

(기술논문)

## 냉간압연 가공용 자동 형상제어장치의 특성에 관한 연구

김문경\* · 전언찬\*\* · 김순경\*\*\*

(1996년 1월 20일 접수)

A Study on the Characteristics of  
Automatic Flatness Control System for Cold Rolling

Moon Kyung Kim, Eon Chan Jeon and Soon Kyung Kim

**Key Words :** 4 Hi-Reversing Mill(4단 가역압연기), Automatic Flatness Control System (자동 형상제어장치), Tension(장력), Flatness (평탄도), Stressometer(형상검출장치)

## Abstract

Flatness of cold rolled strip is vital to the quality of the product and productivity of the mill. Therefore, in recent year requirements for flatness control in strip rolling have become increasingly severe. The necessity for more accurate automatic gauge control and automatic flatness control(AFC) has increased by customers' requirement for cold rolled steel sheets with thinner gauge and better flatness quality. In this paper, the performance and functions of AFC system installed on the 4 hi-reversing mill has been investigated under actual conditions. The test results are as follows: The more strip thickness is thick, the smaller the I-value, and the more it is thin, the bigger the I-value. Flatness of steel strip is generally measured in I-value. The I-value is a strain measured by stressometer. Complex distributions of strip tension are controlled to remove not only a quarter buckle but also a simple center wave and edge wave. The defects caused by poor flatness have been drastically decreased. And a proper coolant temperature for work roll cooling system on the AFC system is about 50~55°C.

## 1. 서 론

냉간압연장관의 평탄도 개선은 최종 제품을 가공하는 수요자의 질적 요구에 부응하기 위한 필수조건이 되고 있다. 강관의 형상이 불균일하게 되는 것은 강관 내부에 잔존하고 있는 응력의 편차때문에 발생하는 것으로 일반적인 형태는 압연방향의 불균일한 연신이 생기는 것이다. 이와 같이 연신을 발생시키는 인자들 중에서 가장 대표적인 작업률의

초기 크라운과 압연가공시 마찰열의 발생으로 인한 롤의 열변형에 의한 크라운변화를 들 수가 있다. 롤의 크라운이 적절하지 않을 경우 롤 간극이 불규칙적으로 변하여 강관의 연신이 부위별로 다르게 되므로 연신이 발생된 강관에 작용하고 있는 장력을 제거하면 강관에 주름과 비틀림현상이 생기게 된다. 압연가공중에 불규칙하게 발생하는 연신량을 작업자가 판단하고 롤 Bender를 사용하여 롤 간극을 조절할 수가 없기 때문에 강관의 자동 형상제어 장치를 설치하여 강관에 작용하는 응력분포를 자동으로 측정하고, 이 값을 압연가공중에 발생하는 연신의 차이로 변환시켜 강관의 형상을 제어한다.

본 실험에 사용된 자동 형상제어장치는 1974년도

\*회원, 부산대학교 대학원 기계설계공학과

\*\*회원, 동아대학교 기계공학과

\*\*\*회원, 동의공업전문대학 자동차과

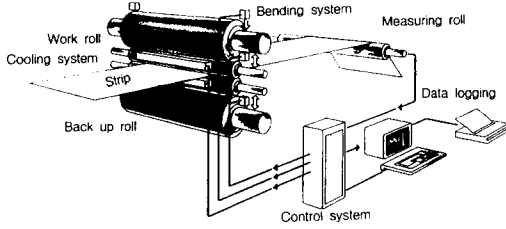


Fig. 1 Schematic diagram of automatic flatness control system

에 설치된 4단 가역압연기에 Close loop 형태의 자동 형상제어장치 (Stressometer : ABB사)를 Fig. 1과 같이 장착하여 강관의 형상을 자동으로 제어하면서 형상교정장치를 구성하고 있는 장치별 특성을 조사하여 가공조건을 설정하고, 강관의 형상교정 결과를 수동과 자동으로 구분하여 교정효과를 조사하고 두께와의 관계도 조사하였다. 그리고 물냉각 방법에서 Zone냉각과 Spot냉각방법의 형상교정효과를 비교하고, 물을 냉각시키는 압연유의 적절한 온도를 찾기 위한 연구와 형상불량 강관이 소둔처리후 냉연제품의 가장 악성불량인 스티킹 발생에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

