

유한요소해석을 이용한 초장축 탄소 복합재 파이프 피팅에 관한 연구

A Study on the Fitting for Long Pipes of Different Materials Using FE-Analysis

*김용¹, #이훈만², 박동근³, 양승윤⁴

*W. Kim¹, #C. M. Lee²(cmlee@changwon.ac.kr), D. G. Park³, S. U. Yang⁴

¹ 창원대학교 기계설계공학과 대학원, ² 창원대학교 기계설계공학과, ³ 창원대학교 클러스터 사업단, ⁴ (주)DACC

Key words : Composite material, Drawing, Fitting, Residual Stress

1. 서론

LCD대형기판의 제조 장비 중 하나인 러빙기는 배향막(Orientatiton Film) 표면을 러빙포를 이용하여 균일한 압력과 속도로 마찰시켜 배향막 표면에 고분자 사슬을 일정한 방향으로 정렬함으로써 액정분자의 배향을 결정시켜 주는 장비이다.⁽¹⁾

현재 러빙 롤러의 제조공정은 용사 공정이 적용되고 있지만 작업시간의 증대와 스테인레스 입자의 밀도에 따른 불량률의 증가가 뒤따른다. 최근 초장축 이종소재 파이프의 피팅 방법으로써 스테인레스 파이프 속에 복합재료 파이프를 삽입 후 동시에 인발하는 공정이 제안되었지만 인발에 의해 발생하는 잔류응력으로 인해 후처리 공정에서 뒤틀림 및 치수공차가 발생하는 문제점을 보이고 있다.

이에 본 논문은 인발을 이용한 피팅공정에서 큰 인발응력이 발생하는 것에 대한 원인을 분석, 그 원인을 해결하여 러빙 롤러 제조공정에 적용시키는데 그 목적이 있다. 인발제품 불량률의 주원인인 인발응력에 대해 고찰하고 피팅공정에 있어 인발응력을 최소화하기 위한 방안을 제안하였다. 인발 공정에 관한 유한요소해석을 통하여 인발공정 시 주요 공정변수인 다이 반각, 마찰계수, 인발 속도에 대해 정량적으로 평가하였다. 또한 피팅공정에 있어 공정변수에 대한 최적 파라미터 설계를 실시하고자 하였다.

2. 초장축 파이프 피팅 공정

현재 개발중인 초장축 피팅공정은 Fig. 1과 같이 외경이 138mm인 복합재료 파이프를 두께 1.72mm, Ø145mm인 스테인레스 파이프 내부에 삽입하여 동시 인발을 실시하는 방법으로써 진원도, 진직도가 양호한 Ø145mm인 스테인레스를 제작하기 위해서 외경이 Ø152.5mm, 두께가 2mm인 파이프를 두 차례의 인발공정이 수행되었다.⁽²⁾

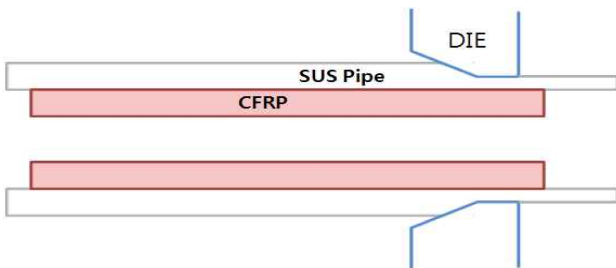


Fig. 1 Drawing process

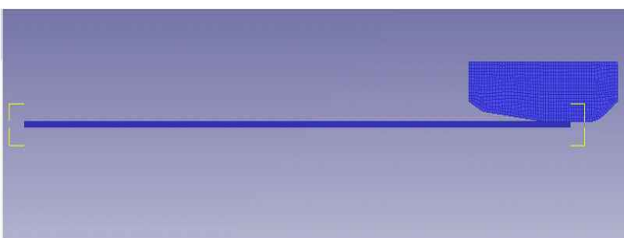


Fig. 2 FE-Model

3. 유한요소해석

본 연구에서 적용된 스테인레스 파이프는 AISI-340 계열로 초기 직경은 1.72mm이며 외경은 Ø141.72mm이고 길이가 200mm인 스테인레스 파이프 모델링을 하여 지름 방향 쪼새(diameter shrink allowance)를 Ø0.1mm를 부여하여 인발해석을 실시하였다. Fig. 2와 같이 다이(Die)의 요소수는 967개, 스테인레스 파이프는 4116개인 탄-소성(Elasto-Plastic) 유한요소모델을 구성하였고 축대칭(Axisymmetric)으로 해석을 함으로 유한요소 모델형상을 단면의 회전에 의해 정의되도록 하였다. 다이와 스테인레스 파이프의 마찰 조건은 일정전단마찰(Constant shear friction)로써 식(1)을 이용하였다.

$$|\tau_s| = mk = m \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

피팅공정 시 발생하는 잔류응력을 수치적으로 예측하기 위해 상용 유한요소 프로그램인 DEFORM-2D Ver.8.0을 이용하였으며 공정 변수인 다이 반각, 마찰 계수, 그리고 인발 속도에 따른 영향을 평가하였다. 다이 반각의 경우(α) 3 ~ 8, 마찰 계수(μ)의 경우 0.04-0.1, 인발 속도의 경우 2-8(mm/sec)에 대해 그 영향을 평가하였다. Fig. 2와 같이 유한요소해석 모델을 나타내었다. 복합재료(CFRP)는 스테인레스 파이프에 비해 충분한 강도를 가지고 있으므로 강체로 가정하여 복합재료와 접촉하는 스테인레스 파이프 하단부의 Y축 변위를 Zero로 구속하여 유한요소해석 모델을 구축하였다.

