

서틀리스 직기의 고속화와 위사의 품질과의 관계

1. 서 언

지난 수십년 동안 새로운 기술이 꾸준히 개발되고, 이미 알려진 기술들도 고도로 발달함에 따라 대부분의 섬유공정들은 생산성이 눈에 띄게 향상되었다.

한편, 미래에도 제품생산의 경제성은 한층 개선되리라고 예상된다. 미래에 있어서 생산성 향상은 공정의 처리속도를 더욱 빠르게 한다든지, 공정관리의 유연성과 최적화를 통하여, 혹은 인력을 감소시키고 경쟁상대를 능가하는 제품의 고품질화를 촉진함으로써 달성할 수 있을 것이다.

제직분야에서 위의 모든 목표들을 달성하기 위해서는 사절수를 가능한 최소화하는 것부터 시작하여 직기의 운전효율이 높은 상태에서 공정관리가 유지되어야 한다. 불필요한 직기의 정대는 자산과 노무비의 손실을 증대시킬 뿐만 아니라, 대부분의 경우에 직물의 품질에 좋지 않은 영향을 끼치며, 나아가 후공정에서 예기치 못한 문제가 야기되기도 한다.

대략적으로 생각해 볼 때, 에어제트 직기의, 운전효율을 1%만 향상시키더라도 연간 생산비의 절감효과는 에어제트 직기 1대당 1,000~1,500달러 정도에 이르게 된다. 만약, 방적사를 사용하는 현대식 제직공장에서 폭이 2m인 직물을 생산할 때 100,000회 위입당 5번 이상의 사절이 발생한다면, 이는 생산관리의 측면에서 큰 우려의 신호로 받아들여진다. 이것으로 볼 때, 원사로 사용되는 위사의 품질과 직기의 운전상태가 더욱 높은 수준에 도달해야만 한다는 사실이 쉽게 납득된다.

자동 사절보수장치가 핵심 기술이고 또 권사 공정에서는 더 이상의 노동력이 필요하지 않는 방적부문과는 달리, 제직부문에서는 아직까지 완전 자동

화로 가는 길목에 많은 장애 요인들이 있다. 직기의 위사절보수장치의 자동화(즉, 끊어진 위사의 자동제거)에 대해서는 현재까지 괄목할 만한 발전이 이루어져 왔지만, 반면에 제직공정에서 경사를 다루고 제어하며 보수한다는 것은 아직까지 정방기에서 실을 다루는 일보다 훨씬 어려운 일이라 할 수 있다.

따라서, 사절 문제는 당분간 직기의 운전효율을 결정하는 매우 중요한 인자로 계속 남을 것이다. 만약, 향후 언젠가 로봇이 직기에서 일어나는 경사절의 보수를 담당하게 되더라도 사절 문제는 직기의 운전효율을 결정하는 매우 중요한 인자로 남게 될 것이다.

그러므로 높은 생산성을 갖는 새로운 제직기술을 개발하기 위해서는 먼저 섬유제품의 원료 그 자체가 갖는 한계성부터 고찰해 나가는 것이 당연하다. 이와 같은 이유로 말미암아 방직기술자와 제직기술자는 생산속도가 빠른 새로운 형태의 직기를 원활히 운전하는데 요구되는 원사의 물성에 대해 늘 유념해야만 한다.

2. 최신식 직기의 위입속도

전세계에서 생산되는 섬유제품의 약 70% 정도는 직물류로서 2차원 구조의 섬유제품을 만드는 기술 중에서 가장 각광을 받고 있는 것은 여전히 제직기술이라고 말할 수 있다.

약 20여 년 전의 예상과는 달리 직물과 편성물의 생산비율이 편성물쪽으로의 괄목할 만한 변화는 보이지 않고 있으며, 가까운 장래에도 이와 같은 상황에 심각한 변화를 나타내는 징조는 어디에도 없는 실정이다.

이와 같이 직물이 편성물보다 더욱 인기를 끌고 있는 것은 대략 다음과 같은 세 가지 이유에 기인한다. 첫째로는 직물과 편성물 간의 시장점유율 분

할의 요인 중 많은 부분이 요구 되는 최종제품의 물성에 의해 지배된다는 사실 때문이다. 둘째로는, 직기는 제품의 용도에 따라 생산의 유연성이 대단히 큰 반면, 편성기는 편침 게이지가 정해지면 제품의 용도에 따른 생산의 유연성이 상당히 제한을 받는다는 차이가 있기 때문이다. 셋째로는, 총체적인 최종제품의 생산에 있어서 보통 제직기술에 의한 제품이 선호되기 때문이다.

