

열간 압연공정에서 판폭과 판두께의 통합제어

The Integration of Automatic Width Control and Gap Control Systems in Hot Plate Mills

김병만, 조형석

한국과학기술원, 기계공학과

305-701, 대전광역시 유성구 구성동 373-1

Tel : 042-869-3253, e-mail : kbm@lca.kaist.ac.kr

Abstract

Derivation of a slab dimension from the desired tolerance degrades the product quality, resulting in significant yield loss by trimming. This necessitates the dimensional control system to be operated in tighter dimensional accuracy. This paper presents an integral approach to a dimensional control system design taking into account the interaction between the edging process and the gap rolling process. To investigate the effects of each process controller, a simple PID controller is adopted as a preliminary study. The control performance is analyzed in detail in terms of the system response accuracy for various operating conditions.

1. 서론

철강 제품은 여러 산업의 기본으로 사용되는 파급 효과를 갖기 때문에 결함과 치수 오차로부터 자유로워야 한다. 최근에는 온라인 모니터링 기술과 제어기술의 발전으로 여러 철강 생산 공정에서 이러한 기술들이 적용되어 가고 있어 수요자에 대한 이러한 요구에 점차적으로 부응해가고 있는 추세이다.[1] 그러나 철강 공정의 복잡성으로 인해 높은 품질의 철강 제품을 생산하기 위해서는 많은 노력이 요구되며 정확한 제어 또한 필수적이다.[2] 본 논문에서는 압연 공정에서 정확한 치수제어를 위해 압연공정의 재료 변형 모델을 살펴보고 이를 제어하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

압연공정에서 치수제어가 어려운 몇가지 이유로는 압연롤의 셋업 모델이 부정확하며, 압연밀의 장비들이 오차요소들을 포함하고 있어 정확한 모델링이 어렵고, 넓은 작동 범위와 환경에 의한 오차요인을 들 수 있다. 또한 압연 공정 자체가 가지고 있는 불확실성과 비선형성, 재료의 물성치 변화 그리고 유압 시스템의 동역학적 특성들이 이 압연공정의 제어를 더욱 어렵게 만드는 요소이다. 지금까지 판재의 두께 제어에 관한 연구는 많이 연구되어 왔고 판폭 제어에 대한 연구도 소개되었으나 이 둘을 함께 고려하여 통합하는 제어 시스템을 구성한 경우는 아직 소개되지 않았다. 본 논문에서는 AWC 와 AGC 를 함께 제어하여 최종제품의 정확한 치수를 얻도록 먼저 재료의 변형 모델을 소개하고 통합 제어시스템을 기초 연구로서 PID 제어기를 이용하여 설계하는 방법을 제안하고 이를 평가함으로써 통합 제어기를 설계할 때에 고려해야 할 사항들을 얻어내고자 한다.

2. 압연공정의 모델

열간 압연 공정은 판폭 제어(AWC)와 판두께 제어(AGC)로 나뉘어 지는데 판폭 제어는 판두께 제어 이전에 이루어지는 공정으로 판두께 제어의 입력에 해당하는 dogbone의 크기를 제어한다. 이 dogbone의 형상은 판재의 초기두께(H_0)와 에저에서의 폭 수축량(d_0)으로 결정되며 폭압연 공정에서는 이들중 edger에서의 폭 수축량을 조절해 줌으로써 dogbone단면의 형상을 제어한다.[2] AWC 시스템은 유압 위치 제어 시스템과 두개의 롤로 구성된 스탠드 그리고 판폭을 측정하는 센서 시스템으로 구성되어 있다. 유압 시스템은 기준 입력으로 부터 압연에 필요한 압연력을 만들어 내는 역할을 하고 센서 시스템은 에저롤의 위치를 측정하여 압연력을 조정하도록 AWC 시스템에 전달된다. 본 연구에서 대상으로 하고있는 시스템의 센서의 위치는 실제 생산 라인에 설치된 것과는 차이가 있다. 여기에서는 AWC 시스템의 설계에 관심을 두기위하여 폭 압연 공정이 AGC와 독립적으로 이루어진다고 보았으며 따라서 판폭 위치 센서가 에저롤에 가깝게 위치하여 판폭을 측정하는데 시간 지연이 없다고 가정하였다.[3]

폭 변형 모델

판폭을 제어하기 위해서 압연력과 판재의 변형량에 대한 많은 연구가 있어왔다. 본 연구에서는 여러 압연력 예측 모델중에서 열간 변형저항의 추정에 의한 압연력 모델을 사용하여 모의실험을 행하였다. 판재의 변형은 판폭에 가해지는 변형력인 압연력과의 관계로부터 얻어 지는데 압연력 F 를 판재의 소성변형을 일으키는데 필요한 압연력이라고 하면 Okado 모델[4,5]에 의해 F 는 아래와 같이 얻어진다.

$$F_E = \sigma_E \cdot H_o \cdot L_E \cdot Q_E \quad (1)$$

σ_E 는 판재의 응력, H_o 는 판두께, L_E 은 압연롤과의 접촉 면적이고 Q_E 는 형상계수이다. 각각의 값은 다음과 같이 얻어진다.

$$\sigma_E = 0.40 \exp\left(\frac{4000}{T}\right) \cdot \epsilon_E^{0.41} \cdot \epsilon_E^{\left(\frac{0.126T}{1000} + 0.075C - 0.050\right)} \quad (2)$$