

◆ 특집 ◆ 인쇄전자 연속생산 시스템 기술

# R2R 그라비아 오프-셋 인쇄공정에서의 동기화 오차에 대한 분석

## Analysis of Synchronization Error in R2R Gravure Off-set Printing Process

이택민<sup>1</sup>, 김인영<sup>1</sup>, 박상호<sup>2</sup>, 김봉민<sup>1,2,✉</sup>  
Taik-Min Lee<sup>1</sup>, Inyoung Kim<sup>1</sup>, Sang-ho Park<sup>2</sup> and Bongmin Kim<sup>1,2,✉</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 인쇄전자연구센터 (Printed Electro-Mechanical System Research Center, Korea Institute of Machinery and Materials)

<sup>2</sup> 충남대학교 기계설계공학과 (Department of Mechanical Design Engineering, Chungnam Nat'l Univ.)

✉ Corresponding author: bmkim@kimm.re.kr, Tel: 042-868-7173

Manuscript received: 2011.7.26 / Accepted: 2011.8.31

*Recently, there are many issues about R2R printing technique for mass production of electronic devices. Among the various Roll-to-roll based printing techniques such as gravure, off-set, flexo and so on, "Gravure off-set printing technique" has an advantage of higher printing resolution. The printing unit of gravure off-set printing technique usually consists of plate roll, blanket roll and impresseur roll whose. Linear velocities should be synchronized each other for fine pattern printing. However, roller's manufacturing error and printing variations such as printing pressure, printing speed, roll stroke and so on actually affected their synchronization and thus the quality of fine pattern. In this paper, we analyzed the effective of synchronization error on printing quality. Also, this paper reviews the relative motion with each roll. And, this paper studies the synchronization error about its generation problem.*

Key Words: Synchronization Error (동기화 오차), Gravure Off-set (그라비아 오프셋), Roll-to-Roll Printing (롤투롤 인쇄)

### 1. 서론

최근 미디어 인쇄 기법을 통해 전자 재료를 도입함으로써 전자소자등을 연속으로 대량생산하는 롤투롤 인쇄 공정 기법이 많은 이슈가 되고 있다. 이러한 롤투롤 인쇄 공정 기법에는 오탁 제판을 이용한 그라비아 인쇄 기법,<sup>1,2</sup> 블록 제판을 이용한 플렉소 인쇄 기법,<sup>3</sup> 그라비아 인쇄 기법을 기반으로 하여 오탁한 제판으로부터 실리콘, 러버등의 블랑켓 롤로 패턴을 한번 전이 시킨 후 이를 인쇄하는 그라비아 오프-셋 기법<sup>4</sup> 등이 있다. 그라비아 오프-셋 기법은 기존 인쇄 공정에 비하여 미세한 선폭 인쇄가 가능하다는 장점이 있다. 하지만 그

라비아 오프-셋 인쇄 기법은 제판 롤, 블랑켓 롤, 임프레셔 롤의 3 개의 롤이 각각 서로 동기화되어 인쇄가 될 때 가장 좋은 패턴을 구현할 수 있으나 실질적으로 롤의 가공오차나 속도 동기화 오차등을 통해 선폭 불균일, 가지 현상, 단선등의 여러 문제점이 발생된다. 공정적 측면으로는 닙(NIP)의 길이, 롤간의 압력, 롤의 접촉시간, 롤의 스트로크(stroke), 인쇄 속도등을 들 수 있으며 장비적인 측면에서는 제판롤의 정밀도, 롤 외경의 평탄도, 모터 구동의 정밀도, 장비 조립의 정밀도, 인쇄 결과물 측정의 정밀도를 들 수 있다. 재료적인 측면에서는 잉크의 유변학적 레올로지,<sup>5,6</sup> 플레이트(패턴 롤 제작), 블랑켓의 전이성, 웹의 균일성과 같은

요인으로 나눌 수 있다. 이러한 공정, 장비, 재료의 요인들은 서로 영향을 주고 받으며 복합적으로 작용하게 된다.



Fig. 1 Example of bad printing

그 중 이러한 복합적인 요인들 중에 닙의 생성 길이, 롤의 스트로크와 같은 공정에 대한 요인들은 인쇄부에서 주로 발생할 수 있으며 이러한 인쇄부에서 발생하는 오차는 인쇄 패턴에 직접적인 영향을 준다. Fig. 1 은 인쇄불량의 예이다. 단선, 가지 현상, 선폭 불균일 등의 문제점이 나타나고 있다. 단선이란 인쇄된 패턴이 연속적으로 나타나지 않고 끊겨 전기적인 소자로서의 역할을 하지 못하게 됨을 의미한다. 가지 현상이란 제판을 제작하며 인쇄 후 의도하였던 패턴의 모양이 의도와는 다르게 인쇄되는 현상의 일종이며 Fig. 1 에서는 인쇄되는 방향의 아래 방향으로 잉크가 번지고 있다. 선폭 불균일이란 선폭이 제판과 다르게, 동일하지 않게 인쇄되는 현상이다. 위의 문제들에는 여러 요인들이 복합적으로 작용하여 나타나기 때문에 각각의 요인들을 모두 파악하여 분석하기는 어려운 점이 있다.

