

곡률반경에 따른 인코넬 미세 밴딩 튜브의 변형 특성 Deformation Characteristics of Inconel Fine Bent Tube with Bend Radius

*이승민¹, #조종래², 정호승³

*S.M. Lee¹, #J.R.Cho(cjr@hhu.ac.kr)², H.S.Jeong²

¹한국해양대학교 기계공학과, ²한국해양대학교 기계·에너지시스템공학부,

³부산대학교 롤스로이스 대학기술센터

Key words : Inconel 625, Finite element method, Elasto-plasticity, Tube bending

1. 서론

튜브의 굽힘 공정은 자동차, 항공기, 조선 등 여러 산업분야에서 각종 부품제조에 널리 이용되고 있다. 튜브를 가공하는 장비들의 정확한 설계와 굽힘 가공 기술은 성능 향상과 생산성을 향상시키는 데 중요한 역할을 하므로 정밀한 굽힘 가공 연구가 요구된다. 튜브 밴딩 동안, 튜브의 바깥부분에서는 두께가 감소하고, 안쪽부분에서는 증가하고 형상이 변하게 되며, 이러한 현상에 의해서 튜브의 강성은 바뀌게 된다. 그러므로 고온 고압에서 사용되는 변형된 튜브는 정확한 강성을 확인할 필요성이 있다.

본 연구에서는, 튜브의 굽힘 성형 가공 시 곡률반경에 따른 직경과 두께의 변화에 대한 분석 및 변형된 튜브에 대한 정확한 응력 수준을 예측 하였다.

2. Inconel 625의 인장실험

굽힘 변형에는 대변형과 대회전을 포함한 탄소성 거동을 하기 때문에 응력-변형률 선도가 필요하다. 본 실험에서 Inconel 625의 미세튜브로 외경 1.5mm, 두께 0.12mm의 시편이 사용 되었고, 인장강도는 862MPa, 항복강도는 440MPa 연신률 49%라는 결과를 얻을 수 있었다. 이 결과를 통해 식(1), 식(2)를 이용하여 진 응력-변형률 선도를 얻었다.

$$\sigma = s(1+e), \quad e = \ln(1+\epsilon) \quad (1)$$

$$\sigma = E\epsilon \text{ for } \epsilon \leq \epsilon_y, \sigma = \sigma_0 + K\epsilon^n \text{ for } \epsilon > \epsilon_y \quad (2)$$

여기서, s 는 공칭 응력, e 는 공칭 변형률, σ_0 는 초기응력(407.7MPa), K 는 강성계수(2,437MPa), n 은 가공경화 지수(0.734), ϵ 는 유효변형률이다.

탄성영역 물성은 탄성계수 (E) 207.5GPa, 포아송비 0.303을 유한요소해석에 적용하였다

3. FE model 구성

Fig 1은 굽힘 공정을 해석하기 위한 유한요소모델이다. 튜브의 끝단을 고정하는 클램핑 다이와, 굽힘 각을 따라 회전하는 로테이션다이, 튜브의 굽힘을 받쳐주는 밴딩다이, 그리고 튜브로 구성 하였으며, 끝단을 고정하는 클램핑 다이를 제외하고 나머지는 자유도를 free로 정하였다.

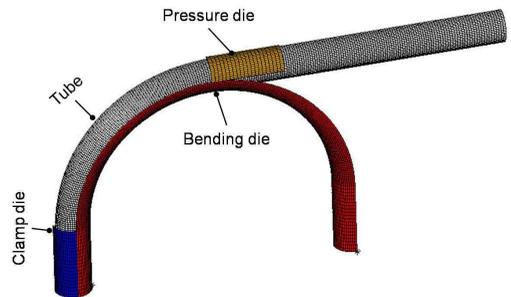


Fig. 1 The geometry and FE model for analysis

본 연구에서는 FEM 상용 해석 프로그램인 ANSYS Mechanical parametric design language (APDL) 를 이용하여 자동으로 모델을 구성하고, 굽힘 각은 180°, 밴딩 곡률반경(R_b)은 3.75mm ~ 10.75mm 범위로 중심선을 기준으로 구성하였다.

