

## 숏넥 플랜지의 공정설계에 관한 연구

장용석\*, 최진화\*, 고병두\*\*, 이호용\*\*\*, 황병복\*\*\*\*

### A Study on the Process Sequence Design of a Short-Neck Flange

Yong Suk Chang\*, Jin Hwa Choi\*, Beong Doo Ko\*\*, Ho Yong Lee\*\*\*, Beong Bok Hwang\*\*\*\*

#### ABSTRACT

The current three-stage cold forming process to produce a flange is investigated for the purpose of improvement of manufacturing process. The main goal of this study is to obtain an appropriate process sequence, which can produce the required part with less manufacturing cost. The current process sequence is simulated using finite element method and design criteria are examined. Based on the results of simulation of the current three-stage process, a design strategy for improving the process sequence is analyzed using the thick-walled pipes. Because it has a reduced process-sequence without buckling of the workpiece or overloading of tools, the new process has distinct advantages over the conventional process. Numerical results show that the newly proposed process with selected presses is the most economical way to produce the required part.

**Key Words :** Flange(플랜지), Cold Extrusion(냉간압출), Upsetting(업세팅), Thick-walled pipe(두꺼운 관), Forming process(성형공정), Finite Element Method(유한요소법)

#### 1. 서론

냉간단조는 일반적으로 초기성형가공을 포함한 다단계공정으로 이루어지며 적절한 가공공정설계와 가공장비의 선택등에 따라 최종제품의 기계적 특성을 크게 향상시킬 수 있게 된다. 전문가의 경험에 의존하던 기존의 생산방법은 다품종 소량 생산에 더 이상 적합하지 않으며 연성파괴와 같은 문제점이 종종 제품에 나타남으로써 더욱 더 기존의 생산방법에 대한 개선이 필요하게 되었다. 이에 컴퓨터를 이용한 공정설계기술이 냉간단조 공정에 적용되어 사용되기 시작하였다.

수년동안 유한요소법, 상계요소법, 전문가 시스템과 같은 다양한 수치적인 방법을 이용한 공정설계기술들이 개발되어 왔다. 전문가 시스템을 이용한 공정설계방법은 현장경험이 거의 없는 초보자라도 숙련된 기술자와 동등한 공정설계가 가능하다는 장점을 가지고 있으나, 재료유동이나 응력, 소성변형률, 내부결함, 불완전한 다이 충만성 및 연성파괴등을 예측할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 반면에, 유한요소법을 이용한 공정해석은 소프트웨어 및 모델링 방법에 큰 영향을 받으며 모델링에 시간이 많이 소요되는 단점이 있어 이용하는 데 어려움이 있다.<sup>(1)</sup> 이러한 문제점을 보완하기 위

\* 인하대학교 자동화공학과  
\*\* 인하대학교 자동화공학과  
\*\*\* 동국대학교 기계공학과  
\*\*\*\* 인하대학교 자동화공학과

하여 Osakada 등은 유한요소해석으로 얻은 결과들을 전문가시스템의 지식베이스로 사용하였고, 최근의 연구에서는 신경회로망 기술을 이용하여 보다 빠르게 결과를 산출하고 자기학습을 통하여 기존에 가지고 있는 지식베이스로부터 유용한 부가적인 정보를 얻을 수 있도록 하였다.<sup>(2-4)</sup> Alberti와 Micari<sup>(5)</sup>는 지식베이스에 의해 실행된 몇 가지 가능한 성형절차를 예비 선택하고 각각의 공정을 유한요소해석을 통하여 최적의 성형절차를 결정하는 통합적 방법을 제안하였다. 특히 단조공정의 해석을 위하여 Kobayashi 등<sup>(6)</sup>은 탄성부분을 무시하고 모든 소성변형을 유동문제로 간주하는 강소성 모델에 유한요소법을 적용하였고, 이를 바탕으로 Lim 등<sup>(7,8)</sup>은 다단계 냉간압출 공정에 대하여 소재의 새로운 형상과 적절한 다이 모양의 설계를 통해 다양한 공정설계를 수행하였다.

