

연속소둔로에서 관중심 위치 제어를 위한 적응 역비례 제어기의 설계

Design of Adaptive Inverse Control for Center Position Control of Steel-Strip in Continuous Annealing Line

김 영 수*, 조 성 은**, 이 영 교**, 김 상 우***
Young Su Kim, SungEun Jo, YoungKow Lee, Sang Woo Kim

Abstract - In continuous annealing line (CAL), POSCO, the center position control (CPC) is an essential technique that renders the steel-strip to pass at the center of a roll in order to prevent the strip from skewing or breaking. The CPC algorithm currently installed on the steering roll in the heating section of CAL is to control the strip position by using the reverse phase of error from the center position, without considering the dynamics of strip horizontal movement. Such algorithm may, unfortunately, require a manual operation occasionally when the range of strip input becomes wide, causing the dynamics to be dominant. Other PID-type control is rarely used in automatic operation because the excess of response may occur when the discontinuous points such as welding joints pass through rolls. In this paper, we identify the CPC system by using off-line data and design a compensator for the excessive dynamics by using the adaptive inverse control. Simulation result depicts the improved reliability of the proposed CPC system.

Key Words : center position control; continuous annealing line; adaptive inverse control.

1. 서 론

포스코 연속소둔로(CAL)에서 스트립 중심 위치 제어(CPC)는 스트립의 사행이나 스트립 파단을 방지하기 위해, 스트립이 롤의 중심을 지나도록 하는 중요한 기술이다[1, 2]. 소둔로 가열대(heating section)에서 스티어링 롤(steering roll)에 설치된CPC는 롤위에서 나타나는 스트립의 동적 특성에 대한 고려없이 기준점에 대한 역상으로 제어해 주고 있다. 하지만, 스트립의 입력 범위가 넓어 질수록 동적 특성이 매우 많이 나타나게 되므로, 이런 역상 제어 방법은 신뢰성이 떨어진다. 이런 경우, 자동 운전이 불가능하게 되어 수동 개입의 여지가 생긴다. 역상 제어 방법 외에 PID 형태의 제어 방법도 가능한데, 이것은 스트립의 용접 부위 등 심한 불연속점을 만나는 경우 과도한 응답 특성이 나타나 작업 중에 거의 사용되지 않는다. 본 연구에서는 스트립의 동적 특성을 미리 얻어진 조업 데이터를 이용하여 식별하고, 그것에 맞는 적응 역비례 제어를 이용한 보상기를 설계 모의 실험한다[3]. 특히, 기존의 제어기의 과도한 동적 특성을 보상하여, 신뢰성을 높인 CPC 기술을 제안한다.

2. CPC System

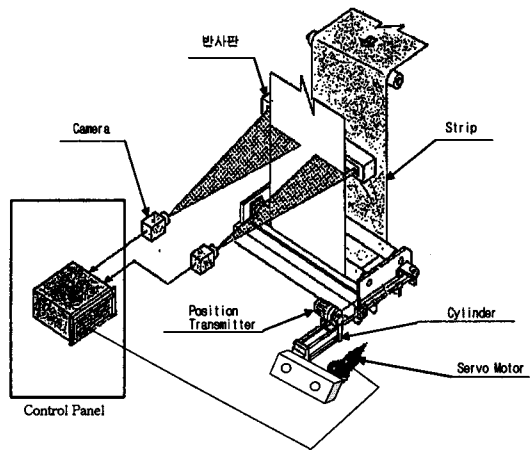


그림 1. CPC system

POSCO,CAL에 설치된 CPC System은 스트립의 위치를 추정하는 카메라부와 스트립의 위치를 보정할 수 있는 두개의 스티어링 롤들로 주로 구성되어 있다. 카메라로부터 얻어진 영상에서 스트립의 테두리를 검출하여 중심위치를 추출하게 된다. 중심 위치가 라인 중앙에서 벗어난 정도에 따라 스티어링 롤을 유압실린더로 뒤틀어 줌으로써 중앙 위치를 보정한다.

