

공기류에 의한 슬라이버의 분리거동

1. 서 언

방적공정에서 공기류는 개면, 면과의 수송, 풍면의 제거 등에 이용되고 있다. 또한 혁신방적인 오픈엔드 방적에서도 슬라이버의 분리와 수송에 공기류가 이용되고 있으며, 이에 관한 연구도 많이 발표되었다.

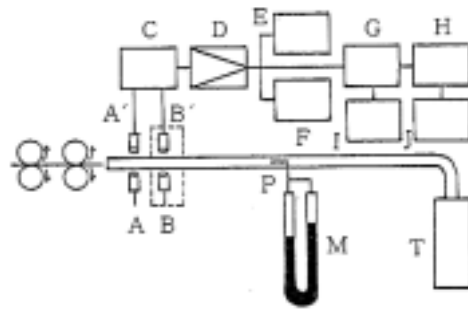
그리고 슬라이버의 구조 특히, 슬라이버 속에 있는 섬유집단 및 드래프트 과정에서 섬유의 집단적 거동에 관한 연구는 슬라이버 불균일의 발생 혹은 혼방 불균일의 평가라는 측면 때문에 이론적으로 논술한 것은 많으나 실험적인 연구는 적다.

재료에 여러가지 자극을 주어 이에 대한 반응을 해석하여 재료의 특성을 찾는 것은 일반적인 수법이다. 슬라이버에 흡인기류로 파괴 자극을 가하면, 그에 대한 반응으로서 슬라이버는 연속성을 잃고 단섬유와 여러가지 크기의 섬유집단으로 분리된다. 따라서 분리거동과 분리된 섬유집단의 크기를 측정, 해석함으로써 슬라이버의 구조, 특히 섬유의 집합상태를 규명하는 것이 가능하다고 생각된다. 오늘날 슬라이버의 구조를 측정하는 방법이 없는 현재의 상황에서 본다면, 위의 방법은 흥미있는 방법이다. 본고에서는 주로 이런 입장에서 설명하기로 한다. 물론 측정방법과 해석은 현재의 오픈엔드 정방에서 섬유의 분리상태를 해명하는 데 적용 가능한 것이다.

2. 분리된 섬유집단의 측정

슬라이버에 흡인기류를 작용시키면, 단섬유와 여러 크기의 섬유집단으로 분리된다. 수송관 내부를 고속으로 이동하는 단섬유나 섬유집단의 측정은 Siomi, Krause 등에 의한 스트로보스코프(stroboscope)^{주1)}를 이용한 순간 사진촬영

영 및 Suzuki, Siomi, Lunenschloss, Yaita, Chikada 등에 의한 광전소자를 이용한 연속측정으로 나누어진다.



A, B: 투광광원, A', B': 수광기, C: 브리지 회로, D: 차동증폭기,
E: 오실로스코프, F: FFT 분석기, G: 디지털 메모리, H: 컴퓨터,
I: 레코더, J: 프린터, M: 압력계(manometer), P: 피토티관²⁾ T: 공기배출기

<그림 1> 분리되는 섬유집단의 측정 및 해석 장치

<그림 1>은 본 연구의 실험에 사용한 장치이다. 이 장치는 드래프트 장치의 프런트 롤러로부터 송출된 슬라이버를 흡인기류에 의해 단섬유나 섬유집단으로 분리하고, 수송관 내부로 고속으로 이동하는 섬유집단의 크기를 검출하여 컴퓨터에 의해서 온라인 데이터 처리를 행할 수 있는 장치이다. 롤러 드래프트 장치 대신에 코밍 롤러를 설치하는 것도 가능하다. 수송관 속의 흡인기류는 공기 배출기의 모터 회전수를 변화시킴에 따라 20~120m/sec까지 광범위하게 변화시킬 수 있다. 프런트 롤러로부터 40mm되는 부근에는 내경 15mm의 원형 흡인관을 부착하였다. 분리된 섬유집단의 크기는 수송관의 투명한 부분에 설치한 투수광기에 의해서 검출된다. 두 쌍의 투수광기에서 한 쌍은 섬유집단의 검출용으로, 다른 한 쌍은 별도의 위치에 설치하여 브리지 회로의 평형용으로 사용하였다. 또 양자를 10cm 떨어뜨려 검출관에 설치하고, 섬유집단은 분리 후 가속되어 차츰차츰 정속운동으로 바뀌어진다. 따라

