

Adaptive Mass Flow Method 유압압하식 자동 두께제어 장치에 관한 연구

윤 순 현* · 김 문 경**

A Study on the Hydraulic Automatic Gauge Control System
of Adaptive Mass Flow Method

S. H. Yoon · M. K. Kim

Key words : Front tension(전방장력), Back tension(후방장력), Hydraulic automatic gauge control system(유압압하식 자동 두께 제어장치), Gauge deviation(두께편차), Electric screw down automatic gauge control system(자동 압하식 자동 두께 제어장치)

Abstract

This test was performed on the hydraulic automatic gauge control(AGC) system of adaptive mass flow method. Fundamental purpose of this study are performance evaluation of this AGC system under the actual rolling condition. It was concluded that the response of AGC system depends on the dynamic characteristics of a reel motor current control in either case of controlling work roll motor or roll position. The test results are as follows : 1) The control method of reel motor current is better than that of the roll position at AGC system. 2) The more steel strip thickness of delivery side is thick, the larger the gauge deviation is large, and the more it is thin, the larger the gauge deviation rate is large. 3) Because the gauge deviation is larger at acceleration and deceleration speed than steady speed, so AGC system is better to adopt over 50m/min.

By applying this AGC system, not only the accuracy in strip thickness were improved but also productivity was improved dramatically.

1. 서 론

최근 정밀한 강판 두께 가공을 저렴한 비용으로

생산하는 것이 큰 과제로 대두되고 있으며, 이와 같은 냉연제품의 주요 수요처는 자동차와 가전제품이 주종을 이루고 있다. 특히 자동차 소재용 강

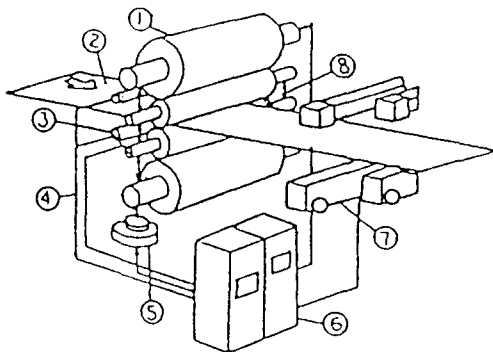
* 정회원, 부산대학교 기계설계공학과, 기계기술연구소
** 정회원, 부산대학교 대학원 기계설계공학과

판은 고장력강의 개발과 함께 두께가 현저하게 얇아지고 있으므로 두께편차를 감소시켜 최종 제품의 성형가공시 금형의 파손이나 가공 제품의 표면에 균열이 발생되지 않게 해야한다. 따라서 냉연강판의 두께 정밀도를 향상시키기 위하여 자동 두께제어 장치(Automatic gauge control system)의 개발에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.^{1~3)}

이와 같은 현상은 철강 선진국인 미국, 일본 그리고 독일에서 시작되어 이 분야에 많은 연구가 진행되어 왔지만, 국내에서는 아직도 연구실적이 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 실제 현장에서 사용중인 압연기에서 자동 두께제어 장치의 특성과 출측 두께와 압연속도의 변화에 따른 두께 변화를 비교하고, 가감속시 장력변화가 강판의 두께변화에 미치는 영향을 조사하였다. 그리고 동일한 재료를 사용하여 압연 Pass수에 따른 두께제어 효과에 미치는 영향 등을 조사하여 실제 현장의 냉간압연 가공조건 설정에 적용이 가능토록 하였다.

2. 유압압하식 두께제어의 기본원리

유압 압하방식의 자동두께제어 장치가 설치된 냉간 압연기는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 강판의 상하부에 작업롤과 보강롤이 있고, 작업롤의 간격을 조정하기 위한 유압장치와 두께측정장치가 입



- ① Back up roll
- ② Strip
- ③ Work roll
- ④ Coolant sprayer
- ⑤ Cylinder
- ⑥ Control panel
- ⑦ X - ray gauge meter
- ⑧ Roll bender