## 2. 자동 형상제어장치의 구성과 기능

### 2.1 형상검출장치

냉간압연강관 가공시 강관의 형상을 검출하는 형상 검출장치의 주요 구성품인 형상 측정롤의 내부에는 104개의 압력변환기가 Fig. 2에서 보는 바와 같이 90° 각도로 교차된 4개의 홈을 가진 철심에 설치되어 있고 그 위를 26개의 링이 덮고 있다. 이 링의 폭만큼 각 부분들이 독립적으로 형상이 측정될 수 있도록 10 μm 정도의 간격을 두고 배열되어 있으며 압력변환기에 강관의 압력이 잘 전달될 수 있도록 충분한 탄성을 가지고 있다. 냉간압연 가공중에 형상검출장치로부터 측정된 강관의 형상을 확인하고 롤 간극 제어에 필요한 상수를 변환시키기 위하여 설치된 모니터는 압연가공중에 연속적으로 강관의 형상을 나타내므로 형상교정효과와 제어장치의 동작상태를 확인할 수가 있고, 중앙처리장치는 각 구역으로부터 입력된 값을 화면에 나타낸다.

냉간압연가공중 모니터의 중앙부에 나타나는 수직막대는 각 링별로 측정된 형상 측정값으로서 식

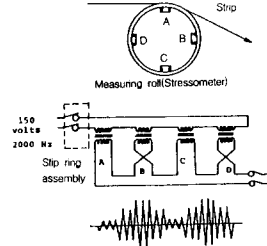


Fig. 2 Connection of transducers and typical output signal

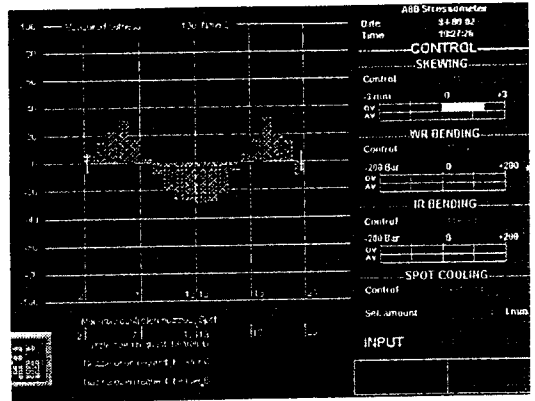


Fig. 3 Format of operator's CRT display

(1)과 같이 응력(σ)을 I값으로 수치화하여 나타낸다.

$$\sigma_0 = \frac{T}{A}$$

$$\frac{\Delta L}{L} \times 10^5 = \epsilon \times 10^5 = \frac{\sigma}{E} \times 10^5 = I - \text{value} \quad (1)$$

T : 장력

σ : 장력분포

E : Young률

σ<sub>0</sub> : 응력

A : 강관 단면적

L : 강관길이

ΔL : 강관길이 편차

Fig. 3에서와 같이 강관이 형상 측정롤에 접촉되는 링의 수만큼 막대가 나타나면, 만약 어느 한 링의 수치가 평균치보다 높으면 이 부분의 수직막대는 평균선보다 위쪽에 표시되고 평균치보다 낮을 경우에는 평균선 아래에 표시된다. 따라서 평균선의 윗부분에 표시되는 막대가 나타내는 값의 합계와 아래쪽에 나타난 막대의 수치를 합한 절대값은

같고, 강판이 압연되는 동안에 데이터는 연속적으로 모니터에 나타나게 된다.

