

## 신경망을 이용한 Edger압연 크롭저감 연구

천 명 식, 장 대 섭, 이 준 정  
포항산업과학연구원, 압연프로세스연구팀  
(주)포항제철 후판부 후판기술팀

### Crop Control by Using Neural Network in Edger Mill

M. S. Chun, D. S. Jang and J. J. Yi  
Rolling Process Research Team, RIST  
Plate Dept., POSCO

#### Abstract

Crop minimization of the top and bottom ends of hot rolled plate, in a plate mill, has been investigated. The existing model to determine the edging pattern at the finishing rolling pass was not reasonable to get high width accuracy and rolling yields. New models including width prediction have been formulated by using neural network model of back propagation learning algorithm and statistical analysis based on the actual production rolling data to give the optimal edging pattern for minimizing trimming loss. Using these models, at a given rolling condition of broadside pass and finishing pass and the permissible condition of width variation, it was possible to minimize crop at the top and bottom ends according to optimum procedure in plate mill. An application to improve the plan view pattern reduced width variation by 23% and crop length by 30% on average with an effective fishtail crop shape.

**Key words :** Plate mill, Crop, Trimming loss, Edger, Width prediction model, Crop prediction model

---

#### 1. 서 론

후판실수율은 판폭, 평면형상 및 캠버제어에 의해 좌우되는데 그 중 판폭과 평면형상제어는 관련모델의 예측정도에 따라서 크게 영향을 받는다. 후판압연에서 크롭이란 선후단의 비정상변형 발생부를 의미하며 선후단부 크롭(top and bottom crop)과 에지부 폭변동에 의한 측면크롭(side crop)으로 분류한다. 이들 크롭을 줄이기 위한 수단은 에저압연(edger rolling) 또는 두께차 변화압연(통상, dog bone rolling)법을 사용하며 이와 관련하여 많은 연구들을 수행해 왔다. <sup>1)~4)</sup> 그러나 이와 같은 크롭을 줄이기 위해서는 관련모델의 예측정도와 압연조건에 따른 적절한 제어로직 설계가 무엇보다도 중요하다. 에저압연에 의한 평면형상제어는 일본제철소의 경우 '80년도 초기부터 개발되어온 압연법으로 실기압연에 적용하여 실수율 향상에 크게 기여하여 왔다. 에저압연법의

적용효과는 에저압연에 의한 폭변화 예측정도에 전적으로 의존하며 그 다음 선후단부의 크롭(이하, 선후단부 크롭을 크롭이라 칭함) 예측정도에 따른 최적 에징조건 도출과 압연조건에 따른 적절한 제어로직설계가 이루어져야 크롭을 최소화 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 후판 에저압연시 패스별 판 폭에측에 관한 모델식을 개발하여 에저압연 입측 폭을 엄밀 예측하고 크롭 예측 모델로부터 최적 에징조건을 도출하여 압연조건에 따라 적절하게 에징량(edging value)분배해 주는 에저압연 제어로직을 개발하고자 한다.