본 논문에서는 앞서 분류한 여러가지 요인들 중에 인쇄부에서 발생할 수 있는 공정에 대한 요인들에 초점을 맞추어 2 개의 롤 접촉에 따른 동기화 오차에 대한 분석을 수행하였다. 롤과 롤의 상대적 운동에 대하여 고찰하였으며 이때 발생할 수 있는 동기화 오차(synchronization error)에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 그라비아 오프셋 공정

Fig. 2 는 롤투롤 그라비아 오프셋 인쇄의 공정을 나타낸다.

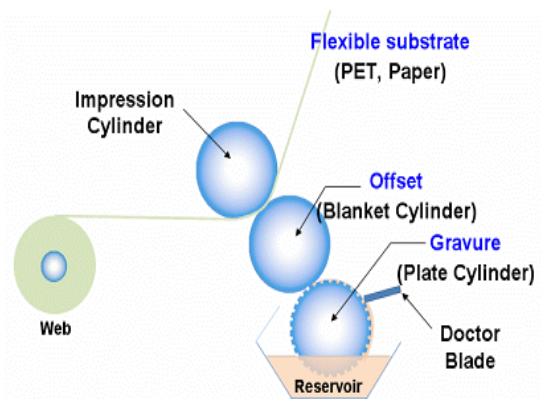


Fig. 2 R2R gravure off-set printing

잉크를 그라비아롤에 묻힌 후, 닥터 블레이드(Doctor Blade)를 이용하여 블레이딩한 후, 블랑켓롤(Blanket Cylinder)로 1 차 전이한다. 1 차 전이된 잉크는 다시 웹(Flexible Substrate)으로 2 차 전이가 되며, 이 때 잉크가 전이되는 두 롤 간에는 인쇄 압력을 준다.

제판롤(Plate Cylinder)과 블랑켓롤(Blanket Cylinder)은 선접촉 또는 면접촉을 이루며 상대회전운동을 하게 된다. 두 롤이 만나는 구간에서 동일한 선속도로 운동하게 된다면 미끄러짐은 발생하지 않는다. 하지만 두 개의 롤이 만나는 곳에서 다른 선속도를 가지게 된다면 롤간에 미끄러짐이 발생해서, 인쇄될 패턴에 불량이 발생하거나, 오차가 발생할 수 있다. 하지만, 이러한 선속을 맞추는 것이 어려운 이유는 롤간에 압력을 가해서 롤이 변형을 하며, 롤의 가공정밀도의 오차, 롤의 제어 오차 등이 있기 때문이다. 이러한 오차는 1 차 및 2 차 전이 되는 패턴의 형태에 심각한 영향을 준다.

## 3. 동기화 해석

롤과 롤의 구동에서 구조적, 상대적으로 바라보면 선속도/각속도의 문제가 중요하다. 각각의 롤이 가지고 있는 구조에서 발생하는 오차와 롤과 롤의 상대운동에서 발생하는 오차를 Fig. 3 은 설명하고 있다. 제판롤과 블랑켓롤이 접촉을 시작하여 끝나는 지점까지의 과정이 인쇄이다. 이 인쇄의 과정동안 두 롤은 각기 다른 선속도로 제어될 수 있다. 다른 선속도로의 제어는 인쇄 구간의 엇갈림을 발생시키고, 이는 인쇄에 큰 영향을 끼치게 된다.

