

표준 AATCC 시험법을 이용한 섬유 구김 회복도 (Fabric Crease Recovery)의 동적 시험 입증

1. 소개

주름 및 구김회복은 구김이 있는 섬유가 일정시간이 지난 후 본래의 모양으로 복구되는 것을 일컫는다. 이는 섬유의 편리성을 평가하기 위한 필수적 성능 요소 중 하나로 테스트 방법은 AATCC Test Method™ 66-2008로 Textile Chemists와 Colorists 미국 협회에 의해 표준화 되어 있다. 설리형 구김 회복 시험과 몬산토형 구김 회복 시험기를 사용하여 일정 시간 동안 선명한 구김을 만들기 위해 시료를 접고 하중장치로 압축한다. 테스트 시료는 곧바로 각도기로 옮겨져 주어진 기간 동안 각도 변화를 측정한다. 5분의 회복기간을 가진 후 구김 회복 특성을 평가한 것이 구김회복각도(WRA, wrinkle recovery angle)인데 초기의 주름각도에서 변형된 각도를 실험하기 위해 인력의 개입이 요구된다.

Jiangnan 대학에서 개발한 동적 구김 회복 시험기는 인력의 개입 없이 전체 회복 과정에서 WRA값을 자동적으로 측정할 수 있다. 이 시험기는 WRA의 변화를 분석할 수 있고 수동시험기 보다 더 높은 정확성을 가진다

이 장에서는 표준 AATCC™을 이용한 섬유 구김 회복의 동적 시험 방법 타당성을 알아 볼 것이다. 테스트 샘플(21개)은 저농도 포름알데이드 수지와 수지 촉매를 달리한 7가지 용액에 3종류의 섬유를 적용하여 준비하였다. WRA값들은 설리형 시험기와 동적 시험기로 측정되었다. 두 시험기의 결과는 동적 시험기의 타당성을 검토하기 위해 각각 비교 되었다.

2. 시험법

(1)동적 구김 복구 시험기

동적시험의 디자인 원리는 AATCC™ 66-2008을 기반으로 하였다. 샘플은 선명한 구김을 만들기 위해 공기형 압축기의 통제 하에 접혀지고 압축된다. 그 다음 시료를 자유롭게 걸어 두고 회복이 진행되는 동안 컴퓨터 시각 기술을 이용해 WRA값이 측정된다. 시료의 사이즈는 표준 규격에 의해 마이크로 펀치를 사용하여 40x15mm로 자른다.

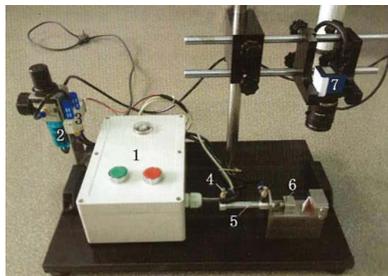


Fig. 1. 동적 구김 회복 시험기

Fig. 1은 동적 시험기에 대한 사진이다. 설리형시험기와 다르게 테스트 시료의 한쪽 wing은 전체 시험과정동안 고정되고 다른 쪽 wing은 회복 기간 동안 자유롭게 회복 될 수 있도록 한다. 시료는 공기 압착기에 의해 지속적으로 힘이 가해진다. 압축된 공기는 감압 밸브(2), 솔레노이드(3), 소형 레귤레이터(4), 실린더(5)를 차례차례 통과한다. 솔레노이드는 두개의 파이프 안으로 공기의 방향을 바꾸고 소형 레귤레이터는 공기의 흐름을 제어한다. 실린더는 공기 압력을 기계에너지로 바꾸고 실린더 피스톤 막대 움직임을 촉진한다. 피스톤 막대 위에 설치된 Briquetting(6)은 시료에서 왔다갔다 움직이는데 처음에 시료에 부드럽게 압력을 가하기 위

해 두개의 소형 레굴레이터에 의해 Briquetting(6)의 속도가 조절되고 압축이 끝나면 신속히 제거된다. 압축과정이 지속되는 동안 time relay에 의해 통제된다. 타임릴레이는 시작 버튼과 중지 버튼이 통합되어 있는 통제기이다. 시작 버튼이 눌러질 때 타임릴레이는 타이밍을 재고 Briquetting은 동시에 시료에 압력을 가하기 위해 움직인다. 압축 시간이 끝날 때 Briquetting은 시료에서 제거되고 카메라는 표본의 비디오 연속장면 캡처를 시작한다.

