

## 유압압하식 자동두께제어장치의 특성에 관한 연구

김순경\*, 전언찬\*\*, 김문경\*\*\*

### A Study on the Characteristics of Hydraulic Automatic Gauge Control System for a Reversing Cold Mill

Soon Kyung Kim,\* Eon Chan Jeon,\*\* Moon Kyung Kim\*\*\*

#### ABSTRACT

Recently, the necessity for more accurate automatic gauge control has increased of customers' requirement for cold rolled steel sheets with thinner gauge and better gauge quality. Therefore, many cold rolling mills replaced its electric screw down automatic gauge control system with a new hydraulic automatic gauge control system, to ensure closer gauge tolerance.

In this paper, The performance of a hydraulic automatic gauge control system for cold rolling has been investigated under industrial conditions. It was investigated that variation of gauge deviation according to the final products thickness, cold rolling speed and pass number, in the actual rolling mill. As a result, it was found that the system enables strip thickness variation to be reduced substantially and caused by poor gauge deviation have been drastically decreased.

The test results are as following.

The more the exit steel strip thickness is thick, the smaller the gauge deviation rate is large, and the more it is thin, the larger the gauge deviation rate is large.

Because the gauge deviation is larger at acceleration speed and deceleration speed than steady speed, so automatic gauge control system is better to adopt over 50 m/min. automatic gauge control system reduces rapidly large thickness deviation.

**Key Words :** Cold rolling(냉간압연), Hydraulic automatic gauge control system (유압압하식 자동두께제어장치),  
Gauge deviation (두께편차), Electric screw down automatic gauge control system (전동압하식  
자동두께제어장치)

\* 동의전문대학 자동차과

\*\* 동아대학교 기계공학과

\*\*\* 부산대학교 기계설계공학과

## 1. 서 론

최근 냉연제품의 주요 수요처는 자동차와 가전제품이지만 건축 자재용으로도 많이 사용되고 있다. 특히 자동차 용 강판은 고장력강의 개발과 함께 두께가 현저하게 얇아지고 있으며 한편으로는 일반냉간압연 강판의 표면에 도금이나 도장을 하여 내식성을 향상시키는 여러 가지 방법이 개발되고 있다. 제품의 수요처가 다양화되고 최종 가공제품의 가공 방법이 자동화되어 두께가 불균일한 강판으로 성형을 할 경우 금형의 파손이 발생되거나 가공제품의 표면에 균열 현상이 발생된다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 자동 두께 제어장치(Automatic gauge control system)에 의한 두께 정밀도를 향상시키기 위하여 많은 연구가 진행되어 왔다.<sup>(1~3)</sup>

1980년대 후반부터 냉간 압연 분야는 냉간 압연기의 고속화와 제품의 박판화(薄板化)가 빠른 속도로 진행되고 있고 두께와 형상이 균일한 고품질의 강판이 요구되고 있으므로 자동 두께 제어장치와 자동 형상 제어장치(Automatic flatness control system)는 냉간 압연기의 반드시 갖추어야 할 필수 장치가 되었다. 따라서 이와 같은 장치가 없는 압연기는 개조를 통하여 설치하고 신규 제작되는 압연기는 필수적인 장치로 되어 감에 따라 품질의 획기적인 향상이 이루어지고 있다.

이와 같은 현상은 철강 선진국인 미국, 일본 그리고 독일에서 시작되었으며 국내에서도 20~30년전에 설치된 압연기의 개조가 마무리 단계에 와 있는 실정이나, 이 분야에 대한 연구가 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 실제 현장에서 사용중인 압연기에서 자동 두께 제어장치의 두께 제어 특성과 두께 편차가 두께의 변화와 속도의 변화에 따라 변화하는 것을 비교하고 압연 Pass수에 따른 변화와 압연 속도가 유막의 변화에 미치는 영향도 비교하였다.

