

## 사이징 프레스에서 폭 압하 공정중 결함 저감을 위한 앤빌의 형상설계

이상호<sup>1</sup>· 이성진<sup>2</sup>· 이종빈<sup>2</sup>· 김병민<sup>#</sup>

### Design of the Anvil Shape in Sizing Press for Decrease of the Defect Generated Width Reduction

S. H. Lee, S. J. Lee, J. B. Lee, B. M. Kim

(Received November 20, 2008)

#### Abstract

Generally, a vertical rolling process is used to achieve extensive width reduction in hot strip mill. However, it is impossible to avoid the defects such as dog-bone and edge-seam defect. The sizing press process has been developed in response to the defects mentioned above. Especially, this study is carried out to investigate the deformation of slab by two-step sizing press. The deformation behavior of slab in the sizing press process is more favorable than that in conventional vertical rolling edger. The FE-simulation is applied to predict the deformation behavior of the slab. In this paper, the several causes of the asymmetrical deformation are mentioned for the purpose of understanding of the anvil shape. Load, dog-bone and edge-seam defect are discussed in width sizing process considering the anvil shape. And to reduce the problems generated at rougher mill just after sizing press, these are studied in this paper. The deformation behavior of slabs and optimum anvil shape are obtained by rigid-plastic finite element analyses and neural network.

**Key Words** : Hot Rolling, Sizing Press, Dog-bone, Edge-Seam Defect, Two-Step Dies, FEM, Optimal Design, Neural Networks

#### 1. 서론

기존의 연속압연공정에서 폭 압하 공정은 엿저롤을 이용하였다. 그러나 슬래브의 폭 압하 공정에서 있어서 성형하중, 도그본(Dog-bone), 압하효율, 최대 폭 압하량 등의 단점을 개선하기 위하여 단조 형식의 사이징 프레스(Sizing Press)를 이용한 폭 압하 공정이 개발되었다. 사이징 프레스에 의한 폭 압하 공정시 슬래브의 유동을 두께 방향이 아닌 압연 방향과 폭 방향으로 유도하기 위하여 사이징 프레스에 사용되는 앤빌(Anvil)은 경사형 바닥을 가지는 형상으로 설계되었다. 앤빌 형상과

이에 따른 슬래브의 변형거동에 대한 연구가 많이 진행되고 있다[1~4].

엿저롤에 의한 폭 압하 시 슬래브의 변형거동은 두께방향으로 대부분 변형을 하지만 사이징 프레스는 앤빌의 경사부 형상에 의하여 슬래브 두께 방향뿐만 아니라 길이방향으로 유동하기 때문에 상대적으로 두께방향의 변형량이 작아짐을 알 수 있다. 따라서 두께방향의 변형량이 상대적으로 작은 사이징 프레스의 경우가 폭 감소 이후 수평 압연 시 폭 방향으로의 변형량이 작기 때문에 폭 압하 효율적인 측면에서 효과적이라 평가할 수 있다[5].

1. 부산대학교 대학원 정밀가공시스템

2. POSCO 기술연구소

# 교신저자: 부산대학교 기계공학부, bmkim@pusan.ac.kr

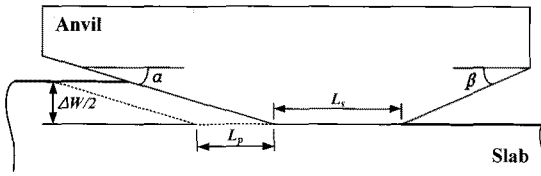


Fig. 1 Parameters of sizing press with one-step die

Table 1 Conditions of sizing press used in FE-simulation for verification

Conditions	Values
Material of slab	AISI 1015
Dimension of slab (mm)	W1900 x L4000 x H210
Initial temperature (°C)	1160
Friction factor (m)	0.35
Anvil frequency (Hz)	0.5
Anvil angle (°)	$\alpha = 13, \beta = 15$
Transfer pitch (mm)	$L_p = 510$
Flow stress model	Shida's model
Width reduction (mm)	$\Delta W = 300$

본 논문에서는 2단의 경사부를 가지는 엔빌을 사용하여 폭 압하 공정을 실시하였으며, 하중 감소, 도그-본 감소, 엔빌의 바닥 형상에 따른 Edge-seam 감소에 대하여 연구를 수행하였다. 또한 최소 하중과 최소 도그-본을 가지는 2단 엔빌의 형상변수를 결정하였다.