직물과 편성물에 대한 패션 경향 역시 의류를 생산하는 방법을 결정하는데 중요한 역할을 담당한다.

오늘날 거의 모든 직물들은 세 가지 셔틀리스 직기(그리퍼 직기, 레피어 직기, 에어제트 및 워터제트 직기) 중의 하나를 사용함으로써 생산될 수 있다.

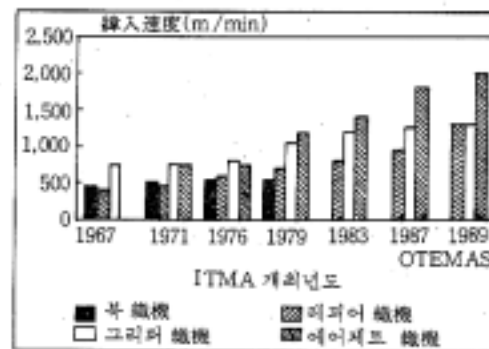
제직 시스템을 선택하는 것은 공장의 하부 구조뿐만 아니라, 품종의 생산 계획(실의 변수, 원료, 색상, 패턴, 직물의 구조 및 중량)에 따라 좌우된다.

그리퍼 직기는 높은 위입속도, 광폭의 직물 및 광범위한 용도의 제품생산을 기할 수 있다.

한편, 패션이 강조되는 분야와 실내장식용 직물을 제조하는 분야에는 레피어 직기가 선호 되고 있는데, 이는 위사 색상의 선택폭이 넓고 실의 구조에 따라 생산에 대처하는 유연성이 크기 때문이다. 또한, 제트 직기의 경우에는 생산성이 가장 높은 반면에 사용되는 실의 종류에는 제한을 받는다.

지난 20여 년 간을 돌이켜 볼 때, 특히 1980년도 이후에 위입속도 [ppm(picks/min)×제직폭]로 표시되는 직기의 생산성이 매우 큰 폭으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 비록 각종 섬유기계전시회에서 보여준 직기의 운전 속도가 실제 현장과는 정확하게 부합되고 있지는 않더라도, 이는 바로 미래의 추세를 가리키는 지표라고 해도 과언이 아닐 것이다.

레피어 직기의 위입속도는 1,000m/min에 이르고 있으며, 그리퍼 직기의 위입속도는 레피어 직기보다 빠르며, 에어제트 직기의 위입 속도는 1,500~2,000m/min에 이르고 있다.



<그림 1> 위입속도의 증가 추세

위입속도로 표시되는 직기의 생산성은 ppm을 증가시키거나, 더욱 광폭의 직물을 생산한다든지 혹은 두 가지 모두를 충족시켜 주면 분명히 증대될 수 있다. 의류용 직물에 대해서는 그 폭이 1.4m에서 3.6m까지의 생산이 주종을 이룰 것이며, 반면에 산업용 직물에서는 보다 광폭의 직물이 중요한 역할을 담당할 것이다.

3. 위입속도와 위사의 인장응력

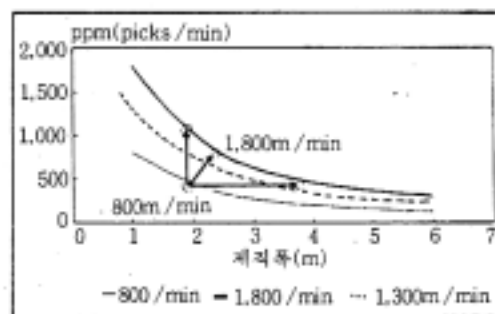
앞에서는 직기의 위입속도가 점점 고속화하고 있음을 언급한 바 있는데, 그러면 이와 같은 추세가 앞으로도 계속될 것인지, 또 여기에 관련된 기술개발의 한계는 어디에서 나타날 것인지, 또는 과연 위사가 부과되는 응력을 잘 견뎌낼 것인가 하는 질문들이 나올 수 있다.

일반적으로 단상 직기에서 위입속도가 증가하게 되면, 위사의 평균 속도와 가속도도 커지게 된다. 제직 사이클과 제직폭과의 관계를 업체의 자료를 통

해서 비교해 보면, 세 가지 셔틀리스 직기들에서 위입속도는 레피어 직기 950m/min, 그리퍼 직기는 1,190m/min, 그리고 에어제트 직기는 1,710m/min의 위입속도를 가짐을 알 수 있다.