이처럼 수치해석 방법을 토대로 한 유한요소법이 지속적인 관심과 연구의 대상이 되어왔다. 이에 본 논문에서는 3 단계로 생산되는 기존의 플랜지 성형공정과 새롭게 제안한 성형공정을 유한요소법을 이용하여 단계별로 해석하였다. 플랜지는 일반적으로 석유화학 플랜트, 발전소, 산업 플랜트등에 필요한 산업용 부품으로서 배관 이음용 자재로 많이 사용된다.<sup>(9)</sup> 플랜지의 구조는 크게 플랜지 몸통 부분과 넥의 두 부분으로 구성되어 있으며, 플랜지에 3~4 개의 구멍을 만들어 두 배관을 볼트와 너트로 연결하고, 플랜지 넥으로 두 배관의 연결력을 보강한다.

플랜지는 주로 편심 프레스를 이용한 개방형 냉간단조 가공에 의해 생산된다. 기존의 플랜지 생산공정은 중공부위를 만들고 플래쉬를 제거해야 하기 때문에, 가공시간이 길고 재료의 손실이 많아 생산비가 높은 실정이다. 이에, 본 논문에서는 초기소재로서 원통형 빌렛을 사용하는 새로운 공정을 제시하여 시뮬레이션 함으로써 개선된 공정의 가능성을 보였다.

## 2. 기존공정의 해석

### 2.1 해석조건 및 방법

금속성형공정에 대한 유한요소해석방법에는 탄소성유한요소법<sup>(10-12)</sup>이나 강소성유한요소법<sup>(6,13)</sup>과 같은 몇몇 방법들이 적용될 수 있다. 본 논문에서는 성형과정 중에서 탄성변형이 소성변형에

비해 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에 시뮬레이션의 효율을 높이기 위해 강소성유한요소법을 사용하였다.

플랜지의 재질로는 직경 120mm, 높이 260mm의 AISI1015 (0.15% 탄소강) 강재를 사용하였고, 냉간 성형공정에서 일반적으로 사용되는 비누를 윤활제로 하여 마찰인자(friction factor) 값을 전공정에 대하여 0.2로 가정하여 해석하였다.<sup>(14)</sup> 또한, 본 논문에서는 가공이 상온에서의 냉간압출공정이므로 해석에 사용된 재료의 유동응력과 유효변형률의 관계식을 Power law에 따라 다음의 식으로 표현하였다.<sup>(15)</sup>

$$\bar{\sigma} = 794.3\bar{\epsilon}^{-0.11} [MPa] \quad (1)$$

프레스는 최대허용능력(frame capacity)이 39.2 MN (4,000 tonf)인 기계식 프레스(mechanical press)를 사용한다.

### 2.1.1 기존의 제작방법

기존의 플랜지의 성형방법은 Fig. 1과 같이 3 단계의 공정으로 이루어지는데, 업셋팅 공정, 전·후방압출 공정, 피어싱·트리밍 공정의 순서이다. 그림에서와 같이 첫 단계에서는 초기빌렛인 중실소재의 직경을 증가시켜 다음 공정이 원활하도록 소재를 가공한다. 그리고 두 번째 단계에서는 소재가 최종제품에 가까운 모양을 갖추기 위해 필요한 공정으로 플랜지 몸통과 넥 부분을 성형한다. 마지막 단계에서는 솟턱의 몸체부분의 중공과 나

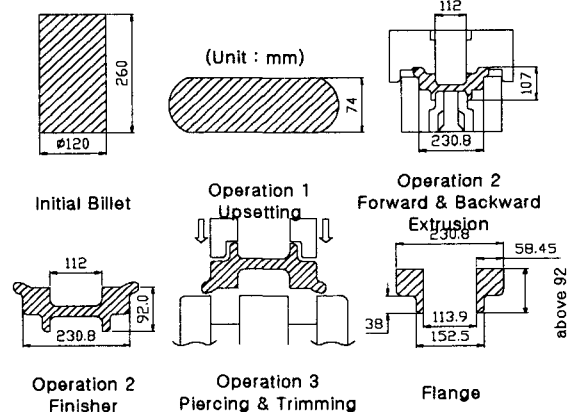


Fig. 1 Three-stage operations for producing of short-neck flange

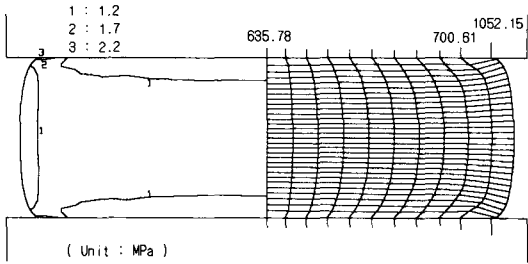


Fig. 2 Deformation patterns for the first-step operation of the conventional process

사이음부분을 기계가공에 의한 피어싱 및 트리밍으로 제작하는 공정을 보여주고 있다.

