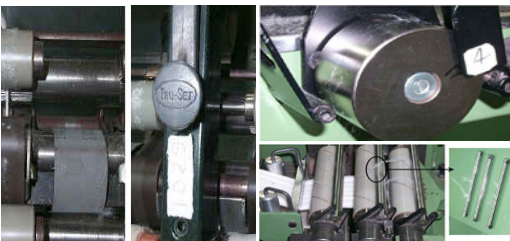


면 섬유 점착성 평가방법 - 허니듀 정색반응 시험

Cotton Fibre Stickiness - Detection of Sugar by Colour Reaction

1. 면 섬유의 점착성

면 섬유를 실로 만드는 방적 공정 중에 방적 기계의 금속 표면이나 고무 롤러에 면 섬유가 달라붙어 엉키는 래핑(lapping) 현상이 발생하는 경우가 있다. 이러한 현상의 원인은 면 섬유에 있는 끈끈한 점착성 물질에 존재하여 발생하는 것으로, 이와 같은 래핑 현상은 생산 효율을 저하시킬 뿐만 아니라 실의 품질에도 문제를 일으킨다.



〈사진 1〉 방적 공정 중 점착 문제

원면(raw cotton fiber)의 점착 문제는 실의 품질과 생산성에 악영향을 주기 때문에 섬유 산업에 있어 매우 심각한 문제이다. 허니듀가 과도하게 오염된 면 섬유는 방적 공장에서는 혼타면, 소면, 연조, 조방 및 정방 등 방적 작업에 사용되는 모든 장비를 오염시킬 수 있다. 또한 면 섬유가 장비에 엉겨 붙는 현상 등으로 연신되는 섬유의 흐름이 불균일할 경우 사품질은 떨어지게 되며, 기기의 잦은 클리닝(방적 설비 내 쌓인 이물질 제거)과 과도한 사절로 인해 작업량이 감소하여 생산성이 떨어지게 된다.

원면 점착성은 1970년 후반부터 이미 원면 관련 주요 이슈로 대두되었으나, 오늘날 더욱 심각하게 된 이유는 점착을 일으키는 당분을 분비하는 화이트플라이와 진딧물 등의 곤충이 과거보다 더 널리 퍼져 전세계적으로 이미 경작단계에서의 관리 한계선을 벗어난 상태인 점과 그 밖에도 생산 효율화 및 설비 고숙화 등에 따라

방적 설비가 과거보다 원면 점착성에 대해 더욱 민감해졌고, 원면 처리속도 증가, 자동화 추세 및 점착에 민감한 로터 정방의 사용 증가 등으로 점착 문제가 더욱 중요하게 되었다.

면 섬유 방적 공정에서 점착을 유발하는 원인물질은 면 섬유 표면에 존재하는 당분(sugar)으로, 면 섬유 자체의 당분(Physiological sugars)과 곤충 분비물에 의한 당분(Entomological sugars)으로 분류된다. 그러나 방적 공정 중 문제 발생의 주원인은 주로 곤충 분비물에 의한 당분으로, 화이트 플라이(Whitefly), 목화 진딧물(Cotton aphid) 등의 곤충이 면의 수액을 섭취하고 신진대사를 하여 생성된 분비물로 이를 허니듀(Honeydew)라 한다.



〈사진 2〉 Whitefly, Cotton Aphid 및 분비물

면 섬유에 당분이 존재하는 이유는 면 섬유는 셀룰로스로 구성되어 있으며 셀룰로스는 당분으로부터 합성된 것이므로 소량의 당분이 존재할 수 있다. 성숙면보다는 미성숙면에서 외부의 영향(기후 등)에 의해 복잡한 구조의 당분이 단순한 구조인 당당류, 이당류 등으로 분해된 상태이기 때문에 수크로스(sucrose), 프룩토스(fructose), 글루코스(glucose) 등이 상대적으로 많이 존재한다. 또한 면 씨앗에서도 드물기는 하지만 오일로 인한 점착성의 원인이 될 수 있는데, 이 경우 라피노스(raffinose)가 주로 검출된다.

