

박판 냉간압연공정에 있어서의 압연하중
예측모델에 관한 연구

백 남주*, 김 진욱**, 박 해두**, 조 용이***, 김 희송****

**Mathematical Model of Rolling Force
Estimation in Strip Cold Mill**

Nam-Joo Baek*, Jin-Wook Kim**, Hae-Doo Park**,
Yong-Yee Cho***, Hee-Song Kim****

Abstract

A mathematical model has been developed for the purpose of estimating the rolling force required for computer control of cold strip mills. The model consists of equations of rolling force, flow stress, friction coefficient and tension.

By applying the model to a 6-High cold tandem mill, the computer simulation is then been possible for all kinds of steels except stainless steel and the effectiveness of the model has been confirmed in the practice.

By using the predicted rolling force roll speed roll gap etc. Can be established for determining the process planning of cold strip rolling.

* 부산대학교 생산기계공학과(중신회원)

** 부산대학교 대학원(중신회원)

*** 부산대학교 대학원

**** 부산대학교 기계공학과

1. 서 론

압연 공학의 발전의 총화는 압연기의 전산기 제어로서 나타난다. 전산기 제어에는 많은 수식 모델이 이용되고 있는데, 기본 형은 압연 이론에 입각한 것이다.¹⁾

냉간 압연에 있어서 전산기 제어를 대상으로 한 이론적, 실험적검토는 제어방식의 개선과 온라인(on-line) 수식모델의 개발로 구별된다. 냉간 압연에서의 볼깎은 전 스탠드에 대하여 판이 롤에 치입되기 전에 설정되어야하며, 이를 위해 설정 타이밍(timing) 제어를 포함한 다목적 수식모델에서는 압연하중의 예측정도가 매우 중요하다. 따라서 그림 1의 연속압연기의 압연수식모델의 계산과정으로 소성가공량의 연속법칙으로부터 각 스탠드의 롤 속도와 정확한 압연 하중의 예측으로부터 볼 깎을 결정하는 것을 나타낸다.

본연구에서는 압연 수식 모델의 하중 예측식을 정확히 구성하기위해 먼저 압연 소재의 정적유동응력을 구했으며²⁾, 압하배분율, 압연속도, 장력설정, 마찰계수 등의 영향을 검토 하였으며, 이들을 토대로 계산된 압연하중을 실측치와 비교, 분석하였다.

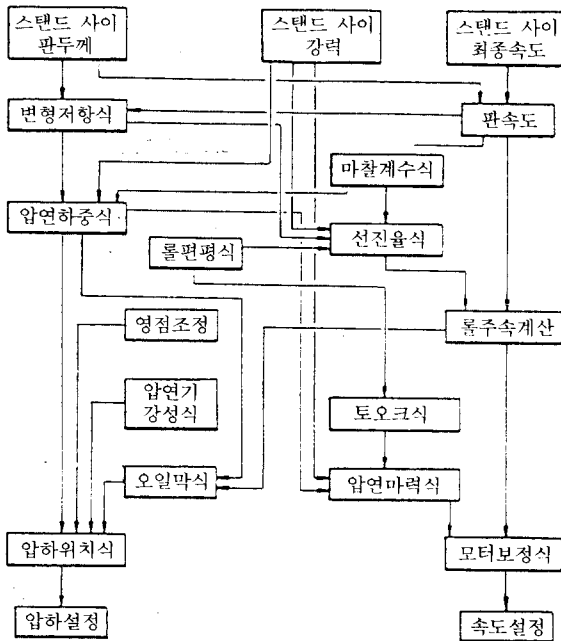


그림 1 압수식모델

2. 압연하중

2.1 입구측 소재 총별화

연속 냉간 압연기에서 다양한 냉연제품을 만들기 위해서 전산기 제어가 필수적이다. 실제로 압연하중은 입출구측 두께, 강의 종류, 판폭에 따라 크게 변화하므로 현장작업자들의 수동작업없이 전산기로 압연두께 제어를 원활하게 수행할 수 있도록 하기 위해서 앞의 요소들을 여러가지 총별화시켜 그 값들에 대한 제어상수 들을 데이터로 전산기에 기억시킨 후 작업조건별로 전산기에 의해 자동 선별되도록 하는 방식을 채택하고 있다. 즉 통합정보전산기에 의해 열간압연판의 정보를 읽어서 냉연 산세공정을 거쳐 냉간압연 전에 그 판의 압연하중을 계산하고 압연속도 및 볼 깎을 결정하여야 한다.