제직 사이클 시간 중의 어느 일부분만이 실제 위입에 소요되는 시간이므로, 위사의 평균속도는 위입속도보다 매우 큰 값을 나타낸다. 이를 직기별로 보면, 레피어 직기에서 평균 위사속도는 약 24m/sec, 그리퍼 직기의 경우는 약 34m/sec, 에어제트 직기는 약 53m/sec 정도이다. 위입상태의 조건과 제직 중 실에 걸리는 응력에 관해 생각할 때, 분명히 위사의 속도는 중요한 특성 인자이지만 그렇다고 해서 결정적으로 유일한 특성인자는 아니다.

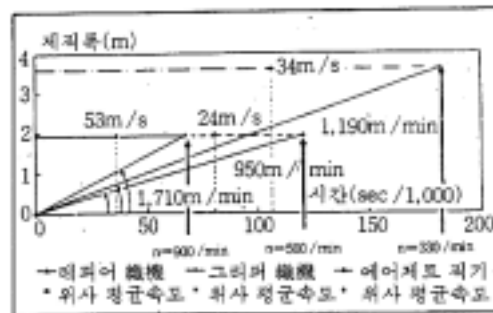
최근의 연구동향에 의하면, 서로 다른 위입 원리를 갖는 직기에 대해 직기의 속도가 증가함에 따라 위사의 장력에 미치는 영향에 관한 연구가 많이 이루어져 왔다. 그 결과, 서로 다른 인장거동을 보이는 두 가지 위사를 사용함으로써 위사의 피크 장력을 얻을 수 있었다.



<그림 2> 제직폭과 ppm의 함수인 위입속도

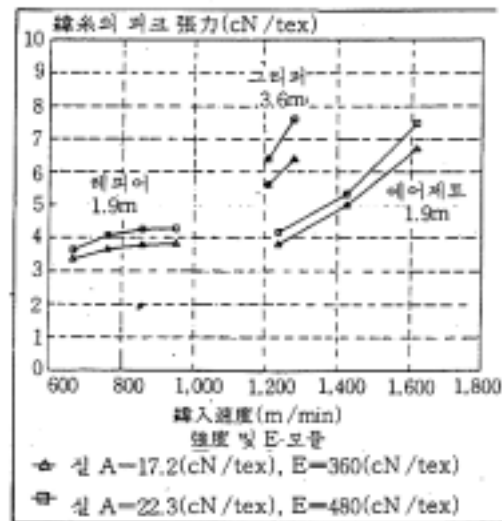
이때 레피어 직기와 에어제트 직기의 제직폭은 1.9m로 하여 운전되었으며, 반면 그리퍼 직기의 바디폭은 3.6m로 하였다. 레피어 직기인 경우, 위사의 피크 장력은 직기의 속도가 증가(즉, 350ppm에서 500ppm으로 증가) 하더라도

크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 반면에 그리퍼 직기와 에어제트 직기의 경우에는 각각 직기의 속도를 330ppm에서 350ppm, 650ppm에서 850ppm으로 증가시킬 때 위사의 피크 장력도 대략 직선적으로 증가함을 알 수 있었다. 한편, 이와 같은 고속 운전에서조차 위사에 부과되는 응력은 여전히 위사 장력의 50% 이하의 수준에 머물고 있었다. 그러나 동일한 기계 세팅 조건 하에서 측정된 위사의 피크 장력이라도 실의 종류에 따라 상당한 차이가 있을 것이다.



<그림 3> 위입속도와 위사 평균속도와의 관계

이제부터는 위입단계에서 피크 장력의 발생 기구에 대해 생각해 보기로 하자. 위사의 피크 장력 곡선을 보면, 서로 다른 위입원리를 갖는 직기들 간에 위사의 피크 장력에 차이가 있음을 알 수 있다. 레피어 직기와 그리퍼 직기의 경우, 위사의 피크 장력은 위사의 이동이 막 시작하려는 지점에서 발생하며, 반면에 에어제트 직기의 경우 피크 장력은 위사가 개구를 다 지나온 직후에 발생함을 알 수 있다. 비록 처음 두 가지 직기인 경우에 위사의 피크 장력이 위사의 가속단계에서 나타나고, 제트 직기인 경우에 위사의 감속단계에서 나타나지만, 피크 장력의 발생원인은 어느 경우에서든지 항상 충격파 (shock wave)에 기인한다.



