

압연공정 시뮬레이터의 개발

Development of Simulator of Rolling Process

°박 철재*, 최 승갑**, 곽 재호*

* 포항종합제철 기술연구소 제측제어연구팀(Tel:279-6625, Fax:279-6499, E-mail:pc807532@smail.posco.co.kr)

** 포항종합제철 동경연구소 제어시스템연구팀

Abstracts POSCO has been developed a general purpose dynamic simulator of the hot strip steel mill. The simulator is a tool for developing the process control system in an industrial system solution business, by making the most use of control and simulation techniques fostered in steelmaking business. This simulator has, not only a powerful numerical analysis function, but an easy-to-use graphic user interface which readily enables to simulate dynamic system. This paper presents the features of the simulator and steel rolling process simulator as its application.

Keywords Rolling process, Simulator, Disturbance, Setup, Actuator, Master control, Sequence control, AGC

1. 서론

열간압연 시뮬레이터는 열간압연 프로세스를 모사하여 철강 Plant 를 설계하고 제어계를 검토하기 위한 Tool 이다. 이 시뮬레이터는 열간압연 프로세스의 거동을 이해하고, 압연시스템의 신설, 개조, 확장 및 조업방법의 개선시 엔지니어링 시간을 단축할 수 있고, 제어방식을 선정하거나 최적의 제어제인을 도출하는데 유용할 뿐 아니라, 압연제어 기술자를 육성하기 위한 중요한 역할을 한다. 따라서 각국의 선진 철강회사(신일본제철, HITACHI, MITSUBISHI, IAS 등)들은 이미 수십년전 부터 시뮬레이터를 자체 개발하여 위와 같은 일을 독자적으로 수행하고 있다. 특히 신일본제철은 제선에서 냉연까지 전공정에 이르는 시뮬레이터를 보유하고 있는 것으로 발표 되고 있지만 내용은 극도의 비밀을 유지하고 있다. 이에, POSCO 의 기술연구소, 동경연구소는 열간압연 시뮬레이터 frame 을 먼저 개발하여 열연 시뮬레이터 부분에서 상당한 기술력을 보유하고 있는 HITACHI 와 국제 공동연구를 수행하고 있으며, 1 차 Test 를 위한 프로그램을 개발하였다.

개발중인 열간압연 시뮬레이터는 setup, 압연모델, actuator, AGC, sensor, disturbance, tracking, 통판, looper, speed 등 열간압연 프로세스의 거의 전분야에 대하여 모델링을 하였으며, POSCO 현장의 PLC 를 분석하여 현장 알고리즘 거의 모두

를 고려하여 프로그램 중이며, 시뮬레이터의 정확성을 높이기 위하여 실제 현장의 데이터를 수집하기 위한 Data Acquisition System 을 제작중이다. 또한, MMI(Man Machine Interface)기능을 강화하여 현장 작업자가 사용하기 편리한 시뮬레이터를 개발중에 있다.

2. 시뮬레이터의 사용방안

본 연구에서 개발한 시뮬레이터의 사용방안 및 연구개발 항목은 표 1 에 도시되어 있다. 시뮬레이터의 사용방안은 표에서와 같이 크게 4 가지로 분류되며, 그외 세부기능들은 생략하였다.

3. 시뮬레이터의 기능구성

개발한 시뮬레이터는 setup, 압연모델, actuator, AGC, sensor, disturbance, tracking, 통판, looper, speed model 등으로 구성되어 있다. 다음에는 각 구성 모델들을 간략히 서술한다.

3.1 외란 모델(Disturbance Model)

외란 모델이란, POSCO 의 열연공장에서 압연작업을 수행할 때 발생하는 여러가지 외란들을 정리한 모델을 말한다.