## 2. 유한요소 해석 모델

열간 조압연 공정에서 사이징 프레스에 의한 슬래브 폭 압하시 해석의 타당성을 검증하기 위하여 실제 실험데이터를 바탕으로 유한요소해석을 수행하였다.

사이징 프레스의 엔빌 형상은 Fig. 1과 같으며, 해석조건은 Table 1에 나타내었다. 사용된 소재는 AISI 1015이며 슬래브의 폭(W)은 1900mm, 길이(L)는 4000mm, 두께(H)는 220mm 이다. 그리고 엔빌의 각도는  $\alpha=13, \beta=15$  이며 폭 압하량( $\Delta W$ )은 300mm 이다. 고려된 구성방정식은 Shida의 식을 기본으로 하였으며, 식 (1)과 같다.

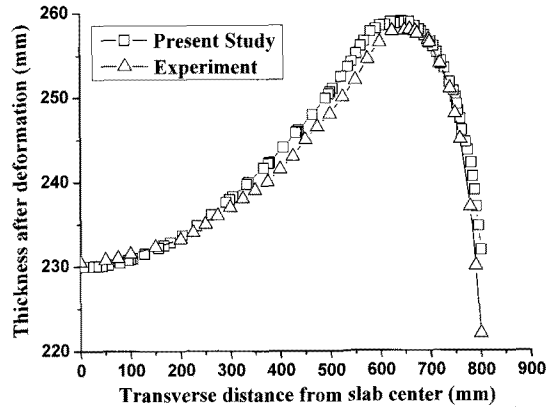


Fig. 2 Comparison of present study and experiment[2]

$$\sigma_{15C} = 87.3 \left[ 1.3 \left( \frac{\epsilon}{0.2} \right)^{0.3995} - 0.3 \left( \frac{\epsilon}{0.2} \right) \right] \left[ \frac{\dot{\epsilon}}{10} \right]^{0.1379} \quad (1)$$

Fig. 2는 사이징 프레스에 의하여 폭 압하공정후의 슬래브의 두께 방향 단면 형상을 나타낸다. 이전의 실험(Hira et al., 1990) 결과와 유한요소해석 결과는 매우 유사한 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에 사용된 해석방법 및 적용은 실험값과 비교하여 볼 때 적절하다고 판단된다.

## 3. 슬래브 폭 압하 공정 해석

### 3.1 엔빌 형상 및 공정조건

Fig. 3 은 2 단 사이징 프레스의 엔빌의 거동과 형상을 개략적으로 보여준다. 슬래브의 폭 방향으로 엔빌은 한 쌍을 이루며 각각 2 단의 경사부를 가진다.

Table 2 는 연구에 사용된 슬래브와 엔빌의 열간 성형의 특성을 나타낸다. 슬래브는 AISI 1010 을 사용하였으며, Shida 의 식에 적용하여, 식(2)에 나타내었다.

$$\sigma_{10C} = 9.99 \left[ 1.3 \left( \frac{\epsilon}{0.2} \right)^{0.403} - 0.3 \left( \frac{\epsilon}{0.2} \right) \right] \left[ \frac{\dot{\epsilon}}{10} \right]^{0.128} \quad (2)$$

본 논문에서 슬래브의 폭 압하시 영향을 주는 인자로 경사부의 각도( $\theta_1, \theta_2$ )와 각 경사부에 의하여 폭 감소되는 양을 두 가지( $W_1, W_2$ )로 나누

