

## 임의 위상스펙트럼(RPS)법에 의한 집속인발 공정의 특성연구

허유\*(경희대학교 기계.산업시스템공학부), 김종성(경희대학교 대학원 섬유공학과)

### Characteristics of the Bundle Drawing Process by Random Phase Spectrum Method

You Huh(Mech. and Ind. Systems Eng. Faculty, KHU), Jong S. Kim(Textile Eng. Dept., KHU)

#### ABSTRACT

To analyze the dynamic characteristics of the bundle drawing process, we employed a Random Phase Spectrum method to generate stochastic test signals that had a given autocorrelation function. And the spectra of the dynamics of the process outputs were obtained, based on the dynamic model of the bundle drawing process. Results showed that the RPS method was very effective to generate stochastic signals that had an exponential function form. The drawing process had the traits that there existed a special frequency range, incurring the process resonance.

**Key Words** : random phase spectrum method (임의 위상스펙트럼 법), bundle drawing process (집속인발공정), dynamic characteristics (동특성), process resonance (공정 공명), autocorrelation function (자기공분산 함수)

#### 1. 서론

집속체의 선밀도 균제도(linear density regularity)는 후속공정의 효율과 제품의 품질에 직접적인 영향을 미치는 대단히 중요한 성질 중 하나이다. 본 연구에서는 입력 집속체의 굵기변동을 연속적으로 변화하는, 자기상관성을 가지는 확률과정 신호(stochastic signal)로 생각하여 집속체 유동(bundle flow) 모델로부터 입력 굵기변동에 대한 출력 굵기변동의 주파수 특성을 살펴보았다.

#### 2. 집속체 유동 모델

유동계 내에서의 집속체의 동적거동을 묘사하는 상태변수 즉, 속도  $v(t, x)$  와 선밀도  $lb(t, x)$  에 대한 기본 방정식계는 다음과 같이 나타낼 수 있다 [1].

$$\frac{\partial lb(t, x)}{\partial t} = -\frac{\partial \{lb(t, x) \cdot v(t, x)\}}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \{lb(t, x) \cdot v(t, x)\} = -\frac{\partial}{\partial x} \{lb(t, x) \cdot v(t, x)^2\} - \frac{\partial}{\partial x} \{lb(t, x) \cdot Var[v_i(t, x)]\} + \frac{\partial f(t, x)}{\partial x} \quad (2)$$

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

$$Var[v_i(t, x)] = a_0 \cdot v(t, x) \cdot \left(1 - \cos \frac{2\pi}{L} x\right) \quad (4)$$

( $\mu, a$  : model parameters,  $L$  : length of draft zone)

#### 3. 신호생성

집속체의 임의의 기준으로부터 축방향으로  $x$  만큼 떨어진 위치에서의 선밀도  $lb(t, x)$  의 자기 공분산 함수  $R(\tau)$  의 추정치  $R_T(\tau)$  의 spectral density  $S_T(\omega)$  는

$$S_T(\omega) = \int_{-T}^T R_T(\tau) \cdot \exp(-j\omega\tau) d\tau \quad (5)$$

$$= \frac{1}{2T} \left| \int_{-T}^T (lb(t, x) - \overline{lb(t)}) \cdot \exp(-j\omega x) dx \right|^2$$

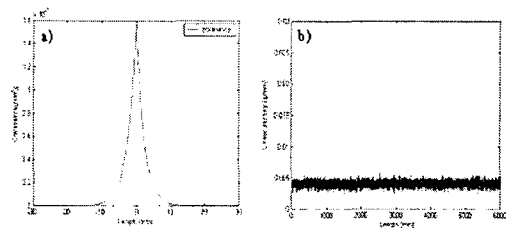
로 나타낼 수 있으므로 [2], 식(5)으로부터 주어진 자기 공분산 함수를 갖는 stochastic signal 은 다음과 같이 표시할 수 있다 [3]:

$$lb(t, x) = F^{-1} \left\{ \sqrt{2T \cdot |S_T(\omega)|} \cdot \exp(j\phi) \right\} + \overline{lb(t)} \quad (6)$$

(단,  $F^{-1}$  : Inverse Fourier transform

$\phi$  : phase angle)

따라서 식(6)에서 임의 위상각을 부여하여 지수 함수형태의 자기 공분산 함수를 갖는 변동신호  $lb(t, x)$  를 보면 Fig.1 과 같다.



