

Winder의 웹 장력제어를 위한 FMRLC 설계

*최오규¹⁾, 김진욱¹⁾, 나창흠¹⁾, 이진수¹⁾, 서응수²⁾

포항공과대학교 전자전기공학과, 주식회사 프로템

e-mail : skaruwls@gmail.com, {tw0822, changheum, jsou}@postech.ac.kr, esseo2@gmail.com

An FMRLC Design for Web Tension Control of Winder

*Ohkyu Choi¹⁾, Jinwook Kim¹⁾, Changheum Na¹⁾, Jin S. Lee¹⁾, Eungsoo Seo²⁾

¹⁾Department of Electronic and Electrical Engineering, POSTECH

²⁾Prottem Co., Ltd

Abstract

Web tension control is the core to guarantee the quality of web product. But the tension control is not easy, because its system is time-varying. In this paper, we design a Fuzzy Model Reference Learning Controller (FMRLC) for tension control of moving web. The FMRLC is a method of adaptive control using a reference model obtained by dynamics analysis. The performance of FMRLC is shown through simulation.

I. 서론

Winder는 종이, 필름, 직물처럼 두께가 얇은 웹(web) 재료를 감은 롤을 각각의 용도에 따라 풀고 가공 처리하여, 다시 감는 기계를 말한다. Winder 제어 시 작업 속도를 증가시키는 것은 보통 웹의 찢어짐, 접힘, 늘어남 등의 변형이 일어날 가능성도 증가시킨다. 따라서 웹의 변형을 방지하면서 작업속도를 향상시키는 고성능 제어 방법 연구가 필요하다. 대표적인 제어 주제는 웹 표면의 장력제어, 웹이 감겨진 롤(roll)측면의 균일화 제어 등이 있다. 특히, 웹이 감기는 동안 일정 장력을 유지하도록 하는 장력제어는 고속작업 시 웹의 질을 결정하는 가장 핵심적인 요소이다. 이 논문에서는 winder의 장력제어를 위해 system의 time-varying 특성을 제어하기 위한 FMRLC를 설계하고, 이를 일반 fuzzy 제어기와 비교하여 그 성능을 평가한다.

II. 제어 시스템 구조

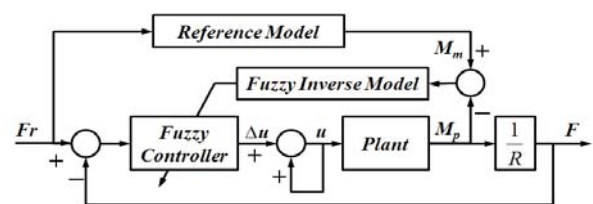


그림1. FMRLC 기반 제어 시스템.

FMRLC의 전체 제어 시스템 구조는 그림1과 같다[1]. 기본적인 fuzzy 제어기에 reference model과 fuzzy inverse model을 설계하여 fuzzy 제어기의 output membership function(MF)의 대표 값들을 갱신하는 적응제어이다. F_r 은 목표장력, F 는 측정장력, M_p 는 plant 출력토크, M_m 은 reference model 토크, R 은 롤 반지름을 의미한다. 웹 장력제어의 dynamics는 사용한 actuator, 제어방향 등에 따라 달라지는데 여기서는 [2]의 조건을 사용한다. Actuator로 magnetic powder brake를 사용할 경우 plant model은 다음과 같다.

$$\frac{K_v}{T_v s + 1}$$

여기서 K_v 는 배율 상수, T_v 는 관성시간상수이다.

2.1 Fuzzy Controller

우리는 singleton fuzzifier, product inference engine, center of average defuzzifier로 구성된 fuzzy 제어기를 사용한다. 장력 오차(e)와 오차변화량(\dot{e})을 input으로 하고, output은 plant input(u)의 변화량(Δu)이다.

input MF와 rule table은 각각 그림2와 표1과 같다. 각 input 값의 변화 범위를 [-1,1]로 normalize하여 input MF를 사용한다.

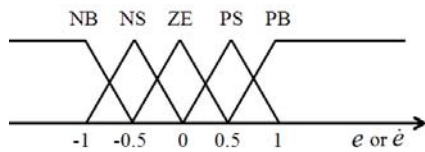


그림2. Input membership functions.

표1. Rule table.