## 2. Edger 압연 제어모델 개발

### 2.1 에징에 따른 크롭발생 현황

크롭형태는 Fig. 1 과 같이 압연조건에 따라 비대칭 혀형상(1, non-symmetric tongue shape), 혀형상(2, tongue shape), 비대칭 피쉬테일 형상(3, non-symmetric fishtail shape), 피쉬테일 형상(4, fishtail shape), 피쉬테일형 혀형상(5, fishtail with tongue shape) 등의 5가지 유형으로 분류된다. 이중 비대칭 크롭은 다음과 같은 요인에 의해 주로 발생한다. 첫째 폭내기패스시 에징압연으로 선후단부의 후레이(flare)형상이 다르기 때문에 90도 회전후 길이내기 패스가 되면 에지부의 변형량의 차이를 유발하여 비대칭 크롭이 된다. 둘째, 에징량이 작거나 폭내기압연시 선단부의 판휨등이 발생하여 길이내기압연시 스크라브가 에저압연기 또는 수평압연기에 치입할 때 약간 틀어져 치입되는 경우에 비대칭 크롭을 유발한다. 이와 같은 비대칭정도는 길이내기비(LRR, longitudinal rolling ratio)가 증가할수록 증가한다. Fig. 2 ~ 3 은 길이내기비( $\lambda_3$ )가 각각 2~5, 8~11 일 때 에징량에 대한 크롭길이를 나타낸다. 길이내기비가 증가함에 따라 혀형상의 크롭에서 피쉬테일 형상의 크롭으로 바뀌는 전이점이 증가함을 알 수 있다. 즉, 길이내기비가 증가하면 길이내기패스시 부여할 에징량도 증가해야 한다는 사실을 알 수 있다.

### 2.2 크롭 예측모델

역전과 신경망 학습 알고리즘을 이용하여 날판의 크롭길이를 예측하였다. 크롭길이는 선단부와 후단부를 합한 길이이며 1차 학습 450매, 2차학습 500매 사용하여 적응학습(adaptive learning)을 실시하였다. 신경망은 크롭길이에 영향을 주는 6개의 입력뉴런, 12개의 은닉뉴런 그리고 1개의 출력뉴런으로 구성하였으며 학습계수와 은닉뉴런의 수를 변화시켜 최적 학습계수를 도출하였다. 크롭길이에 영향을 주는 입력항은 폭내기비(BRR, broadside rolling ratio), 폭내기 패스 에징량(edging value), 폭내기전후 온도비, 판폭/판두께비, 길이내기비, 길이내기패스 에징량이며 출력항은 크롭길이이다. Fig. 4 는 크롭길이 예측에 대한 신경망 모델링 결과이며 예측값과 실측값과의 차이가 100mm 이내의 오차범위를 갖는다. 신경망학습에 의한 날판의 크롭예측식에 모델 식의 구성은 다음과 같다.

$$h_j = f \left( \sum_{i=1}^6 W_{ji} X_i - \theta_j \right) \quad (1)$$

$$f(h_j) = \frac{1}{1 + e^{-h_j}} \quad (2)$$

$$O_k = f \left( \sum_{j=1}^{12} V_{kj} h_j - \theta_k \right) \quad (3)$$

$$f(O_k) = \frac{1}{1 + e^{-\theta_k}} \quad (4)$$

$$X_i = [ W_B/W_0, \Delta W_{E1}, T_B/T_0, W_B/H_F, H_B/H_F, \Delta W_{E2} ] \quad (5)$$

여기서,  $W_{ij}$ ,  $V_{kj}$  는 입력층과 은닉층과의 가중값, 은닉층과 출력층과의 가중값,  $\theta_j$ ,  $\theta_k$  는 은닉층과 출력층의 임계값,  $h_j$ ,  $O_k$  는 은닉층과 출력층의 각 절점에 대한 출력값,  $W_B$  는 판폭,  $W_0$  는 폭내기전 폭,  $\Delta W_{E1}$  폭내기패스 예정량  $T_B$  는 폭내기 종료온도,  $T_0$  는 폭내기 입측온도,  $H_F$  는 판두께,  $H_B$  는 폭내기 목표두께,  $\Delta W_{E2}$  는 길이내기패스 예정량을 각각 나타낸다.

