

잉크 및 기판 특성 변화에 따른 잉크젯 프린팅 패턴의 형상 분석

신권용*, 김명기*, 황준영*, 강희석*, 강경대*, 오재훈**, 이상호*
 한국생산기술연구원*, 한양대학교**

Morphological Analysis of Inkjet Printed Patterns on characteristics of Inks and Substrates

Kwon-Yong Shin*, Myong-Ki Kim*, Jun Young Hwang*, Heuseok Kang*, Kyungtae Kang*, Je Hoon Oh** Sang-Ho Lee*
 Korea Institute of Industrial Technology*, Hanyang University**

Abstract - Inkjet technology has various merits as a direct patterning process in plenty of industrial applications, but critical issue such as coffee ring effect should be overcome for the application to an industrial manufacturing process. In this paper, we introduced the morphological analysis of inkjet printed patterns on the characteristics of inks and substrates. In case of Triethylene Glycol Monoethyl Ether based ink, the coffee ring effect was observed. However, an ethanol based ink showed the round shaped morphology under the same printing conditions and surface conditions. An ink consisted of the solvent with high boiling point results in coffee ring effect. This experimental results showed that the morphological change of the printed droplet is caused by the main solvent of ink, rather than the metal content, viscosity and surface tension.

1. 서 론

최근에 전자산업에 있어서 친환경적인 요인과 부합되어 잉크젯 프린팅 기술이 대두되고 있다. 잉크젯 기술은 공정의 단순화에 따른 비용절감과 부산물의 획기적인 감소에 따른 환경 친화적인 요소를 다수 포함하고 있다. 특히, OLED, O-TFT, RF-ID, PCB 분야 등 다양한 전자산업분야의 제조기술로써 응용하고자, 전도성고분자나 실버(silver) 나노 분말 잉크를 이용한 전도성 라인 패턴링(line patterning)에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1-3]. 현재 잉크젯 프린팅 기술에 있어서 분사를 위한 콜로이드 잉크는 많은 연구가 진행된 결과 거론되어온 많은 문제점이 해결된 상태이지만, 프린팅 패턴의 형상에 따른 신뢰성 저해 요인들은 현재 주된 논점 중 하나가 되고 있다. 잉크젯 프린팅 기술에 있어서 커피링 현상으로 대표소결 방법 등 다양한 방법들이 시도되고 있다[4-6]. 그러나 위에서 연구된 방법들은 기판, 잉크, 패턴에 특별한 조건이나 방법을 부여해 줌으로써 구현하는 방법으로, 때로는 특정 상태에서의 사용이 제약을 받을 수 있다. 이에 본 논문은 다양한 표면 조건에 대해 서로 다른 특성의 두 가지 잉크에 대하여 잉크의 특성이 프린팅 패턴의 변화에 미치는 영향 분석을 통한 잉크젯 프린팅 기술의 일되는 이런 저해 요인은 기술의 발전에 치명적인 문제로 대두되고 있다. 이런 불필요한 현상의 제거를 위해서 현재 기판 종류에 따른 프린팅 형상의 조절 방법, 기판의 표면 특성 변화를 통한 패턴 형성 조절 방법, 다른 종류의 솔벤트를 일정 비율과 방법으로 혼합하는 방식에 의한 조절 방법, 레이저를 이용한 부분 반적인 사용 가능성을 연구하였다. 이에 따라, 잉크젯 프린팅 패턴의 커피링 현상은 기판의 상태에 따른 영향 없이, 잉크의 점도나 표면장력에 따른 영향보다는 주 솔벤트의 증발율에 따른 영향을 받는 것으로 판명되었으며, 높은 증발율을 갖는 주 솔벤트 기판 잉크가 커피링 현상을 억제하는데 매우 효과적이었다.