여기에는 대표적으로 압연하기 전의 입측 두께외란, 롤의 spindle torsion, 롤갭과 온도 등의 외란이다. 외란 모델은 실제로는 각 항들을 센서로 측정하여 FFT 분석을 수행한

표 1. 시뮬레이터의 사용방안
Table 1. The use purpose of simulator

항목	연구개발 항목
제어시스템의 개선	압연장력 변화가 두께에 미치는 영향 해석 Looper 비간섭 제어, 압연 신 AGC 시스템의 개발평가 등
압연설비의 개선	압연구동 시스템의 성능개선에 의한 압연 성능의 평가, 검토 압하장치의 특성개선에 의한 압연 판두께 품질향상효과
신재료의 압연 성능평가	신재료의 경도와 제어특성의 검토 압연한계의 검토
Trouble 시의 해석	압연 Trouble 시의 원인규명 해석 고장진단 지원해석

후, 각 외란에 포함되어 있는 주파수를 찾아내어서 시뮬레이션시 정현파 함수로 입력하여야 하지만, 열연공장의 특수한 사정, 즉 고온(약 1000° C)과 고속의 작업때문에 여러가지 센서들을 설치하기 힘들므로 본 연구에서는 그 동안의 경험으로 각 외란의 주파수들을 가정하여 시뮬레이터에 입력하였다.

3.2 Setup Model

Setup Model 이란, 압연을 수행하기 전에 현장의 모재 데이터틀 이용하여 롤갭이나 롤 속도를 설정해주기 위하여 계산하는 수식모델을 말한다.

Setup Model 속에는 선진을 계산식, 압연하중 계산식, 롤 편평반경 계산식, roll speed 계산식, 롤갭 계산식 등이 포함되어 있다.

3.3 Rolling Model

압연모델이란, 두께가 두꺼운 판을 압연하여 얇은 판을 만들때 어떠한 과정으로 이와같은 작업이 수행되는지를 소성가공학적으로 계산하여 현장의 압연작업을 수학적으로 모델링한 것을 말한다. 이와같은 작업은 비선형성을 내포하고 있으므로 본 논문에서는 비선형모델을 개발하였다. 그러나 비선형모델은 계산하는데 시간이 많이 소요되므로 비선형모델을 선형화 기법을 이용하여 선형화 하였다. 따라서 본 논문에서는 선형모델과 비선형모델을 동시에 개발

하였다.

3.3.1 선형모델(편차치계 모델)

선형모델은 비선형 압연모델을 동작점 부근에서 선형화하여 각 스탠드 출측두께 편차를 구하는 것이다. 여기에 사용된 식은 압연에서 흔히 이용하는 Gauge Meter 식을 이용하여 다음과 같이 출측두께 편차를 구하는 식을 유도하였다.

$$\Delta h_i = \frac{1}{M_i - \left(\frac{\partial P_i}{\partial h_i}\right)} \left\{ M_i \Delta s_i + \left(\frac{\partial P_i}{\partial H_i}\right) \Delta H_i + \left(\frac{\partial P_i}{\partial f_i}\right) \Delta f_i + \left(\frac{\partial P_i}{\partial t_b}\right) \Delta t_b + \left(\frac{\partial P_i}{\partial T_i}\right) \Delta T_i \right\} \quad (1)$$

여기서, $\partial P_i / \partial h_i, \dots$ 은 i STD 의 영향계수, Δh_i 는 i 스탠드의 출측두께 편차, M 은 롤 강성, P 는 압연하중, s 는 roll gap, H 는 스탠드 입측두께, f 는 스탠드 전방장력, t_b 는 후방장력, T 는 압연판 온도를 나타낸다.

