

철강 압연공정에의 ILQ(Inverse Linear Quadratic) 제어의 응용

An Application of Inverse Linear Quadratic Control

to Strip Rolling Mill

*최 승 갑

*POSCO 기술연구소(Tel : 82-54-220-6304; Fax : 82-54-220-6914 ;
E-mail:sgchoi@posco.co.kr)

Abstract: To fulfill recent requirements for high quality products in steel rolling process, fast responding and easily tunable control system is required and ILQ(Inverse Linear Quadratic) control system may be one of such alternatives. In this paper characteristics of ILQ control and its application to BUR(Back-Up-Roll) eccentricity in strip rolling mill is discussed and compared to polynomial control approaches. Also the rolling mill model and basic principle to control thickness of strip are introduced with control effect by polynomial methods.

Keywords: ILQ(Inverse Linear Quadratic) control, Cold Rolling Mill, Back-Up-Rolls, Polynomial method

1. 서론

철강산업에서 압연제품은 두께, 폭, 형상 등의 품질지표가 소비자에 의하여 더욱 더 엄격히 요구되고 있어 고정도의 제어를 수행하여야 하나, 철강제조 플랜트는 합리화나 신예화에 대비하여 복잡한 제어이론의 적용 등으로 인한 불안정을 배제하고 조업을 안정적으로 유지되어야 한다

강판을 압연하는 압연기에 사용하는 롤은, 압연중의 열팽창, 압연롤 지지부의 윤활유의 비대칭 또는 롤 수리시의 불규칙한 grinding 등의 여러가지 이유로 인하여 기하학적으로 완전하게 둥근 작업롤이나 백업롤을 기대하기는 어렵다.

완전하게 둥글지 못한 롤은 강판의 압연시 두께를 결정하는 롤갭제어에 심각한 영향을 준다. 한편, 직접 압연을 하는 작업롤은 지지하는 백업롤 보다 직경이 상대적으로 작고 압연기의 롤이 수직으로 움직이기 때문에 작업롤의 롤 편심은 백업롤에 흡수되어 나타나며, 이 롤 편심은 롤 갭과 압연하중을 주기적으로 변화하게 하여 두께제어를 어렵게 만들고 있다.

롤 편심의 발생주기는 롤 편심 신호의 하모닉스를 무시하면 백업롤의 회전주기와 같으며, 이것이 직접적으로 판지의 두께를 변화시킨다. 또한, 강판의 두께를 제어하는 기관의 gauge-meter 원리는 롤 편심에 의하여 발생하는 압연하중의 변화를 정상상태의 신호로부터 구별해내지 못하고 오히려 두께제어 오차를 증폭시키는 문제를 가지고 있다.

이런 문제에 대한 두께제어의 해에 대하여 여러 연구가 진행되어 왔는데, 고전적인 방법으로 notch filter에 의한 롤 편심제어가 있다[1]. Kitamura 등[2]은 작업롤과 백업롤의 편심 신호를 sine wave로 각각 식별하였으며, Chicharo 와 Ng[3]은 롤 편심 계측기로서 수정된 comb filter를 제안하였다. Katori 등[4]은 백업롤 편심외란을 제거하기 위한 보통의 제어기 설계법으로 전환하였다.

제철산업에서의 경쟁적인 추세가 적은 생산비에 더 좋은 품질요구에 대응할 수 있게 되었으며, 최근의 압연기술은 이런 롤 편심외란의 극복을 위하여 시스템이 충분히 빨라졌고, 이를 위한 상업적인 제품도 나와 있으며[5] 문제는 어떻게 현장에 적용하는가 이다.

최근의 백업롤 문제[6]-[8]는 주로 Kalman filter 와 최적제어의 접근인 LQ(Linear Quadratic)로, 이 방법은 실제로 시험압연기에 적용되어 성공적인 롤 편심제어를 수행하였다[8]. 한편 이 방법은 다른 mill schedule에 대한 gain adaptation 이 필요하게 되었고, polynomial 접근과 강인제어 방식으로 문제해결을 도모하였다.

압연 mill 에 있어서 새로운 제어이론을 갖는 제어 시스템이 개발되어 열간/냉간압연기의 두께제어, 장력제어 등에 적용되어 왔으며, 새로운 이론들 중 안정도나 성능이 우수하며 유지가 쉬운 것중의 하나로 ILQ 제어이론을 들 수 있다[14]-[17]. ILQ 제어는 LQ(Linear Quadratic) 제어를 개선하여 개발된 것이다. LQ 제어에서는 가중치가 적당히 선정되기 때문에 실제 플랜트의 특성이나 모델 변수와는 잘 맞지 않아, 많은 시행착오를 거쳐 제어시스템을 tuning 하고있다. 반면에 ILQ 제어는 LQ 제어의 반대 개념의 문제를 푸는 것으로, 폐 loop 시스템의 원하는 응답을 설정한 후 그것에 맞도록 제어기를 설계함으로써 제어기 tuning 의 시행 수를 LQ 제어보다 현저히 줄일 수 있어 플랜트의 안정조업을 기대할 수 있다.

압연 판의 두께제어에서 필연적으로 발생하는 롤 편심(eccentricity)의 영향을 ILQ 를 이용하여 제거함으로써 간단한 제어수단에 의한 플랜트의 안정을 도모하려고 한다..

2. 판 압연기와 롤편심

2.1 압연기 모델링

압연기의 두께제어 시스템에서 그림의 S_e , H , v_n 는 각각 롤