카메라는 시료 위쪽에 설치된다. 이미지 길이는 시료길이보다 훨씬 크게, 이미지 높이는 시료 길이의 반 이상 크게, 구김은 이미지 중간 축에 대략적으로 위치하도록 하고 고정된 날개의 위치는 이미지 아래 위치하며 평행이 될 수 있도록 카메라를 정확하게 조정한다. 캡처된 이미지 밝기는 광 조절장치에 의해 조절된다. 비디오 시퀀스의 프레임률은 0.67 frames/s로 설정된다. 각 프레임은 1280x960 픽셀이며 8-bit의 흑백 이미지이다. 각 프레임의 영상 해상도는 대략 707pixels/in이다. 후프변환방법은 이미지 프로세싱에 이미지 등록을 통해 WRA값이 자동으로 계산된다. 수평방향에 대하여 매달려있는 wing의 각도는 세가지 주요 단계(임계값(한계값), 간벌(숙음), 후프변환)를 거쳐 얻을 수 있다. 먼저 캡처된 그레이스케일 이미지는 오츠크 알고리즘을 사용함으로써 바이너리 이미지로 변형되어진다. 그래서 바이너리 이미지에서 free wing의 중심 축은 숙음 알고리즘을 사용함으로써 추출되어진다. 결론적으로 중간 축 배향은 후프변환에 의해 결정된다는 것이다. 이 방법은 곧은 free wing을 가진 시료에는 정확하게 측정되어진다. 그러나 시료의 Free wing이 굽어있는 경우에는 후프변환 방법을 사용해서 WRA값을 구하는 것은 어렵다.

대부분의 섬유들은 벤딩성이 있는 재료들이다. 그러므로 영상정합법(Image registration)은 이미지들의 상호정보(MI, mutual information)에 기초한다. 2가지 이미지들의 MI는 그들 엔트로피 값의 조합물이다. 두 이미지의 MI 값은 이미지가 부분적으로 겹쳐지는 부분에만 계산되어지고 이미지의 엔트로피는 이미지강도의 분포가능성을 측정함으로써 계산되어진다. 표준화된 MI는 Studholme에 의해 소개되어졌다. 이는 두 이미지의 유사성을 묘사하기 위해 사용되었다, 만일 두 가지 그림이 정확히 일치하면 정규 MI의 결과는 클 것이고 그렇지 않다면 작을 것이다. 연속프레임들 중 하나는 각 프레임의 정규 MI값을 계산하기 위해 순환된다. 최대 MI는 순환된 프레임과 다른 프레임들이 free wing의 포지션이 완벽히 매칭될 때 결정된다. 두 가지 프레임사이에서 WRA값의 차이는 이전의 프레임의 회전각도에 따라 정의된다.

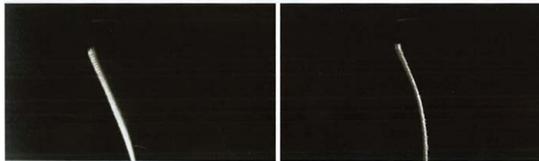


Fig. 2. 곧은시료(a)_왼쪽, 굽은시료(b)_오른쪽

Fig. 2에서 두 이미지는 후프변환방법과 영상정합법의 테스트 결과를 비교하는데 쓰인다. Fig. 2a에서 시료의 free wing은 뻗어있고 2b는 굽어있다. 후프변환법에 의해 얻어진 2a, 2b의 WRA값은 각각 67.4°와 67.2°로, 영상정합법으로부터 얻어진 값은 각각 67.4°와 81.3°이다. 두가지 방법(후프변환법, 영상정합법)에 의해 계산된 곧은 시료(2a)의 각도는 서로 일관성이 있다. 후프변환방법에 의한 결과는 주름으로부터 떨어진 freewing의 각도에 가깝고 MI방법의 결과는 주름근처부분의 각도와 유사하다. 주름 주변에 일어난 구김회복의 주된 변형을 고려해보면, 주름진 부분의 각도를 측정함으로써 구김회복성질을 분석하는 것이 더 적절하다. 반면에 영상정합법은 후프변환법보다 더 많은 시간을 허비하게 된다. 그러므로 연속비디오에서 첫 세 개의 프레임은 곧은 시료인지, 굽은 시료인지를 확인하기 위해 두 가지 방법에 의해 측정되어지는 것이다. 결과가 서로 비슷했을 때 후프변환법을, 결과가 비슷하지 않을 때 영상정합법으로 사용했다.