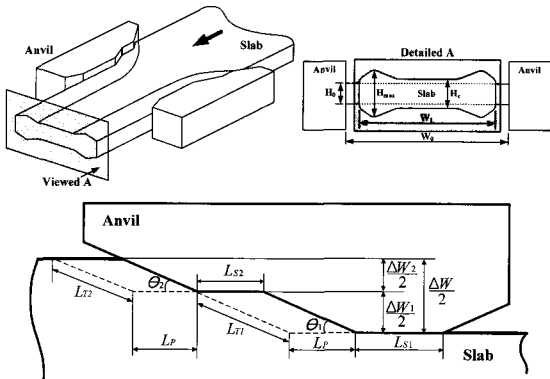


Fig. 3 Size variables of two-step die (Anvil)

Table 2 Material properties in hot forming process

Slab	Material	AISI 1010
	Thermal conductivity	51.9 W/m°C
	Heat emissivity	0.3
	Heat capacity	3.526 N/mm <sup>2</sup> °C
	Size	H250×W1100mm
Anvil	Material	AISI H 13
	Thermal conductivity	28.6 W/m°C
	Heat emissivity	0.7
	Heat capacity	3.574 N/mm <sup>2</sup> °C

Table 3 Process condition of sizing press for FE-analysis

Width reduction	100mm	
Friction factor	m=0.35	
Interface heat transfer coefficient	11.3 N/sec·mm°C	
Convection coefficient	0.02 N/sec·mm°C	
Initial Temperature	Slab	1100°C
	Anvil	500°C
Anvil velocity	380mm/s	
Slab transfer length	380mm	

었다. 각 변수로는  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $W_2/W_1$ 으로 3 가지로 설정하였다. 각각의 변수들은 앤빌의 형상에 큰 영향을 주는 변수이며 하중에 큰 영향을 끼치는 접촉길이(L)는 각 변수들의 함수로 표현된다.

경사 길이( $L_T$ )는 Fig. 3 에서 나타나듯이 식 (3) 과 같이 표현할 수 있다.

$$L_T = \frac{W}{2 \cos(90 - \theta)} \quad (3)$$

접촉길이(L)는 이송길이 ( $L_P$ ), 수평길이( $L_S$ )와 각 경사 길이 ( $L_{T1}$ ,  $L_{T2}$ ) 의 합으로 이루어진다.

$$L = L_P + L_{T1} + L_{S2} + L_P + L_{T2} \quad (4)$$

식(4)에 식(3)을 대입하여 적용하면,

$$L = 2L_P + \frac{W}{2 \cos(90 - \theta_1)} + \frac{W}{2 \cos(90 - \theta_2)} + L_{S2} \quad (5)$$

접촉길이(L)은 식(5)과 같다.

Table 3 는 사이징 프레스의 공정 조건을 나타내는 표이다. 압하량은 100mm 로 설정하였으며, 초기 슬래브의 온도는 1100°C이며, 앤빌은 500°C로 설정하였다.

### 3.2 최소 하중 조건을 가지는 앤빌 형상

단조형식의 사이징 프레스는 슬래브 폭 압하에 서 순간적인 하중의 상승을 가져온다. 따라서 급형 수명 향상을 위하여 하중의 저감이 필요하다. 본 논문에서는 최소 하중을 가지는 앤빌의 형상 변수를 예측하기 위하여 유한요소해석과 인공신경망(Artificial Neural Networks, ANN)을 사용하였다.

Table 4 는 앤빌의 형상변수와 식(5)에 따른 접촉 길이를 나타내는 표이다. 본 연구에서는 슬래브의 이송 길이( $L_P$ )와 앤빌의 수평 길이( $L_S$ )는 일정하게 두었다. 각 변수의 범위는  $\theta_1$  와  $\theta_2$  는 7~21°,  $W_2/W_1$  는 0.7~1.3 의 범위로 신경망의 학습 데이터로 설정하였다.

실험계획법에 의하여 유한요소해석 변수를 분배하고, 강소성 해석 프로그램인 DEFORM 3D 를 이용하여 사이징 프레스 공정을 수행하였다. 이때 얻어진 하중값은 신경망의 학습데이터로 입력하여 설계변수 조합을 통하여 최소 하중값을 가지는 앤빌의 형상변수를 구하였다[6~7].

