

연소기 제작을 위한 전후방 유동성형에서의 성형력 비교

남경오* · 염성호* · 홍성인**

Comparison of Forming Force on Forward and Backward Flow Forming for Combustion Chamber

Kyoungoo Nam* · Sungho Yeom* · Sungin Hong**

ABSTRACT

The flow forming has been used to produce long thin walled tube parts, with reduced forming force and enhanced mechanical and surface quality for a good finished part, compared with other method formed parts. Especially, the flow forming is suitable for making high precision thin walled cylinders, such as rocket motor cases, combustion chamber, hydraulic cylinders and high-pressure vessels and so on. In this paper, finite element analysis of three-roller forward and backward flow forming for combustion chamber is carried out to study effects of forming depth and feed rate on forming force. The axial and radial forming forces of forward flow forming on several forming depth and feed rate conditions are compared with those of backward flow forming.

초 록

두께가 얇고 길이가 긴 튜브 제품을 생산하기 위한 방법으로 유동성형 공정이 많이 이용되고 있으며 이는 다른 가공방법에 비해 성형력이 작고 유동성형에 의해 가공된 제품의 기계적인 강도가 우수하며 가공 후 표면 품질이 좋기 때문이다. 특히 유동성형은 로켓 모터 케이스, 연소기, 유압 실린더 그리고 고압용기 등과 같은 고정밀도의 두께가 얇은 실린더 제품을 생산하기 위한 적합한 공정이다. 본 논문에서는 3개의 롤러를 가지는 전후방 유동성형에 대한 유한요소해석을 통해 가공깊이와 가공속도가 성형력에 미치는 영향을 살펴보았다. 다양한 가공깊이와 가공속도 조건에서 얻어진 전후방 유동성형에서의 축방향과 반경방향의 성형력을 비교하였다.

Key Words: Flow Forming(유동성형), Forming Force(성형력), Combustion Chamber(연소기), Finite Element Analysis(유한요소해석), Forming Depth(가공깊이), Feed Rate(가공속도)

1. 서 론

* 충남대학교 기계공학과 대학원

** 충남대학교 기계공학과

연락처, E-mail: namko@cnu.ac.kr

유동성형 공정은 다른 금속성형 기술과 비교

할 경우 얇은 두께를 갖는 튜브를 제작하는 가장 효과적인 방법이다. 일반적으로 유동성형 공정은 항공우주, 자동차, 방위산업 등에 널리 이용되고 있다. 특히 각종 미사일의 추진기관용 연소관 같은 구조적인 강도와 높은 치수정밀도를 요하는 제품 생산에 많이 이용되고 있다. 가공이나 성형에 의한 칩의 발생이 없으며 롤러와 소재의 접촉 면적이 작기 때문에 다른 가공이나 성형공정에 비해 상대적으로 작은 성형력으로도 성형이 가능하고 성형기계도 비교적 간단한 구조를 가진다. 유동성형은 전방 그리고 후방 유동성형으로 구분된다. 전자는 롤러의 진행방향과 소재의 유동방향이 동일한 경우를 전방(forward) 유동성형이라 하고 서로 반대인 경우를 후방(backward) 유동성형이라 한다.

1960년대 이후 많은 실험적인 접근과 상계해법, 유한요소법을 이용한 수치해석 모델을 통해 소재의 거동, 응력과 변형률의 분포 그리고 소재의 결합 등에 대한 연구가 진행되었다[1-5]. 그러나 대부분의 유동성형 및 스피닝의 연구동향은 주로 소재의 응력분포 및 변형에 중점을 두었기 때문에 실제 유동성형 기계제작을 위한 기초적인 자료가 미비할 뿐만 아니라 성형력에 관한 자료는 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 전후방유동성형에 대한 3차원 강소성 유한요소해석을 통해 성형력에 가장 큰 영향을 주는 가공깊이와 이송속도의 변화에 따른 축방향 및 반경방향의 성형력 변화를 고찰하고 얻어진 성형력을 비교하였다. 본 연구를 위해 유한요소해석 프로그램인 DEFORM-3D를 사용하여 전후방 유동성형에 대한 3차원 강소성 유한요소해석을 수행하였다.