2.2 롤 Bending 장치

냉연강판의 형상을 측정하고 판단하는 정보처리 장치는 Fig. 4에서와 같이 가장자리와 중앙부로부터 입력되는 값을 비교하되 전 구역을 비교하지 않고 양쪽 가장자리의 3개 측정구역과 중앙부 5개의 측정구역으로 분할하여 비교한다. 따라서 11개 링 이외의 부분은 롤 Bending에는 사용되지 않고 무시된다. Fig. 4의 "A" Zone에서 검출된 강판의 형상에 대한 값과 "B" Zone에서 검출된 값을 합하여 평균값을 구한 다음, 이 평균값을 다시 중앙의 5개 링에서 구해진 평균값과 비교하여 값의 차가 있을 경우에는 정보처리장치가 출력을 제어하여 양쪽의 값이 일치될 수 있도록 롤 Bender에 작용하는 압력을 증가 또는 감소시키게 된다. 길이방향에 대한 형상교정은 압연속도와 양쪽 Reel의 장력에 의하여 결정되므로 압연률과 강판사이에 유막이 적절하게 형성되고 장력이 안정되는 압연속도 450 m/min 이상에서 가장 양호한 형상교정효과를 얻을 수 있다.

본 실험에 사용된 유압실린더의 최대압력은 약 2,067 N/cm<sup>2</sup>이고 최대 압하력은 25,000 N이므로 한쪽에 12,500 N의 하중이 독립적으로 가해질 수 있는 장치이며, 하중을 조절하기 위한 서보밸브가 전기적인 제어값에 의하여 기계적으로 유압을 제어하는 롤 Bending 장치로 구성되어 있다. 그리고 각 백업 롤 베어링 Chock는 행정이 80 mm이고 직경이 125 mm인 두개의 실린더를 가지고 있으며 유압 실린더에서 발생하는 하중을 작업롤 베어링에 전달하여 압연가공시 작업롤의 간극을 변화시킨다.

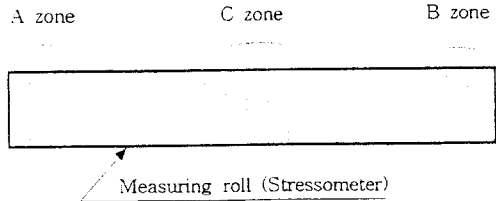
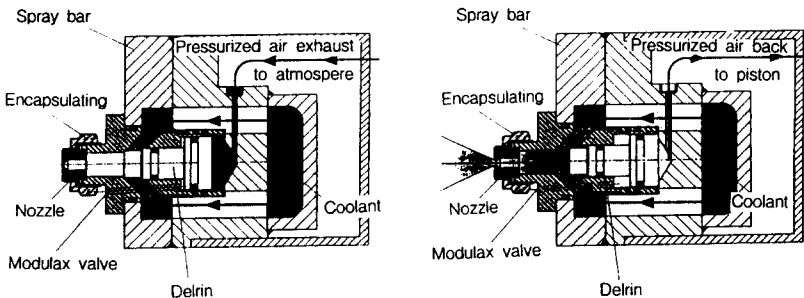


Fig. 4 Cooling zones used roll bending calculations

따라서 롤 Bending 장치의 가장 중요한 특징은 서보밸브의 사용과 양쪽에 대한 독립적인 제어를 들 수 있다. 서보밸브는 Close-loop 제어장치에 요구되는 고속 응답이 가능하고 양쪽의 개별적인 제어는 형상결함의 교정영역을 더 크게 하므로 제어범위가 커지게 된다. 작업롤의 크라운은 폭에 따라 결정되며 강판의 폭이 914 mm인 경우는 30 μm정도, 1219 mm인 경우는 100 μm정도로 초기 연삭 가공시에 크라운을 가공하고, 롤 Bending의 예비하중은 150톤으로 설정하여 강판이 롤 바이트를 통과할 때 실린더에서 공급되게 하였다.

2.3 롤냉각장치

롤냉각장치는 냉간압연시에 물의 열팽창에 의한 물 간극의 형태가 변화되는 것을 열팽창에 의한 부분을 적절하게 조절하므로 형상 측정롤의 링수와 압연유 분사노즐수를 같게 한다. 압연유 분사량의 조절은 26개의 On-off 디지털 값으로 이루어지므로, 각 측정 구역마다 한 개의 출력장치가 있다. 롤냉각장치는 롤 Bending과 유사하게 물의 크라운을 조정할 수 있고 롤 Bender가 제어할 수 없는 Quater buckle도 제어가 가능하다. 압연유 분사밸브의 개폐 주기는 5초 단위로 하였으며, 만약 압연유의 분사량을 지나치게 많게 하면 물의 국부적인