3. 실험

Table I. Sample Parameters						
Fabric	Materials	Weave	Yarn Count (tex)		Density (Yarns per 10 cm)	
			Warp	Weft	Warp	Weft
A	100% Cotton	3/1 Left Twill	29.2	64.8	465	200
B	100% Cotton	Plain	14.6	15.8	555	568
C	50% Polyester / 50% Cotton	Plain	18.2	18.2	392	218

Table II.
Cotton Incorporated Finish Application Worksheet*

Chemicals (%)	1	2	3	4	5	6	7
Water	94.8	90.8	87.0	83.1	79.2	75.8	72.8
Low-formaldehyde-resin	—	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0
Catalyst for resin	—	1.0	1.8	2.7	3.6	4.0	4.0
Silicone softener	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Polyethylene softener	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Wetting agent	0.2 *	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

(1) 실험재료

7가지의 조건하에 처리된 세가지 타입의 직물은 면을 포함하는 섬유들이다. 이 샘플들을 설리형시험기와 동적시험기로 실험하여 결과를 비교하였다. 테스트할 섬유 샘플은 Table I 에 기재되어있다. 마무리공정에서 화학물의 함유량과 저농도의 포름알데히드 수지 처리에 대한 내용은 Table II에 기재되어있다. Table II에서 저농도의 포름알데히드수지의 함유량과 수지에 대한 촉매는 1에서 7로 갈수록 증가했지만 물의 함유량은 줄어들었다. 테스트할 시료들은 타입별로 1-7로, A-C는 이 실험에 대한 시료의 종류를 나타내었다.

샘플들은 규격조건에 따라 상대습도 65±2%, 온도 21±1℃ 상태에서 적어도 24시간이상 컨디셔닝하였다. 총 24개의 시료들(각각40x15mm)를 준비하여 설리형시험기에 12개, 동적시험기에 12개를 측정하였다. 12개중 6개는 길고 평행한 부분을 경사방향으로 자르고 나머지 6개의 시료들은 위사방향으로 잘랐다. 경위사방향으로 자른 시료들 중 3가지는 회복각도를 테스트하기 위해 마주 보게 접고 나머지 3가지는 꼬리에 꼬리를 무는 형식(연이은형식)으로 접었다.

(2) 실험절차



Fig. 3. 설리형구김회복시험기

표준시험기(설리형구김회복시험기)는 fig. 3에 나타나있다. AATCC™ 33-2008 시험법에 따라 샘플들을 5분동안 5N의 압력을 가한 후 5분의 회복시간이 지난 시료의 WRA값을 기록하였다. 동적시험기들은 규격시험법에 의해 시료에다가 압력을 가하였고 5분의 회복기간 내에 각 비디오시퀀스에서 201프레임으로 캡쳐되었다. (frame rate : 0.67 frame/s)

4. 논의 및 도출

Table III.
CRAs Measured by Shirley Tester and Dynamic Tester

Sample	Angles of Face-to-Face Warp Folded (°)		Angles of Back-to-Back Warp Folded (°)		Angles of Face-to-Face Filling Folded (°)		Angles of Back-to-Back Filling Folded (°)	
	Shirley	Dynamic	Shirley	Dynamic	Shirley	Dynamic	Shirley	Dynamic
1A	77.7	81.0	116.0	122.8	122.0	123.0	97.0	101.8
2A	80.3	84.9	122.0	127.4	134.3	137.9	105.3	107.1
3A	95.4	100.8	138.2	142.9	138.0	143.5	111.3	116.8
4A	98.3	105.9	145.3	149.9	141.3	145.2	120.3	127.9
5A	109.3	115.2	140.5	147.8	152.0	153.7	120.7	124.0
6A	117.5	121.7	153.3	153.4	153.3	155.3	140.8	141.8
7A	118.3	122.6	149.5	150.9	154.0	157.4	138.0	141.5

