

<연구논문>

## 2속도 모형을 이용한 드래프트 공정의 가시적 모의 실험

김지수<sup>†</sup> · 김종섭\* · 강태진

서울대학교 공과대학 섬유고분자공학과, \*한성대학교 의생활학부  
(1999. 3. 4. 접수)

## Visual Simulation of the Drafting Process Using a Two-Velocity Model

Ji Su Kim<sup>†</sup>, Jong Seob Kim\*, and Tae Jin Kang

Department of Fiber and Polymer Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

\*Fashion Design Business Division, Hansung University, Seoul 151-742, Korea

(Received March 4, 1999)

**Abstract :** During the yarn manufacturing process, a fiber bundle undergoes drafting process which reduces linear density of the fiber bundle and enhances orientation of staple fibers. We have made a program using simplified algorithm expressing the motion of a two-velocity draft mechanism. To generate a virtual fiber bundle, a staple fiber diagram was made by disassembling a real fiber bundle used in the actual process and the acquired length distribution was used as program data. By executing the program with various parameters, such as draft ratio and gauge length among the many draft parameters which were variable in the actual process, it was possible to predict the characteristics of produced fiber bundle, such as mean linear density and its irregularity. By analyzing the data acquired by execution of the draft simulation program for the two-velocity model drafting process, similar tendencies as in the results of actual drafting experiment carried out by previous researchers could be determined, such as the relation between draft ratio and mean deviation of linear density of the fiber bundle.

### 1. 서 론

방적 공정 중에서 드래프트 공정은 섬유 속의 평행화를 증가시켜 선밀도는 감소하나 불균제도는 증가하게 된다. 불균제도 증가는 공급되는 섬유속과 공정조건에 따라 다르며 불균제도를 최소화하기 위한 많은 연구[1,2]가 있었다. 과거의 드래프트 이론은 드래프트 공정을 보는 관점에 따라 확률론적, 운동론적, 기하학적, 역학적인 이론과 이들 둘 이상을 병합한 이론들이었다[1-4]. 연구의 대상인 섬유 속이 비록 거시적인 크기는 작으나 구조가 불분명한 상태이고, 구성섬유의 거동도 결정론적으로 분석하기 어렵기 때문에 섬유속의 운동을 2속도 또는 3속도 모형으로 단순화시킬 수밖에 없었다. 따라서 대부분의 연구에서 각섬유의 선밀도와 길이는 일정하며 섬유와 드래프트 로울러간의 미끄러짐은 없는 것

으로 가정하여 선밀도의 불균제도, 섬유와 꼬임수의 분포, 섬유속이 받는 힘 등에 관한 연구가 진행되었다.

Mogahzy[5-7]는 드래프트 공정중 섬유가 받는 힘인 마찰력은 섬유간의 접촉거리가 커지는 경우 급격히 증가하며, 접촉거리의 범위를 확대할 경우 접촉거리와 마찰력의 관계는 weibull 분포곡선과 유사함을 알았다.

Johnson[8]은 각 섬유의 선밀도는 일정하고 꼬임이 없다는 가정 하에 컴퓨터를 이용하여 wool top의 이상 드래프트 모의 실험을 하였다. CDC7600 컴퓨터에 의해 Fortran으로 수행된 모의 실험을 분석하여 선밀도 분산과 변동계수 등을 구하였다. 그러나 그의 실험은 이상 드래프트를 가정하였기 때문에 실제와는 많은 차이를 보였으나 당시의 컴퓨터 계산능력을 감안하면 획기적인 발상이었다.

실제의 드래프트 공정에서 기계를 가동하지 않고 적은 비용과 시간으로 드래프트 결과를 알 수 있을 경우 생산현장에서 보다 경제적으로 우수한 품질의 제품을 생산할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 PC를 이용한

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
madnight@hitel.net

드래프트 모사 프로그램을 제작하여 섬유속의 특성과 공정조건, 특히 드래프트비와 gauge length 변화에 따른 선밀도 불균제 변화 등 섬유속의 물성을 예측할 수 있는 모의 실험을 실행하고, 그 결과를 실험치와 비교함으로써 모사 프로그램의 타당성을 검증하였다.

## 2. 드래프트 공정 모사 프로그램의 구성

### 2.1. 가 정

드래프트 공정에 대한 모의 실험을 진행하기 위해 실제공정을 단순화하기 위한 가정은 다음과 같으며 기존의 연구에서도 많이 이용되었다[1,2,5,6,9].

- ① 섬유속을 구성하는 각 섬유의 선밀도는 같다.
- ② 섬유와 드래프트 로울러 사이의 미끄러짐은 없다.
- ③ 섬유는 2속도 운동을 하며 후파지점에 파지된 섬유는 저속운동, 전파지점에 파지된 섬유는 고속운동을 한다.
- ④ 섬유속 단면에 존재하는 한 섬유와 인접한 섬유간의 수직압력은 그 존재 위치에서 접촉방향에 무관하게 일정하다.
- ⑤ 섬유와 섬유간의 마찰력은 그 접촉거리에 비례하며, 일정길이 이하의 접촉은 무시할 수 있다.
- ⑥ 드래프트 구간 내에서 운동하는 섬유의 관성은 무시한다.
- ⑦ 부유섬유는 그 인접섬유가 가하는 가속력(propulsion)과 저항력(drag)의 대소관계에 의해 그 속도가 결정된다.

### 2.2. 섬유속 꼬임 기하

꼬임을 갖는 섬유속이 드래프트를 받게 되면 단섬유들이 평행화하며 꼬임각이 감소하여 섬유속의 선밀도 감소에 영향을 주게 된다. 따라서 생산현장에서 사용되는 조사와 비교, 꼬임이 1tpi이고, 지름 3mm(700tex)로 가정한 조사가 드래프트를 받는 경우의 꼬임 기하는 다음과 같다.

