롤투롤 연속공정의 와인딩 구간에서 발생하는 웹의 주름현상 분석

Wrinkle Analysis of Web Material during Winding Section in Roll to Roll Continuous Process

*김남석[1], *이은규[1], *이창우[2], 신기현[3], #김창완[4]

*N. S. Kim[1], E. K. Lee[1], C. W. Lee[2], G. H. Shin[3], #C. W. Kim(ID@email.com)[4]

[1]건국대학교 기계설계학과, [2]건국대학교 유연디스플레이 연속공정연구센터, [3, 4]건국대학교 기계설계학과

Key words : Roll to Roll(R2R), Winding, Wrinkle, Transverse tension distribution

1. 서론

롤투롤 인쇄방식은 웹(web)이라 불리는 플라스틱 필름 등의 소재를 롤러를 이용하여 연속적으로 이송시키면서 소재(substrate)에 패턴을 생성하는 것으로 언와인딩(unwinding), 프린팅(printing), 건조(drying), 와인딩(winding) 등 매우 다양한 과정을 포함하게 된다. 이중 특히 와인딩 구간에서 주로 발생하는 웹에 주름현상은 소재에 결함을 일으킬 뿐만 아니라 전체 공정라인을 정지시켜 이를 최소화 하는 것은 필수적인 일이다. 하지만 롤투롤 연속공정에서 소재에 발생하는 주름의 원인은 매우 다양하게 존재하여 아직까지 명확한 분석과 해결방안이 제시되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 실험에 의한 데이터와 유한요소해석법 이용한 수치해석을 통해 롤투롤 연속공정의 와인딩 구간에서 발생하는 주름의 다양한 원인들에 대한 영향성을 분석해 주요 인자를 규명하고 주름의 거동을 해석하여 이를 최소화하기 위한 개선방안을 도출하고자 한다.

2. 주름 현상의 원인분석

롤투롤 공정에서 소재에 인가되는 폭 방향 장력분포의 불 균일은 종 방향 주름을 발생시킬 수 있다. 따라서 주름의 원인을 크게 와인딩 코어(winding core), 와운드 롤(wound roll) 그리고 소재의 특성 등으로 나누고 실험 및 유한요소해석을 통해 각 원인들이 소재의 폭 방향 장력분포에 미치는 영향성을 분석하였다.

2.1 와인딩 코어의 특성

와인더 장비는 오랜 기간 사용하게 되면 코어 자체에 처짐이 발생한다. 이는 소재의 권취 시에 종 방향 주름의 원인이 된다. 따라서 레이저 센서를 이용하여 이를 측정하고 코어의 처짐 발생량을 정량화 하였다.

2.2 와운드 롤의 특성

코어에 많은 양의 소재가 감기게 됨에 따라 소재의 무게가 더해져 탄성 처짐이 발생할 수 있다. 이에 유한요소해석을 통하여 소재가 감김에 따른 와운드 롤의 처짐 정도를 분석하였다. Fig. 1은 그 결과를 나타내며 만권 시에는 중앙부와 양변부가 큰 차이를 보임을 알 수 있다.

2.3 소재의 특성

소재는 이송되는 동안 불균일한 온도변화를 겪게 된다. 이것은 온도에 따른 소재의 탄성계수 변화를 가져와 연신되는 양의 차이를 발생시켜 실제 소재가 받는 장력의 불 균일 현상을 초래하므로 열 인장 시험을 통해 온도에 따른 소재의 폭 방향 탄성계수를 측정하였다. 또한 와운드 롤은 반복적으로 소재를 감는 공정인 와인딩 공정을 통해 그 지름이 증가하게 되어 폭 방향에 대해 소재의 두께 편차가 존재할 경우 그 편차가 누적됨으로써 폭 방향 선속도의 불 균일을 야기 할 수 있다. 선속도의 변화는 소재에 인가되는 장력의 변화로 나타나게

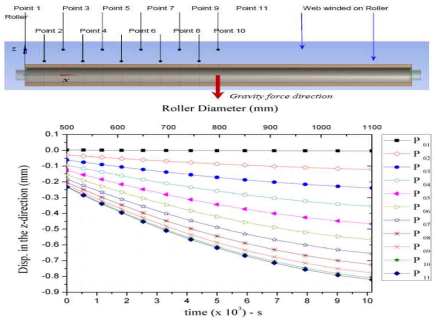


Fig. 1 Deflection of wound core at discrete point with respect to time (or diameter of wound roll)

Table 1 Sensitivity analysis results

Parameters	Impact factor
Thickness profile of substrate	1
Young's modulus profile of substrate	0.2
Deflection of winding core	0.03
Deflection of wound roll	0.9

되므로 소재의 감긴 횟수에 따른 와운드 롤의 형상을 측정하였다.