3.3.2 비선형모델(절대치계)

비선형 압연모델에서 출측두께를 구하는 방법은 다음과 같다. 즉, 롤갭과 입측두께는 setup 에서 구해지는 값이지만, 출측두께와 압연하중은 미지의 양이므로 임의의 출측두께를 잡아서 압연하중을 계산한뒤 출측두께가 다음의 (2)식을 만족할때까지 Newton Rapson 법을 이용하여 수렴계산을 계속 수행한다. 이 과정을 그림 1 에 요약하였다.

$$|h-h'| < \epsilon \quad (2)$$

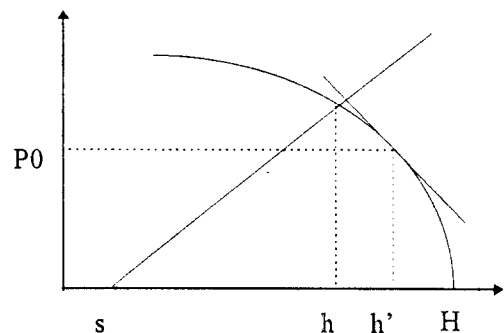


그림 1. 비선형 압연모델을 계산하는 개념도
Fig. 1. Concept figure of Nonlinear Rolling Model

3.4 Actuator Model

본 논문에서 사용한 Actuator Model 은 Gap controller, Speed

Controller, Down Coiler Model, Looper Control Model 등이다.

일반적으로 압연기와 같은 대형 시스템을 시뮬레이션할 때, 모터와 같은 시스템을 1차 지연계로서 단순화시켜 나타내는 경우가 대부분이다. 그러나, 본 논문에서는 Actuator를 1차 지연계로 단순화시키지 않고 상세모델을 이용함으로써 모터에서 발생할 수 있는 여러가지 상황에 맞추어 시뮬레이션 할 수 있을 뿐 아니라 실제 현장에서 작업중인 모터의 성능도 분석할 수 있으며 나아가 모터의 개체 여부까지 시뮬레이션이 가능하게 된다.

현재, Actuator 모델에는 ACR과 ASR 같은 Speed Controller 부분과 Motor의 동역학, Spindle의 torsion 부분, 그리고 Roll과 Gear 부분 등으로 구성되어 있다.

3.5 Master Control

Master Control 모델은 roll speed와 roll gap의 기준치를 결정하는 모델로 구성되어 있다.

여기서 roll speed 기준치는 setup에서 결정되어진 량과 보상량과의 합으로 결정되어진다. 열간압연에서 roll speed 보상량으로 작용하는 량은 Looper와 successive 제어량으로 구성된다. 또한 roll gap 기준치는 setup에서 계산된 량과 AGC(Automatic Gauge Control)에서 피드백 되는 량, 그리고 압연되는 판이 롤에 물리는 순간 롤갭을 보상해 주기 위한 보상량과의 합으로 구성된다.

3.6 Sequence Control

압연에서 시퀀스 제어라고 하면, 롤의 가속시의 제어와 통판(압연기에 판이 물릴때)시의 제어, 그리고 통판시의 AGC, Looper, sensor 등의 on/off timing 등을 결정하는 로직으로 구성된다.

3.7 AGC Model

현재 POSCO의 열연공장에서 쓰는 두께제어방식은 Roll force AGC, Monitor AGC 등이 있다.

Roll force AGC는 각 스탠드의 실제 압연하중을 Load cell을 이용하여 검출한다음, setup에서 설정해준 설정치와의 차이를 (3)식을 이용하여 제어하는 방식이다.

Monitor AGC는 압연기 출측에 설치된 X-ray를 이용하여 실제의 출측두께를 측정하여 setup에서 설정한 설정값과의

오차를 (4)식을 이용하여 제어하는 방식이다.

$$\Delta S_{RF} = -\frac{\alpha}{M} \Delta P \quad (3)$$

$$\Delta S_{Mon} = -\left(K_P + \frac{K_I}{s}\right) \frac{M + (1-\alpha)Q}{M} \Delta h \quad (4)$$

여기서 ΔS_{RF} 은 Roll Force AGC의 롤갭 피드백값, ΔS_{Mon} 은 Monitor AGC의 롤갭 피드백 값을 나타내며, Q는 영향계수, α 는 제어게인을 나타낸다.

