

장력제어 성능개선을 위한 가변 입력이득 퍼지제어 알고리즘 적용에 관한 연구

A Research about Implementation of Fuzzy Control Algorithm with Variable Input Gain for Improving Performance of Tension Control

실재훈, 박종오, 장종승, 임영도

(Jae Hoon Sul, Jong Oh Park, Jong Seung Jang, and Young Do Lim)

Abstract : In this paper, the fuzzy control with variable input gain is applied to maintain the consistent tension in the process of taking up and releasing texture. In the process of discharging web on one side and rolling it on another, the take-up drum gets smaller on the release drum side as it gets bigger on the rolling side, thus it is necessary to change the balance of velocity between the sides. In order to solve the problem a tension controller is necessary. The PI control method has been employed to maintain the consistent tension, but the PI control method produces a problem which requires an experienced worker with the traits of the machine, in order to perform the fine adjustments according to the environment of the process. For solving the above problem, we apply fuzzy control to the tension system, in order to produce a uniform roll. For the performance test, the fuzzy controller does not need to revise the parameters. Therefore the fuzzy controller exhibits an excellent additivity for the tension system where the system is changed with time.

Keywords : PI control, fuzzy control with variable input gain, tension control

I. 서론

최근의 산업구조는 자동화 시스템의 발달과 인공지능 알고리즘의 적용으로 급격한 변화를 가져오고 있다. 더욱이 시스템의 정밀제어와 고성능화가 요구됨에 따라서 국부 제어보다는 시스템에 대한 전반적인 제어가 효율적이다. 본 논문에서는 이러한 전반적인 제어가 요구되는 시스템 중에서 장력시스템에 대한 지능제어에 관한 연구를 하고자 한다.

장력시스템이란 필름, 종이, 비닐, 천, 철사 등의 재료를 한쪽 롤러로부터 배출하여 다른 롤러로 감아서 생산하는 시스템을 일컫는다. 장력시스템의 동작 중에 발생하는 문제점으로 각 롤러에 고정된 재료의 직경의 변화가 생긴다. 즉 감는 쪽의 롤러는 직경이 점점 더 커지고 배출하는 쪽의 롤러는 직경이 점점 더 작아지게 된다. 이로 인하여 발생하는 속도의 변화는 일정하지 못한 장력을 발생시킨다. 그 결과는 제품의 변형 및 감겨진 상태의 질을 낮게 한다든지 또는 제품을 끊어지게 하는 문제점을 발생시킨다. 그러므로 일정한 장력을 유지하면서 우수한 품질의 제품을 생산하기 위하여 재료의 특성에 따른 일정한 범위내의 장력을 유지시키도록 하는 장력제어가 필요하게 된다[1].

현재 산업현장에서 사용되는 장력제어기는 일반적으로 아날로그 PI 제어방식을 사용한 제어기로 일정한 장력을 유지하도록 하였다. 그러나 이 제어방식은 다음과 같은 문제점들을 나타내었다. 먼저 안정적인 제어를 위하여 한번

설정된 제어파라미터에 대해서 설정환경이 다른 경우 시스템이 동작되는 동안 적합한 제어동작속도를 얻을 수 없어서 장력이 불안정하게 된다. 특히 재료의 성질에 따른 제어기 파라미터 조정은 시스템 또는 기계의 특성을 잘 아는 경험이 많은 작업자에 의해 수행되어야 하며 동작에 필요한 파라미터 설정에 장시간이 소요된다. 그러므로 이러한 제어 파라미터 설정에 대한 문제점을 보완하고 보다 안정된 장력제어 결과를 얻기 위하여 지식기반을 바탕으로 설계가 비교적 간단한 단순 구조의 입력이득 조정 기능을 가진 퍼지제어 알고리즘을 이용한 장력제어기를 설계한다.

퍼지제어 알고리즘은 설계자의 지식이나 경험을 바탕으로 한 지식기반 규칙을 생성하고 이에 대한 몇 가지 퍼지함수를 이용하여 애매모호한 상황에서 제어가 마치 인간과 같은 제어능력을 하는 지능형 제어 알고리즘이다[2][3][4]. 그러므로 본 논문에서 퍼지제어 알고리즘을 이용한 장력제어기로 기대되는 결과는 다음과 같다. PI 제어기와 같이 플랜트에 대한 제어 파라미터 설정에 따른 시간 소모가 적다. 그리고 환경변화에 대하여 제어 파라미터를 재 설정하지 않고서도 적절한 제어 대처 능력을 가진다. 그리고 퍼지 입력의 오차이득을 조정되게 함으로써 다양한 설정치에 대한 안정적인 제어가 될 것이다[5][6][7].

본 논문에서는 기존에 사용되는 디지털 방식의 PI제어와 퍼지제어 알고리즘에 입력이득이 조정되는 방식의 장력제어기에 대하여 성능을 비교분석한다.

성능평가를 위해 본 논문에서는 장력제어기를 마이크로 컨트롤러 80C196KD20을 이용하여 프로그램을 구현하여 시스템을 제어하는 방식을 채택한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 장력제어시스템에 대한 시스템 구조

접수일자 : 2000. 12. 4., 수정완료 : 2001. 4. 23.