Figure 1은 꼬임이 있는 섬유속 표면의 단섬유 하나가 존재하는 원통면중 1 inch (25.43 mm)를 평면에 펼쳐 놓은 것이다. 여기서 l은 단섬유 하나의 길이로 길이 변화는 없다고 가정하며,  $\theta$ 는 꼬임각으로서 신장을 받은 후에는  $\theta'$ 로 변화한다. h는  $h+\delta h$ 로 변화하는데  $\delta$ 는  $D-1$ (D는 드래프트비)로 계산할 수 있다.

섬유중 원통면을 지나가는 부분의 길이는  $\sqrt{(2\pi r)^2 + h^2} = 27.09(\text{mm})$ 이고 섬유속을 가정한 원통이 드래프트 전후의 부피변화가 없다고 가정하면  $r' = r/\sqrt{D}$ 가 되며 드래프트 이후의 꼬임각  $\theta'$ 는  $\theta' = \arctan(h + \delta h / 2\pi r')$ 에  $\delta$ 와  $r'$

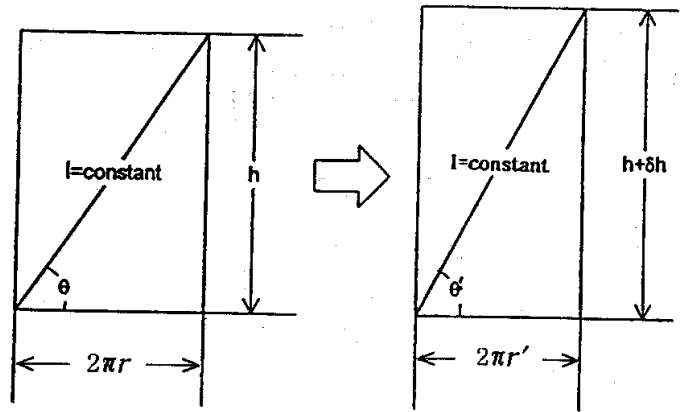


Figure 1. Fiber existing on the surface of cylinder of fiber bundle.

을 대입 정리하면  $\theta'$ 은

$$\theta' = \arctan(hD^{3/2}/2\pi r) \tag{1}$$

이 된다. 섬유가 완전히 평행화 하였을 경우의 선밀도 감소율을 해연에 의한 한계선밀도 감소율이라 한다면, 그 값은  $\sin \theta' / \sin \theta$ 에서  $\theta' = 90^\circ$ 이므로

$$\sin 90^\circ / \sin \theta = 1 / \sin \theta \tag{2}$$

이 되어 최초 그 대상 섬유가 갖는 꼬임각에 의해 결정된다.

꼬임수가  $T(\text{tpi})$ 인 섬유속 안에 존재하는 단섬유가 반지름  $r$ 인 섬유속 원통의 표면에 있다고 가정하면  $\tan \theta = (25.43/T)/2\pi r = 25.43/2\pi r T$ 가 되어 꼬임각  $\theta$ 는  $\theta = \arctan(25.43/2\pi r T)$ 이고 이것을 (2)식에 대입하여 한계선밀도 감소율을 구하면

$$1 / \sin \{ \arctan(25.43/2\pi r T) \} \tag{3}$$

이 된다. 또한 드래프트비  $D$  만큼 드래프트한 후의 해연 선밀도 감소율은 식 (4)와 같다.

$$\frac{\sin \{ \arctan(25.43 \times D^{3/2} / 2\pi r T) \}}{\sin \{ \arctan(25.43 / 2\pi r T) \}} \tag{4}$$

### 2.3. 프로그램의 알고리즘

Figure 2는 드래프트 모사 프로그램의 알고리즘을 보인 것이다.

## 3. 모의 실험

### 3.1. 가상 섬유속 생성

모의 실험에 사용될 가상의 섬유속은 변수를 사용자가 지정하여 생성할 수 있도록 하였으며 변화할 수 있

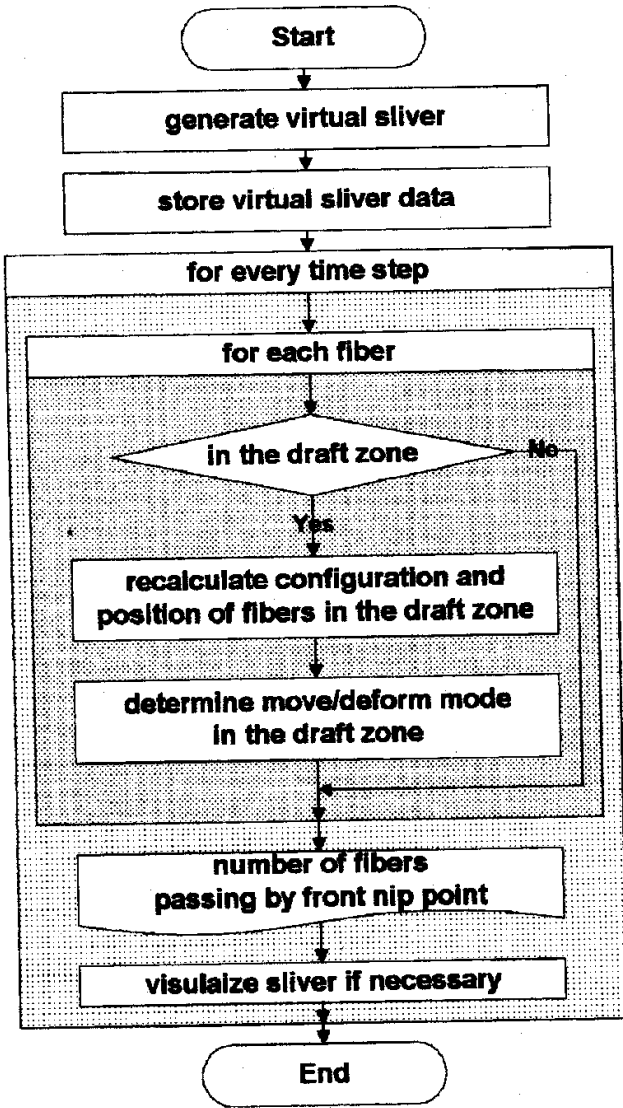


Figure 2. Flow chart used to generate the simulation program.

