

# 마이크로 그라비아 오프셋 프린팅에서의 유체 전이 공정에 관한 연구

강현욱\* · 황위희\* · 성형진† · 이택민\*\* · 김동수\*\*

## Study of Liquid Transfer Process for micro-Gravure-Offset Printing

Hyun Wook Kang, Hyung Jin Sung, Wei-Xi Huang, Taik-Min Lee and Dong-Soo Kim

**Key Words :** Ink transfer (잉크 전이), Liquid transfer (유체 전이), Contact angle (표면접촉각)

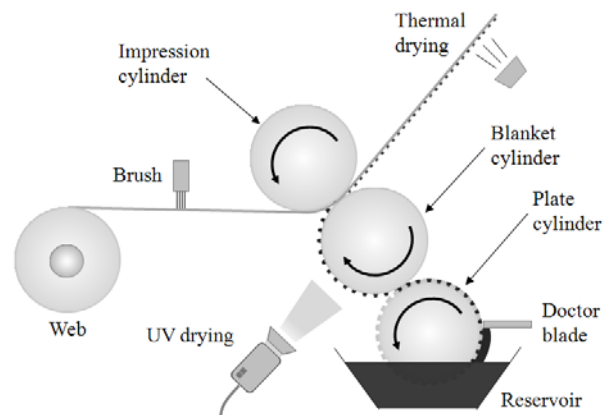
### Abstract

To increase the ink transfer rate in the micro-gravure-offset printing, the liquid transfer process between two separating plates is investigated. During the liquid transfer process, in which one plate is fixed and the other one moves vertically, a sessile droplet is separated into two droplets. The volume ratio of the two droplets depends on the contact angles of the two plates. In a numerical study of the ink transfer processes, liquid transfer between two parallel separating plates and between a trapezoidal cavity and an upward moving plate are simulated, as models of the printing of ink from the offset pad onto the substrate and the picking up of ink from the gravure plate by the offset pad, respectively. Also, in experimental study, to obtain various surface contact angles, chemical treatment, plasma treatment, and electrowetting- on-dielectric (EWOD) surface are considered. The transfer rate between two plates is calculated by analyzing the droplet images. From the results, the optimal surface contact angles of the units of the micro-gravure-offset printing can be characterized.

### 1. 서 론

본 연구에서는 최근 들어 미세 전자회로를 저렴하게 대량 생산하기 위한 방법으로 주목 받고 있는 PEMS (Printed Electro-Mechanical System) 공정에서 그라비아 오프셋 인쇄 기술에 관한 연구를 수행하였다. 그라비아 오프셋 인쇄는 여러 인쇄 기술 중에서 전통적 인쇄매체를 출력하는 기술로 널리 사용되어온 인쇄 방법으로서 톨투롤 공정을 이용하여 인쇄 매체의 대량 생산에 적합한 형태를 가지고 있다 (Fig. 1). 이러한 그라비아 오프셋 인쇄를 통하여 구현된 미세전자회로의 최적 성능 구현을 위해서는 인쇄 유닛에서의 잉크 전이 성능이 정확히 제어, 예측 되어야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 그라비아 오프셋 인쇄 기술을

미세 전자회로 제작에 응용함에 있어 인쇄 과정에서 이루어지는 잉크 전이 과정을 두 기관 사이의 유체 전이 과정으로 모사하고, 이를 수치해석과 실험을 통하여 다양한 공정변수들이 인쇄성능에 끼치는 영향에 대해 분석해 보았다.



**Fig. 1** Schematic of a typical micro-gravure-offset printing process.

† 책임저자, 회원, KAIST  
E-mail : hjsung@kaist.ac.kr  
TEL : (042)350-3027 FAX : (042)350-5027

\* KAIST 대학원 기계공학과

\*\* 회원, 한국기계연구원

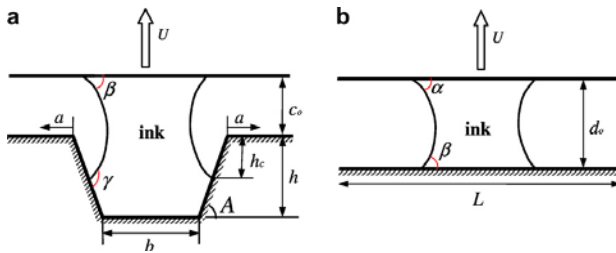


Fig. 2 Computational geometries (a) a trapezoidal cavity and a plate and (b) two parallel plates.

