

## 빔 블랭크를 이용한 H형강 압연 거동 연구

김정민<sup>#</sup> · 최우남<sup>1</sup> · 박춘수<sup>1</sup> · 김기원<sup>1</sup>

### Analysis of the Metal Flow in H-Beam Rolling using Beam Blank

J. M. Kim, W. N. Choi, C. S. Park, K. W. Kim

(Received June 17, 2013 / Revised August 28, 2013 / Accepted September 16, 2013)

#### Abstract

Metal flow of the beam blank during H-beam rolling was examined in order to correlate the rolling defects with the beam blank configuration. For this purpose, H-beam rolling was performed on the beam blank where stainless steel bolts were inserted as the marker at the web and flange. The positional variation of the marker was monitored at each rolling pass, and the result was compared with the 3D FEM simulation employing the point tracking function. The simulation results were reasonably agreed with the experimental within the error of 0.5~1mm on both web and flange of the H-beam. It is anticipated that the 3D FEM simulation employing the point tracking function provides the guidance information on analyzing the correlation between the rolling defects and the beam blank configuration in H-beam rolling.

**Key Words** : FEM Analysis , Rolling Behavior, Beam Blank, Metal Flow, H-beam, Point Tracking, DEFORM 3D

### 1. 서 론

빔 블랭크는 일반적으로 H형강 제품 생산에 사용되는 소재이다. 특히 중, 대형 H형강에 적용되고 있으며 H형강 제품 사이즈에 따라 빔 블랭크 사이즈도 다양하게 사용하고 있다.



Fig. 1 H-beam web crack

H형강 제품 생산 시 부분적으로 웹 또는 플랜지에서 결함이 발생된다. H형강에서 발생하는 웹 또는 플랜지 결함은 빔 블랭크의 내외부에 발생하는 소재성 결함이거나 롤 또는 가이드 등의 압연설비에 의해 발생하는 압연성 결함으로 나뉜다. Fig. 1은 대표적인 H형강 웹 결함이다.

그렇지만 빔 블랭크를 이용한 H형강의 압연 거동 분석의 어려움으로 인해, 빔 블랭크와 H형강 결함의 상관관계를 도출하기에는 상당한 어려움이 있었다. 그러나 최근에 FEM 해석 기술 발달 및 컴퓨터 성능 향상으로 인해 해석 프로그램을 이용한 압연 거동 분석이 가능해졌다.

따라서 본 연구에서는 3차원 FEM 해석 프로그램을 이용하여 H형강 압연 공정 해석을 수행하고 포인트 트래킹 기능을 이용하여 초기 소재인 빔블랭크의 특정 위치가 최종 제품인 H형강의 플랜지 및

1. 동국제강 중앙기술연구소  
# Corresponding Author : Dongkuk steel R&D Center, E-mail : jeongmin.kim@dongkuk.com

웹으로의 위치변화를 추적하였다. 또한 실제 빔 블랭크 표면에 스테인리스 볼트를 삽입하여 압연 실험을 수행하고 압연 후 H형강에서 스테인리스 볼트의 변형형태를 분석하였다. FEM 해석결과를 스테인리스 볼트 압연 실험 결과와 비교함으로써 FEM을 이용한 압연 거동 해석 가능성을 평가하고자 하였다.

기존 연구로는 플라스틱을 이용한 H 형강 압연 모사실험을 하여 각 압연 패스 별 압연 거동, 압연 하중, 압연토크를 측정하였고[1], FEM 을 이용하여 형상 압연 공형설계 및 다단 압연공정 해석을 수행하였다[2~5]. 최근에는 유한요소 해석 프로그램과 멀티스케일 모델을 이용하여 선재 압연 결함 예측 모델을 개발하였다. 포인트 트래킹 기능을 이용하여 지정된 포인트의 변형이력을 추출하였고 추출된 변형이력을 미시 결함 모델에 적용하였다[6].

## 2. H형강 압연공정의 이론적 고찰

### 2.1 BDM 압연공정

H 형강 압연공정은 일반적으로 Break Down Mill (이하 BDM)과 Finish Mill(이하 FM)으로 구성되어 있다. BDM 압연공정은 빔 블랭크 또는 블룸 소재를 H형강 용 압연에 용이하게 초압연 해주는 공정이다. BDM 최종 형상을 압연용어로 BDM 리더 패스로 지칭하고 있다. BDM 압연 방식은 주로 역구동 타입이며 압연기 형태는 2 High 타입의 압연기를 사용하고 있다.

