

냉연시스템의 비간섭화 기법에 관한 연구

A Study on Decoupling Methods in Cold Rolling Mill

°이관호, 심재훈, 권옥현, 최승갑, 박철재

서울대학교 전기공학부(Tel:82-2-880-7314; E-mail:kwanho@cisl.snu.ac.kr)

Abstract: In this paper, some non-interaction problems in tandem cold rolling mill are considered, which are required to control effectively a thickness of the cold rolled strip. First, Interstand non-interactive compensator (Interstand NIC) is designed for decoupling the interaction between stands. Next, a L_2 optimization based pre-compensator is designed for decoupling the interaction between roll gap and strip tension in the stand. Finally, the effectiveness of the proposed decoupling methods is demonstrated via simulations.

Keyword: cold rolling mill, non-interactive compensator, pre-compensator

1 서론

냉간압연에서의 제어문제는 제어입력을 조작하여 생산성을 최고로 유지하면서 목표치 즉, 출측 판두께가 허용오차를 벗어나지 않도록 하는 것이다 [1], [2], [3]. 포함 1냉연의 경우 5개의 스탠드로 구성되어 있으므로, 제어입력으로 5개의 톨겍과 bridle roll, tension reel을 포함한 7개의 모터 속도를 사용하고, 각 스탠드 사이의 장력과 출측 판두께를 출력으로 갖는 전형적인 다변수시스템이다. 냉연시스템은 5개 스탠드의 이러한 입력과 출력이 서로 복잡하게 연결되어 있어서 각 스탠드의 입·출력간의 간섭이 제어기 구성을 어렵게 하는 중요한 요인이 된다 [4]. 예를 들어 3번 스탠드의 톨겍을 변화시켰을 경우 모든 스탠드에 걸쳐서 장력과 판두께에 그 영향이 나타난다. 그림 1은 최초 압연판에 주어지는 외란은 고려하지 않은 상태에서 비선형모델에 대하여 모의실험한 것이다. 그림 1의 (a)과 (b)은 1 [sec]에 3번 스탠드의 톨겍을 0.1 [mm] 열었을 경우의 결과이고, (c)과 (d)은 1 [sec]에 2번 스탠드의 톨속도를 -0.01 주었을 경우의 결과이다. 모의실험 결과를 통해서 톨겍변화나 또는 톨속도변화가 전체 스탠드의 판두께와 장력에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

냉연공정에서의 간섭은 두가지로 나누어서 생각할 수 있다. 첫 번째는 스탠드내에서의 간섭이고 두 번째는 장력으로 인해 발생하는 스탠드간의 간섭이다. 스탠드내에서의 간섭은 단일 스탠드에서의 입·출력간의 간섭이고, 스탠드간의 간섭은 각 스탠드의 장력과 출측 판두께가 전·후방 스탠드의 입·출력의 간섭을 받는 것을 의미한다. 그림 1의 결과를 보면 두가지의 간섭현상이 모두 나타남을 볼 수 있다. 이러한 간섭현상들이 제어기설계를 어렵게하기 때문에 냉연 제어기는 간섭현상을 없애거나 줄이기 위한 비간섭 기능을 필요로 한다. 더욱이 포함 냉연공정은 분산제어시스템 구조로 되어있으며, 이러한 분산제어시스템 구조는 스탠드내에서의 간섭과 스탠드간의 간섭현상을 고려하지 않고 이루어진 것이므로 분산제어시스템이 올바른 성능을 갖기 위해서 비간섭이 효과적으로 이루어져야한다.

본 논문에서는 이러한 냉연의 간섭을 보상하기 위한 비간섭기법을 다룬다. [2], [4]에서 사용한 비간섭기법은 단일 입·출력 제어기의 제어작용으로 인해 발생하는 간섭현상을 없애기 위해 이득값을 이용하여 보정함으로써 제거하는 방식이다. 이러한 비간섭방식은 압연현상 자체가 다변수시스템인 것을 고려하지 않고 정상상태에서의 이득값을 이용해서 설계되었기 때문에 압연변수들이 정상상태에 이르렀을 때 비간섭기능을 할 수 있어서 개선의 여지가 크다고 할 수 있다. 따라서 압연현상 자체를 하나의 다변수 시스템으로 간주하고 각 스탠드에서 입력과 출력간의 간섭현상과 스탠드간의 간섭을 동시에 제거하는 비간섭기법을 생각할 수 있다(그림 2). 이론적으로 그림 2에서 비간섭화가 이루어지면 장력 또는 두께 변화없이 원하는 스탠드의 출측 두께 또는 장력만을 변화시킬 수 있다. 그러나 그림 2에서 제안하는 비간섭 전보상기의 설계시 어려운 점은 다변수 압연시스템이 압연판의 이송에 의한 시간지연을 포함한다는 것이다. 시간지연이 있는 시스템에 대한 비간섭문제는 아직 학계에서 충분히 연구되지 않은 상태여서 본 논문에서는 스탠드내의 비간섭과 스탠드간의 비간섭을 분리하여 수행한다. 그림 3은 이에 대한 개념도이