총별구분을 많이 할수록 예측정도가 더욱 높은 압연 하중을 계산할 수 있다. 그러나 그만큼 기억시켜야 할 상수값들이 많아지게 되므로 기억용량의 경제적 한계로 인해 적당한 총별로 나누게 된다. 입출구측 두께 및 폭의 총별은 최종 출구속도를 결정하는 데이터를 작성하게 되고, 또 연속압연기의 스탠드수에 따라 압하배분을 어떻게 시킬 것인가를 결정하게 된다. 통상 연속냉간압연기의 마지막 스탠드는 형상제어용으로 사용되며 압하율은 4~6% 정도 압연을 하게 되고 또한 냉연판에 적당한 조도를 부여하는 역할을 하게 된다. 따라서 전방스탠드는 소정의 두께를 내기 위하여 경험적인 조업표준에 의해 배분된다. 냉연소재의 유동응력 곡선의 경향치가 비슷하므로 강의 종류에 따라 구간을 두어 설정하면 편리하다. 이때 유동응력의 일반식은 다음과 같은 식으로 구성된다.

$$k_m = 1(m + \epsilon)^n \tag{1}$$

이때 ϵ 는 대수변형률로서 $\epsilon = \ln(H_1/h_i)$ 이며, H_1 는 입구측 두께, h_i 는 i 스탠드의 출구측 두께를 나타낸다. l, m, n 은 상수값으로 강조에 따라 변화한다. 통합정보 전산기에 의해 어느 열연판이 냉연공정에서 산세공정을 거쳐 압연하려면 먼저 강 종류의 일련번호를 인식하고 다음에 두께를, 폭에 따른 일련번호를 가지고 그 소재에 해당하는 상수데이터의 정보를 읽게 된다. 상수데이터는 압연하중의 계산에 필요한 스탠드간 압

하배분량, 스탠드간 장력, (1)식의 유동응력상수, 최종출속속도, 마찰계수의 상수값을 읽게 된다. 이상에서 서술한 바와 같은 과정은 전산기제어압연을 위해 필수불가결한 것으로 다품종 대량생산을 가능케 한다.

2.2 압연 수식 모델

전산기에 의한 압연제어를 목적으로 하기 때문에 압연하중 계산과정에서 통상의 수치해석에 의한 반복계산방식은 불가능하므로 대부분의 경우에서 근사식 및 일반적 현상을 회귀분석한 식을 사용하게 된다. 그리고 변수를 두 식에 같이 불러 풀어야 할 경우에는 적용계수를 도입하여 경험적으로 경향을 추적하여 보정된 값을 만들어 배율을 정하게 된다. 압연하중 예측계산식으로는 Bland와 Ford식을 근사화한 Hill식을 사용한다.³⁾

$$P_i = b k_i K_i Q_i \sqrt{R'_i (H_i - h_i)} \quad (2)$$

여기서 k 는 평균유동응력, K 는 장력보정항이다. 그리고 마찰계수 보정항인 Q_i 는 다음과 같다.

$$Q_i = \frac{1.08 - 1.02r_i + 1.79\mu_i r_i \sqrt{1-r_i}}{\sqrt{R'_i/h_i}} \quad (3)$$

그리고 (2)식, (3)식의 R'_i 는 Hitchcock식으로 주어진다.

$$R'_i = R_i \left(1 + \frac{16(1-\nu^2) P_i}{\pi E b (H_i - h_i)} \right) \quad (4)$$

(2)식에서의 H_i 값과 h_i 값들은 연속압연기의 압하배분량으로 주어진다.

1) 스탠드별 압하배분량계산

여기서 결정한 각 스탠드의 소재당 압하율은 조업상의 압연기특징을 고려하고 각 스탠드의 작업지시 또는 압연실적을 회귀분석하여 정한다. 4대의 압연기로 연속압연을 하게 되면 세번째 스탠드까지는 소정의 출구측두께를 내기위해 강압하를 주게 되며, 네번째 스탠드는 판형상제어 및 판의 표면조도를 부여하는데 목적이 있다. 압하배분은 출구측 및 입구측소재의 두께 h_i , H_i , 총압하율 r_i , 판폭 b 에 영향을 받으며 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$r_i = a_{1i} + a_{2i} h_r + a_{3i} H_i + a_{4i} r_r + a_{5i} b \quad (5)$$

이때 a_{j_i} 는 계수로서 강 종류, 두께, 판폭, 층별에 따라 전산기내에 데이터값으로 기억시켜 둔다.

2) 스탠드간 압연속도결정

최종스탠드의 출측판속도 상수는 데이터로서 주어지며, 각 스탠드의 판속도는 다음 식으로 계산된다.

$$V_{oi} = \frac{V_{or} \cdot h_r}{h_i} \quad (6)$$

각 스탠드의 압연속도는 선진율에서 다음과 같이 계산된다.

$$V_{ri} = \frac{V_{oi}}{1 + f_i} f_{\alpha i} \quad (7)$$

여기서 f_i 는 선진율, $f_{\alpha i}$ 는 적용 수정계수이다.

