

퍼지제어기를 이용한 제직공정에서의 경사장력제어

A Fuzzy Controller for Warp Tension Control in The Weaving Process

류도훈, 이연정

경북대학교 대학원 전자공학과, 경북대학교 전자전기공학부

Tel : 053) 940-8662, E-mail : gaia_earth@hanmail.net, yjlee@palgong.knu.ac.kr

Do-Hoon Ryu, Yun-Jung Lee

Department of Electronics Graduate School, Kyungpook National University, Daegu, Korea

Tel : +82-53-940-8662, E-mail : gaia_earth@hanmail.net, yjlee@palgong.knu.ac.kr

Abstract : In the weaving process, tension control of the warp is important. The variation of the warp tension cause irregularities of the weft density and low quality of the woven fabrics. Due to the fact that the warp tension varies in depending on the difference between take-up velocity and let-off velocity, it is necessary to regulate the velocity of let-off in relation to that of take-up for keeping the warp tension. Futhermore, the diameter of warp beam changes in the weaving process. The changing diameter of warp beam cause changing inertia of warp beam and the velocity of the let-off. It makes the control of such a system more complex. In this paper, we propose a fuzzy controller for the warp tension control. From the computer simulation, it was observed that a developed fuzzy controller has a better performance than that of conventional PI controller.

1. 서론

혁신 직기의 개발이후 직기 제조산업의 발전으로 인한 직기 제직속도 향상으로 이전 저속직기에서는 문제가 되지 않았던 것들이 나타나게 되었다. 이러한 문제점들 중 하나로 제직속도 증가에 따른 경사장력의 제어 문제로 인해 직기의 생산성과 제직물의 품질에 영향을 미치게 되었다. 경사장력 제어 문제의 해결 없이는 고속직기에서 생산되어지는 제직물의 품질 저하로 인해 저급 직물의 대량 생산이라는 결과로 이어지게 된다. 직기의 송출운동(Let-off motion)과 권취운동(Take-up motion)의 부조화는 위사밀도의 불균

일성을 유발시켜 위사 방향으로 띠 모양의 결함을 가지게 한다. 최근 고속직기에서 제직된 직물 결함의 대부분을 차지할 정도로 경사 장력 제어는 제직물의 품질에 중대한 영향을 미치는 요인이 되고 있다. 경사장력을 제어하기 위한 전통적인 방법으로는 직기의 주 모터에서 전달받은 동력으로 구동되는 기계적 제어요소인 기어, 무단 변속기 그리고 제로맥스(Zeromax) 식 변속 기구 등을 사용하여 경사장력을 제어하여왔다[12]. 기존의 전통적인 제어 방법으로는 직기의 제직속도의 고속화로 인한 문제점을 해결할 수는 없었으며, 다품종 소량 생산체제에서 제직공정의 최적화를 이루기가 어렵다. 최근 들어 이러한 문제점들을 해결하

기 위해서 경사장력을 측정하는 센서와 DC 모터 등을 사용하는 새로운 경사장력 제어 시스템들이 연구되고 개발되어져 왔으며, 일반적으로 이런 경사장력 제어 시스템의 제어 알고리즘으로 산업 현장에서 쉽게 구현이 되는 PI 제어기를 사용하였다[6-9]. 그러나, PI 제어기를 설계하기 위해서는 제어대상의 수학적 모델링이 선행되어야 하고, 수학적 모델을 얻었다 하더라도 다양한 제품의 생산으로 인한 경사 물성의 변화, 직기 구성의 변화, 제직중 경사빔의 반지름 변화 그리고 제직중 직기의 여러 운동으로 인한 유효 경사장력 측정의 어려움 등 파라미터 변화와 외란은 제어기 설계를 더욱 어렵게한다.

퍼지 집합 이론을 제안한 Zadeh에 의해 퍼지를 자동제어에 응용할 수 있다는 의견이 발표된 후, 1974년 Mamdani에 의한 스텝엔진 제어를 시작으로 열교환기, 시멘트 공장의 용융로 제어 등 많은 분야에서 퍼지제어의 응용이 이루어지고 있으며, 퍼지제어기는 파라미터의 변화와 외란 등에 대해 기존의 제어방법보다 강인한 제어성능을 보여준다[13].

본 논문에서는 파라미터의 변화와 외란 등이 비교적 많은 제직공정에 퍼지 제어기를 도입하여 경사장력 제어 시스템을 구현하였으며, 그 결과를 컴퓨터 모의실험을 통하여 확인하였다.

