

# 오비탈 성형을 이용한 피팅 파이프 플랜지 공정연구

김태걸\*.#, 박준홍\*\*, 박영철\*\*

\*동아대학교 기계공학과 대학원, \*\*동아대학교 기계공학과

## Fitting Pipe Flange Process Research Using Orbital Forming

TaeGual Kim\*.#, JoonHong Park\*\*, YoungChul Park\*\*

\*Graduate School of Mechanical Engineering Donga-Univ., \*\*Donga-Univ. of Mechanical Engineering

(Received 2 September 2015; received in revised form 8 October 2015; accepted 11 October 2015)

### ABSTRACT

A large variety of pipe flanges are required in the marine and construction industry. Pipe flanges are usually welded or screwed to the pipe end and are connected with bolts. This approach is very simple and has been widely used for a long time; however, it results in high development costs and low productivity, and the products made through this approach usually have safety problems in the welding area. In this research, a new approach for forming pipe flanges based on cold forging and the floating die concept is presented. This innovative approach increases the effectiveness of the material usage and saves time and costs compared with the conventional welding method.

To ensure the dimensional accuracy of the final product, finite element analysis (FEA) was carried out to simulate the process of cold forging, and orthogonal experiment methods were used to investigate the influence of four manufacturing factors (stroke of distance, pin die angle, forming of pipe diameter, and speed of the die) and predict the best combination of them. The manufacturing factors were obtained through numerical and experimental studies, which show that the approach is very useful and effective for the forming of pipe flanges and could be widely used in the future.

**Key Words :** Cold Forging (냉간 성형), Pipe Flange(파이프 플랜지), FEA (유한요소모델), Orbital Forming (오비탈 성형)

## 1. 서 론

유수압 산업에서 배관의 연결에 사용되고 있는 밸브 및 피팅은 유체의 흐름을 통제하는 기구로서 조선, 석유화학, 발전설비, 산업용플랜트 및 반도체 분야에 이르기까지 모든 산업분야에 널리 사용

되고 있다. 또한 이들의 종류는 매우 다양하여 저가의 범용 대량 수요 밸브는 중국과 인도를 중심으로 생산되고 있으며, 제어밸브와 같이 부가가치가 높은 밸브는 선진국인 미국을 중심으로 일본, 독일 등이 생산을 주력하고 있고 전 세계 시장의 80%이상을 선점하고 있다. 특히 계기장치용 정밀 피팅, 밸브 제품은 기간산업인 반도체, 조선, 석유화학, 발전, 항공, 군수산업 등 국가산업의 발전과 연관된 전체분야에 걸쳐 적용되고 있다.

그러나 국내에서는 1990년대까지 정밀 계기장치용 피팅과 밸브를 선진국에서 수입에 의존하여

# Corresponding Author : hero7541@hanmail.net

Tel: +82-51-200-6991, Fax: +82-51-200-7656



Fig. 1 Fitting-related products

왔으나 1990년대 이후 국내 제조업체들의 꾸준한 연구개발과 투자의 결과로 생산기술이 크게 향상되어 수입 대체 효과를 유발하고 있다. 현재 국내의 피팅 관련 기술은 주로 유수압 배관의 이음새와 반도체에 적용되고 있는 사례가 많으며 이의 중요성도 각 산업에 걸쳐서 증가되고 있는 추세이다. Fig. 1과 같이 개발된 피팅의 경우 lok type으로 관을 제외한 4개의 부품이 필요하고 2개의 너트와 피팅 바디를 제외한 중간부의 2개 패럴은 정밀한 가공과 기계적 특성이 필요하며, 조립시 너트에 걸리는 토크로 너트와 관 사이에 있는 패럴들이 압착되어 밀폐되는 구성을 가진다. 그러나 2개의 패럴에 대한 가공시간과 원가의 부담이 커져 피팅의 가격도 증가하는 효과를 유발하고 flange type 피팅의 경우 환관과 플랜지를 성형하여야 함으로 수작업을 통한 생산에는 한계가 있다.<sup>[1,2]</sup>

본 연구에서는 Orbital Forming의 유한요소 해석, Pin Die 축 각도에 따른 해석, 스트로크 거리에 따른 해석, 파이프 직경에 따른 스트로크 결정 및 Die 속도 및 파이프 직경에 따른 하중 변화에 따라 해석과 실험을 비교하여 스테인리스 Orbital Forming 공정에서 파이프 Pin Die의 필렛 각도와

스트로크를 연구하였으며, Pin Die와 스트로크 그리고 플랜지의 형상에 따른 관계를 연구하였다.