(a) Coolant spray nozzle closed (Air on) (b) Coolant spray nozzle open (Air off)

Fig. 5 Outline of coolant spray nozzle

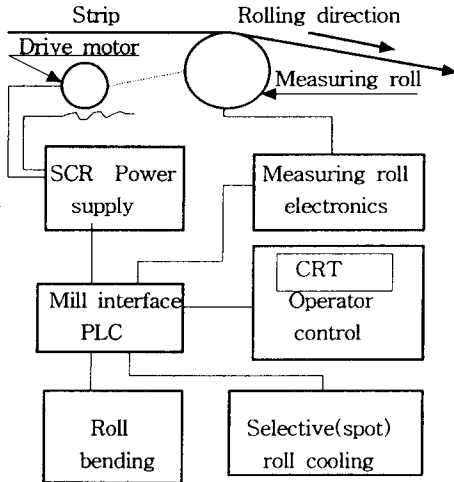


Fig. 6 Interconnections of interface unit in control system

냉각효과가 저하되므로, 여기서는 50%로 제어하여 분사되는 노즐의 수를 50%로 제한하였다. 기본적으로 제어장치가 형상교정이 필요한 특정한 부분에 대하여 압연유를 분사하게 하였으며, 강관의 형상을 나타내는 화면에서 판 면에 작용하는 응력이 평균치보다 아래에 있는 측정구역은 압연유의 분사량이 증가시키고, 평균치보다 위에 있는 부분은 롤간극을 작게 하여 연신을 크게 하기 위하여 압연유의 분사량을 감소시켜야 하므로 응답성을 좋게 하기 위하여 압연유 분사장치의 노즐은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 공기압에 의하여 개폐가 가능하게 하였다.

그리고 형상측정 물에서 검출된 형상에 관한 정보는 중앙정보처리장치로 전달되고 Fig. 6과 같이 중앙정보처리장치에서는 롤냉각장치와 롤 Bending 장치가 동시에 동작될 수 있도록 정보를 제공한다.

### 3. 자동 형상제어장치의 형상교정효과

#### 3.1 롤 Bending 장치의 형상교정효과

롤 Bending 장치를 사용하여 강관의 두께별로 형상교정을 한 결과 Fig. 7과 같이 강관두께가 0.3 mm인 박판에서는 식 (1)에서 보는 바와 같이 단면적이 1.3 mm인 강관보다 작기 때문에 동일한 장력이 강관에 작용해도 I값이 크게 나타난다. 롤 Bending 장치를 사용하기 전에 I값이 약 88 정도인 강관을 자동롤 Bending 장치를 사용하여 압연

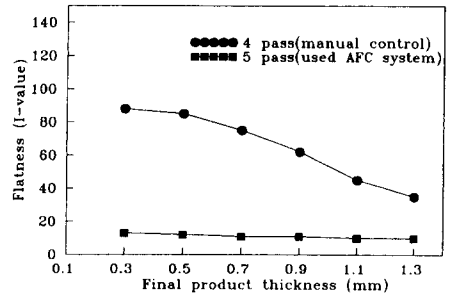


Fig. 7 Relationship between I value and final strip thickness under the automatic roll bending system.

가공을 하면 13이하로 크게 형상이 교정되고, 강관의 두께가 두꺼운 1.3 mm에서도 마찬가지로 I값이 교정전 35에서 10이하로 교정되어 자동 형상교정 효과가 우수함을 알 수 있다. 일반적인 Center wave나 Edge wave 교정에는 롤 Bending의 효과가 가장 크고 빠른 이 장치가 주로 사용되어진다. 그러나 수동 형상교정시 박판인 0.3 mm에서는 형상교정 효과가 거의 없지만, 1.1 mm이상인 후판에서는 다소 형상교정 효과가 안정적으로 이루어짐을 알 수 있다. 자동 롤 Bending을 할 경우는 박판이 후판보다는 3/정도 큰 값을 나타내지만, 전반적으로 보면 거의 유사하게 나타나 두께의 변화에 큰 영향은 받지않고 일정한 값을 나타낸다. 이와 같이 박판이 후판보다 형상교정이 어려운 이유는 식 (1)에서 보는 바와 같이 단면적의 변화에 따른 Reel의 장력변화가 크고, 박판보다는 압하율이 작은 후판가공에서 롤의 간극제어가 용이하기 때문이라고 판단되며, 동일한 두께에서도 압하력이 작은 소폭이 대폭보다 I값이 작게 되어 형상교정효과가 우수하게 된다<sup>(9,10)</sup>고 판단된다.