2. 실험

2.1 실험 장치 및 재료

본 실험을 위하여 기판은 편평도가 우수한 실리콘(Silicon) 웨이퍼를 사용하였으며, 분사를 위한 실버잉크는 직경이 20 nm인 실버 입자가 각각 33.7 wt% (Advanced Nano Products Co. Ltd., Chungcheongbuk-do, Korea), 30.0 wt% (Daejoo Electronic Material Co. Ltd., Gyeonggi-do, Korea), 함유된 전도성 잉크를 사용하였다. <표 1>은 각각의 전도성 실버 잉크에 대한 특성을 나타낸다. 분사 장비는 MicroFab (Plano, TX, USA) 사의 50 μm 직경의 싱글노즐 시스템

<표 1> 상온에서의 잉크 특성

	ANP ink	Daejoo ink
주 솔벤트 종류	TGME*	Ethanol
주 솔벤트 (B. P.) (°C)	255.0	78.4
실버 입자 함유량 (wt%)	33.7	30.0
점도 (cp)	12.8	9.5
표면장력 (mN/m)	35.9	25.0
비저항 (Ω·cm)	5.4	5.6

*TGME : Triethylene Glycol Monoethyl Ether

<표 2> 서로 다른 특성의 기판에 대한 접촉각과 표면에너지 변화

t _{UV/O₃} (min)	접촉각 (°)			표면에너지 (mN/m)
	DI water	HCONH ₂	CH ₂ Cl ₂	
처리 전	118.3	101.1	92.2	11.9
3	87.0	29.6	83.9	15.5
6	58.6	12.1	79.1	41.8

*t_{UV/O₃} : UV/O₃ 처리 시간

를 사용하였으며, 스테이지는 PTC 온도조절 장치를 일체화하여 분사 시 기판 온도를 제어할 수 있도록 하였으며, 노즐로부터 분사된 잉크 액적을 관찰하기 위해서 잉크젯 구동용 신호와 동기화된 고휘도 LED 광원 및 CCD 카메라를 이용하여 전기적인 구동신호에 따른 액적의 크기, 속도, 궤적 등의 분사 특성을 관찰하였다.

2.2 실험 방법

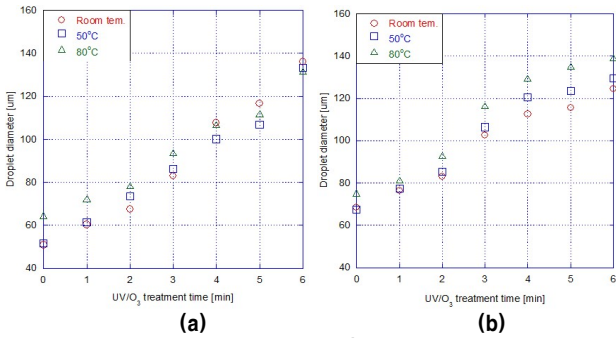
분사 전 기판의 세척을 위해 이소프로필알콜과 아세톤에 각각 5분씩 초음파 세척 후 DI 워터로 세척한 후 100 °C 오븐에서 10분 동안 건조 시켜준다. 기판의 표면처리를 위해 fluorocarbon (FC) 용액을 스핀 코팅 장치를 이용하여 코팅함으로써 기판을 소수성화 하였다[4]. 그 후 소수성화한 기판의 표면에너지를 조절하기 위해 소수성 코팅 후 기판을 각각 0분, 3분 6분 동안 UV/O₃ 처리하였으며, UV-오존 처리를 마친 기판은 분사 시 PTC 온도조절 장치를 이용하여 기판의 표면 온도를 각각 실온, 50 °C, 80 °C로 유지하면서 실험을 하였다. 커피링 현상의 변화를 관찰하기 위해서 액적을 500 μm 간격으로 100 (10×10) 액적을 분사 후 관찰하였다.