Table 5 에서 볼 수 있듯이 최소 하중값은  $\theta_1=21^\circ$ ,  $\theta_2=20^\circ$ ,  $W_2/W_1=0.9$  의 형상변수에서 나타났으며, 최대 하중값은  $\theta_1=7^\circ$ ,  $\theta_2=7^\circ$ ,  $W_2/W_1=1.3$  의 형상변수에서 나타났다. 이는 해석을 통하여 검증한 결과와 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다.

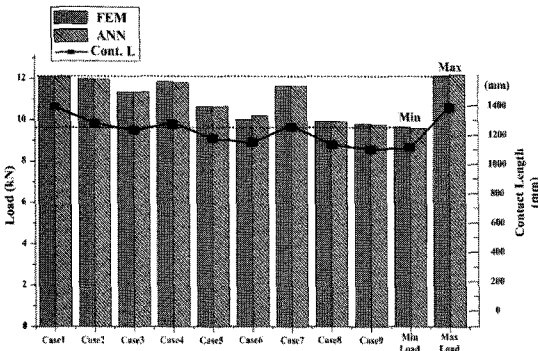
Fig. 4 는 폭 압하공정시 사이징 프레스에 의하여 발생하는 하중과 앤빌과 소재의 접촉 접촉길

**Table 4 Dimension of FE- simulation cases by 2step die**

Case	$\theta_1$	$\theta_2$	$W_2 / W_1$	$L$
1	7	7	0.7	1420.27
2	7	14	1	1318.48
3	7	21	1.3	1267.25
4	14	7	1	1318.48
5	14	14	1.3	1216.67
6	14	21	0.7	1189.02
7	21	7	1.3	1302.55
8	21	14	0.7	1177.17
9	21	21	1	1149.52

**Table 5 Verification of ANN results(Load)**

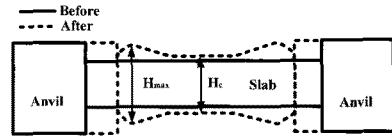
Load	Minimum	Maximum
$\theta_1 - \theta_2 - (W_2 / W_1)$	21°-20°-0.9	7°-7°-1.3
FEM	9.65 kN	12.12 kN
ANN	9.60 kN	12.16 kN
Contact length	1152.68 mm	1420.28 mm



**Fig. 4 Comparison of load and contact length**

이를 나타내는 그림이다. 그림에서 보여지듯이 유한요소 해석결과와 신경망을 통한 결과값은 거의 유사한 결과를 보였다. 최소-최대 하중값을 비교해 볼 때 약 2.5kN의 차이를 보였다. 각각의 경우 역시 시뮬레이션 측정값과 신경망을 통하여 얻어진 데이터의 정확도가 높은 것을 판단할 수 있다. 그리고 접촉길이(L)의 그래프를 보면 실제 하중의 분포와 유사한 양상을 보이는 것을 관찰할 수 있다.

3.3 최소 도그 본 형상을 가지는 엔빌 형상 기존의 엷저를 방식의 경우 폭 압하 공정에 있어서 두께 방향으로의 소재 유동이 커져 도그-본



**Fig. 5 Dog-bone profile in the cross-section area**

**Table 6 OA table for FE-simulation(Dog-bone)**

Case	Geometric parameters			Dog-bone ( $H_{max}/H_c$ )	
	$\theta_1$	$\theta_2$	$W_2 / W_1$	FEM	ANN
1	7°	7°	0.7	1.10638	1.1064
2	7°	14°	1	1.08544	1.0854
3	7°	21°	1.3	1.09709	1.0971
4	14°	7°	1	1.08852	1.0885
5	14°	14°	1.3	1.05653	1.0565
6	14°	21°	0.7	1.15335	1.0533
7	21°	7°	1.3	1.08805	1.0881
8	21°	14°	0.7	1.09948	1.0995
9	21°	21°	1	1.08178	1.0818

**Table 7 Verification of ANN results(Dog-bone)**

Dog-bone	Minimum	Maximum
$\theta_1 - \theta_2 - (W_2 / W_1)$	21°-20°-1.3	7°-21°-0.7
FEM	1.053	1.162
ANN	1.056	1.123

