

Fiber Openness의 변동이 Draft 불균제에 미치는 영향

허 유, 김종성, 곽도웅

경희대학교 테크노공학대학 기계·산업시스템공학부

Effect of the Variation of Fiber Openness on the Draft Irregularity

You Huh, Jong S Kim, Do W Kwack

Department of Mechanical and Industrial Systems Engineering, College of Advanced Technology,
Kyunghee University, Yongin, Gyunggi-Do, 449-701

1. Introduction

드래프트 공정을 거친 슬라이버의 선밀도 불균제는 제품의 품질과 공정의 효율 면에서 많은 문제를 일으킨다. 이러한 불균제의 특성을 해석하고 균제성을 제고하기 위해서는 실제 불균제가 발생하는 드래프트 존 내에서 섬유집속체의 동적거동을 정확하게 묘사해 줄 이론적 모델 연구가 필요하다. 본 연구에서는 이미 제시한 드래프트 존 내에서의 섬유의 동적거동을 묘사하는 fundamental equation을 바탕으로 force-deformation의 관계를 나타내는 constitutive model의 주요 model parameter 변동이 출력 슬라이버의 두께 fluctuation에 미치는 영향을 찾아보기 위하여 model simulation을 하고, fiber openness와 직접적인 관련이 있는 model parameter μ 의 변동범위를 실험을 통해 살펴보았다. 또 이 model parameter μ 의 변동에 대해 출력 슬라이버의 불균제를 나타내는 굵기 변동의 sensitivity를 제시하였다.

2. 이론적 Model

2.1. Fundamental equations system

를 드래프트 존 내에서 섬유의 동적거동을 묘사하는 모델을 정상상태에서의 집속유체영역에서 해석하면 다음과 같다.

the model equation for mean velocity $v(t,x)$:

$$\mu \cdot \left\{ \frac{\partial v(t,x)}{\partial x} \right\} = v(t,x)^2 + a_0 \cdot v(t,x) \cdot \left(1 - \cos \frac{2\pi}{L} x\right) \quad (1)$$

or the model equation for linear density $lb(t,x)$:

$$\mu \cdot \left\{ \frac{\partial lb(t,x)}{\partial x} \right\} + a_0 \cdot \left(1 - \cos \frac{2\pi}{L} x\right) \cdot lb(t,x) = -m_0 \quad (2)$$

constitutive model (assumption):

$$f(t,x) = \mu \cdot lb(t,x) \cdot \frac{\partial v(t,x)}{\partial x} \quad (3)$$

(m_0 : the rate of fibers flow in, μ, a_0 : model parameters, $f(t,x)$: bundle surface force)

2.2. Simulations

Fig.1은 주어진 조건 하에서 위에 주어진 모델을 simulation하였을 때, 드래프트 존 내에서의 섬유의 속도와 선밀도 profile을 보여준다. Parameter μ 는 fiber openness, 섬유장 그리고 섬유의 표면성질 등에 의존하는 섬유간의 내부 마찰에 관계하는 parameter인데, 이 μ 의 변동은 Fig.1 a)와 b)에서와 같이 draft 존 내에서 섬유의 동적거동에 변화를 일으킨다. 정상상태에서 경계조건을 만족시키는 μ 값을 중

심으로 μ 가 변하는 경우, 슬라이버가 front roll을 지나는 순간, 경계조건을 만족시키지 못하기 때문에 속도의 불연속, 즉 jerk가 발생하며, 이에 따라 굵기의 순간적 변동이 나타날 수 있으므로 출력 불균제에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

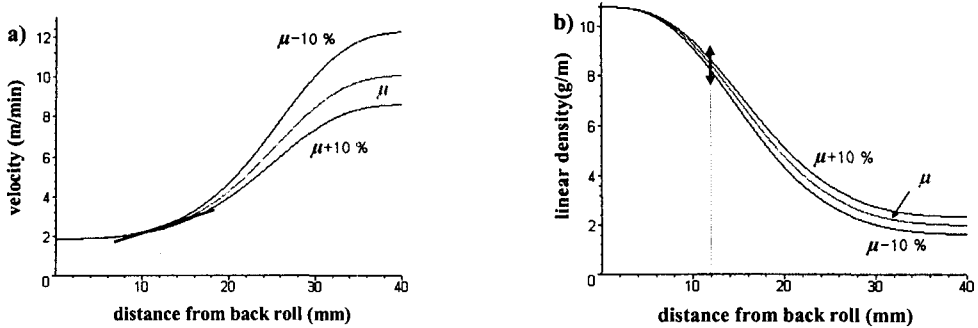


Fig.1 The profiles of a) the mean velocity and b) the linear density in the draft zone according to the variation of parameter μ ($DR:5.357$, $\mu:3700\text{m}^2/\text{min}$, $a_0:150.06$, $v(0):1.886\text{m}/\text{min}$, $lb(0):10.8\text{g}/\text{m}$)

