

CNG 용기(Type II) 돔부의 중량 최소화를 위한 열간 스피닝 공정개선에 관한 연구 A Study on the Improvement of Hot Spinning Process for Weight Lighting of CNG Vessel(Type II)

*이현우¹, 황동욱², 송세암¹, #김철³

*H.W. Lee¹, D.W. Hwang², S.A. Song¹, #C. Kim(chulki@pusan.ac.kr)³

¹부산대학교 창의공학시스템, ²부산대학교 기계시스템설계, ³부산대학교 기계기술연구원

Key words : CNG, Pressure vessel, Hot Spinning, Dome part

1. 서론

스피닝 공정은 일반적인 의미로 전체길이 또는 두께의 변화가 없는 부분에서 지름을 감소시키는 공정으로 정의된다. 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. 이러한 스피닝 공정은 차량, 항공, 군사 분야 등에서 중요한 부품의 생산에 적용되며,¹ CNG 버스에 사용되는 고압가스 용기가 대표적인 경우이다.

고압가스 용기의 제작시 스피닝 공정은 두부 성형시 사용되며, Fig. 1과 같이 롤러가 회전하는 소재(실린더)의 축을 중심으로 1/4원을 그리며 n회에 걸쳐 성형을 실시한다. 이때 여러(n)회에 걸친 스피닝 성형으로 인하여 두부의 벽두께는 실린더부의 벽두께에 비하여 상당히 두꺼워지며, 이는 결국 고압가스 용기의 중량 증가를 초래하게 된다. 특히, 고압가스 용기가 대형화가 될수록 이러한 중량 증가효과는 더욱 커지게 된다.

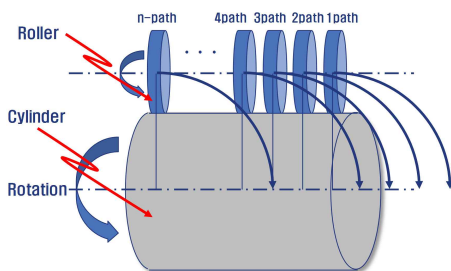


Fig. 1 Schematic of the hot spinning process

스피닝 공정은 다양한 공정변수들이 존재하며 이러한 공정변수들은 이미 많은 선행 연구자들에 의해 연구가 진행 되어 왔다.^{2,3} 하지만 이들 연구는 공정변수가 성형력에 미치는 영향에 대한 연구가 대부분이며, 돔부의 벽두께를 줄이기 위한 연구는 전무하다.

따라서 본 연구에서는 고압가스 용기 제작을 위한 스피닝 공정시 다양한 공정변수가 돔부의 벽두께에 미치는 영향을 유한요소해석을 통하여 파악하고, 공정변수의 최적설계를 통해 돔부 벽두께의 최소화 설계를 하고자 한다.

2. 스피닝 공정의 유한요소해석

스피닝의 주요 공정변수는 크게 롤러와 소재 파트에 대한 변수로 나뉜다. 롤러에 관한 공정변수는 성형시간, 회전수 및 1패스당 이송거리가 있으며, 소재에 관한 공정변수는 형상치수, 회전수, 성형온도 등이 있다. Fig. 2는 롤러와 소재파트에 대한 주요 공정변수를 나타낸다.

상기의 공정변수들이 스피닝 공정시 돔부의 벽두께에 미치는 영향을 알아보기 위하여 상용 유한요소해석 프로그램인 FORGE 2011을 사용하였으며, 스피닝의 경우 회전체 해석이 요구되기 때문에 일반적으로 소성가공 해석을 수행하는데 사용되는 라그랑지안 법(Lagrangian method)이 아닌 회전체 시뮬레이션이나 유체역학분야에 많이 사용되고 있는 ALE법(Arbitrary Lagrangian Eulerian method)을 사용하였다.