## 2. 강판 두께 제어의 기본 원리

압연하중이 수직축 방향으로 작용하면 압연되는 강판은 두께방향에서 수평축 방향으로 하중을 받게 되므로 탄성계수  $K$ 와 소성계수  $M$ 은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 작용하고, 그것은 탄성 특성과 소성특성으로 불려진다. 일반적으로 탄성 특성은 압연 하중의 아래 부분으로 비선형적으로 변하지만, 소성특성은 일정한 곡선을 그리므로 최소변화의 경우에는 선형으로 볼 수 있다. Fig. 1에서 압연되

고 있는 두께는 탄성 특성  $K$ 와 소성특성  $M$  사이의 교차점 A 값과 같아진다. 그러나 여러 가지 요인에 의하여  $\Delta H$  만큼 강판 두께가 증가할 때 소성특성은  $M'$ 이므로 압연 교차점은 B가 되어 강판의 출축두께는  $\Delta h$  만큼 목표치에서 벗어나게 된다. 그러나 작업률 간극(間隙)만을 사용한 자동 두께 제어장치<sup>(4)</sup>에 의해 두께를 수정할 경우에는 작업률의 간극이  $\Delta S$ 만큼 축소되어 압연 교차점은 C로 바뀌어 출축의 목표 두께인  $h$ 를 얻을 수 있다. 이와 같은 원리를 적용하면 Fig. 1에서 다음과 같은 압연식이 만들어진다.

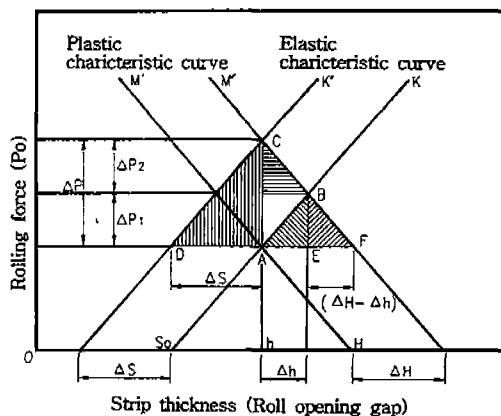


Fig. 1 Schematic diagram of elastic and plastic characteristics on the cold rolling.

$$P_0 + \Delta P_1 \rightarrow P_0 + \Delta P_1 + \Delta P_2 = P_0 + \Delta P \quad (1)$$

$$\Delta P = K\Delta S, \quad \Delta P_1 = K\Delta h, \quad \Delta P_2 = M\Delta h$$

$$M(\Delta H - \Delta h) = K\Delta h \quad (2)$$

$$\Delta h = [K/(K+M)] \Delta S \quad (3)$$

$$\Delta h = [M/(K+M)] \Delta H \quad (4)$$

$$\Delta P_1 = [MK/(K+M)] \Delta H \quad (5)$$

$$\Delta P_2 = [MK/(K+M)] \Delta S \quad (6)$$

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 실험재료

본 실험에 사용한 재료는 냉간압연 가공에 많이 사용되는 SAE 1008이며, 그 화학성분은 Table. 1과 같고, 기계적 성질은 Table. 2와 같다. 그리고 실험 재료는 냉간 압연 가공후 전해탈지를 한 코일이며, 두께는 1.0 mm이고 폭은 1,219 mm인 코일을 사용하였다.

Table 1 Chemical compositions of specimen (wt.%)

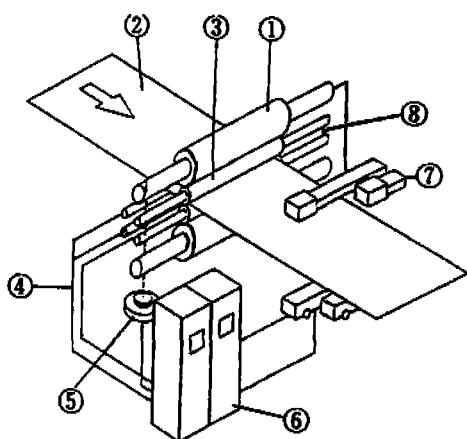
Material	C	Si	Mn	Al	Cu
SAE 1008	0.05	0.009	0.25	0.010	0.010

Table 2 Mechanical properties of specimen.

