

롤루름 시스템에서 소재의 기계적 물성변화를 포함한 권취공정의 장력해석

An Analysis of Tension at Rewinding Process Considering Mechanical Property change in Roll to Roll System

*이종수¹, *신기현¹, 강현규², 박성식¹

*J. S. Lee¹, *K. H. Shin(khshin@konkuk.ac.kr)¹, H. K. Kang², S. S. Park¹

¹건국대학교 기계공학부, ²건국대학교 유연디스플레이 연속공정 연구소

Key words : Elastic modulus, Hyperbolic taper profile, Linear taper profile, Radial stress, Taper value

기호설명

σ_0	초기 응력	σ_w	웹 응력
σ_{rr}	반지름 응력	β	소재의 특성치
σ^*	잔류 응력	B	설계 상수
r	현재 롤 반경(비)	R	최대 롤 반경(비)
E_c	코어 강성계수	t	적분 변수
v	푸아송 비	taper	taper value
S_{11}	반경 방향 탄성 컴플라이언스		
S_{22}	Hoop 탄성 컴플라이언스		
S_{23}	Poisson 탄성 컴플라이언스 $=-vS_{22}$		
S_{33}	Z방향 탄성 컴플라이언스		

1. 서론

Rewinding 시스템에서 감김 장력이 과다한 경우 radial stress의 누적에 의해 웹이 동심원 형상으로 좌굴되는 starring 현상이 발생하며, taper value가 과다할 경우 radial stress가 급격히 감소하여 일어나는 마찰력 저하로 층간 슬립이 발생한다. 슬립 현상은 층간 scratch를 발생시키며, 웹의 감김 축 방향 좌, 우로 이동하여 감기는 telescoping 현상과 밀접한 관련이 있다. starring 및 telescoping 현상은 권취된 최종제품의 품질에 영향을 주기 때문에 적절한 taper value와 감김 장력을 설정하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구를 통하여 elastic modulus, linear, hyperbolic taper profile 변화에 따른 radial stress의 변화를 해석하고, taper value가 radial stress에 주는 영향을 해석하였다.

2. 수학적 모델링

Radial stress는 감김이 진행됨에 따라 웹이 쌓이게 됨으로써 rewinding roll의 반지름 방향으로 가해지는 응력을 뜻한다. 반지름 방향으로 작용하는 응력분포는 식(1)과 같이 정의된다. radial stress 수학적 모델링에 포함된 설계 상수 B는 식 (2)와

같이 정의된다.

$$\sigma_{rr} = \frac{1}{r} \left\{ \left[B \left(r^\beta - \frac{R^{2\beta}}{r^\beta} \right) \right] + \frac{1}{2\beta} \left[r^{-\beta} \int_r^R t^\beta \sigma^*(t) dt - r^\beta \int_r^R t^{-\beta} \sigma^*(t) dt \right] \right\} \quad (1)$$

$$B = \frac{2\beta \sigma_0 E_c S_{22} - \left\{ [E_c (S_{12} - \beta S_{22}) - 1] \int_1^R t^\beta \sigma^*(t) dt + \left\{ [1 - E_c (S_{12} + \beta S_{22})] \int_1^R t^{-\beta} \sigma^*(t) dt \right\} \right\}}{2\beta (S_{12} E_c - 1)(1 - R^{2\beta}) + \beta E_c S_{22} (1 + R^{2\beta})} \quad (2)$$

Radial stress 수학적 모델링에 linear profile을 적용하면 식 (3)을 hyperbolic profile을 적용하면 식 (4)를 얻을 수 있다.

$$\sigma_{rr} = \frac{1}{r} \left\{ \left[B \left(r^\beta - \frac{R^{2\beta}}{r^\beta} \right) \right] + \left(\frac{1}{2\beta} \right) \left(\frac{\sigma_0}{1-v} \right) \left\{ \left[\left(\frac{R^{1+\beta} - r^{1+\beta}}{1+\beta} \right) r^{-\beta} - \left(\frac{R^{1-\beta} - r^{1-\beta}}{1-\beta} \right) r^\beta \right] - \left(\frac{taper}{100} \right) \left(\frac{1}{R-1} \right) \left[\left(\frac{R^{2+\beta} - r^{2+\beta}}{2+\beta} \right) r^{-\beta} - \left(\frac{R^{2-\beta} - r^{2-\beta}}{2-\beta} \right) r^\beta \right] + \left(\frac{taper}{100} \right) \left(\frac{1}{R-1} \right) \left[\left(\frac{R^{1+\beta} - r^{1+\beta}}{1+\beta} \right) r^\beta - \left(\frac{R^{1-\beta} - r^{1-\beta}}{1-\beta} \right) r^{-\beta} \right] - \left(\frac{1}{2\beta} \right) \left(\frac{1}{1-v^2} \right) \left(\frac{taper}{100} \right) \left(\frac{1}{R-1} \right) \left[\left(\frac{R^{2+\beta} - r^{2+\beta}}{2+\beta} \right) r^{-\beta} - \left(\frac{R^{2-\beta} - r^{2-\beta}}{2-\beta} \right) r^\beta \right] \right\} \right\} \quad (3)$$

$$\sigma_{rr} = \frac{1}{r} \left\{ \left[B \left(r^\beta - \frac{R^{2\beta}}{r^\beta} \right) \right] + \left(\frac{1}{2\beta} \right) \left(\frac{\sigma_0}{1-v} \right) \left\{ \left(\frac{R^{1+\beta} - r^{1+\beta}}{1+\beta} \right) r^{-\beta} - \left(\frac{R^{1-\beta} - r^{1-\beta}}{1-\beta} \right) r^\beta \right\} - \left(\frac{taper}{100} \right) \left(\frac{1}{1+v} \right) \left[\left(\frac{R^{1+\beta} - r^{1+\beta}}{1+\beta} \right) r^{-\beta} - \left(\frac{R^{1-\beta} - r^{1-\beta}}{1-\beta} \right) r^\beta \right] - v \left(\frac{1}{1-v^2} \right) \left(\frac{taper}{100} \right) \left[\left(\frac{R^\beta - r^\beta}{\beta} \right) r^{-\beta} - \left(\frac{R^{-\beta} - r^{-\beta}}{-\beta} \right) r^\beta \right] \right\} \quad (4)$$

3. 시뮬레이션 결과

Simulation 해석을 위해 아래와 같은 조건을 설정 하였다.