실재훈, 박종오, 장종승, 임영도 : 동아대학교 전자공학과

(g9676122@mail.donga.ac.kr/g9672291@mail.donga.ac.kr/miryangco

@thrunet.com/ydlim@mail.donga.ac.kr

에 관하여 설명한다. 3장에서는 장력제어 시스템에 사용되는 PI제어와 4장에서는 이득이 조정되는 퍼지제어의 시스템 적용에 관해 설명한다. 그리고 5장에서는 실험 및 고찰로 제작된 장력시스템의 사양 및 장력시스템에 적용되는 각 제어 알고리즘에 대한 실험을 통해 각 장력제어기에 대한 성능을 평가하고 분석한다. 끝으로 6장 결론에서는 앞으로 더 연구되어야 할 부분에 관해 논한다.

II. 장력제어 시스템

1. 장력제어 시스템의 동작원리

장력시스템은 재료의 감기와 풀기의 관계에서 생기는 속도변화에 따른 장력의 변화를 이용하는 시스템을 일컫는다. 즉 재료를 감는 쪽의 롤과 푸는 쪽의 롤의 직경 변화에 따른 속도의 변화는 곧 양쪽 롤의 불균형한 속도를 나타내며 이로서 생기는 장력은 변하게 된다. 이러한 장력의 변화는 감기는 쪽의 풀질을 낮추는 요인이 되므로 이러한 장력의 변화를 일정하게 만들어 줄 필요성이 있다. 그림 1은 장력 시스템을 구성하는 힘의 성분을 나타낸다.

본 논문에서의 장력제어 시스템은 병진(translation)운동과 회전(rotational)운동이 동시에 일어나므로 그림 2와 같이 모델링 할 수 있다.

그림 2에서 병진운동에 대하여 고찰하면, 질량 m 인 물체(sheet)를 속도 v 의 수평방향으로 이동시키는 힘은 F_M 이다[8].

그리고 이 힘은 원동축 감는 원통(Take-up drum)의 회전토크의 접선 성분의 힘이다. 반면, F_B 는 브레이크의 마찰력(F)에 의한 푸는 원통(Release drum)의 마찰 토크의 접선성분의 힘으로써, F_M 과 반대방향이다. 뉴턴 법칙을 적용하여 물체가 받는 장력을 다음과 같이 구할 수 있다.

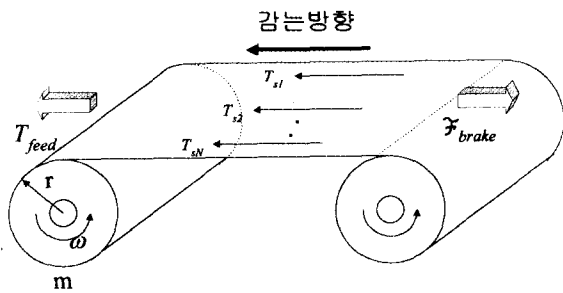


그림 1. 장력시스템의 다양한 힘.
Fig. 1. Various forces of tension system.

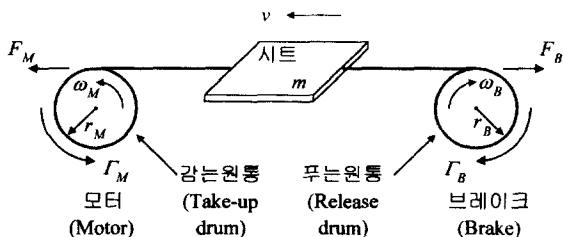


그림 2. 장력시스템의 병진운동과 회전운동.
Fig. 2. Linking translation and rotational motion.

$$T_S = F_M - F_B = \frac{d}{dt}(m \cdot v) = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt} \quad (1)$$

(1)에서 장력 T_S 는 다음과 같이 가정한다.

가정) 장력 T_S 는 평면상의 각 장력 성분의 평균치로 나타낸다.

그림 1에서처럼 장력의 성분은 장력이 측정되는 중앙부분의 평면상에서 각기 크기가 다른 장력의 성분들로 구성된다. 그러므로 본 논문에서는 이들의 장력을 하나의 장력 성분으로 식을 정리한다. 그리고 실제 적용되는 실험의 경우에서도 일반적으로 장력의 성분 중에서 양 끝점의 성분을 센서로 입력받아서 평균을 취하고 있다. 식(1)에서 T_S 의 성분은 다음 식으로 표현한다.

$$T_S = \frac{\sum_{n=1}^N T_{Sn}}{N}$$

(1)에서 물체의 질량이 일정하므로 $m = m_0 =$ 일정이다. 그러므로 (1)을 정리하면 (2)와 같이 표현된다.

$$T_S = m_0 \frac{dv}{dt} = m_0 \frac{d^2s}{dt^2} = m_0 a \quad (2)$$

따라서, 물체가 받는 장력 T_S 는 수평방향의 가속도 a 에 비례함을 알 수 있다.

$$T_S \propto a \quad (3)$$

다음으로 회전운동에 대하여 고찰하면, 원동축의 감는 원통은 모터에 의한 각속도 ω 의 회전 토크를 발생시키고, 피동축의 푸는 원통은 브레이크 작용에 의한 반대방향의 회전 토크를 일으킨다. 여기서 그림 3의 물체의 원운동을 살펴보면, 각속도 $\omega = d\theta / dt$ 이고, 물체의 이동거리 $l = r \cdot \theta$ 이다.