## 2. Orbital Forming의 유한요소해석 조건

스테인리스 파이프는 중심축을 기준으로 대칭인 형상을 가지고 있다. 성형 가공 시 파이프의 끝단이 벌어진다.

Fig. 2와 같이 Orbital forming을 사용하여 보다 작은 힘으로 스테인리스 파이프 끝단을 성형하게 된다. 스테인리스 스틸 파이프의 Orbital forming의 해석에는 상용 유한요소해석 프로그램인 FORGE

Table 1 Analysis conditions of the orbital forming process

Condition	
Pin die rpm	4
Pin die friction	0.3
Pin die angle	4.5
Clamp friction	Bilateral sticking
Clamp die velocity	1 mm/sec
Mandrel friction	Sliding
Billet-Mandrel clearance	1/100 * pipe 1.5, 2, 2.5, 3

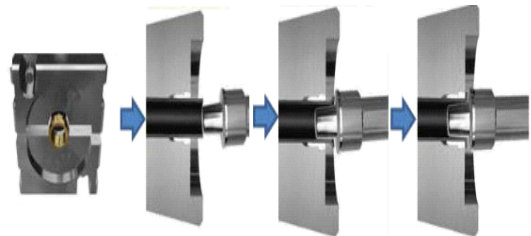


Fig. 2 Orbital-forming process

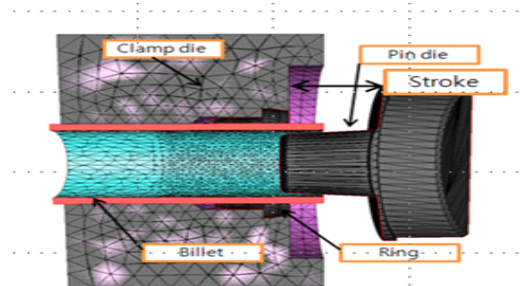


Fig. 3 Modeling of the press orbital-forming process

2009를 이용하였고, 해석 모델은 Fig. 3과 같고 해석조건은 Table 1과 같다.

### 3. 성형 조건에 따른 해석 결과

본 연구에서는 스트로크 거리, Pin Die 축 각도, Pipe 성형 직경, Die 속도를 성형 변수로 선정하였다. 선정 이유에는 스트로크 거리는 예비해석을 통해 스트로크가 제품의 정밀도와 최종 제품의 완성도를 좌우하는 밀접한 관계에 있으며, Pin Die 축 각도의 경우 플랜지 부의 성형 모양에 영향을 미쳐 완성품의 완성도를 좌우하기 때문이다. 또한 Pipe의 직경은 현장에서 여러 가지 요구조건이 들어오고 그에 따라 직경의 다양화는 매우 중요하다. Die 속도는 냉간 성형에서는 금형 속도는 성형에 큰 영향을 미치지 않는 것이 대부분이나 회전성형에서는 부하하중이 점진적으로 영향을 미치므로 약간의 하중 증가에 예상되어 변수로 선정하였다.

#### 3.1 Pin Die 축 각도에 따른 해석

Fig. 4는 Pin Die의 각도가 소재의 성형에 어떤 영향을 미치는지를 나타내고 있다. 소재는 Ø12, 1.5t의 소재를 사용했으며 각도를 3.5도에서 6.5도로 변화 하였을 때, 최종형태는 다음과 같이 확인할 수 있었다. 결과는 Table 2을 통해 플랜지부 Gap 치수, Pipe 내경의 확인하여  $\theta=4.5$ 에서 최종 제품에 가장 근사한 형태가 나오는 것을 확인할 수 있다.

#### 3.2 스트로크 거리에 따른 해석

Pin Die 스트로크는 플랜지 형상에 있어 큰 영향을 미친다. 스트로크가 부족할 경우 소재의 성형 후에 규정에 만족스럽지 못한 직경이 도출될 수 있으며, 스트로크가 많으면 파이프 직경이 커지면 두께가 얇아져서 파단 되는 문제점이 있다. 최적의 스트로크를 얻기 위하여 반복해석을 진행하였으며, 그 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5를 통해 스트로크가 5.5mm, 7.5mm,

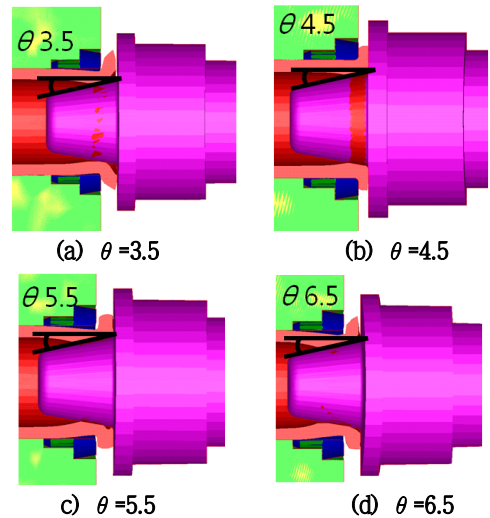


Fig. 4 Deformation behavior according to the fillet angle size change.

