

롤투롤 그라비아 프린팅 장비에서의 PID 인압제어를 통한 인쇄품질 영향 분석

Effect of PID Controlled Printing Force on Printing Quality in Roll-to-roll Gravure Printing System

*남기상¹, #이승현¹, 김충환², 윤덕균¹, 최영만¹, 강동우¹

*K.S.Nam¹, #S.-H.Lee(shlee79@kimm.re.kr)², C.H.Kim², D.Yoon¹, Y.M.Choi¹, D.W.Kang¹

¹한국기계연구원 인쇄전자연구실, ²충남대학교

Key words : Roll-to-roll, Printing Force, PID Control, Gravure Printing, Printed Electronics

1. 서론

인쇄전자(printed electronics) 기술은 기존의 노광 공정 등의 반도체 공정을 대체할 수 있는 새로운 생산기술로서 유기트랜지스터, RFID 태그, 스마트 센서, 투명전극, 터치스크린, 유연 태양전지 등 다양한 인쇄전자소자를 플라스틱 유연기판 위에 저가로 대량 생산하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다.¹⁻³ 이러한 소자들은 일반적으로 수십~수백 μm 수준의 해상도를 갖는 미세 패턴을 전도성, 절연성, 반도체성의 기능성 잉크를 롤 프린팅과 같은 접촉식 인쇄공정 또는 잉크젯 프린팅과 같은 비접촉식 인쇄공정을 활용하여 인쇄하여 제작하게 된다. 그 중 롤 프린팅을 이용한 인쇄전자 소자 제작에 있어 미세패턴의 인쇄 품질에 미치는 주요 인자로는 인쇄 속도, 인압(printing force), 잉크의 점도와 표면장력, 기판의 표면에너지, 패턴의 형상 등을 들 수 있다. 이러한 인자들 가운데 인압의 불균일성은 판통(plate roll)에서 기판으로 전이되는 잉크의 양을 변화시키고 동기화 오차로 인한 인쇄불량을 야기 시킬 수 있다. 특히 패턴이 더욱 미세해질수록 약간의 인압 오차로 인한 인쇄 품질의 불균일성이 더욱 크게 나타나기 때문에 미세패턴의 인쇄에 있어서 균일한 인압 제어는 인쇄 품질을 결정짓는 매우 중요한 요소 중 하나이다.⁴

본 연구에서는 롤투롤 프린팅 공정에서 PID (Proportional Integral Differential) 제어를 통하여 시간적으로 일정한 인압을 유지하는 실험을 수행하였으며, 이러한 인압 제어를 통하여 인쇄 품질의 변화를 살펴보았다.

2. 실험 조건

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 판통 내 오목한 패턴에 잉크를 채운 후 기판(substrate)로 전이하는 롤투롤 그라비아 프린팅 공정을 이용하였으며 인쇄 장비는 한국기계연구원에서 제작한 다층 인쇄를 위한 롤투롤 복합프린팅 장비를 이용하였다.⁵ 인압 제어는 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 판통에 연결된 두 축의 스텝모터가 이동을 하면서 인압을 인가하게 되며, 로드셀에서 들어오는 신호를 받아 들여 PID 제어를 통하여 일정한 인압을 유지하게 된다. 잉크는 Ag paste를 사용하였으며 장력은 4 kgf, 인압은 3 kgf를 적용하여 실험을 수행하였다. 인압 제어를 하지 않은 장력은 4 kgf, 인압은 3 kgf를 적용하여 실험을 수행하였다. 인압 제어를 하지 않은 경우는 3 m/min의 인쇄 속도로 인쇄를 수행하였으며, 속도에 따른 PID 인압 제어의 효과를 비교하기 위하여 인쇄 속도를 0.6 m/min에서 6 m/min까지 변화하면서 인압 변화를 비교하였다.

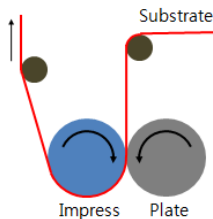


Fig. 1 Schematic of gravure printing process.

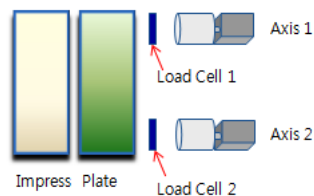


Fig. 2 Schematic of printing pressure control.

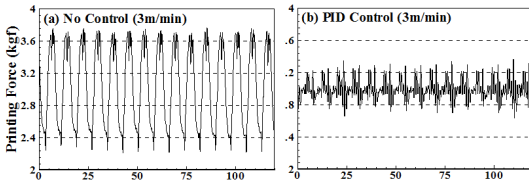


Fig. 3 Measured printing force variation: (a) No controlled case; (b) PID controlled case.