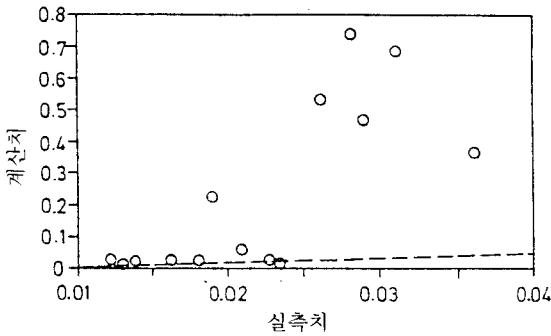
여기서 선진율은 스탠드 전후방장력과 강 종류의 입출구측 유동응력을 고려하여 다음 식으로 주어진다.

$$\left. \begin{aligned} f_i &= \frac{1 - \alpha_1}{1 + \alpha_1} \\ \alpha_1 &= \sqrt{1 - r_i} \cos \alpha_2 - \sqrt{r_i} \sin \alpha_2 \\ \alpha_2 &= \frac{1}{2(\mu_i + A_i)} \sqrt{\frac{h_i}{R'_i}} \ln \left[\frac{(1 - t_{bi}/s_{bi})(1 - r_i)}{(1 - t_{ri}/s_{ri})} \right] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

(8)식은 Bland와 Ford의 수정식이다. 그림2는 Bland와 Ford의 식에서 구한 선진율값과 실제압연하중의 선진율과 비교한 것이다. 이들 값들은 첫번째 스탠드와 마지막스탠드에서 큰 차이를 나타내었다. 그러므로 (8)식과 같이 적용 수정계수(A_i)를 도입하여 이전 소재의 실제 선진율값에서 보정을 하여 선진율을 계산하면 그림3과 같이 비교적 잘 맞는 값을 구할 수 있었다.

3. 평균유동응력

냉간압연에서 압연하중을 예측하는 경우 마찰계수와 함께 중요한 인자인 정적유동응력은 정적하중($\epsilon < 10^{-3}/\text{sec}$)인 상태에서 측정된 2차원유동응력(냉간압연에서 폭처짐방향을 무시하므로 소성변형을 2차원 상태로 간주)을 의미한다. 압연기 설치직후의 초기값으로 설정



〈그림 2〉 선진율의 실측치와 계산치의 비교 (Bland & Ford식)

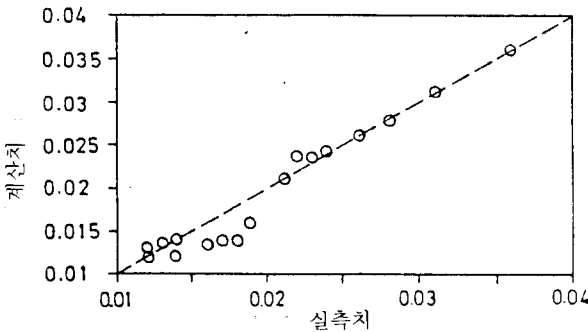


그림 3 선진율실측치와 계산치의 비교 (Bland & Ford 수정식)

되는 정적유동응력값들은 일반적으로 실험적방법에 의해 측정된 값들이며 압연실적이 있을 때는 압연력에 의해 역산하여 구하는 방법이 있다.

연속냉간압연기의 압연력 예측모델의 정적유동응력값은 (1)과 같으며, l, m, n 값을 강의 종류, 층별에 따라 구분함이 일반적이다.

3.1 실험적 방법

유동응력 측정방법에는 인장법, 압축법, 압연인장법, 압연압축법, 평판압축법 등이 있다. 본 실험에서는 압연인장법과 평판압축법을 사용하였다. 압연인장법은 초기두께 2.62mm인 80kgf/mm²급 고장력강을 각각 대수압하율 0.1, 0.2, 0.3, …, 1.0까지 압연하였다. 각 압하율에서 압연방향으로 ASTM표준시편

