제직중 반복응력으로 인한 원사 및 가호사의 취화거동을 특징짓는 CSP값의 활용

1. 서 론

실의 제직성(weavability)은 일반적으로 제직 도중의 경사절과 관련하여 평가된다. 최근에 Aggarwal과 Subramanian은 경사절단율이 CSP값과 같은 품질특성, 실의 가는 결점 및 굵은 결점(thin and thick places)의 발생주기와 매우 밀접한 관계가 있다고 밝힌바 있다. 이러한 상호관계는 CSP값이 경사에 있어서 저신도사의 강력의 척도가 된다는 사실과 또한 제직응력을 견디어내는 실의 성능이 CSP값과 서로 좋은 관계를 맺고 있다는 사실로 설명되어졌다. 본고의 내용은 제직성능수(weavability index)로서의 CSP값의 장점을 더욱 구체화시킨 것이다.

제직공정에서 모든 실은 반복되는 제직응력으로 말미암아 경사 빔에서 클로드 펠(cloth fell)까지 지나가는 도중에 인장, 마모, 그리고 잔털성질 등이 연속적으로 취화된다. Reutlinger 웹 시험기(wep tester)에서 원사 및 가호사에 대한 제직응력을 시뮬레이션화하여 그 결과로 나타난 자료들을 분석하였더니, CSP값은 실의 취화정도를 나타낼 수 있는 좋은 지수가 됨을 알 수 있었다.

2. 시료 및 시험방법

ATIRA 시험공장에서 적절히 혼섬을 한 다음, 번수(Ne 40)와 연계수(41)는 같으나 인장강력(CSP)의 분포 범위가 넓은 세 가지의 면 링방적사를 만들어 시료로 사용하였다. 실의 특성은 <표 1>에 나타나 있다.

시료로 사용된 실들을 Reutlinger 웹 시험기에서 여러 가지 제직사이클(수)

수준에 놓이게 하였다. 이 시험장치는 바디침 힘만 제외한 기본장력, 주기적인 신장, 마모, 그리고 휨 등 대부분의 제직응력을 시뮬레이션화 한다.

실의 정상적인 부분과 마모된 부분에 대한 고찰을 위해 인스트론(Instron) 인장시험기에서 인장성질을 시험하였다.

<표 1> 원사 및 가호사의 물성

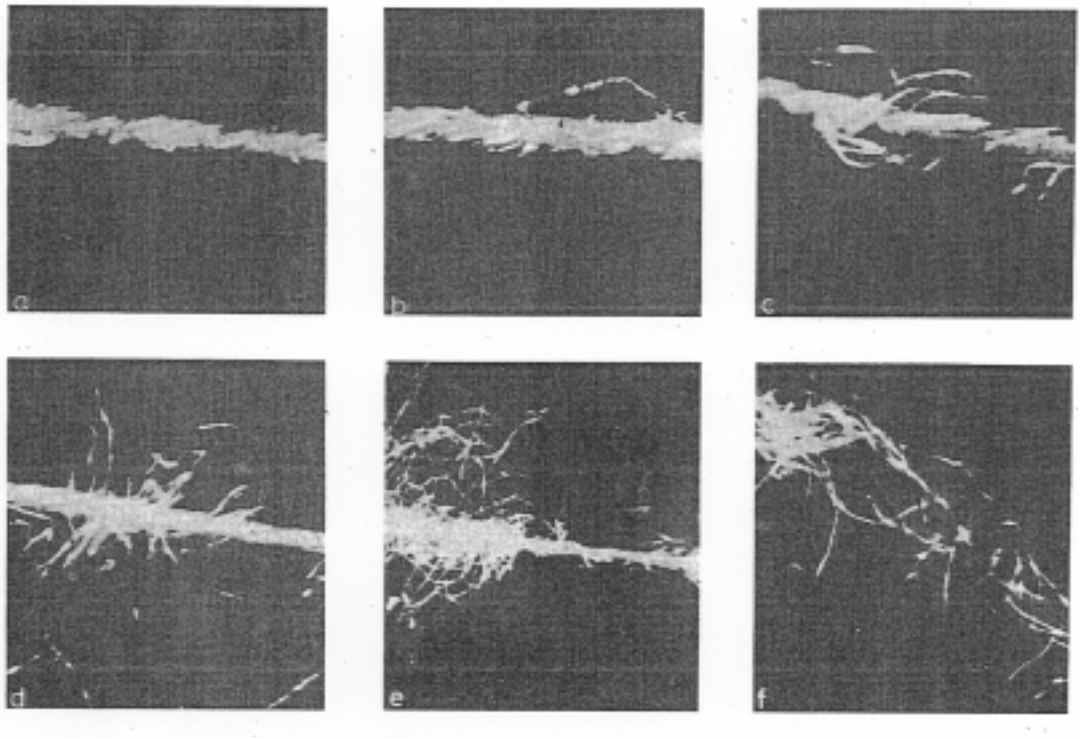
特 性	실		
	A	B	C
原 糸			
실제번수(Ne)	40.2	39.6	41.0
번수강력점수(CSP)	1,788	2,181	2,568
CSP CV%	9.6	8.0	6.4
단사강력(g)	173	208	229
단사강력 CV%	13.3	13.3	11.5
단사신도(%)	5.2	6.1	6.8
단사신도 CV%	15.8	12.9	11.4
Uster%	17.3	15.9	12.0
결점수/1,000m			
가는 결점(thin places)	830	150	20
굵은 결점(thick places)	1,790	850	630
넵(nepe)	1,640	980	180
加糊糸			
단사강력(g)	221	260	279
단사신도(%)	4.3	4.9	5.5