공정 순서에 따라 앞서 기술한 바와 같은 해석조건으로 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 2 는 초기소재를 업셋팅한 후의 유효변형률 분포와 다이압력(die pressure) 분포를 보여주고 있다. 본 논문에서 사용한 초기소재의 직경 대 길이의 비는 2.17로서 전문가의 권고 범위인 3 이하이며, 이 값은 좌굴없이 업셋팅 공정을 원활하게 수행할 수 있는 기준이 된다.<sup>(16)</sup>

Fig. 3 은 전·후방압출에 의한 두 번째 공정후 소재의 유효변형률 분포와 다이압력(die pressure) 분포를 보여주고 있다. 이 공정에서는 넥 부분을 전방압출로, 소재의 몸통부분을 후방압출로 각각 성형하는데 전방압출의 경우 소재가 상부 펀치부분에 접촉한 후에 넥으로 유동을 보였다. 이때의 최대유효변형률은 3.59이며, 그림에서 볼 수 있듯이 변형은 주로 하형의 플랜지 넥 부분에서 나타

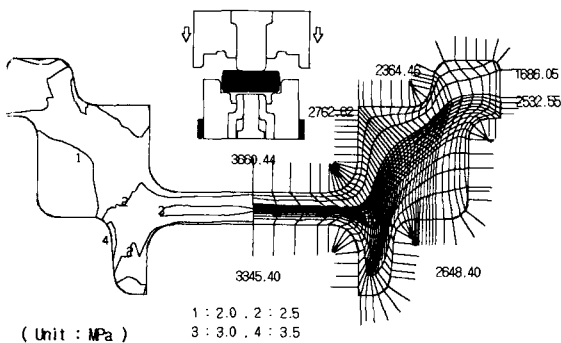


Fig. 3 Deformation patterns for the second step operation of the conventional process

났다.

또한, 상부의 펀치와 하부의 금형이 닫혔을 때 금형재료에 가해지는 최대압력이 약 3,660 MPa의 값을 나타내었으며, 이 값은 전문가가 추천한, 금형재료가 어떠한 결함 없이 안전하게 가공할 수 있는 한계치인 4,000 MPa 이내에 있음을 알 수 있다.<sup>(17)</sup> 압출비는 코팅과 같은 여러 요소에 의해 영향을 받는데 전문가에 의해 제시된 값인 4보다 작아야 한다.<sup>(18)</sup> 그러나 전방압출의 경우 압출비가 4.4로서 다소 크게 나타났으며, 후방압출의 압출비는 1.1로서 작은 값을 나타냄을 알 수 있었다. 하지만 이러한 공정은 트랩다이(trapped die)에서 이루어질 경우 사실상 4보다는 큰 압출비를 가능하게 한다. 따라서 본 공정에서 전방압출의 경우 기준에 비해 큰 값을 나타내었지만, 압출비로 인한 악영향이 없는 것으로 알려져 있다.

Fig. 4 는 기존공정에서의 하중과 행정거리의 관계를 나타낸다. 업셋팅 공정에서의 행정거리는 186 mm 이고, 최대하중은 20.3 MN (2070.6 tonf)이며, 성형에 소비된 에너지는 1.03 MJ 이다. 전·후방압출 공정에서의 행정거리는 61 mm 이고, 성형에 소비된 에너지는 0.25 MJ 이다. 이 때, 최대하중은 공정이 거의 끝난 후에 급격히 증가하는데 이는 상금형과 하금형이 닫히고 소재가 채워지면서 발생하는 현상으로 그 이후의 하중은 큰 의미가 없다. 따라서 실제 최대하중은 38.67 MN (3,994 tonf)이고, 이 값은 프레스의 프레임 허용능력(frame capacity) 한도 4,000 tonf 이내에 있음을 알 수 있다.

