

전자파 차폐용 초정밀 극박 메쉬 연속제조를 위한 건조 구간 내에서의 온도변화를 고려한 장력제어

Tension Control Considering Temperature Change in Dryer Section for The Continuous Manufacture of EMI Shield Mesh

*박성식¹, #신기현¹, 강현규², 이종수¹

*S. S. Park¹, #K. H. Shin(khshin@konkuk.ac.kr)¹, H. K. Kang², J. S. Lee¹

¹건국대학교 기계공학부, ²건국대학교 유연디스플레이 연속공정 연구소

Key words : Tension control, PID, R2R, Elastic modulus, Temperature change

기호설명

- T: 정상상태 운전중의 웹 장력 변화량
- V: 정상상태 운전중의 장력 속도 변화량
- E_{eq} : 등가 탄성계수
- E_0 : 온도 θ 인 구간에서 웹의 탄성계수
- L: 웹의 길이
- A: 웹의 단면 넓이

1. 서론

기존의 EMI 메쉬는 배치공정을 통해 생산해왔으나, 롤투롤(이하 R2R) 시스템의 생산성을 이용한 대량생산에 대한 연구가 진행 중이다. R2R 방식으로 EMI 메쉬를 생산할 경우 건조공정이 필수적인데, 이 때 웹에 온도변화가 일어나며 탄성계수가 변한다. 탄성계수 변화에 의해 웹의 장력이 변하게 되고, 이 장력변화는 여러 스펠(span)이 있을 때, 다음 스펠으로 전달되며 이를 장력전달현상이라 한다.[1] 본 논문에서는 건조구간 내에서 발생하는 소재의 온도변화에 의한 장력 변화를 해석하고, 온도변화가 있는 스펠에서 장력변화를 PID 제어를 이용 최소화하였다.

2. 온도 변화를 고려한 장력모델

식 (1)은 기존의 장력 모델[1]을 나타내며 온도 변화에 따른 탄성계수 변화를 고려할 수 없었으나, 개선된 식(2)는 온도변화에 의한 탄성계수 변화를 고려하고 있다[2].

$$\dot{T}_2(t) = \frac{v_{10}}{L} T_1(t) - \frac{v_{20}}{L} T_2(t) + \frac{AE}{L} \{-V_1(t) + V_2(t)\} \quad (1)$$

$$\dot{T}_2(t) = \frac{v_{10} E_{eq2}}{L E_{\theta 1}} T_1(t) - \frac{v_{20} E_{eq2}}{L E_{\theta 2}} T_2(t) + \frac{AE_{eq2}}{L} \{-V_1(t) + V_2(t)\} \quad (2)$$

3. 웹 온도 변화에 따른 장력 변화

Fig.1 은 건조기 내에서의 탄성계수 변화, Fig. 2 는 웹의 온도가 변함에 따라 T2 에서 발생하는 장력변화의 개루프응답을 보여준다. 이는 온도가 변함에 따라 웹의 탄성계수 및 등가 탄성계수가 변하기 때문이다. 여기서 등가탄성계수는 웹이 실온과 건조기 온도의 3/4 의 온도를 가졌을 때의 탄성계수로 가정하였다. $E_{eq} = 2.02\text{GPa}$ (97.5°C) 수식 (2)를 이전 스펠의 장력변화량 T_1 에 대한 출력 T_2 로 표현하면 다음과 같은 전달함수를 얻을 수 있다.

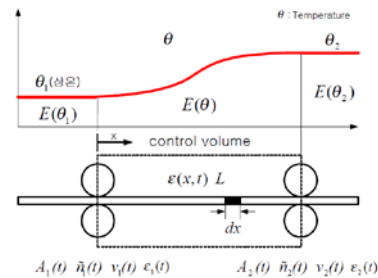


Fig. 1 Temperature profile in the dryer section and change of elastic modulus

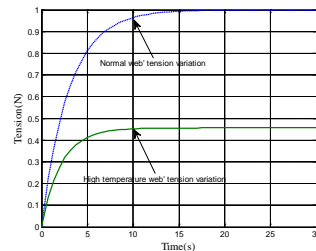


Fig. 2 Tension variation in the dryer section with temperature effect

$$\frac{T_2(s)}{T_1(s)} = \frac{v_{10}E_{\theta 2}E_{eq 2}}{(LE_{\theta 2}s + v_{20}E_{eq 2})E_{\theta 1}} \quad (3)$$

