

초장축 이종소재 파이프의 열박음에 관한 연구

A Study on the Shrink Fit for Long Pipes of Different Materials

*박수현¹, #이춘만², 정원지², 박동근³

*S. H. Park¹, #C. M. Lee(cmllee@sarim.changwon.ac.kr)², W. J. Chung², D. G. Park³

¹창원대학교 기계설계공학과 대학원, ²창원대학교 기계설계공학과, ³창원대학교 클러스터 사업단

Key words : Composite material, Tube drawing, Shrink fit

1. 서론

섬유강화 복합재료는 비강성 및 비강도가 매우 우수하여 여러 분야의 구조재로 사용되고 있다. 또한 진동에 대한 고감쇠 특성, 작은 열팽창계수, 열특성 등이 우수하여 기존에 금속재료가 사용되던 분야의 상당 부분들이 빠르게 복합재료로 대체되고 있다. 이에 액정표시소자(Liquid Crystal Display)의 제조공정 장비인 러빙기에 장착되는 러빙 롤러는 길이가 길어짐에 따라 자중 처짐이 증대되어 현재의 알루미늄 소재를 대신해 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)으로 대체되고 있는 실정이다. 현재 러빙 롤러의 제조공정은 복합재료 튜브 위에 스테인레스 입자를 입히는 용사 공정이다. 이런 용사 공정은 작업시간의 증대와 스테인레스 입자의 밀도에 따른 불량률의 증가가 뒤따른다.

이에 본 연구에서는 초장축 이종소재 파이프의 한 가지 피팅 방법으로써 스테인레스 튜브를 가열하여 인발한 후에 스테인레스가 수축하는 것을 이용한 열박음을 제안하였으며, 실험을 통하여 유용성을 검토하였다.

2. 열 수축

모든 물질에 대해서 단위길이(m)를 1°C 온도 상승 시 길이가 팽창을 한다. 이는 반대로 온도가 고온에서 저온으로 뒀을 때 따라 소재의 길이가 수축함을 알 수가 있고, 열팽창 식은 다음의 식(1)과 같다.

$$\Delta l = \alpha \times l \times \Delta t \quad (1)$$

α : 선팽창 계수
 l : 소재의 길이
 Δt : 온도 변화량

3. CFRP 튜브와 스테인레스 튜브 접합 시 강도 예측

본 연구에서는 복합재료의 강도 예측과 러빙 롤러의 피팅 시 공정 변수인 온도에 따른 선형 유한요소해석을 수행하였다.

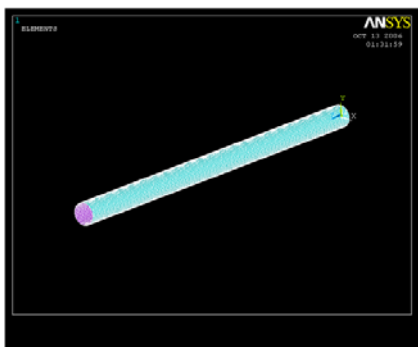


Fig. 1 FE-model of composite material

복합재료의 강도 예측을 위해 복합재 내경이 123.44mm, 외경이 138mm이고 길이가 2,750mm인 복합재 튜브를 모델링하였다. 스테인레스의 열 수축량에 따라 두 소재 사이에 접촉이 작용한다고 가정하는 방법으로 인발 후의 복합소재가 직경 0.1mm 수축 시 응력을 계산하기 위해 복합소재를 상용프로그램인 ANSYS

10.0을 이용하여 적층(Layered structural solid) 요소로 구성하였으며, Fig. 1과 같이 요소수는 11,520개이며 절점의 수가 34,752개인 유한 요소 모델을 구성하였고, Fig. 2는 원주방향으로 0.1mm의 변위 축소를 한 구속조건을 보여준다.

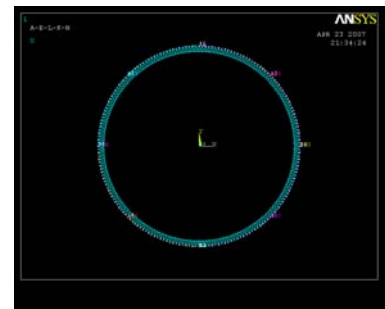


Fig. 2 Radial displacement along hole boundary

해석에 사용된 재료 물성치는 복합재료의 등가물성치로 적용하였으며, Table 1과 같다. Fig. 3은 선형 유한요소해석의 결과를 나타낸 것으로서, 최대 등가응력이 306MPa임을 알 수 있다.

Table 1 Comparison of measured roughness data

	SUS	CFRP
E(GPa)	200	Ex = 380 Ey = 5.1 Ez = 5.1
ν	0.33	$\nu_{12} = 0.281$ $\nu_{13} = 0.281$ $\nu_{23} = 0.470$
G(GPa)	-	Gxy = 5.55 Gyz = 5.55 Gxz = 4.55
Density(Kg/m ³)	7870	1580

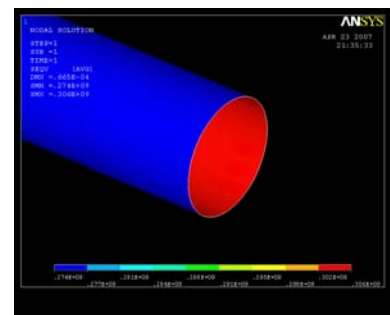


Fig. 3 Result of static stress for composite material

Fig. 4는 열 해석을 하기 위하여 상용프로그램인 ANSYS Workbench 10.0을 이용하였고 복합소재는 Fig.1에서와 동일하게 모델링하였으며, 외경 140.20mm, 두께가 1.1mm인 스테인레스 튜브를 모델링하였다. 또한 요소수는 30,531개, 절점의 수가 13,912인 유한 요소모델을 구성하였고 해석에 사용된 스테인레

스 물성치는 Table 1과 같다. 대기 중에 자연 냉각 시 스테인레스가 수축함으로써 발생하는 응력을 알아보기 위하여 초기 온도는 80°C, 대기온도는 20°C, 자연대류의 열전달 계수는 $8(W/m^2\cdot^\circ C)$ 로 하였다.

