

# 유동성형의 성형력에 미치는 가공깊이와 이송속도의 영향

남경오<sup>1</sup>, 염성호<sup>1</sup>, 강신준<sup>2</sup>, 홍성인<sup>#</sup>

## The Effects of Forming Depth and Feed Rate on Forming Force of Flow Forming

K. O. Nam, S. H. Yeom, S. J. Kang, S. I. Hong

### Abstract

The flow forming has been used to produce long thin walled tube parts, with reduced forming load and enhanced mechanical and surface quality for a good finished part, compared with other method formed parts. So flow forming technique is used widely in industrial production. Especially spinning and flow forming techniques are used frequently in automotive, aerial, defense industry. In this paper, FEM analysis of three-roller backward flow forming of a workpiece is carried out to study effects of forming depth and feed rate on forming force. The axial and radial forces on several forming depth and feed rate conditions are obtained. The phenomena such as bell mouth, build up and bulging during simulation are observed as well.

**Key Words** : Flow Forming, FEM(Finite Element Method), Forming Depth, Feed Rate, Bell-mouth, Build-up, Bulging

### 1. 서론

유동성형에 의한 금속성형 기술은 다른 금속성형 기술과 비교할 경우 얇은 두께를 갖는 금속의 축대칭 튜브를 제작하는 가장 효과적인 방법으로 자동차, 항공우주, 방위산업 등에 널리 이용되고 있다. 유동성형은 맨드릴(mandrel)에 원통형의 튜브가 테일 스톡(tail stock)에 의해 고정되어 맨드릴과 함께 회전하고 새들(saddle)에 고정된 2~3 개의 작업 롤러가 주축 방향으로 이동하면서 튜브의 두께를 감소시키고 동시에 길이는 증가하는 가공 기술이다. 특히 가공이나 성형에 의한 칩의 발생이 없으며 롤러와 재료의 접촉면적이 작기 때문에 다른 가공이나 성형공정에 비해 상대적으로 작은 성형력으로도 성형이 가능하고 성형기계도

비교적 간단한 구조를 가진다. 또한 유동성형을 통해 제작된 제품은 우수한 기계적인 성질과 치수정밀도 그리고 표면처리 효과를 가지고 있어 고품질의 다중 소량생산에 적합한 가공기술이다.

1960년대 스피닝 또는 유동성형에 대한 해석적인 연구에 초동해법과 슬립선장법이 이용되었다. 이후 많은 실험적인 접근과 상계해법, 유한요소법을 이용한 수치해석 모델을 통해 재료의 거동, 응력과 변형률의 분포, 성형력 그리고 재료의 결합 등에 대한 연구가 진행되었다[1-7]. Y. Xu 등은 3D 강소성 유한요소법을 이용해 유동성형에서의 재료에 대한 응력과 변형률 분포를 해석하였다[8]. K. S. Lee 등은 유동성형 과정에서 다양한 윤활조건과 성형비에 따라 롤러에 작용하는 압력을 실험과 이론적 해석을 통해 유도하였다[9]. C. C. Wong

1. 충남대학교 기계공학과 대학원

1. 주식회사 진합

# 교신저자 : 충남대학교 기계공학과, E-mail : hsi@cnu.ac.kr

등은 스피닝과 유동성형에 대한 역사적 고찰과 함께 원형 실린더의 성형력에 미치는 이송속도와 롤러 형상에 대한 영향을 비교하였다[10-11].

본 연구에서는 후방(backward) 유동성형에 대한 3D 유한요소해석을 통해 성형하중에 미치는 가공깊이와 이송속도의 영향을 살펴보았다. 또한 유동성형에서의 build up, bulging 그리고 bell mouth 등에 대한 가공깊이와 이송속도에 대한 영향도 살펴보았다. 본 연구를 위해 상용 유한요소 프로그램인 DEFORM 을 사용하여 후방 유동성형에 대한 3D 유한요소해석을 수행하였다.

## 2. 형상 및 해석 조건

### 2.1 모델 형상

Fig. 1 은 해석을 위한 유한요소 모델이다. 맨드릴과 재료 그리고 3 개의 롤러가 120 도 간격으로 위치한다. 가공깊이에 따라 롤러의 위치를 변경한 3 가지 형상이 모델링 되었다. 재료와 롤러의 치수는 Table 1 과 같다.