3. 결과 및 토의

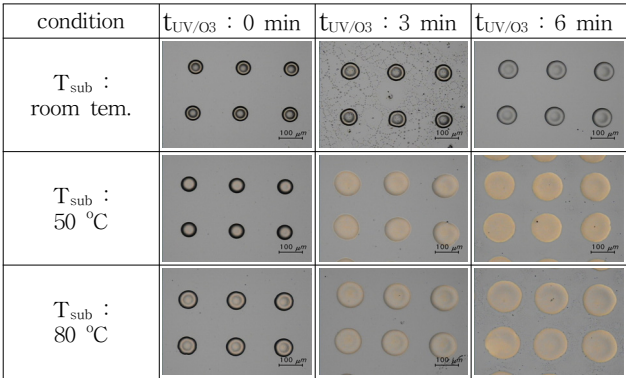
3.1 분사 액적의 크기

<그림 1>은 기판 가열 온도에 따른 UV/O₃ 처리 시간이 분사된 액적의 크기에 미치는 영향을 나타내고 있다. UV/O₃ 처리 시간의 증가는 기판의 표면에너지 증가를 초래하여 액적의 크기를 점차적으로 증가시키게 되며, 기판의 가열 온도의 증가는 주 솔벤트의 증발을 촉진시켜 액적이 기판에 빠르게 고착되게 한다. 따라서 상대적으로 높은 기판온도에서 분사된 액적의 크기가 낮은 기판온도에서 분사된 액적의 크기에 비해 커지게 된다.

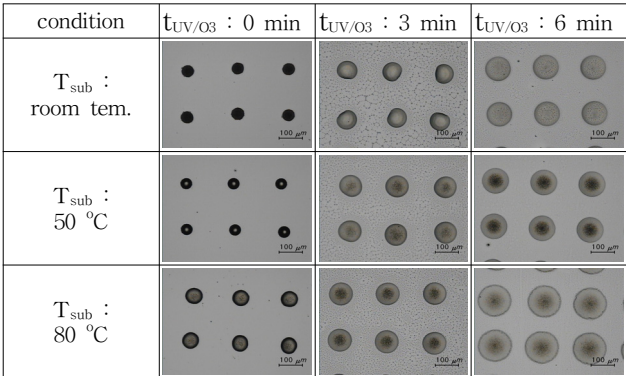
<그림 2, 3>은 서로 다른 특성의 잉크에 대하여 기판의 표면에너지 및 가열 온도 변화에 따른 광학현미경 이미지를 보여 주고 있다. 기판의 특성에 따라 동일한 조건으로 분사된 액적들은 서로 다른 형상을 나타내며, 주목할 점은 기판의 특성에 무관하게 TGME 기판 잉크에서는 일관되게 커피링 현상이 발생하며, 에탄올 기판 잉크에서는 동일한 현상이 발생하지 않



〈그림 1〉 기판 가열 온도에 따른 UV/O₃ 처리 시간이 액적 크기에 미치는 영향: (a) ANP ink; (b) Daejoo ink



〈그림 2〉 TGME 기반 잉크에 있어서 기판의 상태 변화에 따른 액적의 광학현미경 이미지 (t_{UV/O₃} : UV/O₃ 처리 시간, T_{sub} : substrate heating temperature)



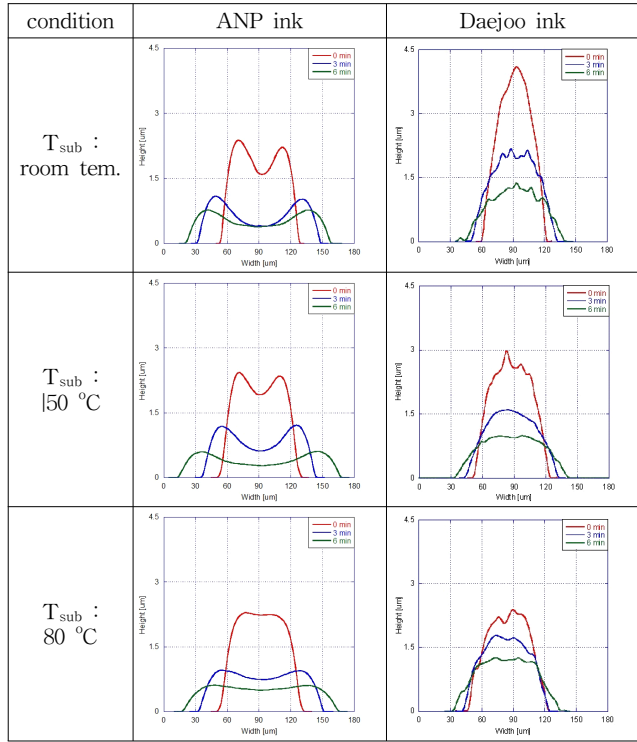
〈그림 3〉 에탄올 기반 잉크에 있어서 기판의 상태 변화에 따른 액적의 광학현미경 이미지 (t_{UV/O₃} : UV/O₃ 처리 시간, T_{sub} : substrate heating temperature)

왔다.