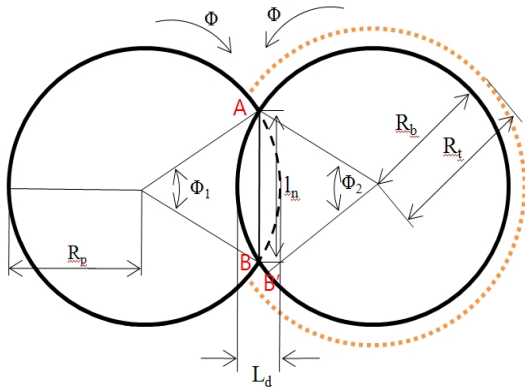


Fig. 3 schematics for analysis of synchronization error

Fig. 3 에서  $arc(BB')$ 의 길이가 미끄러짐의 양이며, 이를 동기화 오차로 표현하면,

$$arc(BB') = R_p \Phi_1 - R_t \Phi_2 \quad (1)$$

이라 할 수 있다. 여기서  $\Phi_1, \Phi_2, l_n$

$$\Phi_1 = 2 \sin^{-1} \frac{l_n/2}{R_p} \quad (2)$$

$$\Phi_2 = 2 \sin^{-1} \frac{l_n/2}{R_t} \quad (3)$$

$$l_n = \sqrt{(8R_t l_d - 4l_d^2)} \quad (4)$$

위의 (2), (3), (4)의 수식을 (1)에 대입하면

$$arc(BB') = R_p 2 \sin^{-1} \frac{\sqrt{(8R_t l_d - 4l_d^2)}/2}{R_p} - R_t 2 \sin^{-1} \frac{\sqrt{(8R_t l_d - 4l_d^2)}/2}{R_t} \quad (5)$$

수식 (5)에서  $R_p, R_t$  등의 값은 우리가 일반적으로 알고 있다고 생각하는 롤의 반경값이다. 하지만, 이는 대표값이며, 실제 반경인  $R_t$  값은 롤의 위치마다 모두 다르다. 여기서,  $R_t$  값의 변화에 따른 오차를 계산하는 것이 가능하며,  $R_t$  값의 편차가 어느정도 이내여야 하는지를 수학적으로 유도할 수

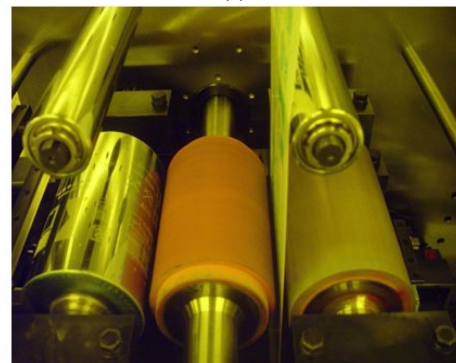
있다. 이러한 편차는 작으면 작을수록 롤간의 미끄러짐이 없어지므로, 미세선평의 인쇄가 가능해진다. 하지만, 롤의 런아웃 오차와 블랭킷 두께 오차 등의 기구부적인 오차는, 모터의 능동적인 동기화로 해결하는 것은 한계가 있다. 또한 그라비아 오프-셋의 경우는 세개의 롤이 동기화되어야 하므로, 문제가 복잡해진다. 따라서, 동기화가 수동적으로(Passive) 이루어질 수 있는 방안을 강구하는 것이 바람직하다. 하나의 롤은 모터로 구동하고, 다른 하나의 롤은 마찰력으로 돌아가게 하면, 동기화가 자동적으로 맞추어지게 된다.

#### 4. 실험

동기화 실험에 사용한 장비는 한국기계연구원(KIMM) 인쇄전자 연구센터에서 보유하고 있는 롤투롤(R2R) 2도 그라비아/그라비아 오프-셋 인쇄 장비이다.



(a)



(b)

Fig. 4 (a) R2R gravure/gravure off-set printing equipment; (b) gravure off-set printing unit

또한 실험에 쓰인 잉크는 이그잭스(EXAX) 그라비아 오프셋용 잉크를 사용하였으며, 블랭킷은 KNW사에서 제작한 PDMS 블랭킷을 사용하였고, 이를 장착하기 전에 언더블랭킷(Under-blanket)을 장착하였다.

Table 1 Properties of EXAX ink(Ag Paste)

Solid	80 ± 1Wt.%
Viscosity	20,000cps ± 20%
Resistivity	Less than 4.0 × 10 <sup>6</sup> cm

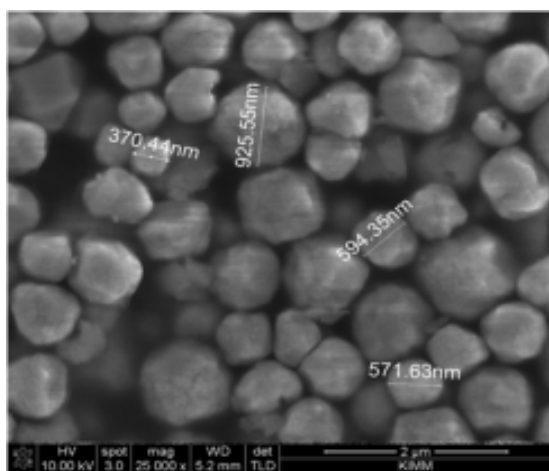


Fig. 5 Silver ink(SEM image)