<그림 4> 위사의 피크 장력 곡선(Ne 50 정소면사)

에어제트 직기에서 이동중인 위사를 갑자기 정지시켰을 때의 경우를 생각해 보자. 이와 같이 움직이고 있는 위사를 정지시키고 있는 동안 작용하는 힘은 위사의 운동에너지와 정지 단계 동안 실을 잡아 당김으로써 행해진 일을 서로 같게 둬으로써 다음과 같은 식에 의해 계산될 수 있다.

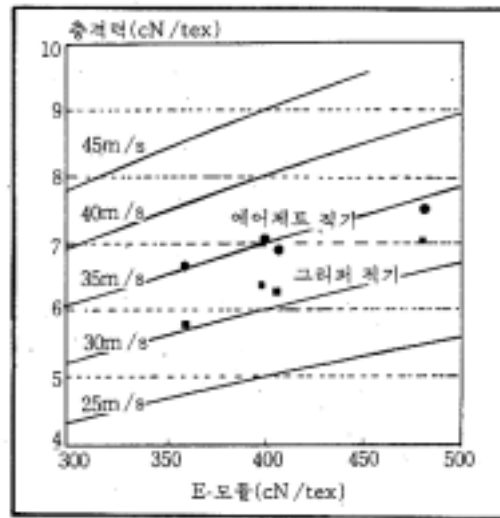
$$F = V \times \sqrt{E/100}$$

단, $F(\text{cN/tex})$: 충격력(shock force)

$V(\text{m/sec})$: 정지하기 전의 위사속도

$E(\text{cN/tex})$: 위사의 평균 인장탄성률

위사의 속도를 매개변수로 하여 충격력과 인장탄성률(E-모듈)과의 관계를 <그림 5>에서 나타내고 있다. 이에 의하면, 위사의 특성과 위사의 속도에 따라서 인장응력이 실제로 매우 커질 수도 있음을 분명하게 알 수 있다.



<그림 5> E-모듈 및 위사속도의 충격력 함수

어떤 한 실험에서는 실의 물성이 서로 다른 네 가지 Ne 50 정소면사를 위사로 써서 에어제트 직기로 제작할 때 위사에 걸리는 최대 장력을 결정할 바 있다. 이때 에어제트 직기의 운전조건 중 바디폭은 1.9m이고 직기의 속도는 850ppm이었으며, 반면 그리퍼 직기의 바디폭은 3.6m이고, 직기의 속도는 330ppm이었다.

만약, 위사의 피크 장력이 충격파의 결과로 인한 것이라는 가설이 받아들여진다면, 이는 다음과 같은 사실을 의미한다. 첫째, 그리퍼 직기에서 위사의 가속단계 동안 충분히 신장될 때 위사의 속도는 약 32m/sec 수준일 것이라는 점이며, 둘째, 에어제트 직기의 경우 위사가 정지하기 직전의 속도는 약 35m/sec일 것이라는 점이다.

비록, 이와 같은 값들이 실제값보다는 다소 작더라도 위입이 일어나는 동안 발생하는 위사의 응력발생기구의 타당성을 뒷받침하고 있다. 게다가 이러한 현상들은 고속 제직에서의 임계조건을 가리키기도 하는데, 즉 위사에 작용하는 인장력이 허용 가능한 범위 내에 있도록 하기 위해서는 위사의 가속

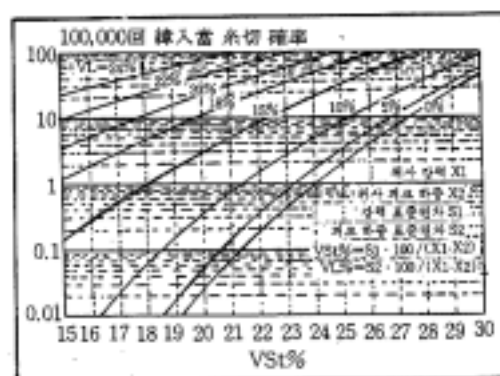
단계와 감속단계를 주의 깊게 관찰하는 것이 매우 중요하다.