그러나 일반적으로 기계 프레스에서는 호칭하

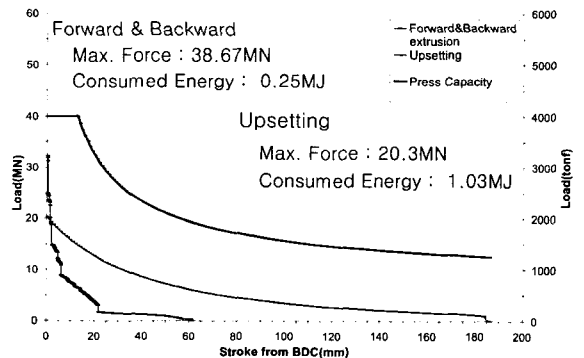


Fig. 4 Load-Stroke relationships for the conventional Process

Table 1 Selection of commercially available thick-walled pipes

Outer diameter (mm)	Wall thickness(mm)											
	30	32	35	37	40	42	46	48	50	54	55	58
141.3	0	0	0	0	0	0	0					
192.0		0	0	0	0	0	0	0	0			
208.0			0	0	0	0	0	0	0	0		
220.0		0	0	0	0	0	0	0	0	●	0	
228.0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	●
273.1			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

● : used in simulation, 0 : commercially available

중 용량은 동등한 힘을 내는 것은 하사점(Bottom Dead Center : BDC) 근처로 하지 않으면 안된다.<sup>(19)</sup>

이러한 것을 볼 때 허용용량이 4,000 tonf이며 행정거리가 600 mm 인 프레스를 사용하는 것은 기계에 무리가 있음을 알 수 있다.

마지막 공정은 피어싱 및 트리밍 공정으로 중공축 형상의 플랜지를 제작하고 제품의 플래쉬 부분 및 제품이외의 나머지 부분을 제거하기 위한 공정이다. 기존공정 중 피어싱 공정에서 소비된 에너지는 약 11 KJ로서 전체 성형에너지에 비해 작은 값을 가진다.<sup>(20)</sup>

이처럼 예비성형단계를 거쳐 중공부위를 만들던 일련의 기존공정들은 재료의 손실이 불가피하며, 많은 시간과 에너지를 필요로 한다는 것을 알 수 있다. 본 논문은 이러한 일련의 기존공정해석을 통해 얻은 정보를 바탕으로 새로운 공정을 제안하여 해석하였다.

### 3. 새로운 제작공정

#### 3.1 신공정의 제시

일반적으로, 기존공정을 개선시켜 새로운 공정을 개발하기 위해서는 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다. (1) 새롭게 제안된 생산공정은 기존공정에 비해 간단하여 경제성이 제고되어야 하고 (2) 초기소재의 재료는 쉽게 구할 수 있는 것을 선택하여야 하며, (3) 소재는 가공중 어떠한 결함도 있어서는 안되며, (4) 공정시간이 기존공정에 비해 짧아야 한다.

이러한 요소들을 기초로 하여, 새롭게 제안된 공정에서는 초기소재로서 중공축 형상의 소재를

사용하였다. 기존공정에서의 3 단계 공정 중 1, 2 단계공정 즉 업셋팅 공정과 전·후방압출 공정은 초기 소재를 적절한 모양으로 바꾸기 위해 사용된 공정이었으며, 피어싱·트리밍 공정은 중공축 형상을 만들기 위한 공정이었다. 따라서 많이 이용되고 있는 중공축 파이프를 사용한다면 이러한 일련의 공정들이 필요하지 않다는 것을 알 수 있다. 그러나, 초기소재로서 원통형 빌렛 대신 중공축 파이프를 사용할 때 지름 및 파이프 살두께에 비하여 높이가 너무 높으면 가공 중에 좌굴이 일어날 가능성이 있고, 높이 감소율이 크면 소재의 배럴링 부분에서 표면균열이 발생할 가능성이 있다. 좌굴은 일반적으로 원통형 빌렛 보다는 파이프를 이용할 경우에 좌굴이 일어날 가능성이 적다.<sup>(21)</sup> 다음은 원통형 빌렛에 대한 좌굴의 방정식을 파이프에 적용한 경우이다.<sup>(22)</sup>

$$\frac{l}{r} = \pi \sqrt{\frac{E_p}{\sigma_{cr}}}, \quad E_p = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (2)$$

여기에서 l은 봉의 길이이며 r은 반경, E<sub>p</sub>는 탄젠트 계수 그리고 σ<sub>cr</sub>은 인장강도를 나타낸다. 식 (2)에 소재의 물성치를 대입하면 소성변형을 하는 동안 좌굴을 피하기 위해서는 반경대 길이의 비가 4.68 보다 작아야 함을 알 수 있다.