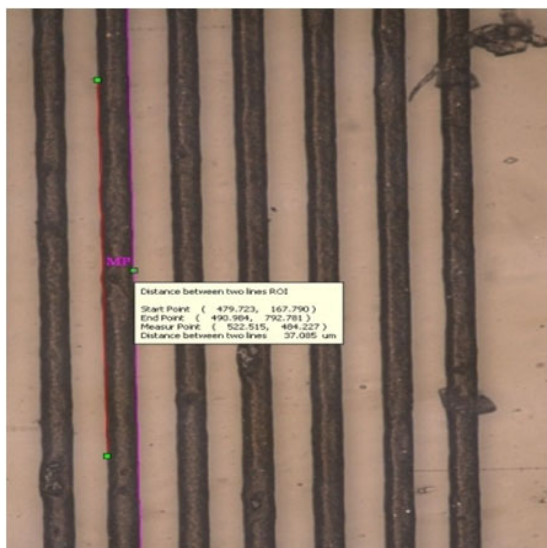


Fig. 6 Printing result after synchronization

실험을 위해서는 Fig. 4 와 같이 가운데에 있는 블랭킷 롤에 장착되어 있는 롤러를 탈거하고, 마찰력만으로 회전하게 하였다. 이를 통해 선속이 자동으로 맞추어 지게 되었고, 인쇄 불량이 상당히 감소한 깨끗한 인쇄 선을 얻을 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 롤투롤 그라비아 오프셋 인쇄 공정에서 인쇄 품질에 대한 공정 연구를 진행하였다. 그 중에서 인쇄에 중요한 영향을 주는 인쇄부, 즉 제판롤, 블랭킷롤 간의 동기화 관계에 대한 연구를 수행하였다. 동기화 오차는 선폭 불균일, 가지현상, 단선과 같은 인쇄 품질의 저하를 발생시킬 수 있다. 인쇄부에서 롤 간의 동기화 문제에 대하여 해석하였으며 동기화 오차에 대하여 오차가 발생하는 원리를 수식적으로 도출하였다. 동기화 오차는 롤과 롤이 만나는 깊이와 롤의 직경 변화에 따라 발생하며, 롤의 런아웃 오차와 블랭킷 두께오차 등의 기구부적인 오차에 의해서도 발생하는데, 이를 개별 모터제어를 통해 맞추는 것은 매우 어렵다. 따라서, 하나의 롤은 모터로 구동을 하고, 다른 하나의 롤은 마찰력으로 돌아가게 하여 동기화를 맞추었으며, 실험을 통해 양질의 인쇄를 달성할 수 있었다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부 과학기술국제화사업 글로벌 파트너쉽프로그램 (K20602000002)의 연구비 지원으로 수행 되었습니다.

참고문헌

1. Kim, D. S. and Lee, T.-M., "Technical Trend of Printed Electro-Mechanical System," Journal of the Korean Society for Mechanical Engineering, Vol. 46, No. 12, pp. 38-44, 2006.
2. Yoon, S. S., Kang, E. G., Yu, S. M., Heo, S. J. and Jo, J. D., "The Characteristic of Roll to Roll Gravure Offset Printing System," Proc. Korean Society of Mechanical Engineers Fall Conference, pp. 1721-1725, 2010.
3. Noh, J. H., Lee, T.-M., Jo, J. and Kim, D.-S., "Study

- on the Reliability of Gravure Offset Printing Depending on the Printing Pressure and Speed,” Proc. Korean Society of Mechanical Engineers Fall Conference, pp. 3069-3071, 2009.
4. Yin, X. and Kumar, S., “Flow Visualization of the Liquid-emptying Process in Scaled-up Gravure Grooves and Cells,” Chemical Engineering Science, Vol. 61, No. 4, pp. 1146-1156, 2006.
  5. Kim, C. H., Lee, T.-M., Kim, D. S. and Choi, B. O., “Distortion of Printed Pattern in Printed Electronics,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 8, pp. 74-79, 2007.
  6. Lee, T.-M., Noh, J.-H., Kim, I., Kim, D.-S. and Chun, S., “Reliability of Gravure Offset Printing under Various Printing Conditions,” Journal of Applied Physics, Vol. 108, No. 10, Paper No. 102802, 2010.
  7. Lee, T.-M., Lee, S.-H., Noh, J.-H., Kim, D.-S. and Chun, S., “The effect of Shear Force on Ink Transfer in Gravure Offset Printing,” Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 20, No. 10, Paper No. 125026, 2010.