

돔 형상의 스피닝 가공 공정에서 롤의 이송 속도와 소재의 두께감소에 대한 성형력 연구

염성호* · 남경오* · 홍성인**

A Study on the Forming Load for roller feed rate and Thickness Reduction in the spinning Process of launch vehicle fuel tank dome

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

ABSTRACT

Conventional spinning, shear forming and flow forming techniques are being utilized increasingly due to the great flexibility provided for producing complicated parts, enabling customers to optimize designs and reduce weight and cost, all of which are vital, especially in automotive industries, space shuttle, a munitions industry. The deformation mechanism of conventional spinning and shear forming is studied in this paper through analysis. The forming loads of a spin formed dome in an Al launch vehicle fuel tank was studied analysis and a simple FE model to predict the forming loads of the dome was proposed. The analysis is carried out to study the effects of feed rates and thickness reduction on material flow.

초 록

스피닝은 가장적은 가공력과 간단한 도구를 이용하여 소재를 변형시키는 방법중의 하나이다. 그리고 소재의 소성변형으로 인해 기계적 특성의 향상을 가져오는 공법이다. 이러한 스피닝 공법은 자동차, 항공, 군사 분야에서 중요한 부품의 생산에 적용되는 기술이다. 본 연구에서는 발사체 연료탱크의 돔형상에 스피닝 공법을 적용하여 제작함에 있어 롤러의 이송속도와 소재의 두께감소에 따른 성형력의 경향을 유한요소 해석을 이용하여 분석하였다.

Key Words: Conventional Spinning(일반스피닝), Shear Forming(전단스피닝), Feed Rate(이송율), Thickness Reduction(두께감소율)

1. 서 론

* 학생회원, 충남대학교 기계공학과 대학원

** 정회원, 충남대학교 기계공학과
연락처, E-mail: yenji@cnu.ac.kr

일반적인 의미로 스피닝은 전체길이 또는 두께의 변화가 없는 부분에서 지름을 감소시키는

공정으로 정의 된다. 스피닝 공정 동안 소재의 국부적인 소성변형은 롤러와 소재가 만나는 부분에서 발생한다. 이러한 국부적인 변형에 필요한 힘은 프레스 단조기계와 비교하여 상당히 낮은 것으로 스피닝에 사용될 도구와 장비가 작아도 가공이 가능하다는 것을 나타낸다. 이와 같은 스피닝에서 성형력과 변형에 대한 연구는 FEM 해석에 의해 많은 연구가 진행 되어 왔다[1-4].

스피닝의 공정에서 최종 제품의 질을 결정하는 다양한 변수들이 존재한다. 이러한 공정변수에 대해서도 많은 연구자들에 의해 연구가 수행되었다. 중요한 공정변수로서는 첫째로는 스피닝의 속도에 롤러의 이동비로서 정의되는 이송율을 들 수 있다. 두 번째로는 롤러의 경로를 말할 수 있다. 소재의 경로는 선형, 볼록, 오목한 형태로 이동하게 되는데 잘못된 경로로 가공할 경우 소재에 주름이나 버클링과 같은 결함이 발생하게 된다. 세 번째로는 롤러의 형상으로 너무 작은 롤러의 지름은 불규칙한 두께를 낳고 너무 많은 응력을 유발 시킬 수 있다. 마지막으로 맨드릴의 지름과 소재 지름의 비로 정의 할 수 있는 스피닝 비이다. 스피닝 비가 너무 크면 가공부의 원주방향 인장응력이 발생하지 않아 가공력을 소재에 전달하기가 어려워진다.

본 연구에서는 발사체 연료탱크의 둠 형상에 스피닝 공법을 적용하여 제작함에 있어 롤러의 이송속도와 소재의 두께감소에 따른 성형력의 경향을 유한요소 해석을 이용하여 분석하였다.

2. 본 론

2.1 스피닝

스피닝은 소재의 형상변화에 따라서 크게 3가지로 분류한다. 형상의 변화만 있고 소재의 두께 변화는 없는 것을 일반스피닝 이라하며, 가공공정 동안 두께의 변화가 존재하는 스피닝을 전단스피닝이라 한다. 그리고 튜브 스피닝이라 알려져 있는 유동성형으로 내부의 지름은 동일하지만 외부의 지름이 변화하는 스피닝 공법이다.

본 연구에서는 발사체 연료 탱크의 둠 형상에

대하여 스피닝공법에 의한 제작에서 성형력의 경향을 분석하였다. 일반스피닝에서 롤러의 이송 속도를 증가시키면서 성형력의 변화를 분석하였다. 그리고 전단스피닝에서는 두께 변화 증가시키면서 성형력의 경향에 대하여 분석하였다.