Table 1은 일반적으로 시중에서 쉽게 구할 수 있는 파이프들을 보여주었고 있다. 그 중 굵은 선 안의 샘플들은 좌굴이 일어나지 않고 사용 가능한 소재들을 나타낸다.<sup>(21)</sup> 또한 Table 1에서 검은 점으로 표시된 것들은 재료의 유동 및 최종제품의 형

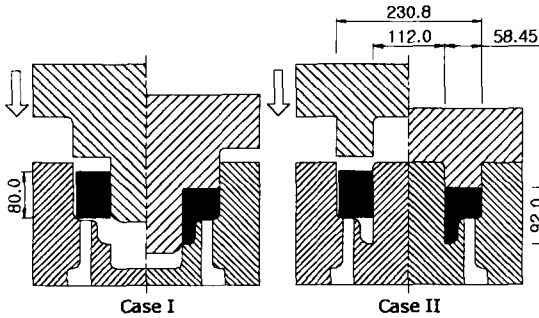


Fig. 5 Possibly one-step forging processes with proposed die 1 (Case I) and 2 (Case II)

상 그리고 체적을 고려하여 본 논문에서 시뮬레이션을 위해 선택한 소재들이다.

초기소재의 선택과 마찬가지로 새로운 금형 설계 또한 공정설계시 중요하다. 본 논문에서는 새로운 금형 설계의 기준을 경제적인 제품생산을 위한 방안으로 설계하였으며, 즉 기존공정에서의 공정절차를 간소화하여 새로운 공정에서의 작업시간을 단축하여 여러 단계의 공정절차를 단 공정으로 작업할 수 있게 새로운 금형을 설계하였다. 하 금형은 이탈장치를 마련하여 전방압출이 완료된 후 제품의 이탈을 이루게 하였다.

이처럼 금속가공에서의 공정설계는 적절한 공정선택, 금형설계, 초기소재의 선택, 공정조건, 및 장비의 선택등 여러 부분을 포함한다. 이러한 것들 중 가장 중요한 것은 역시 초기소재의 선택이다. 새롭게 제안한 공정에서는 상업용으로 널리 사용하는 중공축 빌렛을 초기소재로 사용함으로써 기존공정에 비해 재료의 낭비를 막을 수 있으며, 가공 시간을 줄일 수 있고, 양질의 제품을 가공할 수 있음을 보였다.

Fig. 5 는 초기소재로서 중공축 소재를 사용한 단계로 이루어진 두 가지의 서로 다른 공정의 일반적인 예를 보여주고 있다. 왼쪽 그림 (Case I)은 상금형에 펀치가 고정된 형상이고 오른쪽 그림 (Case II)은 중심축이 하금형에 고정된 형상이다. 그림에서 알 수 있듯이, 중심축 다이벽을 따라 재료의 유동이 자연스럽게 발생하고, 다이벽에서 발생하는 다이압력이 높지않고 고르게 분포할 수 있게 설계하였다.

그밖의 마찰인자와 소재의 물성치등은 기존 공정과 동일하게 사용하였다.

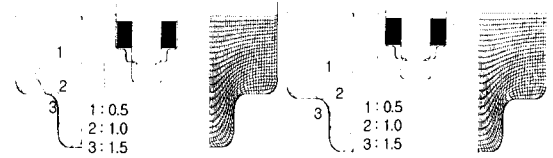


Fig. 6 Deformation patterns of Case I : O.D. 220 (left) ; O.D. 228 (right)

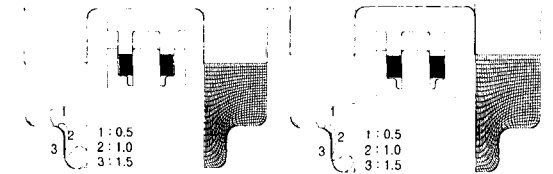


Fig. 7 Deformation patterns of Case II : O.D. 220 (left) ; O.D. 228(right)

### 3.2 신공정 제작방법

Fig. 6 과 7 은 중공축 소재에 대하여 Case I 금형을, Case II 금형을 각각 사용하여 시뮬레이션한 결과이다. 시뮬레이션에서는 외경이 220 mm 이고 내경이 54 mm 이며, 높이가 80 mm 인 중공축 소재와 외경이 228 mm 이고 내경이 58 mm 이며 높이가 80 mm 인 중공축 소재를 각각 사용하고 있다. 그림을 보면, 각각의 소재에 대해 가장 큰 변형이 일어나는 곳은 플랜지 벽의 모서리부분이며, 그것은 내경이 커질수록 심한 변형이 일어난다. 또한, 두 가지 경우, Case I 과 Case II 에 대한 전체적인 변형 양상과 압력분포 및 최대 유효변형률 분포가 거의 비슷함을 알 수 있다. 그러나 기존공정에 비해 새롭게 제안된 공정에서의 최대유효변형률 분포는 매우 작은 값인 1.5 를 나타내었다.