에어제트 직기에서는 위입 사이클이 끝나는 지점에서 위사의 속도를 신중하게 제어해야 한다. 그리퍼 직기와 레피어 직기에서는 위사가 최대 속도에 이르기까지의 가속이 일어나기 전에 이미 초기에 낮은 속도를 갖게끔 하여 위사를 공급하는 것이 필요할 것이다. 위사의 가속상태가 임계국면에 있는 경우에는 위사저장장치와 개구의 입구 사이에서 위사 경로에 작용하는 마찰력의 영향을 고려하는 것도 물론 중요한 일이다.

4. 직기의 속도와 실의 특성과 관련된 제직효율

제직효율(weaving efficiency)은 주로 사절이 발생할 확률에 좌우되는 것으로서, 이 효율을 평가하기 위해서는 실의 탄력뿐 아니라 실에 부여되는 응력의 수준도 잘 파악되어야 한다.

이전의 연구에 의하면, 실에 걸리는 평균하중과 탄력뿐 아니라 이런 힘들의 분포에 대해서도 그 의미가 매우 중요하다는 점들이 지적된 바 있다.



<그림 6> 사절확률곡선

어떤 제직조건에 의해 주어진 실의 응력이 그 실에 존재하는 취약점의 강

력과 같을 때 사절이 발생함은 틀림없는 사실이다. 만약, 제직공정에서 발생하는 위사의 강력과 위사에 작용하는 힘에 관한 분포곡선이 그려진다면, 이들 두 곡선이 겹쳐져서 이루어지는 면적이 사절의 확률(yarn break probability)로서 가시적으로 나타날 수 있다.

이와 같은 두 곡선의 상호관계를 인지한다는 것은 대단히 중요하며, 또한 이론적인 사절 발생횟수의 기대값에 대해 실제로 정량적인 정보를 얻는 데 매우 큰 도움이 될 것이다. 물론, 어느 누구도 이와 같은 단순한 이론적 유도 결과의 결과가 실제의 결과와 정확하게 일치할 것이라고 기대할 수는 없다. 이론적인 사절 발생횟수의 기대값은 다음과 같은 이유에 근거하여 세워져야 한다.

- 위사의 탄력특성의 결정은 제직공정에서 일어나고 있는 실제 응력조건과는 상당한 차이가 있는 상태에서 수행된다. 여기에서 얘기하는 조건의 차이란 위사의 속도, 기타 기후조건 등의 차이를 의미한다.

- 거의 대부분의 경우에 실제 운전중에 있는 직기에서 실제 위사의 응력상태를 결정하는 것은 불가능하거나 매우 어려운 일이다.

- 측정가능한 위사의 특성과는 직접적으로 관련이 없는 많은 위사절 요인들이 있는데, 여기에는 스풀이 파손되었다든지, 위사의 해사 기능이 원활하지 못하다든지, 스풀 교환시의 문제점, 정경 및 가호상태의 불량, 혹이나 매듭 결점이 있다든지 하는 여러 위사절 요인들이 있을 수 있다.

다음은 실제 결과들을 보여주고 있다. 제직 성능의 평가를 위해 같은 Ne 50 정소면사이지만 물성은 다른 네 가지 실(A, B, C, D)을 사용하였다. 실에 관련된 자료는 <표 1>에 나타나 있다.

A B, C, D에 대해 각각 13개의 스풀을 취하고, 한 스풀당 100번씩의 인장시험을 하였다. 모든 실들은 레피어 직기 그리퍼 직기 및 에어제트 직기에서

위사로 사용되었다.

위사의 장력은 DEFAT 시험기에서 행해졌는데, 이 시험기는 매우 많은 양의 자료를 온라인으로 처리하며 통계적 평가까지 가능하게 한다. 특히, 고주파수 응답이 요구되는 경우에는 RES 장력측정장치도 사용하였다. 제직성능에 관한 대표적인 자료를 얻기 위하여, 최소한 각 위사별로 약 200,000 회의 위입으로 시험 하였다.

처음 보아서는 위사절에 관한 임계조건을 기대할 수 없을 것이다. <표 1>에서 100,000 회의 위입당 이론적으로 예상된 사절률뿐 아니라 실제 관찰된 값들도 나타나 있다.