Fig. 1 Schematic diagram of the cold rolling mill

출측에 설치되어 있다. 본 실험에 사용된 유압 압하방식의 두께제어 원리는 Fig. 2에서와 같다. 여기서 강판의 입측 두께를 H_1 , 무부하시의 롤 간격을 S_1 , 이때의 압연하중을 P_1 이라고 하면 출측 강판의 두께는 h_1 이 된다. 이때 입측 강판 두께가 H_2 로 변하면 출측 강판의 두께도 h_2 로 변하게 되어 압연하중은 P_2 가 된다. 만약 입측 강판 두께가 H_2 로 변할 때 롤 간격을 S_2 로 변화시켜도 구하고자 하는 출측 두께 h_1 을 그림에서 보는 바와 같이 얻기가 어렵고 a_2 와 b_2 가 만나는 점의 값이 되므로 일정량의 보상이 필요하게 된다. 따라서 Mill강성계수를 等價的으로 나타내면 d 와 같이 나타낼 수가 있으므로 이 값을 보정계수로 사용한다. Fig. 2의 동작순서를 계통도로 나타낸 Fig. 3은 Adaptive mass flow 방식의 유압압하식 자동 두께제어 과정을 나타낸 것으로 강판이 압연기의 롤 바이트를 통과할 때 Relay를 열면 압연하중을 기억하고 강판의 나머지 부분에 대하여는 롤 간격을 조정하여 출측 두께를 일정하게 제어한다. 그리고 PI제어는 통상 비례 및 적분제어를 말하며 그 다음의 유압밸브는 1차적으로 실린더의 동작을 지연시키기

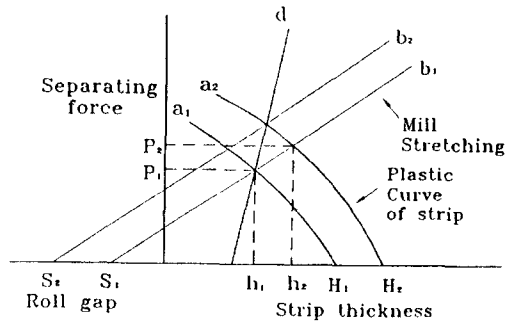


Fig. 2 Principle of gauge meter AGC system

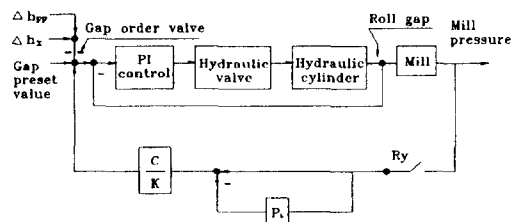


Fig. 3 Block diagram of gauge meter AGC system

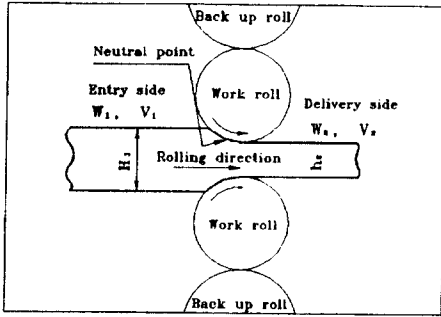


Fig. 4 Principle for AGC system of adaptive mass flow type.

도 하지만, 동작에 필요한 근사치에 가까운 값을 가지게 된다. Fig. 3에 나타난 기본 연산부를 아날로그 회로로 하는 경우도 있지만, 기본 연산부와 전체 제어계는 Process 컴퓨터와 Programmable controller로 구성 시켰다.

Fig. 4는 Adaptive mass flow 방식에 의한 두께 제어 원리를 나타낸 것으로 롤 바이트를 중심으로 입측의 강판두께와 속도를 H_1, V_1 , 출측의 두께와 속도를 h_2, V_2 라고 하고 압연기의 모터 회전수를 N 이라고 하면 압연기의 입측속도를 구하는 공식은 식(1)과 같다. 단, 여기서 D 는 작업물의 직경이고 작업물에 대한 전방 슬립계수는 무시하였다.

$$V_1 = \frac{N \cdot \pi \cdot D \cdot h_2}{H_1} \quad (1)$$

상기 식(1)에서 입측과 출측의 질량을 구하는 식은 식(2)와 같다.