서 투수광기는 섬유집단이 정속운동을 하고 있는 것이 확실한 부분, 즉 흡인관의 입구로부터 60cm 떨어진 곳에 설치하였다. 광원에는 레이저 광선, 수광부에는 광전변환소자 중에서 주파수 특성이 양호한 핀 포토다이오드(pin photodiode)^{주3)}를 사용하였다. 검출부는 한 변의 안쪽 길이가 13mm인 투명한 각형 검출관으로 되어 있고, 레이저 광선을 렌즈로 확대시켜 15mm 폭의 평행선으로 하여 검출관부에 수직으로 조사하였다. 분리된 섬유집단이 레이저 광선을 차단할 때 생기는 브리지 회로의 불평형 전압은 차동 증폭기로 증폭하였으며, 본 측정장치로 단섬유까지 검출하는 것이 가능하다.

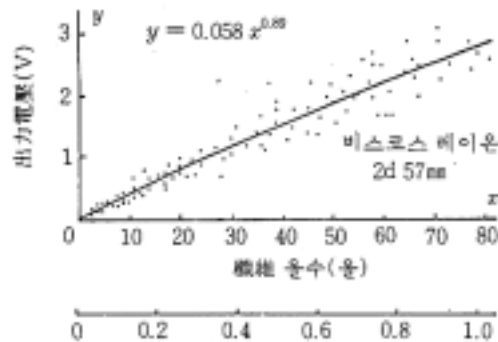
차동 증폭기에서 나온 출력신호는 오실로스코프에서 직접 관찰함과 동시에 디지털 메모리에 기억시킬 수 있다. 실험에서는 0.1ms마다 양자화하여 4kw의 데이터를 기억하였다. 즉 0.4초 동안의 매우 짧은시간에 대한 현상을 측정하는 것이다. 프론트 롤러로부터 슬라이버의 송출속도가 4cm/sec인 경우에는 슬라이버의 길이로 16mm에 상당한다. 디지털 메모리에 기억된 데이터를 D/A변환하여 레코더에 기록한 결과를 <그림 2>에 나타냈다.



<그림 2> 검출된 신호의 일례

그림에서와 같이 섬유집단이 검출부를 통과할 때마다 펄스(pulse)상의 파형이 나타나고 있다. 입체적인 섬유집단을 사영면적에 비례한 양으로써 검출하기 때문에 파형의 높이는 섬유집단을 구성하는 섬유의 울수에 비례하지 않는다. 출력전압과 섬유 울수와의 관계를 알기 위하여 울수를 알고 있는 섬유집단을 검출부에 통과시켜 출력전압을 구하였다. <그림 3>은 이렇게 하여 얻어진 환산곡선으로서 2d, 57mm의 비스코스 레이온에 대한 결과인데, 시료마

다 환산곡선을 작성할 필요가 있다.



<그림 3> 섬유집단의 중량과 출력전압과의 관계

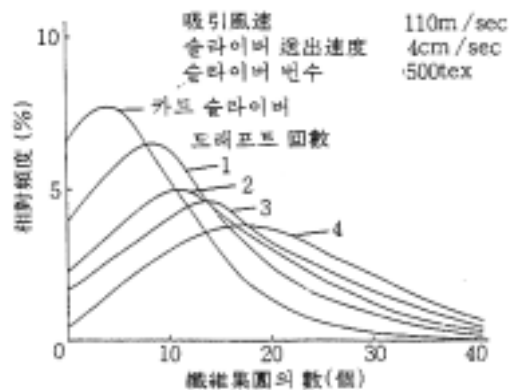
디지털 메모리에 기억된 데이터는 컴퓨터에 전송되어 디스크에 보존되고, 디스크로부터 데이터를 빼내 준비된 프로그램에 의해 펄스파형 사이의 시간 간격과 일정 시간 내에 존재하는 파형의 수를 산출한다. 또 데이터를 FFT 처리하여 파워 스펙트럼(power spectrum)주4)을 계산한다. 다시 파워 스펙트럼을 역 푸리에 변환(Fourier transform)하여 자기상관함수를 구한다. 이 자료들은 컴퓨터에 의해 자동으로 처리되며, 별도의 프로그램에 의해 펄스파의 전압을 구성섬유의 올수로 환산하여 올수의 분포, 평균섬유 올수와 분산을 산출할 수도 있다.