현상이 두드러진다. 이와 같은 도그-본 형상을 줄이기 위하여 단조형식의 폭 압하방식을 채택하여 접촉면적을 높였다. 그리고 평균형의 바다부를 경사를 주어 슬래브의 폭 압하시 두께 방향으로의 재료 유동을 줄이고 길이 방향의 유동을 늘려 도그 본을 줄일 수 있다. 또한 엔빌의 경사구조가 1 단에서 2 단 급형을 사용할 때 도그 본을 더욱 줄일 수 있다. 엔빌의 형상 변수에 따라 폭 압하시 도그 본에 영향을 미치는 인자들 파악해 보았다. 그리고 슬래브의 초기 폭 치수에 따른 도그-본 발생의 영향을 분석하였다.

Fig. 5 은 도그-본 형상을 나타내는 그림이다. 도그-본의 크기는 폭 압하 공정 후 폭 최대 두께 ( $H_{max}$ )와 중심부( $H_c$ )의 두께의 비( $H_{max}/H_c$ )로 나타내었다.

Table 6 에는 직교배열표를 이용한 신경망의 학습데이터와 그 출력값을 나타내었다. 엔빌이 형상 변수는 경사 각도  $\theta_1, \theta_2$  는 7~21°,  $W_2 / W_1$  는

0.7~1.3 의 사이에서 결정하였다. 실험 계획법을 이용하여 해석 조건을 설정하여 해석을 수행하고 여기서 얻은 데이터를 신경망에 적용하여 도그-본 발생을 최소화하는 앤빌의 변수 조합을 결정하였다. Table 6 에서 알 수 있듯이, 신경망이 학습으로 얻어진 출력값은 해석에서 얻어진 목적값 즉,  $H_{max}/H_c$  와 거의 일치하였으며 신경망의 학습이 잘 되었음을 확인할 수 있다.

신경망을 통하여 최소 도그-본 크기( $H_{max}/H_c$ )를 가지는 조건은  $\theta_1=21^\circ$ ,  $\theta_2=20^\circ$ ,  $W_2/W_1=1.3$ 의 조건에서 1.056로 나타났으며, 최대 도그-본 값을 가지는 조건은  $\theta_1=7^\circ$ ,  $\theta_2=21^\circ$ ,  $W_2/W_1=0.7$ 에서 1.123로 나타났다. 신경망을 통하여 얻어진 결과를 시뮬레이션으로 검증한 결과, Table 7의 표에서 나타나듯이 거의 일치하였다.

#### 4. Edge-seam 저감을 위한 앤빌 설계

본 논문에서는 사이징 프레스 후 수평 압연력에 의한 압연 시 발생하는 엣지-심(Edge-seam)의 저감에 대하여 연구를 수행하였다. 엣지-심은 특히 스테인리스강에서 주로 발생하며, 사이징에 의한 폭 압하 후 열간 수평 압연에서 스트립의 측면에서 발생하는 엣지-심 결합은 앤빌에 의한 폭 압하 후의 슬래브 측면부의 형상을 제어함으로써 감소시킬 수 있다. 따라서 앤빌의 바닥의 형상을 제어함으로써, 압연 공정에서 발생하는 엣지-심 결합을 줄일 수 있다[8~11].

Table 8 은 슬래브의 폭 압하 이후 압연 공정 조건을 나타낸다. 슬래브의 소재는 SUS304 를 사용하였으며, 앤빌의 형상은 도그-본 최소화 조건을 사용하였다. 압연 시 각 패스당 10~20% 압하율로 연속 압연되며 총압하율은 슬래브의 두께의 50% 이다.