$$H_1 \cdot V_1 \cdot W_1 \cdot \gamma = h_2 \cdot V_2 \cdot W_2 \cdot \gamma \quad (2)$$

여기서 입, 출측의 두께는 $W_{1,2}$, γ 는 강판의 비중량 이므로 식(1)에서 강판의 폭과 비중이 일정하다고 보면 출측두께를 구하는 공식은 식(3)과 같다.

$$h_2 = \frac{H_1 \cdot V_1}{V_2} \quad (3)$$

식(3)에서 구해진 출측두께가 Setting한 값보다 작거나 크게되면 보강롤 하부에 설치된 유압실린더가 작업물의 간극을 변화시켜 원하는 두께로 강판을 가공하게 된다. 이와 같은 두께제어방법을 Adaptive mass flow방법이라고 한다.

3. 실험장치 및 방법

1) 실험재료

본 실험에 사용한 재료는 냉간 압연 가공에 많이 사용되는 SAE 1008이며, 그 화학성분은 Table. 1과 같고, 기계적 성질은 Table. 2와 같다. 그리고 실험재료는 냉간 압연 가공후 전해탈지를 한 코일이며, 두께는 1.0mm이고 폭은 1,21mm인 코일을 사용하였다.

2) 실험장치와 방법

본 실험에 사용된 냉간 압연기는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 왕복으로 압연가공이 가능한 가역 압연기이며 한 개의 스탠드로 구성되어 있다. 냉연강판 가공시 두께의 품질을 결정하는 가장 중요한 자동 두께제어 장치의 개략도는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 입출측 X-선 두께 측정 장치와 롤 간격을 결정하는 유압 실린더가 있고 두께가 일정하게 유지되도록 연산하고 지령하는 기능을 가지고 있는 컴퓨터로 구성되어 있다.* Table 3은 압연기의 제원을 나타낸 것이다.

냉연강판의 가공은 열간 압연된 열연강판의 酸化層을 염산으로 씻어서 제거하고 냉간 압연기에서 압연을 한 후, 냉간압연시 생성되어 판 면에 부

Table 1 Chemical compositions of specimen (wt.%)

Material	C	Si	Mn	Al	Cu
SAE 1008	0.05	0.009	0.25	0.010	0.010

Table 2 Mechanical properties of specimen.

Material	Tensile strength(N/mm ²)	Yield strength(N/mm ²)	Hardness(HRB)	Elongation(%)
SAE 1008	710.00	640.80	85.90	42.0

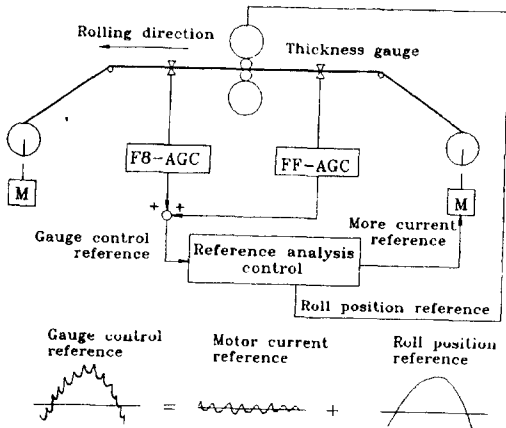


Fig. 5 Schematic diagram of the AGC system

Table 3 Cold rolling conditions for experiment

Mill type	4 Hi reversing mill
Line speed	800m/min. (max.)
Work roll dia.	450(mm)
Back up roll dia	1,360(mm)
Separating force	1,300Ton

착된 Scum을 전해청정방법을 사용하여 제거하고, 냉간 압연 가공에서 발생된 응력 제거와 적절한 기계적 성질을 냉연강판에 부여하는 풀림 처리를 한다. 그리고 조질 압연 가공 후에 냉연강판의 단위 중량을 조절하고 방청유를 도포(塗布)하는 도유(塗油)과정을 거치게 된다.⁵⁾

본 실험에서는 냉간 압연 가공시 압연롤의 입측과 출측에 X선 두께 측정기를 설치하고 그 결과를 기록하여 비교하고 전체 코일의 편차정도를 별도 컴퓨터를 이용하여 데이터를 분류하였다.