Table 2 Flange of the Cap value and Die Diameter of straightness according to the angle

	3.5[ $\theta$ ]	4.5[ $\theta$ ]	5.5[ $\theta$ ]	6.5[ $\theta$ ]	
Gap valve of Flange	1.5 [mm]	0 [mm]	0.7 [mm]	1 [mm]	
Inside diameter pipe	7.4 [Ø]	8.7 [Ø]	8.1 [Ø]	7.8 [Ø]	

9.5mm로 변화해 감에 따라 플랜지 부의 형상을 알아보았다. 스트로크가 7.5mm에서 플랜지의 직경 치수 및 성형 형상이 가장 좋은 것을 알 수 있다.

#### 3.3 파이프 직경에 따른 스트로크의 결정

산업현장에서는 다양한 Pipe 직경이 요구 된다. 따라서 최적의 성형 제품을 얻기 위해서 3.1, 3.2절과 같은 해석 절차를 통하여 하나의 Pipe 직경에 따른 해석을 실시하였고, 각각의 직경에 대한 스트로크를 Fig. 6과 같이 결정하였고 각각의 스트로크는 Table 3에서 나타내었다.

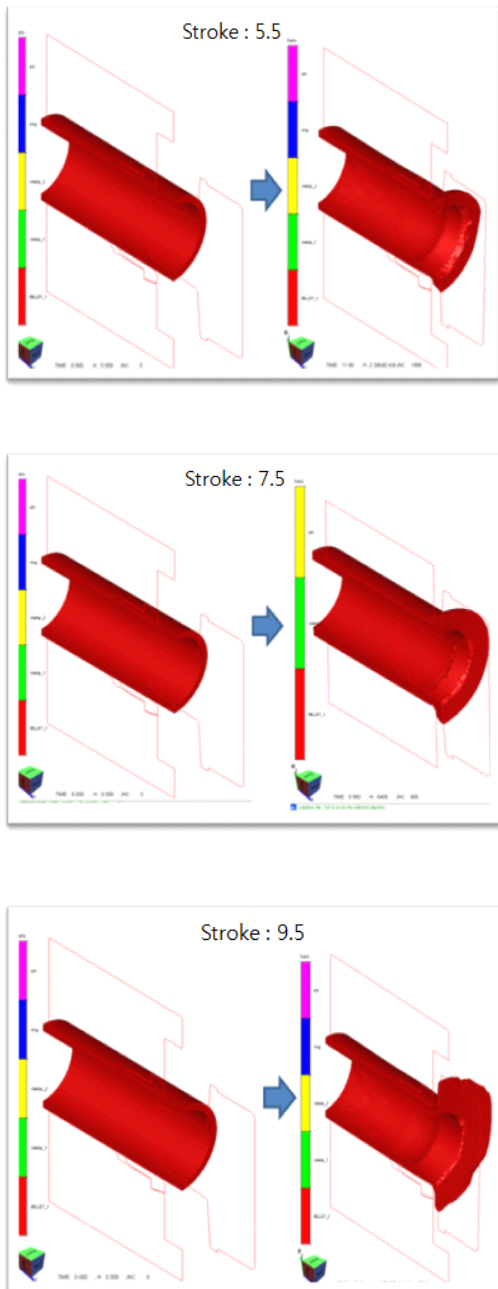


Fig. 5 Pipe deformation according to the pin die stroke deformation

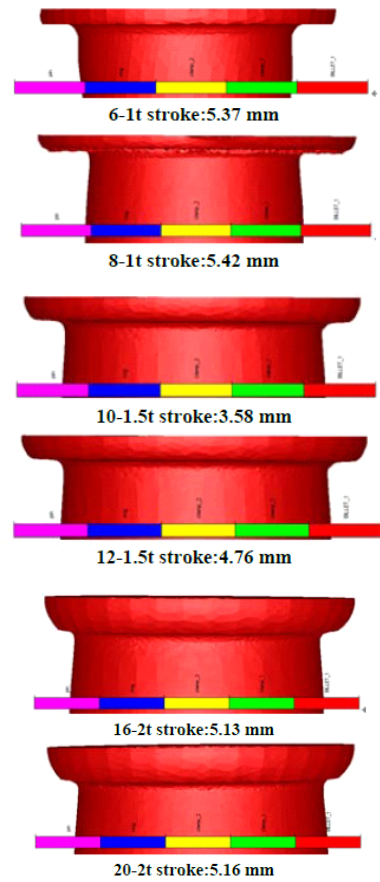


Fig. 6 Diameter analysis result of the stroke

Table 3 Stroke according to the increase in pipe thickness and Diameter

Diameter(Ø)	Model		Stroke (mm)
	Diameter(Ø)	Thickness (mm)	
6		1	5.37
8		1	5.42
10		1.5	3.58
12		1.5	4.76
14		2	6.74
15		1	4.76
16		2	5.13
