

# 퍼지제어기법을 이용한 웹의 폭방향 위치 제어

## Lateral Displacement Control Using the Fuzzy Control Method

\*신현훈, 호탐탄, 최성학, #이상윤

\*Hyeunhun Shin, Thanh Tam Ho, Sunghac Choi, #Sangyoon.Lee(slee@konkuk.ac.kr)

건국대학교 기계설계학과

Key words : R2R(Roll-to-Roll), fuzzy control, lateral control

### 1. 서론

신문, 섬유, 필름 등에 적용되는 기존의 Roll-to-Roll(R2R) 인쇄방식을 RFID 안테나, MLCC (Multy-Layer Ceramic Capacitor), Flexible Display 등의 전자소자 생산에 적용하여 공정을 단순화 시키고 비용을 줄이기 위한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다. 폭방향 위치 제어는 R2R 공정을 진행하는 과정에서 이송하는 소재에 발생하는 폭방향 위치 변위를 보정하는 곳에 일반적으로 사용된다. 폭방향 위치변위는 그라비아 인쇄, 코팅, 건조 등과 같은 여러 단계의 프로세스를 지나면서 소재가 받게 되는 속도, 장력, 온도 등의 운전 조건이 변하게 될 때 발생할 수 있다. 전자소자를 생산하기 위해서는 기존의 폭방향 위치 제어기들의 성능을 뛰어넘는 폭방향 위치 제어기술이 요구된다.

본 논문은 특정 조건에서 발생하는 소재의 폭방향 변위를 제어하기 위해 퍼지 제어 방법을 적용한 시뮬레이션 결과를 소개하고 있다. 운전속도, 외란의 크기와 형태에 따른 폭방향 위치 변위를 제한된 퍼지제어 기법을 이용한 제어 방법으로 소재를 0.1mm 이내로 제어할 수 있도록 하였고 제어 장치의 성능을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

### 2. 수학적 모델

웹의 폭방향 위치 변위를 모델링하기 위해 여러 가지 수학적 모델 중 웹의 폭방향 위치를 묘사하기에 적합한 Shelton<sup>1</sup>의 1차 모델을 이용하였다. 1차 모델(Fig.1)은 웹의 질량과 폭방향 강성을 무시하여, 폭방향 탄성 거동을 단순화시킨 기본적인 모델로 식(1)과 같다.

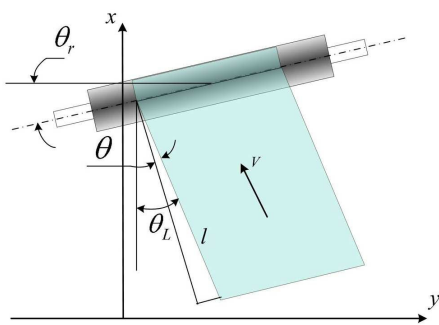


Fig. 1 First Model of Idealized Web Behaviour

$$\begin{aligned} \Delta y &= l(\theta_L - \theta_r) \\ v_L &= l(\dot{\theta}_L - \dot{\theta}_r) \end{aligned} \quad \frac{dy}{dt} = V(\theta_L - \theta_r) + \frac{dz}{dt} \quad (1)$$

여기서  $\Delta y$ 는 폭방향 변위,  $z$ 는 롤러의 축방향 변위,  $\theta_L$ 은 롤러와  $y$ 축 사이의 각도,  $\theta_L$ 은 웹과  $x$ 축 사이의 각도를 나타낸다.

### 3. 퍼지제어기법이 적용된 가이드 시스템

#### 3.1 퍼지 제어 기법

‘퍼지’라는 단어는 Zadeh에 의해 처음으로 소개되었고 퍼지이론은 수학적 언어의 유용성에 한계를 해결할 수 있는 좋은 해를 제공한다. 폭방향 위치 제어 문제의 경우 시스템에 발생할 수 있는 에러를 줄이면서 성능을 개선시키기 위해서 PID 제어 방법과 비교하여 여러 장점이 있는 퍼지 제어방법을 고려하게 되었다. 퍼지 제어 방법의 장점은 다음과 같다.

- 퍼지 로직의 수학적 개념이 매우 단순함으로 임베디드 제어 시스템에 적합하다.
- 퍼지 로직은 선형이나 비선형 제어 모두 적용가능하다.
- 주어진 시스템에서 퍼지제어는 프로그램을 수정할 수 있어 시스템에서 매우 유연하다.
- 퍼지 로직은 기존의 제어 방법과 결합될 수 있다. 이 특징으로 퍼지 제어의 장점과 기존제어의 분명한 장점을 동시에 실현시키는 것이 가능하다.