Material	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Yield strength (N/mm <sup>2</sup> )	Hardness (H <sub>RS</sub> )	Elongation (%)
SAE 1008	710.00	640.80	85.90	4.20

### 3.2 실험장치

본 실험에 사용된 냉간 압연기는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 실제 냉간 압연제품을 생산하는 냉간 압연기로서 작업롤과 보강롤(Back up roll)이 각각 두개인 4단이며 왕복으로 압연가공이 가능한 가역 압연기이다. 냉연강판 가공시 두께의 품질을 결정하는 가장 중요한 자동 두께 제어장치의 개략도는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 입출축 X-ray 두께 측정 장치와 롤 간극을 결정하는 유압 실린더가 있고 두께가 일정하게 유지되도록 연산하고 지령하는 기능을 가지고 있는 컴퓨터로 구성되어 있다. 그리고 냉간 압연 가공시 판면형상을 좋게 하기 위하여 자동 형상 제어장치도 사용하였으며 Table 3은 압연기의 조건을 나타낸 것이다.



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

Fig. 2 Overall view of experimental apparatus.

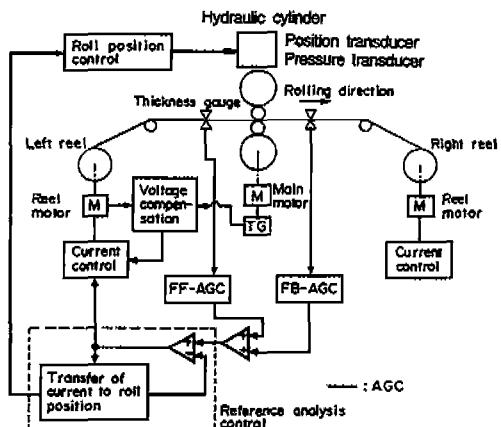


Fig. 3 Schematic diagram of AGC system.

Table 3 Cold rolling conditions for experiment.

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

### 3.3 실험 방법

냉연강판의 가공 과정을 공정별 흐름도로 나타내면 Fig. 4에서 보는 바와 같이 열간 압연된 열연강판의 산화층을 산세에서 제거하고 냉간 압연기에서 압연을 한 후, 냉간압연시 생성되어 판면에 부착된 철분과 압연유가 혼합된 Scum을 전해청정(電解清淨) 방법을 사용하여 제거하고, 냉간압연 가공에서 발생된 응력 제거와 적절한 기계적 성질을 냉연강판에 부여하는 폴리م 처리를 한다. 폴리م 처리를 한 후 판면에 적당한 조도를 부여하는 조절압연 가공 후에 냉연강판의 단위 중량을 조절하고 방청유를 도포(塗布)하는 도유과정을 거치게 된다.<sup>(5)</sup>

본 실험에서는 이와 같은 냉간 압연과정 중에서 가장 중요한 압연기의 자동 두께 측정 장치의 특성과 두께변화를

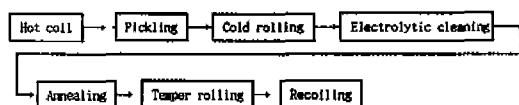


Fig. 4 Flow chart of experimental procedure

조사하기 위하여 를의 입축과 출축에 X-Ray두께 측정기 를 설치하고 그 결과를 기록하여 비교하고 전체 코일의 편차정도를 별도 컴퓨터를 이용하여 데이터를 분류하였다. 그리고 유막두께의 변화는 가공된 강판의 두께와 를 간극을 비교하여 측정하고 압하력은 유압압하식 실린더의 압력변환기(Pressure transducer)에서 구하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 출축두께별 두께편차의 변화