Case I 과 Case II 에서의 압출비는 외경이 220 mm 인 경우 3.19, 외경이 228 mm 인 경우 3.51 이었다. 이 값들은 전문가가 제시한 값, 4 의 범위 내에 있음을 알 수 있다.<sup>(18)</sup>

Fig. 8 은 새롭게 제안한 공정에서의 하중과 행정거리의 관계를 나타내었다. Case I 과 Case II 의 경우, 최대하중은 32.74 MN (3,337 tonf)이었고, 성형에너지는 0.15 MJ 이었다. 이 값은 기존공정에 비해서는 작은 값이며, 또한 4,000 tonf 프레스 프레임 허용능력 (frame capacity)내에 있음을 알 수

Table 2 Comparison of the extrusion ratio between the proposed and the conventional processes

Operation	1st	2nd	
		Forward Extrusion	Backward Extrusion
Conventional process	s = 71.54%	r = 4.4	r = 1.1
Processed process (O.D. 220)	r = 3.19		
Processed process (O.D. 228)	r = 3.51		

r = Extrusion ratio, s = Upsetting ratio

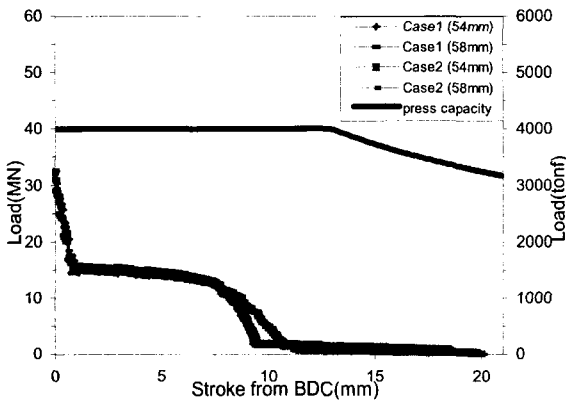


Fig. 8 Load-Stroke relationships for the proposed processes

있다.

그림으로부터 새롭게 제안한 공정들의 경우 최대하중 및 하중과 행정거리의 관계가 거의 유사한 분포하는 것을 볼 수 있다. 그러나 기존공정과 크게 다른 점이 나타나는데, 행정거리가 기존공정에 비해 아주 짧다는 것이다. 이러한 점은 새롭게 제안한 공정에서 프레스가 기존공정에 비해 더욱 더 안정성 있게 작동될 수 있다는 것을 보여주며,<sup>(19)</sup> 또한 금형에 가해지는 압력이 약 3,000 MPa로서 금형에 무리 없이 공정을 수행할 수 있음을 보여준다.<sup>(17)</sup>

Table 2와 3은 기존공정과 제안된 공정을 각각 비교하여 보여주고 있다. Table 2는 기존공정과 새롭게 제안한 공정의 압출비를 각각 비교하여 나타내었고, Table 3은 위에서 언급했던 수치적 데이터를 각각 기존공정과 새롭게 제안한 공정에 대하여 나타내었다. Table에 나타난 수치적 데이터들에서 알 수 있듯이, 제시된 새로운 공정에서

Table 3 The comparison of the various forging data between the proposed and the conventional processes

	conventional process	Case I		Case II	
		D220, T54	D228, T58	D220, T54	D228, T58
Max. load : MN(tonf)	38.67 (3944)	30.78 (3139)	32.72 (3337)	31.63 (3226)	30.86 (3147)
Max. eff. strain	3.59	1.80	1.79	1.81	1.76
Forming Energy(MJ)	1.29	0.142	0.146	0.15	0.149
No. operation	3	1	1	1	1
No. die	6	2	2	2	2
material waste	much	less	less	less	less
process time	long	short	short	short	short

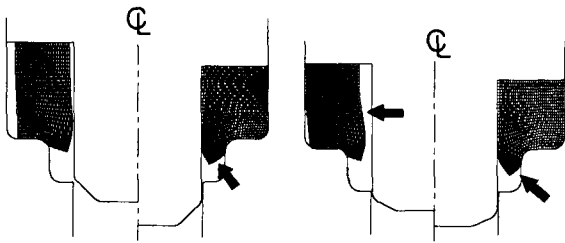


Fig. 9 Possibly undesired metal flow by the selection of a certain billet

의 편치 하중은 기존공정에 비해 작은 값을 나타내며, 최대 유효변형률 또한 기존공정에 비해 약 50 %정도의 작은 값을 나타낸다. 그리고 성형 에너지 또한 공정개선으로 인하여 새로운 공정에서는 상당히 작은 에너지를 사용하고도 성형이 가능하다는 것을 알 수 있다. 그리고 공정 수와 재료의 손실 또한 감소되었다. 그러므로 새로운 생산 방법으로서 제안된 공정을 사용하게 된다면 프레스 용량은 물론 재료의 낭비 및 시간을 절약할 수 있을 것으로 본다.

