그러나 장기간에 걸친 일광노출 하에서는 취화되는 경우가 있음. 또한 섬유내부로 확산 흡착한 유기아민에 의해 에스테르결합이 서서히 가수분해를 일으켜 강도가 저하되는 경우가 있음. 결과적으로 프탈산과 유기아민의 아미드가 생성. 검출은 FT-IR에 의해 아미드기에 의거한 흡수피크의 검출로 행함.



<그림 6-2> 유기아민에 의해 아미드화한 폴리에스터의 적외분광 스펙트럼

• 사례 (1)

호텔에서 7년간 사용한 폴리에스터 커튼 레이스가 찢어짐.

• 해석과정 (1)

특히 일광이 잘 쬐인 부분의 강도가 저하되었음. 그 부분과 일광이 닿지 않고 강도도 저하하지 않은 부분을 보켄 스테인(Boken stain)으로 동육에서 염색함. 취화되지 않은 부분은 황색(분산염료)으로 염색되고, 취화된 부분은 적색(염기성 염료)으로 염색됨. 더욱이 일광에 닿았던 표면은 이면보다 농색으로 염색됨. 일광에 의해 에스테르결합이 분열하고 카복시기가 생겼기 때문이라고 추정

• 사례 (2)

점포에 진열되어 있던 면/폴리에스터의 교직 니트를 착용하였는바, 팔꿈치와 어깨의 당김을 받는 부분에서 편성 올의 풀림이 발생

• 해석과정 (2)

- 관찰하였을 때, 편성올이 풀린 부분에서는 폴리에스터 실의 일부가 절단되어 있었음. 더욱이 모든 장소의 폴리에스터섬유에 강도저하가 관찰되었고 면에서는 강도저하가 전혀 관찰되지 않음. 또한 면에 대해 하리손 시험 및 턴블 블루 시험을 해보아도 화학손상은 없었음.
- 취화된 폴리에스터에 대해서 FT-IR 측정을 한 바, 아미드의 생성을 나타내는 흡수피크가 인지됨. 이상으로부터 유기아민에 의한 폴리에스터의 취화라고 생각되었으나 이 유기아민이 어떤 약제인가는 분명하지 않음.

○ 양모

양모는 산화 및 알칼리에 의한 화학손상으로 강도저하가 일어난다는 것이 알려져 있지만 경험상으로는 소비자 사용시 산화 및 알칼리에 의한 열화사고의 사례는 거의 없음. 양모는 일반적으로 고급품에 사용되므로 소비자의 취급에서도 주의를 하기 때문이라고 생각됨.

6.2 효소세제에 의한 강도저하

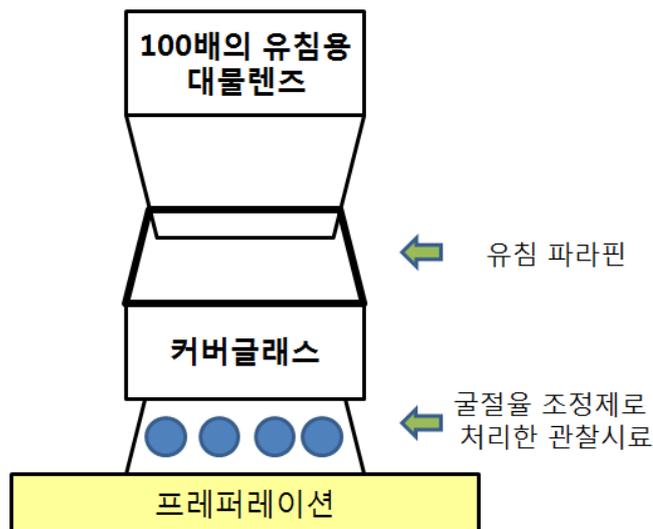
- 양모에 대한 취화사고의 대부분은 단백질 분해효소가 들어있는 세제에 의한 방축 양모의 취화, 미생물에 의한 열화, 곤충이나 유충에 의한 구멍 및 섬유절단 등임.