4. 실험결과 및 고찰

1) 자동 두께제어 장치에 의한 두께 교정효과

강판의 두께제어를 컴퓨터에 의하여 자동으로 제어하는 경우와 작업자가 계기에 나타난 수치를 보고 판단하고 조작하는 수동제어의 경우를 비교하면 Fig. 6에서 보는 바와 같이 제품의 두께편차

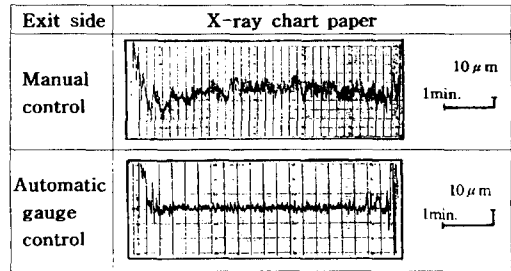


Fig. 6 Variation of gauge deviation for exit strip on the gauge control method (Strip thickness : 1.0mm, Width : 1219mm, Reduction ratio : 69.23%)

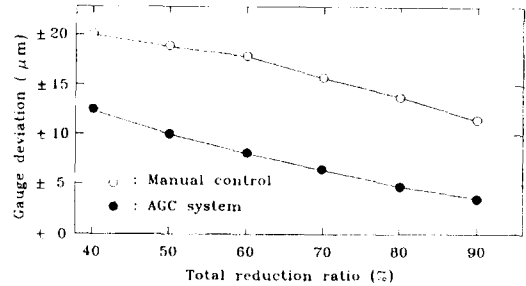


Fig. 7 Variation of gauge deviation on the total reduction ratio. (Hot coil thickness : 3.25mm, Mill speed : 800m/min.)

가 큼을 알 수 있다. 수동 두께제어에서 두께편차가 정상속도 부분에서는 (+) 20 μ m, (-) 15 μ m 정도로 안정되어 있지만 마지막 부분인 감속부분에서는 최대값이 (+) 40 μ m, 최저값이 (-) 20 μ m 정도로 되어짐을 볼 수 있다. 이와 같이 속도변화가 큰 가감속 부분에서 두께 편차가 큰 것은 롤 구동용 전동기의 부하보다는 전방장력과 후방장력의 변화가 심하기 때문인⁶⁻⁷⁾ 것으로 생각된다. 그러나 자동 두께제어 장치를 사용할 경우 수동제어와는 달리 중심선을 크게 벗어나지 않고 상하 대칭의 형태를 나타내며 그 값도 최대값이 (+) 8 μ m, 최저값이 (-) 6 μ m 정도로 나타나 매우 정도가 높다는 것을 알 수 있다. 따라서 수동제어보다 2.5 배정도 두께 교정효과가 우수하게 나타났으며 중심선을 기준으로 대칭된 모양으로 나타나 전체적으로 강판의 두께가 매우 균일함을 알 수 있다. 두께가 3.25mm인 원재료를 사용하여 압연가공을 할 경

우 Fig. 7에서 보는 바와 같이 압하율이 큰 박판으로 갈수록 두께편차량이 감소되고, 수동의 경우가 $8\mu\text{m}$ 정도 자동제어보다 큼을 알 수 있다. 여기서 압하율이 작은 후판일수록 두께편차량이 크게 되는 것은 두께제어를 위한 유압실린더의 행정이 크기 때문에 실린더의 동작에 필요한 작동유의 공급과 배출량이 많아져 응답시간이 지연되기 때문인 것으로 판단된다.