3. 섬유의 분리거동에 대한 시계열 해석

흡인기류에 의해 분리된 섬유집단은 검출부에서 <그림 2>에 나타난 것처럼 높이, 간격이 다른 펄스 열로서 관측된다. 이것은 진공관의 불규칙한 전자 방출, 원자핵의 붕괴 등이 원인으로 고속도로의 한 점을 통과하는 자동차와 유사한 ‘흔들림’ 현상으로서 이러한 현상은 시계열적으로 해석한다.

슬라이버를 롤러 드래프트 장치로 드래프트한 후에 흡인기류에 의해 분리

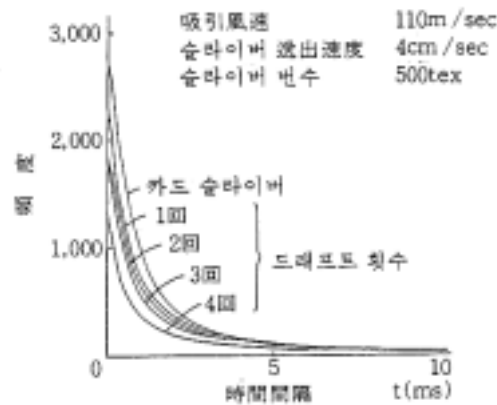
하는 경우, Yaita, Chikada의 보고처럼 분리거동은 흡인풍속, 송출속도, 흡인관의 형상, 드래프트비, 롤러 게이지 및 슬라이버의 굵기 등에 영향을 받는다. 따라서 슬라이버를 구성하는 섬유의 집합구조가 분리에 미치는 영향을 명확히 하기 위해서는 섬유의 분리조건을 동일하게 하지 않으면 안 된다.



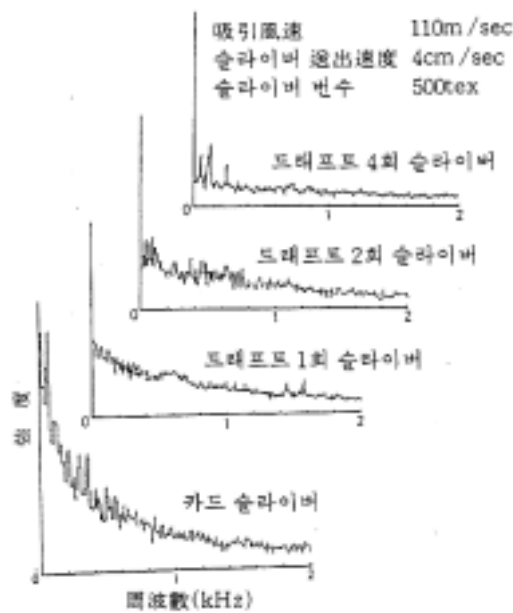
<그림 4> 40ms 내에 분리하는 섬유집단 개수의 분포

<그림 4>는 단위시간에 분리된 섬유집단의 수를 분포로 나타낸 것이다. 이 경우 단위 시간은 40ms로 하고, 2d, 57mm의 비스코스 레이온으로부터 서로 다른 슬라이버를 골러 게이지 65mm, 드래프트비 4.9 및 그림과 같은 조건으로 분리한 결과이다. 그림의 모든 분포는 포아송 분포를 하고 있으며, 드래프트 횟수의 증가에 따라서 분리하는 섬유집단의 수가 증대하고 있는 것을 나타내고 있다. 0.4초간 공급되는 슬라이버의 섬유 올수는 것의 일정하기 때문에 드래프트 횟수가 증가함에 따라서 분리되는 섬유집단은 작아진다.

<그림 5>는 파형 간의 시간 간격을 분포로 나타낸 것이다. 모든 곡선은 지수분포의 경향을 나타내고 있다. 단위시간에 분리하는 섬유집단의 개수는 포아송 분포를 나타내고, 시간 간격을 지수함수로 표현할 수 있어 분리가 시간적으로 랜덤하다고 말할 수 있다.



