

# 롤투롤 인쇄 시스템에서 외팔보 타입 아이들 롤러의 축 직경과 길이와 의 관계에 대한 연구

## A study on the relationship between the shaft diameter and length for cantilever type idle roller in roll-to-roll printing system

\*#김명섭<sup>1</sup>, 김동수<sup>2</sup>, 김충환<sup>1</sup>

\*#Myoung Sub Kim(joseph@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, Dong Soo Kim<sup>2</sup>, Chung Hwan Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 프린팅공정자연모사연구실, <sup>2</sup> 한국기계연구원 선임연구본부

Key words : Printed Electronics, Roll-to-Roll, Idle Roller, Shaft Diameter, Analysis

### 1. 서론

인쇄전자 기술은 신문이나 잡지, 포스터 등의 인쇄물을 제작하는데 사용해 온 인쇄 기술을 Touch Screen, RFID Tag, Flexible Display, Solar Cell 등과 같은 전자부품의 제조에 적용하는 기술로서, 향후 반도체, 디스플레이 분야를 뛰어 넘는 핵심 산업으로 부상할 것으로 예상된다. Fig. 1은 인쇄전자 기술의 응용분야를 보여준다. 휴대전화, 디지털카메라, DVD, PDP, LCD, DMB 등 디지털 가전제품 시장이 크게 성장함에 따라, 반도체 및 기타 정밀 전자부품의 제조공정 및 장치에 대한 요구도 크게 변화하고 있다. 새로운 전자소자 제품들의 실용화를 앞두고 생산공정의 단순화와 공정비용을 줄이기 위한 연구가 진행되고 있다. 기존의 노광공정, 성막공정, 에칭공정 등의 리소그래피 공정은 제조원가 측면에서 불리한 단점을 가지고 있으므로 이러한 단점들을 개선하기 위해 인쇄기법을 통한 패터닝 기술이 시도되고 있다.[1-3]

이와 관련된 제품들은 비교적 대면적의 전자소자로 수십 마이크로 수준의 정밀도를 필요로 하고, 유연한 소재 위에 형성되어야 하며, 저가의 대량생산이 가능해야 한다. 이러한 인쇄전자소자를 대량으로 생산할 수 있는 방법으로 주목되고 있는 것이 롤투롤 인쇄 방식을 이용한 생산 시스템이다.[4] 생산 기술로서의 롤투롤 기술은 현재 인쇄전자에서 가장 산업화에 가까운 기술로 평가 되고 있다. 롤투롤 기술은 신문, 잡지와 같은 인쇄 기술을 바탕으로 한 대량 생산 공정 기술 중의 하나이며 최근 유기전자와 맞물려 인쇄전자 분야에서 가장 활발히 연구가 진행되고 있는 기술이다.

인쇄전자소자를 저가로 대량 생산하기 위한 롤투롤 장비는 롤러의 장착 방식에 따라 양팔보 타입과 외팔보 타입으로 나눌 수 있으며 외팔보 타입의 경우, 양팔보 타입에 비해 장력에 의한 롤러의 변형을 더 고려해야 한다. 본 연구에서는 롤투롤 장비의 주요 부품 가운데 하나인 외팔보 타입 아이들 롤러의 축 직경과 길이와의 관계를 해석을 통해 알아보고 그 경향을 분석하여 장비 설계 및 제작 시에 유용한 자료로 활용하고자 한다.



Fig. 1 Application of printed electronics

### 2. 외팔보 타입의 아이들 롤러

롤투롤 공정에서 피인쇄체인 유연한 기판(웹)을 이송시켜주는 기능을 하는 아이들 롤러는 기존 미디어 인쇄용으로 사용하는 것보다 더 높은 정밀도를 요구하며 변형이 없어야 한다. 특히 외팔보 타입의 경우, 양쪽 지지 타입의 롤러에 비해 쉽게 변형될 수 있으므로 변형이 일어나지 않는 범위 안에서 설계가 이루어져야 한다. Fig. 2는 외팔보 타입 아이들 롤러의 설계도이며, Fig. 3은 제작되어 장비에 장착된 롤러를 보여주고 있다.