18		1.5	6.02
20		2	5.16
22		1.5	7.27
25		2.5	6.27
28		2	7.70

Table 4 Load of the each speed

Speed (mm/s)	Load (ton)
0.5	2.5
0.75	2.8
1	3.5
1.25	3.6
1.5	5.8
1.75	7.2

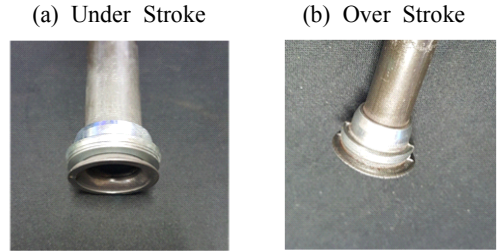


Fig. 7 Photograph of folded and unfilled products

### 3.4 Die 속도 및 파이프 직경에 따른 하중의 변화

부하 하중의 변화를 확인하기 위해 Pin Die, Jig의 속도를 0.5mm/s에서 1.75mm/s 까지 0.25mm/s 씩 증가시키며 각 모델별 하중을 측정하였다. Table 4는 Ø22, 1.5t 에서의 각 속도별 하중을 나타낸다.

Table 4를 통해 Die 속도에 따라 가장 높은 하중과 가장 낮은 하중의 차이가 4.7ton이 날 수 있음을 알 수 있다. 일반적으로 냉간 성형에서는 변형률 속도에 따른 하중 변화는 거의 없다.

그러나 실제 제품의 회전 성형 시 속도 변화에 따라 약간의 하중이 증가됨을 알 수 있는데 이는 변형률 속도가 냉간 성형의 하중에 영향을 미쳤다가 보다는 회전속도에 따라 마찰력 증가, 마찰부의 열 발생, 점진성형에너지가 약간의 하중 증가에 영향을 미친 것으로 사료된다.

## 4. 성형 실험

Fig. 7은 성형 불량 제품의 사진이다. (a)의 경우 스트로크 부족으로 성형 후 외경이 작게 나오며 슬리브와의 간격이 벌어졌으며 성형면에 대한 평면도가 나오질 않게 되면 니플과의 조립시 오링과 밀착이 되질 않아 파이프내의 압력에 의한 neck가 발생하기 때문에 성형불량으로 판단한다. (b)는 스트로크가 과하여 성형후 외경이 크게 나오며 니플과의 조립시 록 너트와의 조립이 안되는 문제 발생으로 스트로크 과다로 인한 성형불량으로 판단 한다.