는 대표적 변수는 섬유길이 분포와 섬유속 내의 섬유 끝 분포 등이다.

가상 섬유속의 섬유장 분포는 실제의 조사를 수작업으로 분해하여 섬유끝의 길이 순서로 배열한 후 그것을 화상으로 받아들여 data화 함으로써 결정하였다. Figure 3은 이와 같은 방법에 의하여 실제 staple diagram을 화상처리 함으로써 얻어진 가상 섬유속의 섬유장 분포이며 섬유의 끝은 포아손 분포를 하는 구조로 발생시켰다[10].

한편 섬유속 내의 단섬유는 크럼프를 가지고 있기 때문에 기존의 연구자들처럼 막대모양을 가정한 경우 실제 섬유속 내에서의 섬유간 접촉을 모사하기가 어렵다. 따라서 크럼프에 의해 단섬유 하나가 가지는 가상의 점유공간내에 존재하는 또다른 단섬유는 접촉에 의한 마찰을 하는 것으로 가정하여 각 단섬유의 점유공간을 유효인접거리라는 이름으로 프로그램에 적용하였는 바, 이것은 섬유속을 조심스럽게 펼쳐 그 안의 단섬유의 모

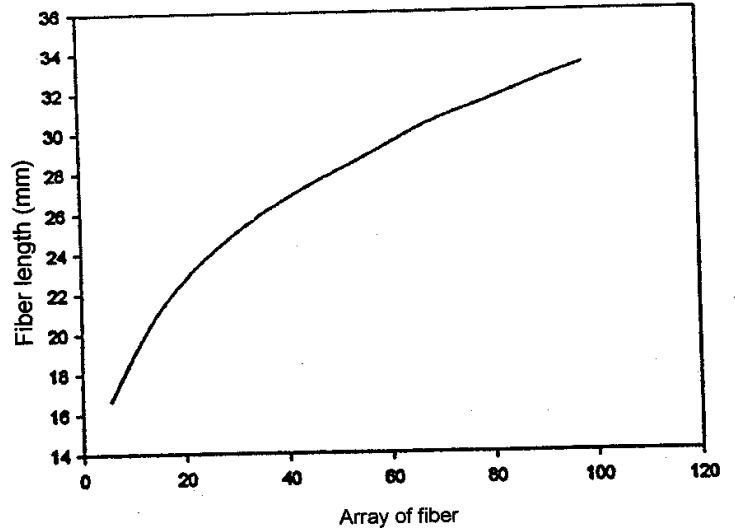


Figure 3. Graph data generated from staple diagram.

양을 현미경으로 받아들인 후 그 화상을 분석함으로써 지정하였다. Table 1은 위와 같은 방법을 통하여 생성된 가상 섬유속의 특성을 보인 것이며 Figure 4와 Table 2는 비교를 위해 실제 방적공장에서 사용되는 코마 슬라이버의 staple diagram과 특성을 보인 것이다.

Table 1. Properties of virtual fiber bundle

Fiber mean length	27.4 mm
Effective fiber length	32.2 mm
Coefficient of variation of the fiber length	17.4 %
Maximum fiber length	35.0 mm
The average number of fibers in a cross-section	162
Linear density	28 tex
Mean deviation of the linear density	2.28
Twist	1 t.p.i.

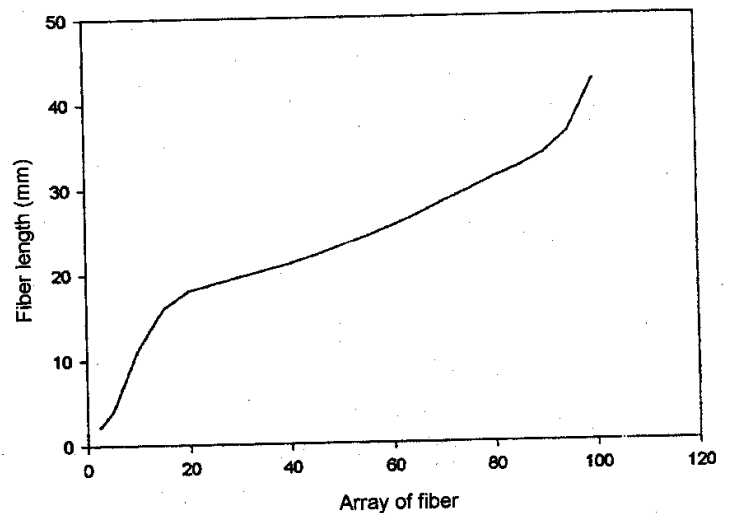


Figure 4. Graph data using combed sliver.

**Table 2.** Properties of bundle using combed sliver

Fiber mean length	24.2 mm
Effective fiber length	29.7 mm
Coefficient of variation of the fiber length	35.8 %
Maximum fiber length	42.4 mm
The average number of fibers in a cross-section	162
Linear density	28 tex
Mean deviation of the linear density	2.3
Twist	1 t.p.i.