#### 3.2 롤냉각장치의 형상교정효과

Fig. 8은 롤냉각장치만을 사용하여 압연가공된 강관의 형상을 나타낸 것으로 I값이 20인 Zone 냉각법보다는 형상이 균일하고 I값이 13 이하인 Spot (Selective) 냉각법에 의한 형상교정의 효과가 우수한 것으로 나타났다. Zone 냉각방법의 경우는 Edge wave형태로 가공이 되어져 판중앙부위에 많은 장력이 작용하는 것을 볼 수 있지만, Spot 냉각방법은 Zone 냉각방법과는 달리 폭방향의 장력차에 의한 I값의 변화가 거의 없는 것을 볼 수 있다. 그리고 Zone 냉각법으로는 Quarter buckle을

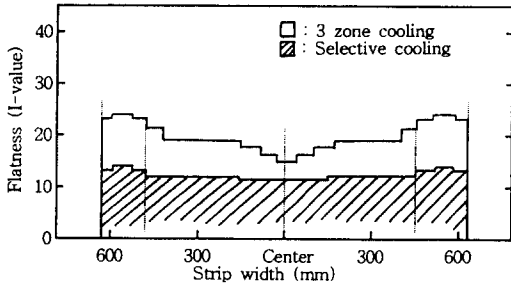


Fig. 8 Comparison of I value between zone cooling and spot cooling method.

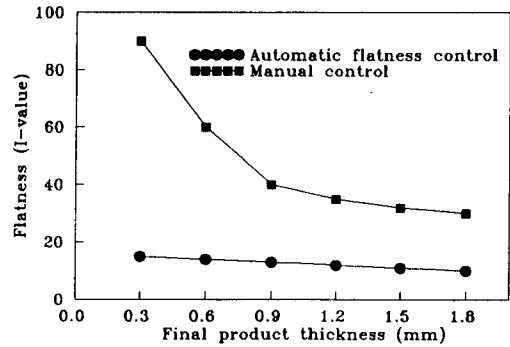


Fig. 10 Relationship between strip thickness and I value on the reversing mill

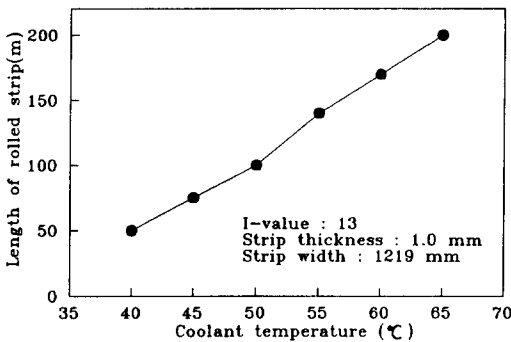
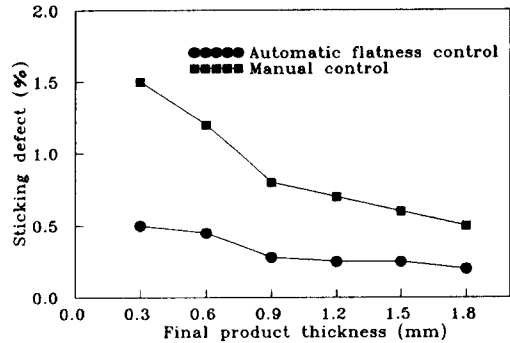
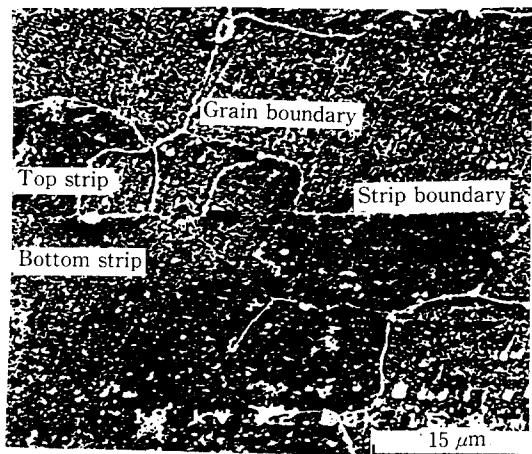