BDM 압연공정에서 중요한 것이 BDM 리더 패스 공형설계이다. 이는 BDM 리더 패스 형상에 의해 H형강 제품 형상 및 치수가 결정되기 때문이다.

BDM 리더 패스 형상은 파라미터에 의해 결정되며 Fig. 2는 BDM 리더 패스의 주요 설계 파라미터이다.

BDM 리더 패스의 주요 파라미터의 이론적 수식은 다음과 같다.

$$B_k = B_w + 2T_{f2} \tag{1}$$

$$B_w = (0.8 \sim 1.0) \times b_w - (0.75 \sim 0.9) \times h_f + 8.5 \tag{2}$$

$$H_f = (1.0 \sim 1.5) \times h_f - (0.005 \sim 0.015) \times b_w - 10.0 \tag{3}$$

$$T_{f1} = T_{f0} + (0.05 \sim 0.2) \times (H_{f0} - H_f) - 5 \tag{4}$$

$$E = 3.0 \sim 6.0^\circ \tag{5}$$

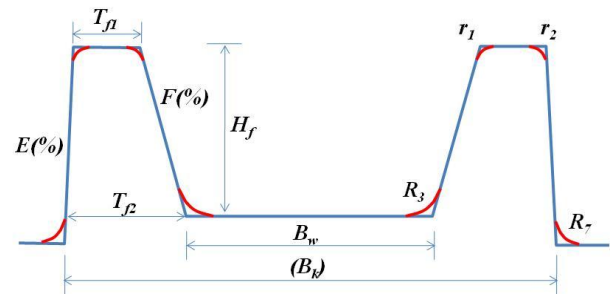


Fig. 2 The design parameters for caliber of BDM Leader Pass

위의 주요 파라미터 수식은 압연실험에 의해 획득한 경험식이며 빔 블랭크의 치수와 최종 H형강 치수에 의해 파라미터 수식이 결정된다.  $b_w$ 는 H형강 제품 내폭,  $h_f$ 는 H형강 제품 다리 높이,  $T_{f0}$ 는 빔 블랭크의 플랜지 선단부 폭,  $H_{f0}$ 는 빔 블랭크의 다리 높이이다.

식(1)은 BDM 리더 패스의 전체 폭을 구하는 식이고 식(2)는 내폭, 식(3)은 다리 높이, 식(4)는 플랜지 선단부 폭, 식(5)는 외측 경사도를 구하는 식이다.

### 2.2 FM 압연공정

FM 압연공정은 일반적으로 유니버설 및 2 High 타입의 압연기로 구성되어 있다.

Fig. 3은 유니버설 압연 모사 그림이다. 구체적으로 설명하면 유니버설 타입의 압연기는 Fig. 3과 같이 상, 하 좌, 우 롤이 있으며 상, 하 롤은 구동이 되지만 좌, 우 롤은 무구동이다. 유니버설 압연기의 중요한 특징이 웹, 플랜지 부 동시 압연이 가능하다는 점이다. 2 High 타입의 압연기는 상, 하 롤으로 구성되어 있으며 FM 압연에서는 플랜지 선단부만

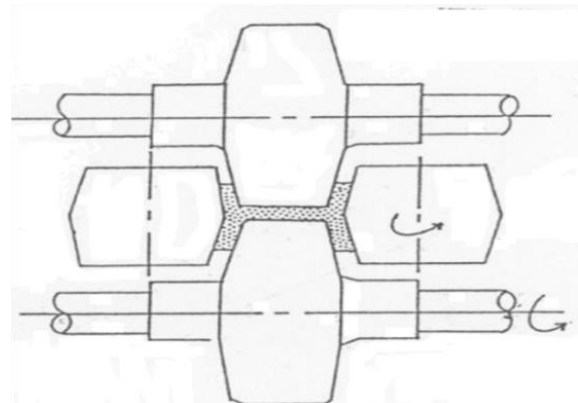


Fig. 3 Universal roll profile

압연하는 즉 옛징용 압연기이다. H형강 사이즈에 따라 압연기 배열이 차이가 있으며 압연방식도 차이가 있다. 일반적으로 중, 소형은 텐덤 타입, 대형은 역구동 타입을 적용하고 있다.