3. Experiments

슬라이버의 내부 마찰에 관계하는 비례상수 μ (model parameter)는 구성섬유의 엉킴의 정도가 가장 영향을 많이 미친다고 볼 수 있다. 섬유 엉킴의 정도는 공정상 openness가 변화함에 따라 달라지는데 fiber openness와 μ 값의 관계가 주어지면, 출력 슬라이버의 굵기 fluctuation을 예측할 수가 있다. 그러나 섬유의 openness는 정의하기가 어려우므로 직접적인 측정이 곤란하다. 본 연구에서는 슬라이버 구성섬유의 openness 변동을 fiber간의 동적 force 변동으로 나타낼 수 있다고 생각하고, 이 힘의 변동을 온라인 측정하고, 동시에 출력 슬라이버의 두께변화를 함께 측정하였다. 이를 위하여 speed와 draft ratio를 변화시킬 수 있도록 Fig.2 a)와 같이 실험용 draft system을 구성하였다.

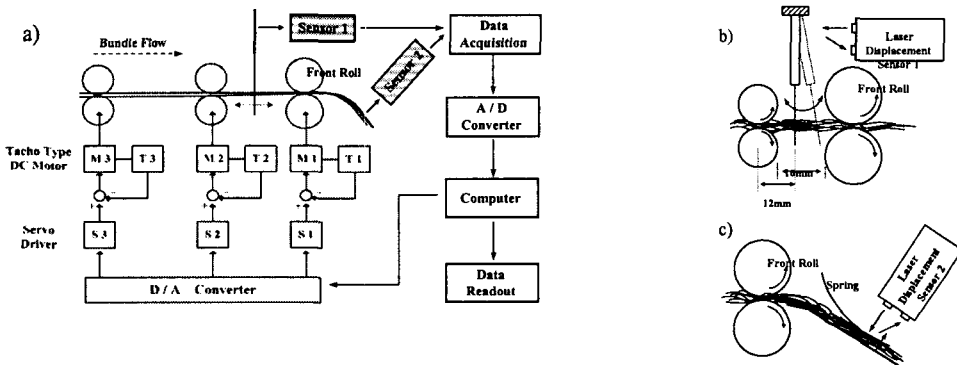


Fig.2 a) Constitution of the experimental system, b) the measuring principle of fiber openness, c) the measuring principle of the thickness of output sliver

Draft zone 내에서 drafting을 받고 있는 fiber bundle에 작용하는 동적 힘의 변동을 측정하기 위하여 needle을 이용하였다. 즉, 표면이 매끄럽고 탄성이 좋은 needle을 fiber bundle의 진행방향에 수직으로 설치하고, 섬유간의 엉킴에 의하여 유동계 내 구성 fiber끼리 작용하는 힘을 needle의 변형률로써 측정하였다 (Fig.2b). 측정은 시뮬레이션에서 내부 마찰에 관계하는 model parameter μ 의 변화에 대해 속도 기울기 $\frac{\partial v(t, x)}{\partial x}$ 가 거의 변하지 않는 위치, 즉, back roll의 nip line으로부터 12mm 위치에서 이루어졌다. 또 출력 슬라이버의 굵기는 집속 trumpet에 작용하는 spring의 변형률로 측정하였다(Fig.2c).