접선방향의 선속도는 이동거리를 미분한 것이므로

$$v = \frac{dl}{dt} = \frac{d}{dt}(r \cdot \theta) = r \cdot \frac{d\theta}{dt} + \theta \cdot \frac{dr}{dt} \quad (4)$$

이 된다. (4)에서 반경 r 이 일정하다면 (5)로 간소화된다.

$$v = r \frac{d\theta}{dt} = r \cdot \omega \quad (5)$$

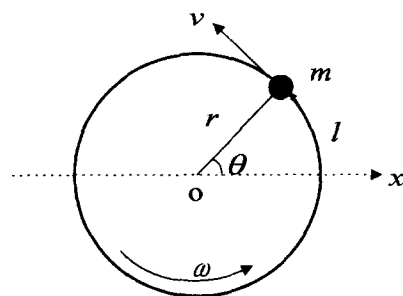


그림 3. 회전 모멘트.
Fig. 3. Rotational moment.

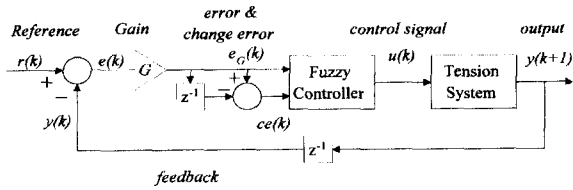


그림 8. 입력이득이 조정되는 퍼지제어를 이용한 장력시스템의 블록도.

Fig. 8. Block diagram of the tension system with PI controller.

출력 이득 조정과 같이 이득을 조정함으로써 보다 안정적인 제어가 되는 것을 볼 수가 있다. 그러므로 본 논문에서 사용된 퍼지제어기 또한 이러한 입력요소에 대한 이득 조정 부분을 사용하여 설정치에 대하여 그리고 환경변화에 대하여서도 안정적인 출력결과가 되도록 설계한다. 그리고 이러한 이득조정의 효과는 폭넓은 설정치에서 과도응답시간 동안 안정하게 설정치에 추종되는 결과를 볼 수 있고 정상상태 구간에서도 안정한 특성을 나타내었다. 그리고 제어기 입력이득을 조정함으로써 제어기를 시스템에 대하여 둔감하게 또는 신속한 제어가 되도록 할 수도 있다. 다음 (19)는 설정치에 대한 오차의 변동성분으로 이득을 표현한 식이다.

$$GAIN_{error} = a \cdot \frac{Reference}{MAX Reference} \quad (19)$$

여기서, a 는 이득에 대한 응답계수이다.

이득이 오차에 곱해짐으로써 설정치에 대한 오차의 크기가 변동을 한다. 즉 오차는 같으나 설정치가 큰 경우와 작은 경우 두 제어에 대해서 제어신호는 달라져야 할 것이다. 큰 신호에 대해서는 보다 빠른 응답이 설정치가 낮은 경우에는 보다 더딘 응답이 필요하다. 따라서 오차에 대한 이득조정은 상당히 중요시 되는 부분이며 이는 장력시스템처럼 시스템 변화가 생기는 경우 적절한 제어를 할 것으로 보인다.

따라서, 본 퍼지제어시스템에서는 제어기 입력에는 다음 식과 같이 이득으로 조정되는 오차와 오차의 변동분을 사용한다.

$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (20)$$

$$\text{입력 1 : } e_G(k) = GAIN_{error}(k) \cdot e(k) \quad (21)$$

$$\text{입력 2 : } ce(k) = e_G(k) - e_G(k-1) \quad (22)$$

2. 퍼지제어기 퍼지규칙 설계

본 논문에서 사용된 퍼지제어기에서 소속함수의 형태, 퍼지규칙과 추론합성을 포함하는 트리구조, 즉 추론과정에 대하여 설명한다.

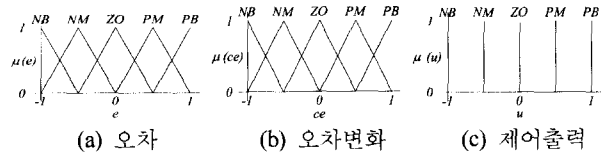


그림 9. 입력력 소속함수.

Fig. 9. Schematic of each membership functions.

소속함수는 조건부와 결론부에 각각 특성에 따른 다른 소속함수 모양을 사용한다. 그림 9와 같이 조건부에서는 삼각형 모양의 소속함수형태를 결론부에서는 싱글톤 형태의 소속함수를 취한다. 각 소속함수는 5개씩의 언어적 변수를 가진다.