* 非 會 員 : 浦項工科大学 電子電氣工學科 碩士課程

** 非 會 員 : 浦項工科大学 電子電氣工學科 博士課程

***正 會 員 : 浦項工科大学 電子電氣工學科 副教授 · 工博

r : 기준 위치값

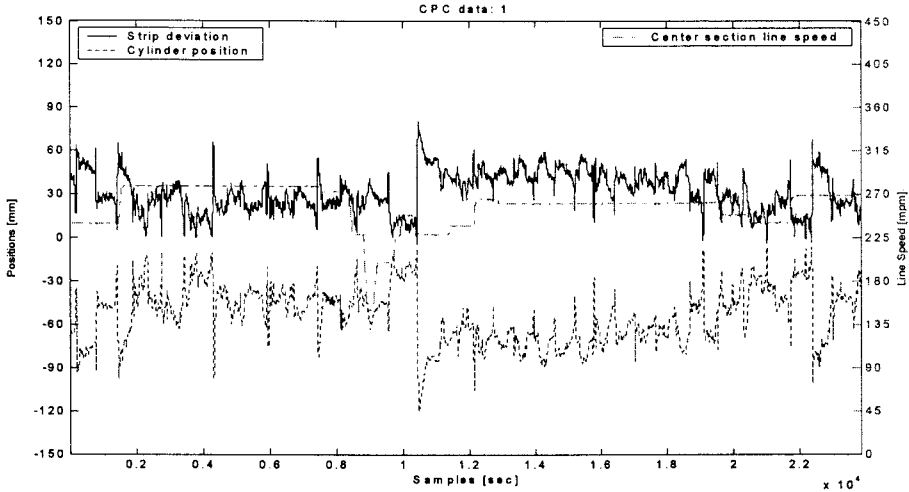


그림 2. CPC system의 on-line 데이터

주로 사용되는 제어기법에는 PI 제어와 역상 제어가 쓰이는데, 요철 부위등 스트립의 위치에 외란이 생길 때 성능이 안좋아진다. 그림 2는 전형적인 CPC system의 조업 데이터를 보여주고 있다. 비정기적으로 큰 외란들이 늘어오며, 실린더의 위치가 판 중심위치의 역상으로 제어되고 있음을 알 수 있다.

3. 시스템 식별

적용 자기 회귀 모델 (Adaptive Auto-regressive model) 사용하여, Plant model을 식별한다. 그림 3에서는 플랜트 모델과 함께 적용 역비례 제어 기법을 사용한 외란 제거기를 보여 주고 있다.

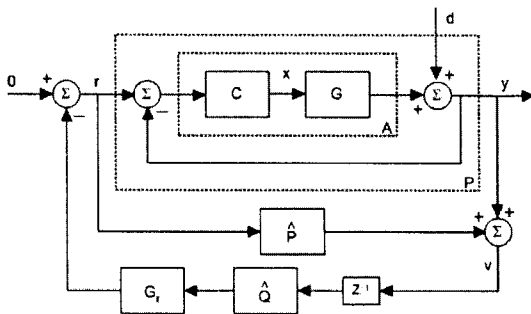


그림 3. 적용 자기 회귀 모델과 외란 제거기

다음과 같은 신호들을 정의를 가지고, 모델을 기술한다.

- y : 스트립 중앙 위치
- x : 실린더 위치
- d : 스트립 외란
- v : 스트립 위치 외란

스트립의 중앙 위치의 동적 특성이 자기 회귀 모델로 기술된다.

$$y(n) = -\mathbf{a}^T Y_{n-1} + d(n), \quad (1)$$

여기서,

$$Y_{n-1} = [y(n-1), y(n-2), \dots, y(n-m)]^T \in \mathbb{R}^m, \quad (2)$$

$$\mathbf{a} = [a_1, a_2, \dots, a_m]^T \in \mathbb{R}^m. \quad (3)$$

이 모델을 가지고 폐회로 전달 함수를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$y = \frac{A(z^{-1})}{1 + A(z^{-1})} r + d, \quad (4)$$

여기서,

$$A(z^{-1}) = a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_m z^{-m}, \quad (5)$$

z^{-1} 는 단위 지연 연산자이다.

스트립 왜란의 추정값은 아래와 같이 표현된다.

$$\hat{d}(n) = y(n) + \hat{\mathbf{a}}^T Y_{n-1}. \quad (6)$$

이 추정값을 최소화시키는 알고리즘으로 자가 회귀 모델 파라미터를 구한다. 이 때 목적함수는 아래와 같다.

$$\min_{\hat{\mathbf{a}}} \|\hat{d}(n)\|^2. \quad (7)$$

본 논문의 모의 실험에서는 최소자승법의 하나인 의사 투영법(Affine Projection Algorithm)으로 구현하였으나, 다른 알고리즘으로 구현하여도 무방하다.

폐회로 전달 함수와 그 추정 전달함수들은 다음과 같이 얻어진다.

$$P = \frac{A(z^{-1})}{1 + A(z^{-1})}. \quad (8)$$

$$\hat{P} = \frac{\hat{A}(z^{-1})}{1 + \hat{A}(z^{-1})}. \quad (9)$$

이 추정 전달 함수를 이용하여 외란 제거기가 설계된다.

4. 적응 역비례 제어를 이용한 외란 제거

이 장에서는 식별된 시스템으로부터 외란을 추출해내고, 그 외란을 제거하는 적응 역비례 제어기법을 설명한다. CPC system이 기본적으로 영점으로서의 정류 작용을 하기 때문에 기준 신호가 영점인데, 이런 경우엔 기존의 방법으로 외란 추출이 어렵다. 기존의 적응 역비례 제어기에서의 시스템 식별과정과는 다르게 CPC system에서 입력신호없이 출력 신호인 스트립 위치만을 사용하여 외란을 추출하고 있다 [3].

