

롤투롤 시스템에서 고분자 필름의 열적 물성 변화를 고려한 장력모델의 연구

A Study on the Tension Model Considering the Changes in the Thermal Characteristics of Polymer Film in Roll-to-Roll Systems

*성진우¹, 이종수¹, Hiski Hämäläinen², 이동진^{3,4}, #신기현^{3,4}

*J. W. Seong¹, J. S. Lee¹, H. Hämäläinen², D. Lee³, #K. H. Shin(khshin@konkuk.ac.kr)^{3,4}

¹ 건국대학교 기계설계학과, ²VTT-KOREA, ³ 건국대학교 기계공학부,

⁴ 건국대학교 유연디스플레이연속공정연구소

Key words: PET, roll-to-roll, thermal effect, elastic modulus, dryer

1. 서 론

연속공정 라인 내에 습식 인쇄공정이 포함되는 경우 반드시 건조공정을 통해 인쇄 결과물을 웹 표면에 정착시켜야 한다. 이 과정에서 웹이 열에 노출되어 물성 변화를 겪게 되며, 인쇄공정 이후 건조기에 의한 개략적 온도 변화 프로파일은 Fig. 1 과 같다. 본 연구에서는 PET 필름의 건조열에 의한 물성 변화를 고려한 장력 모델을 유도하고 시뮬레이션 결과에 대해 고찰하였다.

2. PET 필름의 물성

PET 필름의 특성을 파악하고 모델링을 위하여 상온~150°C 온도 범위에서 PET 필름의 탄성계수(E) 및 열팽창계수(CTE, α)를 측정하였다. 인장 실험 조건을 Table 1 에 나타내었다.

Table 1 Tensile test configuration

PET	SKC SH-34 (thickness : 100 μm)
Elastic modulus	KS M 3054 (tensile speed : 1 mm/min)
CTE	ASTM E831 (tensile force : 0.05 N)

열에 의한 PET 필름의 길이 변화는 Fig. 2 와 같다. 필름은 승온에 따라 팽창하다가 약 80°C 지점부터 수축하며, 상온~150°C의 온도 변화에 따른 CTE 는 $-87.36 \mu\text{m}/(\text{m}^\circ\text{C})$ 이다.

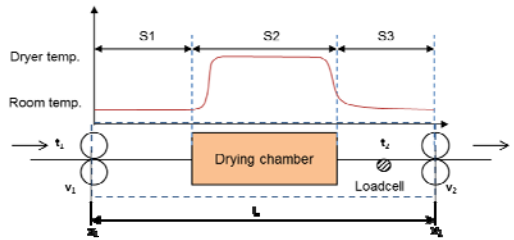


Fig. 1 Temperature profile of the roll-to-roll system including dryer between two-driven rolls

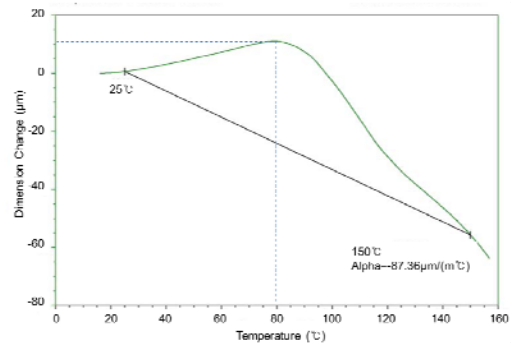


Fig. 2 Dimensional change of PET film according to the temperature change

탄성계수는 Fig. 3 와 같이 온도 증가에 따라 감소하며, 온도변화에 따른 탄성계수를 2 차 피팅하여 식(1)과 같이 정의하였다.

$$E(\theta) = -0.12\theta^2 - 2\theta + 3.3 \times 10^3 \quad (1)$$

3. 수학적 모델

Fig. 1 과 같이 두 구동롤이 이루어진 서브시스템에서 제어체적을 지나는 웹의 질량보존법칙으로부터 장력 모델을 유도할 수 있다. 이 때 웹의 총 변형을 ϵ_{total} 은 기계적 변형을 ϵ_m 와 열 변형을 ϵ_{th} 의 선형 합으로 가정하였다. 이 때 총 변형율은 식(2)과 같다.