기존의 인쇄 장비들은 사람들의 눈에 보이는 신문, 잡지 등의 인쇄물들을 인쇄해왔기 때문에 정밀도가 사람의 눈 해상도 이상으로 발전할 필요성이 없었으며, 약간의 인쇄 오차가 있어도 무관하였기 때문에, 정밀도 50 μm 수준에서 그 기술의 발전이 멈추어져 왔었다. 하지만, 이러한 인쇄 공정을 인쇄전자소자를 대량으로 제작하는 데에 이용하기 위해서는 정밀도가 수~십수 μm 수준으로 더 좋아져야 하고 인쇄 된 형상은 균일해야 한다.[1]

인쇄 오차가 생기게 되면 소자의 성능에 큰 영향을 끼치게 된다. 롤러에 변형이 생기게 되면 웹의 한쪽 끝단과 다른 쪽 끝단에서 받는 힘의 불균형으로 인해 장력 및 속도 조절에 영향을 미치게 되므로 정밀한 제어가 어려워지게 되면서 결국 인쇄 품질도 떨어지게 된다. 또한 롤러의 변형으로 웹의 이송 각도가 바뀌게 되면 이로 인해 웹의 끝단 위치가 이동하게 되면서 중첩 정밀도가 떨어지게 된다. 따라서 아이들 롤러에 변형이 생기지 않도록 설계하는 것은 중요하다.

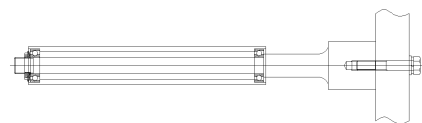


Fig. 2 Design of cantilever type idle roller

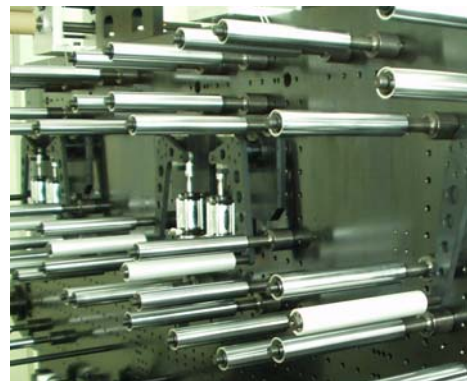


Fig. 3 Production of cantilever type idle roller

### 3. 해석

롤투롤 시스템에 작용하는 장력에 의한 아이들 롤러의 변형 해석을 위하여 사용된 프로그램은 ANSYS 이다. Table 1 은 모델에 적용된 물성치이며, Fig. 4 (a)는 외팔보 타입 아이들 롤러의 3D 모델링 형상이다. 실제 웹이 감겨 힘을 받는 부분은 외부 롤러 이지만 그 힘이 베어링을 거쳐 shaft로 전달되므로 구조 해석 측면에서 런 타입을 줄이고 해석의 편리성을 위하여 shaft를 모델링 하여 가해지는 힘을 적용하였다. 인쇄 시에 걸리는 장력은 웹의 종류나 인쇄 방식에 따라 차이가 있을 수 있지만 대체로 작을수록 좋다. 하지만 일정 장력을 유지하기 위해서는 최소한의 힘이 필요하다. 본 해석에서는 실험 시에 일반적으로 사용하였던 6kgf를 적용하였다. 격자 생성은 각 조건 별로 element 크기를 3mm로 통일하여 자동 격자생성 방식을 사용하여 그에 따라 생성된 node와 element를 적용하여 수치해석하였다. 격자 생성 모습을 Fig. 4 (b)에 나타내었으며 Fig. 5는 힘의 전달과정 및 shaft에서의 FBD를 보여준다.

축 직경과 길이와의 관계성을 알아보고 그 경향을 파악하기 위해 축 직경을 10mm에서 50mm까지 변화시켜가며 해석하였으며, 각각의 축 직경에 대해 롤러 길이를 500mm에서 100mm까지 변화시켜가며 해석하였다.

Table 1 Properties of shaft

Young's Modulus	2.0e+005 Mpa
Poisson's Ratio	0.3
Density	7.85-006 kg/mm <sup>3</sup>
Thermal Expansion	1.2-005 1/°C