3. 결과 및 고찰

가. Reutlinger 웹 시험기에서의 실의 절단 기구

Reutlinger 웹 시험기를 작동시키면, 일정한 장력 하에 놓여 있는 시료용 실에 대해 주기적인 신장과 실 축방향의 마모가 동시에 작용한다 주기적인 신장 및 마모작용의 결과로 말미암아 실의 구조는 느슨해지며, 이어서 섬유간 미끄러짐은 더욱 촉진된다. 실의 느슨해짐이 진행될수록 마모작용을 수행하는 기기의 요소로 인해 실을 구성하고 있는 섬유가 더욱 닳게 되며, 결국

섬유의 손실이 야기된다. 이러한 섬유의 손실 또한 섬유간 미끄러짐이 더욱 많아지게 한다. 따라서 이 과정을 거치는 동안, 실의 응력 완화가 이루어져서 실의 장력이 감소하려는 경향이 생긴다. 또한 바로 이 단계에서 실의 장력수준을 일정하게 유지하기 위해 작용하고 있는 기기의 기구로 말미암아 결국 실은 잡아 당겨져 늘어나게 된다. 이와 같은 부가적인 신장(Ep)은 실의 구조가 느슨해짐으로써 생긴 섬유용 미끄러짐에 주로 기인한다. 마모작용은 실을 구성하고 있는 섬유가 충분히 닳아 없어질 때까지 계속되므로, 응력을 견딜 수 있는 섬유의 수가 점차 적어지게 되고, 결국 실은 해체되고 만다. <그림 1>은 Reutlinge 웹 시험기에서 시뮬레이션화된 제직응력으로 말미암아 가호사가 취화되는 과정을 보여주고 있다.



<그림 1> 제직응력이 증가할 때 나타나는 가호사의 취화거동

(a) 정상, (b) 75사이클 후, (c) 150사이클 후, (d) 225사이클 후, (e) 300사이클 후, (f) 절단

나. 원사의 CSP값과 원사의 취화거동과의 상호관계

가항에서 언급한 바와 같이, 제직 도중에 실의 구조는 느슨해져 섬유손실이 야기되기 때문에 실의 취화가 발생한다. 마모가 일어나는 제직 도중의 어느 단계에서의 섬유손실량을 계산함으로써 실의 취화되는 정도를 정량적으로 평가할 수 있다. 서로 다른 실의 상대적인 성능을 비교하고자 할 때는 어떤 주어진 제직사이클에서 각각의 섬유손실량을 구함으로써 비교할 수 있다.