		\dot{e}				
		NB	NS	ZE	PS	PB
e	NB	VNB	NB	ZE	NS	ZE
	NS	NB	NM	NS	ZE	PS
	ZE	NM	NS	ZE	PS	PM
	PS	NS	ZE	PS	PM	PB
	PB	ZE	PS	PM	PB	VPB

Rule table에 따른 대표 값 행렬은 다음과 같다.

$$\bar{y}(e, \dot{e}) = 0.01 \times \begin{bmatrix} -8 & -6 & -4 & -2 & 0 \\ -6 & -4 & -2 & 0 & 2 \\ -4 & -2 & 0 & 2 & 4 \\ -2 & 0 & 2 & 4 & 6 \\ 0 & 2 & 4 & 6 & 8 \end{bmatrix}$$

2.2 Reference Model

Reference model은 다음과 같다[2].

$$M_m = F_r R - C.$$

여기서, $C = (\frac{3}{4} b \rho R \delta - \frac{J_0 \delta}{2 \pi R^3}) \nu^2$, $J_0 = \frac{1}{2} \pi b (\rho_1 - \rho) r^4$ 이다. b 는 웹폭, δ 는 웹두께, ρ 는 웹밀도, ρ_1 은 롤중심의 밀도, ν 는 웹의 감는 속도, r 은 롤중심의 반지름을 의미한다. ν 는 작업 중 일정하다고 가정한다.

2.3 Fuzzy Inverse Model

Fuzzy 제어기와 동일하게 singleton fuzzifier, product inference engine, center of average defuzzifier를 사용한다. input은 토크 오차(e_m , 즉, $M_m - M_p$)와 오차변화량(\dot{e}_m)이고, output은 fuzzy 제어기의 output MF의 대표 값의 변화량($\Delta \bar{y}$)이다. input MF는 그림2와 같다.

$$\bar{y}^{k+1} = \bar{y}^k + \Delta \bar{y}.$$

여기서 k 는 시간인덱스이다.

III. 실험 및 결과

설계한 FMRLC의 성능을 알아보기 위해 일반 fuzzy 제어기와 비교하여 실험하였다. F_r 을 25N/s로 0N부터 100N까지 증가하는 ramp구간, 그 이후에 100N을 유

지하는 constant구간으로 구분하여 실험한다. 그림3은 ramp구간에서 constant구간으로 transition 시 FMRLC가 일반 fuzzy 제어기에 비해 더 빨리 안정화되고 장력오차 또한 적게 발생함을 보여준다. 그림 4는 time-varying 특성에 의해 fuzzy 제어기가 작업도중 발산하는 현상을 보여준다. 반면, FMRLC는 정상적으로 장력 제어를 수행하고 있다.

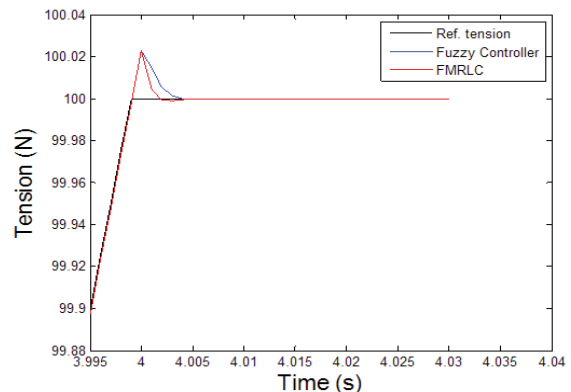


그림3. Ramp 에서 constant 구간으로의 transition.

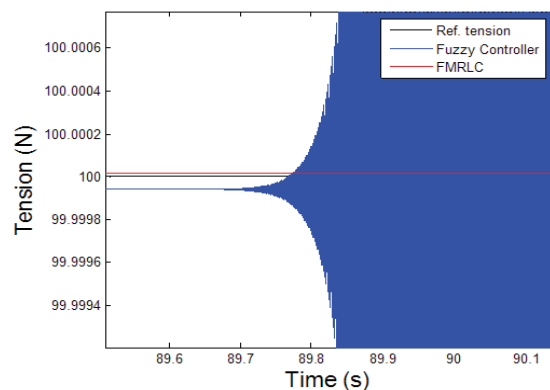


그림4. Steady-state 특성 비교.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 기본적인 웹 장력제어 시스템의 특성을 알아보고 이를 제어하기 위한 FMRLC 설계를 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 일반적인 fuzzy 제어기와 비교했을 때 성능이 향상됨을 알 수 있었다. 향후에는 주기적인 오차발생시 대응연구, 롤의 초기 반지름이 변화될 경우에 대한 연구 등이 요구되리라 본다.

참고문헌

- [1] Kevin M.Passino, Stephen Yurkovich, "Fuzzy Control," Addison-Wesley pp. 334-346, 1998.
- [2] Wang B, Zuo J, Wang M, Hao H. "Model Reference Adaptive Tension Control of Web Packaging Material," ICICTA 2008.