규칙표는 다음과 같이 설계한다.

다음으로 본 시스템에 사용된 퍼지제어기의 퍼지규칙과 추론과정에 대한 흐름도는 하나의 트리구조로써 표현 가능하다. 트리구조는 그림 10과 같다. 각 트리에서 연결강도는 1이고 연결되지 않은 가지는 연결강도 0이다.

그림 10에서 퍼지규칙과 MAX-MIN 추론방법으로 구해진 결론부 소속정도는 최종적으로 무게중심법을 사용하는 비퍼지화 과정에서 제어 출력신호를 구한다. 그리고 본 논문에서 사용한 퍼지제어기는 그림에서처럼 퍼지규칙을 모두 25개로 설계하였다.

표 1. 퍼지규칙표.

Table 1. Fuzzy Rule.

ce \ e	NB	NM	ZO	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	ZO
NM	NB	NM	NM	ZO	PM
ZO	NB	NM	ZO	PM	PB
PM	NM	ZO	PM	PB	PB
PB	ZO	PM	PB	PB	PB

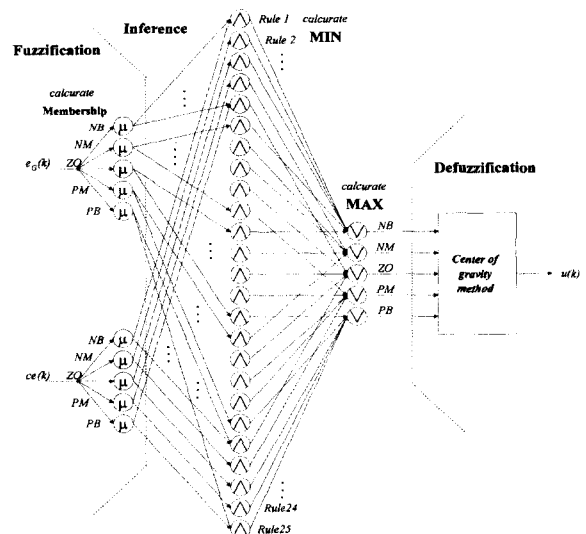


그림 10. 퍼지규칙설계와 추론과정.

Fig. 10. Structure of fuzzy rule and inference process.

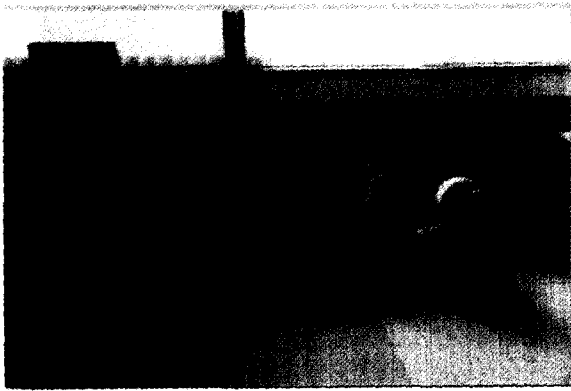


그림 11. 장력시스템의 전체도.
Fig. 11. Photograph of whole tension system.

V. 실험 및 고찰

지금까지 설명되었던 제어 알고리즘을 이용한 장력시스템의 성능을 분석한다. 그림 11은 실험에 사용되는 장력시스템의 전체시스템을 나타낸다. 본 실험에 사용되는 장력시스템은 지능형 장력제어 개발을 위해 실험용으로 설계되고 제작되었다. 그림에서 우측부분이 장력시스템이고 좌측에 있는 것이 장력제어기 박스이다. 그리고 장력제어기 상단에 위치하고 있는 PC는 장력제어기의 성능을 실시간으로 분석하기 위해 출력파형을 보여주는 역할을 한다.

시스템의 좌측에 재료를 감도록 모터가 설치되어 있다. 사용된 모터는 일정속도를 유지하도록 설정한다. 그리고 이 모터는 내부에 회전비가 30 : 1인 감속기가 달려져 있다. 모터와 감는 쪽의 롤과의 회전비는 38 : 102이다. 그리고 그림에서 우측은 이때 발생하는 장력의 변화를 일정하게 유지하도록 하기 위하여 토오크가 5kg-m인 브레이크가 설치되어져 있다. 그리고 그림의 중앙에 위치한 것이 일정한 장력, 즉 장력제어기의 궤환신호를 검출하기 위한 로드셀이다. 이 로드셀에는 궤환신호 검출시 마찰을 최소로 하기 위해 롤러로써 설계되어져 있다. 이때 사용된 로드셀은 최대 50Kg까지를 검출할 수 있는 것을 설치하였다. 롤러에 감기는 재료는 비닐로써 감길 때의 최소반경은 48cm이고 최대반경은 98.25cm이다.