2. 경사장력시스템의 모델링

그림 1은 제직공정에서 경사장력제어 시스템의 구성도를 보여준다. 직물을 제직하는 직기는 개구운동(Shedding Motion), 위입운동(Picking Motion), 바디침운동(Beating Motion)으로 경사와 위사를 동일한 평면에 교차시켜 직물을 짜며, 제직된 직물은 권취운동(Take-up Motion)을 통하여 클로드 롤러(Cloth Roller)에 감기게된다. 또한 권취된 경사의 길이 만큼 경사빔을 회전시켜 경사를 송출한다[12].

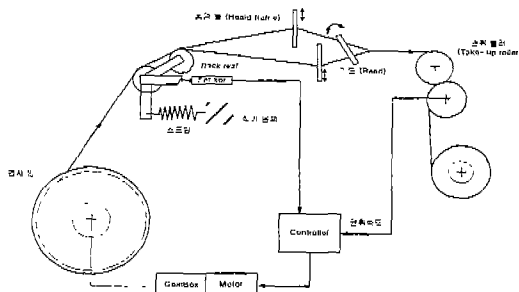


그림 1. 경사장력제어 시스템의 구성도

A_0 는 경사 횡단면적(mm^2), E 는 경사의 탄성계수(Kgf/mm^2), L 은 제직구간의 길이(mm), V_1 은 송출 속도(mm/s) 그리고 V_2 는 권취속도(mm/s)라 할 때,

경사장력의 동특성은 질량보존의 법칙을 이용하여

$$T(t) = \frac{A_0 E}{L} \int \{v_2(t) - v_1(t)\} dt \quad (1)$$

과 같이 나타낼 수 있다[1,2,8]. 송출속도는 서보모터의 회전이 감속기를 통한 후 경사빔의 회전을 통하여 나타나므로 $r_B(t)$ 를 경사빔의 반지름, N 을 감속비라고 한다면

$$v_1(t) = r_B(t) \frac{\omega(t)}{N} \quad (2)$$

의 관계가 있다. 경사빔의 반지름을 시간의 함수로 나타낸 것은 제직이 진행됨에 따라 경사빔의 반지름이 점차 감소되기 때문이다. 경사빔을 회전시키기 위한 서보모터의 모델은 그림 2로 나타낼 수 있으며, 감속비가 대단히 큰 감속기가 서보모터에 부착되어 있으므로 토크외란, 경사빔에 의한 관성모멘트의 영향은 무시할 수 있으며, 감속기 자체의 마찰계수, 관성모멘트, 모터의 축 마찰계수 그리고 전기자 인덕턴스는 무시할 수 정도로 작은 값이므로 전달함수는

$$\frac{\Omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K_T}{J_m R_a s + K_e K_T} \quad (3)$$

와 같이 근사화시켜 표현할 수 있다.

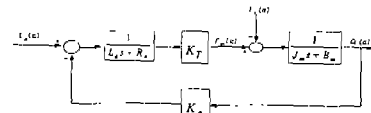


그림 2. 서보모터 블록다이어그램

제직공정은 개구운동, 위입운동, 바디침운동 등이 주기적으로 나타나게 되는데, 이들 운동으로 인해 경사장력은 그림 3과 같이 변화하게된다. 이러한 신호중에서 유효한 경사장력신호만을 통과시키기 위해서 저역통과필터를 사용하였다.

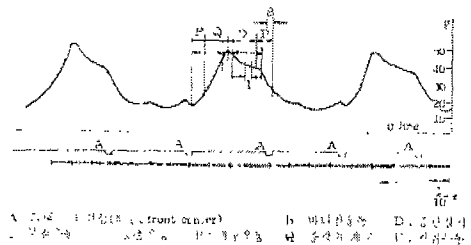


그림 3. 제직공정중 경사장력 변화

경사장력제어 시스템의 전체 블록다이어그램은 그림 4와 같으며 이것을 전달함수의 형태로 표현하면

$$\frac{T(s)}{R(s)} = \frac{-K_1 K_2 (\tau_f s + 1)}{K_3 s^3 + K_4 s^2 + K_5 s - K_1 K_2} \quad (4)$$

$$K_2 = -K_T \frac{R_B}{N} \frac{A_0 E}{L},$$

$$K_3 = R_a J_m \tau_f,$$

$$K_4 = (R_a J_m + K_e K_T \tau_f),$$

$$K_5 = K_e K_T$$

로 표현되어지며 모델링에 사용된 파라미터는 표 1과 같다. 식 (4)를 살펴보면 시스템의 동특성은 경사의 종류, 직기의 구성 그리고 경사빔의 반지름에 의하여 변화됨을 알 수 있다.