## 2. 수치해석

### 2.1 수치해석 기법

그라비아 옵셋 인쇄공정에서의 잉크 전이과정은 plate cylinder 의 패턴 내에 유입된 잉크가 doctor blading 과정을 거친 후 blanket cylinder 로 전이되는 과정과 blanket cylinder 에 전이된 잉크가 다시 substrate 로 전이되는 두 번의 전이과정을 갖는다. 본 연구에서는 이러한 잉크의 전이과정 중 plate cylinder 에서 blanket cylinder 로의 잉크 전이 과정을 Fig. 2(a), blanket cylinder 에서 substrate 의 잉크 전이 과정을 Fig. 2(b)와 같이 근사적으로 모델링 하였다. 수치해석 기법으로는 유한체적법을 사용하였으며 경계면을 움직임을 처리하기 위해 grid deformation 을 이용하였다. 또한 VOF(Volume of Fluid) 기법을 이용하여 서로 다른 두 상(Phase) 사이에서의 경계면을 효율적으로 모사하였다.

### 2.2 Liquid transfer process

Fig. 3 은 두 기관 사이에서 유체가 전이되는 과정을 순차적으로 보여주고 있다. 아랫면의 접촉각은 고정시킨 상태에서 윗면의 접촉각을 변화시키면서 유체의 전이과정을 비교하였으며 윗면의 접촉각이 증가할수록 유체의 전이율이 감소하는 것을 볼 수 있다. 전이 과정은 윗면의 움직임에 따라 유체가 늘어나면서 표면장력 효과에 의해 접촉면이 움직이게 되며 최종 단계에서 유체의 끊어짐을 확인할 수 있다. Fig. 4 에서는 윗면과 아랫면의 접촉각 뿐만 아니라 평판의 이동속도, 유체의 점도, 표면장력 계수, 중력 등의 설계인자들이 두 평판 사이의 유체전이에 미치는 영향을 분석하기 위하여 Table. 1 과 같이 case 1 에서 case 6 까지 6 가지 경우에 대한 수치해석 결과를 비교하여 보여주고 있다. 여기서 실선은 준정적 상태로 가정하였을 때의 이론치를 보여주고 있다. Fig. 5 는 공동에서 기관으로의 유체 전이 과정을 보여주고 있다.

Table 1 Parameters of numerical analysis

	Re ( $= \rho UL / \mu$ )	Ca ( $= \mu U / \sigma$ )	Fr ( $= gL / U^2$ )
Case 1	0.02	0.01	0
Case 2	0.04	0.02	0
Case 3	0.004	0.05	0
Case 4	0.02	0.1	0
Case 5	0.02	0.01	0.02
Case 6	0.004	0.01	0.004

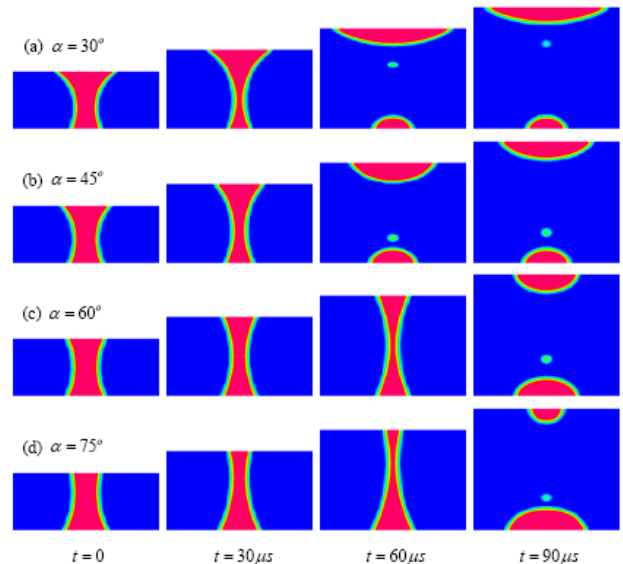


Fig. 3 Sequential pictures of liquid transfer between two separating plates.