Table 1. Simulation parameter

Core stiffness (Gpa)	6.14
σ_0 (Mpa)	12.25
S_{11} (1/Gpa)	1/0.69
S_{22} (1/Gpa)	1/4.14
S_{23} (1/Gpa)	(Poisson's ratio)* S_{22}
S_{33} (1/Gpa)	S_{22}
Poisson's ratio	0.28

3.1 Taper value의 변화에 대한 radial stress 해석

Fig. 1은 linear profile 적용 시, Fig. 2는 hyperbolic profile 적용 시의 taper value의 변화에 따른 해석 결과이다. 해석결과 taper value가 증가할수록 감김률의 반경 증가에 따라 내부응력이 감소하며, 특히 hyperbolic profile 적용 시 내부응력 초기값과 build up ratio 증가에 따른 내부응력이 큰 폭으로 감소한다. 이는 taper value를 크게 설정 할 수록 웹 이송속도를 느리게 설정해야 함을 의미한다.

3.2 탄성계수 변화에 대한 radial stress 해석

Fig. 3은 linear profile 적용 시, Fig. 4는 hyperbolic profile 적용 시, elastic modulus의 변화에 따른 해석 결과이다. 해석 결과 탄성계수가 감소에 따라 초기 내부응력도 점점 감소하는 것으로 확인되었는데, 이는 radial stress 모델링에 포함된 설계 상수 B의 분모 항에 위치한 식 (5)를 분석해 봄으로써 확인할 수 있다. Hyperbolic profile 적용 시 build up ratio 증가에 따른 내부응력 감소량이 linear profile을 적용한 경우보다 크다.

$$2\beta\left\{\left(\frac{R^{2\beta}-1}{E}\right)+\beta S_{22}(1+R^{2\beta})\right\} \quad (5)$$

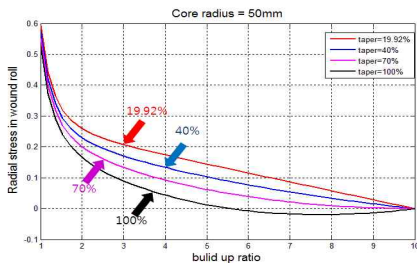


Fig. 1 Radial stress change according to taper value change in linear case

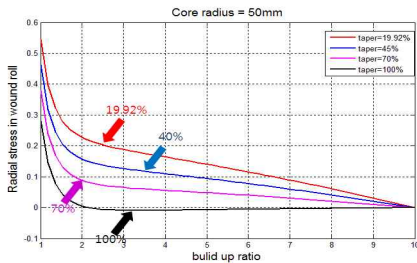


Fig. 2 Radial stress change according to taper value change in hyperbolic case

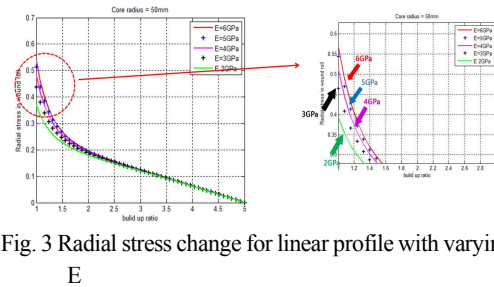


Fig. 3 Radial stress change for linear profile with varying E

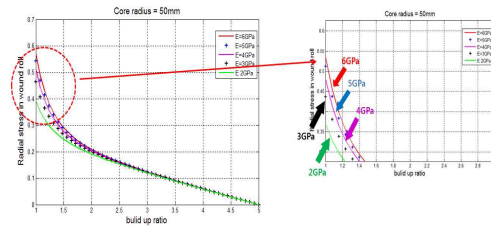


Fig. 4 Radial stress change for hyperbolic profile with varying E

4. 결 론

본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 taper value와 재료의 elastic modulus에 따른 radial stress의 변화를 해석하였다. 해석 결과, starring 현상을 방지하기 위해서는 hyperbolic profile을 적용하는 것이 더 효과적이라 할 수 있으나, taper value값에 따라 내부응력 감소량이 급격하게 변하므로 telescoping 현상을 방지하기 위해서는 linear profile을 적용하는 경우에 비해 낮은 taper value를 선정하는 것이 효과적이다.

후 기

본 연구는 ‘지식경제부 산업원천기술개발사업(10035641)’의 지원, 21세기 프론티어 기술개발사업의 일환인 ‘차세대소재성형기술개발사업단’의 지원, ‘서울시 산학연 협력사업(10848)’의 지원 하에 수행되었습니다.

참고문헌

1. Burns, S.J., Richard, R. Meehan and J.C., Lambropoulos, "Strain-based Formulas for Stresses in Profiled Center-Wound Rolls," Tappi journal, **82**, 7, 159~167, 1999.
2. C.W. Lee, "A study on the taper tension control considering lateral motion of a moving web in roll to roll systems," Konkuk Univ., Ph.D thesis, 2008.