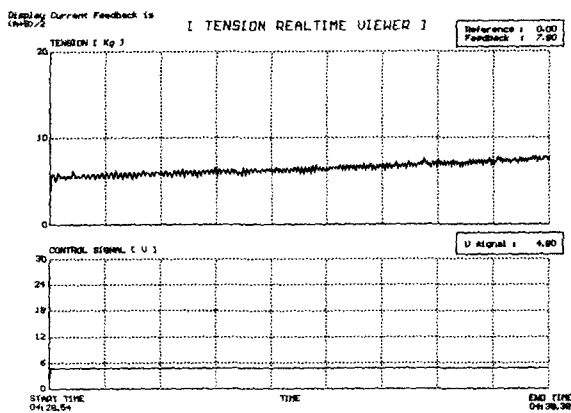


그림 12. 일정신호 인가시 장력시스템 출력.
Fig. 12. Output of tension system with fixed control signal.

그림 12에서 화면의 상단부 그래프는 플랜트의 출력을 나타내며, 하단부 그래프는 플랜트 출력에 대한 제어신호를 나타낸다. 이 파형은 제어신호를 고정시키고 시스템을 동작시켰을 때 출력이 변동되는 것을 보인 것이다.

실험에 앞서 실험방법부터 설정한다. PI제어기와 퍼지제어기에 관하여 각각 실험을 한다. 실험 방법은 먼저 모터의 회전속도의 변화에 대한 시스템의 성능분석을 위한 실험을 실시한다. 장력은 7kg으로 고정시킨다. 본 실험에 사용한 재료는 주로 프린팅 작업에 사용되는 비닐을 사용하였다. 모터의 회전속도를 기준으로 1700rpm, 1300rpm, 1000rpm에 대하여 실시한다. PI제어기인 경우에는 각 회전속도에 대한 가장 적절한 PI파라미터를 찾고 그리고 각 PI계수에 대한 제어기의 특성을 살펴보고 퍼지에 대해서도 결과를 살펴본다.

두 번째 실험으로 외부환경의 왜란 인가에 대한 시스템의 강인성에 대한 실험을 실시한다. 이 또한 PI제어기와 퍼지제어기에 대하여 성능을 비교한다.

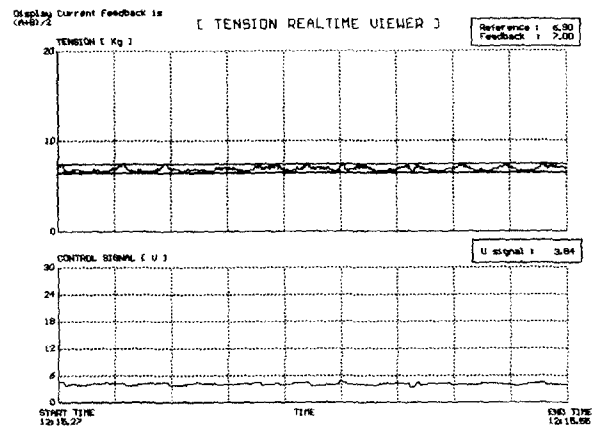


그림 13. PI제어기 출력, 설정 7kg, KP : 0.97, KI : 0.10, 모터속도 : 1700[rpm].
Fig. 13. Output of PI control with Ref. 7kg KP : 0.97, KI : 0.10, 1700[rpm].

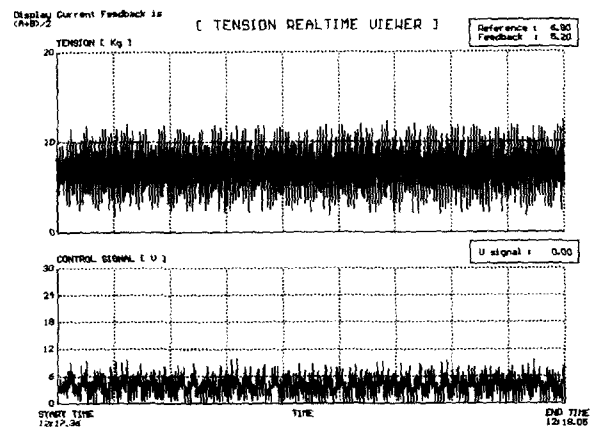


그림 14. PI제어기 출력, 설정 7kg, KP : 0.97, KI : 0.10, 모터속도 : 1300[rpm].
Fig. 14. Output of PI control with Ref. 7kg KP : 0.97, KI : 0.10, 1300[rpm].

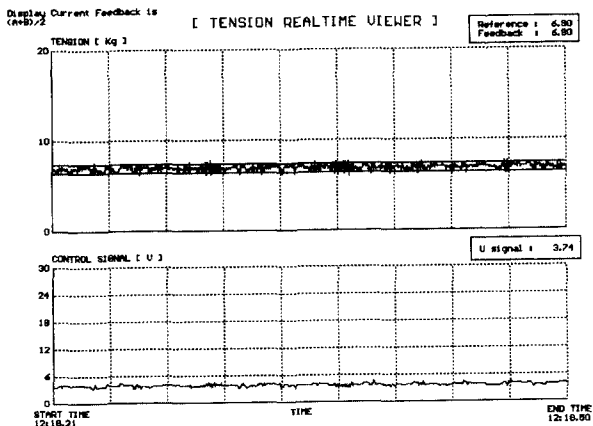


그림 15. PI제어기 출력, 설정 7kg, KP : 0.93, KI : 0.10, 모터속도 : 1300[rpm].
 Fig. 15. Output of PI control with Ref. 7kg KP : 0.93, KI : 0.10 , 1300[rpm].