**3.2. 드래프트 조건의 변화**

Figure 5는 가상의 드래프트 화상으로 본 모의 실험에서 변화시켜준 드래프트 조건은 드래프트비와 드래프트 로울러 사이의 파지거리(gauge length)이다.

드래프트비는 1.3:1로부터 0.2 간격으로 4.5:1까지 변화시켰으며, 파지거리는 35 mm로 부터 2 mm 간격으로 45 mm까지 변화하면서 각 조건마다 front roller의 선속도를 20 mm/sec로 하여 약 3 m의 섬유속을 생산하였다.

**3.3. 결과의 생성과 분석**

모의실험에서 생성된 결과는 가상시간 0.1 초마다 단

면내 존재하는 섬유수를 측정하여, 각 조건을 알 수 있는 문서로 저장하고 이것을 분석하여 평균 선밀도, 선밀도 평균편차, 선밀도 분산 등을 계산하였다.

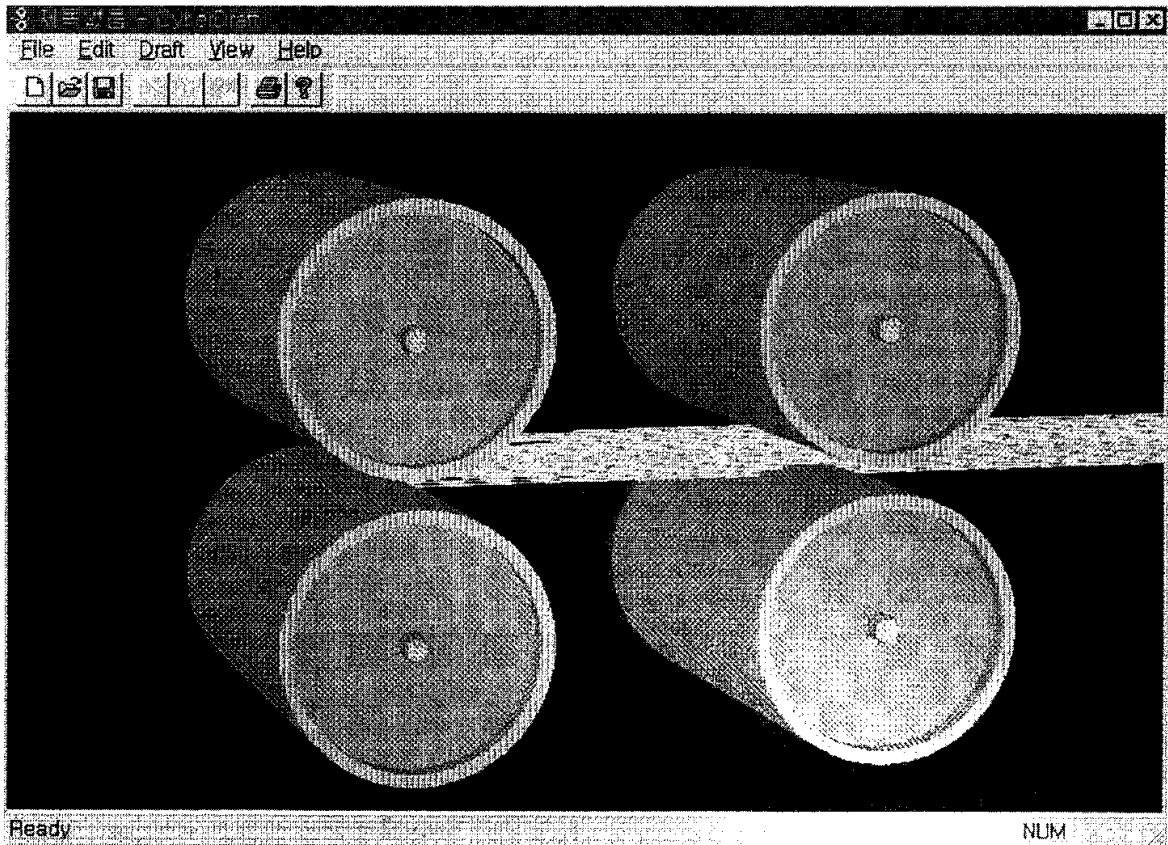
**4. 결과 및 고찰**

**4.1. 드래프트비와 선밀도와의 관계**

Figure 6~8은 대표적인 파지거리에서 드래프트비에 따른 생성 sliver의 선밀도 평균치 감소를 보인 것이다. 수직축의 눈금은 임의의 단면에서의 섬유수를 나타내고 있는데, 섬유속을 구성하는 각각의 섬유는 선밀도가 같다고 가정하였으므로, 단면에서의 섬유수는 선밀도를 나타낸다고 생각할 수 있다.

그래프에서의 calculated 값은 공급해준 섬유속의 선밀도/드래프트비의 계산에 의해 얻어진 값으로 모의실험에 의해 생성된 결과와 비교할 때 매우 유사함을 알 수 있다.