<표 1> 위사의 물성과 위사절(에어제트 직기, 1.9m, 850ppm)

위사의 종류	A	B	C	D
원 수(N/e)	48.8	49.8	47.4	48.4
절단 하중(cN)	298	294	280	296
절단 하중 CV(%)	10.9	10.7	8.9	8.1
절단 신도(%)	5.3	4.9	5.9	5.3
E-모듈(cN/tex)	360	396	405	460
절단 에너지(ch/cm)	260	257	294	363
TPM(/m)	1,323	1,121	1,029	986
Uster CV(%)	16.3	15.1	13.7	13.8
넵(/100m)	285	243	305	272
관입(/20m)	481	378	305	272
피크 장력(cN)	82.1	64.5	86	91
피크 장력CV(%)	5.0	4.8	4.8	4.4
사절수(관찰값)/100,000	8.1	2.3	0	0
사절수(이론값)/100,000	0.0002	0.0003	0	0
사절수(조정값)/100,000	3.1	5.3	0	0

이 자료에 의하면, 실 A에 대한 에어제트 직기의 경우 850ppm에서의 사절

률이 만족스럽지 않은 것으로 나타나고 있다. 그러나 이론적인 사절 예상값은 실제값보다 훨씬 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

따라서, 사절시험의 횟수를 1,300번에서 46,000번으로 확장하여 사절수를 늘리는 한편, 특히 대단히 작은 값을 갖는 절단하중의 분포를 조사함으로써 실의 인장강력을 더욱 면밀하게 연구하였다. 이와 같이 매우 많은 양의 시험용 샘플을 조사한 결과, 실이 갖는 취약점과 관련하여 매우 상이한 결과가 나타났다.

처음에 수행한 1,300번의 인장시험에서는 단지 22% 만이 160cN 이하의 절단하중을 나타내었는데, 이로 말미암아 위사의 장력이 인장력을 능가할 것 같지는 않은 것으로 여겨진다. 그러나 상당히 많은 자료에서는 모든 사절의 6% 정도가 절단하중 160cN 이하로 나타났으며, 이는 물론 사절의 위험성이 큼을 의미한다.

46,000번의 사절시험으로부터 얻은 자료를 통해 새로운 의중분포곡선을 적합화함으로써, 사절확률을 계산해 본 결과, 100,000회 위입에서 3.1의 값을 갖게 되어 실제값과 같은 수준이 되었다.

이와 같은 연구의 결과로 말미암아 산업체에서 사용하고 있는 실에 대한 시험 가운데, 특히 인장시험에서 표본 크기가 일반적으로 너무 작아서 그 시험결과가 대표성을 나타낸다고 보기가 어렵다는 결론에 도달하게 되었다.

5. 고속화되고 있는 직기의 속도

현재 실제로 운전되고 있는 속도보다 훨씬 빠른 속도를 갖는 직기에 대해서는 제직성능과 사절률에 관하여 과연 어떤 결론이 도출될 수 있을까? 실험적인 결과에 기초를 두고자 하는 이러한 의문에 대해 본고에서는 다소 정성적 방법으로 해결책을 구하고자 한다. 직기의 속도가 증가하면 위입시간이

단축되고, 따라서 일반적으로는 최대 위사속도와 가속도가 더욱 커지게 된다. 만약, 제직공정에서 일어나는 위사의 강력에 대한 피크 장력의 비율과 이들 두 힘의 변동계수를 알기만 하면, 사절률은 이론적으로 계산될 수 있다.

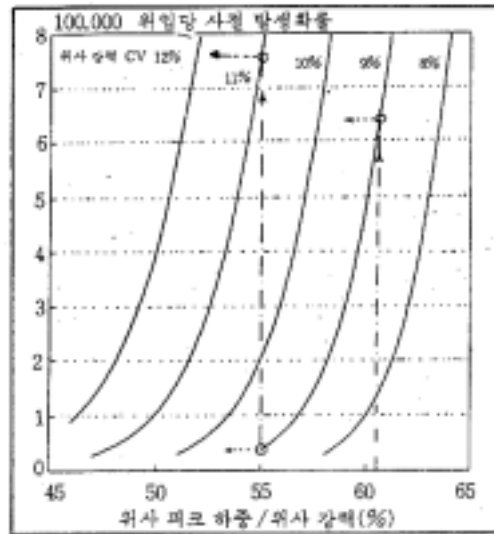
피크 하중의 표준편차가 8%(그리퍼 직기와 에어제트 직기의 경우, 위사에 작용하는 인장 응력에 있어서는 전형적인 값)라고 가정하면, 선택된 위사 강력의 변동범위는 중급에서 고급 실에 이르기까지 타당한 것으로 여겨진다.