허니듀는 근본적으로 곤충이 면의 체관부 수액(phloem sap)을 섭취한 후 분비한 분비물이며, 수액의

성분은 수크로스가 90% 이상으로 곤충이 이를 섭취하여 이성질화 중합을 통해 트레할룰로스(trehalulose) 및 멜레지토스(melezitose), 수크로스, 프룩토스, 글루코스 등을 비롯한 약 20 종류의 당분으로 변환시킨다. 수크로스는 면의 채관부에만 존재하며 목화에는 존재하지 않는 당분이다. 따라서 면 섬유에서 수크로스가 발견되었다는 것은 면섬유가 곤충 분비물에 의해 오염되었다는 것을 의미한다. 허니듀를 발생시키는 주요 곤충은 화이트플라이와 목화 진딧물(cotton aphid)이 주류를 이루고 있다. 이들 곤충은 잎사귀 속으로 주둥이 부분의 탐침을 삽입하여 수액을 빨아먹고 소화시킨 다음 방울 형태로 허니듀를 분비하는데, 허니듀는 잎이나 개화된 코튼볼(cotton boll)의 섬유에 붙은 다음 조면(ginning) 공정에서 허니듀가 흩어지고 육안으로 관찰하기 어렵게 된다.

관련 연구에 따르면, 화이트플라이와 진딧물의 분비물에서 얻은 당분을 HPLC로 분석한 결과, 진딧물의 경우에는 38.3%의 멜레지토스와 1.1%의 트레할룰로스가 검출되었고, 화이트플라이의 경우에는 16.8%의 멜레지토스와 43.8%의 트레할룰로스가 검출되었다. 따라서 이들 곤충 분비물의 공통점은 트레할룰로스와 멜레지토스가 기타 다른 당분보다는 상대적으로 높은 비율로 존재한다는 것이다.

또다른 연구에서는 허니듀로 오염된 면 섬유 및 방적 기계에서 채취한 점착물에서 검출된 5종류의 당분에 대해 흡습성 및 열적 성질을 검토한 결과, 5개의 주요 당분 중 트레할룰로스가 용점이 48℃로 가장 낮았으며, 흡습성은 가장 높은(표준상태, 21℃, 65%R.H. 에서 약 17%의 수분 흡수) 것으로 나타났다. 그러므로 트레할룰로스는 용점이 낮고, 흡습성이 높기 때문에 방적 기계에 선택적으로 점착된다는 것을 알 수 있다.

〈표 1〉 원면에 존재하는 당분의 종류 및 특성

당분 종류	분자량	용점 (°C)	특성
Glucose (C ₆ H ₁₂ O ₆)	단당류	180	146 -환원당, 물, 알코올에 용해
Fructose (C ₆ H ₁₂ O ₆)		180	104 -환원당, 물, 알코올, 아세트, 피리딘, 에틸아민, 메틸아민 등에 용해

Sucrose (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)	이당류	342	-	-비환원당, 물, 알코올, 글리세롤, 피리딘, 등에 용해 -160~186℃에서 분해
Trehalulose (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)		342	48	-선택적 환원성, 물에 용해
Melezitose (C ₁₈ H ₃₂ O ₁₆)	삼당류	504	153 ~ 154	-비환원당, 물과 알코올에 용해 -물은 산으로 가수분해시 글루코스과 투라노스 생성
Raffinose (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)		504	118 ~ 119	-비환원당, 물에 용해