그래프에서 보이는 오차는 그 발생 원인을 크게 두 가지로 생각할 수 있다. 그 하나는 공급 섬유속의 발생이 통계학적 방법으로 이루어지기 때문에 매 회 실험 때마다 공급 섬유속의 선밀도가 변동하게 되어 드래프트 이후 섬유속의 선밀도가 계산값과 차이가 날 수 있으며, 또 다른 원인으로는 드래프트 구간 내에서 섬유의 변속이 인접 섬유들의 추진과 저항의 대소관계



**Figure 5.** Virtual draft frame.

에 의해 결정된다고 하였으므로, 어느 특정한 시료의 경우 드래프트 직후, 드래프트 구간내의 고속섬유 비

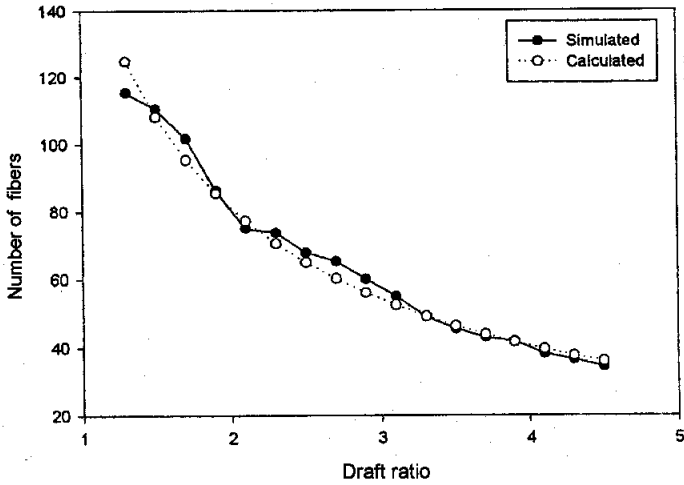


Figure 6. Relation between draft ratio and linear density with the gauge length of 35 mm.

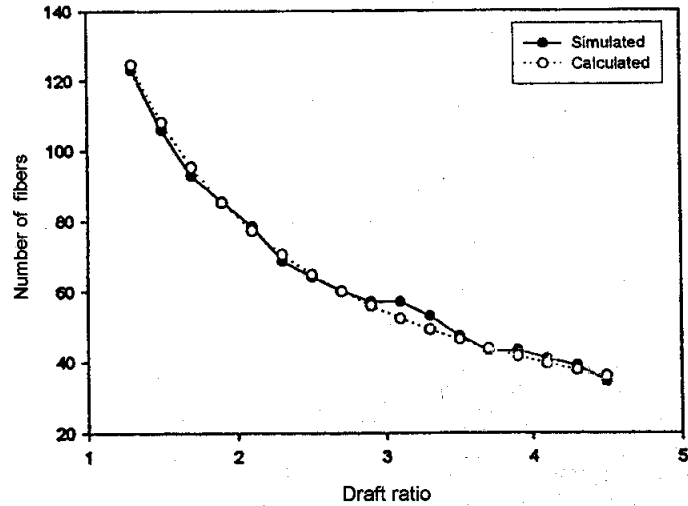


Figure 7. Relation between draft ratio and linear density with the gauge length of 39 mm.

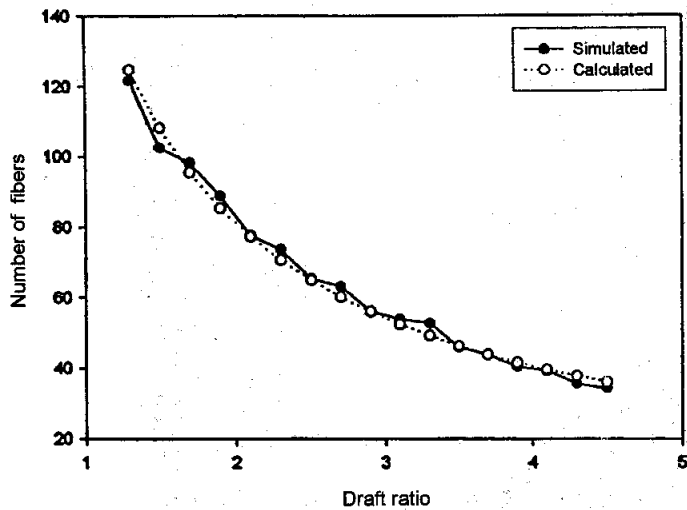


Figure 8. Relation between draft ratio and linear density with the gauge length of 43 mm.

율이 다른 시료보다 특별히 높거나 낮을 수 있기 때문으로 생각된다. 전자의 경우는 변속점이 후과지점에 가깝게 형성되어 계산값보다 그 선밀도가 낮게 나타날 것이고, 후자의 경우는 그 반대의 현상이 일어날 것이다[9].

한편 그림에서 보듯이 gauge length의 변화는 드래프트 조작을 받은 후의 섬유속의 선밀도 변화에 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

#### 4.2. 드래프트비와 선밀도 평균편차의 관계

Figure 9~11은 각 파지거리에서 드래프트비에 따른 선밀도 평균편차의 관계를 보인 것이며 Figure 12는 파지거리 35 mm에서 Table 2의 코마 슬라이버를 사용해 드래프트비와 선밀도 평균편차의 관계를 보인 것이다. 각 그래프는 드래프트비가 커짐에 따라 선밀도의 평

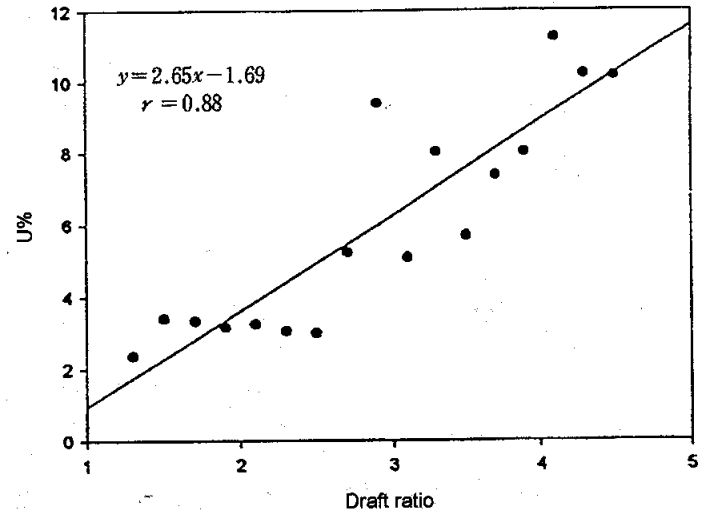


Figure 9. Relation between draft ratio and mean deviation with gauge length of 35 mm.

