

纖維 (Fiber) 分析을 위한 Sampling

朴 炳 基*

1. 서 론

섬유분석을 위해 행하는 모든 측정은 전체 bulk 중 극히 일부분으로 한정된다. 상거래용 시험에서 파괴검사가 수반되는 경우 전체를 시험할 수 없다는 이유는 명백하지만 비파괴시험의 경우에도 시간과 노력, 샘플링오차, 측정오차, 기록오차 등을 고려한다면 샘플링법을 이용하는 것이 더욱 경제적이고 정확할 수도 있다.

샘플로부터 얻은 자료가 얼마나 모집단을 대표할 수 있는가 하는 것은 샘플의 크기와 샘플링방법에 의존하게 된다.

일반적으로 시료의 크기 (Sample size)가 크면 모집단을 더 가깝게 대표해 주지만 섬유 재료는 특정한 치우침 (bias)의 성질 때문에 큰 신뢰도를 갖고 추정하기 위해서 시료수가 많아야 한다.

만약에 완전한 랜덤시료 (random sample)를 취한다면 최상의 샘플링 (Sampling) 효과를 얻을 수 있겠으나, 섬유제품에 대한 일반시험에서 파괴성을 수반한다든지 원재료중에서 시료들이 굵기보다 길이가 매우 크므로 완전히 랜덤 (random)한 상태로 존재하지 않는 이유 때문에

완전한 샘플링 (Sampling)이 될 수는 없다.

그러나 섬유장이나 섬유장과 연관된 성질을 시험할 때는 길이 bias가 중요한 사항이 된다. 또한 bias된 Sample을 취하는 것이 필요한 경우도 있다.

그러나 이 때는 모집단에 대한 유용한 정보를 얻기 위해 bias의 정량적 성질을 알아두어야 한다.¹⁾

이 문제에 관해서 W. E. Morton 과 J. W. S. Hearle이 쓴 Physical Properties of Textile Fibers를 인용해서 기술해 보고자 한다.

2. Numerical and length biased sample

우선 섬유가닥들이 길이를 따라 가면서 평행하고 균일하게 분포된 모집단을 생각하자.

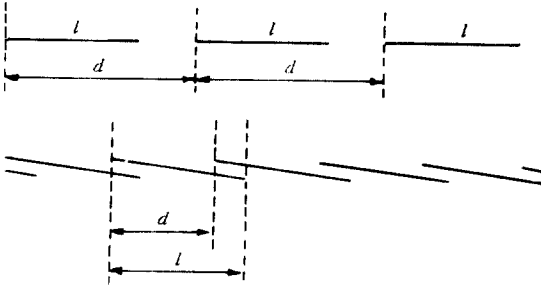
만약에 특정한 길이의 섬유로 구성된 섬유속을 생각하고, 이 stream 중 길이 l 인 것을 택한다면 그림 1과 같이 다음에 관한 이동도 일정하다.

이동 거리를 d , stream 속의 섬유수를 n , strand의 길이를 L 로 하자. 만약 n 이 적고 d 가 l 보다 크면 (a)처럼 간격이 생기고 n 이 크

*전북대학교 공과대학 부교수

고 d 가 l 보다 작으면 (b)와 같이 겹친다. 이 때 일반적으로 stream속의 섬유수는 $n = \frac{L}{d}$ 이 된다.

몇개의 stream을 생각하면 총섬유수는 $n_1 + n_2 + n_3 \dots + n_n = \sum n$ 이 되며, 각 stream 속의 섬유수는 $\frac{n_1}{\sum n}, \frac{n_2}{\sum n}, \dots, \frac{n_n}{\sum n}$ 이 된다.



[Fig 1] 섬유 STREAM 모형

그러면 이것을 strand속에서 존재하는 여러가지 길이 섬유의 수비율(뒗수)형이 된다.

2 · 1 길이 Bias

strand로부터 섬유 Sample을 취할 때 가장 편리한 방법은 집계를 가지고 랜덤하게 여기저기서 몇개씩의 섬유를 꼬집어내는 것이다.

(a)에서는 매번 섬유가 취해질것인지 명백하지 않지만 하나가 취해질 확율은 l/d 이다. K 번 시행한다면 $Kl/d = Knl/L$ 이 된다.