을 채취 인장시험을 행하였다. 평면변형을 고려하여 측정된 항복응력에 1.15배하여 각 압하율에 따른 정적유동응력을 구한다.²⁾

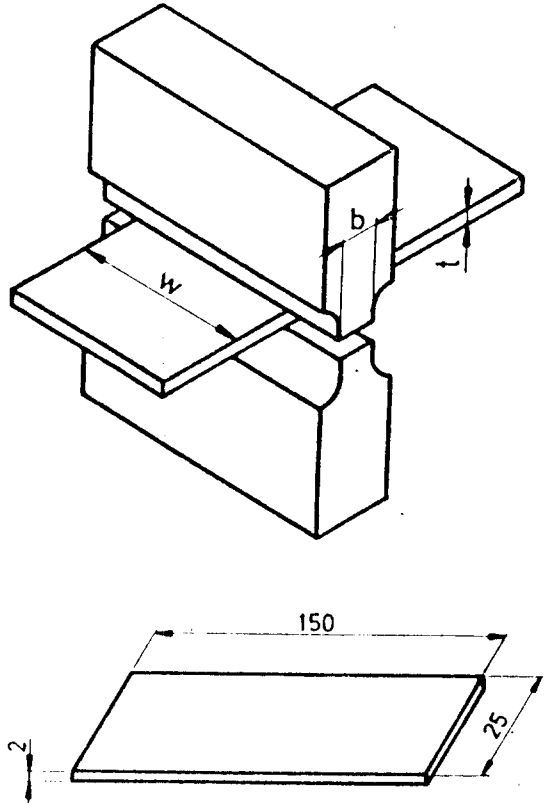


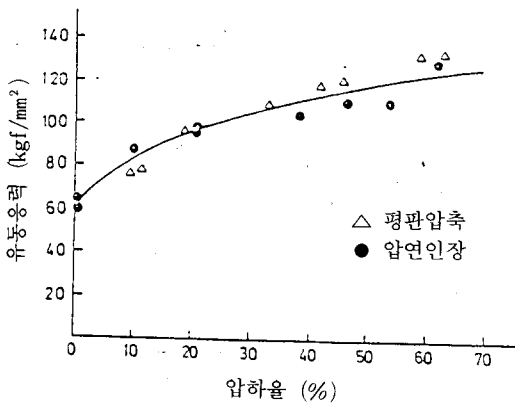
그림 4 평판압축 실험방법

한편 평판압축법에서는 그림4와 같이 펀치사이에 시편을 넣어 유효(기어유) 상태에서 각 압하율별로 2차원 압축시험을 하여 정적유동응력을 구한다.

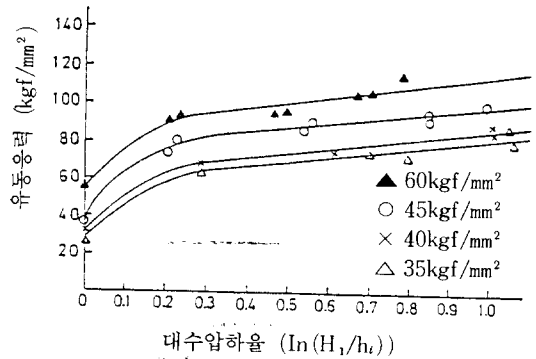
압연인장 시험과 평판 압축 시험의 결과는 그림5에 나타냈으며 평판압축시험은 마찰력의 영향으로 압하율이 클 경우에선 변형저항값이 크게 나타나는 것을 보여주고 압하율에 대한 유동응력값은 대수 그래프형태로 나타난다.

3.2 압연하중의 역산에 의한 방법

표1은 4열 연속압연기에서 수동으로 압연한 실적이



〈그림 5〉 실험에 의해 구한 정적구속 변형저항



〈그림 6〉 실측압연하중에서 역산으로 구한 경적 구속변형저항

다. 각 스탠드의 실측압연력과 입출구축의 냉연판두께를 나타내고 있으며 강종은 고강도강 35kgf/mm², 40kgf/mm², 45kgf/mm², 60kgf/mm²급을 사용하였다.

〈표 1〉 강종별 연속 압연기의 실측 압연하중

	35kgf/mm ² 폭1249mm		40kgf/mm ² 폭936mm		45kgf/mm ² 폭1498mm		60kgf/mm ² 폭1008mm	
	판두께		판두께		판두께		판두께	
	mm	kg	mm	kg	mm	kg	mm	kg
소재	3.158		3.95		3.95		2.692	
1스탠드	2.229	997.4	2.51	799.5	2.848	1548.8	2.005	1050.7
2스탠드	1.318	1018.4	1.85	688.5	2.045	1446.8	1.567	955.9
3스탠드	0.970	1019.9	1.37	691.4	1.554	1367.3	1.281	945.2
4스탠드	0.912	813.4	1.22	631.5	1.524	495.7	1.224	950.2

표1의 실측된 값에서 유동응력평균값을 식(2), (3)에서 마찰계수를 처음에는 0.04로 고정된 상태에서 역산으로 구하면 그림6의 각 점과 같이 계산된다.

4번스탠드에서의 값이 조금 크게 나타나 있는데 이는 채택된 마찰계수값이 정확하지 못한 결과로서 판단된다.

이때 초기소재의 항복강도값은 인장실험으로 구하였다. 실험값들을 회귀분석하여 식(1)의 꼴로 나타내면 l, m, n값이 구해지며, 그림6과 같이 대수압하율에 따른 정적유동응력값들을 실선으로 나타내진다.

3.3 모델에서 유동응력의 영향

압연하중을 계산하는 데는 평균유동응력 k_m이 필요하다. 압연에서는 입구축으로부터 출구축까지 서서히

변형량이 변하므로 평균유동응력 k_m으로서는 일반적으로 입구축의 유동응력 k_b과 출구축의 유동응력 k_r 사이의 평균적인 값을 취하는 경우가 많은데 일반적으로 k_m=(k_b+k_r)/2이 아니라 입구축으로부터 출구축에 걸쳐서 변형의 변화가 직선적이 아닌 것, 즉 압력분포에 마찰언덕이 존재하는 이유 때문에 다음 여러가지 방법이 제안되고 있다. 단, 연속냉간압연기를 고려하여 총압하율을 이용한다.

