

면취기 시스템에 있어서 부하의 관성모멘트에 따른 가변 PID 일정 장력제어의 기초연구

A Basic Study on the constant Tension control with variable PID as a function of inertia moment in the winding roll System

허진*, 전홍배*, 김철한*, 사공건*

Jin Heo*, Hong-Bae Jun*, Chul-Han Kim*, Geon Sa-Gong*

Abstract

In the winding system, the constant tension control is too important. In this study, we've used a variable PID system as a function of a radius of winding roll. As a result, it was possible to measure a winding roll radius in the real time by making a mathematical model for measuring a winding roll radius. Finally, we've compared PID parameters as a function of winding roll radius after getting PID parameters in terms of the Ziegler & Nichols(ZN) method.

Key Wards(중요용어) : LVDT(차동 변환센서), Tension(장력), Differential voltage (차동전압),
Winding Roll (감는 롤러), Inertia Moment(관성모멘트)
Mutual inductance(상호 인덕턴스), PID Control (비례미적분제어)

1. 장 서 론

방직기 시스템에서 섬유물이 이동하여 공정처리를 받게되는 연속공정에서는 원료가 공급되고 제품이 방출되므로 공급/방출 선속도 유지 여부에 따라 생산품의 품질이 결정되는 경우가 대단히 많다. 특히 최종 방출물의 상태에 의해 섬유물의 엮이는 형태가 달라진다. 이때 제품의 울이 조밀하지 못한 경우는 면취기의 상태에 따라 제품의 질에 직접적으로 더 많은 영향을 끼친다. 그 이유로는 울이 조밀하지 못한 경우에 제품의 각 경사와 위사의 서로 지탱하는 힘이 작아 공정 중에 발생하는 작은 외란에 의해서도 쉽게 늘어나거나 울이 불규칙하게 엮어질 수가 있기 때문이다. 따라서 생산공정 중의 소재에 가해지는 장력에 따라 동특성을 파악하는 것은 생산공정 중에 소재의 품질과 공정 최적화에 반드시

필요하고 산업기술면에서도 대단히 중요하다^[1] 이러한 시스템에 있어서 고도의 장력제어가 필요하며 이러한 정밀제어를 달성하기 위하여 크게 센싱과 정확한 제어 알고리즘에 대한 고려를 해야 한다.

이러한 면취기 시스템은 소재의 이송속도와 생산되는 제품의 방출속도 사이에 정확한 속도비를 유지하는 것이 필요하다. 특히 소재를 감는 면취 공정에서는 시간이 지나감에 따라 면취롤의 반경이 변하여 커지고, 면취롤의 질량 및 관성모멘트가 변하며, 면취롤의 기동과 정지시 소재의 속도가 가·감속구간을 갖는 등의 장력변화 요인이 존재한다. 기존의 면취기 시스템에서의 공정 중 교란에 의해서 시스템이 정지하고 출발하는 경우 소재의 장력이 불안정하게 되어 공정효율을 감소시키고 제품의 품질을 저하시키게 된다.

본 연구에서는 LVDT를 이용한 장력측정장치를 자체 개발하여 연구함으로써 현장에서 스프링만을 교환하면 시스템을 재구성할 수 있도록 모듈화 함

* 동아대학교 전기공학과

(부산 광역시 하단동 동아대학교,

으로서 현장기술자가 쉽게 기술을 습득하고 활용할 수 있는 제어시스템을 개발하고자 한다. 본 연구에서는 모터의 제어와 POWER부분은 제외하였다.

면취롤의 반경크기에 따른 장력의 변화를 제어하기 위해 자체 고안한 측정방법으로 보다 간단하고 안정적인 장력제어 시스템을 구축할 수가 있었다. 이를 통해 장력측정용 시스템의 수학적 모델링과 관성모멘트에 따른 가변 PID계수를 측정하였다. 이때 롤의 반경에 따른 PID 계수를 예측할 수 있으므로 현장에서 시스템을 가동할 때 PID계수를 ROM에 기억시킴으로써 실시간 제어가 가능할 것이다.

2. 장 이 론

본 제어시스템에서 사용할 센서로는 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)를 사용하였다, 이는 상호인덕턴스 변화를 이용하는 소자로서 기계적, 전기적으로 분리되어 움직이는 코어의 변위에 따라 전기적 출력이 발생된다^[2].