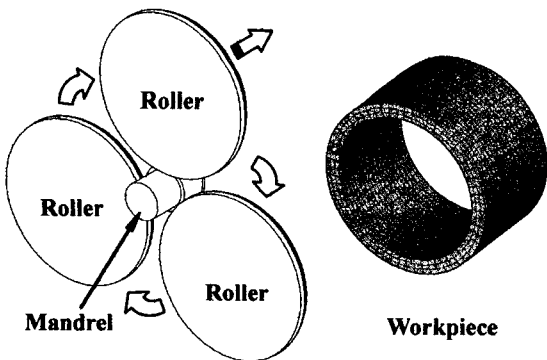


Fig. 1 FE model for backward flow forming

Table 1 Dimensions of workpiece and roller

Workpiece	
Inner diameter(mm)	60
Wall thickness(mm)	6
Initial length(mm)	44
Roller	
Diameter(mm)	264
Tip radius(mm)	5
Lead angle(°)	30
Smooth angle(°)	10

Table 2 Conditions of FE analysis

Backward flow forming type	
Feed rate (mm/rev)	1.5
	1.2
	1.0
	0.5
Thickness reduction (%)	40(2.4 mm)
	30(1.8 mm)
	20(1.2 mm)
Coulomb friction coeff.	0.2
Workpiece material	Al 5052
Roller, Mandrel	Rigid body
RPM(rev/min)	60(6.28rad/sec)

### 2.2 해석 조건

본 연구를 위한 해석조건은 Table 2 와 같다. 모든 해석은 재료의 유동방향과 롤러의 진행방향이 서로 반대인 후방 유동성형 방식을 적용하였다. 실제 유동성형은 회전하는 맨드릴에 재료가 고정되어 같이 회전하면서 이동하지만 일반적인 해석에서는 편의상 재료가 고정되고 롤러는 주축을 중심으로 회전하며 이동하게 된다. 본 해석에서도 이와 같은 방식을 적용하였다. 재료와 맨드릴 사이의 마찰계수는 일반적으로 0.1~0.3 을 많이 사용하고 있으며 본 해석에서는 콜롬 마찰계수 0.2 를 적용하였다. 롤러와 맨드릴은 강체(rigid body)로 가정하였고, 재료는 Al 5052 의 냉간 물성치를 적용하였다. 롤러의 주축에 대한 회전속도는 60 RPM 을 적용하였다. 열 효과는 고려하지 않았다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 가공깊이에 따른 성형력 비교

가공깊이에 따른 성형력 비교를 위해 동일한 이송속도 조건에서 20, 30, 40%의 가공깊이에 대한 후방 유동성형 해석을 수행하여 주축과 반경방향에 대한 롤러의 성형력을 비교하였다. Fig. 2 는 가공깊이에 따른 주축 및 반경방향 성형력을 보여주고 있다. 이 그림에서 동일한 이송속도에서 주축방향 성형력은 가공깊이가 깊어짐에 따라 커지고 있으나 반경방향 성형력은 가공깊이에 따라 큰 차이를 보이지 않았다.