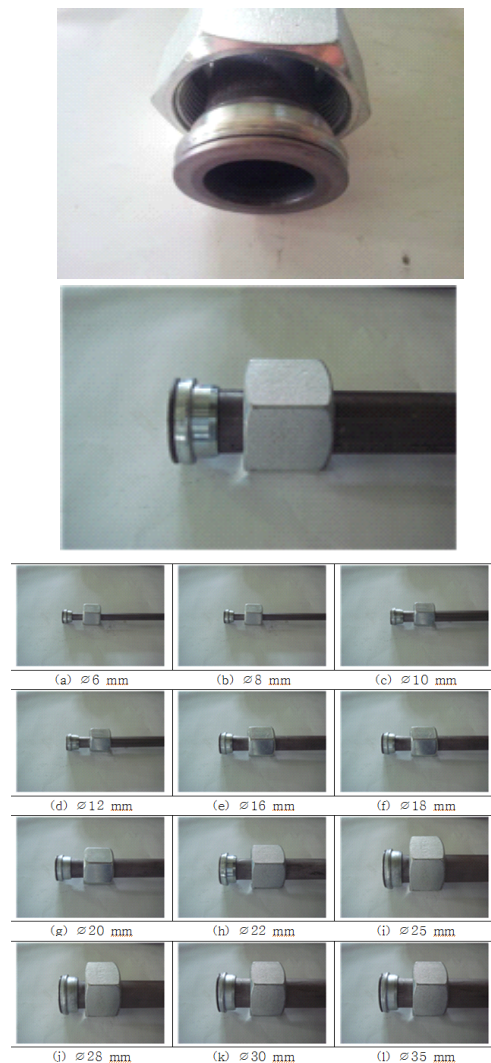


Fig. 8 Photograph of the pilot product

Fig. 8 은 사진과 같이 슬리브면과 파이프 성형된 사이 갭이 없이 성형되었으며, 외경치수가 정상적이며(록 너트와의 조립 문제없음) 성형 편평도가 나오는 성형 양품의 제품이다.

## 5. 결 론

본 연구에서는, 스테인리스 파이프의 Orbital forming이 Pin Die의 필렛 각도, 스트로크, 그리고 관두께, 속도에 따라 받는 영향에 대해 살펴보았다. 또한 외부 직경에 따른 하중의 변화를 알아봄으로써 형상 최적화를 하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같이 요약 한다.

- (1) 스테인리스 오비탈 성형 공정에서 파이프는 Pin Die의 필렛 각도  $\theta = 4.5$ 로 유지되어야 한다.
- (2) 현장에서 요구되어 지는 다양한 직경과 두께의 제품에 대하여 여러 해석을 수행하여 양호한 제품을 얻을 수 있는 스트로크를 Table 3와 같이 결정하였다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부 기술혁신사업 우수제조 기술연구센터(ATC) 사업의 지원에 의한 것입니다.

## REFERENCES

1. Bae, Y. H., Kim, D. H., "The FEM Analysis in Seamless Pipe Expansion Process," Proc. KSMPE Autumn Conf. 2014, p.51, 2014.
2. Shah, A. R., Abid, M., Wasy, A. and Song, J. I., "Performance of a Gasketed Bolted Pipe Flanged Joint under Bolt up, Internal Pressure and Harmonic Bending Loading," Proc.KSMPE Autumn Conf. 2012, p.145, 2012.
3. E. Tsuru, T. Kondo, T. Satoh and H. Hasegawa "Loose Flange-type Flared Pipe Joint," Sealing Technology, pp. 12, 2010.
4. Chen, H. S., Tseng, P. T. and Hwang, S. F., "Failure Analysis of Bolts on an End Flange of a Steam Pipe," Eng. Fail. Anal., Vol. 13, No. 4. pp. 656-668, 2006.
5. Kim, W. and Lee, C. M., "A Study on the Manufacture Process Parameters of Stainless/Carbon Composite Material Pipes Fitting", Proc. KSMPE Autumn Conf. 2008, pp. 144-149, 2008.
6. Ohashi, T. and Hayashi, K., "Lateral Extrusion of A6063 Aluminum Alloy Pipes," J.Mater. Process. Technol., Vol. 138, No. 1-3, pp. 560-563, 2003.
7. Akkus, N., Manabe, K., Kawahara, M. and Nishimura, H., "A Finite-element Model for the Superplastic Bulging Deformation of Ti-alloy pipe," J. Mater. Process. Technol., Vol. 68, No. 3, pp. 215-220, 1997.
8. Yuan, S. J., Xu, Z., Wang, Z. R. and Hai, W., "The Integrally Hydro-forming Process of Pipe Elbows," Int. J. Pressure Vessels Pip., Vol. 75, No. 1, pp. 7-9, 1998.
9. Gursoz, E. L., Choi, Y. and Prinz, F. B., "Boolean Set Operations on Non-manifold Boundary Representation Objects", Comput.-Aided Des., Vol. 23, No. 1, pp. 33-39, 1991.
10. Jung, W. J., Kang, H. B., Lee, D. W., Park, M. H., Song, J. H., Lee, S. S., "A study on Press Forming Machine of Titanium and Aluminium Plates Formability" J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 12, No. 5, pp. 86-93, 2013.
11. Min, B. H., Jea, W. S., Ye, S. D., "A Study on Forming for Brake Pipe of Automobiles using Finite Element Method" J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 7, No. 3, pp. 47-49, 2008.