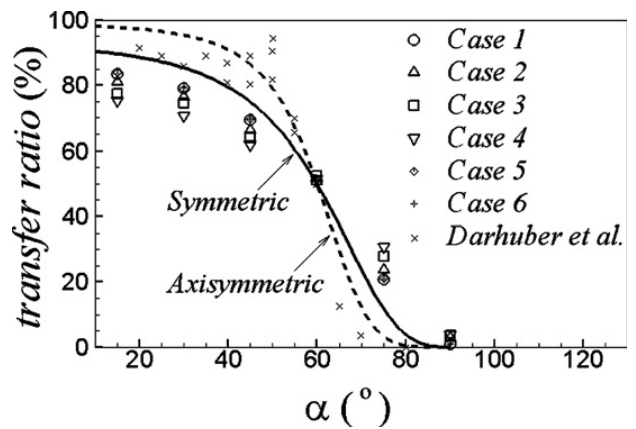
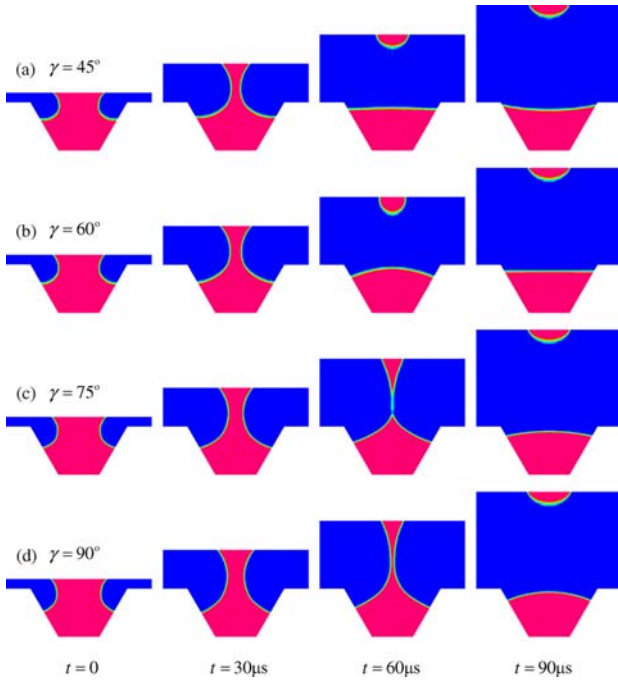


Fig. 4 Transfer ratio of the liquid between two parallel plates with  $\beta = 60^\circ$  as a function of  $\alpha$ . The solid and dash lines denote the theoretical solutions under the quasistatic assumption for symmetric and axisymmetric geometries, respectively.



**Fig. 5** Instantaneous contours of the volume fraction of the liquid between cavity and plate with  $\beta = 60^\circ$ .