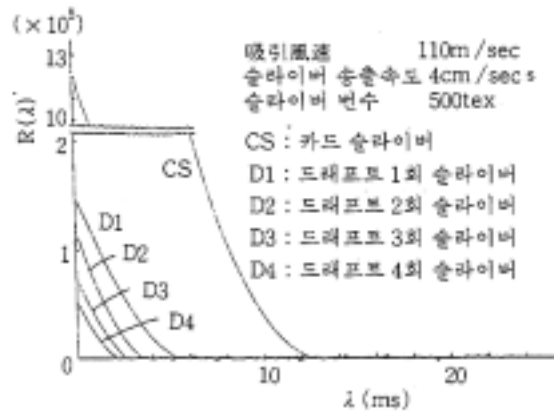
<그림 5> 분리시간 간격의 분포



<그림 6> 각정 슬라이버에 대한 분리파형의 파워 스펙트럼

<그림 6>은 슬라이버를 흡인기류로 분리하고, 검출부에서 나온 신호를 FFT 처리하여 파워 스펙트럼으로 나타낸 것이다. 이 그림에서는 드래프트 횟수가 증가함에 따라 파워치가 작아지고 곡선이 완만하게 되며, 핑크 노이즈(pink noise)^{주5)}로부터 백색 노이즈(white noise)^{주6)}에 접근하는 경향을 나타내

고 있다. 일반적으로 파워 스펙트럼의 면적은 원변동의 분산을 나타냄으로써 드래프트 횟수의 증가와 함께 분산이 작아지게 된다.



<그림 7> 각 슬라이버에 대한 분리파형의 자기상관함수

<그림 7>은 자기상관함수로 어떤 슬라이버에서도 일정시간을 초과하면, 상관이 0으로 되고 있다. Yaitam Siomi도 똑같은 결과를 발표하였으며, 단시간 내에 있어서 슬라이버의 분리가 시간적으로 랜덤한 현상이라고 설명하고 있다. 그림을 통해 슬라이버를 구성하는 섬유와 섬유집단이 짧은 구간 내에서 랜덤하게 배치되어 있는 것을 간접적으로 알 수 있다. 상관이 0이 되는 변속 시간 λ 는 카드 슬라이버가 제일 크고, 드래프트 횟수가 많아짐에 따라 점점 짧아지게 된다. 그 이유는 드래프트 횟수가 적은 슬라이버에서는 파형의 피크가 높고 폭이 넓기 때문이다. 자기상관함수는 $\lambda=0$ 일때의 분산을 나타내기 때문에 파워 스펙트럼의 면적과 같은 형태로 드래프트 횟수의 증가에 따라 원변동분산이 작아지고 있다는 것을 의미한다. 또 장시간에 걸쳐 분리거동을 관찰한 결과, Siomi는 자기상관함수로부터, Chikada는 파워 스펙트럼으로부터 슬라이버에 존재하고 있던 섬유장의 2~3배 되는 불균일이 분리 후에도 나타난다는 것을 명확하게 설명하고 있다.