그러나, 위에서 언급한 내용들은 적절한 초기 소재를 선택하였을 경우에만 해당되며, 만약 잘못된 초기소재를 선택하였을 경우 Fig. 9와 같은 소재유동을 보일 것으로 예상된다. 왼쪽 그림에서 화살표로 표시된 부분은 파이프의 내경이 클 경우 일어나는 접힘현상(folding)을 나타낼 수 있으며, 오른쪽 그림은 소재의 외경이 작을 때 내경이 큰 경우와 마찬가지로 벽의 끝단에서 접힘에 의한 불량 가능성이 나타남을 보여주고 있다.

### 3.3 프레스 능력에 대한 고찰

여러 가지 프레스들 사이에서 기계 프레스는 제품을 제조하기 위해 광범위하게 사용되어 왔다. 왜냐하면 기계 프레스는 값이 싸고, 유지비용이 적게 들기 때문이었다. 기계 프레스의 능력은 프레스의 압력, 토크 그리고 에너지 능력에 의해 결정된다. 프레스 능력은 프레스 기계가 기능적 손상을 입지 않고 가공을 행하기 위하여 발생시킬 수 있는 최대압력을 의미하는데, 이 능력을 공칭 압력 이라고도 한다. 프레스는 항상 공칭압력의 75~80 %범위에서 조작한다. 왜냐하면 금형의 정확한 수명예측의 어려움과 가능한 과부하 때문이

다.<sup>(23)</sup> 에너지 능력은 한 사이클 동안에 소비할 수 있는 일의 양이다. 이런 능력들은 프레스 선택 시에 중요하다. 다음은 프레스 능력에 관한 식이다.

$$P = \frac{T}{S \sqrt{\frac{2r}{S} - 1}} \quad (3)$$

여기서, P는 행정거리 S에 따른 프레스 하중능력(press load capacity), T는 토크(torque), 2r는 전체 프레스 행정길이이다.<sup>(24)</sup> 4,000 tonf의 용량을 가지며 600 mm의 행정거리를 가지는 프레스의 경우, 식 (3)에 의해 도출된 값들이 4,000 tonf 아래에 분포하기 때문에 타당한 것으로 판단된다. 그러나 앞에서 서술하였듯이 기존공정에서 프레스는 호칭 하중에 동등한 힘을 낼 수 있는 행정거리 이상의 성형을 하였기 때문에 무리가 따른다. 그에 비해 제안된 공정에서는 최대 편치하중은 32.72 MN이고, 행정거리는 17.3 mm이므로 이 정보에 따라서 프레스 능력의 조건하에서 4,000 tonf 능력과 600 mm의 행정거리를 갖는 프레스가 충분히 적용될 수 있음을 알 수 있으며, 또한 기존의 프레스보다 적은 용량의 프레스를 사용하더라도 가능하다는 것을 알 수 있고, 이로써 기존공정에 비해 적은 비용으로도 제품을 생산할 수 있음을 알 수 있다.

## 4. 결론

본 논문은 플랜지의 성형공정을 기존의 성형 공정과 새롭게 제안된 성형공정에 대해 두 가지 금형 모형으로 유한요소법에 의한 시뮬레이션을 수행하여 새로 설계된 공정의 적합성을 판단하였다.

기존의 공정은 3단계 공정으로 이루어지는데 반해, 새롭게 제안된 공정은 피어싱 공정을 생략하기 위해 중공축 소재를 사용하여 단 공정으로 설계하였다. 이렇게 함으로서 공정 수를 줄여 제조비용 및 금형 비용을 절감할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 적절한 프레스의 사용으로 결함이 적은 제품을 가공할 수 있다. 따라서 새롭게 제안된 공정은 기존의 공정에 비해 경제적으로 플랜지를 생산할 수 있을 것이다.