3. 실험 결과

Fig. 3(a)는 인압을 제어하지 않았을 때의 Load cell 1에서 측정된 인압 변화를 보여주고 있다. 약 ±0.8 kgf 수준의 주기적인 압력의 변화를 확인할 수 있으며 이 주기는 판통의 회전주기와 일치한다. Fig. 3(b)는 PID 인압 제어를 적용하였을 때의 인압 변화를 보여주고 있으며, 약 ±0.2 kgf 수준의 주기적인 압력 변화를 확인할 수 있다. Fig. 4(a)와 같이 인압 제어를 하지 않은 경우와 같이 인압의 변동폭이 큰 경우에는 인압이 너무 낮은 영역에서 인쇄가 안 되는 영역이 발생할 수 있지만, Fig. 4(b)와 같이 인압 제어를 통하여 어느 정도 일정한 인압을 얻게 되면 전 영역에서 균일한 인쇄품질을 얻을 수 있음을 볼 수 있다. Table 1은 인쇄 속도에 따라 Load cell 1에서 측정된 인압 변화의 섭동(fluctuation)의 제곱-평균-제곱근(root-mean-square) 값(F_{rms})을 비교하여 보여주고 있다. 인쇄 속도가 느릴수록 인압 제어의 효과가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

인압의 불균일성을 유발하는 근본 원인으로 판통 및 압통(impression roll)의 가공, 조립 및 체결 시 유발되는 진원도(roundness) 오차, 원통도(cylindricity) 오차, 축 간의 평행도(parallelism) 오차, 동축도(concentricity) 오차, 회전으로 인한 흔들림공차(run-out) 등을 들 수 있다. 위와 같은 내재적인 오차들로 인하여 인압의 좌우 편차나 공간적인 불균일성, 주기적인 인압의 편차 등이 유발될 수 있으며 이로 인하여 인쇄품질의 편차가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 내재적인 인압 오차

Table 1 Comparison of printing force variation

Case	PID control (0.6m/min)	PID control (1.8m/min)	PID control (3m/min)	PID control (6m/min)	No control (3m/min)
F_{rms} (kgf)	0.035	0.105	0.112	0.205	0.488

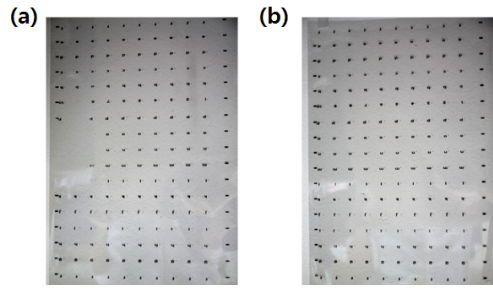


Fig. 4 Comparison of printing quality of printed sample 를 제거하기 위하여 PID 제어기법을 활용하였으며 이를 통하여 인압오차를 크게 감소시킬 수 있으며 균일한 인쇄품질을 얻을 수 있음을 확인하였다. 향후 연구를 통하여 고속 인쇄공정에서의 인압 제어 성능 향상 및 인압 변화와 인쇄 품질에 관한 보다 정량적 상관관계를 도출할 예정이다.

참고문헌

1. K. Kim, C. H. Kim, H. -Y. Kim, and D. -S. Kim, "Effects of Blanket Roller Deformation on Printing Qualities in Gravure-Offset Printing Method," Jpn. J. Appl. Phys., 49, 05EC04, 2010.
2. B. -O. Choi, C. H. Kim, D. -S. Kim, "Manufacturing Ultra-high-frequency Radio Frequency Identification Tag Antennas by Multilayer Printings," Proc. Inst. Mech. Eng., Part C: J. Mech. Eng. Sci., 224, 149-156, 2010.
3. T. -M. Lee, J. -H. Noh, C. H. Kim, J. Jo, D. -S. Kim, "Development of a Gravure Offset Printing System for the Printing Electrodes of Flat Panel Display," 518, 3355-3359, 2010.
4. K. -H. Choi, T. -T. Thanh, H. C. Kim, B. S. Yang, D. -S. Kim, "On a New Approach for Gravure/offset Printing Pressure Control Algorithm Development using the Full State Feedback Controller," IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing, 88-94, 2009.
5. C. H. Kim, J. Jo, S. -H. Lee, "Design of Roll-to-roll Printing Equipment with Multiple Printing Methods for Multi-layer Printing," Rev. Sci. Instrum., 83, 065001, 2012.