1) 입구축 총압하율

$$r_{bi} = (H_1 - H_i) / H_1 \quad (i = 1, 4) \quad (9)$$

H_i: 제 i 번 스탠드 출구축 판 두께

2) 출구축 총압하율

$$r_{ri} = (H_1 - h_i) / H_1 \quad (i = 1, 4) \quad (10)$$

h_i: 제 i 번 스탠드 출구축 판 두께

일반적으로 r=(r_b+r_r)/2가 아니므로 Bland 등이 제안한 다음 식의 가중치를 고려한다.

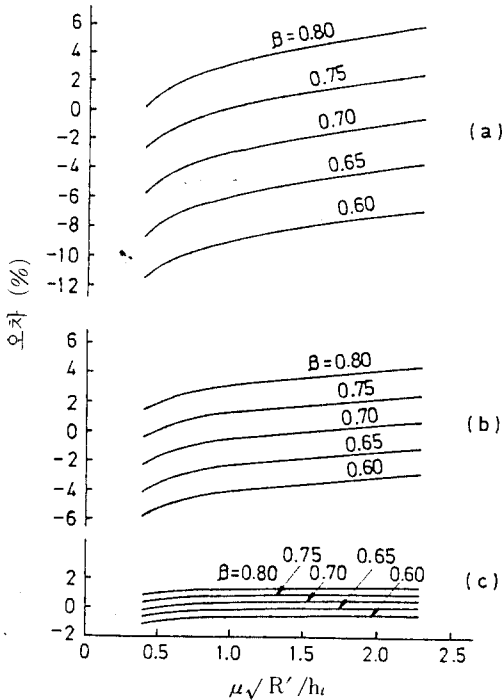
$$r_{ri} = (1 - \beta) r_{bi} + \beta r_{ri} \quad (11)$$

3) β의 검토³⁻⁴⁾

Bland, Hessenderg 등은 β값을 0.6으로 계산하였다. 전산기제어에 있어서 β값을 스탠드별로 분할할 필요없이 하나의 β값을 사용하면 편리할 것이나 스탠드별로 적정값이 변하거나 β값 절대치 수준이 적합한지의 여부를 검토할 필요가 있다. 따라서 β를 일정

계 한 경우 유동응력의 오차가 압연조건에 따라 어느 정도 발생하는가를 검토하였다. k_r/k_b 가 1.0부터 1.49, 2.24로 변화시킴에 따라 k 를 접촉호상에서 변화시켜 계산한 평판압연압력 $p_{ml,v}$ 와 식(11)에서 결정되는 k 를 이용하여 접촉호상의 k 를 일정하게 주어 구한 $p_{ml,o}$ 와의 오차 $(p_{ml,o}-p_{ml,v})/(p_{ml,o}$ 를 그림7에 나타내었다.

k_r/k_b 가 1에 가까운 그림7(c)의 경우 즉, 최종 스탠드에 가까운 스탠드일수록 k_r 와 k_b 값의 차가 작으므로 0.75로서 어떤 값을 사용하여도 오차가 작고 제1스탠드처럼 k_r/k_b 이 큰 그림7(a)의 경우에는 β 의 값에 따라 오차가 약간 크다. 그러나 계산 범위에서는 $\beta=0.75$ 를 대입하면 모두 오차가 3% 이내여서 각 스탠드마다 β 의 값을 바꾸어 줄 필요는 없다고 생각되었다.⁶⁾



(a) $\frac{k_f}{k_b} = 2.24$ (b) $\frac{k_f}{k_b} = 1.49$ (c) $\frac{k_f}{k_b} = 1.10$

<그림 7> β 일정하게 한 경우의 오차

4) 변형률 속도의 영향

$\beta=0.75$ 를 대입하여 얻은 총압하율값을 이용 대수 변형률을 구하면 식(12)과 같다.

$$\epsilon_i = \ln \frac{1}{1 - r_{r_i}} \quad (12)$$

실험 및 압연하중의 역산으로부터 구한 강 종류별 정적유동식(1)에 이 대수변형률을 대입하여 구한다.

임의변형률 속도에서의 유동응력을 정적유동응력 k_s 로 나타내려 할 때 k_{s_i} 가 작으면 변형률속도 의존성이 큰 것이 명확하다. 즉 k_{s_i} 가 작은 값일수록 압연중의 유동응력 k_i 는 k_{s_i} 에 비해 큰 값을 가질 필요가 있다. 변형률속도장을 고려한 압연제어모델에서 k_i 는 다음 식으로 된다.⁷⁾

$$k_i = k_{s_i} (1000 \lambda_i)^{n_{k_i}} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad (13)$$

$$n_{k_i} = \frac{5}{k_{s_i} - 23} - 0.06 \quad (15 < k_{s_i} < 85)$$

$$= 0 \quad (85 > k_{s_i})$$

$$\lambda_i = \frac{10}{60} \frac{2}{2 - r_{r_i}} \sqrt{\frac{r_i}{R_i H_i}} V_{oi} \quad (\text{sec})$$

압연기제어 모델에서는 (13) 식의 변형률속도장을 고려하였다.

