

롤투롤 공정에서 웹의 주름 현상 고찰 Study of Wrinkle Phenomenon of Web Material in Roll to Roll Process

김남석¹, 이성수², *#김창완²

N. S. Kim¹, S. S. LEE², *#C. W. Kim(goodant@konkuk.ac.kr)²

¹ 건국대학교 기계설계학과, ² 건국대학교 기계설계학과, ² 건국대학교 기계설계학과

Key words : Roll to roll, Buckling, Wrinkle, Finite element method

1. 서론

인쇄전자소자(Printed electronics) 산업은 높은 생산성을 바탕으로 급속도로 성장하고 있는 분야이다. 이러한 인쇄전자소자 산업의 핵심이라 할 수 있는 전자 프린팅 기술에는 기존의 전통적인 프린팅 방식과 함께 잉크젯 프린팅 기술, 롤투롤(Roll to roll) 프린팅 기술 등이 포함된다. 그 중 롤투롤 프린팅 기술은 대폭적인 공정수 절감으로 인한 시설투자가 대폭 절감되어 우수한 원가 경쟁력을 갖는다는 장점과 함께 고속대량 생산이 가능함으로써 가장 유망한 전자 프린팅 기술로서 주목을 받으며 지속적인 연구가 진행되고 있다.

롤투롤 공정은 프린팅(printing), 건조(drying), 와인딩(winding), 언와인딩(unwinding) 등 매우 다양한 과정을 포함하게 되는데 특히 와인딩과 언와인딩 과정동안 웹(web)에 발생하는 주름(wrinkle)을 피하는 것은 롤투롤 프린팅 공정에 있어서 필수적인 일이다. 이러한 주름 현상이 나타나게 되면 웹에 결함이 생겨 쓸모없게 되고 특별한 경우 전체 공정 라인(Processing line)이 정지되기도 한다. 따라서 주름 현상은 롤투롤 생산 공정에서 생산성을 크게 저하시켜 그에 따른 경제적 손실 효과가 현저하므로 반드시 감소시켜야 할 문제이다.

롤투롤 프린팅 공정에 있어서 웹에 주름이나 버클링이 발생하는 원인은 다양하게 존재한다. 하지만 기본적인 메커니즘은 웹에 적용되는 장력(tension)에 의해 웹의 폭 방향으로 압축응력(compressive stress)이 발생하게 되는데 이러한 압축응력이 허용응력(allowable stress)을 넘게 되면 주름이 잡히거나 휘어지거나 하는 버클링(buckling)이 발생하게 되는 것이다. 따라서 웹에 발생하는 주름이나 버클링 현상은 웹의 폭 방향으로 작용하는 압축응력에 가장 많은 영향을 받게 된다.

본 연구에서는 롤투롤 공정에서 발생하는 큰 결함 중에 하나인 웹에 주름이 잡히거나 휘어지거나 하는 버클링 현상을 확인하고자 웹이 인장될 때 폭 방향으로 작용하는 압축응력에 대해 고찰하고 웹의 폭 방향에 대한 길이 방향의 비(L/W)에 따른 버클링 해석을 수행하여 롤투롤 공정에서 웹에 발생하는 결함의 발생과 경향을 파악하기 위한 비선형 유한요소 해석법을 이용한 수치해석을 수행하였다.

2. 유한요소 모델링

Fig 1은 웹의 형상과 유한요소 해석에 있어서 웹이 인장될 때 적용된 경계조건을 나타낸다.

롤투롤 공정에 쓰이는 웹의 종류는 생산되는 제품에 따라 다양하나 유한요소 해석에서 적용된 재료의 탄성계수와 푸아송 비는 Table 1에 나타낸 것과 같다. 해석 모델에는 쉘 요소(shell element)가 사용 되었으며, 웹의 폭에 대한 길이의 비를 다르게

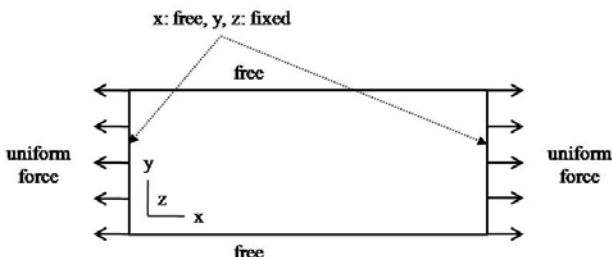


Fig. 1 Geometric model and Boundary condition

Table 1 Process condition

Type	Value
Web width	200 mm
Web length	400, 600, 800, 1000, 1200, 1400 mm
Web thickness	0.05 mm
Young's modulus	70000×10^6 Pa
Poisson's ratio	0.3

적용하였다. 유한요소 해석에 적용된 지오메트리(geometry)는 Table 1과 같다.