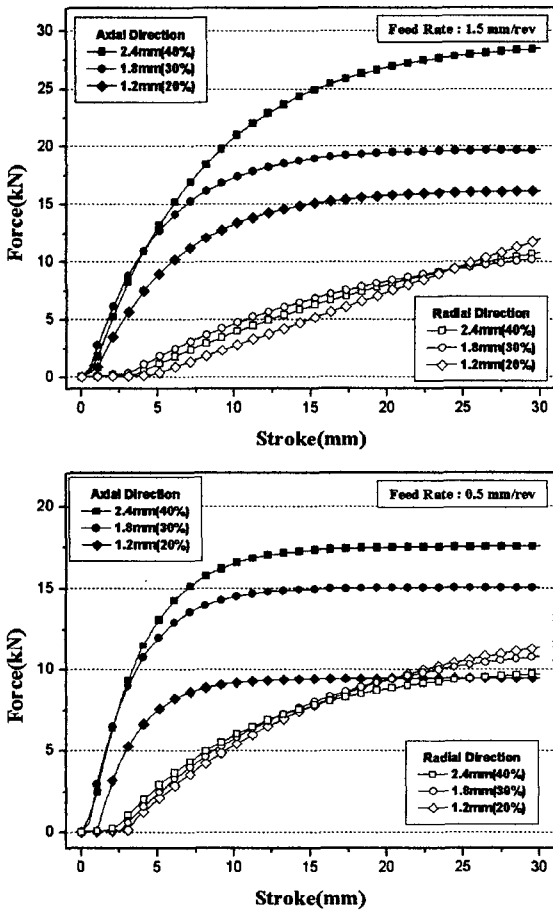


Fig. 2 Comparison forming force on forming depth

주축방향의 성형력은 가공깊이에 따라 선형적으로 커지는 경향을 보이고 있으며 이는 가공깊이가 증가함에 따라 접촉면적의 증가에 따른 성형력 증가로 판단되며 특히 반경방향의 성형력은 가공깊이에 따른 접촉면적의 변화에 영향을 받지 않았다.

### 3.2 이송속도에 따른 성형력 비교

이송속도에 따른 성형력 비교를 위해 동일한 가공깊이 조건에서 0.5, 1.0, 1.2, 1.5 mm/rev의 이송속도에 대한 해석을 수행하였고, Fig. 3은 이송속도에 따른 주축 및 반경방향 성형력을 보여주고 있다. 이 그림에서 동일한 가공깊이에 따라 주축방향 성형력은 이송속도가 증가함에 따라 증가하였다.

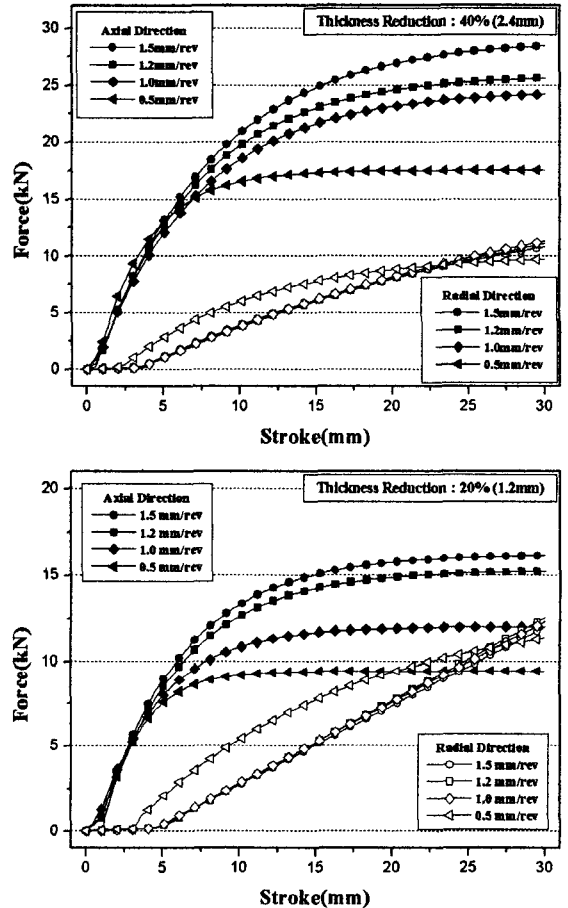


Fig. 3 Comparison forming force on feed rate

반경방향의 성형력은 롤러가 2.5mm 이동하는 동안 큰 변화가 없었으며 이후 롤러의 팁 부분이 재료와 접촉하면서 점진적으로 증가하였다.

### 3.3 bell mouth, build up and bulging

Fig. 4는 후방 유동성형에서 나타나는 재료의 bell mouth, build up, bulging 형상을 보여주고 있다. 특히 bell mouth는 이송속도보다는 가공깊이의 변화에 더 큰 영향을 받고 있었으며 가공깊이가 깊어짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. build up과 bulging은 이송속도가 증가함에 따라 그 양이 증가하는 경향을 보였으며 build up은 가공깊이가 깊어짐에 따라 그 양이 증가하였으나 bulging은 가공깊이에 크게 영향을 받지 않았다.