1B	73.7	71.8	70.7	74.2	93.8	98.9	97.0	105.7
2B	107.8	107.3	111.0	113.6	102.0	106.0	107.5	111.6
3B	116.0	119.1	127.5	127.2	121.3	123.5	123.3	125.3
4B	125.3	130.0	121.7	128.3	125.0	131.4	133.3	136.5
5B	132.3	135.6	133.3	137.1	137.7	136.3	133.3	137.8
6B	145.0	144.2	140.0	144.6	140.8	145.4	146.8	145.6
7B	140.5	145.9	146.0	147.3	152.8	151.5	145.0	146.0
1C	138.0	141.1	139.7	142.1	137.8	141.5	140.3	145.1
2C	142.0	149.5	145.3	147.1	148.7	150.7	150.0	152.7
3C	146.7	149.8	145.0	149.4	147.3	153.4	149.0	148.8
4C	148.3	147.2	150.0	148.7	153.7	154.0	154.3	158.5
5C	154.0	154.5	148.5	153.1	151.3	156.9	154.3	153.9
6C	150.3	150.1	150.7	149.3	155.3	155.8	152.8	154.4
7C	149.3	152.3	155.7	153.4	153.3	154.3	156.0	160.8

샘플들의 WRA값은 설리형시험기와 동적시험기로부터 얻어졌고 이는 TableⅢ에 나타나있다. 결과는 5분의 회복기간을 가진 후 기록되어졌다.

동적시험기로 실험된 3가지 시료들의 표준편차는 2.42보다 적고 두 개의 시험기에 대한 결과값은 서로 근접했다. WRA 값의 대부분은 동적시험기에 의해 계산되어지는데 이는 설리형시험기의 측정값보다 더 큰 결과값을 얻는다. 설리형시험기에서 회복각도를 측정했을 때 수직(세로)방향 주름라인을 측정하는 동적시험기보다 중력의 영향을 더 많이 받아 주름라인이 가로방향으로 생성되기 때문이다. 두 가지 방법에서 각도 차이의 최소값은 8.7° 이다. 그러나 설리형시험기는 수동작업이 요구되지만 동적시험기들은 전체 시험과정을 자동화할 수 있다. 섬유 A, B의 WRA값은 C의 값보다 더 적다. 폴리에스터의 주름회복성질은 면의 주름회복성질보다 더 좋기 때문이다. 섬유 C의 WRA값은 접는 방향과 상관없이 비슷한 값으로 도출 되는데 이는 경사 위사의 변수가 같고 직물의 구조가 평직이기 때문이다.

각 다른 방향으로 접힌 샘플 A는 1A에서 7A로 갈수록 값이 점차 증가했다.

4가지의 접는 방향에 대한 WRA값은 동적 시험법으로부터 얻어지는데 이는 41.6° , 30.6° , 34.4° 그리고 40.0° 를 나타냈다. WRA값은 1B에서 7B까지 급격히 올라갔다. 경사방향으로 마주보게 접힌 7B의 WRA값은 1B보다 74.1° 만큼 더 크다. 샘플 1C에서 7C의 WRA값은 약간 증가하는 추세지만 차이 없이 고르게 분포하는 편이다. 다양하게 접힌 시료들에 대한 WRA값의 범위는 11.3° 와 15.7° 사이에서 나타나므로 저농도의 포름알데히드수지는 특히 100% 면섬유에서 보다 큰 섬유회복을 일으킨다. 동적시험기는 특정 순간에 회복각도를 측정할 뿐만 아니라 시간에 따른 각도변화를 측정한다. 4가지 방법으로 접은 샘플 6C를 동적시험기로 측정한 WRA값은 Fig. 4에 나타나있다.