### 2.3 Edger 압연 판폭 예측모델

에저압연시 에징을 실시하면 판 에지부에 국부적으로 도그 본(dog bone) 이 형성되고 도그 본 발생부를 수평압연하게 되면 폭방향으로 다시 폭 회복현상을 일으킨다. 이 때 도그 본 회복량은 입측 두께, 입측폭, 예정량에 따라 영향을 받기 때문에 이들을 고려한 엄밀 예측이 중요하다. 판폭 예측이 부정확하면 예정량의 부여가 부정확해지고 폭정도하락의 요인이 된다. Fig. 5 는 판폭에 따른 에저압연에 의한 폭 감소율의 변화를 나타낸 것이다. 판폭이 증가할수록 폭 감소율은 아주 작아짐을 알 수 있으며 특히, 광폭재의 경우는 도그 본 발생부가 거의 폭방향으로 회복됨을 알 수 있다. 에저압연에 의한 폭변화에 영향을 주는 인자들을 이용하여 하기 식과 같은 꼴을 갖는 예측모델식을 개발하였다.

$$\eta_i = [1 + a_1(H_i - H_0) \cdot \exp[a_2 \Delta W_{Ei} \cdot W_i^m]] \quad (6)$$

여기서,  $\eta_i$  는 에저압연에 의한 폭감소율,  $H_i$  는 예정전 입측두께,  $H_0$  는 기준두께,  $W_{Ei}$  는 예정량,  $W_i$  는 예정전 입측 폭을 나타내며,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $m$ ,  $n$  은 상수이다.

### 2.4 판폭 예측방법

폭내기종료후 판 폭프로파일은 폭내기패스시 에징압연을 실시함에 따라 90도 회전후 스라브의 에지부에는 피쉬테일 형상이 남게되어 중앙부에 비해 선단과 후단부가 돌출되는 형상(이하, "귀(ear)" 라 칭함)을 갖게 된다. 길이내기 첫 패스 압연이 시작되면 사이드가이드(side guide)에 의해 폭을 측정하고 측정된 폭을 기준으로 길이내기 패스 에징을 실시하게 된다. 따라서 1패스 후의 출측 폭은 이와 같은 귀발생부를 제외한 정상부 폭을 기준으로 에저압연에 의한 폭감소량을 계산하고 이 값에 두께압연에 의한 폭퍼짐량을 고려하여 다음과 같이 계산한다.

$$W_i = W_{SG} - \Delta W_{EAR} + (1 - \eta_1)(\Delta W_{E1} - \Delta W_{EAR}) + \Delta W_{H1} \quad (7)$$

여기서,  $W_{SG}$  는 사이드가이드 측정 폭,  $\Delta W_{EAR}$  은 에지부 귀 발생량,  $\Delta W_{E1}$  은 길이내기 1패스 예정량,  $\Delta W_{H1}$  은 두께압연 폭퍼짐량을 각각 나타낸다. 둘째패스 압연의 경우는 두께압연에 의한 폭퍼짐량만을 고려하게 되고 3패스 예정패스에서는 통상의 방법으로 폭을 계산하면 된다. Fig. 6은 길이내기 첫 패스의 출측 폭 계산방법의 모식도를 나타낸다.

## 2.5 최적 길이내기패스 예정량 도출

날판의 전단손실은 선후단부 크롭과 판 폭변동에 따른 측면크롭으로 구성되나 주로 선후단부 크롭에 의해 좌우된다. 최적의 예정량의 결정은 선후단부의 크롭을 줄이기 위해서 예정량을 증가시키면 판내 폭편차량이 증가하여 측면크롭을 발생시키기 때문에 이를 고려하여 설계해야 한다. 크롭이 최소가 되는 조건은 판내 폭편차량이 허용가능한 값내의 예정량을 도출해야 한다. Fig. 7은 길이내기 패스 예정량을 결정하는 흐름도를 나타낸 것이며 예정량을 결정하는 절차에 대해서 좀 더 상세하게 설명하면 다음과 같다.

단계1) 스라브두께, 폭, 길이, 판두께, 폭, 폭내기 목표두께, 폭내기패스 예정량, 폭내기패스 전,후의 온도 등의 입력변수로부터 폭내기비( $\lambda_2$ )와 길이내기비( $\lambda_3$ )를 계산한다.