2. 모델 및 해석조건

2.1 해석모델

3개의 롤러가 120°의 간격으로 배치되어 있고, 롤러는 팁(tip)을 전후로 리드각(lead angle)을 가진 전면(front face)은 소재의 변형을 결정하고, 다듬각(smooth angle)을 가진 후면(rear face)은

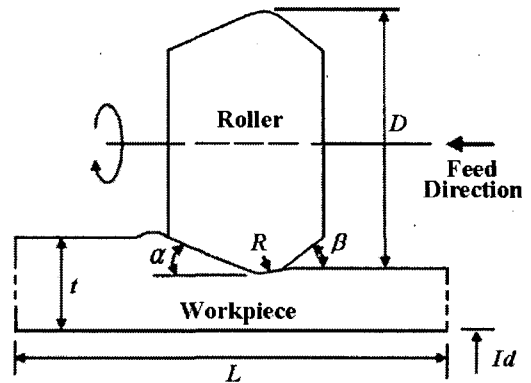


Fig. 1 Geometry of Roller and Workpiece

Table 1 Dimensions of Roller and Workpiece

Workpiece	
Inner diameter(mm) : Id	60
Wall thickness(mm) : t	6
Initial length(mm) : L	44
Roller	
Diameter(mm) : D	264
Tip radius(mm) : R	5
Lead angle(°) : α	30
Smooth angle(°) : β	10

소재의 표면 거칠기를 결정하게 된다. 롤러와 소재의 치수는 Fig. 1과 Table 1과 같다. 맨드릴의 외경은 소재의 내경과 일치한다. 두께 감소율은 초기 두께에 대한 감소된 두께의 비로, 이송속도는 소재의 회전수에 대한 롤러의 이동거리로 정의된다.

2.2 해석조건

해석조건은 Table 2와 같으며, 롤러는 축을 따라 30 mm의 이동거리를 가진다. 실제 유동성형은 회전하는 소재에 롤러가 축방향으로 이동하게 되나 해석상의 편리를 위해 소재는 고정되어 있고 롤러가 축을 중심으로 회전하면서 이동하도록 하였다. 소재는 Al 5052를 사용하였으며 항복강도는 200 MPa이다. 소재와 맨드릴사이의 마찰은 쿨롱마찰계수 0.2를 사용하였다. 롤러와 소재 사이의 마찰열에 의한 효과는 고려하지 않았다.

Table 2 Conditions of FE Analysis

Type	Backward
	Forward
Feed rate(mm/rev)	1.5
	1.2
	1.0
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(6.28 rad/sec)

3. 결과 및 고찰

3.1 후방 유동성형 해석결과

가공깊이와 이송속도에 따른 축방향 및 반경방향의 성형력 비교를 위해 각각의 이송속도 조건에서 가공깊이에 대한 후방 유동성형 해석을 수행하였다. Fig. 2는 해석을 통해 얻어진 성형력 결과를 나타낸 그래프로 가공깊이와 이송속도의 변화에 성형력은 비례하는 경향을 보였다. 이는 가공깊이가 증가함에 따라 소재와 롤러의 접촉면적 증가에 따른 성형력 증가로 판단된다. 반면에 반경방향의 성형력은 가공깊이와 이송속도의 변화에도 큰 차이를 보이지 않았다.

3.2 전방 유동성형 해석결과

후방 유동성형 해석과 동일한 해석 조건을 적용하여 전방 유동성형 해석을 수행하고, 얻어진 축과 반경방향의 성형력을 비교하였다. Fig. 3은 해석을 통해 얻어진 성형력 결과를 나타낸 그래프로 후방 유동성형 결과와 유사하게 가공깊이와 이송속도의 변화에 축방향의 성형력은 비례하는 경향을 보였고, 반면에 반경방향의 성형력은 가공깊이와 이송속도의 변화에도 크게 영향을 받지 않았다. 특히 대부분의 전후방 유동성형

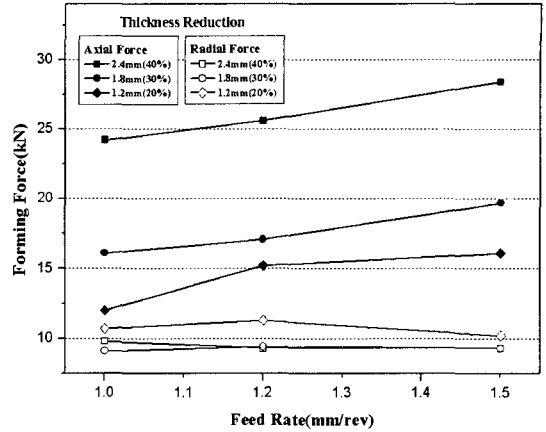


Fig. 2 Comparison of Forming Force in the case of Backward Flow Forming

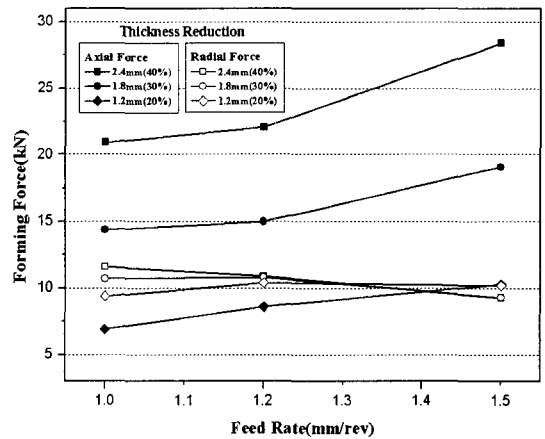


Fig. 3 Comparison of Forming Force in the case of Forward Flow Forming

해석 결과에서 축방향의 성형력은 반경방향의 성형력보다 큰 값을 가졌으나 가공깊이와 이송속도가 낮은 조건에서는 오히려 반경방향의 성형력이 축방향의 성형력보다 큰 값을 가지는 경향을 보였다.