Fig. 9 Relationship between coolant temperature and length of rolled strip(m) on the cold rolling



(a) Relationship between sticking quantity and strip thickness

교정할 수가 없지만 Spot 냉각법을 사용하면 작업 롤의 직경변화에 의하여 발생하는 이와 같은 형상 불량을 롤의 부분적인 냉각에 의한 롤간극 조정으로 강판의 형상교정이 가능하게 된다. 13I이하로 형상교정이 이루어지는 압연가공거리는 Fig.9에서 보는바와 같이 롤냉각용 압연유 온도가 40°C에서는 50 m, 50°C일 때는 압연가공거리 100 m 이상에서 13I로 유지할수 있지만, 65°C 정도로 온도가 높을 경우는 200 m 정도 압연한 후에 정상적인 형상교정이 이루어짐을 볼 수 있다. 따라서 압연유의 온도가 낮을수록 냉각효과가 크지만, 50°C이하에서는 압연유의 순환효과가 급격하게 떨어져 냉연강판 표면에 모터링현상이 발생되어 유막이 끊어지는 현상이 나타나므로 압연유의 온도는 50~55°C 정도로 하는 것이 적당하다고 생각된다.



(b) Photograph of sticking part after annealing

2.3 자동 형상제어장치에 의한 코일형상교정효과  
롤 Bending 장치와 냉각장치를 동시에 사용하여 냉간 압연을 한 결과, Fig.10에서 보는 바와 같이

Fig. 11 Comparison of sticking quantity on the strip thickness and photograph on sticking part of after annealing

ABB STRESSOMETER ENGINEER Union Steel No. 3 Mill 1995-12-27 09:49:58.4  
COIL IDENTITY 20

Unit: I value

ZONE:	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	...
100 m	X	-6	9	-8	-9	-7	-5	-3	1	3	3	4	4	5	5	4	3	3	2	1	-4	-7	-8	-6	0	X	...
200 m	X	-4	-7	-6	-7	-5	-2	-1	1	2	3	3	4	4	4	3	3	2	1	1	-2	-3	-5	-3	0	X	...

ABB STRESSOMETER COIL LOG Union Steel No. 3 Mill 1995-12-27 10:11:33.7

COIL IDENTITY	Strip thickness(mm)	Strip width(mm)	Active target
20	0.961	1217.5	7
Average of flatness error std. deviation		5.27 I value	
Standard deviation of average		1.54 I value	

	Average	Standard deviation
Strip speed(mm/sec.)	1.1E+04	785.03
Strip length(mm)	1.1E+06	5.9E+05
Strip width(mm)	1218.22	0.00
Mean sigma(n/mm2)	79.83	1.72
Tension(N)	9.4E+04	2283.61

Fig. 12 Data logging format of automatic flatness control system

두께가 얇을수록 자동 형상교정효과가 크게 나타났으며, 이와 같은 현상은 Fig. 11에서와 같이 불량 발생률과 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 평탄도가 불량하고 두께가 얇을수록 스티킹 불량이 많이 발생하는 것은 소둔처리시 고온에서 부분적으로 많은 압력을 받는 부분이 발생되기 때문인 것으로 판단된다.

압연가공중에는 판의 형상과 가공조건의 변화 등을 확인만 하고 가공후의 결과는 컴퓨터에 의하여 Fig. 12와 같이 나타내며 양측에 0으로 나타난 값은 형상 검출장치의 측정롤 표면에 강판이 접촉하지 않은 부분이고 X는 양 가장자리 부분에 불규칙적으로 접촉한 부분이다. 이와 같이 전 코일에 대한 형상기록은 측정롤에서 측정된 형상에 대한 값이 중앙기억장치에서 정리되어 원하는 간격마다 출력이 가능하며, 한 코일의 가공이 완전히 끝난 후 전 코일에 대한 가공조건과 100 m간격의 I값을 정리하여 출력시킨 것이다.