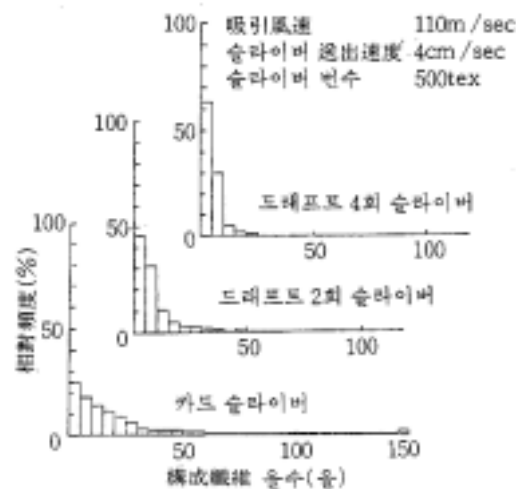
4. 슬라이버 내부에서 섬유의 집단성 평가

롤러로부터 송출된 슬라이버에 흡인기류를 작용시키면, 이미 설명한 것처럼 단섬유와 여러 크기의 섬유집단으로 분리된다. 송출속도와 기류속도의 비, 즉 기류에 의한 드래프트비를 최대로 크게 하고, 계산에 의해 단면의 섬유올수가 1 이하로 되는 조건에서 분리해도 집단분리는 불가피하다. Siomi는 이 원인을, ① 슬라이버에 대한 기류작용의 불균일성, ② 섬유의 얽힘, ③ 섬유고유의 집단거동특성 등으로 나누어 ①에 대해서는 시뮬레이션에 의한 모델 실험을 하였다. 또한 분리 노즐 내의 흡인기류를 섬유군을 구성하는 각 섬유에 똑같이 작용시킬 목적으로 가이드 팬을 삽입한 확산관(diffuser tube)을 만들어 실험한 결과, 섬유집단의 크기와 개수를 감소시키는 것이 가능하였다. 그렇지만 무한대의 드래프트를 부여하지 않는 한, 슬라이버를 개개의 단섬유로 분리하는 것은 곤란하다고 설명하고 있다.

오픈엔드 정방에서 분리한 섬유를 재집속하여 실을 형성하는 경우에 섬유집단은 새로운 불균일을 발생시키는 원인이 된다. 따라서 실제 사용되는 기계에서는 코밍 롤러로 슬라이버를 개섬한 후, 흡인기류에 의해 수송하는 방식이 채용되고 있다. 이 경우, 슬라이버는 거의 한 올씩 개섬되어 수송관 속을 이동한다. 따라서 검출단면에는 항상 섬유가 존재하며, 검출신호는 펄스파형이 되지 않고 변동을 가지는 연속파형이 된다. 파형은 방출조건에 영향을 받고, 실의 품질과 관계있다는 것이 명확해졌다. 물론 코밍 롤러에 의한 섬유의 절단과 손상이 적게 되도록 유의할 필요가 있다.

슬라이버를 구성하는 섬유는 본래 한 올씩 운동하는 경우는 적고, 섬유 상호간의 마찰, 크림프, 얽힘 등에 의해 집단적으로 거동하는 성질을 가지고 있다. 드래프트가 가해지는 부분에서 섬유의 운동도 이와 같으며, 드래프트 횡수가 증가함에 따라 한 무리가 되어 운동하는 섬유 올수는 적어진다. 슬라이

이버를 구성하는 섬유의 집단성은 당연히 흡인기류에 의한 분리거동에 영향을 미칠 것이다. 그러므로 분리거동을 조사함으로써 슬라이버에 있는 섬유의 집단성 평가가 가능하다고 생각된다. 단계적으로 구성섬유의 집합상태가 서로 다른 슬라이버로서 드래프트 횟수가 다른 슬라이버를 준비하고, 공기 흡인에 의해 분리하였다.

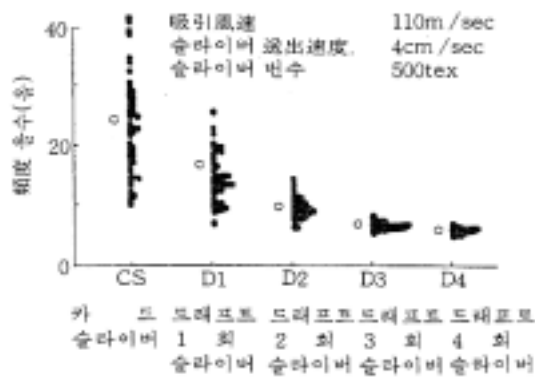


<그림 8> 분리된 섬유집단에 함유된 섬유 올수의 분포

<그림 8>은 카드 슬라이버, 드래프트 2회 및 4회의 슬라이버에 대해서 분리된 섬유집단의 올수를 도수분포로 나타낸 것이다. 카드 슬라이버에서는 작은 섬유집단에서부터 큰 것까지 존재하며 집단의 변동이 크다. 이것에 대해 드래프트 4회의 슬라이버에서는 작은 섬유 집단으로 안정되게 분리되어 있어 집단의 변동은 적다.