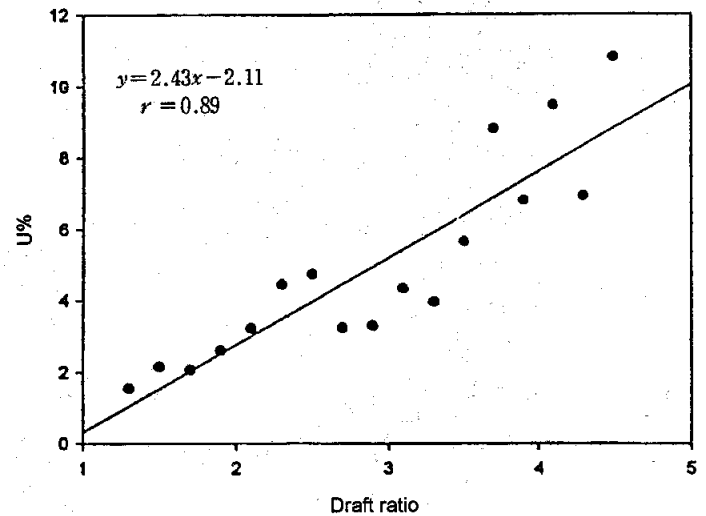


Figure 10. Relation between draft ratio and mean deviation with gauge length of 39 mm.

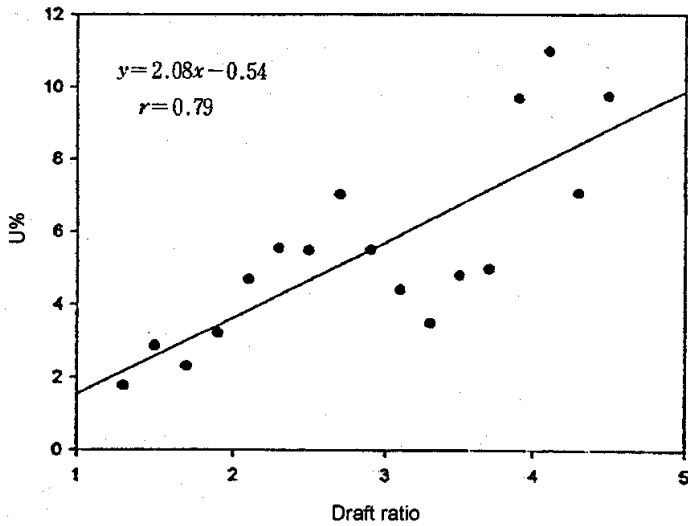


Figure 11. Relation between draft ratio and mean deviation with gauge length of 43 mm.

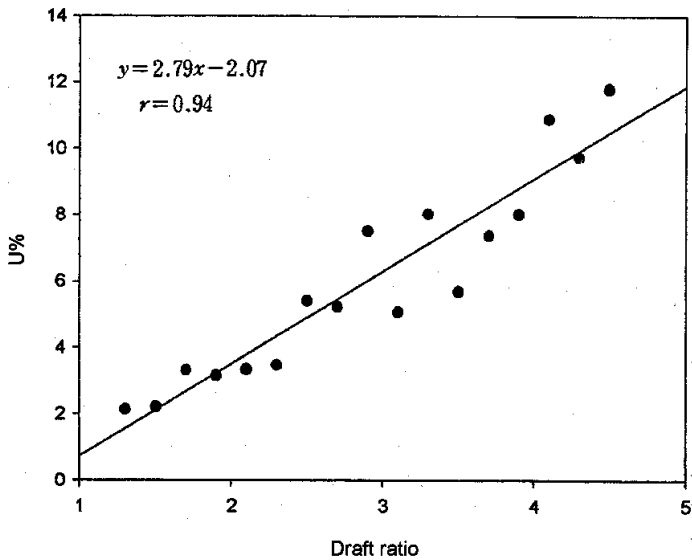


Figure 12. Relation between draft ratio and mean deviation with gauge length of 35 mm (combed fiber bundle).

균편차가 커짐을 보여주고 있는데, 이렇게 선밀도 평균편차가 증가하는 것은 다음과 같이 해석할 수 있다.

드래프트 조작은 그것이 이상적으로 행해져서 단섬유의 운동이 저속에서 고속으로 전이해가는 변속점의 위치가 변하지않고 일정하더라도 그 선밀도 불균제는 증가하지 않지만 실제의 공정에서는 그 변속점이 변화하게 되는데, 두 쌍의 로울러의 속도차에 의해 결정된 드래프트비가 클수록 고속섬유와 저속섬유의 속도차는 커지게 되므로 드래프트 구간 내에서의 섬유끝이 밀려나는 거리가 증가하면서 섬유가 집단적으로 거동하는 현상 때문으로 보인다.

섬유속을 구성하는 섬유는 그 끝과 끝의 거리가 분포하게 되며 이 분포는 다분히 섬유끝 거리가 짧을 확

률이 높다. 방적공정중 생산되는 섬유속은 원면표로부터 섬유 몽치가 분리되는 순간부터 드래프트를 받게 되어 이때 섬유끝 거리가 가까운 섬유는 그만큼 접촉하는 길이가 길게 된다. 따라서 이 두 섬유는 고속과 저속으로 분리하여 움직일 확률이 적으며, 어떠한 경우 속도차가 발생한다 하더라도, 그 속도차를 회복하는 데까지 소요되는 시간이 짧게 된다.