추정된 전달 함수의 오차에 의해서 스트립 위치 외란을 추정한다.

$$v(n) = (P - \hat{P})r(n). \quad (10)$$

이상적인 외란 제거기 Q는 다음과 같이 Finite-Impulse-Response 모델로 구현하였다.

$$Q(z^{-1}) = q_1z^{-1} + q_2z^{-2} + \dots + q_pz^{-p}. \quad (11)$$

이때, 외란제거기는 다음의 조건을 만족시킨다.

$$v(n) = -\mathbf{q}^T F_{n-1} + g(n), \quad (12)$$

여기서,

$$F_{n-1} = [f(n-1), f(n-2), \dots, f(n-p)]^T \in \mathbb{R}^p, \quad (13)$$

$$f(n) = \hat{P}(z^{-1})v(n), \quad (14)$$

$$\mathbf{q} = [q_1, q_2, \dots, q_m]^T \in \mathbb{R}^p. \quad (15)$$

이상적인 외란 제거는 $g(n)$ 을 영으로 보낼 때, 원란 제거기가 폐회로의 역함수를 추정함으로써 얻어진다.

그림 4는 외란 제거기의 식별 방법을 보여주고 있다.

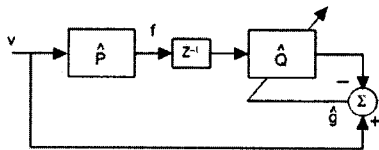


그림 4. 외란 제거기 식별기법

외란 제거기의 추정은 다음과 같이 한다.

$$v(n) = \hat{Q}\hat{P}v(n-1) + \hat{g}(n). \quad (16)$$

이때, 외란 제거기는 다음과 같은 목적함수로 식별된다.

$$\min_{\hat{q}} \|\hat{g}(n)\|^2. \quad (17)$$

이렇게 식별된 외란 제거기 출력을 다음과 같이 기준값에 첨가함으로써 외란을 제거하게 된다.

$$r(n) = -G_r\hat{Q}(z^{-1})v(n-1), \quad (18)$$

여기서 G_r 는 제거기 기여도이고, 일반적으로 외란이 클

수록 작게 하여 수렴성을 높인다. 또한, 외란 제거기 식별 수렴 속도보다 시스템 식별기의 수렴 속도가 빨라야 전체 시스템이 안정한 것으로 알려져 있다[3].

5. 모의 실험

본 장에서는 POSCO, CAL에 설치된 CPC system에서 추출한 on-line data로 시스템을 모사하고, 모사된 시스템을 바탕으로 새로운 스트립 위치 외란 제거기를 검증하였다.

유사 투영 알고리즘(Affine projection algorithm)을 가지고 시스템 및 외란 제거기 식별에 사용하였다.

전체 시스템의 식별에는 60차 자기회귀모델을 사용하였고, 외란 추출을 위한 식별된 시스템에는 30차 모델, 외란 제거기에는 20차 모델이 사용되었다. 유사 투영 알고리즘에서 사용된 등식 수는 각각 순서대로, 60, 10, 3개이다. Update step-size는 각각 0.25, 0.1, 0.001로 하였다.

그림 5에서는 스트립 위치 외란이 효과적으로 제거되는 모습이 보여주고 있다. 모의 실험상 200mm 이상의 외란에 대해 외란 제거기를 사용한 경우에는 50mm 내외로 보상 되어 지고 있다.

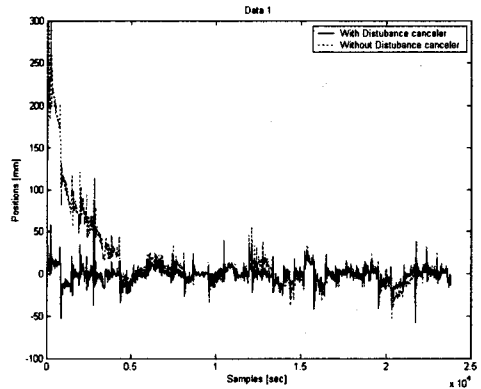


그림 5. 시간에 따른 스트립 위치 (점선은 외란제거기가 없을 때이고, 실선은 외란제거기가 있을 경우이다.)

6. 결론

적응 자기 회귀 모델을 이용하여 스트립 중심위치의 동적 특성을 식별하여, 스트립 위치의 외란을 줄여주기 위한 적응 역비례 제어기에 응용하였다. 이미 설치된 제어기의 구조 변경없이 기준값만을 보정함으로써 성능의 향상을 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] EPC System for automatic strip guiding, Nireco corp., preprint.
- [2] Basis of EPC and CPC, Nireco corp., preprint.
- [3] B. Widrow and E. Walach, *Adaptive Inverse Control*, Prentice Hall Inc., 1996.