퍼지 집합은 멤버십 함수에 의해 표현된다. 퍼지 제어 시스템에서 퍼지 제어기는 입력 값과 출력 값을 맵핑하는 블랙박스과 같은 역할을 하게 된다. 맵핑을 하는 과정을 퍼지 인터페이스라고 하며 Mamdani inference type<sup>2</sup>과 Sugeno type<sup>3</sup>(or Takagi-Sugeno-Kang inference)이 잘 알려져 있다. 본 논문에서는 입력 멤버십 함수들이 퍼지 집합으로 출력되는 Mamdani 퍼지 인터페이스를 사용하였다. Fig.2는 DC모터 모델, 웹의 폭방향 변위 모델과 퍼지 컨트롤러를 결합한 블록다이어그램을 보여주고 있다.

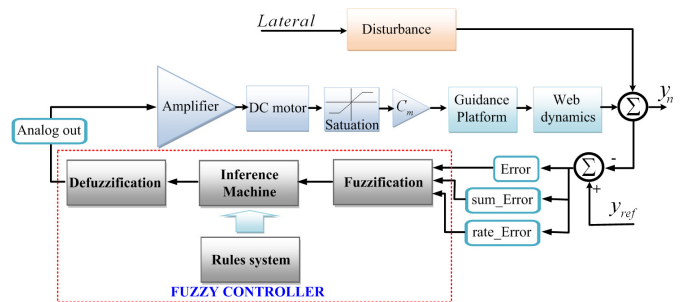


Fig.2 Fuzzy Controller Block Diagram

퍼지 시스템의 입력 변수에는 에러(e)와 에러율( $\dot{e}$ ) 그리고 에러의 합( $\sum e$ )이 있다. 이 입력 변수들은 아래 식(2)와 같이 계산 되어 진다.

$$\begin{aligned} e(k) &= y_{ref}(k) - y_n(k) \\ \dot{e}(k) &= e(k) - e(k-1) \\ \sum e(k) &= \sum e(k-1) + e(k) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $y_{ref}(k)$ 는 기준 또는 바라는 폭방향 위치이고,  $y_n(k)$ 는 센서에서 측정된 소재의 위치이다.

웹 가이드 시스템의 DC모터 모델에 DC 전압을 인가하는 아날로그 출력이라고 불리는 very negative(VeNeg), negative(Neg), little, positive(Pos), and very positive(VePos)의 5개 출력 변수들(Fig.3)은 퍼지 변수가 된다.

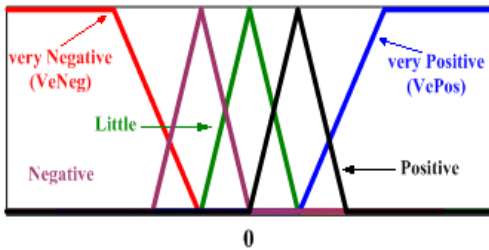


Fig. 3 Five membership functions of analog\_out variable

각 퍼지 맴버들은 COG에 의해서 디퍼지화(defuzzify)된다. 대부분의 COG(centroid calculation)의 알고리즘 계산은 수치적인 방법에 의해 수행 된다. 입력 값이 연속해서 변하게 될 때 출력 값 역시 연속적으로 변하게 되는데, 이것은 COG의 가장 큰 이점이다. 맴버십 함수가 삼각형과 사다리꼴을 형태로만 가지고 있기 때문에 집합된 영역은 여러개의 기본 요소로 구성되는 사각형과 사다리꼴의 하위 영역으로 나뉘질 수 있다. Fig.4는 COG를 결정하기 위한 프로세스를 묘사하고 있다.