이와 같은 이유로 해서 섬유끝간 거리가 짧은 두 섬유는 그 거리를 유지할 확률이 높아지고, 섬유끝간 거리가 긴 두 섬유는 그 거리를 유지할 확률이 줄어들게 된다. 그러므로 섬유속 내의 단섬유는 집단적으로 거동하게 되며, 드래프트비가 커짐에 따라 그 선밀도 변화의 폭이 커지게 되어 평균편차가 크게 나타나는 것으로 이해할 수 있다.

### 4.3. 파지거리와 선밀도 평균편차의 관계

Figure 13~15는 대표적인 세 가지의 드래프트비에서 파지거리에 따른 선밀도 평균편차의 관계를 보인 것이며 Figure 16은 드래프트비 2.3에서 Table 2의 코마 슬라이버를 사용해 파지거리에 따른 선밀도 평균편차의 관계를 보인 것이다. 그래프들은 공통적으로 파지거리가 길어짐에 따라 선밀도 평균편차가 커짐을 보여주지만 그 신뢰도는 낮다. 실제 균제도를 시험하는 Zellweger사의 USTER Tester의 경우 균제도 시험을 위하여 수십~수백 m의 sample을 사용하는 반면 본 실험의 경우 가상의 섬유속은 불과 수 m에 불과하므로 그 신뢰도가 떨어지게 되며, 시험 sample이 computer의 기억 용량에 의해 제한을 받는 상황에 의해 보다 신뢰도가 높은 실험을 행하기에 어려움이 있었다.

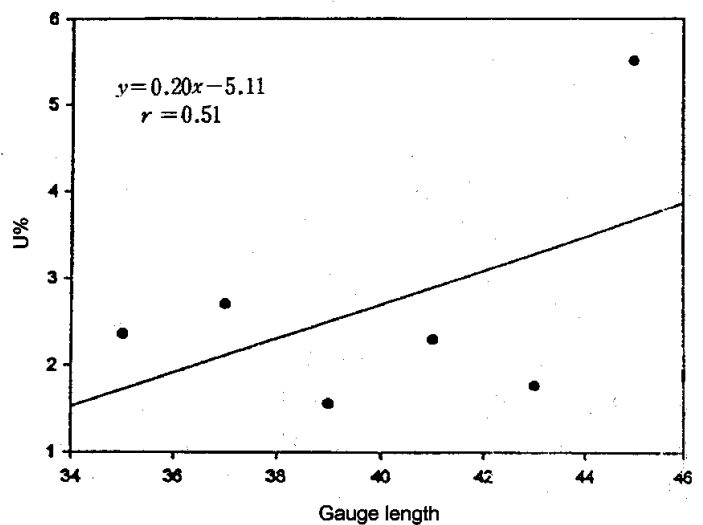


Figure 13. Relation between gauge length and mean deviation with draft ratio of 1.3

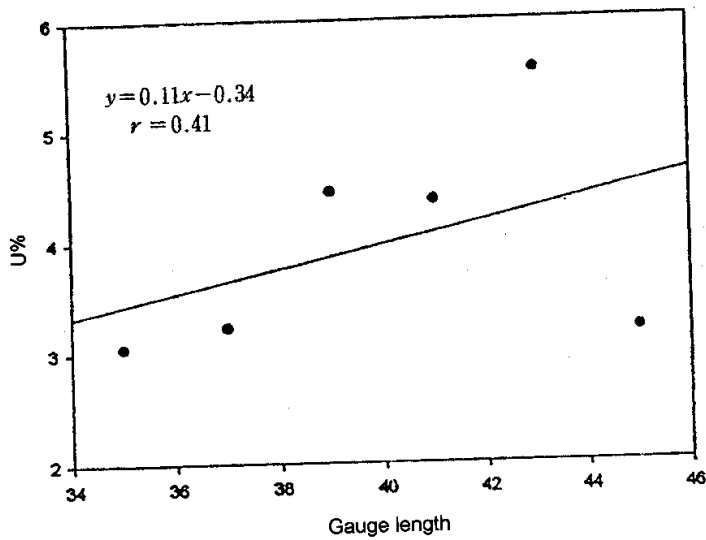


Figure 14. Relation between gauge length and mean deviation with draft ratio of 2.3.

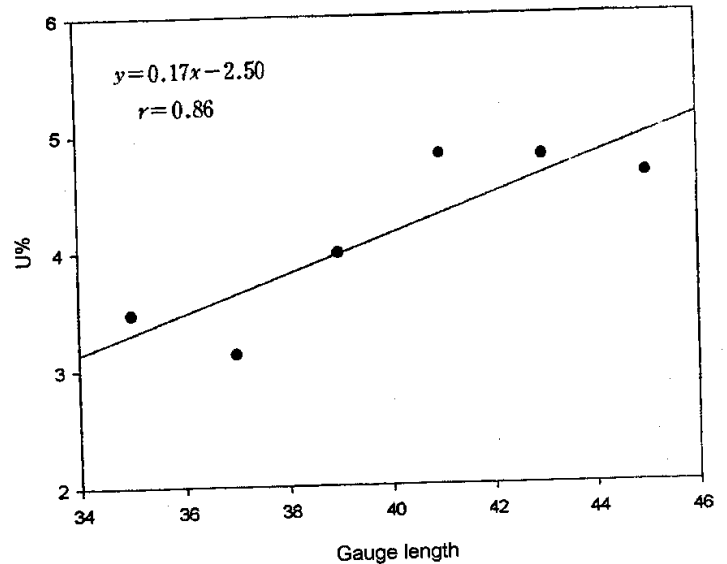


Figure 16. Relation between gauge length and mean deviation with draft ratio 2.3. (combed fiber bundle).