4. Results and Discussions

Fiber bundle에 작용하는 surface force는 constitutive model Eq.(4)에 주어진 바와 같이 fiber openness 또는 coherence에 크게 영향을 받는 parameter μ 와 선밀도 $lb(t,x)$, 그리고 속도 기울기 $\frac{\partial v(t,x)}{\partial x}$ 가 동시에 작용한다. μ 가 변하면 선밀도가 같이 변하기 때문에 surface force가 주어지더라도 μ 의 영향을 직접적으로 얻기 어렵다. 따라서 μ 와 선밀도의 관계를 simulation을 통하여 다음과 같이 얻었다. 즉, Fig. 1 a)와 같이 simulation에서 μ 의 변화에도 속도 기울기가 일정하게 나타나는 위치 $x=12$ 에서 경계조건이 만족될 때의 surface force를 $f_0(t,x)$, 선밀도를 $lb_0(t,x)$, parameter를 μ_0 라고 하면

$$\left[f_0(t,x) = \mu_0 \cdot lb_0(t,x) \cdot \frac{\partial v(t,x)}{\partial x} \right]_{x=12}, \quad \left[\frac{\partial v(t,x)}{\partial x} \right]_{x=12} = c \quad (: \text{constant}) \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다.

만일 parameter μ 값이 μ_0 를 중심으로 p% 만큼 변하는 경우, surface force $f(t,x)$ 는 $f_0(t,x)$ 를 중심으로 q%만큼 변하고, 선밀도 $lb(t,x)$ 는 $lb_0(t,x)$ 를 중심으로 r%만큼 변한다고 할 때, Eq.(4)는

$$\left[f_0(t,x) \cdot \left(1 + \frac{q}{100}\right) = \left\{ \mu_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right) \right\} \cdot \left\{ lb_0(t,x) \cdot \left(1 + \frac{r}{100}\right) \right\} \cdot c \right]_{x=12} \quad (\text{단, } c = \left[\frac{\partial v(t,x)}{\partial x} \right]_{x=12}) \quad (5)$$

이 된다. 가정된 constitutive model을 바탕으로 얻은 simulation에 의하면 parameter μ 값이 μ_0 를 중심으로 p%만큼 변하는 경우, fiber bundle의 굵기 변동 r%는 Fig.3에서 주어진 바와 같이 2차 회귀식으로 나타낼 수 있다 ; $r = ap^2 + bp + d$ (단, a, b, d : constant coefficients) (6)

따라서 surface force $f(t,x)$ 의 변동량 q와 parameter μ 의 변동량 p와의 관계는

$$\left[f_0(t,x) \cdot \left(1 + \frac{q}{100}\right) = \left\{ \mu_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right) \right\} \cdot \left\{ lb_0(t,x) \cdot \left(1 + \frac{ap^2 + bp + d}{100}\right) \right\} \cdot c \right]_{x=12} \quad (7)$$

이 된다. 그런데 surface force의 변동은 섬유간의 엉킴에 의하여 유동계내 구성 fiber끼리 작용하는 힘의 변동이라고 볼 수 있으므로 이를 측정하였다. Fig.4 a), b)는 주어진 조건에서 나타나는 fiber간 작용하는 힘의 변동과 이에 따른 출력 슬라이버의 변동을 측정된 실험결과이다.

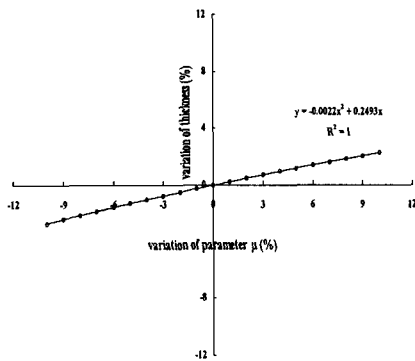


Fig.3 Theoretical fluctuation ranges of linear density with variation ranges of parameter μ on the measuring point

실험결과에 따르면 μ 값의 변동이 15.7%만큼 발생하면 Eq.(7)에 의하여 bundle surface force의 변동이 19.6% 일어나고, 이러한 변동은 출력 슬라이버의 두께를 26.2%만큼 변동시킨다고 볼 수 있다.

Fig.5는 본 연구에서 제시한 이론적 모델에 실험과 동일한 공정조건으로 실험을 통하여 얻은 μ 의 변동범위를 적용시켜 얻은 draft 구간내 선밀도 profiles이다. 이러한 선밀도 profile로부터 얻을 수 있는 출력 슬라이버의 두께 변화는 Table 1.에 표시하였다.