실의 CSP값과 실의 취화속도와의 관계를 알아보기 위하여, 번수와 연계수는 같으나 CSP값은 서로 다른 세 가지 실들을 Reutlinger 웹 시험기에서 실에 작용하는 응력의 정도가 점점 증가하는 상태에 놓이게 하였다. 실의 취화된 부분을 조심스럽게 잘라 내어 각 시료들의 단위 길이당 무게를 산출하였다. 이 결과로부터 마모에 의한 섬유 손실율(%)을 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{섬유손실율(L)} = \frac{L_p - L_A}{L_p} \times 100 \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

단, L_p = 실의 마모되지 않은 부분의 단위 cm당 무게

L_A = 실의 마모된 부분의 단위 cm당 무게

<표 2>를 보면, 어떤 특정한 마모 사이클이 작용된 뒤의 L값은 CSP값이 큰 시료일수록 감소됨을 알 수 있다. 실제로 섬유손실율(L)과 실에 가해진 제직 사이클의 수(C) 사이에는 다음과 같은 회귀관계식이 존재한다.

$$L = a \times C^b \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

단, a와 b는 회귀상수임

시료로 사용된 세 가지 실에 대한 회귀상수 a와 b는 <표 3>에 주어져 있다. <표 3>에 의하면, 실의 CSP값과 관계없이 회귀상수 b는 1.52 정도로 거의 일정한 것으로 나타났다. 그러나 비례상수 a는 실의 CSP값이 증가할수록 감

소하고 있다. CSP값이 작은 실의 a값이 CSP값이 큰 실의 그것보다 더 크다는 것으로부터 CSP값이 작은 실이 더 빠른 속도로 취화됨을 알 수 있는데, 여기에 대한 설명은 라항에 나와 있다.

<표 2> 제직 사이클 증가시 섬유손실율의 비교

사이클 數	CSP					
	1,788		2,181		2,568	
	W	L	W	L	W	L
0	14.70	–	14.90	–	14.40	–
50	13.34	9.3	14.15	5.1	14.08	2.2
100	10.15	30.9	12.81	14.0	13.02	9.5
150	5.91	59.8	11.30	24.2	12.33	15.1
200	1.85	87.4	8.53	42.8	10.91	24.3
250	–	–	4.83	67.6	9.18	36.2
300	–	–	2.53	83.1	7.63	47.0
450	–	–	–	–	1.15	89.5

단, W = 실의 무게($\times 10^{-5}$, g/cm)
L = 섬유손실률(%)

<표 3> 회귀상수 a와 b의 값

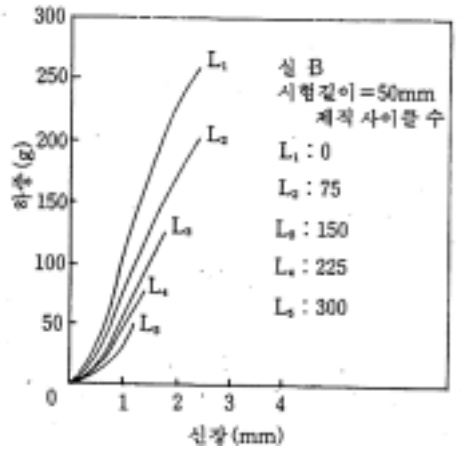
실	CSP	a×(10^{-5})	b
A	1,788	31.7	1.48
B	2,181	12.2	1.55
C	2,568	6.7	1.54

