

# 가역식 압연기의 센서없는 두께제어

°김용식\*, 김광배\*, 최익\*, 오상록\*, 조영조\*,  
이준수\*, 임미섭\*, 박정민\*, 안현식\*\*, 강일권\*\*\*

- \* 한국과학기술연구원
- \*\* 국민대학교 전자공학과
- \*\*\* 제철전기콘트롤 주식회사

## Sensorless Automatic Gauge Control for a Reversing Rolling Mill

°Eung Seok Kim\*, Kwang Bae Kim\*, Ick Choy\*,  
Sang Rok Oh\*, Young Jo Cho\*, Jun Soo Lee\*,  
Mee Seub Lim\*, Jung Min Park\*, Hyun Sik Ahn\*\*, Il Kwon Kang\*\*\*

- \* Korea Institute of Science and Technology
- \*\* Dept. of Eletronics Eng., Kukmin University
- \*\*\* POSCON

### Abstract

The design problem of the AGC (Automatic Gauge Control) without a gauge-meter and a load-cell for a reversing rolling mill will be considered in this paper. The proposed controller in this paper is designed using only the linearly approximated relationships between a roll gab, a metal thickness and a pressing force. The data transfer delaying can be released by using these relationships. To show the validity of the proposed control method, the results of the computer simulation and the mathematical analysis will be presented in this paper.

센서의 정밀도에 관한 문제는 두께계 (gauge-meter) 의 mill 근접화를 통해 해결하려 하고 있다. 그런데 앞으로의 제어 기술의 발전 방향은 model-based control 에서 sensor-based control 로 바뀌어서 direct feedback, feedforward 제어기술 개발이 주류가 될 것이므로, 센서의 정밀도 향상이 가장 중요한 문제라 할 수 있다. 그러나 압연 공정에서는 재료가 압연되는 시점에서의 두께를 직접 측정하기가 매우 어려우므로 두께 측정과 병행해서 그 시점에서 발생하는 압연하중을 측정해서 선형 근사화된 수식을 통해 두께 계산치를 제어입력의 구성시에 이용하고 있다. 따라서 이들 방법은 측정치의 오차 및 측정치를 제어기로 전달하는데 따른 시간지연 등으로 정밀도에 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 두께계 및 압연 하중계를 사용하지 않고 압연 roll 의 공극과 재료의 두께 및 압연 하중과의 선형 근사적인 관계를 통해 측정치가 아닌 계산치를 이용해 측정오차 및 측정치의 전달지연 문제를 해결한 제어기법을 개발하고 그 타당성을 수학적인 검증 및 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하고자 한다.

### 1. 서론

열간 및 냉간 압연에서 두께 제어의 정밀도 향상 문제는 센서의 정밀도, 제어시스템의 고속, 고응답성, 액츄에이터의 속응성 등의 향상 문제로 생각할 수 있다. 이제까지의 압연 공정에서는 이들 세가지 요인 중에서 액츄에이터의 속응성 문제는 전동식 압하를 유압식으로 대체함으로써 어느정도 해결하고 있으며, 제어시스템의 고속, 고응답성 문제는 PLC 레벨의 제어기에서 DDC 및 MFC 의 디지털 컴퓨터 제어를 개발하므로써 해결방향을 모색하고 있다.

### 2. 기존의 AGC 시스템

종래의 AGC 방식에는 여러가지 방식이 있으나, 본 논문에서는 다음의 두가지 방식만 간단히 소개하기로 한다.

#### 2.1 Gauge-meter AGC

Gauge-meter AGC 는 gauge-meter 식을 기본으로 하는 판두께 편차량,  $\Delta h_p$ 를 폐환시켜 비례제어 (P-control) 로서 판두께를 제어하는 방식이다. 그림 1의 점선 부분이

이러한 AGC 에 대한 간략한 블럭선도이다. 이 AGC 에서 쓰이는 gauge-meter 식은 다음과 같다.

$$\Delta h_g = k \frac{P - P_0}{M_c} + (S - S_0) \quad (1)$$

여기서, P 는 압연하중, S 는 roll gab, M<sub>c</sub> 는 mill 정수 (탄성계수), k 는 mill 정수의 오차를 보상해 주기 위한 매개변수이며, P<sub>0</sub> 와 S<sub>0</sub> 는 각각 기준 압연하중, 기준 roll gab 이다.

## 2.2 절대치 AGC

이 방식은 앞에서 언급한 gauge-meter AGC 에 발생하는 두께 offset 를 제어하기 위해 절대 판두께를 추정해서 그 추정치와 목표치와의 편차를 적분제어로서 보상하는 방식이다. 즉, 절대 판두께를 다음의 gauge-meter 판두께 식으로 계산하고,

$$h_a = \frac{P}{M_c} + S \quad (2)$$

목표 판두께 h<sub>0</sub> 와의 편차

$$\Delta h_a = h_a - h_0 \quad (3)$$

를 압하계에 부궤환 시켜주는 방식이다.