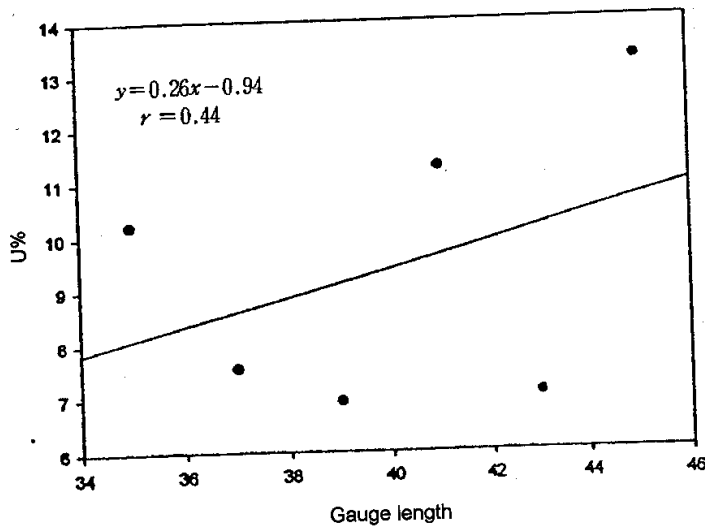


Figure 15. Relation between gauge length and mean deviation with draft ratio of 4.3.

해연이 일어나지 못하므로 오히려 평균편차값이 증가함을 볼 수 있는데, 모의실험에서는 섬유 절단 등은 모사할 수 없었으므로, 실제의 공정에서 보이는 현상은 발견할 수 없었다.

### 5. 결 론

능동적으로 제어하지 못하는 섬유속의 거동을 예측하기 위해 구성 섬유의 운동을 규정하는 몇 가지 가정을 세워 2 속도 운동을 모사하는 프로그램을 제작하였다. 드래프트 모의 실험 프로그램을 실행하기 위하여 실제 사용되는 섬유속을 분해하여 얻어진 섬유길이 분포와 화상분석에 의하여 얻어진 자료를 사용하였으며 실험을 통하여 드래프트 구간내에서의 단섬유의 속도 변화를 보여주는 화면을 볼 수 있었으며, 단섬유의 운동을 추적, 기록하는 방법을 사용함으로써 드래프트 후 섬유속을 구성하는 단섬유의 위치관계 변화를 알 수 있는 문서 형태의 결과를 구할 수 있었다. 이를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 섬유속은 드래프트비 증가에 따라 선밀도가 감소함을 알 수 있었으며 gauge length의 변화는 드래프트 조작을 받은 후 섬유속의 선밀도 변화에 큰 영향을 미치지 못함을 알았다.
2. 섬유속은 드래프트비가 커짐에 따라 그 선밀도 변화의 폭이 커져 선밀도 평균편차가 커짐을 알 수 있었다.
3. 섬유속은 파지거리가 길어짐에 따라 선밀도 평균편차가 증가함을 알 수 있었다.

한편 실제 방적공장에서의 섬유속과 가상섬유속의 거동을 비교하여 비슷한 경향성이 있음을 예측할 수

이상드래프트의 경우는 단섬유들의 변속점이 일정하기 때문에 파지거리가 길다고 해서 선밀도 불균제가 증가할 이유는 없다고 할 수 있으나 실제드래프트에서는 변속점이 이동을 하게 되고, 이 변속점의 이동범위는 파지거리에서 단섬유의 길이를 뺀 값만큼 확장될 수 있다[9]. 변속점의 이동은 그 방향에 따라서 선밀도를 증가시키거나 감소시키게 되는데, 그 이동 거리가 길수록 선밀도 불균제의 파장이나 진폭은 크게 된다.

파지거리가 길다는 것은 변속점 이동의 거리가 길어질 수 있다는 것으로, 그만큼 더 긴 파장과 큰 진폭의 불균제가 발생할 수 있는 여건이 되어 그래프에서 보는 바와 같이 파지거리가 길어짐에 따라 선밀도 평균편차가 증가한다고 볼 수 있다.

그런데, 실제 공정에서는 파지거리가 과도하게 짧은 경우 단섬유의 절단이나 드래프트 구간 내에서 충분한

있었으며 비록 컴퓨터와 프로그램의 용량한계로 실제 단섬유의 절단, 섬유 접힘 등은 모사할 수 없어서 파지거리에 따른 선밀도 평균편차의 관계로부터 최적의 파지거리는 알 수 없었으나 그 경향성은 확인할 수 있었다.

### 참고문헌

1. M. Hannah, *J. Text. Inst.*, **41**, T57(1950).
2. P. F. Grishin, *J. Text. Inst.*, **45**, T167(1954).
3. W. E. Morton and J. W. S. Hearle, "Physical Properties of Textile Fibers", Heinemann, 1975.
4. K. Binder, "Monte Carlo and Molecular Dynamics Simulations in Polymer Science", Oxford Univ. Press, 1995.
5. B. S. Gupta and Y. E. EL Mogahzy, *Text. Res. J.*, **61**, 547(1991).
6. B. S. Gupta and Y. E. EL Mogahzy, *Text. Res. J.*, **63**, 219(1993).
7. Y. E. El Mogahzy and R. M. Broughton, *Text. Res. J.*, **63**, 465(1993).
8. N. A. G. Johnson, *J. Text. Inst.*, **72**, 69(1981).
9. G. A. R. Foster, *J. Text. Inst.*, **42**, T336(1951).
10. 이동한, 이성덕, 황강진, "시뮬레이션 이론과 실제", 교학사, 1993.