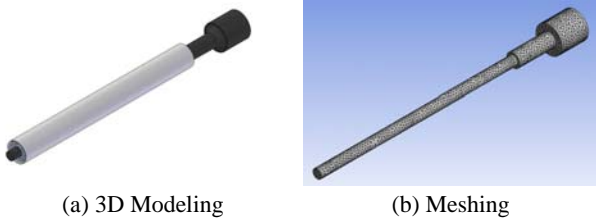


Fig. 4 3D Modeling and Meshing of cantilever type idle roller

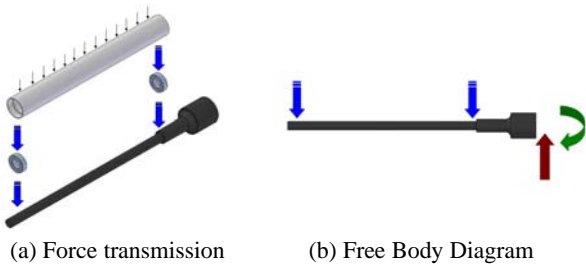


Fig. 5 Force transmission and Free Body Diagram

### 4. 해석결과 및 고찰

해석 결과 중 하나의 예를 Fig. 6에 나타내었다. Shaft 재료는 일반구조용강재를 사용하였으며, 항복 강도가 대략 36kg/mm<sup>2</sup>이다. 롤투롤 장비 구동 및 인쇄를 위한 장력의 크기가 재료에 파단을 일으키거나 영구적 변형을 일으킬 만큼 크지 않으므로, 응력 보다는 축 직경과 롤러 길이와의 관계에 따라 탄성 영역 내에서 변형이 얼마나 일어나는지에 관심을 두고 결과 값 및 경향을 검토하였다. 축 직경과 롤러 길이에 따른 변형 값을 Table 2에 정리하였다. 축 직경이 크고 롤러의 길이가 짧을수록 변형이 적음을 확인

할 수 있다. 허용할 수 있는 변형의 한계를 10 μm 수준으로 본다면 롤러 길이가 500mm 일 경우는 축 직경이 50mm 이상으로 설계되어야 하며, 롤러 길이가 100mm 일 경우는 축 직경이 20mm 이상으로 설계 되어야 함을 알 수 있다.

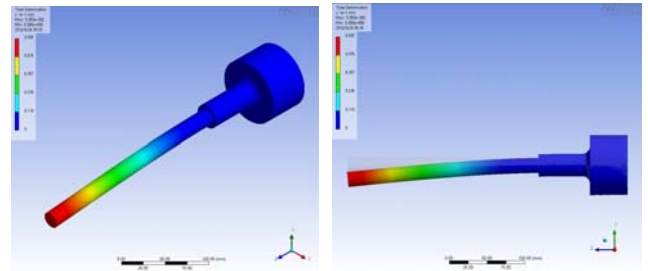


Fig. 6 Result of analysis

Table 2 Maximum deformation of shaft

		Unit: mm				
Length \ Dia.	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	
100 mm	0.19200	0.01510	0.00355	0.00132	0.00065	
200 mm	0.84400	0.05950	0.00129	0.00448	0.00205	
300 mm	2.28700	0.15400	0.03250	0.01090	0.00482	
400 mm	4.83700	0.31900	0.06610	0.02190	0.00947	
500 mm	8.81000	0.57400	0.11800	0.03860	0.01650	

### 4. 결론

오늘날 사용되고 있는 전자제품의 대부분은 가까운 미래에 인쇄소자화 되어 생산원가를 획기적으로 낮추어야 하는 압박을 받을 것이다. 이러한 인쇄소자들을 저가로 대량 생산 할 수 있는 기술로 주목되고 있는 것이 롤투롤 인쇄 방식이며, 이는 기존의 미디어 인쇄에 비해 높은 정밀도를 요구한다. 정밀도를 높이기 위해 다각도로 연구를 진행해야 하겠지만 인쇄가 진행되는 동안 기본적으로 부품에 변형이 생기면 안될 것이다. 본 연구에서는 인쇄 시 웹을 이송하는데 중요한 역할을 하는 아이들 롤러가 일정 장력 하에서 축 직경과 길이에 따라 변형이 얼마나 생기는지 경향을 파악하였으며 이는 롤투롤 장비의 설계, 제작 및 시스템 제어에 있어 유용한 자료가 될 것으로 기대된다. 앞으로 더욱 세분화된 해석을 통해 더 많은 자료를 데이터베이스화 함과 동시에 세분화된 경향을 살펴보고, 또한 실제 실험을 통해 이러한 해석 결과를 검증하고자 한다.

### 참고문헌

1. D. S. Kim, T. M. Lee, "Printed Electro-Mechanical System 기술동향" Journal of the KSME, Vol.46, No.12, pp. 38~41, 2006.
2. S. C. Yoon, J. S. Lim, C. J. Lee, "Printed Electronics : High Resolution Printing Technology," Polymer Science and Technology, Vol. 18, No. 3, 238-245, 2007.
3. P.M. Harry, D.J. Harrison, et al., "Integrated capacitors by offset lithography" J. Electronic Manufacturing, Vol.10, No.1, pp. 69~77, 2000.
4. M. S. Kim, C. H. Kim, D. S. Kim, T. M. Lee, B. S. Ryu, B. O. Choi, "Development of Roll-to-Roll Printing Equipment for PEMS Production," Spring Conference of KSPE, 973-974, 2008.