단계2) 판내 폭편차의 허용 한계조건( $\Delta W=-10\text{mm}$ )에서의 길이내기패스 예정량( $\Delta W_{Lim}$ )을 계산하고 그 때의 선후단부 크롭길이( $\Delta C_{Lim}$ )를 하기 식의 꼴로부터 계산한다.

$$\Delta W_{Lim} = A_1(\lambda_3/\lambda_2)^2 - A_2(\lambda_3/\lambda_2) + A_3 \quad (8)$$

여기서,  $A_1, A_2, A_3$ 는 상수이다.

단계3) 초기 길이내기 예정량을 가정하고 (8)식의 모델 식으로부터 크롭길이를 계산한다. 예정량이 단계 2)에서 계산한 예정량을 초과하면 계산을 종료한다.

단계4) 단계3)의 예정량으로부터 계산한 크롭길이가 단계2)의 크롭길이를 초과하면 계산을 종료하고 이내이면 예정량을 증가시켜 단계 3) ~ 단계 4) 과정을 반복 계산한다.

상기 절차를 통해 계산된 값은 길이내기 패스에서의 총 예정량을 나타낸 것으로 소재 및 압연조건에 따라 패스별로 압연가능 범위내에서 분배한다.

## 3. 신 Edger 압연 제어모델 적용결과

### 3.1 크롭발생량

Fig. 8은 신 제어모델을 적용전의 판두께 10~20mm 조건에서 판폭에 따른 후단부의 크롭형상을 나타낸 것으로 70% 정도가 허형상 크롭을 나타냄을 알 수 있다. 좌우 대칭의 이상적인 피쉬테일형상의 경우 평균 크롭길이(크롭발생부 면적을 판폭으로 나눈 길이)로 환산하면 허모양 크롭의 1/3~1/5 정도에 지나지 않는다. Fig. 9는 신 제어모델 적용후의 Fig. 8과 같은 조건에서 크롭형상을 나타낸 것으로 허형상 크롭이 약 30%로 적용전에 비해 현저히 줄었음을 알 수 있다. Fig.10은 신 제어모델 적용전, 후의 압연조건별 선후단부의 크롭길이를 조사한 결과이며 선단부와 후단부의 길이를 더한 총 크롭길이를 나타낸 것이다. 적용전과 비교하여 크롭길이가 길이내기비의 대소에 관계없이 평균적으로 약 23%의 감소효과를 보인다. 실제로 평균 크롭길이를 환산하여 비교하면 개선효과가 더 크다고 추정할 수 있다.

### 3.2 폭정도

Fig 10은 신 제어모델 적용후의 폭정도를 나타낸 것이다. 폭적중율의 경우 적용전에 비해 적용후 8% 정도의 향상율, 판간 폭편차의 경우 적용전에 비해 약 4mm 이내의 감소효과가 있음을 알 수 있다. 월별로 약간의 변동이 있는 것은 압연조건에 영향뿐만 아니라 제어모델 적용후 지속적인 모델과 로직을 조정해 왔기 때문이며 현재는 안정적인 지표를 유지하고 있다. 이상의 결과를 토대로 살펴보면 신 모델적용후 적용전에 비해 폭적중율 및 판간 폭편차 모두 개선효과가 현저함

을 알 수 있다.

#### 4. 결론

에저압연기를 갖는 후판압연공정에 판폭예측모델과 크롭예측모델을 개발하고 크롭길이를 최소로 하는 제어 알고리즘을 실기에 적용 및 조정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 에저압연에 의한 판폭변화량을 엄밀 예측할 수 있는 모델을 개발하여 폭정도가 종전에 비해 약 4mm 정도 향상 되었으며 폭적중을 측면에서도 8%의 정도향상을 보였다.
- 2) 크롭예측모델로부터 크롭길이를 최소화하는 알고리즘을 개발하여 크롭형상이 종전의 혀형상 크롭에서 피쉬테일형상 크롭으로 현저히 개선되었다.
- 3) 신개념방식의 에저압연 로직을 적용한 결과 크롭길이가 적용전에 비해 약 30% 감소효과를 얻었다.