(b)에서는 섬유를 취할 수 있는 확율이 1보다 크다. 만약 $l = 2d$ 라면 매번 2개의 섬유가 취해질 것이다. K 번 시행에서는 $Kl/d = Knl/L$ 이 된다. 이 관계는 l 이나 d 가 어떤 값을 갖더라도 마찬가지이며, 많은 stream 으로부터 취해지는 섬유수는

$\frac{Kn_1 l_1}{L}, \frac{Kn_2 l_2}{L}, \frac{Kn_3 l_3}{L}, \dots$ 이거나 전체 샘플속에 있는 섬유의 수비율로 표시된다.

$$\frac{n_1 l_1}{\sum n l}, \frac{n_2 l_2}{\sum n l}, \frac{n_3 l_3}{\sum n l}, \dots \quad (3)$$

때문에 샘플속에서 특정길이의 섬유가 출현하는 비례뒗수는 전체 Stream 속의 출현하는 수 n 뿐만 아니라 길이에 의해서도 영향을 받는다.

따라서 모든 섬유는 같은 chance 로 뽑히지 않게 되고, Numerical sample을 취하는 대신 길이가 biased된 Wilkinson tuft를 취하게 된다.

2 · 2 뒗수, 길이비율과 중량비율

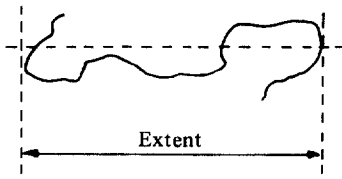
$n_1 l_1, n_2 l_2, n_3 l_3$ 등은 numerical sample에서 l_1, l_2, l_3 의 길이를 갖는 섬유장 함을 말하며 $\sum n l$ 은 전체섬유장 함을 말한다. 때문에 길이 biased 샘플에서 뒗수는 numerical sample에서 길이 혹은 길이 비율에 의한 비율로 나타낸다. 만약 단위길이당 섬유중량이 어느 곳에서나 동일하다면 길이 비율은 중량비율과 같다. 따라서 길이 - biased 샘플에서 뒗수는 numerical 샘플에서 중량비율과 같다.

2 · 3 길이 Bias에 대한 Tong 샘플링

길이 - bias된 샘플에서 집계를 이용할 때 샘플은 집계 양 끝 사이의 평면사이에 놓이고, 섬유에 수직인 단면을 통과하는 섬유가 취해진다. top, spiver, roving 혹은 실의 일부를 한쌍의 집계로 직각이 되게 물고, 물리지 않은 섬유를 제거하기 위해 빗질해 준다. 다음 빗질 하지 않은 쪽을 빗질해 주면 집계에 물린 섬유는 길이에 직각인 평면을 가로지르는 것들만 남게 된다. 양모재료의 샘플구성에 적합하다.

2 · 4 넓이 치우침

지금까지 검토한 샘플은 strand 축에 대해 직각인 평면을 지나는 평행섬유만을 생각했지만 실제 card web와 card sliver 특히 원료상태 섬유집단속에서는 위와같이 직선배향 보다는 매우 불규칙적인 형태를 이루면서 입체적 위치를 차지하고 있다. 따라서 섬유가 차지하는 폭(extent)개념을 도입하지 않을 수 없다. 섬유의 extent는 주어진 축 방향에 대해서 섬유가 돌출된 길이로 정의한다. 그림 2에서와 같이 최대 폭을 말하지 끝단을 의미하지 것이 아니다.



[Fig 2] 섬유 EXTENT

상기 조건에서 주어진 단면적을 통해 지나가는 섬유를 취한다면 샘플은 extent 가 치우치고 섬유길이에 대한 섬유 넓이비가 일정하지 않는한 치우침의 정도는 부정확하다. 어떤 조건하에서도 넓이로 치우친 샘플은 아무 소용이 없다.

2 · 5 넓이 치우침의 제거

공식 1에서 길이 L 인 stand속에서 길이 l 의 섬유수는 d 에 대해 역비례 함을 알았다. 이것이 샘플에 대해서도 효과가 있음을 보장해야 한다. 그림 1에서 볼 때 stand의 짧은 구간 δl 내에서 발생하는 섬유에 대한 선택된 점에서의 확률은 $\delta L/d$ 에 정확히 비례한다. 만약 선택한 점으로 한 섬유 혹은 다른 섬유선단을 잡았다면 주어진 체적 즉 선택된 길이 δL 내에서 끝나는 모든 섬유를 택하는 것이 된다.

취해진 sample의 크기는 δL 에 대해서 우리가 취한 것에 의존하지만 규모를 줄여 볼 때 샘플의 조성은 전체 모집단의 조성을 반영하고 치우치지 않은 샘플을 얻게 된다. 선택은 섬유의 선단발생에 따라 행해지는데 어느 섬유이든 길이에 관계없이 2개의 선단을 갖게 되고 따라서 길이는 선택에 있어서 아무런 역할도 하지 않는다.

2 · 6 샘플링에서 Squaring과 cut squaring 방법

이 두가지 방법들은 섬유가 상당히 정돈된 상태에서 numerical Sample을 이루는 sliver, roving 혹은 실에 적용할 수 있다.