4. 마찰계수

식(3)에서 보면 마찰계수보정항이 있다. 마찰계수 값은 압연유의 농도, 압연기특성 및 물의 조도 등에 영향을 받으며, 각 스탠드마다 특성이 달라질 수 있다. 그러므로 마찰계수는 압연기의 모델조정에서 가장 마지막으로 조정되며 실제 압연후 측정된 압연하중값들을 식(2)에 대입하여 역산할 수 있다. 즉

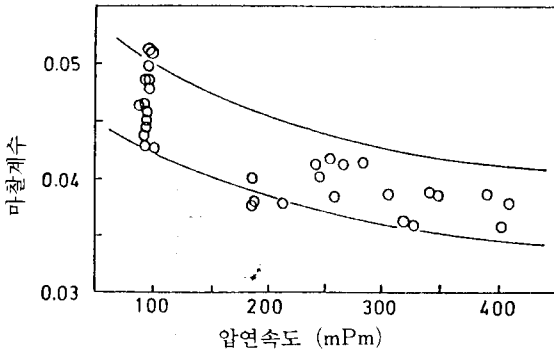
$$\mu_{pi} = \frac{Q_{pi} + 1.02 r_i - 1.08}{1.79 r_i \sqrt{R'_i/h_i}} \quad (14)$$

여기서

$$Q_p = \frac{P_i}{k_i K_i b \sqrt{R'_i (H_i - h_i)}} \quad (15)$$

일반적으로 마찰계수는 압연속도에 따라 변화하므로 실측압연하중에 따라 역산으로 구하는 마찰계수와와의 관계는 그림8과 같은 형태이므로 마찰계수는 압연속도에 따라 다음 식으로 주어질 수 있다.

$$\mu_i = \mu_{Pi} \left(\mu_{01} + \frac{\mu_{02}}{\mu_{03} + V_{Ri}} \right) \quad (16)$$



(그림 8) 4번 스탠드에서 마찰계수와 압연속도의 관계

5. 압연 하중에 미치는 장력의 영향

냉간압연에서는 상당히 커다란 장력이 가해져 압연하중은 장력이 없는 경우보다 저하한다. 이 장력에 의한 압연하중의 저하는 물론 Q_p 의 성질이 변하기 때문인데 Q_p 를 장력이 작용하지 않은 경우의 $Q_p (=Q_{p0})$ 와 장력의 보정항과의 곱의 형태로 나타낼 수 있다.

$$Q_p = \xi Q_{p0} \quad (17)$$

Q_{p0} 에 대해서는 예를들어 Hill의 근사식과 같은 간단한 식이 있으므로 매우 실용적이다.

이하에서는 식(17)의 ξ 의 수식모델에 대하여 검토한다.

ξ 는 전방, 후방장력 t_r, t_b 의 함수이고 다음 식으로 표시된다.

$$\xi = 1 - \frac{(\alpha - 1) t_b + t_r}{\alpha k_m} \quad (18)$$

식 (18)에서 $\alpha=2$ 로 하거나 t_b 쪽이 t_r 보다 압연하중에 미치는 영향이 큰 것으로부터 $\alpha=10/3$ 으로 한다.

식(2)에서 k_m =상수로 하면 거의 Bland와 Ford의 식과 일치하므로 간단히 표현하기 위하여 Bland와 Ford식을 이용하여 ξ 를 검토한다.

Bland와 Ford의 식은 다음과 같다.

$$Q_p = \left(1 - \frac{t_r}{k_m} \right) f(a, r, b) \quad (19)$$

$$a = \mu \sqrt{\frac{R'}{h_2}}, \quad r = \frac{\Delta h}{h_1}, \quad b = \frac{1 - t_r/k_m}{1 - t_b/k_m}$$

여기서

식 (19)에 있어서 $t_r = t_b = 0$ 즉 장력이 없는 경우의 t_r 를 t_b 로 하면 ξ 는 다음 식으로 표현된다.