#### 참고문헌

1. S. Sasaji et al, Ttetsu-to-Hagane, No.15, pp139-148, 1981.
2. M. Inoue et al, Trans. ISIJ, Vol.27, No.3, B.51-53, 1987.
3. H. Furukawa et al, Steel Rolling '98, November 9-11, pp.583-588, 1998.
4. 천명식 외, 한국소성가공학회지, Vol.8, No.2, pp 208-215, 1999.

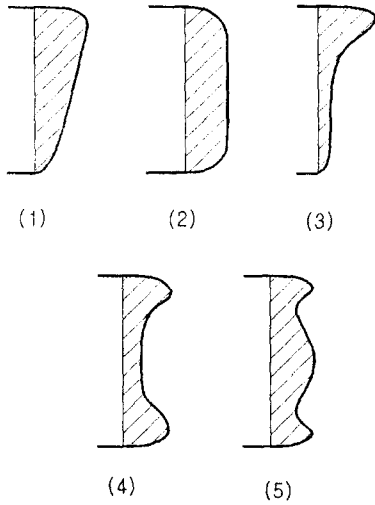


Fig. 1 Schematic drawing of crop shape

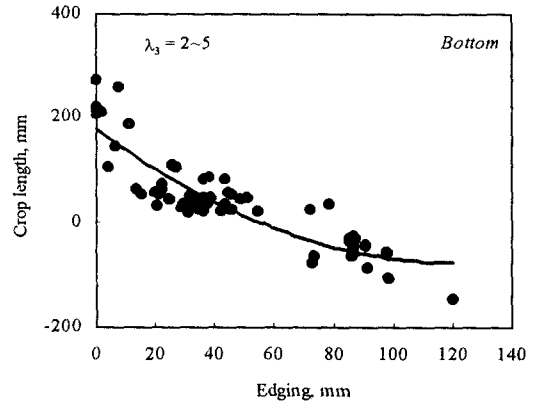


Fig. 2 Crop length after finishing rolling