2) 출측두께와 가속속에 따른 두께편차의 변화

Fig. 8은 두께변화에 따른 두께편차를 비교한 것으로, Fig. 7에서 두께가 얇을수록 출측두께의 편차량이 작고 후판일 수록 크게 나타지만, 출측 두께에 대한 편차량을 %로 환산한 편차율로 환산하면 박판의 경우가 더 크게되어 편차량과 울은 반대가 됨을 알 수 있다. 가장 두꺼운 1.2mm인 경우는 편차가 $\pm 9\mu\text{m}$ 로써 약 $\pm 0.75\%$ 정도의 편차율이 발생되었고, 가장 박판인 0.3mm인 경우는 $\pm 6\mu\text{m}$ 의 편차가 발생되어 편차율이 $\pm 2.0\%$ 로 됨을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 두께가 두꺼울 수록 ΔS 와 ΔH 의 값이 크게 되어 유압 실린더의 행정이크게되므로 실린더에 공급되는 작동유의 공급과 배출 시간이 많이 소요되고, 압하력 ΔP 도 증가되기 때문에 응답성이 떨어져 두께 편차량이 크게 되는 것으로 판단된다.

압연가공에서 압연유의 유막이 출측 두께변화에 미치는 영향은 가속시에는 순간적으로 유막이

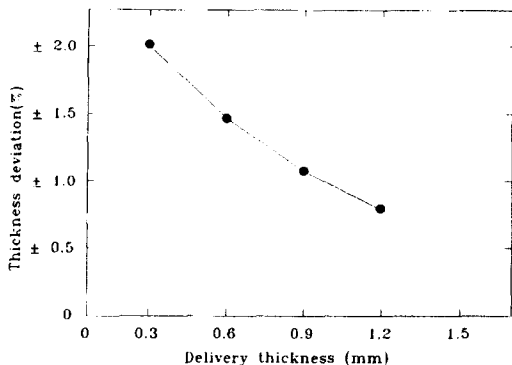


Fig. 8 Variation of gauge deviation rate on the final product thickness

형성되지 않아 압하력이 많이 소요되고 입측과 출측의 장력도 많이 작용하기 때문에 물의 간극이 일정해도 실제 출측두께는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 목표치 보다 얇게 된다. 그러나 감속시에는 반대로 압연속도에 따른 유막두께의 감소로 인하여 강판의 두께가 순간적으로 두껍게 나타나지만 자동 두께 제어장치에 의한 Reel의 장력보상이 이루어져 목표치에 근접하게 된다고 생각된다. 이와 같이 두께 변화에 큰 영향을 미치는 장력의 변화는 Fig. 10에서 보는바와 같이 가속시에는 입측의 후방장력이 작고 출측의 전방장력이 많이 작용하지만, 감속시에는 후방장력이 급격하게 상승되었다가 다시 정상으로 돌아오고 전방장력은 가속시와는 반대의 경향을 나타내기 때문인 것으로 생각된다. 자동 두께제어 이론식인 식(2)에서는 강판의 폭 변화가 없는 것으로 가정하였지만, 실제 가속시 판에 작용하는 장력이 압연속도의 따라 변하므로 폭의 변화도 발생되어 식(3)에서 출측두께의 변화가 크게 되었다고 판단된다. 특히 가속초기에 두께가 얇게되는 현상은 압연가공 초기의 압하력과 압연속도와의 관계를 나타낸 Fig. 9에서 보는 바와 같이 가장 많은 압하력이 필요하고* Fig. 10에서와 같이 전방장력이 크기 때문이다. 따라서 유압실린더의 응답성은 일정한 장력과 유막두께에서는 우수한 효과를 나타내므로 Adaptive mass flow 방식의 자동 두께제어 장치에서는 유막과 장력사이에 윤활마찰이 시작되는 50m/min 이상의 속도에서 동작시키는 것이 좋다고 판단된다¹¹⁾.