3.3 전후방 유동성형에서의 성형력 비교

Figure 4와 5는 전후방 유동성형 해석에서 각각의 해석조건에 따른 축방향과 반경방향의 성형력을 비교하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 축방향의 성형력은 전후방 유동성형 모두에서 가공깊이와 가공속도에 비례하는 경향을 보여주

고 있다. 그러나 Fig. 5에서 반경방향의 성형력은 전후방 유동성형에서 가공깊이와 가공속도의 변화에 큰 변화 없이 유사한 수치를 보였다. 이 결과에서 축방향의 성형력이 반경방향의 성형력보다 가공깊이와 가공속도의 변화에 민감하게 반응함을 알 수 있다.

4. 결 론

가공깊이와 이송속도의 변화에 따른 전후방 유동성형에서의 성형력 비교를 위해 3개의 롤러를 가지는 전후방 유동성형의 3차원 강소성 유한요소해석을 수행하였다. 해석을 통해 각각의 가공깊이와 이송속도에 따른 축방향 및 반경방향의 성형력을 정량화할 수 있었다. 이 결과에서 축방향의 성형력은 가공깊이와 이송속도에 따라 비례하는 경향을 보였지만 반경방향의 성형력은 큰 변화를 보이지 않았다. 가공조건의 변화에 축방향의 성형력이 민감하게 반응함을 알 수 있었다. 특히 대부분의 해석조건에서 축방향의 성형력이 반경방향의 성형력보다 큰 수치를 보였으나 가공깊이와 이송속도가 낮은 조건에서는 오히려 반대의 결과를 보였다.

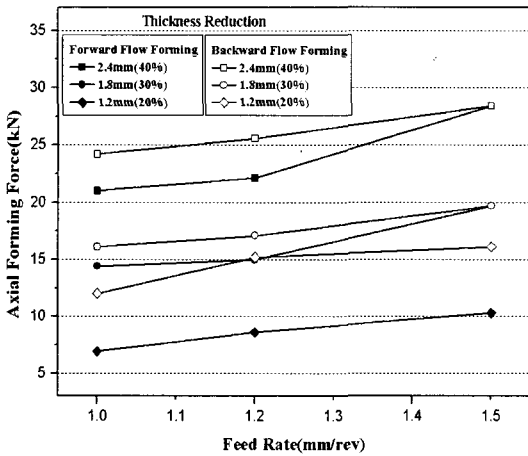


Fig. 4 Comparison of the Axial Forming Force with each Feed Rate and Thickness Reduction

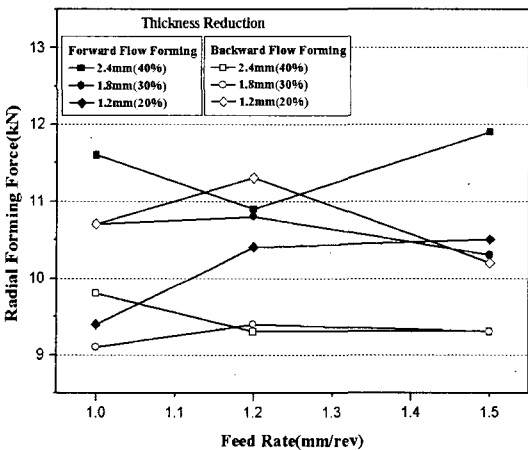


Fig. 5 Comparison of the Radial Forming Force with each Feed Rate and Thickness Reduction

참 고 문 헌

1. M. Hayame, H. Kudo, "Experimental Study of Tube Spinning," JSME, Vol. 22, 1979, pp.769-775
2. D. R. Branton, P. Ari-gur, Z. Bratt, M. Gur, "Texture Inhomogeneity and Strain Distribution in Shear-spun Steel Tubes," Mater. Sci. Eng., Vol. 44, 1980, pp.185-194
3. 김진형, 홍성인, 이정환, 이영선, "상계해법과 유한요소법을 이용한 스피닝공정 해석에 관한 연구," 한국소성가공학회지, Vol. 6, No. 6, 1997, pp.517-526
4. 홍대훈, 황두순, 이병섭, 홍성인, "티타늄 합금재의 튜브 스피닝 공정해석," 한국추진공학회지, 제4권, 제3호, 2000, pp.55-63
5. 남경오, 염성호, 권혁선, 홍성인, "후방유동성형에서 가공깊이와 이송속도가 성형력에 미치는 영향," 한국추진공학회지, 제9권, 제4호, 2005, pp.16-22