2. 원면 점착성 평가

일반적으로 당분에 대한 분석법으로는 정성적인 시험 방법인 베네딕트 시험법, 브레멘 시험법과 정량적인 시험방법인 퍼킨스법 및 HPLC법 등이 있다. 각 시험법에 대한 장단점을 살펴보면, 정성적인 시험방법인 베네딕트 및 브레멘 시험은 환원당을 중심으로 반응하여 나타난 용액의 색상을 비색 평가하는 방법으로 원면에 대해서도 일부 적용하고 있으나, 실제로 허니듀의 당분 성분 중에 점착 원인물질로 알려진 트레할룰로스나 멜레지토스는 비환원당으로서 시험액과의 정색반응에 관여하지 않아 허니듀에 대한 오염여부를 정확히 평가할 수 없는 단점이 있다. 실제로 베네딕트 시험법은 점착성 평가에 있어서 과거 국내 각 면방공장에서 많이 채택하였지만, 이 시험법의 유효성에 대해서는 사용자 대부분이 효과는 없으나 대안이 없으므로 활용하고 있거나, 실제 공정에서의 점착문제와 상관성이 미흡하다는 의견이 많았다. 또한 당분의 함량을 정량적으로 측정할 수 있는 퍼킨스법 및 HPLC법의 경우, 퍼킨스법은 트레할룰로스에 대해서는 선택적인 반응에 의해 관여하나 멜레지토스는 관여하지 않으며 총당량을 측정하는 방법이다. 한편, HPLC를 이용한 측정방법은 각 개별 당분 성분의 정성/정량분석은 가능하나 측정장비 자체가 고가이고, 측정비용 및 시간이 많이 소요되어 면방적 공장이나 원면관련 업무에 종사하는 사람들이 손쉽게 사용하기 어려운 면이 있다.

원면 점착성에 대한 물리적인 시험방법으로는 미니 카드(minicard)법, SCT(Sticky Cotton Thermodetector), H2SD(High Speed Stickiness Detector) 및 FCT-S (Fiber Contamination Tester-Stickiness)와 같은 시험기가 개발되어 있고, 이들 시험기는 대부분 미니 카드를 이용하여 일정 크기의 웹을 만든 후, 가열판과 접촉시키거나 가열 롤러 사이를 통과시켜 가열판 위의 알루미늄 호일 또는 가열 실린더에 달라붙은 점착점의 개수, 면적 등을 이미지 분석이나 레이저로 평가하는 시스템으로 구성되어 있다. 이와 같은 시험기들은 점착성을 직접적으로 평가할 수 있는 장점이 있는 반면, 장비 자체가 고가이므로 범용적으로 사용되기 어려운 점이 있다. 일부 시험기의 경우 특정 온습도 환경하에서의 국한된 결과만을 보여주기 때문에, 당분의 점착성이 온도뿐만 아니라 습도에도 매우 민감하다는 점을 고려하면 계절에 따라 실제 방적공장의 변화되는 온·습도 환경을 제대로 반영하지 못하므로 실제 방적시의 점착 발생여부를 객관적으로 예측하기 어렵다.

3. ISO 12027 정색반응법을 이용한 면 섬유 점착성 평가

KOTITI 시험연구원에서는 방적 공장의 현실적인 어려움으로 고려하여 원면의 점착성을 예측할 수 있으며 산업 현장에서도 쉽게 사용할 수 있는 시험법을 개발하였다.

KOTITI에서는 국내 면방공장 중 점착성 문제가 발생한 공장들로부터 공정 투입 면섬유 및 중간제품을 수집하였으며, 공정 중 롤러에 감긴 섬유 등도 수집하여 다양한 분석을 실시하였다. 또한 공정 온습도 및 섬유 통과 기계 파트부의 표면온도 등 다양한 제반 사항을 조사하였다