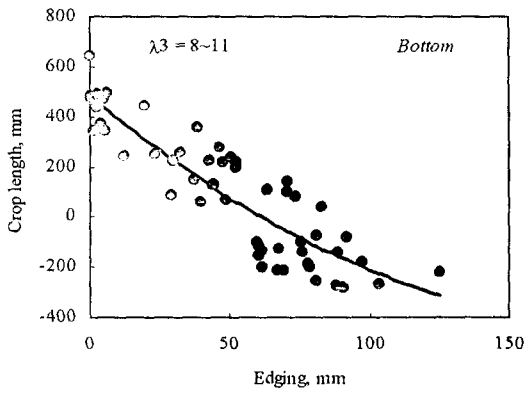


Fig. 3 Crop length after finishing rolling

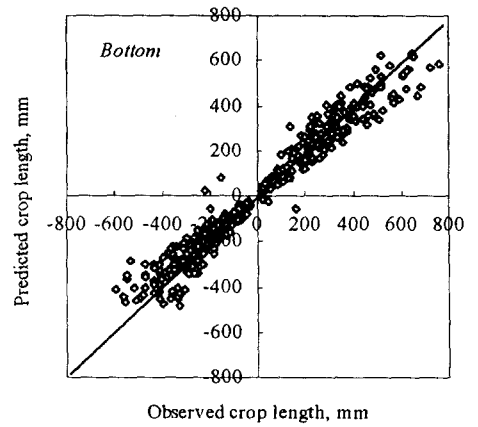


Fig. 4 Comparison with observed and predicted values of crop length

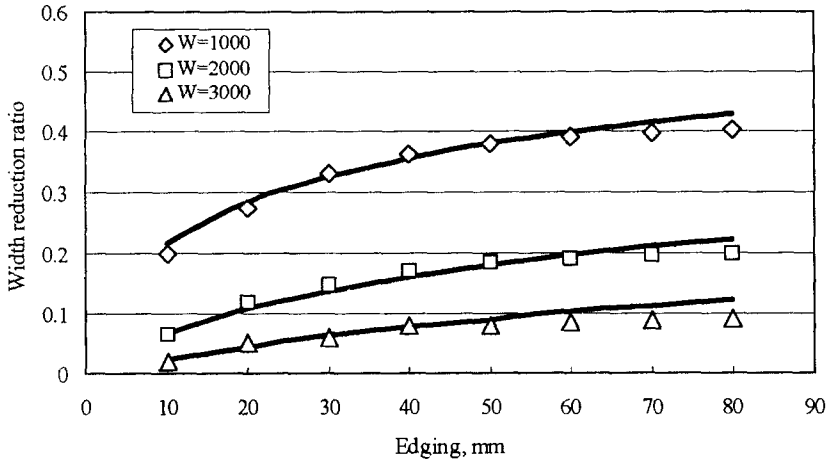


Fig. 5 Relationship between width reduction ratio and plate width

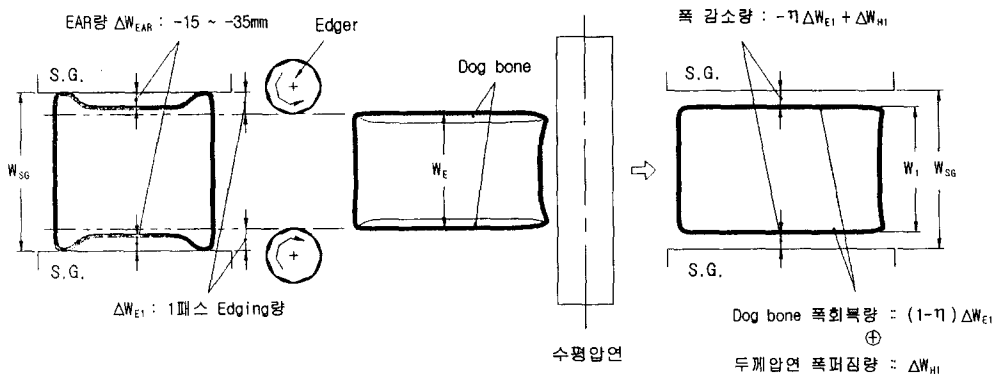


Fig. 6 Width prediction method of finishing pass

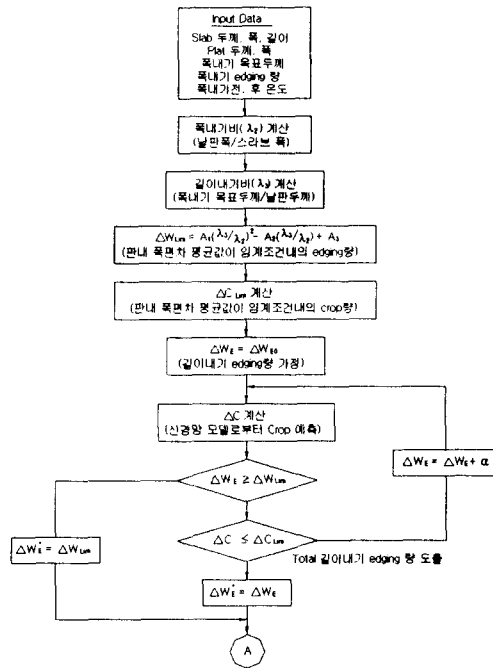