2.2 발사체 둠 형상에 대한 일반 스피닝 가공

과거 발사체의 연료탱크 제작은 판재의 절단하여 발사체의 몸통 부분을 제작하고 둠 부분은 절삭에 의하여 가공한 후 부분을 용접에 의해 제작하는 방법으로 진행되었다. 하지만 이런 절삭에 의한 가공은 시간의 소비가 많으며 소재의 두께 또한 일정하지 않아 안전성 문제나 과도한 비용의 문제를 가져왔다. 이를 해결하기 위한 방법으로 둠 형상에 대해서는 단조에 의한 제작을 시도하였으나 단조비용이 너무 많이 들기 때문에 또한 적절치 못한 방법이다. 스피닝 공정에 의한 제작으로 간단한 가공 도구와 적은 힘으로 균일한 두께를 유지 할 수 있을 뿐만 아니라 형상이 복잡한 모양도 가공이 가능하기 때문에 발사체의 둠 형상 제작에 가장 적절한 가공 방법이라 생각된다. 그리고 탱크의 몸체 또한 유동성형을 이용하여 가공할 경우 용접부를 없앨 수 있기 때문에 또한 적절한 가공 방법이라 생각된다.

2.2.1 발사체 탱크 둠의 모델형상

Fig. 1은 발사체 탱크 둠의 모델 형상으로 두 개의 곡면을 가지는 형상이다. 모델의 지름은 1.5m, 높이는 0.6m 이다. 이러한 형상을 일반 스피닝으로 제작할 경우 스피닝 소재에 주름이 버클링 일어나지 않게 하기 위해서는 소재의 표면 형상과 같은 롤러의 경로로 가공하여야 한다.

2.2.2 해석 조건

주요한 해석조건은 Table 1에 나타내었다. 일반 스피닝에서 롤러의 이송 속도를 3가지 경우로 해석하여 이에 대한 성형력의 경향을 분석하였고, 전단 스피닝에서는 소재의 두께변화를 4가지로 하여 이에 대한 성형력의 경향을 분석하였다. 실제 원추형 형상의 스피닝 작업처럼 회전하는 원추형 맨드릴 위에 소재를 고정 시키고 롤

롤러를 이동 시키면서 스피닝 공정 해석을 수행하였다. 소재와 맨드릴 사이의 마찰계수는 0.4를 적용하였다. 롤러와 맨드릴은 강체로 가정하였으며 소재는 알루미늄으로 지름이 2m, 두께가 0.4m인 원형 판재이다. 맨드릴 축의 회전 속도는 60RPM이다. 실제 스피닝 공정에서는 소재와 롤러사이의 마찰열은 해석에서 고려하지 않았다.

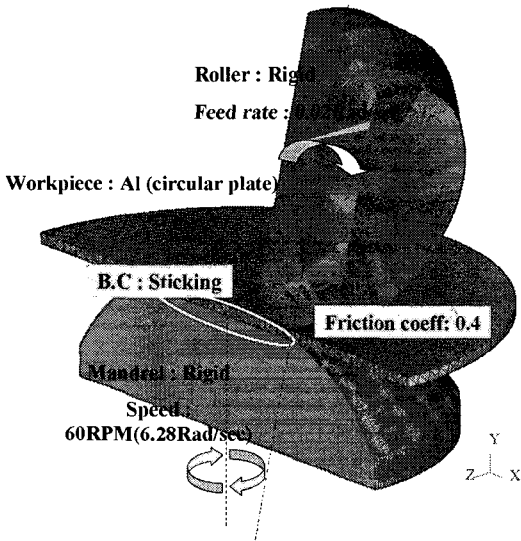


Fig. 1 Schematic Model for FE analysis

Table 1. Conditions of Analysis

Spinning type	S.S	C.S
Feed rate (rad/sec)	0.02 0.04 0.06	0.02
Thickness reduction(mm)	0	5 10 15 20
Coulomb friction coeff.	0.4	
Workpiece material	Al(Circular plate)	
Roller, Mandrel	Rigid body	
RPM(rev/min)	60(6.28 rad/sec)	

* S.S: Shear Spinning,

C.S: Conventional Spinning

3. 해석 결과 및 고찰

3.1 일반 스피닝 해석

발사체 돔 형상에 대한 일반 스피닝 해석에서 롤러의 이송속도를 0.02, 0.04, 0.05 Rad/sec하고 두께의 감소는 없다. 이에 대해 롤러에서 Radial, Tangential, Axial방향의 성형력에 대해 비교해 보았다. Fig. 2는 돔 형상에 대한 일반 스피닝의 성형력을 나타내었다. Axial방향의 성형력이 크게 나타나고 있으며 성형력이 초기에는 증가하다가 일정하게 유지되는 것을 확인 할 수 있다. Radial, Tangential방향의 성형력은 Axial방향의 성형력보다 작지만 성형력의 경향은 유사하게 나타났다. 그리고 Fig. 3은 이송속도가 증가 할수록 성형력이 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