다. 스탠드내의 비간섭을 다루기에 앞서, 먼저 압연판의 이송에 의한 시간지연과 스탠드간의 간섭으로 인하여 복잡하게 얽혀있는 플랜트를 단순화시키는 방법을 제시한다. 이를 위하여 스탠드간 비간섭 제어기(Interstand NIC)를 설계하는 방법을 제안하고, 그 다음에 단일 스탠드에 대한 비간섭 보상기를 설계하는 방법을 제안한다. 비간섭 전보상기의 설계는 압연기의 선형모델을 이용해서 이루어지기 때문에 설계된 비간섭 전보상기를 비선형 압연기에 연결했을 경우 완벽한 비간섭은 기대할 수 없으나 간섭현상을 현저히 줄일 수 있다.

본 논문에서 제안하는 비간섭 기법이 기존의 방법과 다른 점은 기존의 방법은 우선 되먹임 제어기를 설계하고 제어기를 압연기에 연결할 때 비간섭 현상을 유도하는 것이고, 본 논문에서 제안하는 비간섭 기법은 먼저 압연기에 대한 비간섭화를 수행하고 보상된 시스템(decoupled stand)에 대하여 되먹임 제어기를 설계한다. 간섭이 심한 다변수 시스템을 위하여 제안된 알고리즘을 통하여 각 채널이 독립된 단일 입·출력 시스템 즉, 비간섭화 압연기로 동작하도록 하고 이와 같이 보상된 시스템을 대상으로 제어기를 설계하므로 제어가 쉽게 이루어 질 수 있고, 비간섭으로 인한 성능 향상 또한 기존의 방식보다 클 것으로 기대된다. 본 논문에서는 비간섭화 압연기에 대한 제어기 설계 문제는 다루지 않고 비간섭 제어기 설계만을 다룬다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 압연판의 이송에 의한 시간지연과 스탠드간의 간섭으로 복잡하게 얽혀있는 압연 플랜트를 단순화시키는 방법을 제시한다. 이를 위하여 스탠드간의 비간섭 제어기를 설계하는 방법을 제시한다. 3절에서는 단일 스탠드의 각 채널이 독립된 단일 입·출력 시스템으로 동작하도록 하기 위한 비간섭 전보상기를 설계하는 방법을 제시한다. 4절에서는 설계된 스탠드간 비간섭 제어기와 단일 스탠드의 비간섭 전보상기를 결합하여 스탠드내의 비간섭과 스탠드간의 비간섭이 이루어진 모델을 제시한다. 5절에서는 본 논문에서 제시한 비간섭 제어기의 성능을 확인하기 위하여 모의실험을 수행한다. 마지막으로 6절에서 결론이 제시된다.

2 스탠드간의 비간섭

냉간압연의 비선형모델로부터 유도된 선형모델은 아래와 같이 주어진다 [4], [5], [6].

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) &= A_{i,i-1}x_{i-1}(t) + A_i x_i(t) + A_{i,i+1}x_{i+1}(t) + B_i u_i(t) \\ &\quad + E_{i,i-1}w_{i-1}(t) + E_i w_i(t) \\ y_i(t) &= C_i x_i(t) + C_{i,i+1}x_{i+1}(t) + F_i w_i(t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 상태변수와 입·출력은 아래와 같이 scaling하여 얻어진 값으로 정의되고,

$$x_i = \begin{bmatrix} \frac{\Delta S_i}{V_{ri-1}^*} \\ \frac{\Delta V_{ri-1}}{V_{ri-1}^*} \\ \frac{\Delta t_{bi-1}}{V_{ri-1}^*} \end{bmatrix}, x_{i-1} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta S_{i-1}}{V_{ri-2}^*} \\ \frac{\Delta V_{ri-2}}{V_{ri-2}^*} \\ \frac{\Delta t_{bi-1}}{V_{ri-2}^*} \end{bmatrix}, x_{i+1} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta S_{i+1}}{V_{ri}^*} \\ \frac{\Delta V_{ri}}{V_{ri}^*} \\ \frac{\Delta t_{bi+1}}{V_{ri}^*} \end{bmatrix}$$