### 3. H형강 압연실험

#### 3.1 빔 블랭크 제품 및 강종

H형강 압연에 사용되는 빔 블랭크는 아래의 Fig. 4(a)와 같이 폭이 480mm, 높이가 400mm 이다. 압연 대상 제품은 H250×250을 선정하였고 제품 사이즈는 폭, 높이가 250mm이고 웹 두께는 Fig. 4(b)와 같이 9mm 플랜지 두께는 14mm이다. 강종은 일반 구조용 압연강재인 SS400 이다.

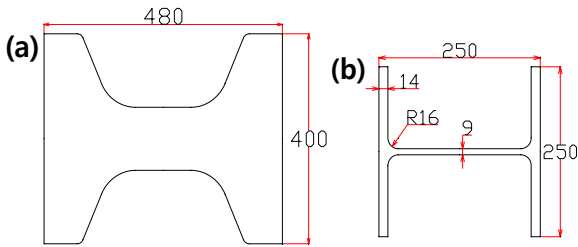


Fig. 4 Beam blank dimension (a) initial beam blank (b) final H-beam

#### 3.2 H250×250 압연공정

현재 생산하고 있는 H250×250 압연공정은 BDM 9 패스, FM 10패스를 적용하였다. BDM 압연기는 2 High 타입의 역구동 압연을 이용하고 있다. FM 압연기는 유니버설 타입의 텐덤 압연을 사용하고 있다.

#### 3.3 스테인리스 볼트 삽입위치 및 실험 수행

빔 블랭크의 압연 거동을 분석하기 위해 Fig. 5와 같이 빔 블랭크 소재에 웹과 플랜지부에 스테인리스 볼트를 삽입하였다.

Fig. 5는 스테인리스 볼트 형상 및 삽입위치 모사 그림이다. 스테인리스 볼트 재질은 SUS 304이고 사이즈는 헤드 직경이 8mm, 나사부 길이는 25mm 이다. 스테인리스 볼트 삽입 위치는 Fig. 5와 같이 선단부에서 100mm 간격의 웹, 플랜지 중심부 이고 이후 스테인리스 볼트가 삽입된 빔 블랭크를 이용하여 압연 실험을 수행하였다.

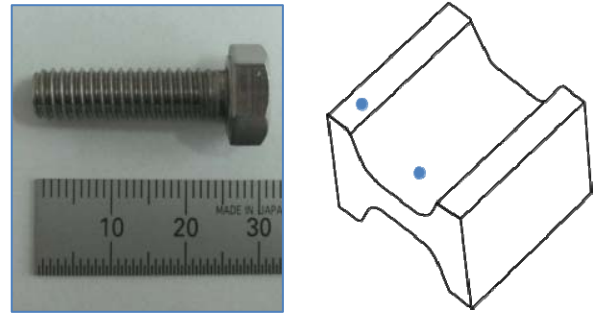


Fig. 5 The picture of bolt used for testing and positions of bolts at the beam blank

#### 3.4 실험결과 분석

Fig. 6(a)는 최종 압연 후 H형강 제품 표면에 나타난 스테인리스 볼트 마크를 모식화 한 것이고, Fig. 6(b), (c)는 최종 압연된 제품의 플랜지와, 웹 부의 스테인리스 볼트 마크이다.

우선 플랜지부는 최초 스테인리스 볼트의 위치(빔 블랭크 중심)에서 H형강의 플랜지 내측으로 이동하였고 플랜지 내측 모서리 지점에 폭 5mm, 길이 46mm 누운 형태로 관찰되었다. 이는 H250 x 250의 BDM 압연 공정이 플랜지 내측부터 압하 되면서 웹 폭확장 및 플랜지부 두께를 줄이기 때문에 H형강에서 스테인리스 볼트가 플랜지 내측에 나타난 것으로 판단된다.

웹부의 경우 H형강 웹 표면에 스테인리스 볼트 마크가 압연방향으로 약 350mm길이로 연신된 형태로 나타났다. 이것은 BDM, FM 압연이 진행되는 동안 상대적으로 웹 중심보다 웹 표면부가 변형을 및 연신율이 높기 때문에 스테인리스 볼트의 헤드부가 압연방향으로 길게 늘어나는 것으로 판단된다. 세부적으로 H형강 웹 내부를 관찰하기 위해 웹부에 나타난 스테인리스 볼트 마크를 수직방향의 70mm간격으로 4개를 절단하고 나머지 1개는 끝부분에 절단하였다. 연마한 후, 3% Nital 용액을 이용하여 상온에서 5초간 부식시킨 후 단면형상을 관찰하였다