#### 4. 결 론

냉연강판의 품질을 개선하여 수요자의 요구에 부응하고자 설치된 close loop 형태의 새로운 형상제어장치(Measuring roll: Stressometer, ABB사)를 사용하여 강판의 형상을 교정하고, 이 장치의 성능과 역할이 냉간압연강판의 형상교정에 미치는 효과

에 대하여 연구한 결과는 다음과 같다.

(1) 강판두께 0.3~1.3 mm에서 자동 형상제어 장치를 사용할 경우는 13이하의 I값 유지가 가능하지만, 수동제어인 경우는 I값이 0.3 mm에서는 88이며 1.3 mm는 35가 되므로 박판일수록 자동 형상교정의 효과가 크다.

(2) 냉간압연가공에서 물 Bending 장치는 대칭형 형상불량인 Edge wave와 Center wave의 형상교정에 효과적이고, 비대칭형 형상불량인 Quarter buckle 교정에는 Spot 롤 냉각장치가 적합하다.

(3) 냉간압연가공에서 물냉각을 위한 압연유의 온도는 물의 온도와의 편차가 클수록 냉각효과가 크지만 압연유의 특성을 고려하면 50~55°C 정도가 가장 적합하다.

(4) Zone 냉각방법에서는 I값이 양 가장자리 부분과 중앙의 편차값이 8 이지만, Spot 냉각법에서는 최고값이 15이고 최저값이 13이므로 그 편차값이 Zone 냉각법의 25% 수준으로 향상된다.

#### 참고문헌

- (1) Robin N. Malone, 1992. "Gage Improvement at LTV Steel, Indiana Harbor Works '80-in. Tandem Mill," *Iron and Steel Engineer*, August, pp. 70~78.
- (2) Katsuya Kondo, Kanji Yoshida and Kenji

- Morita, 1981, "Development of a New AGC System for atandem Cold Mill," *Iron and Steel Engineer*, June, pp. 43~48.
- (3) 井浦輝生, 福山 敏, 1983, "板壓延の理論と實際," 日本鐵鋼協會, pp. 201~220.
- (4) Katsuya Kondo, Yoshisuke Misaki, Masaki Okamoto, Yasuno Matsumori and Toshimitsu Miyagi, 1988, "A New Automatic Gauge Control System for a Reversing Cold Mill," *Technical report, Transactions ISIJ*, Vol. 28, pp. 507~513.
- (5) 松宮克行, 西森邦彦, 中山忠雄, 下村雅一, 1983, "定間隙 AGC 시스템과 FF-AGC 시스템," R&D 神戶製鋼技報, Vol. 33, No. 2, pp. 56~59.
- (6) Roger Davidson, 1986, " Automatic Flatness Control System," *Iron and Steel*, October, pp. 44~48.
- (7) Takeo Nishino, Shoichi Iyama, Toshikazu Kimura, Masaaki Okamoto and Yoshiro Matsumoto, 1990, "Automatic Shape Control for Tandem Cold Mill," *The Sumitomo Serch No.* 41, January pp. 59~70.
- (8) Teruhiro Saito, Takeo Ohnishi, Tomio Komatsu, Sadayuki Miyoshi, Hedeki Kitamura and Masanori Kitahama, 1990, "Automatic Flatness Control System in Tandem Cold Rolling Mill for Ultrathin Gauge Strip," *Kawasaki Iron and Steel Report*, Vol. 22, No. 1, pp. 19~23.
- (9) 近藤勝也, 大井俊哉, 小〇一晃, 竹本裕, 伊山彰一, 1992, "冷間壓延機の自動形狀制御 시스템의開發," *Journal of the JSTP*, Vol. 33, No. 374, pp. 241~246.
- (10) 安全健一, 成田健次郎, 志田, 1986, 二瓶充雄, "UC ミルの形狀制御用數式モデル모델," *Journal of the JSTP*, Vol. 27, No. 303, pp. 533~538.
- (11) 전연찬, 김순경, 김문경, 1993, "냉간압연가공시 압연재료와 Work Roll 마멸에 관한 연구" 한국정밀공학회지, 제10권, 제4호, pp. 128~129.