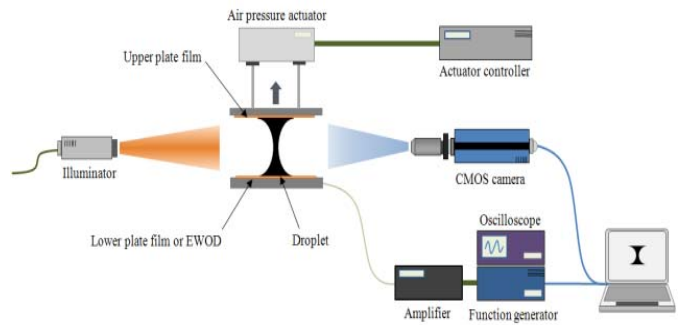
### 3. 실험

#### 3.1 실험 설계

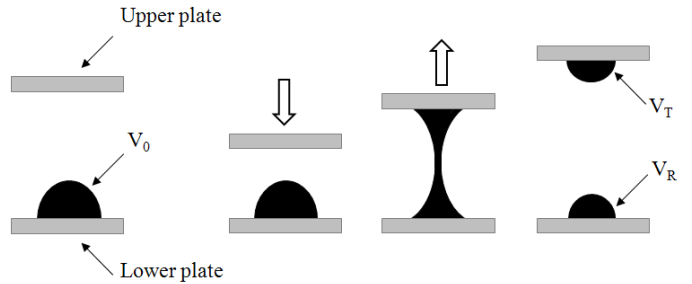
두 기관 사이의 잉크 전이에 관한 실험적 접근을 위하여 Fig. 6 과 같이 실험 장치를 구성하였다. 실험 장치는 기계적 구동을 통하여 움직이는 윗면과 고정된 형태로 설치된 아랫면으로 구성되어 있다. 실험 과정은 아랫면 위에 일정한 접촉각을 유지한 채 물방울을 놓은 후, 윗면이 기계적 장치를 통하여 아래로 이동하게 된다. 윗면과 물방울의 접촉이 일어난 후 윗면은 다시 위로 이동하게 되고, 물방울은 일정한 비율로 아랫면과 윗면으로 분리되어 진다 (Fig. 7). 이 때 일어나는 잉크 전이 과정을 고속 카메라를 통하여 관찰하고, 측정된 결과를 바탕으로 각 평면의 접촉각에 따른 유체 전이율을 측정하였다. Table.2 는 수행된 실험의 조건을 보여준다. 기관의 표면의 에너지를 나타내기 위하여 다양한 접촉각을 전기 습윤 장치 (electrowetting-on-dielectric)와 플라즈마 표면 처리, 계면활성제 (surfactant)를 통한 화학적 처리 등과 같은 몇 가지 방법을 이용하여 실험적으로 구현하였다. Fig. 8 은 전기 습윤 장치를 이용하여 얻어진 PMMA, Teflon coating 표면 위에서의 다양한 접촉각을 보여주고 있으며, Fig. 9 은 계면활성제를 DI water 에 첨가하였을 때 PET film 위에서 얻어지는 접촉각에 대한 결과를 보여주고 있다. Fig. 10 은 플라즈마 표면 처리를 통해 얻어진 접촉각을 보여주고 있다.

**Table 2** Parameters used in the experiment

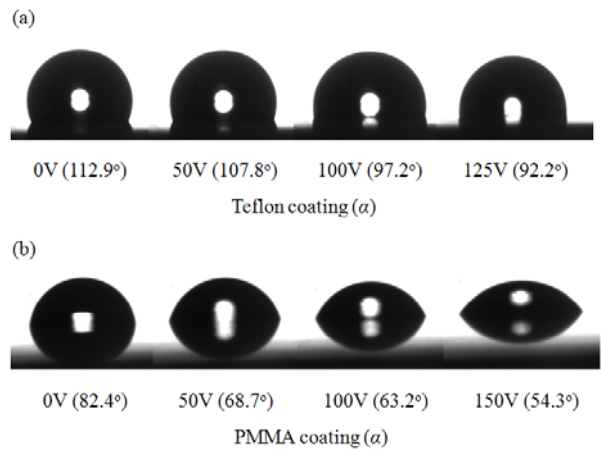
Parameter	Value
Upper plate downward velocity	0.15 m/s
Upper plate upward velocity	0.15 m/s
Lower plate velocity	0.00 m/s
Volume of droplet	4.0 $\mu\text{l}$



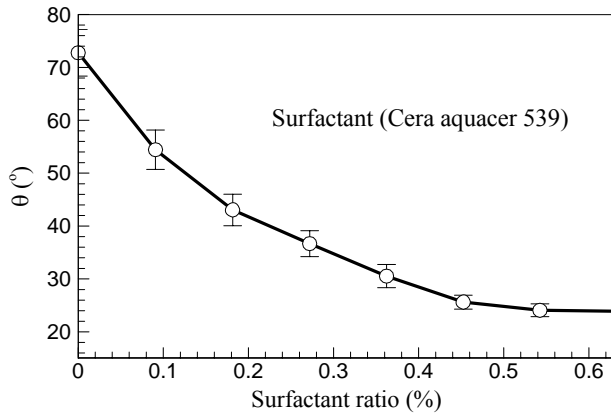
**Fig. 6** Schematic of experimental setup.