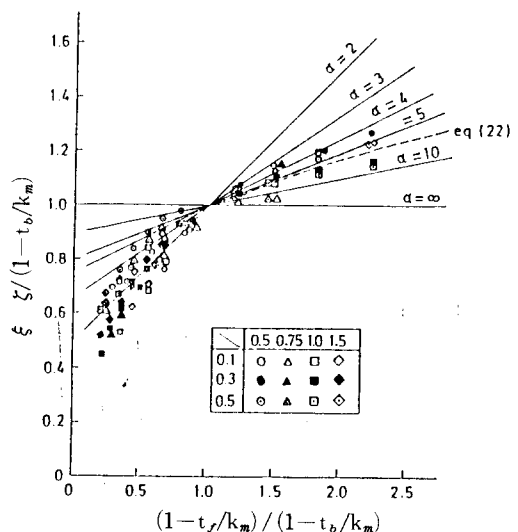
$$\xi = \left(1 - \frac{t_r}{k_m} \right) \frac{f_3}{f_{30}} \quad (20)$$

$\xi / (1 - t_b/k_m)$ 와 $(1 - t_r/k_m) / (1 - t_b/k_m)$ 의 관계를

a, r 를 매개변수로 하면 그림9와 같이 된다.

한편, 식 (18)을 다시 쓰면

$$\frac{\xi}{1 - t_b/k_m} = \frac{\alpha - 1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha} \times \frac{1 - t_r/k_m}{1 - t_b/k_m} \quad (21)$$



(그림 9) 압연하중에 미치는 장력의 영향 (Bland-Ford의 해)

이 되고 Hessenderg나 美坂처럼 $\alpha = \text{const.}$ 로 하면 $\xi / (1 - t_b/k_m)$ 와 $(1 - t_f/k_m) / (1 - t_b/k_m)$ 와는 직선관계에 있다.

그림9의 결과로부터 매개변수 변동범위전체를 나타내는데 직선으로는 다수 무리가 있음을 알 수 있다. 단 t_f 와 t_b 가 거의 같은 스탠드에서는 ξ 가 $1 - t_b/k_m$ 에 거의 같으므로 α 는 그다지 중요하지 않다. 그러나 판의 가감속중에는 t_f 와 t_b 가 대폭으로 변하므로 동적제어를 생각할 때에는 식 (21)로는 불충분하다. 그림9는 압하율 r 과 $\mu\sqrt{R'}/h_2$ 를 구별하여 나타내었고, $(1 - t_f/k_m) / (1 - t_b/k_m)$ 이 1.0이하에서는 $\mu\sqrt{R'}/h_2$ 에 관계없이 압하율에 의존하며, 1.0이상에서는 역으로 압하율에 관계없이 $\mu\sqrt{R'}/h_2$ 만으로 정리될 수 있다고 볼 수 있다.

그러나 압연조건의 범위에서는 수식모델로서 파선으로 나타낸 다음 식을 이용하여도 실용상 충분하다고 본다.

$$\frac{\xi}{1 - t_b/k_m} = 1.05 + 0.10 \frac{1 - t_f/k_m}{1 - t_b/k_m} - 0.15 \frac{1 - t_b/k_m}{1 - t_f/k_m} \quad (22)$$

6. 압연하중 계산치와 실측치 비교

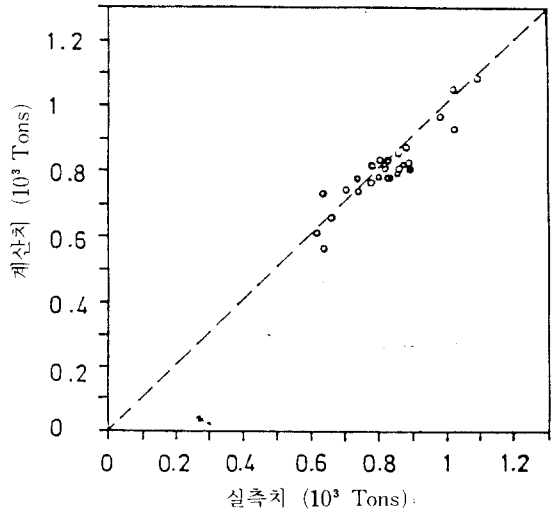
앞절에서 언급한 유동응력, 마찰계수 및 장력의 영향을 고려하여 실제 연속 압연기에서의 압연하중값과 Hill식에 의해 계산된 값을 비교, 분석했다.

그림10, 그림11, 그림12, 그림13은 각각 35kgf/m², 40kgf/mm², 45kgf/mm², 60kgf/mm²급 고장력강의 실측압연하중과 계산치와의 편차를 나타낸 것이다.

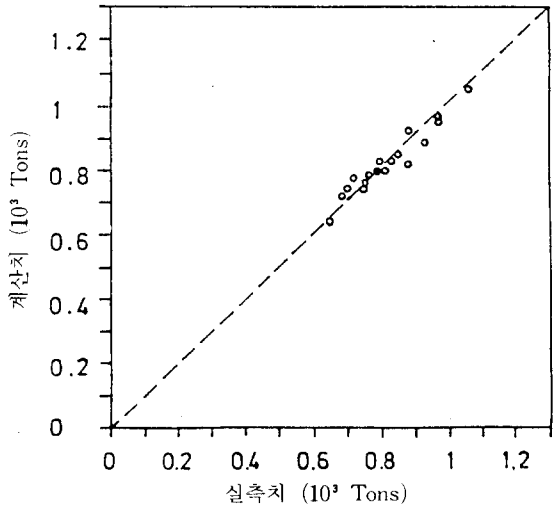
계산하중치와 실측치들의 관계가 비교적 잘 일치되고 있는 점은 본 연구에서 얻어진 수식모델이 조업모델로서 사용가능함을 대변하고 있다.