Fig. 7 Flow chart to determine the edging value of finishing pass

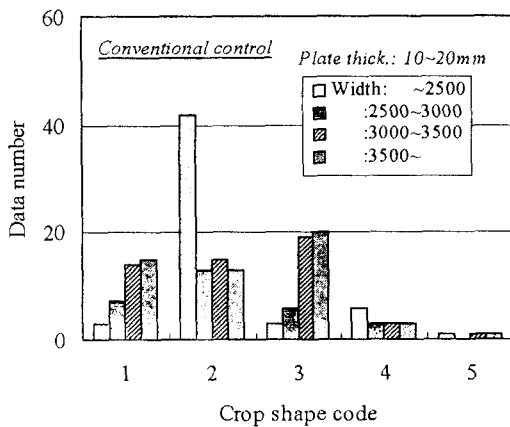


Fig. 8 Crop shape pattern of conventional control

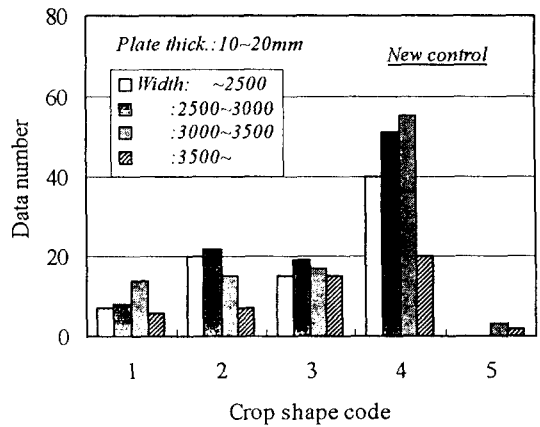


Fig. 9 Crop shape pattern of new control



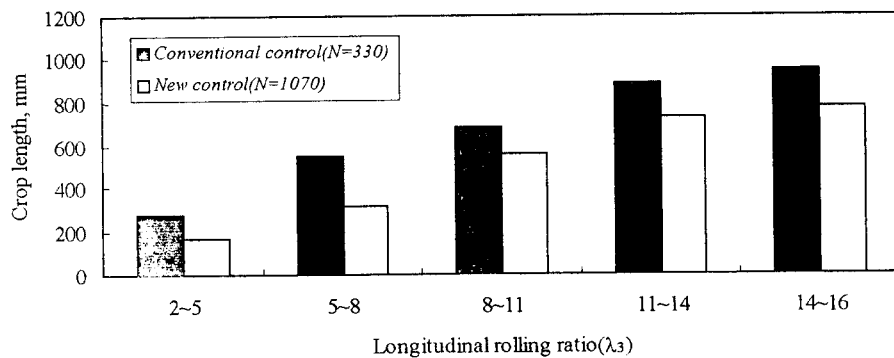


Fig.10 Comparison between conventional and new control of crop length

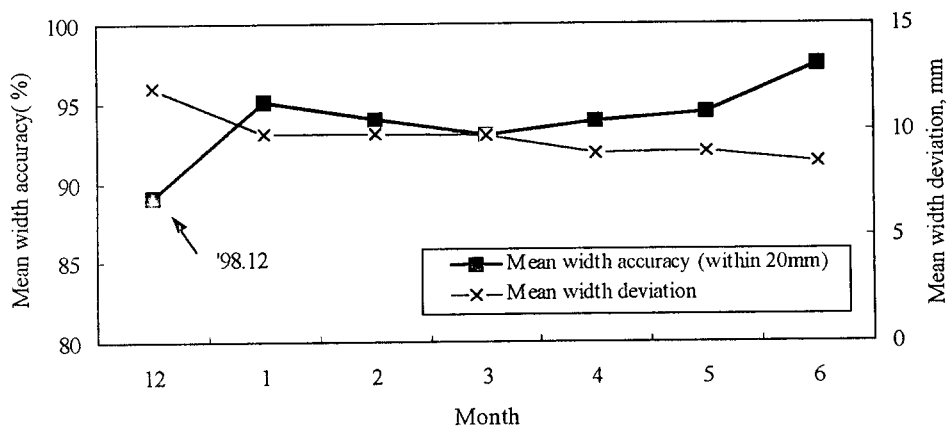


Fig.11 Result of new edger control