다. 원사의 CSP값과 가혹사의 취화거동과의 관계

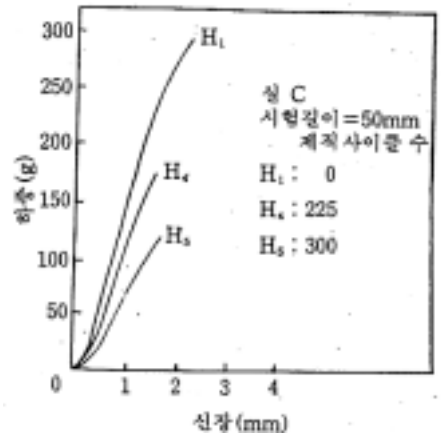
시료로 사용된 세 가지 실 가운데 실 B(CSP 2,181)와 실 C(CSP 2,268)는 12% 호부착량으로 가호되었다. 가호사는 Reutlinger 웹 시험기에서 여러 가지 다른 수준의 제직 사이클(75, 150, 225, 300) 하에 놓이게 하였다. 가호사의 정상적인 부분과 마모된 부분에 대한 인장성질을 알아보기 위해서 인스트론 시험기로 시험을 하였다. 시험 길이는 50mm로 하였다. 가호사에는 호성분이 존재하기 때문에 마모에 의한 실의 무게 손실(섬유 손실)을 쉽게 측정하기가

어려웠다.

시험결과에 의한 인장강력, 절단신도 및 탄성율(tan θ) 등의 평균값들이 <표 4>에 나타나 있다. 또한 서로 다른 두 실(실 B 및 실 C)에 대한 여러 가지 제직 사이클 하에서의 하중-신장 곡선이 <그림 2>와 <그림 3>에 나타나이 있다.



<그림 2> CSP값이 작은 실의 하중-신장 곡선



<그림 3> CSP값이 큰 실의 하중-신장 곡선

<표 4>에 의하면, 가호사의 인장강력, 신도 및 탄성율에 대한 변동계수

(CV%)는 제직 사이클의 수가 증가할수록 증가한다. 이것으로 볼 때 마모작용으로 인해 실 내부에는 새로운 취약점이 만들어지고, 결국 취약점에서는 강신도가 낮은 실의 도수가 많아지게 됨을 알 수 있다. 이런 결과는 Radhakrishnan이 연구한 경우와 비슷하다. 특히 이런 현상은 CSP값이 큰 실보다 CSP값이 작은 실의 경우에 더욱 두드러진다.

<표 4> 제직응력 증가시 가호사의 인장성질의 변화

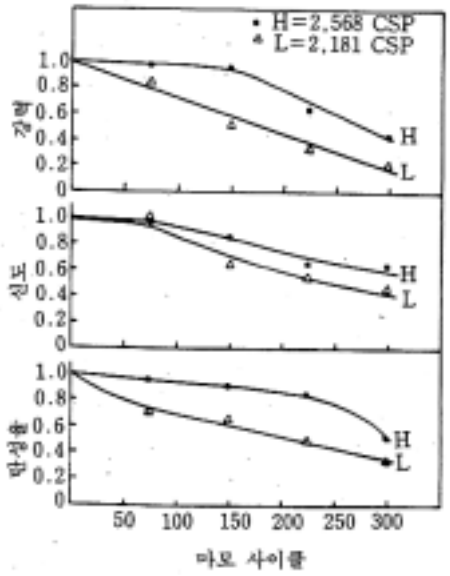
실	제직사이클數	引張性質			CV%		
		强力 (g)	伸度 (%)	彈性率 (Tanθ)	强力	伸度	彈性率
B	0	260	4.9	2.8	18.5	10.9	4.3
	75	218	5.0	2.0	15.0	19.9	8.2
	150	132	3.2	1.9	46.6	32.5	8.3
	225	87	2.8	1.4	49.5	21.1	24.8
	300	57	2.3	1.0	58.6	52.9	26.8
C	0	279	5.5	2.9	9.7	15.3	4.1
	75	275	5.3	2.8	10.2	13.4	3.2
	150	272	4.7	2.7	14.1	9.9	3.2
	225	177	3.6	2.5	41.1	22.2	6.9
	300	117	3.6	1.5	42.2	24.5	21.0

CSP값이 큰 실과 작은 실에 대한 초기 인장성질의 차이를 정규화함으로써 더욱 의미있는 비교를 할 수 있게 되는데, 마모된 실의 강력, 신도 및 탄성율의 분별보유값(fractional-reteneion)은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{분별보유값} = \frac{\text{마모된 실에 대한 값}}{\text{마모되지 않은 실에 대한 값}}$$

<그림 4>에서는 시험중 실에 부여된 제직 사이클의 수에 대한 분별보유값들을 나타내고 있다. 이 그림에 의하면, 제직 사이클이 증가할수록 강력, 신도 및 탄성율의 분별보유값이 감소하는 비율을 생각할 때 CSP값이 감소하는 비율을 생각할 때 CSP값이 큰 실보다는 CSP값이 작은 실의 분별보유값의

감소율이 더욱 큼을 알 수 있다.