식(3)을 통하여 dryer 내의 온도 변화로 인해 E_{th2} 가 감소하면 T_2 도 감소하는 것을 알 수 있다. 한편, 웹의 탄성계수 감소는 웹이 동일한 힘을 받을 때 발생하는 strain이 더 커지는 것을 의미한다. 즉, 정상상태, 상온일 때 등속으로 이송되던 웹이 건조구간에서 온도가 증가하면 탄성계수 감소에 의해 장력이 감소하게 되며, 이를 보상하기 위해 속도입력을 줄 때는 상온 상태일 때보다 작은 입력을 줘야 일정한 장력을 유지할 수 있음을 의미한다. 따라서 제어를 설계함에 있어 이를 고려하여 온도변화를 고려한 제어기 설계가 필요하다.

4. 온도 변화를 고려한 장력제어 시뮬레이션

온도 변화를 고려한 시뮬레이션 및 제어기 설계를 위한 파라미터들은 Table 1과 같다. 이때 웹의 물성치는 각 온도별 인장실험을 통해 획득하였다. 입력 초기조건은 모두 0이며 외란으로 T_1 에 크기 1N의 장력외란을 입력하였을 때 PID 제어를 이용하여 V_2 를 제어하였다. 이때 V_1 은 Master speed drive를 가정하여 변화가 없다.

Table 1 Simulation condition

Web width	0.3m
Web thickness	135 μ m
Span length	1.5m
Operating velocity	30mpm
Operating tension	5N
Young' modulus	$E_{\theta 1} = 3.13\text{GPa}$ (30 $^{\circ}$ C) $E_{\theta 2} = 1.43\text{GPa}$ (120 $^{\circ}$ C) $E_{eq} = 2.02\text{GPa}$ (97.5 $^{\circ}$ C)
Dryer temperature	120 $^{\circ}$ C

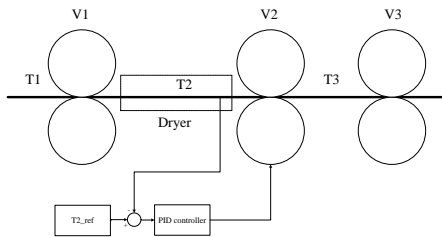


Fig. 1 Schematic of PID controller

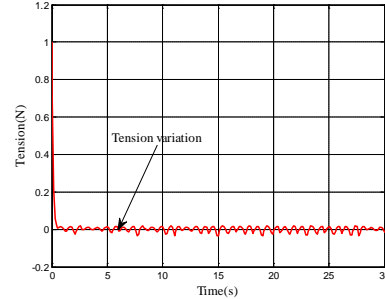


Fig. 2 Controlled web tension variation in dryer

Fig.4는 설계한 제어기를 통하여 건조구간의 웹에 1N 외란이 발생하였을 때 약 0.4 초 후에 약 0.03N 범위에서 장력변화량을 제어할 수 있음을 보여준다. (운전장력의 1% 이내)

5. 결론

R2R 시스템의 건조 구간에서 소재의 온도변화에 의한 장력 변화를 해석하였다. 개루프응답에서 온도가 증가함에 따라 장력이 감소하며, 장력을 일정하게 유지하기 위해서는 상온일때보다 작은 속도 보상량을 필요로 한다. 이를 고려한 PID 제어를 설계하였다.

후기

본 연구는 ‘지식경제부 산업원천기술 개발사업 (10035641)’의 지원, 21세기 프론티어 기술 개발 사업의 일환인 ‘차세대 소재 성형 기술 개발 사업단’의 지원 및 ‘서울시 산학연 협력사업(10848)’의 지원 하에 수행되었습니다.

참고문헌

1. Shin, K.H., “Tension control”, TAPPI Press, 2000.
2. 이영노, “온도변화가 있는 다중스팬 시스템에서 열변형율을 고려한 스트립의 장력 제어”, 석사학위 논문, 건국대학교 대학원, 2001.
3. Ogata, K., “Modern control engineering. 4th ed.”, Prentice-Hall, 2002.