마지막으로, 본 논문에서 보여주는 이러한 여러 수치적 데이터들이 일반 슛넥 플랜지 생산업체 들은 물론 축대칭 중공축의 성형 공정에 응용될

수 있을 것이다.

### 후 기

본 연구는 인하대학교 및 동국대학교의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. J. C. Choi and B. M. Kim, "Expert system for cold forging process design," Official Journal of the Korean Society for Technology of Plasticity, Vol. 2, p. 1, 1993.
2. K. Osakada, T. Kato and G. B. Yang, "Application of AI technique to process planning of cold forging," Annals of the CIRP, Vol. 37(1), p. 239, 1988.
3. K. Osakada, G. B. Yang, T. Nakamura and K. Mori, "Expert system for cold forging process based on FEM simulation," Annals of the CIRP, Vol. 39(1), p. 249, 1990.
4. K. Osakada, G. B. Yang, "Neural networks for process planning of cold forging," Annals of the CIRP, Vol. 40(1), p. 243, 1991.
5. N. Alberti, L. Cannizzaro, F. Micari, "Knowledge-based systems and F.E. simulation in metal-forming processes design an integrated approach," Annals of the CIRP, Vol. 40(1), pp. 295-298, 1991.
6. C.H. Lee, S. Kobayashi, "New solutions to rigid-plastic deformation problems using a matrix method," J. Eng. Ind. Trans. ASME 95, p. 865, 1973.
7. J. Y. Lim and S. Kobayashi, "Process Sequence Design in Cold Extrusion to Form Axisymmetric Shell Body," Int. J. of machine Tools and Manufacture, Vol. 35, No. 7, pp. 925-938, 1995.
8. C.Park, J. Y. Lim, B. B. Hwang, "A Process Sequence Design of an axle-housing by cold extrusion using thick-walled pipe," J. of Material Processing Technology, Vol. 75, No. 1, pp. 33-44, 1998.
9. Korea Flanges Co. Ltd, "To make Progress Controlled Quality," p. 10, 1992.
10. K. Lang, M. Herrmann, P. Keck, M. Wilhelm, "Application of an elasto-plastic finite element code to the simulation of metal forming processes," J. Mat. Proc. Technol, Vol. 27, p. 239, 1991.
11. M. J. Saran, "Comparison of elastic-plastic and rigid-plastic implicit FEM simulations in sheet forming applications," J. Mat. Proc. Technol, Vol. 27, p. 279, 1991.
12. J. H. Cheng, N. Kikuchi, "An analysis of metal forming processes using large deformation elastic plastic formulations," Comput. Methods Appl. Mech. Eng, Vol. 49, p. 71, 1985.
13. S. Kobayashi, J. H. Kim, "Deformation analysis of axisymmetric sheet metal forming processes by the rigid-plastic finite element method," in: D. P. Koistinen, N-M. Wang (Eds.), Mechanics of Sheet Metal Forming, Plenum, New York, p. 341, 1978.
14. S. Kobayashi, S. I. Oh, T. Altan, "Metal forming and the finite-element method," Oxford University Press, Oxford, p. 32, 1989.
15. Air Force Materials Laboratory, "Forging Equipment, Materials and Practices," Metals and Ceramics Information Center, p. 164, 1973.
16. W. H. Cho, "Press Dies Design Technology," Tech-Elec. Lab, pp. 347-350, 1994.
17. T. Huziyoshi, "Die & Mould," Daily Technology Press, Tokyo, Japan, pp. 446-447, 1989.
18. K. Sevenler, P. S. Raghupathi, T. Altan, "Forming-sequence design for multistage cold forging," J. Mech. Working Technol, Vol. 14, pp. 121-135, 1987.
19. 飯泉新五, "Press characteristics for cold forging and selection of press," 日本塑性學會, Japan, pp. 547-548, 1960.
20. T. Altan, "Metal Forming Handbook," Engineering Research Center for Net Shape Manufacturing", The Ohio State University, USA, pp. 274-277, 1998.
21. Committee of Steel Pipe Producers, 1974, "Design Manual for Structural Tubing," American Iron and Steel Institute, p. 10, 1974.
22. P. Hartley, I. Pillinger, C. Sturgess, "Numerical Modeling of Material Deformation Processes," Springer, Berlin, pp. 17-18, 1992.
23. K. A. Na, "Press Handbook," Kijun Yoenguas, pp. 175-176, 1989.
24. SsangYong Precision Industry, SsangYong Press, pp. 20-21, 1991.