일반적으로 냉간압연 가공시 최종 제품의 두께를 보다 균일하고 정확하게 가공하기 위하여 두께측정장치로 부터 기록지를 사용하여 가공 결과를 확인할 수가 있으나, 일정한 두께로 가공하기 위한 압연 하중이나 속도는 소성 가공시에 작용하는 조건과 인자가 너무 많고 정확한 값을

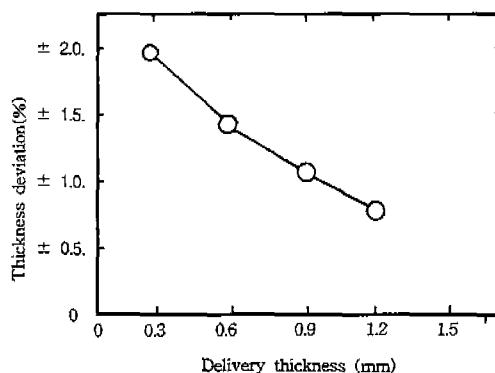


Fig. 7 Variation of gauge deviation rate on the final product thickness

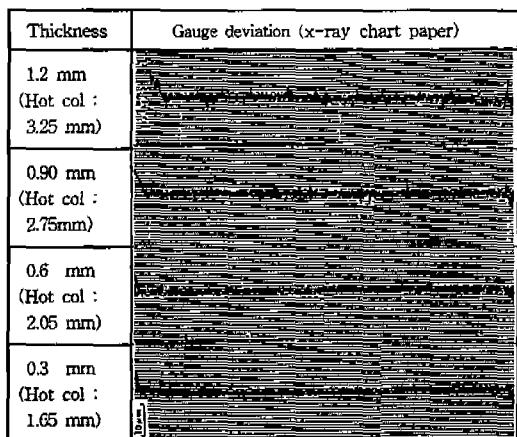


Fig. 5 Gauge deviation on the final product thickness.

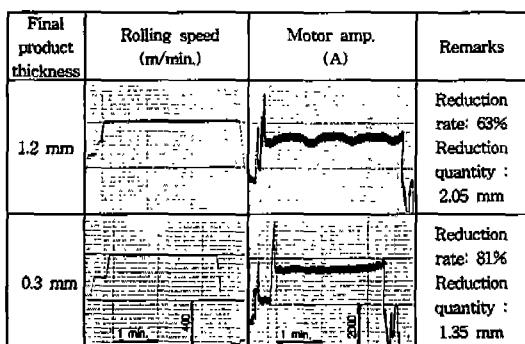


Fig. 6 Variation of motor amp. on the reduction quantity and rolling speed.

구하기가 어렵기 때문에 많은 가정을 한 계산식에 의하여 계산을 한다.<sup>(6,7)</sup>

Fig. 5는 두께가 얇은 박판에서부터 점차적으로 두께를 증가시키면서 두께편차가 변화하는 것을 나타낸 것으로 두께가 두꺼운 후판 두께 편차가 박판보다 큼을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 1.2mm의 경우 원재료의 두께가 3.25mm 이므로 압하량이 2.05mm이고, 0.3mm의 경우는 원재료의 두께가 1.65mm이므로 압하량이 1.35mm가 되어 압하량이 많을 수록 Fig. 6에서 보는 바와 같이 구동장치의 전력이 많이 소요되고 불안정하게 공급되기 때문에 를 간극을 일정하게 유지하지 못하기 때문에 발생되는 것으로 판단된다. 특히 Fig. 5의 시작과 마지막 부분의 두께편차가 큰 것은 가감속 부분에서 를과 강판과의 마찰력이 급격하게 변하고 유막두께의 변화에 따른 를 간극이 변하면서 이와 같은 현상이 정상속도에서 보다 크게 된다는 것을 알 수 있다.