<그림 4> 제직응력 증가시 CSP값이 큰 실과
작은 실의 분별보유값의 변화

또한 CSP값이 큰 실은 CSP값이 작은 실과 비교했을 때, 150 정도의 제직(마모) 사이클이 지나더라도 강력과 탄성율의 분별보유값(fractional-retention)의 감소하는 경향이 미미하다. 다시 말하면, CSP값이 큰 실의 경우에 실의 표면에 있는 호막을 닳아 없어지게 하여 실의 구조를 느슨하게, 또 약해지게 하기 위해서는 매우 많은 마모 사이클수가 필요하게 된다. 반대로 CSP값이 작은 실의 경우에는 강력과 탄성율은 제직사이클수가 증가할수록 급격히 감소한다. CSP값이 큰 실과 CSP값이 작은 실의 성능에 대해 관찰된 차이점은 라항에 설명되어 있다.

제직 사이클 수에 대한 신도의 분별보유값(fractional-retention)과의 관계를 보면, CSP값이 큰 실과 작은 실은 최초의 75 사이클까지는 신도의 손실이 거의 똑 같은 수준이고, 그 이후에는 CSP값이 작은 실의 경우가 CSP값이 큰

실의 경우보다 신도의 손실이 더욱 빠른 속도로 이루어짐을 알 수 있다.

이런 실험으로부터 실제로 중요한 사실, 즉 동일한 제직조건에서는 CSP값이 큰 실보다 CSP값이 작은 실이 더욱 빠른 속도로 내구한계(endurance limit)에 도달한다는 사실을 알 수 있다. 따라서 제직중에 약한 실은 강한 실보다 종광과 바디 구역을 빠져 나가기 전까지 더욱 사절이 일어날 가능성이 커지게 된다.

라. 실의 취화거동을 규정하는 인자로서의 CSP

CSP값이 작은 실과 큰 실이 똑 같은 포화사이클 하에 놓여지게 될 때 그 성능의 차이는 실의 구조적인 특징을 기초로 하여 설명될 수 있다. 실의 취화속도에 중요한 영향을 미친다고 생각되는 구조적인 특징은 첫째 실의 충전도(packing factor), 둘째 섬유간의 접촉점수 및 접촉의 정도 등이다. 이러한 실의 구조적인 특징은 측정하기도 쉽지 않을 뿐 아니라 관찰하기도 어렵다. 그러나 이런 실들의 성능 차이를 근본적으로 이행하기 위해서는 위의 구조적인 특징들을 정량화하는 것이 필요하다.

<표 5> 섬유의 물성

실	CSP	섬유의 물성			
		유효 섬유장 mm	평균 섬유장 mm	마이크로 네어값	번들 비장력(1/8m) g/tex
A	1,788	25.0	19.2	4.2	17.0
B	2,181	32.4	22.8	4.0	22.6
C	2,568	34.4	24.6	3.4	26.2

길고 가는 섬유들로부터 방출된 CSP값이 큰 실은 짧고 거친 섬유들로부터 방출된 CSP값이 작은 실보다 실 단면 내부의 섬유의 수가 더욱 많고, 또한 섬유와 섬유 사이의 맛물림이 더욱 좋은 상태로 되어 있는데, 이를 다시 말

하면, 섬유들 간의 접촉점 수가 많음과 동시에 접촉 정도가 큼을 의미한다. 이로 말미암아 CSP값이 큰 실은 섬유간 결합(충전도)과 섬유간 마찰의 정도가 더욱 커지게 된다. 따라서 마모중에 발생하는 섬유간 미끄러짐과 섬유의 닳음 및 잡아 뽑아짐은 충전도가 낮은 실(CSP값이 작은 실)보다 충전도가 높은 실(CSP값이 큰 실)인 경우에 더욱 지연되게 된다<표 5>.