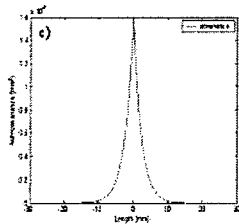


Fig.1 Characteristics of the signal used for the simulation  
 a) auto-covariance curve of the linear density of the input  
 b) an ensemble of the stochastic signal generated for the given characteristics  
 c) auto-covariance function of the generated ensemble ( $\sigma^2 : 1.6 \cdot 10^{-7} \text{mm}^2$ ,  $\lambda : 2.5 \text{mm}$ )

Fig.1(a)는 지수함수로 주어진 선밀도 굵기의 자기 공분산 함수를 보여주고 있으며, 이를 바탕으로 생성된 확률과정적 신호가 (b)에 주어져 있다. 생성된 신호로부터 자기 공분산 함수를 다시 구해본 결과 (c)와 같이 얻어졌다. 생성된 신호의 자기 공분산 함수(c)가 원래 주어진 자기 공분산 함수(a)와 잘 일치함을 확인할 수 있다.

#### 4. 시뮬레이션

집속체 유동모델 식(1)~식(4)에서 주어진 입력에 따른 방정식계의 해를 수치해석을 통하여 구하였다[4]. 시뮬레이션 조건은 인발비 6에 대하여 생산속도를 20m/min로 하였다.

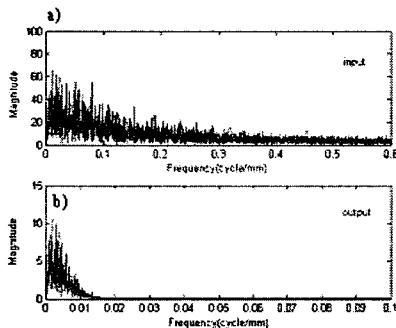


Fig.2 Amplitude spectra of a) input signal and b) output signal.

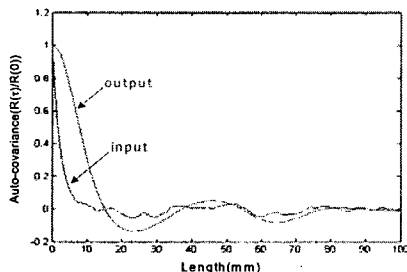


Fig.3 Auto-covariance function of input- and output-signal.

Fig.2는 입력과 출력 신호 특성을 주파수 영역에서 표시한 것을 보여준다. 입력에 포함되어 있는 일정 주기 이하의 변동성분 (속도비를 감안할 때 약 7~8 mm 이하 변동 주기성분)은 출력에 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

Fig.3는 입력과 출력 신호에 대한 자기 상관함수를 보여주는 그림이다. 두 신호를 비교하기 위하여 정규화하였으며 출력 집속체의 길이 축을 인발비만큼 감안하였다. 입력신호에서는 지수함수적 자기 공분산성에 따라 가까운 거리에서의 굵기 상관성이 급격하게 떨어지는 반면, 출력신호는 비교적 완만한 변화를 일으킨다. 또, 입력에서 10mm 떨어진 위치 간의 굵기 상관성이 출력에서는 좀 더 긴 시료간격 (약 15mm)에서 나타났으며, 주기성을 갖는 상관성이 40mm 간격으로 뚜렷이 나타나는 현상을 볼 수 있다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 집속체 인발 공정에서 나타나는 선밀도 변동을 해석하기 위하여 인발 구간 내에서의 집속체의 거동을 묘사하는 이론적 모델을 바탕으로 확률과정적 변동을 하는 입력 선밀도에 대한 출력 선밀도의 스펙트럼을 살펴보았다. 그 결과, 임의 위상 스펙트럼법에 의한 입력신호의 생성은 공정 동특성 해석에 유효하게 활용될 수 있으며, 인발 공정에서 일정 주파수 성분 이상의 입력 선밀도 변동은 출력에 현저히 감소하여 나타나지 않으나, 자기 공분산 주기성이 발생하여 이 파장에 해당하는 굵기 변동은 출력에 오히려 증가하는 공정 공명 현상이 발생할 수 있음을 확인하였다.

#### 후 기

이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임” (KRF-2005-D00753).

#### 참고문헌

- 1 You Huh and Jong S. Kim, "Modeling the Dynamic Behavior of the Fiber Bundle in a Roll-Drafting Process", *Textile Res. J.*, 74(10), pp.872-878, 2004
2. Papoulis, A., Pillai, S.U., "Probability, Random Variables, and Stochastic Process", McGraw-Hill, Inc., p.538, 2002.
3. 허 유, 김종성, "유동계 내 집속체의 과도적 거동에 따른 출력 불균제 해석", 한국정밀공학회 춘계학술발표회 논문집, 2005
4. 허 유, 김종성, "Stochastic Parameter 를 가지는 집속 유동계에서의 선밀도 불균제 한계", 한국정밀공학회 춘계학술발표회 논문집, 2004.