그러나 압하율로 환산하면 Fig. 7에서와 같이 두께 편차량과는 반대로 1.2mm는 편차가 ± 8μm로서 편차율은 약 ± 0.67 %이지만, 0.3mm 인 경우는 ± 6μm의 편차가 발생되어 ± 2.0 %가 됨을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 두께가 두꺼울 수록 식(5)와 (6)에서 보는 바와 같이  $\Delta S$ 와  $\Delta H$ 의 값이 크게 되어  $\Delta P$ 의 값도 증가되기 때문에 응답성이 떨어지므로 편차량도 크게 된다.

#### 4.2 압연속도에 따른 두께편차의 변화

Fig. 8은 압연가공에서 압연속도에 따른 두께편차의 변화를 나타낸 것이다. 가감속시의 두께 편차가 정상속도때

의 두께 편차보다 큰 것은 를 간극의 변화가 압연유의 유막에 많은 영향을 받기 때문이다. 가속시에는 두께가 얕게 되었다가 두껍게 되고 감속시에는 반대의 현상이 발생되는 원인은 Fig. 9의 a)에서 보는 바와 같이 가속시에는 롤과 강판이 직접 접촉하여 경계마찰이 이루어져 정상적으로 압연가공에 필요한 힘보다 많은 동력이 필요하고,

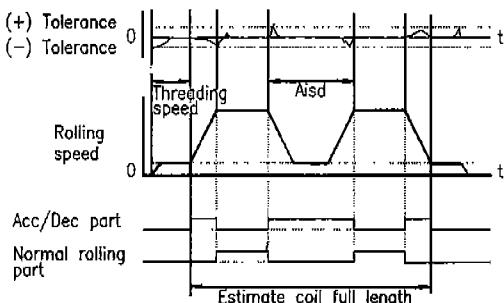
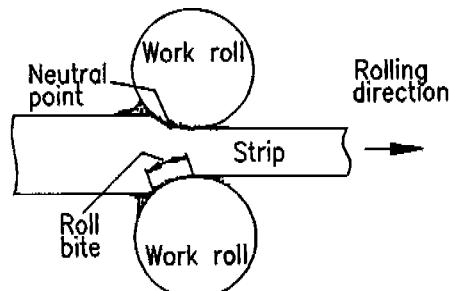
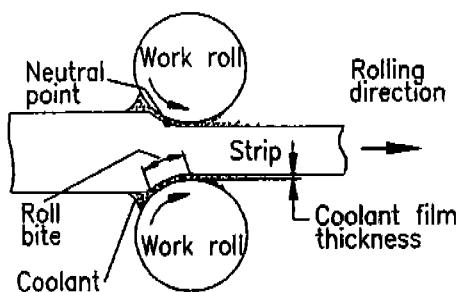


Fig. 8 Relationship between gauge deviation and rolling speed.



a) Boundary lubrication.



b) Hydro dynamic lubrication.

Fig. 9 Lubrication diagram at the roll bite.

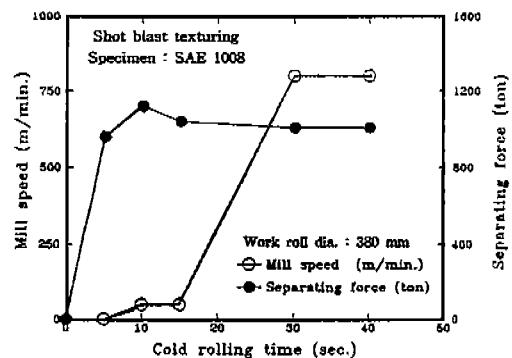


Fig. 10 Separating force and mill speed vs. cold rolling time.