Table 9 는 요철형 앤빌에 의하여 폭 압하 후, 수평롤에 의한 롤링 공정에 의하여 발생할 수 있는 슬래브의 형상을 나타내고 있다. Mode I 은 앤빌의 바닥부가 평평할 때에 주로 나타나는 형상이고, Mode II, III 은 요철형 앤빌에 의한 폭 압하 후 수평 압연 공정에서 주로 발생하는 형상이다. 각각의 형상들 중에서 폭 방향 소재 이용율이 상대적으로 높은 Mode III 의 형상의 변형 모드가 가장 최적화된 형상이다. 요철형 앤빌의 단면 형상 변수는 앤빌 폭 길이(Flat width, B), 경사각(Wedge-angle, a), 폭 압하량(Width reduction, f)로 결정하였다.

Table 8 Condition of rolling process

Condition	Values
Material of slab	SUS304
Slab size (H × W, mm)	200 × 600
Rolling type	2 High mill
Roll diameter (mm)	1200
Initial roll temperature (°C)	500
Rolling velocity (rad/sec)	10
Fiction factor (m)	0.6
Total Reduction ratio (%)	50

Table 9 Slab width profile after rolling

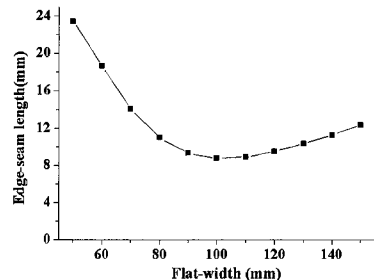
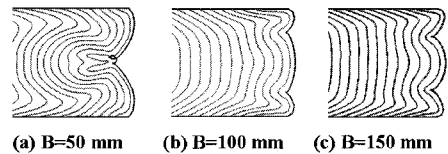
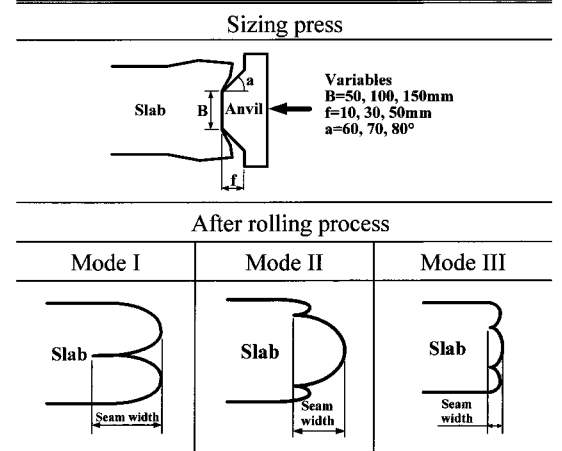


Fig. 6 Distribution of metal flow and Edge-seam length according to flat-width (B)

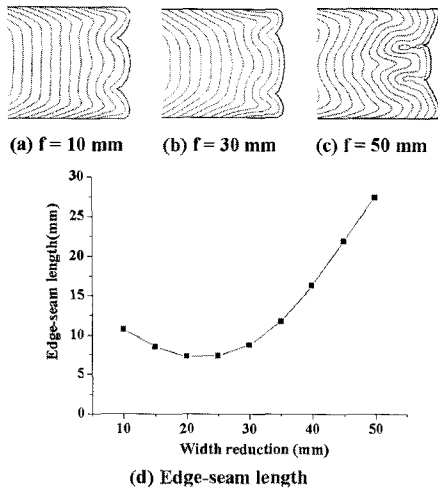


Fig. 7 Distribution of metal flow and Edge-seam length according to width reduction(f)

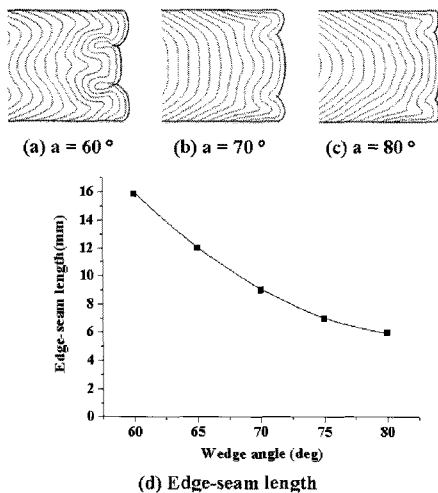


Fig. 8 Distribution of metal flow and Edge-seam length according to wedge angle(a)

각각의 변수는 B=50, 100, 150 mm, f=10, 30, 50 mm, a=60, 70, 80°로 설정하였다. 유한요소 해석을 수행하고 신경망을 통하여 최소 엣지-심을 예측하였다.