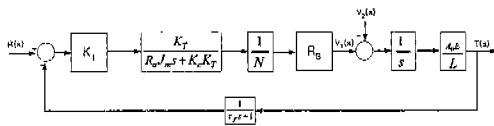


그림 4. 경사장력제어시스템 블록다이어그램

표 1. 모델링에 사용한 파라미터

정격토크	-	16.2	Kgf · cm
정격회전속도	-	3000	RPM
전기적 시정수	-	2.9	ms
기계적 시정수	-	3.4	ms
토크 정수	K_T	3.4	Kgf · cm/A
유기전압 정수	K_e	34.9	V/kRPM
진기자 저항	R_a	1.4	Ω
전기자 인덕턴스	L_a	4.0	mH
회전자 관성	J_m	2.775	gf · cm · s ²
감속비	N	2665	-
제적구간 길이	L	2300	mm
경사 출단면적	A_0	14.14	mm ²
경사 탄성계수	E	2000	Kg/mm ²
저역통과필터 시정수	τ_f	0.15	ms

III. 퍼지제어기의 설계

그림 5는 퍼지제어기를 이용하여 경사장력제어 시스템을 구성한 블록다이어그램이다. 내부에 모터속도 제한 루프를 가지고 있으며, 저역통과필터를 통과한 유효 경사장력성분만을 측정하여 설정장력과 측정장력과의 오차와 오차변화분(Change of error)을 퍼지 제어기의 입력변수로 한다.

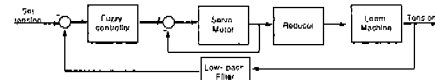


그림 5. 퍼지 경사장력제어 시스템

퍼지제어기는 기존의 PI제어기와 유사한 제어특성을 보이는 제어출력이 ΔU 의 형태를 가지는 속도형으로 구성하였으며, 입력변수의 소속도함수는 그림6, 출력변수의 소속도함수는 그림 7과 같이 구성하였다.

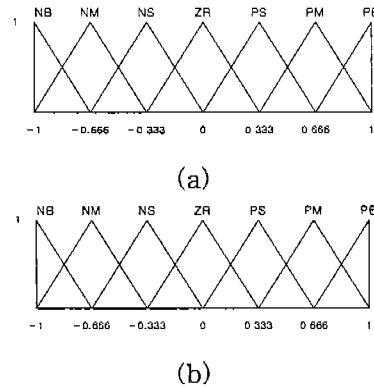


그림 6. (a)장력오차에 관한 소속도함수 (b)장력오차 변화에 관한 소속도함수

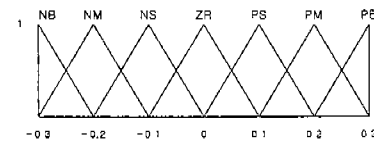


그림 7. 후건부 변수의 소속도함수

퍼지제어기의 설계 중 가장 중요하고 어려운 것 중 하나는 퍼지규칙기반(Fuzzy Rule Base)의 구축이다. 퍼지규칙은 일반적으로 가상 응답 곡선 상에서 특성 구간과 특성점을 그림 8과 같이 구성한다. 본 논문의 제어대상 시스템은 저역통과필터를 사용하여 시간 지연 특성을 가지고 있다. 이러한 시간 지연의 영향을 보상하기 위하여 설계된 퍼지규칙에 시간 지연정보를 포함 시켜 그림 9와 같은 퍼지규칙을 설계하였다[5].

E	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
ΔE	PB	ZR	PS	PS	PM	PM	PB
	PM	NS	ZR	PS	PS	PM	PB
	PS	NM	NS	ZR	PS	PS	PB
	ZR	NB	NM	NS	ZR	PS	PM
	NS	NB	NB	NS	NS	ZR	PS
	NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZR
	NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS

그림 8. 퍼지제어규칙

E	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
Δ E							
PB	PS	PS	PM	PM	PB	PB	PB
PM	ZR	PS	PS	PM	PB	PB	PB
PS	NS	ZR	PS	PS	PB	PB	PB
ZR	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
NS	NB	NB	NB	NS	NS	ZR	PS
NM	NB	NB	NB	NM	NS	NS	ZR
NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZR

그림 9. 설계된 퍼지규칙

4. 모의실험 및 결과

설계된 퍼지제어기의 제어성능을 검증하기 위하여 MATLAB SIMULINK을 사용하여 그림 10과 같이 구성하였고, 모의실험에 사용한 파라미터로서 서보모터는 대우중공업의 C05CA-1, 직기는 신광기계 주식회사의 SRC-602 래피어직기 그리고 경사는 폴리에스테르[11]를 사용한다고 가정하였다. 제작중 직기의 여러 운동에 의한 경사의 변화를 실험하기 위하여 사인파와 백색노이즈를 합성한 그림 11과 같은 잡음신호를 생성하여 사용하였으며, 권취속도는 7mm/s로 실험하였다. 경사빔의 반지름 변화는 그 변화 속도가 대단히 느리므로, 특정시간에서는 반지름이 일정하다고 가정하여 최대400mm 일 때와 최소 80mm이라 하고 모의실험하였다.

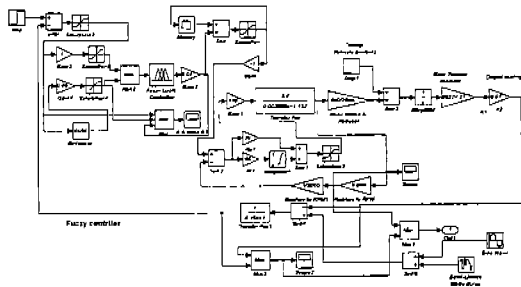


그림 10. 모의실험에 사용한 MATLAB SIMULINK 회로

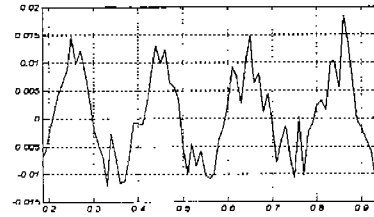


그림 11. 모의실험에 사용한 잡음 신호

설계사양은 $PMO < 10\%$, $T_s < 1sec$, $e_{ss} < 2\%$ 이다. 그림 12와 그림 13은 그림 8의 퍼지규칙을 사용하여 실험 결과로서 PID제어기와 퍼지 제어기 모두 제시한 설계사양을 만족하지 못하고 있으나, 퍼지 제어기가 잡음신호에 의한 영향이 PID 제어기보다 작은 것을 알 수 있다. 퍼지 제어기의 제어기 성능을 개선하기 위하여 그림 9의 퍼지규칙을 이용하여 다시 모의실험하였으며, 그림 14와 그림 15는 결과이다. 퍼지 제어기가 PID 제어기보다 잡음의 영향을 적게 받으면서 제어 성능이 개선되었음을 알 수 있다.

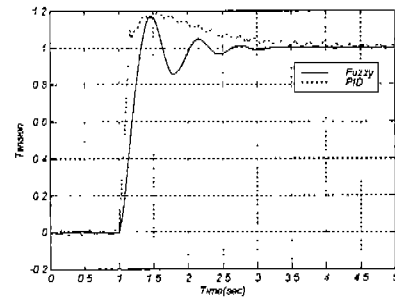


그림 12. $V_2=7mm/s$, $R_B=400mm$ 일 때의 퍼지제어기와 PID제어기의 비교

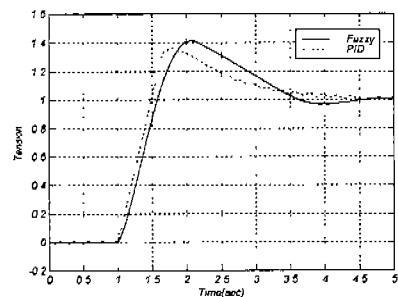


그림 13. $V_2=7mm/s$, $R_B=80mm$ 일 때의 퍼지제어기와 PID제어기의 비교

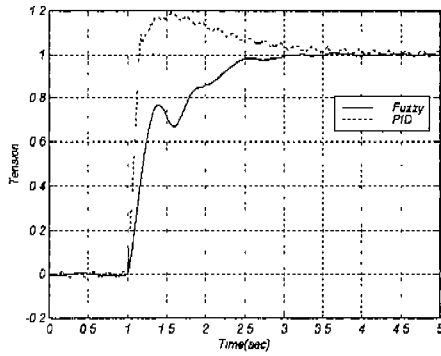


그림 14. $V_2=7\text{mm/s}$, $R_B=400\text{mm}$ 일 때 PID 제어기와 설계된 퍼지규칙을 가지는 퍼지제어기의 비교