압연 가공속도의 증가에 따른 유막두께의 변화는 유막형성이 될 때까지는 급속하게 진행되지만 를 간극의 변화가 적절하게 이루어지지 않아 유막의 두께만큼 강판의 두께가 얕아지는 현상이 10초정도 발생하게 된다. 그러나 감속시에는 이와 반대로 유막과 강판의 두께만큼 를 간극이 일정하게 유지된 상태에서 감속에 따른 유막두께가 급속하게 감소되면서 순간적으로 강판의 두께가 감소되는 현상이 발생되지만, 속도의 변화가 없을 때에는 Fig. 9의 b)와 같이 압연유의 유막이 일정하게 형성되고 를 간극의 변화도 거의 없으므로 일정한 두께의 강판을 얻을 수 있게 된다. 압연 가공속도의 감속시에 발생되는 압하력과 압연 가공속도의 변화는 Fig. 10에서 보는 바와 같이 가동 초기에 가장 많은 동력을 필요함을 알 수 있고, 압연 가공속도에 따른 유막두께의 변화는 Fig. 11과 같이 속

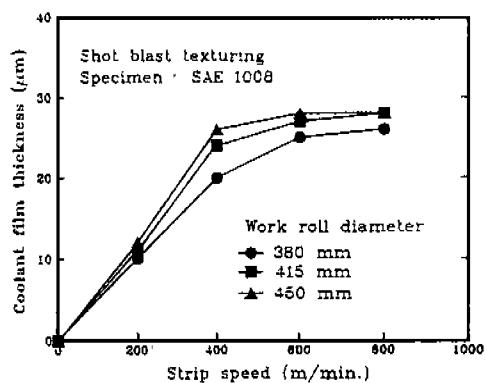


Fig. 11 Relationship between coolant film thickness and strip speed for work roll dia.

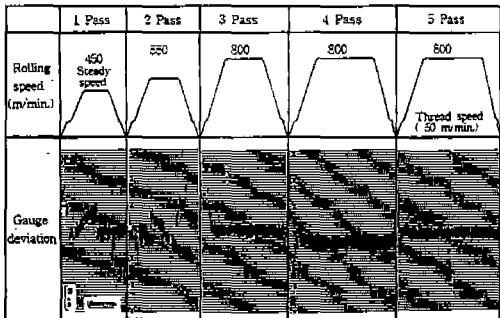


Fig. 12 Rolling speed and gauge deviation vs. pass number.  
(Hot coil: 3.25 mm, Final product: 1.4 mm, Width: 1219 mm, Separating force: 1.030 ton, Reduction ratio : 51.42%)

도가 빠르고 롤 직경이 클 수록 크게 됨을 알 수 있다.<sup>(8)</sup> 따라서 롤 간극을 변화시키는 유압실린더의 응답성을 고려한 자동 두께 제어장치의 사용은 유막이 어느정도 형성되어 혼합운동 상태가 시작되는 압연 가공속도 50 m/min. 이상에서 시작하는 것이 가장 적당하다고 판단된다.

#### 4.3 압연Pass별 두께편차의 변화

가역식 냉간압연기의 압연 가공에서는 텐덤 압연기와는 다르게 한 Pass가 끝나면 입측과 출측이 바뀌고, 압하를 더 줄수 있도록 X-Ray 두께측정기에 원하는 두께를 다시 입력시켜 주면 자동 두께 제어장치에 의하여 압하량과 롤 간극이 자동적으로 제어된다.<sup>(9)</sup> 일반적으로 첫Pass에서는 입측이 Tension reel이 아니고 Uncoller이므로 강판에 작용하는 장력의 제어가 불가능하고 입측의 두께 측정장치를 사용할 수가 없기 때문에 자동 두께 제어장치의 사용이 불가능하다.<sup>(10)</sup> 각 Pass별 두께편차의 변화를 조사해 보면 Fig. 12에서 보는바 와 같이 1 Pass한 후의 두께편차는 50 $\mu\text{m}$ 정도로 크게 나타났고, 2 Pass에서는 약 40 $\mu\text{m}$ 로 나타나 거의 변화가 없다가 3 Pass부터 두께편차가 급속하게 감소되기 시작하여 최종 Pass인 5 Pass에서는 가감속 부분을 제외하면 최대값이  $\pm 4\mu\text{m}$  이므로 강판두께의 편차율은  $\pm 0.4\%$  가 됨을 알 수 있다. 그리고 1,2 Pass에서 강판의 두께편차가 크지만 압연 가공속도를 최대로 하지 못하는 이유는 압하율은 유사하지만 압연량이 크기 때문에 압하력이 많이 소요되므로 동력장치인 모터용량의 한계로 인하여 최대속도를 내지 못하고 그 이후부터 최대 속도로 압연가공을 하였으며 압하율은 등(等)압하율을 적용하였다. Fig. 3에서 보는 바