3.2 커피링 현상
 〈그림 4〉는 서로 다른 특성의 잉크에 대한 기판의 상태 변화에 따른 분사 액적의 단면 형상의 변화를 나타낸다. 첫째로 잉크의 특성 차이에 의해서 커피링 현상의 발생 유·무가 확연하게 차이가 나며, 둘째로 같은 표면에너지 값을 갖는 기판에서는 기판의 가열온도의 증가가 커피링 현상의 발생을 억제한다. 이는 주 솔벤트가 높은 증발율을 갖을수록 실버 잉크 패턴에 있어 커피링 현상의 발생은, 〈표 1〉의 잉크의 특성 데이터에서 보이듯이, 서로 비슷한 특성을 갖고 있지만 확연하게 구분되는 주 솔벤트의 증발온도 차이에서 보듯이, 기판의 특성 변화에 무관하게, 잉크의 점도나 표면장력에 따른 영향보다는 주 솔벤트의 증발율에 따른 영향을 받는 것으로 판명되었으며, 높은 증발율을 갖는 주 솔벤트 기반 잉크가 커피링 현상을 억제하는데 매우 효과적이었다.

4. 결 론

본 논문은 다양한 표면 조건에 대해 서로 다른 특성의 두 가지



〈그림 4〉 서로 다른 특성의 잉크에 대한 기판의 상태 변화에 따른 액적의 단면 형상의 변화 (T_{sub} : substrate heating temperature)

잉크에 대하여 잉크의 특성이 프린팅 패턴의 변화에 미치는 영향 분석을 통한 잉크젯 프린팅 기술의 일반적인 사용 가능성을 연구하였다. 잉크의 특성 차이에 따라 동일한 조건으로 분사된 액적들은 크기 및 형상에 있어 확연한 차이를 보였으며, 특히 주 솔벤트의 증발율에 따라 커피링 현상의 발생이 좌우되는 것으로 판명되었다. 따라서 잉크젯 프린팅 패턴에 있어서 커피링 현상의 억제를 위해서는 주 솔벤트가 높은 증발율을 갖는 잉크의 선택이 무엇보다도 중요하다고 판단된다.

5. 후 기

본 연구는 한국생산기술연구원 “Directing Writing 기법을 이용한 미소 부품 제조기술 개발” 사업의 지원으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

[1] Ahn, D. H., Kwon, H. T., “Situation and Development of inkjet printing technology”, *Journal of Korean information display Society*, Vol. 5, No. 3, 2004
 [2] Kim, M. K., Kang, H. S., Kang, K. T., Cho, Y. J., Park, M. S., Kim, Y. J., “The fluid property dependency on ink jetting characteristics”, *International Conference on Mechatronics*, pp. 256-260, 2005
 [3] Tang, K. C., Liao, E., Ong, W. L., Wong, J. D. S., Agarwal, A., Nagarajan, R., Yobas, L., “Evaluation of bonding between oxygen plasma treated polydimethyl siloxane and passivated silicon”, *Journal of Physics*, vol. 34, PP. 155-161, 2006
 [4] Thijs H. J. van Osch, Jolke Perelaer, Antonius W. M. de L., and Ulrich S. S., “Inkjet Printing of Narrow Conductive Tracks on Untreated Polymeric Substrates”, *Advanced Materials* 20 343-345, 2008
 [5] Angela L. Dearden, PatrickJ. Smith, Dong-Youn Shin, Nuno Reis, Brian Derby, Paul O'Brien, “ A Low Curing Temperature Silver Ink for Use in Ink-Jet Printing and Substrate Production of Conductive Tracts”, *Macromolecular Rapid Communications* 26 315-318, 2005
 [6] Berend-Jan de Gans and Ulrich S. S., “ Inkjet Printing of well-Defined Polymer Dots and Arrays”, *Langmuir* 20 7789-7793, 2004