ALE법의 경우 해석의 소요시간이 다른 해석과 비교하여 굉장히 많기 소요되기 때문에 해석의 모델 길이를 480mm에서 250mm로 축소하여 공정

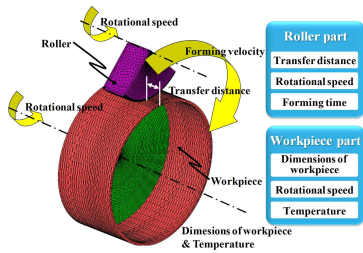


Fig. 2 Schematic of the hot spinning process parameters

Table 1 Hot Spinning process parameters

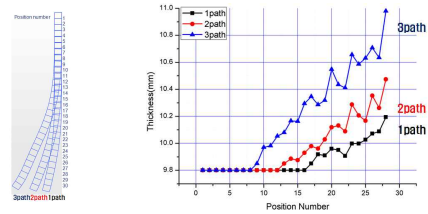
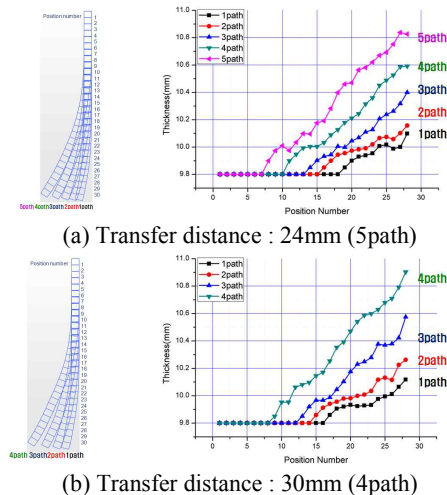
Parameters	1	2	3	4
Transfer distance(mm)	24	30	40	-
Roller				
Rotational speed(RPM)	-	-	-	-
Forming time(s)	0.75	1	1.5	3
Workpiece				
Dimensions of workpiece	-	-	-	-
Rotational speed(RPM)	800	900	1000	-
Temperature(°C)	800	900	1000	1100

변수에 대한 경향파악을 하는데 목표를 두었다.

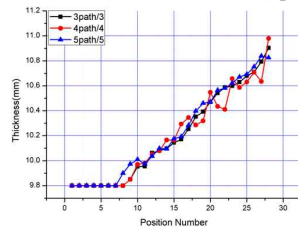
스피닝 해석을 위한 구속조건으로 롤러와 다이 사이에 마찰 및 열전달은 각각 FORGE software에서 제공하는 Hot sliding 및 Steel hot strong 조건을 부여하였다. 그리고 공정변수들의 수준은 현재 현장에서 사용하고 있는 스피닝 공정변수 값을 기준으로 설정하였으며, 이를 Table 1에 나타내었다.

롤러의 공정변수인 이송 거리는 경우 정해진 성형 목표 거리(175mm)에 대하여 Table 1과 같이 이송 거리를 달리하여 해석을 수행하였다.

Fig. 3은 이송거리에 대한 각 패스의 형상 변화 및 두께 변화를 나타낸다.



(c) transfer distance : 40mm (3path)



(d) Compare 24mm, 30mm and 40mm at final path

Fig. 3 Analysis result of transfer distance

이송 거리 24mm, 30mm, 40mm에 대한 해석의 분석 결과 뒀부의 평균 두께가 각각 10.381mm, 10.387mm, 10.407mm로 큰 차이를 보이지 않았으며, 이송거리가 클수록 뒀부의 두께가 불안정함을 알 수 있었다.

4. 결론

스피닝의 주요 공정변수 중 이송거리가 뒀부의 벽두께에 미치는 영향을 알아보았다. 롤러의 공정변수인 이송거리의 경우 값에 따라 벽두께의 차이가 크지 않았다. 이송 거리 이외에도 다양한 공정변수가 뒀부의 벽두께에 미치는 영향을 유한요소해석을 통하여 파악하고, 공정변수의 최적설계를 통해 뒀부 벽두께의 최소화 설계가 필요하다.

참고문헌

1. 염성호, 남경오, 홍성인, “뒀 형상의 스피닝 가공 공정에서 롤의 이송 속도와 소재의 두께감소에 대한 성형력 연구”, 한국추진공학회, 387-390, 2006
2. 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, 485-488, 2003
3. N. Alberti, L. Cannizzaro, E.L. Valvo, F. Micari, "Analysis of metal spinning process by ADINA code", Comput. Struct., 517-525, 1989