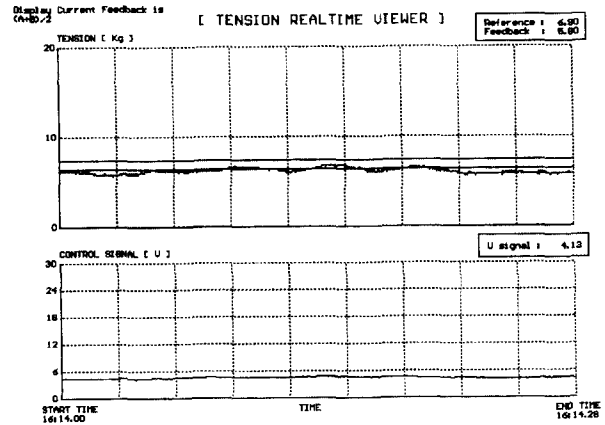


그림 18. PI제어기 출력, 설정 7kg, KP : 0.61, KI : 0.04, 모터속도 : 1700[rpm]
 Fig. 18. Output of PI control with Ref. 7kg KP : 0.61, KI : 0.04, 1700[rpm]

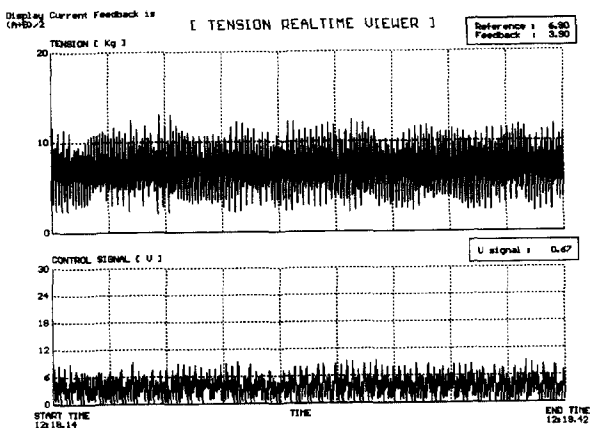


그림 16. PI제어기 출력, 설정 7kg, KP : 0.93, KI : 0.10, 모터속도 : 1000[rpm].
 Fig. 16. Output of PI control with Ref. 7kg KP : 0.93, KI : 0.10, 1000[rpm].

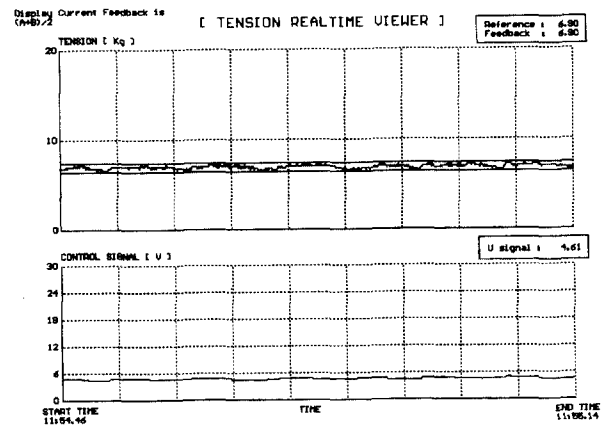


그림 19. 퍼지제어기 출력, 설정 7kg,, 모터속도 : 1700[rpm].
 Fig. 19. Output of fuzzy control with Ref. 7kg and 1700[rpm].

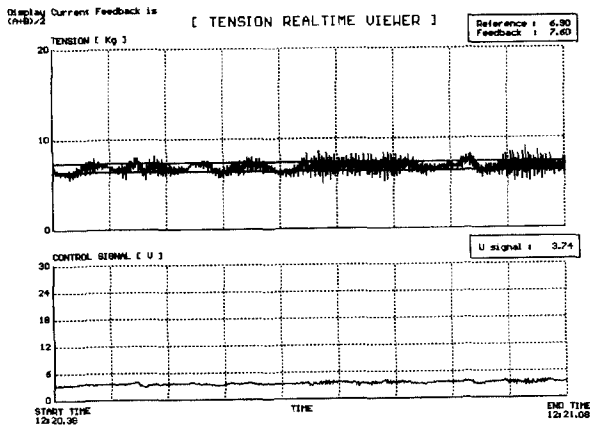


그림 17. PI제어기 출력, 설정 7kg, KP : 0.61, KI : 0.04, 모터속도 : 1000[rpm].
 Fig. 17. Output of PI control with Ref. 7kg KP : 0.61, KI : 0.04, 1000[rpm].