$$\epsilon_{total} = \epsilon_m + \epsilon_{th} = \epsilon_m + \alpha\theta \quad (2)$$

웹과 롤 사이 슬립이 존재하지 않고, 롤 사이 거리가 일정하며, 웹 단면적이 균일하다 가정하여 수학적 모델을 유도하면 식 (3)의 비선형 모델을 얻는다.

$$\frac{d}{dt}t_{2total}(t) = \frac{AE_2(t)}{L} \{v_1(t)\epsilon_1(t) - v_2(t)\epsilon_{2m}(t)\} \quad (3)$$

$$\frac{AE_2(t)}{L} \{-v_1(t) + v_2(t)\} - \frac{AE_2(t)}{L} v_2(t)\alpha\theta(t)$$

4. 수치적 시뮬레이션

Table 2 와 같은 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다. 두 구동롤이 5 m/min 으로 등속 구동되며 정상상태에서 운전장력이 9.8 N 으로 일정한 시스템에 80, 120, 140°C의 온도변화를 입력하였을 때 시스템의 출력은 Fig. 4 와 같다.

Table 2 Simulation conditions

Parameter	Value	unit
Web thickness	100	μm
Web width	0.3	m
Span length	13.6	m
CTE	-87.36	μm/(m°C)

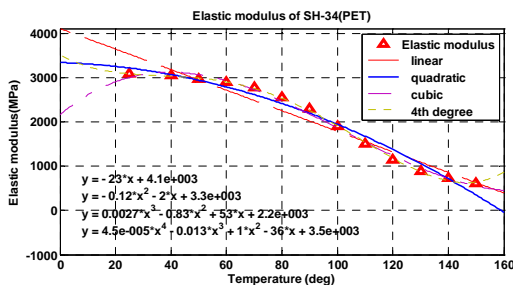


Fig. 3 Elastic modulus change of PET film according to the temperature change

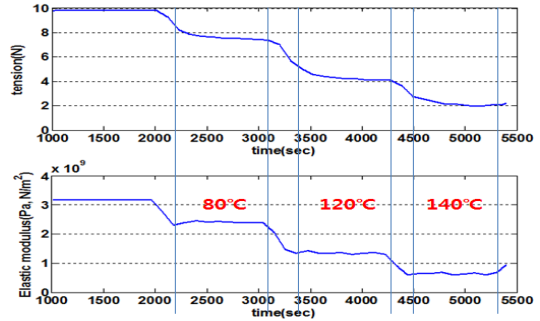


Fig. 4 Change in Tension (top) and elastic modulus (bottom) according to the temperature change

탄성계수는 Fig. 4 아래와 같이 온도 증가에 따라 감소한다. 한편 탄성계수는 약 0.8 ~ 3 GPa 의 크기를 가지므로 시스템의 응답크기에 지배적인 영향을 미친다. 따라서 Fig. 4 위의 장력 변화는 탄성계수 변화와 유사한 경향을 보이며, 1 차 시스템 특성상 급격한 입력 변화에 대해서도 필터링 효과에 의해 천이구간에서도 출력이 부드럽게 완화된다.

5. 결 론

PET 필름의 온도변화에 따른 탄성계수의 실험식 및 열 효과를 고려한 장력모델을 개발하였다. 개발된 모델은 온도 및 탄성계수 변화에 의해 장력 출력이 지배적인 영향을 받으며, 모델을 이용하여 온도변화가 존재하는 시스템의 장력 거동을 예측해볼 수 있다.

후 기

본 연구는 2012 년도 지식경제부의 “산업 원천기술개발사업(10035641)” 및 한국연구재단의 “해외우수연구기관유치사업(2010-00525)” 의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. Shin. K. H., "Distributed control of tension in multi-span web transport systems," Ph.D dissertation, Oklahoma State Univ., 1991.
2. Lee. C. W., Kang. H. K. and Shin. K. H., "A study on tension behavior considering thermal effects in roll-to-roll E-printing," JMST, 24(5), 1097~1103, 2010.