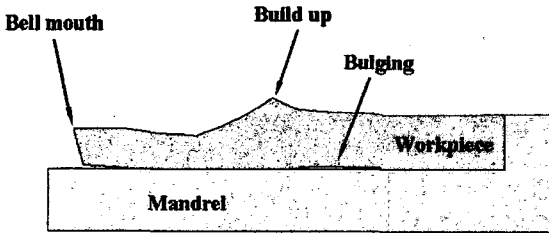


Fig. 4 Bell mouth, build up and bulging

#### 4. 결론

유동성형의 성형력에 미치는 가공깊이와 이송속도의 영향을 알아보기 위한 3D 후방 유동성형 유한요소해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 3 개의 틀러를 가진 후방 유동성형 유한요소해석을 통해 주축 및 반경방향의 성형력을 정량화 할 수 있었다.

(2) 주축방향의 성형력은 가공깊이와 이송속도가 증가함에 따라 비례적으로 증가하는 경향을 보였으나 반경방향의 성형력은 가공깊이와 이송속도의 변화에도 큰 차이를 보이지 않았다.

(3) 후방 유동성형 해석을 통해 튜브의 두께감소를 확인할 수 있었으며 특히 유동성형에서 보여지는 bell mouth, build up 그리고 bulging 현상을 확인할 수 있었다.

(4) 후방유동성형에서 bell mouth 는 가공속도보다는 가공깊이에 더 큰 영향을 받고 있었으며 build up 은 가공깊이와 이송속도에 비례하였으며 bulging 의 경우 가공깊이에는 크게 영향을 받지 않음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 열과 틀러의 팁 형상이 성형력에 미치는 영향은 고려하지 않았다. 앞으로 이 부분에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

[1] M. Hayame, H. Kudo, 1979, Experimental study of tube spinning, Bull. JSME, Vol. 22, pp. 769~775.  
 [2] D. R. Branton, P. Ari-gur, Z. Bratt, M. Gur, 1980, Texture inhomogeneity and strain distribution in shear-spun steel tubes, Mater. Sci. Eng., Vol. 44, pp. 185~194.  
 [3] K. M. Xue, Z. Wang, Y. Lu, K. Z. Li, 1997, Elasto-

plastic FEM analysis and experimental study of diameter growth in tube spinning, J. Mater. Process. Technol., Vol. 69, pp. 172~179.

[4] 장세용, 홍성인, 은일상, 박성한, 이경훈, 1993, Study on the process of flow forming by an upper bound method, 한국소성가공학회지, 제 2 권, 제 4 호, pp. 70~84.  
 [5] 김진형, 홍성인, 이정환, 이영선, 1997, 상계해법과 유한요소법을 이용한 스피닝공정 해석에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제 6 권, 제 6 호, pp. 517~526.  
 [6] S. I. Hong, S. H. Rhee, S. J. Yun, 1998, A study on the neck-in process by flow forming, Met. Mater. Int., Vol. 4, No. 4, pp. 895~898.  
 [7] K. Z. Li, N. H. Hao, Y. Lu, K. M. Xue, 1998, Research on the distribution of displacement in backward tube spinning, J. Mater. Process. Technol., Vol. 79, pp. 185~188.  
 [8] Y. Xu, S. H. Zhang, P. Li, K. Yang, D. B. Shan, Y. Lu, 2001, 3D rigid-plastic FEM numerical simulation on tube spinning, J. Mater. Process. Technol., Vol. 113, pp. 710~713.  
 [9] K. S. Lee, L. Lu, 2001, A study on the flow forming of cylindrical tubes, J. Mater. Process. Technol., Vol. 113, pp. 739~742.  
 [10] C. C. Wong, T. A. Dean, J. Lin, 2003, A review of spinning, shear forming and flow forming processes, Int. J. Mach. Tools. Manuf., Vol. 43, pp. 1419~1435.  
 [11] C. C. Wong, T. A. Dean, J. Lin, 2004, Incremental forming of solid cylindrical components using flow forming principles, J. Mater. Process. Technol., Vol. 153, pp. 60~66.