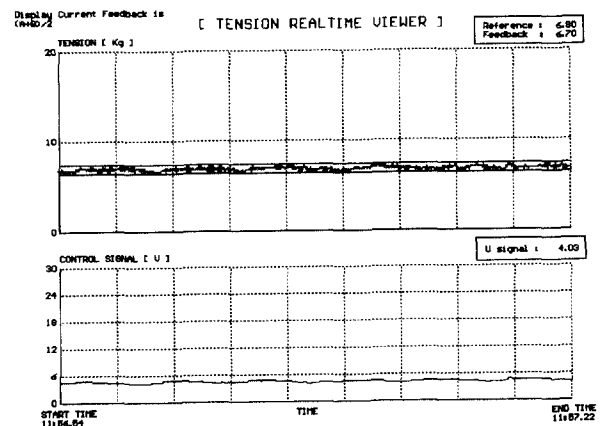


그림 20. 퍼지제어기 출력, 설정 7kg, 모터속도 : 1300[rpm].
 Fig. 20. Output of fuzzy control with Ref. 7kg and 1300[rpm].

각 제어기의 장력시스템에 대한 실험결과를 살펴보면, PI제어기의 경우 모터의 1700rpm의 일정회전속도로 설정하고 장력변화를 주었을 때 하나의 PI계수($K_p=0.97, K_f=0.10$)

로써 모두 만족됨을 볼 수 있었다. 그러나 1300rpm으로 회

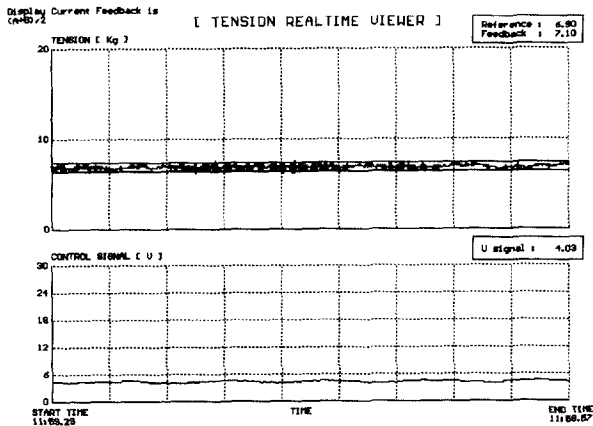


그림 21. 퍼지제어기 출력, 설정 7kg, 모터속도 : 1000[rpm].
Fig. 21. Output of fuzzy control with Ref. 7kg and 1000[rpm].

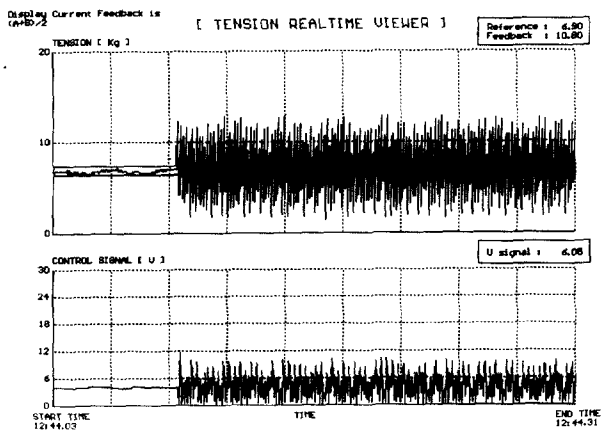


그림 22. 왜란인가시 PI제어기 시스템 특성, 설정 7kg, 모
터속도 : 1700[rpm].
Fig. 22. Disturbance characteristic of PI control system in
Ref. 7kg and 1700[rpm].

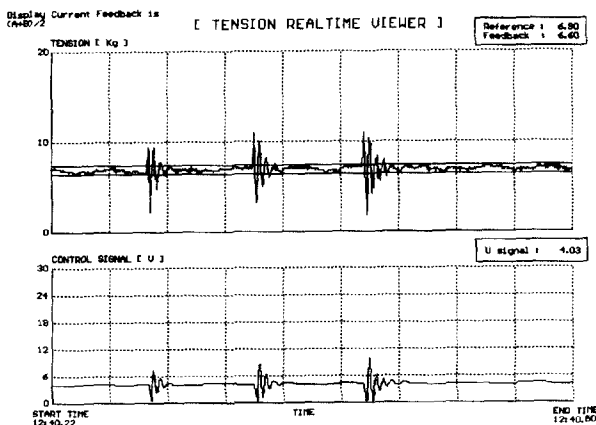


그림 23. 왜란인가시 퍼지제어기 시스템 특성, 설정 7kg, 모
터속도 : 1700[rpm].
Fig. 23. Disturbance characteristic of Fuzzy control system
in Ref. 7kg and 1700[rpm].