그림 1을 보면 코어의 변위에 따라 출력단에는 차동전압이 나타나는 데, 이 값들은 기계적 변위에 따라 선형적으로 변화되고 있다. 그리고 코어와 코어 사이에서는 실질적인 접촉이 없으므로 LVDT의 기계적 부분이 마모되거나 약화되지 않아, 히스테리시스가 존재하지 않는다.

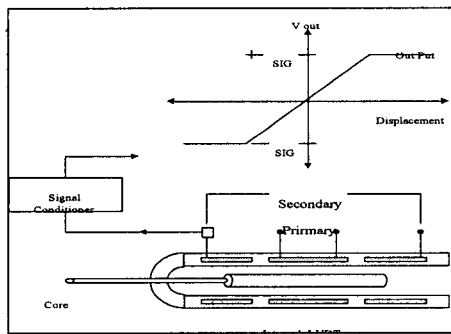


그림. 1 LVDT의 동작 원리

그림 1에서 처럼 LVDT 코어의 변위에 따른 출력전압이 선형적으로 변화하는 것을 이용하여, LVDT를 비례상수 K인 스프링으로 연결된 장력측정 로울러에 장착하면 수직방향의 힘을 거리의 변위로 바꾸어 LVDT Amplifier에 의해 전기적신호로 변환시킴으로서 장력을 측정할 수 있게 된다^[3].

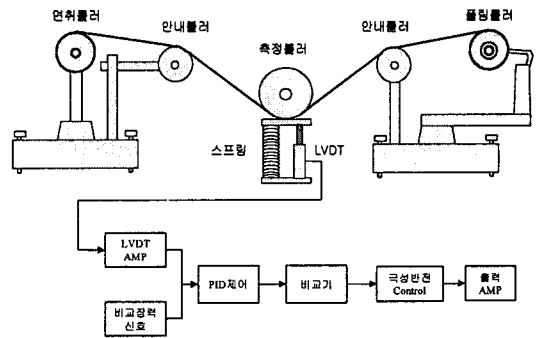


그림. 2 LVDT를 이용한 장력측정장치의 개략도

그림. 2는 장력측정 롤러에 LVDT를 비례상수 K인 스프링으로 연결 장착하여 소재의 한쪽 끝을 면취롤러에 연결하고, 또 다른 한쪽 끝을 풀림롤러에 고정시킨다. 이때 구동롤러의 속도를 제어하여 소재가 받는 장력을 자체 제작한 LVDT Amplifier에 의해 전기적 신호로 얻는다. 소재의 장력변화는 LVDT를 통해 전기적 신호로 나타내어지고 LVDT AMP에서 출력된 신호와 요구하는 장력 신호를 PID제어기에 입력하여 PID제어를 한다.

특히 면취롤러에서는 시간이 지나감에 따라 소재가 연속적으로 감기므로 롤반경과 관성모멘트가 시간에 따라 커진다. 이때 소재의 두께가 롤의 반경에 비해 아주 얇고 일정하기 때문에 롤의 중심에서 원통형으로 커지는 소재의 합으로 생각할 수 있다. 시간 t_0 에서의 초기 롤의 반경이 R_{w0} 이고 시각 t 에서의 면취롤러에서의 반경을 R_w 이라고 할 때 면취롤러의 질량증가량은 식 (1)과 같다.

$$\Delta M = \rho w \pi (R_w^2 - R_{w0}^2) \quad (1)$$

PID제어기는 구조가 간단하고 제어성능이 우수하고 제어이득 조정이 비교적 쉽기 때문에 산업현장에서 많이 사용되고 있다. PID 제어는 비례제어, 적분제어, 미분제어를 단독으로 쓰거나 혹은 두 가지 이상을 결합한 형태로 사용하고 있다.

3. 장 관성모멘트측정장치의 설계 및

면취롤러에서의 PID제어를 위해 우선 기초연구로 면취롤러의 상태에 대한 간단한 운동모델을 그림 3과 같이 나타내었다. (r : 면취롤러의 토크, k : 소재의 탄성계수, m : 롤의 질량, ρ : 롤의 밀도, r : 면취과정에서 롤의 반경, r_0 : 롤의 초기 반경, L : 롤의 길이, θ : 롤의 각속도, T : 장력)

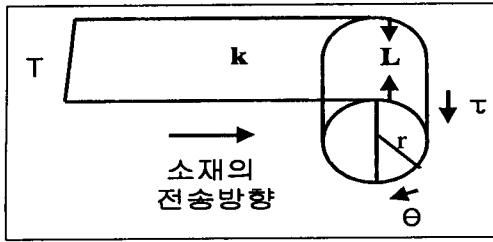


그림. 3 수학적 운동모델

그림. 3에 대한 운동방정식은 식 (2)와 같다^[4].

$$\begin{aligned} \tau(t) &= RT(t) = Ja(t) = J \frac{dw(t)}{dt} \\ &= J \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + B \frac{d\theta(t)}{dt} + KR\theta(t) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 소재의 장력은 롤러의 접선방향이기 때문에 토크 $\tau(t) = RT(t)$ 와 같다고 볼 수 있다.