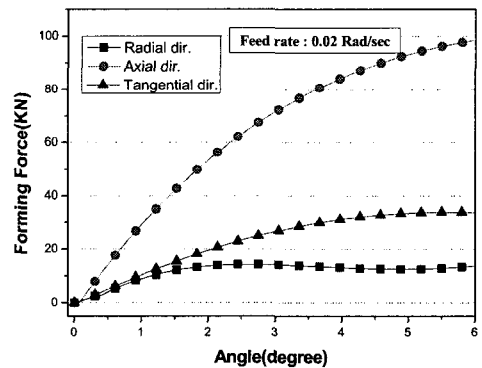


Fig. 2 Comparison of Forming Force for the Feed Rate at 0.02Rad/sec

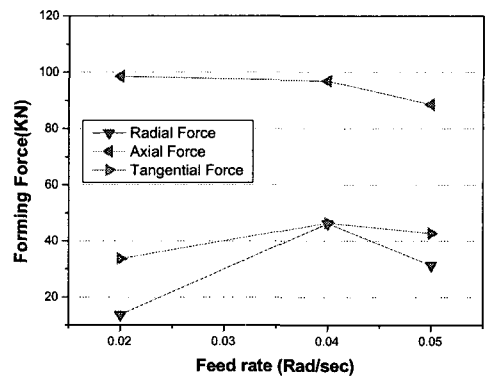


Fig. 3 Comparison of Forming Force with different the Feed Rate

3.2 전단 스피닝 해석

일반스피닝 해석 모델과 동일한 형상에 대하여 소재의 두께 감소가 5,10,15mm를 갖도록 해석을 수행하였다. 그리고 이에 대한 롤러에서의 성형력을 비교하였다. 일반스피닝에서의 성형력의 경향과 유사하게 초기에 증가하다가 일정하게 유지하는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 Fig. 5를 보면 두께 감소율이 증가 할수록 성형력 또한 증가 하였다. 그리고 Radial, Tangential 방향의 성형력 또한 Axial 방향의 성형력보다 작게 나타나고 경향은 유사하게 나타나고 있다.

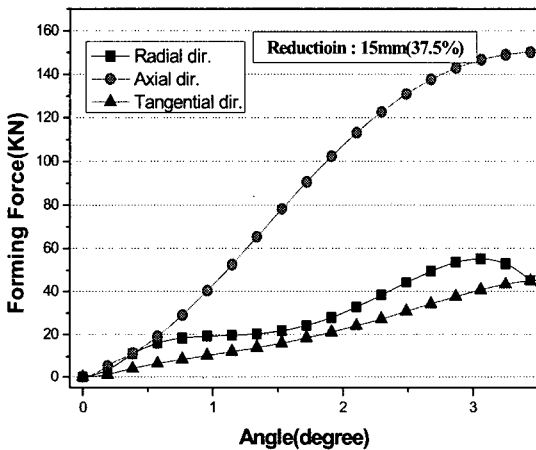


Fig. 4 Comparison of Forming Force for the thickness reduction at 15mm(37.5%)

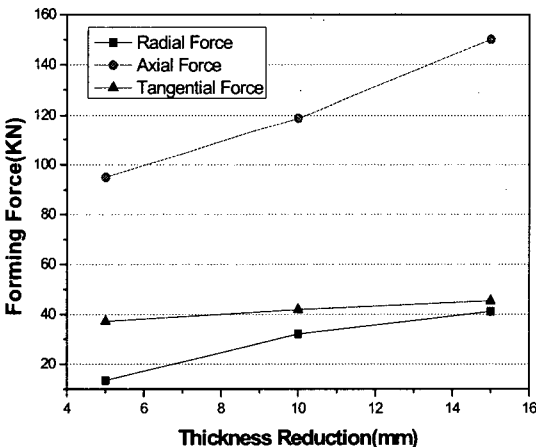


Fig. 5 Comparison of Forming Force with different the Thickness Reduction

4. 결 론

발사체 연료 탱크의 돔형상의 스피닝 공정에 대한 FEM해석을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 다단 곡면을 갖는 발사체의 연료탱크에 돔 형상에 대한 스피닝 해석을 이용하여 성형력을 계산할 수 있었다.
- 2) 일반 스피닝과 전단스피닝에 대한 해석을 통하여 롤러의 이송속도 증가와 성형력이 비례 관계에 있으며, 성형력과 두께의 감소율 또한 비례 관계에 있음을 확인 할 수 있었다.
- 3) 일반스피닝에서는 적절한 이송속도의 계산을 통하여 적절한 성형력을 계산할 수 있고, 전단스피닝에서는 적절한 두께 감소율을 해석을 통하여 결정하고 원하는 두께 까지 성형하는 공정을 해석에 의해 결정 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. S. Yoshihara, B. Mac Donald, T. Hasegawa, M. Kawahara, H. Yamamoto, Design improvement of spin forming of magnesium alloy tubes using finite element analysis, Proceedings of the AMPT 2003, Dublin, Ireland, 2003, pp.485-488.
2. N. Alberti, L. Cannizzaro, E.L. Valvo, F. Micari, Analysis of metal spinning process by ADINA code, Comput. Struct., 1989, pp. 517-525.
3. K.O.Nam, S.H.Yeom, H.S.Kwon, S.I.Hong, The effect of forming depth and feed rate on forming force of backward flow forming, J. of Korean Society Propulsion Engineers, Vol. 9, No. 4, 2005, pp.16-22.
4. J.H.Kim, S.I.Hong, J.H.Lee, Y.S.Lee, A study on the process of tube end the finite element method, J. of the Korean Society for Technology of Plasticity, Vol.6, No.6, 1997, pp.517-526.