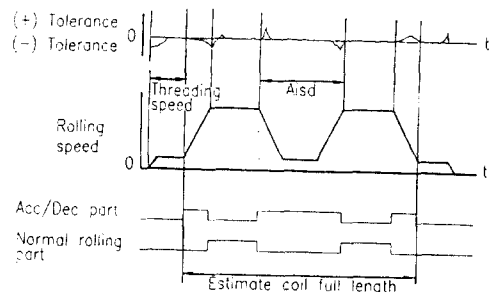


Fig. 9 Relationship between gauge deviation and rolling speed

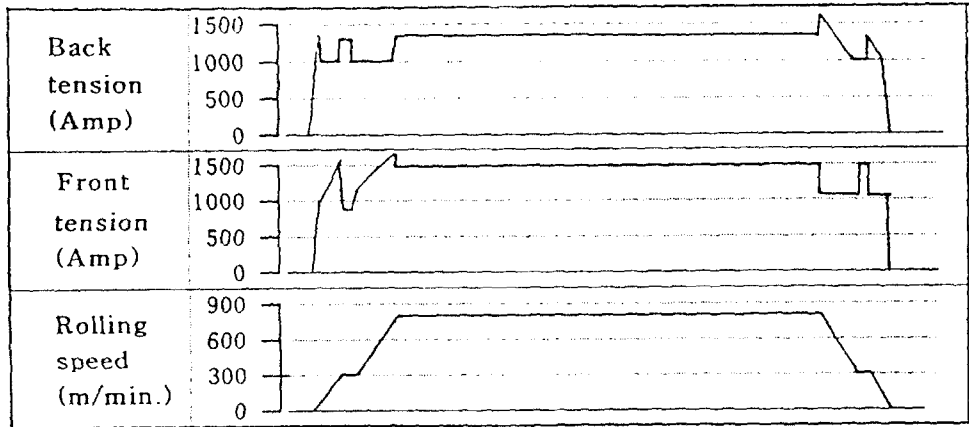


Fig. 10 Variation of reel current on the cold rolling speed.

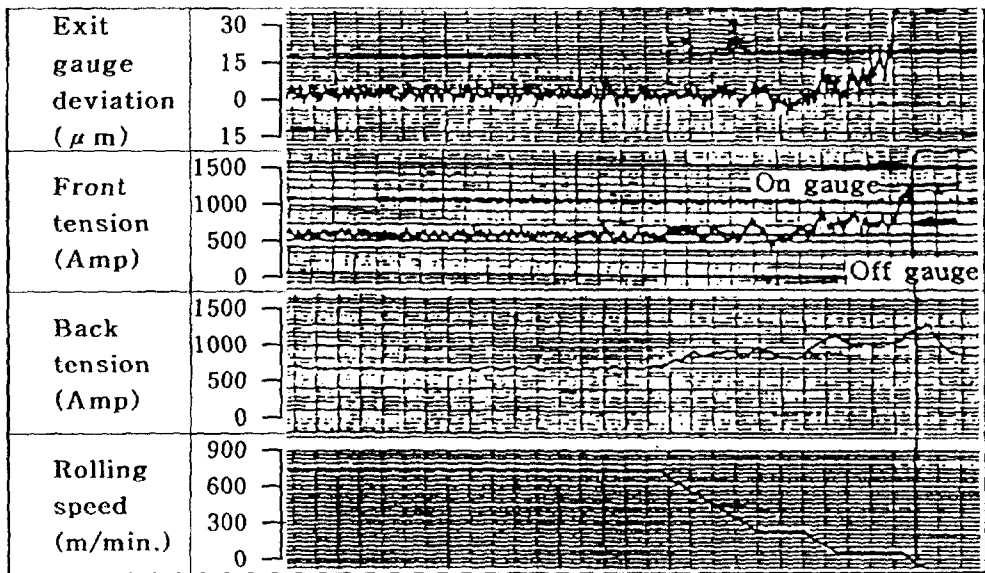


Fig. 11 Relationship between exit gauge deviation and back tension

(5th pass, Entry gauge : 0.355mm, Exit gauge : 0.25mm Reduction ratio : 29.6%, Total length : 9,079m)

3) 후방장력에 따른 두께편차의 변화

Fig. 11은 실제 냉간 압연 가공중에 측정한 값으로 냉간압연 가공에서 가장 중요한 두께가 후방장력에 따라 변하는 현상을 압연 가공속도와 비교한 것으로 입측 두께의 변화가 출측 두께의 변화에 많은 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 그리고 압연속도가 감소되는 부분에서도 두께의 편차가 크게 되는 것은 후방장력도 증가되고 전방장력이 감소되