초기조건이 0(零)인 경우에 대하여 식 (2)를 라플라스 변환하면 식 (3)과 같다.

$$RT(s) = Js^2\theta(s) + Bs\theta(s) + KR\theta(s) \quad (3)$$

따라서 전달함수는 식 (4)와 같은 형태를 취하게 된다.

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{T(s)} = \frac{R}{Js^2 + Bs + KR} \quad (4)$$

이때 J는 롤의 관성모멘트로 식 (5)와 같다

$$J = \int_m r^2 dm = \rho 2\pi L \int_0^R r^3 dr = \frac{\rho\pi}{2} R^4 L \quad (5)$$

B는 면취롤과 소재의 점성 마찰계수로 0.3의 값을 갖는다. K는 소재(6N:나일론)의 탄성계수로 196,000 kg/cm²의 값을 갖는다.

여기서 각 파라미터 값은 실험값에서 얻을 수 있다 특히 면취롤이 시간에 따라 반경이 계속 변화하므로 PID 제어과정에서 면취롤의 반경변화를 고려해야 한다. 따라서 가변PID는 면취롤의 반경 변화에 의해 제시될 수 있으며, 회전하는 면취롤의 반경을 측정하기 위하여 자체 고안한 측정방법으로 실시간 제어가 가능하도록 하였다. 실시간 반경측정 장치의 원리를 그림 4에 나타내었다.

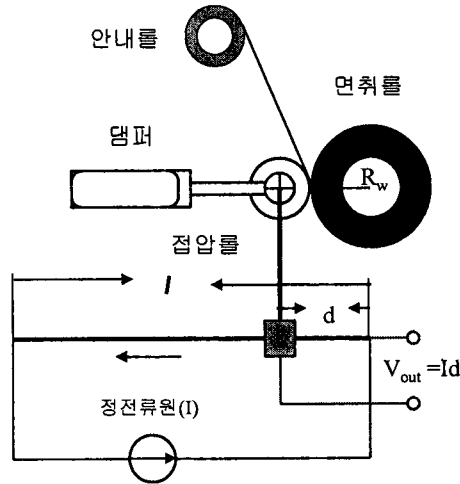


그림. 4 면취롤의 반경변화 측정원리

그림. 4와 같이 면취롤에 소재가 감기는 정도에 따라 접압롤에 따른 댐퍼가 밀려가면서 탄탈전선의 저항값이 달라지게 된다. 이때 전압분배에 따라 V_{out} 값을 읽으면 아주 간단하게 현재상태의 면취롤의 크기를 알 수 있다(V_{out} : (R_w=d) = V₀ : R₀ 에서 초기 면취롤지름은 $\phi 7.42\text{cm}$ 임). 또한 V₁ 에서 초기 면취롤의 반경에서의 전압(V₀)차를 이용하면 면취롤의 반경변화를 알 수 있다.

면취롤의 변화에 따른 PID제어시스템의 블록선도를 그림 5에 나타내었다.

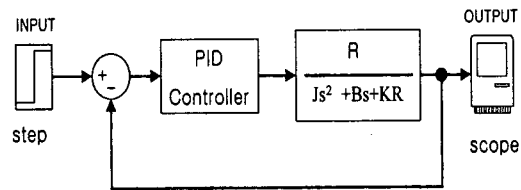


그림. 5 PID제어시스템의 블록선도

사용할 PID 제어기의 구조는 식 (6), (7)과 같이 나타낼 수 있다^[5].

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (6)$$

$$e(t) = \tau_{ref} - \tau(t) \quad (7)$$

모델이 주어진 경우에 PID제어기를 동조하는 방법

에는 여러 가지가 있는 데, 여기서는 Ziegler & Nichols(ZN)의 동작방법으로 계수조정을 하였다.