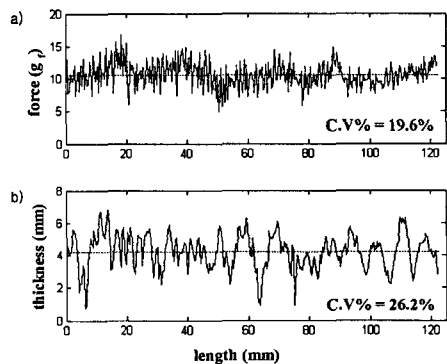


Fig.4 Experimental results of a) fiber to fiber force and b)thickness of output sliver (DR:5.357, $v(0)$:1.866m/min, $lb(0)$:10.8g/m)

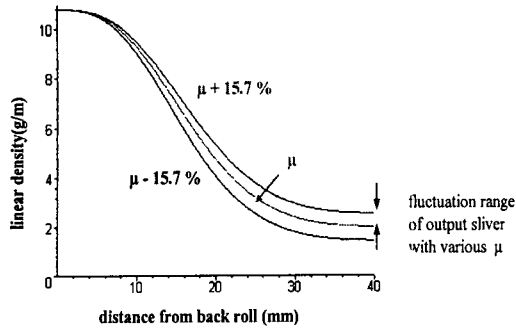


Table 1. Fluctuation range of output sliver according to the variation of parameter μ

fluctuation range of μ	thickness of output sliver	fluctuation range of output sliver
$\mu+15.2\%$	2.5502	26.5%
μ	2.0161	0%
$\mu-15.2\%$	1.4491	-28.1%

Fig. 5 Theoretical profiles of the linear density of output sliver according to the fluctuation of parameter μ (DR:5.357, μ :3700±15.2%, m²/min, a_0 :150.06, $v(0)$:1.886m/min, $lb(0)$:10.8g/m)

결과에 의하면 측정에 의한 parameter μ 의 변동에 대해 출력 슬라이버의 굵기변동이 simulation에서는 26.5%로 예상되었으며, 실험에 의하여 26.2%로 나타났으므로 모델과 실험이 잘 일치함을 확인할 수 있다. 한편, parameter μ 변동에 대한 출력 슬라이버의 굵기변동의 sensitivity(S)는

$$S = \left| \frac{\frac{\Delta lb}{lb}}{\frac{\Delta \mu}{\mu}} \right| = \left| \frac{\frac{lb_1 - lb_0}{lb_0}}{\frac{\mu_1 - \mu_0}{\mu_0}} \right| \quad (8)$$

(lb_0, μ_0 : the linear density of output sliver and parameter μ when the boundary conditions are satisfied
 lb_1 : the linear density of output sliver when the parameter μ becomes μ_1)

으로 정의될 수 있으며, Fig.6은 parameter μ 변동에 따른 불균제 sensitivity를 묘사한 것이다.

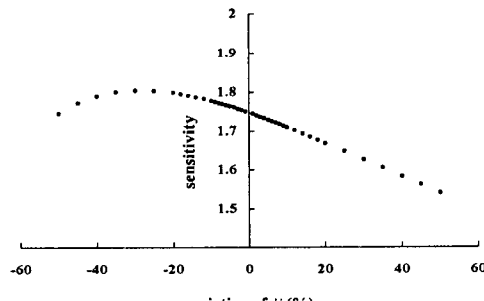


Fig.6 The sensitivity of thickness according to the various parameter μ

μ -변동이 증가하면 굵기변동의 민감도는 거의 선형적으로 감소하지만, μ -변동이 작아지면 처음에는 민감도가 증가하다가 μ 값이 약 30%보다 더 작아지면 오히려 민감도가 감소하는 것을 알 수 있다.

5. Conclusions

본 연구에서는 롤 드래프트 존 내에서 섬유의 동적거동에 대한 수학적 모델을 바탕으로 fiber openness, 즉 model parameter μ 의 변동에 따른 출력 슬라이버의 불균제를 해석하였다. 그 결과 본 연구에서 사용한 시료를 대상으로 needle 측정법에 의한 fiber openness의 변동이 15.7%이었으며, 이를 바탕으로 한 출력 슬라이버의 굵기변동 시뮬레이션은 실험결과와 잘 일치하였다. μ 값의 변동이 출력 슬라이버 불균제에 미치는 민감도는 부(negative)의 관계가 있었다.

References

1. Y.Huh, "Modeling of Fiber Dynamics in Roller Draft" the 6th ATC, Hon Kong, Aug.22-24, (2001)