위사의 강력에 대한 피크 의중의 비와 위사 강력의 표준편차에 단지 약간의 변동이 있다 하더라도 이로 인한 영향은 대단히 크다. 예를 들어, 위사 강력의 변동계수가 9%이고, 위사의 피크 하중/위사 강력의 변동계수가 55%라고 가정하면, 사절이 발생할 확률은 역입 100,000회당 1번의 사절수에 훨씬 못미치고, 이는 곧 거의 완벽한 제직이 이루어짐을 의미 한다.

만약, 위사 강력의 표준편차가 9%에서 11%로 증가한다면, 위사의 거동은 100,000회 위입당 8번의 사절이 일어날 정도로 불량해 진다. 또한, 직기의 속도가 증가함으로 인해 위사의 피크 하중이 10% 정도 증가한다면, 이로 말미암아 피크 하중/강력의 비가 60.5%나 증가하게 되어, 100,000회 위입당 약 6~7번의 사절이 발생하는 등 좋지 않은 결과가 나타난다.

이와 같은 이론적 값들을 위입이 일어나는 동안 장력측정장치로부터 얻은 실제 결과와 또한 기지의 인장강력과 결부시킴으로써 어떤 직기에 대해서도 위사절에 관한 임계조건을 나타낼 수 있다. 만약, 임계수준을 100,000회 위입당 1번의 사절로 잡는다면, 허용 가능한 위사의 강력에 대한 피크 하중의 비는 위사의 피크 하중과 위사 강력의 표준편차의 함수로서 결정될 수 있을 것이다.

경험적으로 두 하중의 비가 경사선 이하에 있는 한, 사절률은 안전지대에 있는 셈이 된다.



<그림 7> 위사 피크 하중의 CV=8%일 때, 100,000 위입당 사절 발생확률

세 가지 직기로부터 서로 다른 제직속도에서 얻어진 실제 위사의 강력을 보면, 위입조건이 얼마나 결정적으로 중요한 요소인지를 평가할 수 있을 것이다.

에어제트 직기에서 1,610m/min의 위입속도를 가질 때를 생각해 보자<표 1>.

실 A는 상대적으로 절단하중이 약 4096 정도 작고, 또한 변동계수는 10.9%로서 가장 크다. 반면에 실 D의 절단하중이나 그 변동계수를 보면 여전히 직기의 고속화에 관해 무리가 없는 상태를 유지함을 알 수 있다.

위사의 하중곡선을 위입속도가 매우 높은 경우에 대해 외삽해 보면, 실 D에서 위입속도의 한계는 에어제트 직기인 경우에 약 1,800m/min, 그리고 직기인 경우에는 약 1,500m/min 정도가 된다.

한편, 이와 같은 값들이 절대성을 갖는 한계로 받아들여질 수는 없는데, 그 이유는 이 값들이 특별히 선택된 위사들에 의해 적용되고, 또한 세 가지 직기의 현 상태의 설계 및 제어 방식에 의해 적용되기 때문이다.

6. 결 언

미래의 제직공장은 직기의 생산성 향상, 노동력의 절감, 그리고 더욱 복잡해지는 컴퓨터 통합 공장관리 시스템으로 특징지어질 것이다.

그러나 제직공장이 경제적으로 성공하기 위한 관건은 여전히 직기의 운전 효율에 주로 좌우되게 된다.

위입속도는 점점 고속화하는 추세이기 때문에 위사의 피크 하중 역시 커지게 되고, 따라서 섬유재료와 직기 간의 상호관계는 반드시 주의 깊게 고찰되어야만 하는 인자로서 그 중요성이 점점 더해가고 있다.

본고에서는 위사의 가속 또는 정지상태와 관련하여 위사의 인장탄성률이 위사의 피크 하중에 미치는 영향이 상당히 큰 것으로 판명되었다. 위사절이 발생할 확률을 추정하는 데 있어서 위사의 하중, 강력 및 이들의 분포상태를 충분히 알기만 하면 이론적인 예상이 가능하다.

실제 실험에 의하면, 실의 인장성질을 알기 위해 오늘날 현장에서 사용하고 있는 시험횡수가 너무 적다는 것을 알 수 있었다.

사절의 발생확률에 관한 이론과 실제 제직에서 일어나는 위사의 하중을 함께 묶어 고찰 함으로써 제직속도의 한계와 실의 이용한계를 추정하는 것도 가능해질 것이다.