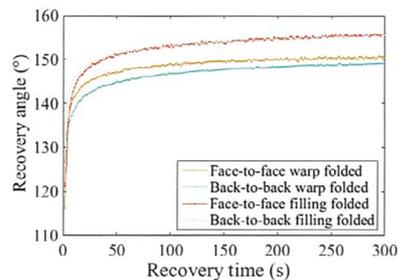


Fig. 4. 6C의 동적 구김회복각도

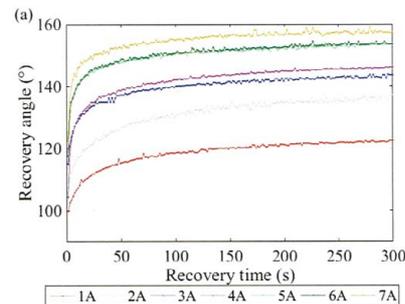


Fig. 5. 샘플 A 구김회복각도

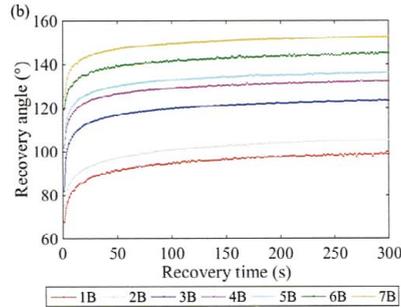


Fig. 5. 샘플 B 구김회복각도

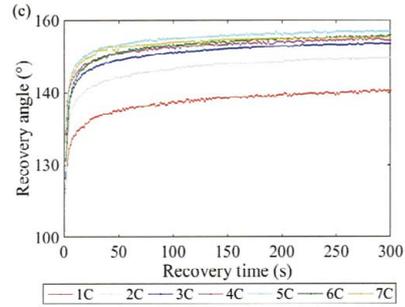


Fig. 5. 샘플 C 구김회복각도

Fig. 4에서 두 번째 프레임 이후의 각도 변화를 강조하기 위해 각 비디오 시퀀스의 첫 번째 프레임(0°)는 생략 된다. 이는 위사방향으로 마주보게 접은 시료처럼 보여질 수 있다.

경사의 밀도는 위사의 밀도보다 더 크다. 그리고 위사방향으로 접힌 시료의 WRA값은 경사방향으로 접힌 WRA값보다 더 크다. 그러므로 실의 밀도가 클수록 구김회복도가 더 적어짐을 알 수 있다.

WRA값의 변화는 곡선접합(평면 위에 흩어진 점에 대하여 그들에게 알맞는 곡선을 계산하고 산출하는 것)으로 표현할 수 있다. 경사방향으로 마주보게 접은 시료(6C)의 곡선접합은 . 이다.

시료들의 SSE(Sum of squares to error), R-square값(결정계수), 조정된 R-squares값(조정된 R-square값의 자유도) 그리고 RMSE값(제곱평균오차)은 각각 1.834, 0.9991, 0.9991, 0.09648이다. 이것들은 데이터와 맞아떨어졌다. 곡선접합의 곡률은 로 초기 곡률은 증가하였지만 이후에는 감소하였다, K(곡률)의 최대값은 회복주기의 5초에서 나타난다. 이 회복주기는 WRA값이 급격히 변하는 시점을 말한다. 섬유 A-C 시료를 위사방향으로 서로 마주보게 접어서 측정된 동적시험기의 회복각도는 fig. 5에 나타나있다.

Fig. 5a 에서 동적시험기로 측정된 WRA값은 저 농도의 포름알데히드 수지와 수지 촉매로 처리된 A섬유가 다른 샘플들 보다 회복이 더 잘 되었다. 각기 다른 방향으로 접혀진 시료의 WRA값은 비슷하게 나타났다. fig. 5b는 fig. 5a에서와 비슷한 경향을 나타냈다. fig. 5c에서 1C-4C의 마무리 공정 중 저 농도의 포름알데히드수지의 함유량에 따라 WRA 값은 증가했고, 샘플 4C-7C는 평평한 그래프를 나타냈다. 다른 접기 방향을 가진 샘플의 WRA값은 서서히 증가하는 그래프를 보였다. 그러므로 저농도의 포름알데히드 수지는 섬유의 주름저항성을 향상시킨다는 것이 입증되었다.

각기 다른 마무리공정에 의해 처리된 섬유의 순간적 회복시간을 비교해보면, Fig. 5에서 샘플 1A-7A의 회복시간은 각각 4,5,6,6,6,7,7s 이다. 샘플 1B-7B의 값은 5s에서 6s로 증가했다. 1C-7C의 샘플값도 5s에서 6s로 증가했다. 그러나 1B-7B 샘플의 순간적회복시간은 6s에서 안정화된다. 결론은 저농도 포름알데이드 수지 양이 증가함에 따라 순간적인 복구 시간이 연장된다.

결론

이 장에서는 표준시험기(설리형 주름회복시험기)와 동적 주름회복시험기로 측정되어진 주름회복각도(WRA값)의 비교를 하고 있다. 시료는 저농도의 포름알데히드수지와 촉매를 각기 다른 양으로 처리한 후 실험을 진행하였다. 실험결과는 설리형시험기와 동적시험기로 측정된 5분의 회복주기 이후에 WRA값이 서로 비슷하게 나타났다.

동적 시험기는 특정순간에서의 회복각도뿐만 아니라 테스트 주기내의 각도변화를 얻을 수 있다. WRA 값과 순간회복시간모두 저농도의 포름알데히드수지의 양에 따라 증가했다, 동일한 샘플에서 순간회복시간은 변하지 않았다. 그러나 저농도의 포름알데히드수지로 마무리 공정을 한 후 두드러지게 증가했다. 그러므로 저농도의 포름알데히드수지처리하는 섬유의 주름회복성질을 향상시키는데 효과적이다.