4. Simulation

본 연구에서 개발된 시뮬레이터는 압연공정 전반에 걸친 제반사항들을 시뮬레이션할 수 있는 유용한 Tool이다. 이 시뮬레이터를 이용함으로써 공장의 작업자는 실제 압연하기 전에 일어날 수 있는 여러가지 사항들을 사전에 예방할 수 있고 예측하여 작업할 수 있다. 개발된 시뮬레이터는 Matlab/Simulink로 개발되어 사용자들이 사용하기 쉬운뿐 아니라, 새로운 모드의 개발과 기존의 모드를 수정하고자 할때 여러가지 잇점이 있다. 그림 2에 본 연구에서 개발한 시뮬레이터를 도시하였다.

여기서는 여러가지 시뮬레이션 중에서 Actuator와 AGC의 시뮬레이션을 수행하여 시뮬레이션의 예를 보인다. 시뮬레이션은 포항제철 2열연 공장을 대상으로 하였고 공장의 데이터를 수집하여 시뮬레이션의 입력으로 사용하였다.

그림 3은 가속속 압연 작업시의 출측두께 편차를 나타내는 시뮬레이션 결과이다. 약 4초까지는 가속부이며 여기서는 2단가속을 수행하였다. 2단가속을 수행하는 이유는 롤 속도를 저속에서 고속으로 한꺼번에 높일 경우 롤에 발생하는 영향을 최소화하기 위함이다. 짐작한대로 가속부의 판두께 편차는 심하게 헌팅(hunting)되는 것을 볼 수 있다. 또한 약 9.2초 이후에는 감속부가 시작되며 이때에도 역시 판두께 편차가 심하게 헌팅되는 것을 볼 수 있다. 따라서 열연공정에 있어서 품질을 향상시키기 위해서는 가속속부의 제어가 아주 중요함을 알 수 있다.

그림 4~6은 AGC 시뮬레이션 결과이다. 설계한 AGC는 Roll force AGC와 Monitor AGC이다. 여기서는 제어게인(α)의 선정 기준을 제시한다. 그림 4는 α 가 1.2번 스탠드에 0.6으로 인가되었을때의 시뮬레이션 결과이다. 1번 스탠드의 판두께 편차가 큼을 알 수 있다. 그림 5는 α 가 0.8

의 경우이며 1번 스탠드의 두께편차가 줄었으나 진동이 심함을 알 수 있다. 그림 6은 $\alpha_1=0.8, \alpha_2=0.6$ 으로 인가한 경우이며 이때 판두께 편차도 줄었고 진동도 많이 줄었음을 알 수 있다. 따라서 AGC 시뮬레이션 결과 전단 스탠드에 제어계인 값을 크게 하는 것이 판두께 편차를 줄일 수 있는 방법임을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 열간압연 프로세스를 모사하여 철강 플랜트를 설계하고 제어제를 검토하기 위한 시뮬레이터를 개발하였다. 그리고 직접 현장에서 쓰일 수 있는 여러가지 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그러나, 여기에 실린 시뮬레이션의 종류는 극히 일부이며, 보다 많은 경우에 대한 시뮬레이션이 가능하다. 또한 본 연구와 유사한 시뮬레이터가 POSCO의 다른 공장에서도 개발된다면 현장 조업자가 안정된 조업을 할 수 있는 기반을 제공하리라 사료된다.

참고문헌

- [1] G.F.Bryant, *Automation of tandem mills*, The Iron and Institute, England, 1973.
- [2] V.B.Ginzburg, "Basic Principles of Customized Computer Models for Cold and Hot Strip Mills", *Iron and Steel Engineer*, pp. 21~35, sept. 1985.
- [3] 일본철강협회 공동연구회, *판압연의 이론과 실제*, 일본철강협회, 昭和 58.