Fig. 7은 웹 표면 절단 후 수직 단면을 관찰한 사진이고 Fig. 7 ①~②의 단면을 보면 웹 표면 근처에 나사부 마크가 관찰하였다. 이는 압연이 진행됨에 따라 나사부가 연신되어 나사부 끝부분이 웹 표면부로 이동되는 것으로 판단된다. 나사부 위치는 표면에서 0.95mm 이다. Fig. 7 ③~④ 단면 확인 결과, 스테인리스 볼트 헤드부와 나사부가 탈락된 것으로

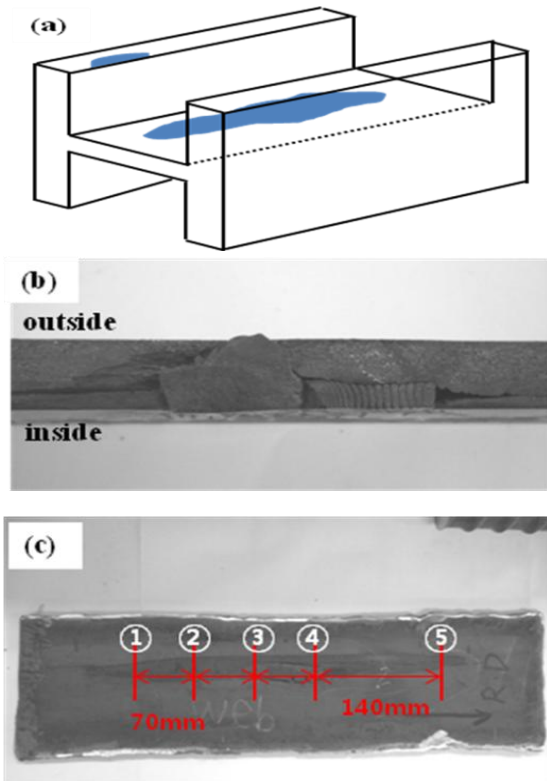


Fig. 6 Shape and location of deformed bolt (a) schematic drawing, picture of deformed bolt at (b) flange area (c) web area

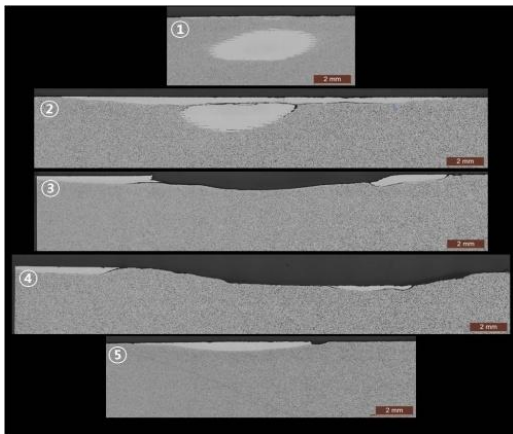


Fig. 7 Picture of web cross-sections

판단된다. 이러한 결과를 토대로 웹부의 스테인리스 볼트 압연거동을 Fig. 8과 같이 모식도로 나타내었다.

#### 4. 유한요소 해석

##### 4.1 해석 개요

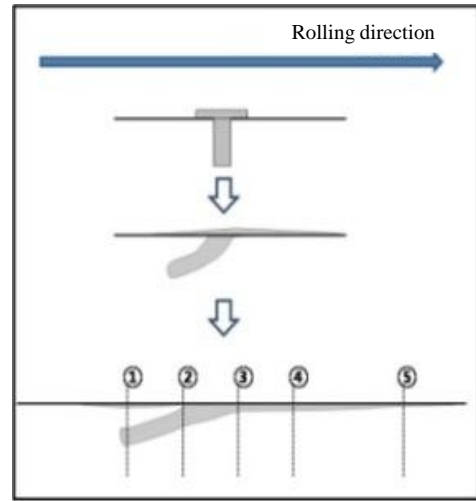


Fig. 8 The schematic diagram of the bolt deformation at web area

Table 1 Processing parameters for heat transfer simulation

Operation		P6
1	Heat Transfer during BDM	t=10 ~ 20sec T <sub>initial</sub> =1200 °C T <sub>environment</sub> =20 °C
2	Heat Transfer during FM	t=3 ~ 5sec T <sub>environment</sub> =20 °C

앞에서 언급한 것과 같이 H250×250은 BDM에서 9패스, FM에서 10패스를 적용하고 있다. H250×250 생산공정이 다단압연 공정이기 때문에 일반적인 범용 해석 프로그램 이용 시 상당한 시간 소요 및 해석 Set-up의 어려움 등의 문제가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 소성가공 해석 프로그램 DEFORM-3D를 이용하여 라그랑지안 방법으로 압연해석을 진행하였고 해석분야는 열전달 및 압연 공정을 연계한 해석이다.