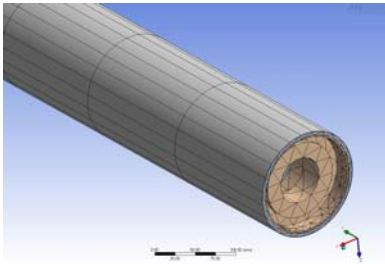


Fig. 4 FE-model of rubbing roller

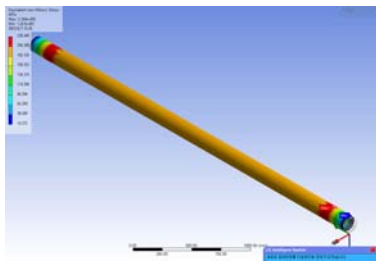


Fig. 5 Result of thermal stress

Fig. 5는 열 해석 결과로서 양 끝단 최대 응력이 345MPa 발생하였고, 러빙 롤러의 끝단을 제외한 2,500mm 정도의 부위는 응력이 310MPa으로 나타났다. 그러므로 스테인레스를 가열하여 인발한 후의 두 소재간의 휩쇠는 Fig. 3과 Fig. 5에서 보는바와 같이 냉각 시 수축으로 인한 휩쇠가 0.1mm 정도 들어가는 것으로 사료된다.

4. 실험 방법

본 연구에서는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 인발 전에 외경이 137.50mm인 복합소재를 두께 1.05mm, 외경 145mm인 스테인레스 튜브에 삽입하여 외벽에 가열패드로 스테인레스 튜브의 온도가 80°C가 되도록 가열한 후 외경이 139.55mm인 인발 금형을 통하여 인발을 하고, 인발 후의 잔류 열이 자연 냉각됨에 따라 스테인레스 튜브의 수축이 되어 휩쇠가 부여되는 방법이다. 본 논문의 실험에 사용된 스테인레스는 304계열이며, 가열 방법은 변형이 가능하고 얇은 패드형태로 된 가열패드를 사용하였다.

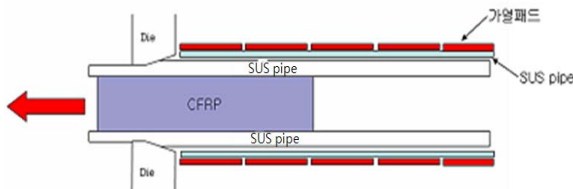


Fig. 6 Experiment process

5. 실험 결과

Fig. 6에서와 같이 실험 장비를 구축하여 실험을 하였으며, Fig. 7은 스테인레스 튜브가 80°C로 가열되었을 때 인발을 실시하는 모습이다. 인발이 완료된 후 자연 냉각시킴으로써 스테인레스 튜브의 외경이 증대되었음을 확인하였다. 인발 후의 외경이 증대된 이유는 스테인레스의 튜브가 인발을 함으로써 길이 방향으로

길어질 뿐만 아니라 두께도 다소 증가하였기 때문이다. Fig. 8의 러빙 롤러의 단면을 보면 복합소재의 손상 없이 두 소재간의 접착이 이루어진 것을 확인할 수 있다.



Fig. 7 Tube drawing of rubbing roller

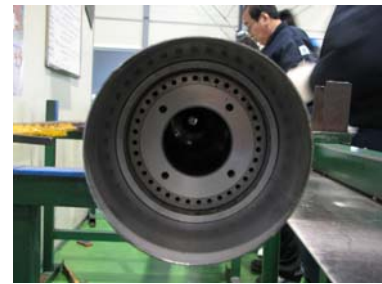


Fig. 8 Result after stainless-tube cooled

6. 결론

본 논문에서는 인발 후 자연수축에 의한 잔류응력이 휩쇠 역할을 한다고 가정하여 선형 유한요소해석을 수행하고 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 내렸다.

1. 복합소재와 스테인레스 튜브의 열박음 시 복합소재의 강도 예측과 인발 후의 열 수축에 의한 잔류응력을 선형 유한요소 해석을 통하여 파악함으로써 초기 온도를 예측할 수 있었다.
2. 인발공정을 이용한 두 소재의 열박음 시 복합소재의 파손 없이 접착이 잘 이루어졌다는 것을 확인하였다.

7. 향후 계획

Fig. 8에서 보는 것과 같이 육안검사를 통하여 휩쇠가 부여되었다는 것을 확인할 수 있지만 두 소재간의 접착률은 명확히 알 수 없으므로 향후에 비접촉식 광탄성 응력측정기를 이용하여 인발을 이용한 열박음 후의 잔류 응력을 분석함으로써 접착률을 연구할 계획이다.

후기

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

참고문헌

1. 류충오, 최진호, 권진희, "클램핑 포스가 존재하는 복합재료 체결부의 파손강도 예측," 한국복합소재학회지, 5, 9-14, 2005
2. 최진호, 전영준, 권진희, "기계적으로 체결된 복합재료 조인트 강도에 관한 연구," 한국복합소재학회지, 4, 9-16, 2002
3. 전영준, 최진호, 권진희, "과피면적지수법을 이용한 복합재료 기계적 체결부의 강도 평가에 관한 연구," 한국복합소재학회지, 5, 1-6, 2003