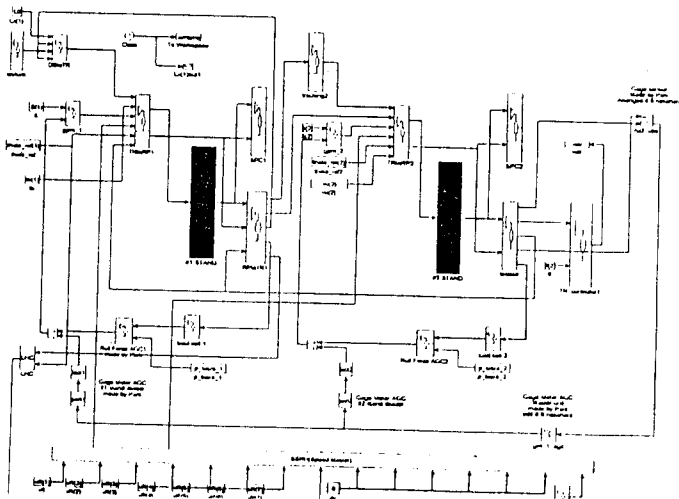


그림 2. 본연구에서 개발한 시뮬레이터
Fig. 2. The developed simulator of this paper

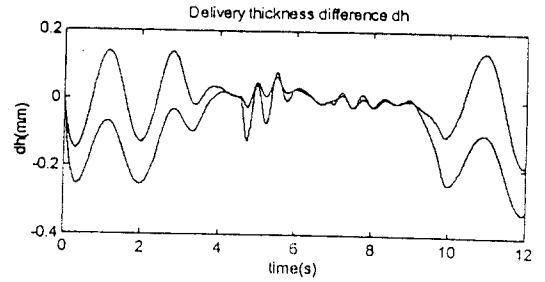


그림 3. 가감속 작업시 출측두께 편차
Fig. 3. Delivery thickness deviation of acceleration and deceleration

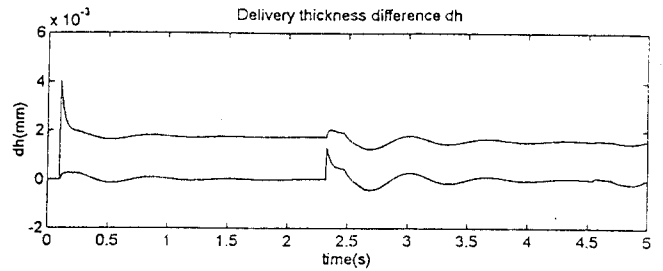


그림 4. AGC 시뮬레이션 결과($\alpha_1=\alpha_2=0.6$)
Fig. 4. AGC simulation result($\alpha_1=\alpha_2=0.6$)

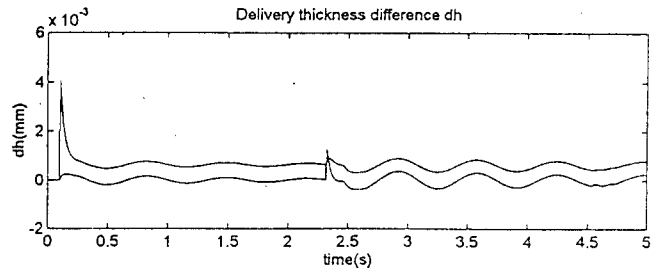


그림 5. AGC 시뮬레이션 결과($\alpha_1=\alpha_2=0.8$)
Fig. 5. AGC simulation result($\alpha_1=\alpha_2=0.8$)

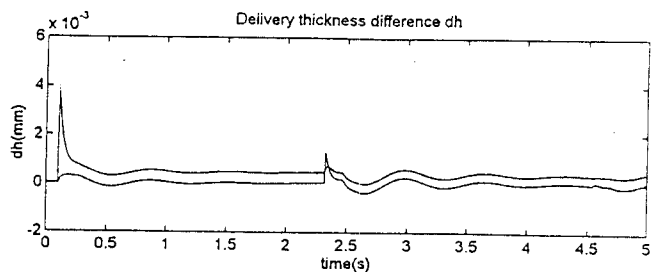


그림 6. AGC 시뮬레이션 결과($\alpha_1=0.8, \alpha_2=0.6$)
Fig. 6. AGC simulation result($\alpha_1=0.8, \alpha_2=0.6$)