와 같이 Reel의 장력을 이용하는 방식과 롤 간극을 조정하는 방법이 있지만, 본 실험에서 사용한 롤 간극 제어방법은 장력변화는 없고 롤 입측의 두께 측정기에서 측정된 강판의 두께에 의하여 압하량을 1차적으로 결정한 후 유압실린더에서 압하를 가하고 출측 두께 측정기로 부터 그 결과를 받아서 다시 압하량을 결정하기 때문에 압연속도가 낮고 입측 강판의 두께편차가 크면 출측 두께편차도 크게 된다. 그리고 유압실린더의 응답성을 감안하여 출측의 두께 측정주기는 30 Cm 간격을 적용하므로 유압압하식 자동 두께 제어장치는 압하량이 많고 압연속도가 낮을 때 보다 압연 가공속도가 빠르고 압하량이 작을 때 두께편차 제어성능이 우수하게 됨을 알 수 있다.

#### 5. 결 론

냉간압연 가공에서 가장 중요한 강판의 두께제어에서 자동 두께 제어장치를 사용할 경우, 수동에 의한 두께제어 가공과 비교해 보면 가감속부분의 Off-gauge방지가 가능하고 안정된 압연속도 유지가 가능하고 두께가 일정하여 강판의 품질이 향상된다. 따라서 본 연구에서는 이 장치를 실제 현장에서 사용중인 압연기에서 적용하였으며, 실험 결과를 종합하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 유압 압하식 자동 두께 제어장치를 사용하여 두께제어를 할 경우, 강판의 두께가 두꺼울수록 편차량이 크다.
- 2) 냉간압연가공에서 두께 편차율은 강판의 두께가 얇을수록 박판일수록 후판보다 크게 나타났다.
- 3) 자동 두께 제어장치는 유막이 형성되는 압연속도 50 m/min이상에서 적용하는 것이 적당하고, 두께편차가 큰 가감속시간을 최소화하면 Off-gauge의 길이를 최소화할 수 있다.
- 4) 가역식 압연가공에서 자동 두께 제어장치를 사용할 경우, 3 Pass 이상에서 두께편차가 급속히 감소되어 강판두께의 정밀도가 증가된다.
- 5) 유압식 자동 두께 제어장치에서 냉간압연 속도가 일정하면 두께 편차가 적어 균일한 두께로 가공할 수 있지만, 가감속시에는 유막과 장력 등의 변화로 편차가 크게 된다.

#### 참 고 문 헌

1. V. N. Vydrin, V. G. Dukmasov, d. a. Platonov, P. I. Gurkalov, "Hydraulic automatic gauge control system for 800 strip mill", Steel in

- the USSR, March, pp. 118-119, 1989.
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 システムと FF-AGC システム", R&D 神戸 製鋼技報, vol. 33, no. 2, pp. 56-59, 1983.
  5. 전언찬,김순경, "냉간압연가공시 Work roll마멸과 판면조도에 관한 연구" 한국정밀공학회지, 제8권, 제4호, pp. 33-40, 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. 전언찬, 김순경, 김문경, "냉간압연가공시 압연재료와 Work roll 마멸에 관한 연구" 한국정밀공학 회지, 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58年, 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67年, 第15號, pp. 276-285, 1981.