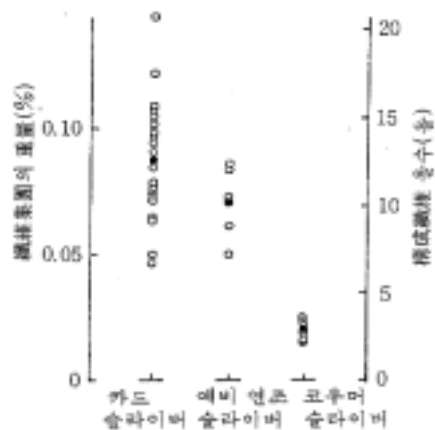
<그림 9>는 0.4초 동안에 분리된 섬유집단을 올수로 환산하여 평균을 나타낸 것이다. 각 슬라이버에 대해 수십회 반복하여 실행한 실험결과를 플롯한 것이다. 일반적으로 드래프트 횟수의 증가에 따라 섬유의 평행도는 상승하고, 드래프트 구역에서 한 무리로 되어 운동하는 섬유 올수는 작아지게 된다. 즉 ‘소화(적응)’가 잘 된다고 하는 현상과 대응한다. 그림 ○표시는 평균

치를 나타내며, 섬유 집단의 올수가 드래프트 횟수와 함께 적어지는 결과를 정량적으로 나타내고 있다.

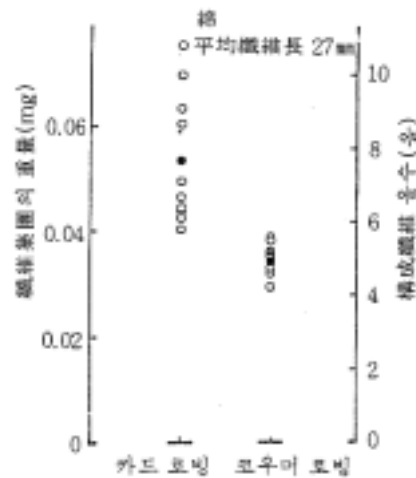


<그림 9> 드래프트 횟수와 분리된 섬유집단에 함유된 섬유 올수와의 관계

<그림 10>은 실제 방적공장의 생산 라인으로부터 채취한 카드 슬라이버, 예비 연조 후의 슬라이버 및 코우머 슬라이버의 세 종류에 대해 분리실험을 한 것으로서 각각 10회 이상 실험하여 평균 중량 또는 올수를 플롯한 것이다. 카드 슬라이버에서는 중량이 크고 각각의 시험결과에 큰 분산이 보여 지지만, 코우머 슬라이버에서는 중량이 작아지고 분산도 작아진다.



<그림 10> 각 공정으로부터 채취한 슬라이버에 대한
분리된 섬유집단의 크기 비교



<그림 11> 카드 및 코우머 로빙에 대한 분리된 섬유집단의 크기 비교

생산 라인이 다른 두 종류의 로빙에 대해서 분리 실험을 하고, 각각의 시료에 대한 평균 중량을 <그림 11>에 나타냈다. 시료는 카드 로빙과 코머 로빙이다. 로빙에는 약한 꼬임이 가해져 있기 때문에 1.30의 브레이크 드래프트(brake draft)를 부여한 후 분리하였다. 카드 로빙에서는 섬유집단이 크고 분산도 큰 것에 반하여 코머 로빙에서는 작은 섬유집단으로 분산도 작았다.

이상과 같이 현재의 생산 라인으로부터 채취한 시료에 대해서도 공기류를 이용하여 분리함으로써 슬라이버를 구성하는 섬유 집합상태의 차를 정량적으로 평가하는 것이 가능하다.

주1) 스트로보스코프(stroboscope)

사진촬영에 쓰는 광도 높은 방전관

주2) 피토티관(pitot tube)

기체 중에 삽입하여 기체의 전압력을 측정하는 기구

주3) 핀 포토다이오드(pin photodiode)

빛의 조사로 인하여 변화하는 전압, 전류특성을 이용한 광검출용 다이오드의 일종

주4) 파워 스펙트럼(power spectrum)

시간적 또는 공간적으로 변동하는 양의 제곱평균을 주파수 성분의 분포로 나타낸 것

주5) 핑크 노이즈(pink noise)

연속 스펙트럼을 가진 잡음으로 소정의 주파수 범위내에서 1 옥타브당 함유된 성분의 세기가 주파수 위치에 관계하지 않고 일정한 잡음

주6) 백색 노이즈(white noise)

연속 스펙트럼을 가진 잡음으로 소정의 주파수 범위내에서 단위 주파수 영역(1Hz)에 함유된 성분의 세기가 주파수에 무관하게 일정한 잡음