우선 열전달 공정에서 해석조건은 Table 1과 같이 해석 시간은 실제 BDM 압연시 열전달 시간을 측정하여 적용하였다. 또한 FM 열전달 시간은 패스간의 압연속도와 스탠드간의 거리를 사용하여 계산하였고, 대류 열전달 계수는 0.02 N/sec/mm/°C 를 적용하였다. 소재 초기온도는 실제 가열로 소재 추출온도와 동일한 1200 °C로 적용하였다.

압연공정의 해석에 앞서 필요한 물성치는 해석 소프트웨어에서 보유하고 있는 재료 데이터 베이스의 AISI 1016 의 고온 기계적 물성치를 적용하였다.

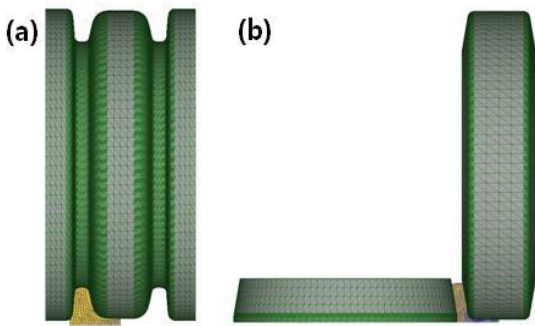


Fig. 9 Roll shape and lay-out for (a) BDM and (b) FM

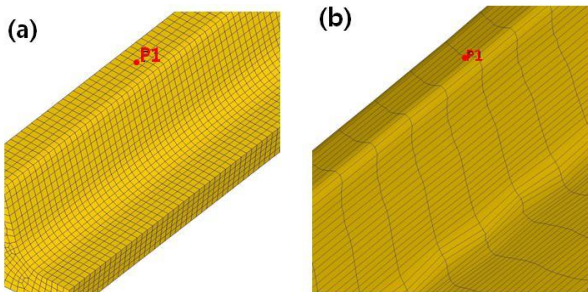


Fig.10 Point tracking locations at flange at (a) initial blank (b) final H-beam

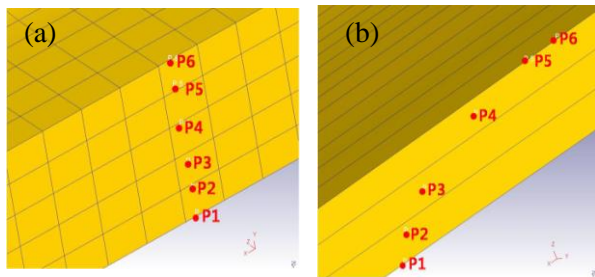


Fig.11 (a) Point tracking locations of web at (a) initial blank (b) final H-beam

이는 일반 구조용 압연강재인 SS400의 고온 기계적 물성치와 유사하기 때문이다. 또한 롤 경은 초기경을, 압연속도 및 롤 갭은 압연 실험과 동일하게 적용하였다. H형강 형상이 상, 하, 좌, 우 대칭이므로 1/4 Symmetry 조건을 적용하였고, 롤과 빔 블랭크간 마찰은 일정전단마찰계수 0.7을 적용하였다. BDM 압연해석 Set up 시 해석조건이 1/4 Symmetry 이고 BDM 압연기가 2 High 타입 이기 때문에 상롤만 이용하였고, FM 압연해석에서는 FM 압연기가 유니버설 타입이므로 상롤 및 우측 사이드롤을 적용하였다. Fig. 9(a), (b)에 BDM, FM 압연공정 해석 Set up 을 나타내었다.

Table 2 The point tracking locations of each point at the beam blank and H-beam web

(Unit:mm)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
Beam Blank	0	10	20	35	50	60	From web center
H-Beam	0	1.5	3.5	7.5	9	9	

#### 4.2 해석결과

H250×250 의 BDM, FM 압연 해석결과, 포인트 트래킹 기능을 이용하여 Fig. 10(a)와 같이 빔 블랭크 플랜지 중심에 1 개의 포인트를 지정하였다.