분석된 데이터를 기반으로 수학적 시뮬레이션을 수행하여 각 원인들에 의한 소재의 폭 방향 장력분포를 도출하였다. 그에 따른 민감도 분석 결과는 Table 1과 같으며 소재의 폭 방향 두께분포와 와운드 롤의 처짐이 와인딩 구간에서 발생하는 주름현상에 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

3. 주름 거동의 해석 및 개선 방안

민감도 분석에 따른 주름 현상에 가장 큰 영향을 미치는 소재의 두께편차와 와운드 롤의 처짐이 함께 고려된 소재의 폭 방향 장력분포를 도출하고 이를 이용해 주름의 거동을 해석하였다. 그에 따른 폭 방향 장력 분포는 Fig. 2와 같으며 유한요소해석을 수행한 결과는 Fig. 3에 나타내었다.

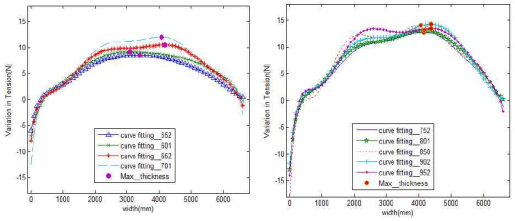
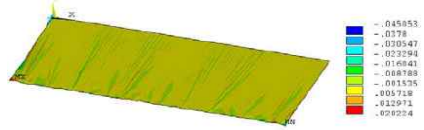
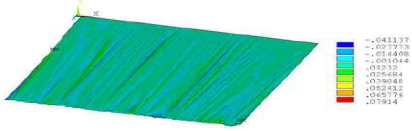


Fig. 2 Transverse tension distribution cause by thickness profile of substrate and deflection of wound roll



(a) span length = 3m



(b) span length = 6m

Fig. 3 Contour plot of wrinkle on a web according to span length (diameter of wound roll D=952mm)

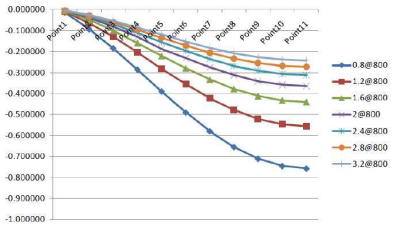


Fig. 4 Deflection of wound roll according to Young's modulus (diameter of wound roll D=800mm)

소재의 중앙부에 발생하는 주름은 와운드 롤의 처짐에 큰 영향을 받는다. 따라서 Fig. 4에 나타낸바와 같이 롤의 강성변화에 따른 처짐을 예측하여 경제성을 고려한 롤의 탄성계수 값을 도출하였다. 또한 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 스팬길이(span length)에 따른 주름의 크기를 분석하여 와인딩 구간에서 부수적인 설비들의 설치공간과 운전공간을 고려한 최적의 스팬길이를 제시하였다.

4. 결론

본 연구에서는 실험과 유한요소해석법 이용한 수치해석을 통해 롤투롤 연속공정의 와인딩 구간에서 발생하는 주름의 다양한 원인들에 대한 영향성을 분석하고 그 민감도에 따라 가장 크게 영향을 미치는 주요 인자를 규명하였다. 또한 주요한 인자에 따른 주름의 거동을 해석하고 이를 최소화하기 위한 개선방안을 도출하였다.

후기

본 연구는 2010년도 서울시 산학연 협력사업(10848)과 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 해외우수연구기관유치사업(2010-00525) 연구이며 이에 감사한다.

참고문헌

1. Friedl, N., Rammerstorfer, F. G. and Fischer, F. D., "Buckling of stretched strips, "Computers and Structures , **78**, 185-190, 2000.
2. Jacques, N., Elias, A., Potier-Ferry, M. and Zahrouni, H., "Buckling and wrinkling during strip convey in processing lines," Journal of Material Processing Technology, **190**, 33-40, 2007.
3. 신기현, "다중스팬 공정 시스템에서의 비간섭 장력제어," 대한기계학회논문집, **19**, 2548-2554, 1995.