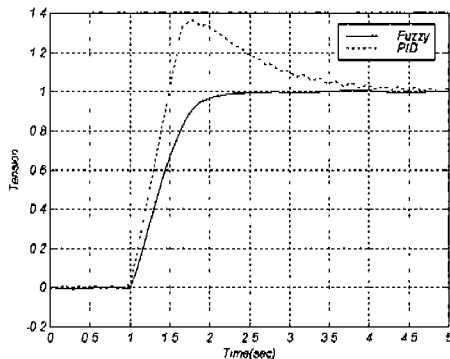


그림 15. $V_2=7\text{mm/s}$, $R_B=80\text{mm}$ 일 때 PID 제어기와 설계된 퍼지규칙을 가지는 퍼지제어기의 비교

V. 결론

제직공정중 경사장력을 일정하게 유지하는 것은 고품질의 제직물을 얻기 위한 매우 중요한 문제점중 하나이다. 이러한 경사장력제어의 문제는 고속직기가 개발되어짐으로 인해 더욱더 어려운 문제로 나타나게 되었다. 제직중 직기의 주요 운동으로 인한 경사장력 변화, 제직중 경사빔 반지름의 변화, 외란 및 제어대상 시스템의 파라미터의 변화는 일반적으로 많이 사용하는 PI 제어기의 설계를 어렵게 한다. 이에 본 논문에서는 수학적 모델이 없이도 제어기의 설계가 가능하며, 파라미터의 변화나 외란등에도 강한 제어 성능이라는 장점을 가지는 퍼지제어기를 제안하고, 컴퓨터 모의실험을 통하여 제안된 퍼지제어기의 제어성능을 검증하였다.

추후 과제로는 설계된 퍼지 제어기를 실제 시스템으로 제작하여 실제 제직환경에서도 제어 성능을 검증하여야 할 것이다. 그리고, 제안된 퍼지제어기만으로는 제직중 경사빔의 반지름 변화를 완전히 보상하지 못하였으므로 적응제어(Adaptive control)와 같은 제어기법을 도입하여 경사장력 제어기를 설계하여야

할 것이다[7].

VI. 참고 문헌

- [1] Tetsuzo Sakamoto and Yoshikazu Fujino, "Modeling and Analysis of a Web Tension control system," Ind. Elec., Proc. of IEEE Int. Symposium Vol. 1, 1995, pp. 358-362
- [2] N.A. Ebler and R.Arnason, "Tension Control : Dancer Rolls or Load cell," Pulp and Paper Ind. Tech.I Conf. 1992, pp. 61-72
- [3] B.D.Van Blerk and G.Diana, "Development of a Generic Tension Control System," IEEE AFRICON 4th Vol. 2, 1996, pp. 864-868
- [4] W.Wolfermann, "Tension Control of Webs - A review of the Problems and Solutions in the Present and Future," Proc. of the Third Int. Conf. on Web Handling, 1995
- [5] Han-Xing Li and H. B. Gatland, "A New Methodology for Designing a Fuzzy Logic Controller," IEEE Trans. on Syst., Man, and Cybern., Vol. 25, No. 3, March 1995, pp. 505-512
- [6] 김상우, 장승우, 허유, 박정일, 이재원, 이석규, "제 직기의 송출 및 권취장력 제어시스템의 개발", 한국섬유공학회지, 제35권 제7호, pp. 395-401, 1998
- [7] 허유, 문승룡, 장승호, 이석규, "송출 및 권취 장력 시스템 개발에 관한 연구(I) -주파수 응답법에 의한 동특성 해석-", 한국섬유공학회지, 제34권 제3호, pp. 185-192, 1997
- [8] 허유, 장승호, 이석규, "송출 및 권취 장력제어 시스템 개발에 관한 연구(II) -장력기동의 수학적 모델링-", 한국섬유공학회지, 제35권 제9호 1998년, pp. 569-576
- [9] 문승룡, 허유, 장승호, 이석규, 이재원, 박정일, "분리구동형 Let-off system에 의한 경사장력 제어에 관한 연구", 한국섬유학회 춘계학술 발표회 논문집, 1996, pp. 103-106
- [10] 안영무, "섬유학", 參版, 學文社, 1997
- [11] 金景煥, "最新 纖維材料學", 文運堂, 1998
- [12] 李在浩, "力織機構學", 螢雪出版社, 1998
- [13] 변중남, "퍼지논리 제어", 홍릉과학출판사, 1997