어 작업을 바이트의 중립점이 입측으로 이동하면서 출측 두께가 두껍게 변하게 된 것으로 판단된다. 후방장력이 클 수록 작업물의 원주 속도와 강판의 속도가 일치되는 중립점이 작업물 바이트의 압연방향으로 진행되므로 지나치게 후방장력이 클 경우에는 롤 바이트를 벗어나게 된다. 그러나 반대로 너무 작으면 중립점이 뒤로 빠져나가게 되어 압연기에 진동이 심하게 발생되고 판면에 채터링 흔적이 남게 되어 두께의 제어가 어렵게 된다.⁹⁾ 따라

서 냉간 압연에서 자동 두께 제어시에는 후방장력과 일정한 압연속도가 가장 중요함을 알 수 있다.

5. 결 론

강판의 두께제어에서 자동제어를 할 경우, 가감속부분의 Off-gauge 감소가 가능하고 안정된 압연속도를 얻을 수가 있으므로 냉간압연 가공에서 가장 중요한 일정한 두께의 강판 가공이 가능하다. 본 연구에서는 이와 같이 유압압하식 자동두께 제어장치를 실제 현장에서 사용중인 압연기에 적용하여 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 냉간압연 가공에서 두께편차량은 유압압하식 자동 두께제어가 수동 두께제어 보다 약 2배정도 작게 나타났다.

2) Adaptive mass flow 유압 압하식 자동 두께 제어에서 강판의 두께가 두꺼울수록 두께 편차량이 크게된다.

3) 자동 두께제어 장치는 장력이 유지되고 유막이 형성되는 압연속도 50m/min. 이상에서 적용하는 것이 적당하고, Off-gauge를 감소시키기 위하여 가감속시간을 최소화하여야 한다.

4) 감속시에 순간적으로 후방장력이 크게되면 작업롤의 중립점이 입측으로 이동하게되어 강판의 두께가 두꺼워지지만, 가속시는 반대현상이 나타난다.

참고문헌

1) V. N. Vydrin, V. G. Dukmasov, d. a. Platonov, P. I.

Gurkalov, "Hydraulic automatic gauge control system for 800 strip mill", pp. 118 - 119, 1981.

2) Katsuya Kondo, kanji yoshida, Kenji Morita, "Development of a new AGC system for a tandem cold mill", Iron and Steel Engineer, june, pp. 43 - 48, 1981.

3) Katsuya Kondo, yoshisuke Misaki, Masaki Okamoto, Yasuno Matsumori, Toshimitsu Miyagi, "A new automatic gauge control system for a reversing cold mill", Technical report, Transactions ISIJ, vol. 28, pp. 507 - 513, 1988.

4) 松宮克行, 西森邦彦, 中山忠雄, 下村雅一, "定間隙 AGC 시스템과 FF-AGC 시스템", R&D 神戶製鋼技報, vol. 33, no. 2, pp. 56 - 59, 1983.

5) 전연찬, 김순경, "냉간압연가공시 Work roll 마멸과 판면조도에 관한 연구" 한국정밀공학회지, 제8권, 제4호, p. 2, 1991.

6) 岡本豊彦, "壓延理論と變形抵抗", 第2章, 鐵鋼技術共同研究會編, 誠文堂新光社, 1960.

7) 井浦輝生, 福山 敏, "板壓延の理論と實際", 日本鐵鋼協會, pp 201 - 220, 1983.

8) 전연찬, 김순경, 김문경, "냉간압연가공시 압연재료와 Work roll 마멸에 관한 연구" 한국정밀공학회지, 제10권, 제4호, pp. 128 - 129, 1993.

9) 吉識忠繼, 田中英八郎, "壓延板の形狀とロールの形狀の關連", 鐵と鋼, 第6號, pp. 33 - 53, 1972.

10) 北村章, "冷延加減速時におけるAGCのケインの最適化", 鐵と鋼, 第15號, pp. 276 - 285, 1981.

11) 김순경, "냉연 강판 가공용 작업롤의 조도가공 특성과 판면조도 변화에 관한 연구", 동아대학교 박사학위 논문, 1994.