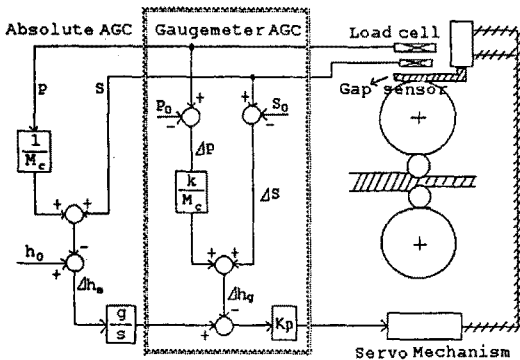


Fig 1. Schematic Diagram of a AGC system.

그림 1. AGC 시스템의 개략도

## 3. 센서없는 AGC

앞에서 간단히 언급한 AGC 를 비롯한 기존의 AGC 방식들은 모두 roll gab, 판두께, 압연하중 등의 측정치를 사용해서 제어를 구성하고 있다. 그런데 이들 방식은 모두 측정치에 대한 측정오차 및 전달지연으로 인한 오차가 남는 단점을 갖고있다. 따라서 이 절에서는 압연하중 및 판두께의 측정치를 이용하지 않고 단지 roll gab 만을 측정해서 이들 세가지 변수들의 선형적인 관계들을 이용하여 제어를 구성하도록 한다.

판 두께제어의 기본이 되는 식은 mill 에서 발생하는 힘에 관한 식과 압연 재료가 받는 힘에 관한 식으로 볼 수 있으며, 이를 탄성 방정식과 소성 방정식으로 나타내고 있다. 탄성 방정식은 다음과 같이

$$P = M_c(h - S_0) \quad (4)$$

$$h = \frac{P}{M_c} + S_0 \quad (5)$$

쓸 수 있다. 여기서 h 는 출측 판두께, S<sub>0</sub> 는 초기 roll gab, P 는 압연하중이고 M<sub>c</sub> 는 mill 정수 (탄성계수) 이다. 이에 대응하는 소성 방정식은 다음과 같다.

$$\Delta P = -\frac{\partial P}{\partial h} \quad (6)$$

$$Q = -\frac{\partial P}{\partial h} \quad (7)$$

여기서 Q 는 소성계수이다. 위와 같은 탄성과 소성간의 상관관계를 그림 2 에 나타내었다.

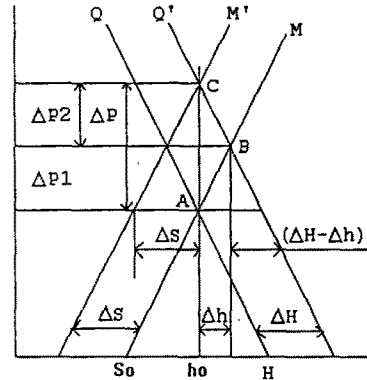


Fig. 2. Relationship between the roll gab, gauge and force.

그림 2. Roll gab, 판두께 및 압연하중간의 상호관계

위 그림에서 ΔH 와 Δh 는 각각 입측 판두께 변동 및 출측 판두께 변동이며, ΔS 는 roll gab 변동, ΔP 는 압연하중의 변동이다. 각 변수들 간에는 다음 관계가 있다.

$$\Delta h = \frac{M}{M+Q} \Delta S \quad (8)$$

$$= \frac{Q}{M+Q} \Delta H. \quad (9)$$

위의 수식으로 부터 roll gab 을 조절해서 출측 판두께를 조절할 수 있음을 알수있다. 압연 특성은 아래와 같다.

Gauge-meter 식 :

$$h = \frac{P}{M} + S \quad (10)$$

하중식 :

$$P = -\frac{MQ}{M+Q} S + \frac{M \partial P / \partial H}{M+Q} H \quad (11)$$

여기서  $\partial P / \partial H = Q$ 로 하여도 무방하다[2].

위 식에서 M, Q 는 사전에 알수있는 파라미터로 간주할 수 있으므로, 만일 입측 판두께 H 를 알 수 있다면 roll gab S 에 대한 측정치 만을 이용해서 압연하중 P 를 식 (11) 로 부터 구할 수 있고 그에 따라 식 (10)으로

부터 출측 판두께  $h$  또한 구할 수 있게 된다. 그런데 roll gab 변동  $\Delta S$  와 입측 판두께 변동  $\Delta H$ 는 식(8)과 식(9)로부터 다음과 같은 관계가 만족된다.

$$\Delta H = \frac{M}{Q} \Delta S \quad (12)$$

따라서 위 식으로 부터 입측두께  $H$  는

$$H = H_0 + \Delta H \quad (13)$$

의 관계식으로 부터 구할 수 있다. 이 식을 식(11)에 대입하면 roll gab  $S$  만 측정해서 압연하중  $P$  를 구할 수 있고 식(10)으로부터 출측 판두께  $h$  또한 얻을 수 있다. 결국 압연하중의 측정 및 판두께의 측정 없이도 앞의 2절에서 간단히 소개한 기존의 AGC를 구성할 수 있게 된다. 본 논문에서 제안한 AGC 시스템은 다음과 같다.