7. 결 론

냉간압연에 있어서 전산기제어를 위해 필요한 압연하중 예측모델에서 평균유동응력, 마찰계수의 영향 및 압연하중의 정도를 향상시키기 위한 계수값을 구하는



〈그림 10〉 35kgf급 고장력강의 압연하중 실측치와 계산치의 비교

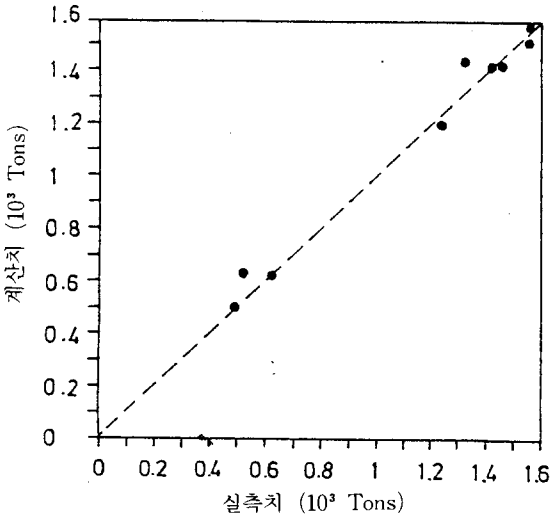


〈그림 11〉 40kgf급 고장력강의 압연 하중 실측치와 계산치의 비교

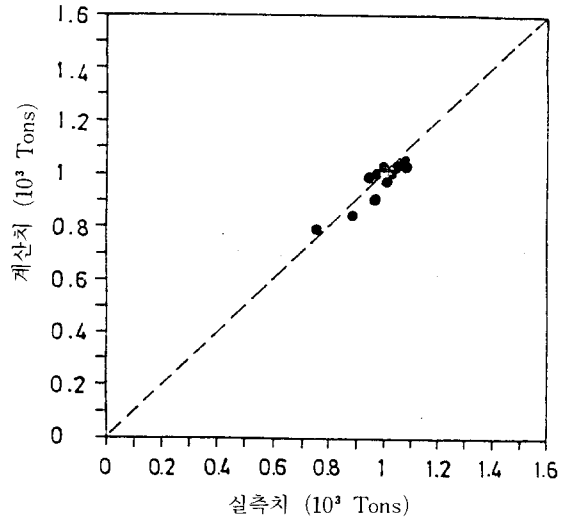
방법과 압연 전후방장력의 영향을 검토하였다. 압연속도 예측모델에서는 최종 출구측 판속도로 연속압연기의 물속도 결정방법을 검토하였다.

이상의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 평균유동응력은 압연기 설치초기는 압축 인장실험치를 도입 사용하였으나 압연실적이 있으면 실압연



〈그림 12〉 45kgf급 고장력강의 압연하중 실측치와 계산치의 비교



〈그림 13〉 60kgf급 고장력강의 압연하중 실측치와 계산치의 비교

하중으로부터 역산하여 구할 수 있다. 또한 유동응력 k 를 접촉호에 따라 적분할 필요없이 $r_{Ti} = (1-\beta)r_b + \beta r_i$ 인 총압하중에 있어서 유동응력으로 근사화시킬 수 있고 β 의 최적치는 약 0.75이다.

2) 마찰계수는 전산기제어모델식에서 최종적으로 결정하여야 하며 각각의 연속압연기마다 그 특성에 따라 달라진다.

3) 연속냉간압연기는 전후방장력이 작용되므로 압연하중은 식 (2)의 ξ 만큼 보정하여 압연하중을 구할 수 있다.

4) 연속압연기에서 각각의 롤속도를 결정하고자 할 때 Bland식에 적용계수 Λ_i 값을 도입하여 보정할 필요가 있다.

참고문헌

1. 志田 : 塑性과 加工, 13-143. (1972), 935
2. M. Kissel & C. Fromhoz : The Sci. & Tech of Flat Rolling, Proc. of The 4th Int. Steel Rolling Conf. Vol 2. 1987. F21
3. Bland, O. R & Ford, H : Proc. Inst. Mech. Engr, The Calculation of Roll Force and Torque in Cold Strip Rolling with Tensions, 159(1948), pp.144-153.
4. Hesselberg. W. C. F : J. Iron Steel Inst., 168-2(1951), 155
5. 美坂 : 塑性과 加工, 8-75(1967) 188.
6. 志田 : 塑性과 加工, 14-146(1973) 195.
7. 志田 : 塑性과 加工, 14-146(1973) 286.