Ziegler와 Nichols는 1942년에 제어대상 플랜트가 나타내는 과도응답의 형태로부터 PID제어기의 계수들을 정하는 방법을 제안하였다. 지글러-니콜스 계수조정법이라 불리는 이 방법의 장점은 실제의 제어대상 시스템에서 간단한 몇 가지의 사전실험을 하고, 이 실험결과로부터 PID계수를 간단한 공식에 의해 결정할 수 있다는 것이다.

이를 적용하기 위한 전제조건은 제어계통이 안정도 한계에 도달하여 동작될 수 있어야 함으로(자유진동 상태) 이 동작 상태가 계통의 운전 한계치를 초과하여 동작될 때에는 계통에서는 제한된 경우에만 적용 가능하다. 안정도 한계영역에서의 운전이 가능할 때 ZN 방법이 일반적으로 빠르고 쉽다. 이 계수조정법은 모두 많은 경험과 실험에 의해 얻어진 방법들로서 이 방법으로 PID제어기를 설계할 경우 대체로 무난한 성능을 보이기는 하지만 최적의 성능을 보장하는 방법은 아니기 때문에 설계 뒤에는 반드시 성능검증을 해야하며 필요에 따라 정밀한 계수조정작업을 추가로 수행해야 한다. 그러나 본 연구에서는 롤의 반경에 따른 PID계수의 상관관계를 고찰하는 것이 목적이므로 최적의 PID제어가 아니더라도 동일한 조건 내에서 계수를 측정하였다.

한다면 기존의 시스템보다 보다 빠른 응답특성을 가질 수 있고 변수에 대한 선행측정을 통하여 제어가 가능하게 될 것이다.

4. 장 결 론

면취롤의 반경크기에 따른 장력의 변화를 제어하기 위해 간단한 운동모델을 가지고 면취롤 반경에 따른 가변 PID 제어설계를 하였으며 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 면취롤시스템에서 면취롤의 반경변화를 실시간 측정가능한 방법을 제안하였다.
2. 롤의 반경에 따라 K_p 는 선형적으로 증가하였고 K_i 는 거의 일정한 값을 가짐을 알 수 있었다.
3. 기존의 면취롤 제어 시스템에 비해 제어 변수를 선행측정을 통하여 제어계수를 구할 수 있었다.

이상의 결과로 부터 방직기 시스템에 있어서 외란으로 인한 공정효율 감소와 불량률 증가를 실시간 가변 PID제어의 방법을 제시함으로써 섬유물의 품질향상과 공정 최적화에 기여 할 것이며, 산업기술포럼에서도 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1]. King, DL., "The Mathematical Models of a Newspaper Press," Newspaper Techniques, PP 3-7
- [2]. S.C. Saxena & S.B.L. Saksena, "A Self-Compensated Smart LVDT Transducer", IEEE. IM.Vol.38, No.3, 1989
- [3]. 한국표준과학연구원, "열악한 환경용 차동변환 센서 개발", KRIS-92-154-IR, 1992.
- [4]. Ferdinand P. Beer & E. Russell Johnston, Jr. "Vector- Dynamics" 1976.
- [5]. Benjamin C. Kuo "Automatic Control System -s" 1975.
- [6]. Shin, K-H. "Distributed Control of Tension in Multi-span Web Transport Systems," Ph.D. Dissertation, The Oklahoma State University,

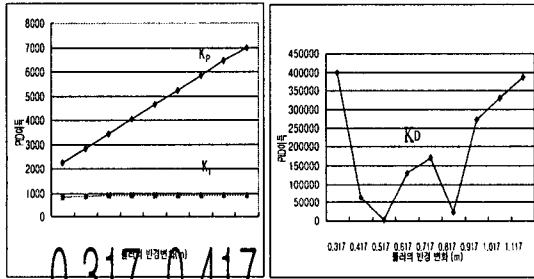


그림. 6 롤의 반경에 따른 PID계수 이득

그림. 6은 롤의 반경의 변화에 따른 PID제어이득의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 K_D 는 미분값으로 선형특성추정의 속도를 조정하는 것으로 롤의 반경 변화와의 관계에서 특정한 관계를 보이지 않았다. K_p 는 롤의 반경변화에 따라 선형적으로 변화되었고 K_i 는 롤의 반경의 변화와 거의 일정한 값을 가지는 것을 알 수 있었다.

따라서 본 실험을 통하여 면취롤의 반경에 따른 PID계수를 시스템의 ROM에 저장할 시켜 제어를