Fig. 11(a)와 같이 웹 중심으로부터 총 6 개, P1=0, P2=10, P3=20, P4=35, P5=50, P6=60mm 위치를 지정하여 최종 H 형강 제품에서의 위치 변화를 추적하였다.

Fig. 10(a), (b)는 압연 해석을 통해 획득된 빔 블랭크와 H 형강의 플랜지부를 비교한 그림이고 Fig. 11(a), (b)는 웹부 위치를 비교한 그림이다. 빔 블랭크와 H 형강의 플랜지부의 위치 확인 비교 시, 빔 블랭크의 플랜지 중심 위치가 압연 후에는 플랜지 내측으로 이동하는 것을 확인하였으며 위치는 플랜지 내측 모서리 지점이다. 웹부의 경우, 빔 블랭크에 지정된 P1~P3 는 두께가 압하되면서 포인트간 간격은 축소되었지만 두께 대비 위치 변화는 거의 없는 것으로 확인하였다.

P4~P6는 H형강의 포인트와 상당한 차이가 있음을 확인하였다. 특히 압연 실험의 스테인리스 볼트의 끝 위치와 동일한 P4는 최종제품의 웹 표면으로부터 약 1.5mm 아래에 나타났으며 P5는 웹 표면에 나타나는 것을 확인하였다. 해석에 의해 획득한 압연 Metal Flow가 실험결과와 유사하게 나타났다.

즉 빔 블랭크의 웹부 표면으로부터 10mm 내에 결함이 존재 할 경우, 최종 H형강 웹부에 결함이 발생할 가능성이 높다고 판단된다. 실험 및 FEM 해석 비교 분석 결과, 최종 압연된 H형강 웹과 플랜지 위치가 약 0.5~1mm 정도 오차는 발생하였으나 전체적인 압연 Metal Flow는 상당히 유사하다는 것을 확인하였다.

표 2 는 포인트 트래킹을 이용하여 웹 부의 각각 포인트 별 위치 이동 결과를 비교한 것이다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 빔 블랭크의 압연 Metal Flow 분석을 위해, 스테인리스 볼트를 삽입하여 H형강 압연실험을 수행하였고 비교 분석을 위해 FEM 압연해석을 수행하였다, 압연실험 결과와 FEM 해석 결과 사이에는 최종 제품 웹과 플랜지의 포인트 위치에서 0.5~1mm 정도의 오차는 발생하였으나 전체적인 압연 Metal Flow 결과는 유사하다는 것을 확인하였으므로 압연해석의 신뢰성이 검증되었다. 또한 빔 블랭크 즉 소재의 표면 또는 내부에 있는 결함이 제품에 어떠한 형태로 영향을 미치는지를 파악 할 수 있기 때문에 제품 품질향상에 도움이 될 것으로 기대된다. 즉 H형강 결함 분석 시 빔 블랭크와 H형강 결함의 상관관계를 도출하기 위해 압연 해석을 이용할 수 있음을 확인하였다.

## REFERENCES

- [1] N. J. Jeong, J. J. Park, 1993, Proc. Kor. Soc. Mech. Eng. Conf.(editor: C. W. Kim), Kor. Soc. Mech. Eng., Seoul, Korea, pp. 813~816.
- [2] H. J. Kim, S. M. Hwang, 2000, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf.(editor: Y. C. Yu), Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 44~47.
- [3] P. Macura, J. Petruska, 1996, Numerical and Experimental Simulation of Pass Rolling, J. Mater. Process. Technol., Vol. 60, No. 1, pp. 55~60.
- [4] K. Komori, 1997, Simulation of Deformation and Temperature in Multi-pass Caliber Rolling, J. Mater. Process. Technol., Vol. 71, No. 2, pp. 329~336.
- [5] K. Komori, K. Koumura, 2000, Simulation of Deformation and Temperature in Multi-pass H-shape Rolling, J. Mater. Process. Technol., Vol. 105, No. 1, pp. 24~31.
- [6] E. J. Kwak, G. P. Kang, K. H. Lee, I. H. Son, 2009, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Fall Conf.(editor: Y. T. Keum), Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 169~772.
- [1] N. J. Jeong, J. J. Park, 1993, Proc. Kor. Soc. Mech.