4. 해석결과

해석결과에 대한 분석을 위하여 Fig. 3과 같이 Point tracking을 이용하여 스테인레스 파이프의 노드(node)에 대해 시간 변화에 따른 응력변화로 나타내었다. 다이 반각 5°, 인발속도 5(mm/sec)로 일정하게 유지하며 마찰계수를 0.04, 0.07, 0.1로 각각 변화시켜가며 응력분포를 알아보았다. Fig. 4를 보면 소재의 응력-변형률 선도와 같이 처음 인발이 시작하였을 때 즉, 순간적으로 인발력이 가해졌을 때 응력이 높아지다 탄성영역 내에서 복원력이 발생하고 그 이후 잔류응력이 발생함을 알 수 있다.

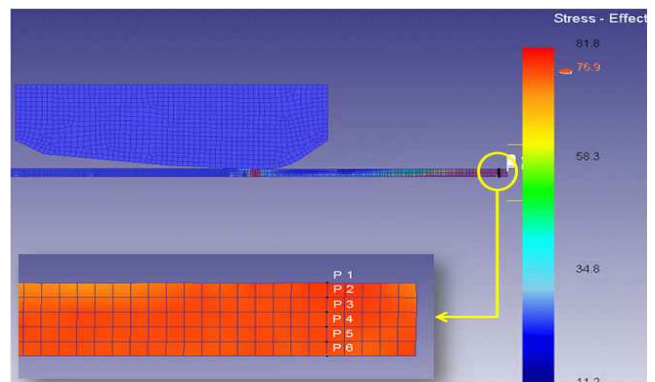


Fig. 3 FE-model of point tracking

그리고 마찰계수 변화에 따른 응력을 비교해 보았을 때 마찰계수가 0.1, 0.07, 0.04 중에서 0.04일 때 노드에 걸리는 응력이 76.5Mpa로 최소가 되는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 비교 대상이 되는 다른 마찰 계수와 비교하였을 때 그 값의 차이가 미비하다는 것은 지금까지 알려진 경향³⁾과 동일함을 알 수 있다. Fig. 5와 Fig. 6은 마찰계수를 0.04로 고정시키고 다이 반각 β , 5, 8 로 각각 변화시킨 결과이다. 본 실험에서는 다이 반각이 작아질수록 노드에 걸리는 응력이 줄어들음을 알 수 있다. 또한 다이 반각이 작을수록 스테인레스 파이프 내부 노드와 외부 노드 사이의 응력차가 적어져 고른 인발이 일어남을 알 수 있다. Fig. 7과 Fig. 8은 마찰계수를 0.04, 다이 반각 5 로 고정시키고 인발속도를 각각 2, 5, 8 (mm/sec)까지 변화시킨 결과이다.

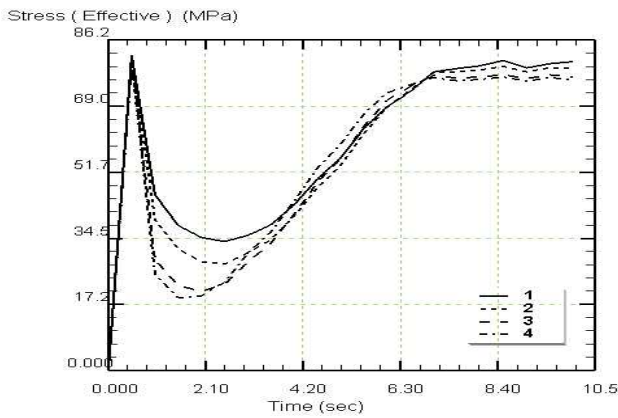


Fig. 4 Stress for velocity of drawing = 5 mm/sec, semi-die angle = 5°, coefficient of friction = 0.04

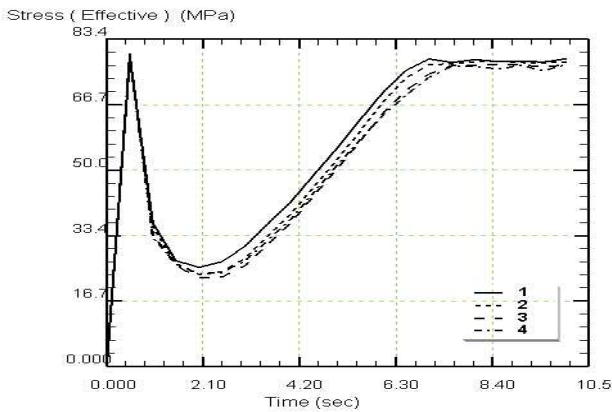


Fig. 5 Stress for velocity of drawing = 5 mm/sec, semi-die angle = 3°, coefficient of friction = 0.04