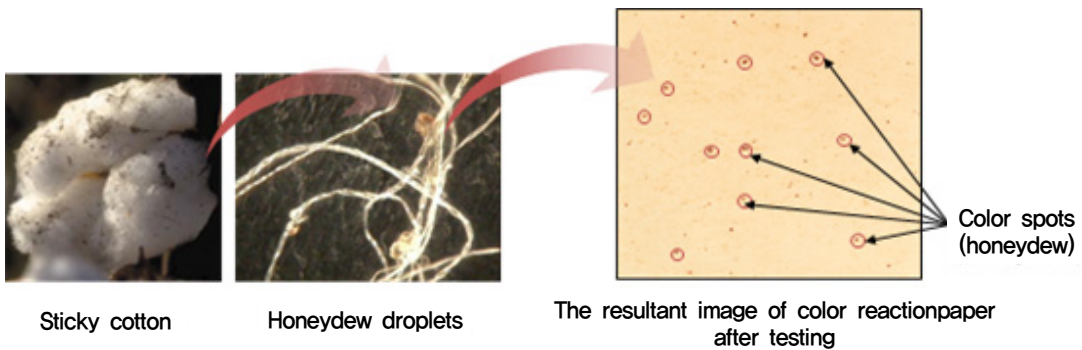
혼타면 공급 원면의 개별 당분량을 기준으로 원면 및 공정별 중간제품과 공정별 수집 낙면 및 롤러 점착섬유에 대한 당분량 변화를 다음의 표에 나타내었다.

각 공정별로 톱 롤러 및 클리어러 점착섬유, 낙물 및 뉴마면 등의 트레할로스 및 멜레지토스 당성분 함유량은 다른 당성분과는 달리 섬유 및 중간제품에서 측정된 값보다 항상 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 허니듀의 주요 당 성분인 트레할로스와 멜레지토스가 공정 중 점착 현상을 발생시키는 주요 당 성분임을 나타내는 것이다.

〈표 2〉 공정별 당분량 변화율(기준 : 혼타면 공급원면 = 100%)

구 분		Glucose	Fructose	Trehalulose	Sucrose	Melezitose
혼타면	공급원면	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
소면	소면 매트	89.3	59.7	87.5	75.0	100.0
	소면 낙면	91.1	87.1	287.5	400.0	325.0
	슬라이버	92.9	72.6	62.5	75.0	87.5
정소면	슬라이버 랩	91.1	67.7	62.5	75.0	87.5
	리본 랩	90.2	71.0	62.5	75.0	87.5
	하부점착 섬유	141.7	364.5	1141.7	2550.0	2691.7
	클리어러 점착섬유	54.2	86.0	533.3	300.0	391.7
	톱 롤러 점착섬유	114.3	141.9	375.0	950.0	750.0
	정소면 노일	82.1	71.0	112.5	100.0	300.0
	슬라이버	91.1	67.7	62.5	75.0	75.0
	톱 롤러 클리어러 점착섬유	96.4	80.6	200.0	100.0	225.0
연조 (1P)	뉴마면	103.6	93.5	250.0	350.0	250.0
	슬라이버	88.4	56.5	50.0	75.0	75.0
연조 (2P)	톱 롤러 점착섬유	167.9	183.9	737.5	650.0	625.0
	뉴마면	100.0	100.0	250.0	150.0	400.0
	슬라이버	85.7	53.2	50.0	50.0	75.0
조방	뉴마면	0.9	83.9	212.5	200.0	275.0
	조사	0.8	41.9	50.0	50.0	75.0
정방	뉴마면	0.6	32.3	50.0	150.0	200.0

이와 같은 연구 결과를 바탕으로 KOTITI에서 개발한 면 섬유 점착성 시험법의 원리는 점착성의 주요 원인인 허니듀의 주성분 멜레지토스, 트레할로스 등 주요 당분과 아미노 화합물과의 정색반응을 이용한 것이다.



〈사진 3〉 원면 점착성 시험법 원리

육안으로 쉽게 판정할 수 있도록 당분과 반응하면 짙은 갈색을 나타내는 아미노 화합물 및 기타 보조 약품에 포함된 정색반응 용액을 개발하였고, 원면에 함유되어 있는 허니듀가 작은 알갱이 형태로 존재하는 특성에 착안하여 허니듀에 오염된 시험편을 정색반응액이 함유되어 있는 반응지에 접촉시켜 허니듀의 당분을 반응지로 전이시킨 다음, 허니듀의 주성분인 당분과 정색반응액과의 반응을 통해 반응지 표면에 짙은 갈색의 반점이 나타나도록 하였다. 이렇게 생성된 반점은 원면에 함유되어 있는 허니듀를 그대로 여과지 표면에 사진을 찍듯이 전이시킨 것으로 원면내 허니듀를 시각적으로 나타내도록 고안한 방법이다. 따라서 허니듀에 대한 오염정도를 신속하고 간편하게 검출할 수 있다.