4. 굽힘 변형 후 두께의 변화

Fig2 는 각 곡률반경에서 밴딩 이후의 튜브의 두께변화를 나타낸 것이다.

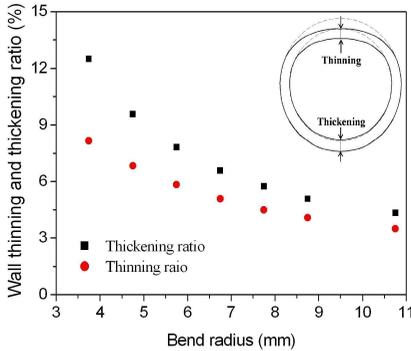


Fig.2 The thickening and thinning ratio as a function of the bend radius

위 결과를 보면, 밴딩 곡률반경이 작아질수록 두께 증가율과 감소율의 차이는 급격히 증가함을 알 수 있다.

5. 밴딩 튜브의 응력

일반적으로 밴딩 튜브의 응력 해석에서 초기 두께가 일정하다는 가정 하에 해석을 수행한다. Fig. 4 에는 두께가 일정한 밴딩 튜브와 두께 변화가 고려된 밴딩 튜브의 응력을 나타냈다

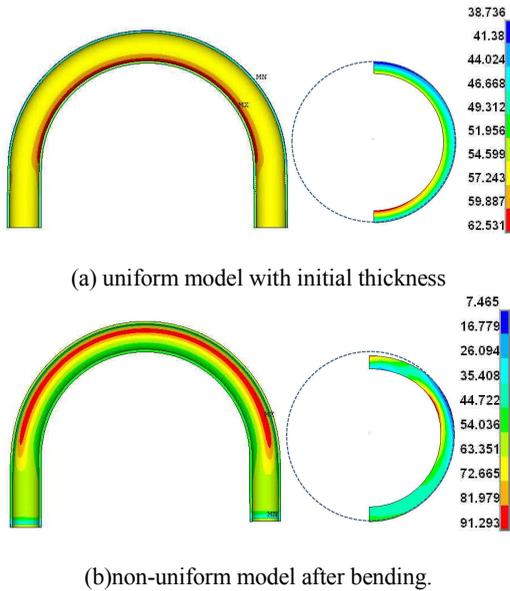


Fig. 4 The stress distribution at the bent tube and the cross section for two types of model, ($R_b = 5.75$ mm)

Fig. 4(a)에서 일정한 두께에서의 튜브의 응력은 62.5MPa 이며, 최대 응력의 위치는 압축력이 크게 작용하는 튜브 내측에 나타나는 반면, Fig. 4(b)에서 굽힘 후 변화된 두께를 적용한 튜브의 응력은 91MPa 이며, 최대 응력의 위치는 두께가 가장 얇고, 평평한 부분이 끝나는 튜브의 외측에 나타나고 있었다. 또한, Fig.5 는 밴딩 곡률반경이 작을수록 응력의 차이는 더 크게 발생함을 나타내었다.

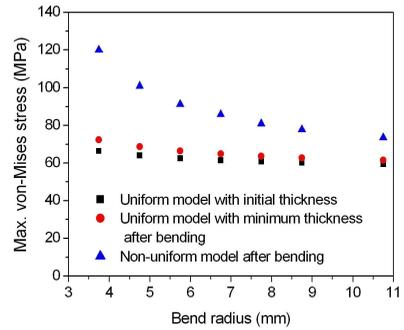


Fig. 5 The maximum stress distribution for three types of model as a function of the bend radius

6. 결론

1. 인장 실험을 통해 인코넬 튜브의 기계적 물성과 응력-변형을 곡선을 구하였다.
2. 밴딩 해석을 통해서, 튜브의 바깥부분에선 두께가 줄어들고, 안쪽부분에선 두께가 증가하는 것을 알 수 있었고, 밴딩 반경이 작을수록 그 차이는 크게 나타났다.
3. 균일 형상을 가진 모델과 밴딩에 의해 튜브의 두께변화가 고려된 모델을 이용하여 응력평가를 수행하였으며, 응력이 발생된 위치가 달랐으며, 최대 응력 값은 증가되었다.

후기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 해외 우수 연구기관 유치사업 연구임. (No.K20703001798-11E0100-00310)