6.3 박테리아 및 곰팡이에 의한 강도저하

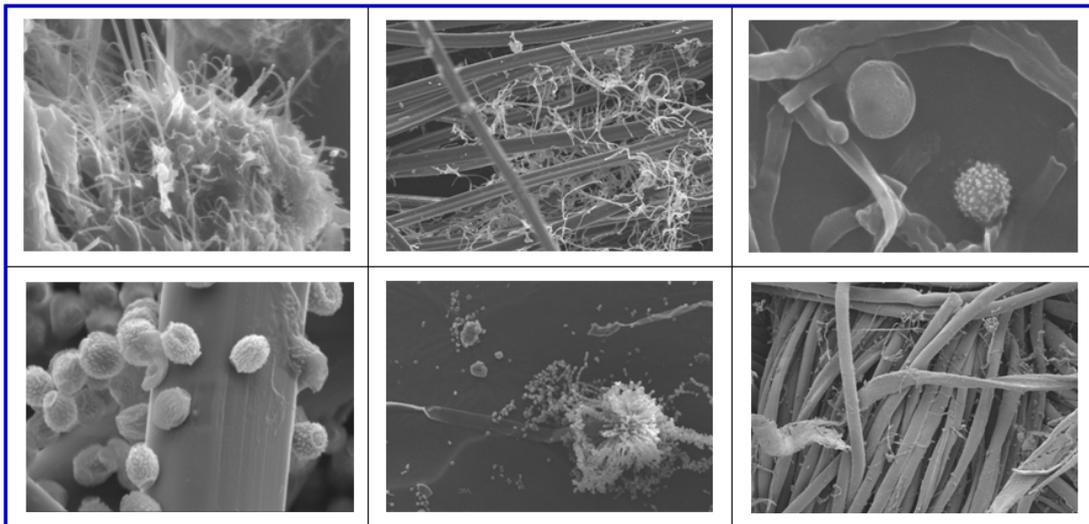
- 곰팡이나 박테리아는 신진대사의 배출물로서 염기성 색소를 배출하고, 블랙라이트 관찰에서 콜로니(colony)가 황색 및 청백색의 형광을 나타내는 것을 관찰할 수 있음. 양모가 미생물에 의해 취화된 부분은 키톤 레드 G로 염색되고, 잘게 갈라진 형태로 손상된 것이 관찰됨. 한편 곰팡이나 박테리아는 양모 이외에도 천연물질이라면 어디서라도 번식할 수 있는데, 따라서 때로는 면이나 레이온 섬유상에 잔류한 전분 호료에서도 발생하는 경우가 있음.
- 곰팡이나 박테리아는 전자현미경을 사용하면 직접 관찰할 수 있음. 곰팡이는 200~400배 배율의 광학현미경으로 관찰이 가능하지만 박테리아의 경우는 아래의 순서에 따라 시료를 조절한 후 현미경관찰을 해야 함.

◎ 박테리아의 현미경 관찰을 위한 전처리

- ① 섬유상의 박테리아를 프레퍼레이션 위에서 피크로-아닐린블루(picro aniline blue) 염색액으로 염색한(상온에서 10분) 후, 세정, 건조
- ② 관찰시료를 인산트리크레실(tricresyl phosphate) 등의 굴절을 조정제로 처리하고 1,000배의 배율로 유침(油浸) 관찰을 한다. 관찰법의 개요는 <그림 6-3> 과 같음. 한편 유침 관찰시에는 렌즈배율 100배의 유침 전용 대물렌즈를 사용하여야 함.



<그림 6-3> 현미경관찰에서의 유침법



<그림 6-4> 전자현미경으로 관찰된 섬유표면의 곰팡이

6.4 곤충 및 유충에 의한 구멍 및 사절

- 곤충이나 유충에 의해 옷감에 구멍이 생기거나 사절이 생긴 경우, 설득력이 있는 증거를 갖고 해석하기 위해서는 파손된 부분을 곤충의 식성(食性)에 의거하여 정밀하게 관찰할 필요가 있음.

◎ 곤충 및 유충의 식성과 관찰 포인트

- ① 날개 또는 표피의 조각이나 배설물을 확대경으로 조사 (곤충은 돌아다니며 배설하면서 섬유를 갉아먹는 경우가 많기 때문)
- ② 방충가공한 양모는 갉아먹는 경우는 없지만 곤충에 의해 면도날로 절단한 것처럼 실이 절단되는 경우는 있음.
- ③ 100% 양모의 경우는 조직이나 밀도가 성근부분, 즉 곤충들이 씹는 감촉이 부드러운 부분부터 갉기 시작하는 경향이 있음.
- ④ 합섬과의 혼방 및 교편, 교직물의 경우, 양모만을 갉아먹거나 이빨을 꽂고 절단함.
- ⑤ 양모 기모제품의 털만을 갉아먹거나, 직물의 경사와 위사가 교차한 볼록한 부분의 실만을 갉아먹는 사례도 있음.



<그림 6-5> 좀 구멍(좌)과 옷장속의 좀벌레¹⁾

- 양모를 보관하는 창고나 점포에서 벌레먹음이 발견된 경우, 보관품 전체에 대한 소각처분 및 창고 전체에 살충제를 뿌리는 대규모적인 대응이 필요함. 곤충의 알이 있으면 그 알이 부화하고 또 번식을 반복하여 피해가 확대될 위험성이 있기 때문에 평상시 방충대책이 매우 중요함.

1) <http://www.apartmenttherapy.com/ny/good-questions/good-questions-moth-protection-001404>