Fig. 6 은 엔빌 폭 길이를 50, 100, 150 mm로 설정하고 나머지 변수를 일정하게 주었을 때의 엣지-심의 변형 모드와 크기를 나타낸다. 결과에서 나타나듯이, B=100 mm에서 엣지-심 길이가 8.779 mm로 최소값을 가졌다. 소재의 유동에 서도 Mode III의 형상을 가지는 것을 확인 할 수 있다.

엔빌 폭 길이는 압연 공정에 있어서 슬래브의 측면부 변형 모드를 결정하는 중요한 변수임을 확인할 수 있다. 또한 슬래브의 두께에 따라 엔빌 폭 길이를 설정하면 압연 시 엣지-심을 줄일 수 있다.

Fig. 7은 슬래브 폭 압하량을 10, 30, 50mm로 설정하고 나머지 변수를 일정하게 주었을 때의 엣지-심의 변형 모드와 크기를 나타낸다. 결과에서 나타나듯이 변형 모드는 Mode III의 형상을 가지고 있으며, 폭 압하량 20mm에서 엣지-심 길이가 6.201 mm로 가장 작게 나타났다.

폭 압하량에 따른 유동이 있어서 변형 모드는 비슷한 양상을 보였으나, 압연이 계속 진행됨에 따라서 소재가 안으로 밀려 들어가는 양상을 확인할 수 있다. 폭 압하량이 크기에 따라서 변형 모드에는 큰 영향을 끼치지 않지만 일정 폭 압하량에 따라서 엣지-심을 줄일 수 있는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8 은 엔빌 바닥의 경사도에 따라 압연후의 슬래브의 측면부 소재 유동과 엣지-심 길이를 측정 한 결과이다. 소재의 유동은 모두 Mode III의 양상을 보였으며, a= 80°에서 엣지-심 길이가 가장 작았다. 경사각에 따라서 압연 시 측면의 부의 배부름 형상의 발생으로 소재가 말려 들어가는 양의 적절한 조절이 필요하다.

## 5. 결론

본 논문에서는 2 단 엔빌의 슬래브의 변형 거동 및 공정 조건과의 관계를 분석하고 평가하였다. 2 단 엔빌의 형상 변수를 결정하고 이에 따라서 성형하중, 도그-본 형상의 최소값을 결정하는 시뮬레이션 기법과 신경망을 통하여 성형 결합 및 성형한계를 줄이는 방안을 모색하였다. 그리고 폭 압하 이후의 수평 압연롤에 의한 압연 공정에서 슬래브의 변형거동을 분석하여 엔빌의 바닥부 형상에 따른 압연 공정에서의 엣지-심 결함을 분석하기 위하여 슬래브의 폭 변형 모드를 찾고 최소 엣지-심 길이를 가지는 엔빌을 설계하였다.

(1) 시뮬레이션을 통하여 성형 하중을 도출하여 신경망 프로그램을 통하여 학습한 데이터를 바탕으로 최소 성형하중을 가지는 변수의 조합을 결정하였다. 최소 성형하중을 가지는 엔빌의 형상 변수는  $\theta_1=21^\circ$ ,  $\theta_2=20^\circ$ ,  $W_2/W_1=0.9$ 에서 9.66 KN의 하중값을 가지며 최대 성형하중을 가지는 엔빌의

형상 변수는  $\theta_1=7^\circ$ ,  $\theta_2=7^\circ$ ,  $W_2/W_1=1.3$  에서 12.12 KN 의 하중값을 가진다. 접촉길이의 크기에 따라서 성형하중의 분포도 같은 양상을 보였다.