전속도를 낮추었을 때 앞에서 설정된 계수로써는 제어가 되지 않음을 볼 수 있었다. 그리고 이때 재 설정된 PI계수는 $K_p=0.93$, $K_f=0.10$ 이었다. 그리고 속도를 1000rpm으로 더 낮추었을 때 또한 제어가 되지 않음을 볼 수 있었다. 이때 새롭게 설정된 PI계수는 $K_p=0.61$, $K_f=0.04$ 이었다. 그리고 이 때 설정된 PI계수를 다시 1700rpm으로 속도를 상승시켜 실험을 해 본 결과 정상상태 오차를 발생시켰다. 그러므로 PI제어기로서 장력제어시스템에 대한 폭넓은 환경에 대한 적용이 불가능함을 알 수가 있다. 여기에 퍼지 제어기의 성능을 살펴보면, 먼저 PI제어기와 같이 1700 rpm에서의 각 장력의 변화에 대한 결과는 변함이 없으므로 출력결과를 볼 수 있었다. 그리고 1300rpm, 1000rpm에서도 안정적인 제어가 됨을 볼 수 있었다. 그리고 왜란인가시의 각 제어기의 시스템 특성에서도 기존에 사용되는 PI제어기의 경우는 한번의 왜란인가에 대하여 불안정해지는 특성이 나타났다. 그러나 입력이득을 갖는 퍼지제어기의 시스템 특성은 왜란인가시에 다시 안정한 상태로 되돌아오며 강인함을 볼 수가 있었다. 그러므로 PI제어기보다는 안정적이며 폭넓은 제어구간을 가짐을 볼 수가 있었다.

VI. 결론

본 논문은 산업체에서 널리 사용되고 있는 장력시스템을 분석하고 기존의 장력시스템이 사용된 PI제어기에 대한 특성과 이에 대한 단점을 보완할 수 있도록 퍼지제어기를 사용하였다. 기존에 사용되던 PI제어기는 장력시스템에 있어서 다양한 생산환경에서 적용되지 못하고 환경이 바뀔 때마다 PI계수를 작업자가 수정해주어야 하는 문제점이 나타났다. 이러한 계수 수정작업은 실제 작업자에게는 상당한 부담으로 나타난다. 그러므로 입력이득이 조정되는 퍼지제어기의 사용은 이러한 계수조정에 따른 번거로움을 덜 수가 있었다. 그리고 실험결과 또한 우수한 성능이 확인되었다.

본 실험에서 앞으로 개선되어야 할 부분은 하드웨어 설계에 따른 잡음 방지, 그리고 기계장치에서 발생하는 진동 성분의 잡음 제거가 필수적으로 이루어져야 할 것이다. 그리고 적응 알고리즘을 이용한 외란인가에 대한 성능 또한 개선시킬 필요성이 있다.

참고문헌

- [1] W. K. Hon and K. H. Shin, "Real-Time tension control in a Multi-Stand rolling system," *Proceeding of the Third International Conference on Web Handling, Web Handling Research Center, Oklahoma State Univ.*, pp. 247-263, 1995.
- [2] Timothy J. Ross, "Set Theory-Classical and fuzzy sets," *Fuzzy Logic and Control Software and Hardware Applications*, vol. 2, Prentice-Hall International, Inc, pp. 10-35., 1993.
- [3] R. Ketata, D. De Geest, and A. Titli, "Fuzzy controller: design, evaluation, parallel and hierarchical combination with a PID controller," *Fuzzy Sets and Systems 71, Elsevier Science B. V.*, pp. 113-129, 1995.

- [4] H. J Zimmermann, "Fuzzy sets and systems," IFSA, vol. 84, pp 209-234, 1996.
- [5] M. Y. Shieh and T. H. S. Li, "Integrated fuzzy logic controller design," *Proc. of IEEE IECON '93*, Maui, HW, pp. 279~284, 1993.
- [6] C. M. Lim and T. Hzyama, "Experimental implementation of a fuzzy logic control scheme for a servomotor,"

Mechatronics, vol. 3, no. 1, pp. 39~47, 1993.

- [7] S. Isaka and A. V. Sebald, "An optimization approach for fuzzy controller design," *Proceedings of the American Control Conference*, San Diego, Ca. pp. 1485-1490, May 23-25, 1990.
- [8] Werner Leonhard, "1. Some elementary principles of mechanics," *Control of Electrical Drives 2nd Completely Revised and Enlarged Edition*, Springer, pp. 5-13, 1996.



설재훈

1968년 8월 24일생. 1994년 동아대학교 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1996), 동대학 박사(2000). 2000년~현재 동아대학교 BK21 산업자동화 및 정보통신 인력양성 사업팀 Post-Doc. 관심분야는 지능제어, 전력제어, 산업용용 마이크로 컨트롤 시스템 설계.



박종오

1965년 5월 28일생. 1989년 동아대학교 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1998), 동대학 박사수료(2000). 2000년~현재 삼진전자산업 연구실장. 관심분야는 지능제어, 항공기유도제어, 적응제어



장종승

1963년 12월 23일생. 1992년 동아대학교 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1994), 동대학 박사(1999). 관심분야는 고주파 유도가열, 지능제어.



임영도

1949년 9월 20일생. 1973년 동아대학교 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1978), 동대학 박사(1987). 1988년~현재 동아대학교 전자공학과 교수. 관심분야는 지능제어, 전력전자, 고주파 유도가열