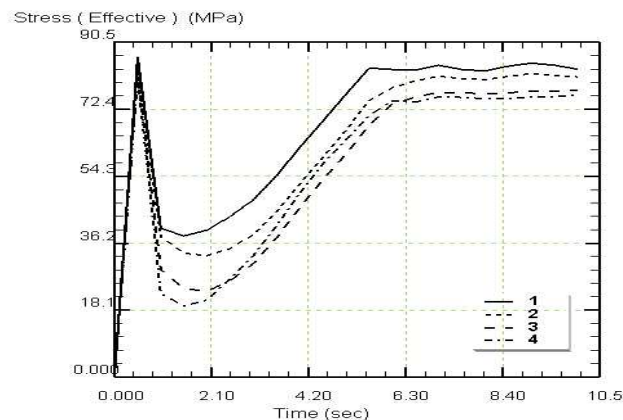


Fig. 6 Stress for velocity of drawing = 5 mm/sec, semi-die angle = 8°, coefficient of friction = 0.04

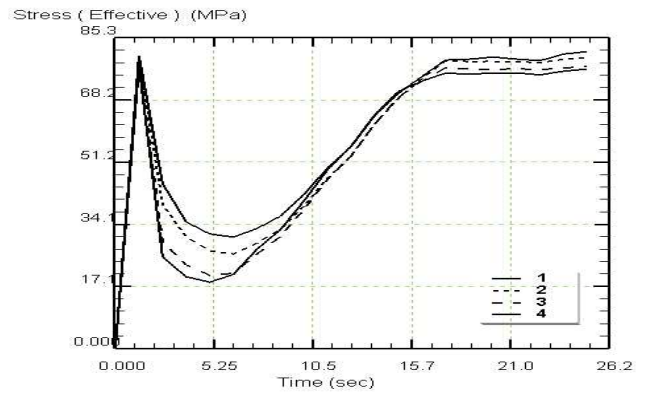


Fig. 7 Stress for velocity of drawing = 2 mm/sec, semi-die angle = 5°, coefficient of friction = 0.04

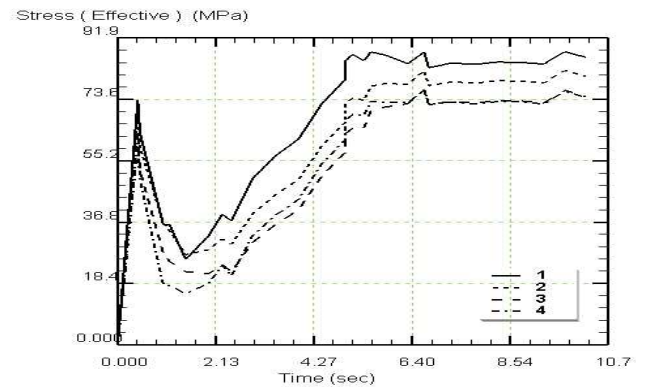


Fig. 8 Stress for velocity of drawing = 8 mm/sec, semi-die angle = 5°, coefficient of friction = 0.04

인발속도가 빠를수록 정상 상태에 도달하는 시간은 줄어들지만 응력은 커짐을 보인다. 또한 인발속도가 빠를수록 응력편차가 커져 불균일한 인발이 일어날 것을 예상할 수 있다

5. 결론

이상의 연구로부터 초장축 탄소 복합재 파이프 인발공정 시 발생하는 인발응력을 최소화하기 위한 결론을 다음과 같이 도출하였다.

1. 인발공정 시 실용범위(0.04~0.1)내에서 마찰계수는 다이 반각과 인발 속도에 비해 선재의 응력에 적은 영향을 미침을 알 수 있다.
2. 다이 반각이 작고 인발속도가 빠를수록 선재에 걸리는 응력이 적어지고 파이프 외경과 내경에 걸리는 응력 편차가 적음을 알 수 있다.

후기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업 [RT104-01-03]지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 박수현, 이춘만, “초장축 스테인레스/복합재료 파이프의 피팅 공정 개발”, 한국공작기계학회논문집, 17, 77-82, 2008
2. 박수현 외 4명, “냉간인발을 이용한 초장축 이중소재 파이프의 피팅에 관한 연구”, 한국정밀공학회 추계 학술대회 논문집, 301-302, 2007
3. 이상근 외 4명, “유한요소 해석에 의한 공정변수가 인발 선재의 잔류응력에 미치는 영향 평가 및 완화에 관한 연구”, 한국정밀공학회 추계 학술대회논문집, 149-150, 2005.