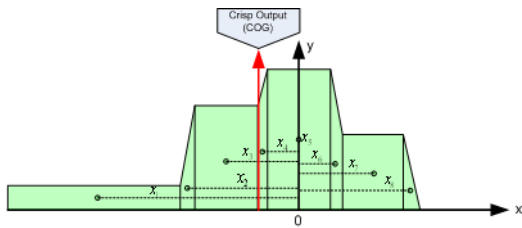


Fig. 4. Defuzzification Process

Fig. 4에서  $n$ 개의 하위영역이 있다면, 하위 영역과 하위 영역의  $i$  번째 중심 위치는  $S_i$ 와  $x_i$ 이다. COG 출력 값은 식(3)에 의해 결정된다.

$$x_{COG} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i x_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (3)$$

### 3.2 가이드 시스템

R2R 시스템에서 소재의 폭방향 위치를 제어하기 위해 가이드 시스템을 일반적으로 사용한다. 웹의 폭방향 위치 변위를 시뮬레이션하기 위해 평행한 물러를 동일한 중심점을 기준으로 회전시키는 변위형 가이드(Displacement Guider, Fig.5)모델을 적용하였다. 이 모델은 비틀림이나 찢어짐에 민감한 신문, 인쇄, 코팅, PP 인쇄 등의 공정에 사용 된다.

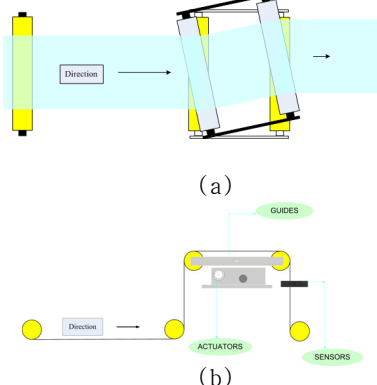


Fig.5 Displacement Guider Model(a) Top view (b) Side view

## 4. 시뮬레이션 결과

성능을 측정하기 위해 사인(Sine)과 스텝(Step) 신호를 입력하여 시뮬레이션을 수행하였으며 결과는 Fig.6,7 과 같다. 시뮬레이션은 동일한 사인과 스텝 외란의 환경에서 수행되었으며, 퍼지 제어 방법은 PID 제어 방법과 비교하여 크게 개선된 결과를 보여 주었다. 0.1Hz의 주파수에서 10mm의 크기, 0.5m/s의 이송 속도인 사인 함수를 외란으로 입력하였을 때 퍼지제어로 제어한 외란의 피크 값은 PID로 제어한 외란 값 (1mm)보다 10배작은 결과(0.1mm)를 나타내었다(그림 6). 비슷한 결과를 스텝 입력에서도 확인 할 수가 있었다(그림7).

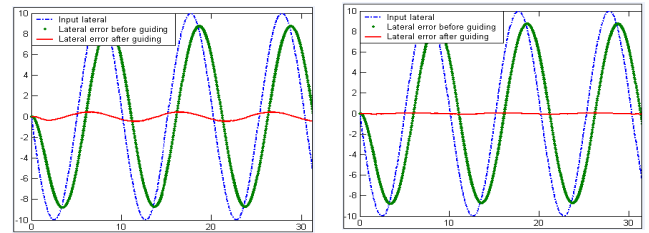


Fig. 6. Sine Responses of PID and Fuzzy Control

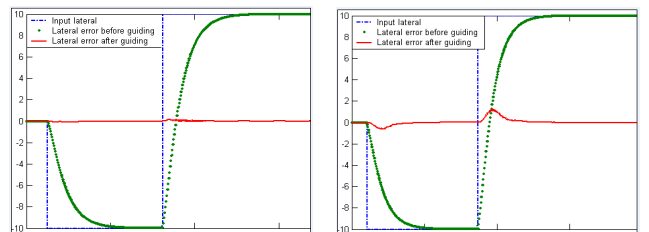


Fig.7. Step Responses of PID and Fuzzy Control

## 5. 결론

본 연구는 R2R 공정에서 발생하는 폭방향 위치 변위의 제어방법을 제시하였고, Fuzzy 제어기법을 결합하여 효과적으로 폭방향 변위를 제어하였다.

그러나 전자소자를 R2R 방식으로 생산하기 위해서는 여러 가지로 개선되어야 할 부분들이 남아 있다. 향후 더욱 정밀하게 폭방향 위치 변위를 제어하기 위해 시뮬레이션 결과를 실험 결과와 비교하여 실제 공정에서 시뮬레이터의 성능을 검증하고 이를 바탕으로 제어기를 개선 시켜 나갈 계획이다.

## 후기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Shelton J.J. (1968). *Lateral dynamics of moving web*, Ph.D, dissertation Dept.Mech, Eng., Oklahoma State Univ., Stillwater, Oklahoma.
- Mamdani, E.H. and S.Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *International Journal of Man-Machine. Studies*, Vol. 7, No. 1, pp.1-13, 1975.
- Sugeno, M., *Industrial applications of fuzzy control*, Elsevier Science Pub.Co., 1985.