2 · 6 · 1 Squaring

섬유를 교란시키지 않고 sliver를 펼쳐서 납작한 리본형태로 만든 다음 한쪽 끝을 손가락에 의해 가지런히 한다. 다음 점은 벨베트판 위에 놓고, 섬유줄 끝이 약간 튀어 나오도록 중량과 크기가 적당한 유리판으로 덮는다. 밖으로

튀어 나온 섬유를 집게로 소 Group씩 꼬집어 내면서 유리판을 조금씩 후진시키고 반복 동작을 행한다.

샘플을 취하기 전에 squaring을 계속하는 것은 섬유상 strand의 파괴된 끝단에서 형성된 fringe가 자연히 지배적으로 장섬유를 포함하기 때문에 또 초기의 bias는 이미 언급한 방법으로만 제거할 수 있기 때문에 필요불가결한 것이다.

fringe로부터 섬유를 빼낼 때 길거나 약간 험클어진 섬유는 처음에 유리단 속에 숨어 있는 섬유도 꼬집어내는 경우가 있다. 이는 거의 한꺼번에 섬유를 꼬집어 넣으므로 최소화할 수 있다. Sampling 방법이 모든 단계에서 동일해야 하기 때문에 판을 움직이는 거리도 같아야 한다.

2 · 6 · 2 Cut-Squaring

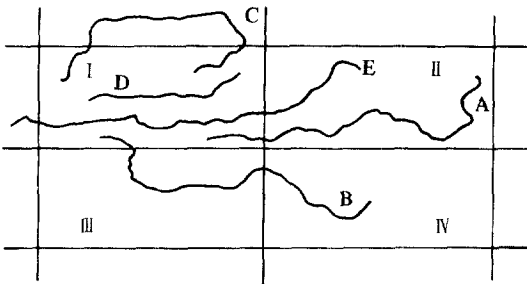
예비 Squaring의 노력을 최소화하기 위해 고안된 개량된 Squaring 기술이다. 여기서 strand는 끝이 반듯하게 자르고 유리판을 덮는다. 이론적으로 fringe는 단 한번의 예비 Squaring이 필요하다. 왜냐하면 잘라진 모든 섬유는 이 후 단계에서 제거되고 다음 짧은 거리를 후진시킬 때 유리판 뒤로 튀어 나온 섬유들은 Numerical Sample을 구성하게 되기 때문이다. 그러나 실제로는 적어도 3번의 준비 Squaring이 필요하고 그 이유는 첫 단계에서 꼬집어 내지는 조건은 둘째 단계에서 추출되는 조건과 동일하지 않다는 것이다. 처음 단계에서는 fringe가 조밀하여 큰 bunch로 끌어 당겨질 것이며, 더 얇은 2차 fringe가 취급될 때 보다 섬유의 혼란이 더 크게 마련이다.

2 · 7 Dye-Sampling

이 방법은 card sliver를 Squaring법으로 샘플링할 때 무시 못할 섬유파손의 위험을 무시해도 좋을 정도로 감소시키기 위해 card web 형태의 양모섬유를 샘플링하기 위해 고안된 것이다. 일반적으로 card web나 comber

web 에서와 마찬가지로 얇은 형태로 펼 수 있는 top이나 sliver 에만 적용할 수 있다.

Numerical sample 을 취하기 위해 요구되는 바와같이 섬유들은 주어진 제적속에서 그들 끝단의 출현에 의해 감정된다. 따라서 web 를 적당한 염료로 적신 여과지로 한쪽 면을 덮은 구리나 유리 Block 에 의해 작은 직사각형으로 도색한다. 착색된 patch (조각) 를 관통하는 섬유들 즉 양 끝에 착색되지 않은 말단을 갖고 있는 섬유들은 무시된다. patch 안에서 끝난 것들 때문에 한쪽이나 양 끝이 착색된 것들은 샘플로 취해진다. 최종계산에서 한쪽 끝만 착색된 섬유는 양 끝이 착색된 것의 반양과 일치해야 한다. 따라서 한쪽만 착색된 것과 두 끝이 착색된 것의 길이가 따로 기록된다. 그래서 섬유장분포는 각 길이 Group 속에서 양쪽 끝을 갖는 수에다 한쪽 끝을 갖는 수의 반을 더해서 계산한다. 그림3에서 섬유 E는 착색된 말단을 갖고 있지 않으므로 무시된다. patch I 에 대해 A, B를 취하면 동일한 자격을 갖고 있는 patch II, IV를 뺀다. 반면 섬유C와 D는 어떤 다른 patch 에 소속될 수 없으므로 만약 이들에 1의 양을 준다면 A와 B는 각각 반섬유로 계산된다.