3. 유한요소 해석 결과

유한요소 해석 과정에서 버클링 해석의 수행에 앞서 정적 구조해석을 통한 전응력(prestress) 상태가 고려되었다. Fig 2, Fig3, Fig 4는 웹의 폭에 대한 길이의 비에 따른 버클링 해석의 결과로 최대 압축력(compression)이 인장력이 작용된 경계로부터 웹의 길이 방향으로 일정거리만큼 떨어져 발생함을 확인할 수 있다. 또한 버클(buckle)이 웹의 폭 방향으로 최대 압축력이 나타나는 영역으로부터 웹의 길이 방향으로 연속적으로 나타남을 알 수 있다. 긴 웹의 경우에는(Fig. 3 C and D, Fig. 4 E and F) 버클이 나타난 웹의 길이방향의 중간 영역에서 압축응력이 감소 되는 것을 확인 할 수 있다.

Fig 5는 웹의 폭에 대한 길이의 비에 따른 임계 버클링 승수(critical buckling multiplier)를 나타낸 것이다. 임계 버클링 승수 곡선에서 길이의 비가 일정 비 이상이 되면 압축응력이 웹의 길이(L)와는 관계없이 일정하게 되는 것을 확인 할 수 있다.

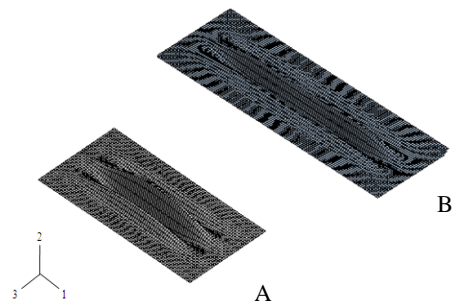


Fig. 2 Buckled web, A: L/W = 2, B: L/W = 3



Fig. 3 Buckled web, C: L/W = 4, D: L/W = 5

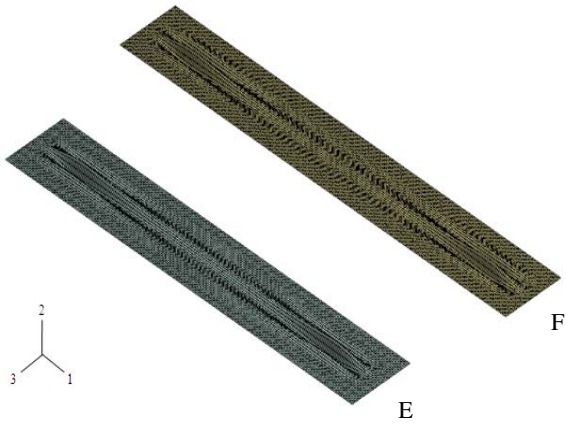


Fig. 4 Buckled web, E: $L/W = 6$, F: $L/W = 7$

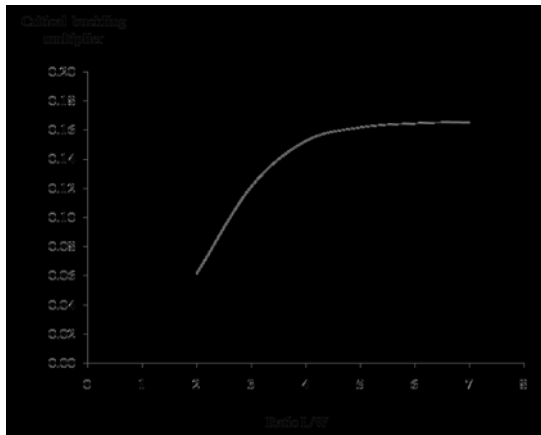


Fig. 5 Critical buckling multiplier

4. 결론

본 연구에서는 롤투롤 공정에서 발생하는 큰 결함 중에 하나인 주름이 잡히거나 휘어지거나 하는 버클링 현상을 확인하기 위하여 비선형 유한요소 해석을 수행하였다. 이를 통하여 웹의 결함의 주요 원인이 되는 폭 방향으로 작용하는 압축응력에 대해 고찰하였고 웹의 폭에 대한 길이의 비(L/W)에 따른 버클링 현상을 확인함으로써, 롤투롤 공정에 있어서 웹에 발생하는 결함을 억제하기 위한 주름과 버클링 현상의 경향을 파악하였다.

후기

본 논문은 2009년도 “서울시 산학연 협력사업(10848)”, “정부(교육과학기술부)의 재원으로 국제 과학기술 협력 재단(No. K20701040597-07A0404-05110)”의 지원을 받아 수행된 연구임.