시험법 개발 시 베네딕트 방법, HPLC 방법 등과 본원의 시험법 사용하여 관련 분석을 실시하고 결과를 비교하였으며, 또한 소면기에서의 실제 점착거동을 평가하여 시험결과와 실제 점착성간의 관련성을 평가하였다. 소면기에서의 점착거동에 기초하여 원면에 대한 정색반응지를 등급별로 분류한 후, 각 등급별 대표 화상을 선정하여 등급 표준사진으로 선택하였다. 원면 점착성은 A ~ E 등급으로 5등급으로 구분되며, E 등급의 경우 허니듀의 오염이 가장 심한 것이다.

이러한 결과를 토대로 개발한 시험법은 2012년 ISO 12027 국제 표준 시험법으로 제정되었으며, KS K ISO 12027 국가 표준 시험법으로도 제정되었다.

등급	등급 표준	소면기 점착 거동
A		
B		
C		
D		
E		

〈사진 4〉 등급 표준사진 및 소면기 점착거동

실제 점착 문제가 발생한 공장의 소면 매트에서 채취한 시료의 하니듀 오염 등급은 평균적으로 C 등급을 나타내었다. 따라서 원면 점착성 등급이 C 등급 이하인 경우에는 공정 중 점착성 문제 발생 가능성이 높은 것으로 추정할 수 있다.

ISO 12027 원면 점착성 시험 절차는 다음과 같다.

(1) 시료 준비

- ① 원면 베일에서 랜덤하게 시료를 채취한다.
- ② 시료내 잡물을 제거한다.
- ③ 0.5g 이상의 시료를 정사각 형태로 균일하게 펼친다.



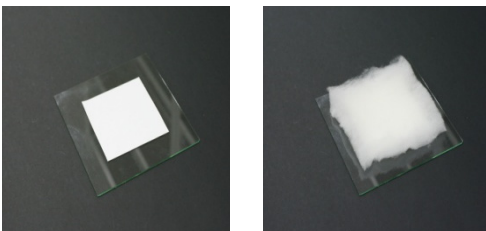
①

②

③

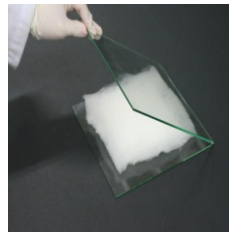
(2) 정색반응지와 시료 접촉

- ① 정색반응지를 1매를 유리판 또는 깨끗하고 평평한 판 위에 얹는다.
- ② 정색반응지 위에 원면 시료를 올려 놓는다.
- ③ 정색반응지와 시료가 접촉한 상태에서 시료 위에 판을 얹고 가압추(4kg)를 그 위에 올려 놓고 상온에서 1분간 하중을 가한다.
- ④ 가압추, 유리판 및 시료를 제거하고 정색반응지를 떼어내어 건조 오븐에 넣는다

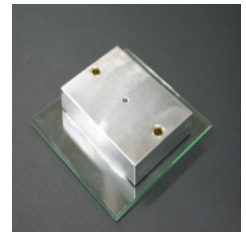


①

②



③



④

(3) 정색반응 및 등급화

- ① 건조오븐(120℃)에 정색반응지를 넣고 5분간 발생시킨다.
- ② 반색이 완료된 정색반응지와 등급 표준사진을 비교하여 점착성 등급을 평가한다.

COTTON FIBRE STICKINESS REPLICAS				
Grade A Non-stickiness	Grade B Light stickiness	Grade C Moderate stickiness	Grade D Severe stickiness	Grade E Very severe stickiness

〈사진 4〉 판정 표준

ISO 12027 원면 점착성 시험은 KOTITI 시험연구원 에서 실시하고 있으며, 시험에 사용되는 정색반응지 또한 판매하고 있다.

♣ KOTITI 시험연구원 연구개발본부