위의 현상을 더욱 구체화하기 위해 두 가지의 서로 다른 실을 고려하였다. 하나는 실 내부의 섬유들을 함께 잡아주는 응집력들이 대단히 큰 것으로 섬유간 맞물림과 마찰이 큰 실이고, 다른 하나는 섬유간 응집력이 비교적 작은 실이다. 이 실들은 제직응력 하에 놓여지게 될 때, 첫번째 실 내부에서 발달된 힘들은 인장응력 및 기타 응력의 발달에 의해 주로 섬유 내에서 소산되었다. 응력의 초기 단계에서 섬유간 미끄러짐은 대단히 작았다. 그러나 제직응력의 반복으로 말미암아 섬유의 피로(fibre fatigue)가 발생하여 파단이 일어나고, 어느 정도 실 내부의 섬유의 미끄러짐이 야기되었다. 두번째 실의 경우에는 섬유간 응집력이 비교적 작기 때문에 제직응력이 발달하면, 실 내부의 섬유들은 그들의 정상적인 위치에서 쉽게 옮겨지거나 제거될 수 있었다. <표 6>은 위와 같은 설명을 뒷받침한다. <표 6>을 보면, 첫째 실의 충전도는 CSP값이 큰 실일수록 증가하고, 둘째 사절에 요구되는 마모 사이클 수는 CSP값이 큰 실일수록 증가하며, 셋째 섬유간 미끄러짐의 속도(E_p/cycle)는 CSP값이 큰 실일수록 감소한다.

시험중 섬유간 미끄러짐의 속도는 다음과 같이 계산되었다.

$$Ep/cycle = \frac{E_{10} - E_0}{W_{10}} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

단, E_0 = 기본 장력에 의한 실의 초기 신도

E_{10} = 열번째 섬유를 절단할 때까지 요구되는 마모사이클 수

W_{10} = 열번째 섬유를 절단할 때까지 요구되는 마모사이클 수

<표 6> 실의 구조인자가 실의 성능에 미치는 영향

실	CSP	실의 취화 속도 $a\times10^{-3}$	사절까지의 평균사이클	실의 충전도 (lc)	섬유간 미끄러짐			
					E_0	E_{10}	E_p	E_p/cycle×10
A	1,788	31.7	185	0.553	0.70	3.52	2.82	15.2
B	2,181	12.2	324	0.571	0.66	3.34	2.68	8.3
C	2,568	6.7	477	0.583	0.56	4.33	3.77	7.9

4. 결 론

반복적인 제직응력을 가하게 될 때, CSP값이 작은 실은 CSP값이 큰 실보다 더욱 빠른 속도로 인장성질 및 마모성질이 나빠지게 돈다. 이것은 길고 가는 섬유들로부터 방출된 CSP값이 큰 실은 짧고 거친 섬유들로부터 방출된 CSP값이 작은 실보다 더욱 조밀한 구조(실의 충전도가 큼)를 이루고 있고, 또한 실험기간중에 섬유간 미끄러짐의 속도가 더욱 느리기 때문이다. 제직공정은 실 내부에 여러 가지 새로운 취약점을 유발시키며, 따라서 실의 인장성질에 대한 변동이 증가된다. 이러한 효과는 CSP값이 작은 실에 있어서 더욱 두드러진다. 이상과 같은 이유로부터 CSP값이 큰 실보다 제직 도중에 클로드 펠까지 지나가는 동안 사절이 일어날 가능성이 더욱 크다고 할 수 있다.

주) CSP(Count Strength Product) :
번수강력정수. 면사의 리이(lea) 인장강력과 번수와의 곱을 말한다. 예를 들어, Ne40 면사의 리이 인장강력이 50lb일 때 번수강력 정수는 40×50 = 2,000이 된다.