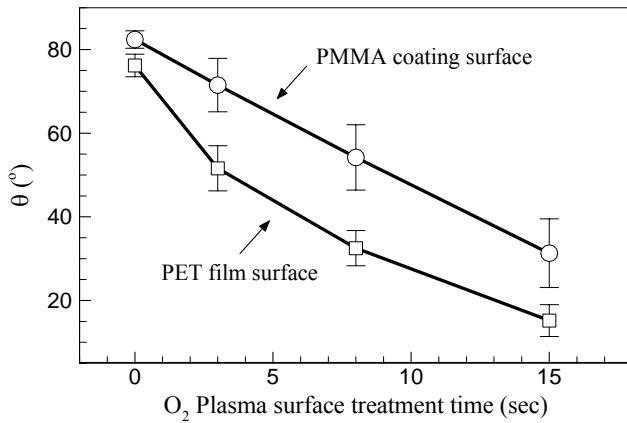
**Fig. 7** droplet separation process.



**Fig. 8** Contact angles on the electrowetting-on-dielectric.



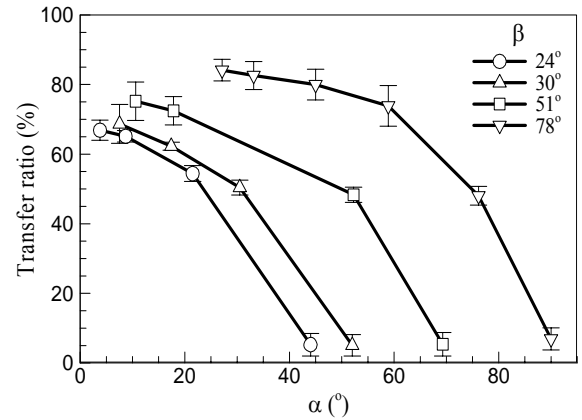
**Fig. 9** Contact angle depending on the O<sub>2</sub> plasma surface treatment time.



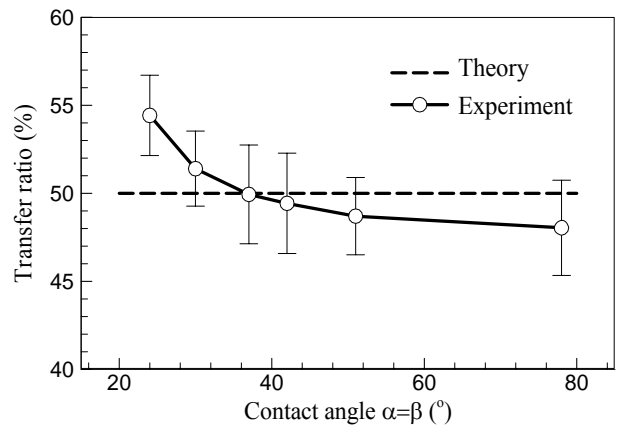
**Fig. 10** Contact angles depending on the surfactant ratio.