압연모델 :

$$P = \frac{MQ}{M+Q} (H-S) \quad (14)$$

$$h = \frac{P}{M} + S \quad (15)$$

위의 압연모델에 대한 제어기는 비례 제어기를 기본 구조로 하였다.

$$S = G_v(s)u \quad (16)$$

$$u = K_p(S_r - S) \quad (17)$$

$$S_r = h_0 - h_c = h_0 - (S + \frac{P_c}{M_c}) \quad (18)$$

여기서  $M_c$ ,  $P_c$ ,  $h_c$  는 각각 탄성계수, 압연하중, 출측 판두께들의 계산치이며,  $h_0$ 는 기준 판두께,  $K_p$ 는 비례이득이다.  $G_v(s)$ 는 screw-down 서보기구로서 여러가지 방식이 있지만, 본 논문에서는 전동식 압하장치만 다루기로 한다.

위의 식(17)의 제어입력이 전동식 압하장치에 가해지면서 roll gab  $S$  가 제어되고, 그에따라 판두께  $h$  가 제어될 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 시뮬레이션 결과

이 절에서는 이제까지 제시한 방식에 대한 시뮬레이션 결과를 제시하기로 한다. 압연의 기준상태는 입측 판두께 20(mm), 목표 판두께 15(mm), 압연횟수는 1, mill 정수(탄성계수) 6(KN/mm), 비례 제어기 이득  $K_p$  는 10으로 했으며, 계산치에 대한 오차는 실제값의 20[%]로 하였다. 본 논문에서 제시한 방법과의 비교 대상으로는 gauge meter AGC로 하였다. 아래의 그림 3은 출측 판두께 편차를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 계산치의 오차가 실제값의 20[%] 인 경우에도 실측치를 그대로 사용하는 경우보다 두께편차가 적음을 알 수 있다. 그림 4는 실제 발생하는 압연하중과 본 논문에서 제시한 방법으로 부터 계산해서 구한 계산치오차이다. 실제값에 대해서 편차가 적음을 알 수 있다.

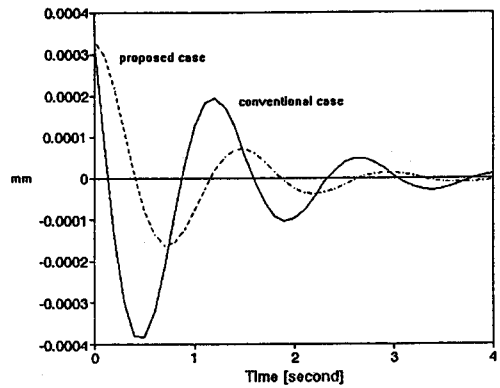


Fig. 3. The output gauge error.

그림 3. 출측 판두께 편차.

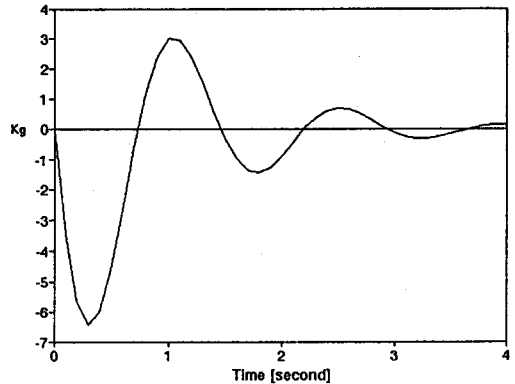


Fig. 4. The calculated value of pressing force error.

그림 4. 압연하중 계산치 오차.

윗 그림으로부터 압연하중의 계산오차가 실제 압연하중에 대해 상대적으로 적음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 가역식 압연기의 두께 제어를 압연하중 및 판두께 측정기없이 각 변수들 간의 선형관계를 통해 계산치를 이용하는 두께 제어방식을 제안하였다. 제안한 방법의 실제 적용 가능성을 기존의 gauge meter 방식 AGC 와 시뮬레이션 결과를 비교함으로써 알아 보았다. 비록 가역식 압연기에 대해서만 제안했지만 좀더 정확한 수학적 모델을 얻어낼 수 있다면, 다단 스탠드로 구성된 사상 압연기에도 확장 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] I. Hoshino, et al, "Observer-based Multivariable Control of the Aluminum Cold Tandem Mill," 10th IFAC World Congress, Vol.2, pp.138-143, 1987.
- [2] A. Kitamura, et al, "Multivariable Thickness Control System for Tandem Cold Mills based on Decentralized Technique," Trans. ISCIE, Vol.4, No.4, pp.140-154, 1991
- [3] RIST, 철강기술, RIST press, Vol.3, 1992.
- [4] POSCON, 자동제어정비, POSCON press, 1992.