(2) 엔빌 형상 변수를 조합하여 시뮬레이션을 수행한 후 결과값을 신경망을 통하여 예측하였다. 결과적으로 최소 도그-본 형상을 가지는 변수는  $\theta_1=21^\circ$ ,  $\theta_2=20^\circ$ ,  $W_2/W_1=1.3$  의 조건에서 1.056 로 나타났으며, 최대 도그-본 값을 가지는 조건은  $\theta_1=7^\circ$ ,  $\theta_2=21^\circ$ ,  $W_2/W_1=0.7$  에서 1.123 로 나타났다. 각각의 경우를 시뮬레이션으로 검증한 결과 매우 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

(3) 압연 공정에 있어서 슬래브의 폭 방향 변형 모드를 평가하고 이때 발생하는 엷지-심 길이를 분석하였다. 유한요소 해석 변수는 엔빌의 바닥 폭 길이, 슬래브 폭 압하량, 엔빌 경사각으로 나누어 수행하였다. 최적의 변형 모드를 가지면서 가장 작은 엷지-심 길이는 5.998mm였으며, 이때, 엔빌 형상변수는  $B=100\text{mm}$ ,  $f=30\text{mm}$ ,  $a=80^\circ$ 이다. 여기서, 엔빌 폭 길이는 슬래브 변형 모드를 결정하는데 중요한 요소였으며, 폭 압하량과 경사각은 변형 모드보다 엷지-심 크기에 큰 영향을 준다.

## 후 기

본 연구는 POSCO 석좌교수 연구지원과 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

## 참 고 문 헌

[1] K. Isobe, T. Hira, H. Abe, 1989, Minimization of Crop Loss and Width Control of Hot Rolling Slabs by Width Sizing Press, The Japan Society for Technology of Plasticity, Vol.30, No.340, pp. 682~688.

[2] T. Hira, K. Isobe, H. Abe, H. Nikaido, T. Fujitsu, S. Zuyama, 1990, Deformation of Slab under Heavy Reduction of Width by Sizing Press, Kawasaki Steel Technical Report, No.22, pp. 32~40.

[3] T. Fujitsu, T. Fujimoto, H. Nikaido, M. Nihei, 1989, Development of a slab sizing press for extensive

slab width reduction, STEEL TIMES, MAY, pp. 266~270.

[4] H. Nikaido, K. Fuziwara, H. Abe, M. Nihei, 1984, Development of Slab Sizing Press for Heavy Width Reduction in Hot Strip Mills, Iron and Steel Engineering, Vol.21, pp. 48~53.

[5] M. S. Chun, J. S. Jheong, T. An, Y. H. Moon, 2003, Finite Element Analysis of Slab Deformation under the Width Reduction in Hot Strip Mill, The Korean Society for Technology of Plasticity, Vol 12, No. 7, pp. 668~674.

[6] D. H. Kim, D. C. Ko, B. M. Kim, J. C. Choi, 1998, Methodology of Preform Design Considering Workability in Metal Forming by the Artificial Neural Network and Taguchi Method, Journal of Material Processing Technology, Vol.80, pp. 487~492.

[7] D. H. Kim, D. J. Kim, B. M. Kim, 1999, The Application of Neural Networks and Statistical Methods to Process Design in Metal Forming Processes, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.15, pp. 886~894.

[8] D. H. Kim, B. M. Kim, Y. Lee, 2003, Prediction of Wear Profile of Roll Groove in Rod Rolling using Incremental Form of Wear Model, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 217, pp. 111~126.

[9] D. H. Kim, B. M. Kim, Y. Lee, 2003, Adjustment of Roll Gap for the Dimension Accuracy of Bar in Hot Bar in Hot Bar Rolling Process, International Journal the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 56~62.

[10] N. Egawa, H. Isuhizuka, T. Hiruta, 1999, Hot Rolling Technology for Producing High Quality Stainless Steel at No. 3 Hot Mill in Chiba Works, Kawasaki Steel Technical Report, No.40, pp. 16~22.

[11] H. Yamaguchi, Y. Kusaba, T. Yamada, 1996, Improvement of Seam-Defects on Strip Edge of Stainless Steel, Iron and Steel Engineering, Vol.82, No.1, pp. 58~62.