### 3.2 실험 결과

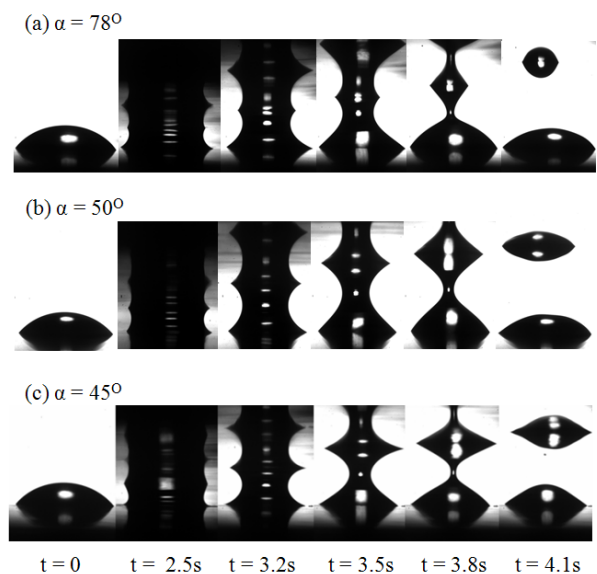
접촉각에 따른 두 기판 사이에서의 유체 전이 결과를 Fig. 11 에서 살펴볼 수 있다. 수치 해석 결과와 마찬가지로 윗면의 접촉각이 감소할수록 유체의 전이율이 증가하고 있으며, 또한 아랫면의 접촉각이 증가할수록 유체의 전이율이 증가함을 알 수 있다. 하지만 실험 결과를 통하여 윗면의 접촉각이 낮아질수록 유체 전이율이 수치해석 결과와 조금 다른 결과를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 표면 에너지가 큰 영역에서 미처 고려되지 못한 동적 표면 에너지와 같은 인자들의 영향으로 분석된다. Fig. 12 는 윗면과 아랫면의 접촉각이 같은 경우의 유체 전이율 결과를 보여 주고 있다. 이 때의 전이율은 낮은 접촉각 부분을 제외하고 50% 근처 값을 보임을 알 수 있다. Fig. 13 은 실험을 통하여 관찰된 유체 전이 과정을 보여주고 있으며, 수치해석 결과와 동일한 결과를 보여준다.



**Fig. 11** Experimental result of liquid transfer ratio.



**Fig. 12** Transfer ratio for  $\alpha = \beta$ .



**Fig. 13** Sequential pictures of droplet separation.

#### 4. 결 론

마이크로 그라비아 오프셋 공정에서의 잉크 전이 공정을 살펴보기 위해 두 기관 사이의 유체의 전이 과정을 실험과 수치해석적인 방법을 통하여 살펴보았다. 수치 해석 결과를 통하여 두 기관 사이의 유체 전이공정에서는 여러 변수들 가운데 기관의 접촉각의 크기가 가장 중요한 인자임을 알 수 있었다. 또한 두 기관 사이의 유체 전이에 관한 실험을 위하여 다양한 형태의 접촉각을 물리적, 화학적 방법을 통하여 실험적으로 구현하였으며, 이를 이용하여 기 구성된 실험 장치를 통하여 유체의 전이율을 실험적으로 구하였다. 실험 결과는 수치해석 결과와 비교적 동일한 값을 보이고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과를 통하여 그라비아 오프셋 프린팅 기술에서 잉크 전이 과정의 핵심 요소인 substrate, plate cylinder, blanket cylinder 의 표면 접촉각과 잉크의 특성을 선정하기 위한 조건을 제시 할 수 있는 기반을 마련하였다.

#### 후 기

이 논문은 2008 년도 정부(지식경제부)의 재원으로 산업기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

#### 참고문헌

- (1) M. Pudas, "Gravure-offset printing in the manufacture of ultra-fine-line thick-films for electronics," Oulu University Press, 2004.
- (2) C. A. Powell et al., International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow **12**, 338, 2002.
- (3) P. G. de Gennes, "Wetting: statics and dynamics", Reviews of Modern Physics., *57*, 3 (Part I), pp. 827-863, July 1985.
- (4) M. Lahti, S. Leppävouri, V. Lantto, "Gravure-offset-printing technique for the fabrication of solid films", Applied Surface Science., Vol. 142, pp. 367-370, 1999.
- (5) E. K. Gillett et al., "Gravure process and technology", Gravure Association of America., Gravure Education Foundation., 1991.
- (6) Odiotti, M.E., Colaprico, V., "Gravure process and technology", Gravure Association of America, Gravure Education Foundation. 1991.
- (7) Mikami, Y., Nagae, Y., Mori, Y., Kuwabara, K., Saito, T., Hayama, H., Asada, H., Akimoto, Y., Kobayashi, M., Okazaki, S., Asaka, K., Matsui, H., Nakamura, K., Kaneko, E., "A new patterning process concept for large-area transistor circuit fabrication without using an optical mask aligner", *IEEE T. Electron Dev.* 41(3), 306-314. 1994.