[Fig. 3] DYE SAMPLING

샘플링하려는 재료에 따라서 patch 의 최적 크기 (size) 와 형태가 있다. 만약 patch 가 너무 적거나, 너무 길거나, 좁고 섬유 배열에 대해 가로 놓인다면 sampling 에 공헌하기 어렵다. 양모 card web 에 대해서 1.5 cm 가 적당하나 다른 섬유에 대해서는 약간 적은 것이 좋

다고 본다. 형태를 고려함에 있어서 patch 가 장방향이고, 섬유 방향에 따라 놓이는 것이 더 좋은 경우가 있다. 더욱 배향이 잘된 섬유는 길고 장방향인 patch 가 더 좋다.

2 · 8 Zoning

2 · 8 · 1 불균질 문제

지금까지 언급할 샘플링법은 모집단의 조성이 균일한 때만 시험중의 모집단을 대표한다. 실제로 섬유모집단은 이렇게 되기가 어렵지만 정확한 지식도 없이 모집단의 불균질을 가정하기 쉽다.

어떤 부분에서 취해진 sample 을 Subsample 이라 생각하고, 여러 부분의 불균질한 요소들이 모집단을 대표하도록 여러개의 랜덤하게 취해진 Sub-Sample 로 모집단이 구성되도록 해야 한다. 이러한 조작을 Zoning 이라 한다.

Zoning 을 포함해서 전 샘플링기술을 고려할 때 적용된 방법은 반복한 샘플이 모두 통계적으로 차이가 유의하지 않은 상태에 있어야 하는 조건을 만족해야 한다.

만약 Zope 사이의 변동이 Zone 내의 변동보다 적을 때는 비교적 적은 수의 Zone 속에서 비교적 많은 수의 개체를 취하는 것이 일반적이다.

sliver, roving, 실로부터 샘플링하는 것은 지난 경로를 통해 섬유가 잘 혼합되어 있고 재료가 동일성이므로 비교적 간단하다. 따라서 적당한 규모의 Zoning 이 필요로 하는 모든 것이기도 하다. 그러나 loose 한 상태의 섬유집단을 취급할 때는 특별한 어려움을 만난다.

2 · 8 · 2 Loose한 상태의 원재료 샘플링

이미 언급한 바와 같이 이상적으로는 필요한 수의 섬유가 bale 이나 bag 혹은 다른 형태의 모집단에 랜덤하게 분포된 대응되는 수의 여러 곳으로부터 한번에 하나씩 취해져야 한다. 그러나 노동력부족과 extent bias 를 없앨수 없기 때문에 이것은 불가능하다. extent bias 는 각 Zone 으로부터 작은 다발이 아니라 큰 tuft 를

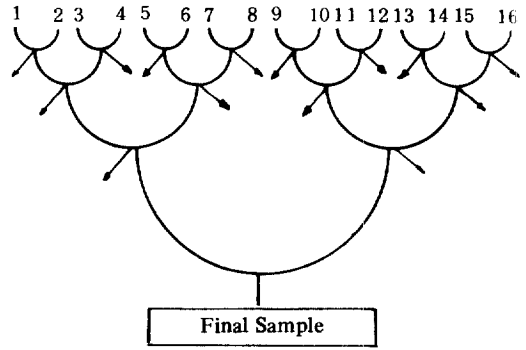
취해서 제거할 수 있다. 즉 이들 단위는 자연단위로서 면의 섬유종이나 양모의 lock 가 될 것이다.

한 가지 좋은 방법은 연속적인 2등분 과정을 행하는 것으로 m tuft의 각각이 대략 동일한 2부분으로 나누어 지고 반은 버리게 된다. 모든 tuft로부터 취해진 나머지가 필요한 크기의 샘플이 될때까지 반복한다.

만약에 비율로 나누어지는 섬유가 실질적으로 평행하다면 뭉은 길이방향으로 나누어져야 한다.

인조섬유 Staple 에 적절한, 약간 다른 방법이 있다. Zoning에 의해 얻어진 최초의 샘플을 16개의 tufts를 형성하고, 더블링, 반나누기, 버리기 절차에 의해 그림 4에서 보는 바와 같이 측정용 대표샘플로 축소된다. 여기서 tufts는 쌍으로 취해지고 반복해서 손으로 잡아 당겨 재결합시킨 후 두쌍으로 다시 나눈다.

따라서 섬유들은 충분히 혼합되고 효과적으로 평행화되므로 길이방향 분할이 효과적이다.



[Fig. 4] ZONING

비슷한 길이를 갖는 면이나 다른 섬유들에 대해 기계적인 혼합기가 이용되며, 국지적인 tuft의 집합을 감소시켜 적절한 방법에 의해 최종시험샘플을 취할 수 있게 균질의 솜뭉치나 슬라이버로 만들 수 있다. 예를들면 Balls draw box와 같은 소형연소기가 이용된다.