

유기EL 잉크 점성에 따른 잉크젯 분사 특성

강경태[†] · 김명기 · 김혜진 · 황준영 · 강희석 · 박문수

[†]한국생산기술연구원 생산시스템본부 메카트로닉스팀

The Viscosity Dependency of the Organic Electroluminescent Diode On Ink-Jetting Characteristics

K.T. Kang[†], M.K. Kim, H.J. Kim, J.Y. Hwang, H.S. Kang and M.S. Park

[†]KITECH Mechatronics Team

ABSTRACT

Ink-jetting characteristics of pulse width and pulse amplitude for a piezoelectric ink jet printer driver have been mapped with various polymer EL ink. In this study, the jetting characteristics have been classified into 4 regime; no jetting, unstable jetting, stable jetting, and spraying, and the importance of fluid viscosity on the scope of the stable jetting regime has been emphasized. The relation between jetting speed and the width and amplitude of driving signal has also been investigated and the effect of the speed on the jetting characteristics has been discussed.

Key Words : Piezo inkjet head, Polymer LED, Viscosity, Surface tension

1. 서 론

브라운관 기술이 탄생한 이래로, 디스플레이 기술은 더 넓고, 더 얇고, 더 밝은 장치로 발전을 거듭해 왔으며, 특히, 최근의 디스플레이 기술 진보에 대한 요구는 과거 어느 때보다도 크다. 그러나, 반도체 제조 공정에 기반을 두고있는 디스플레이 제조 기술 및 제조 장비의 한계가 차세대 디스플레이 기술 실현의 주요 장애물로 작용하고 있으며, 따라서 제조 기술/장비의 혁신이 절실히 요구되는 실정이다.

잉크젯 프린팅 기술은 가장 유력한 차세대 디스플레이 핵심 제조 기술 중의 하나일 뿐 아니라 기술의 적용 가능 분야가 광범위하여, 다양한 종류의 잉크에 대한 분사 특성 제어에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 잉크젯 분사 특성은 유체의 성질부터 잉크젯 헤드 및 노즐의 형상, 헤드를 구동하는 전기적 신호 특성까지 많은 인자들과 관련이 있다 [1, 2]. 따라서 잉크의 고유성질인 점도와 밀도, 표면장력 등이 잉크 분사 특성에

미치는 메커니즘을 규명하고, 잉크젯 헤드의 제어 인자와의 상호관계를 파악하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 온 디맨드 방식의 단일 잉크젯 분사 노즐(Single drop on demand inkjet nozzle)을 이용한 고분자 EL 프린팅 실험을 통하여 잉크 분사 특성의 유체 점성 의존성을 조사하였다.

2. 실험장비

Fig. 1은 실험에 사용된 잉크젯 분사 장치 개략도이다. 실험 장치는 지름은 히터를 장착한 50 μm 의 단일 노즐과 압전 액츄에이터(Piezoelectric actuator)로 구성된 프린터 헤드(Micro Fab, USA), 잉크젯 구동용 전기 신호 공급장치, 렌즈를 장착한 CCD 카메라 및 동조된 광원을 위한 Strobe LED 시스템, 2차원 이송장치, 제어용PC, 비디오 모니터 등으로 구성되어 있다. 실험 장치의 실제 사진은 Fig. 2에 나타내었다.

사용된 고분자 EL 잉크의 기본 물질은 MEH-PPV (MEH-Phenylenevinylene) 이며, 서로 다른 종류의 용매를 적용한 두 가지의 고분자 EL 잉크에 대하여 연구하였다.

[†]E-mail : ktkang@kitech.re.kr

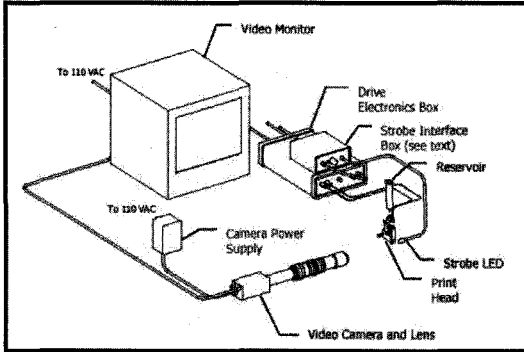


Fig. 1. Schematic diagram of ink jet system.

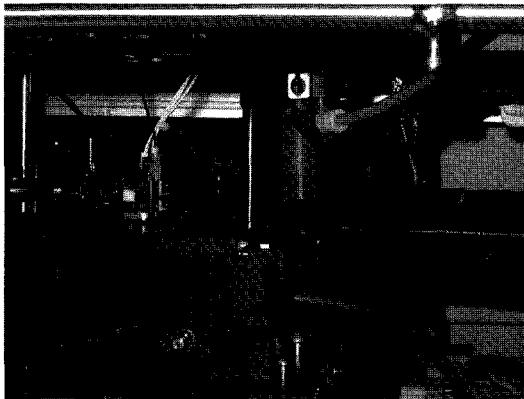


Fig. 2. Photograph of ink jet setup.

Table 1. Ink properties for Fluid samples

Ink	Temperature [°C]	Viscosity [cP]	Density [g/ml]	Surface Tension [dyne/cm]
Fluid A	21	2.1	0.91	38.0
Fluid B	21	4.1	0.96	31.5
	31	1.9	-	-

Fluid A : Solution based on cyclohexyl-benzene mixture
 Fluid B : Solution based on a-tetralone mixture

Table 1에는 각 잉크의 유체역학적 물성을 측정하여 나타내었으며, 잉크를 만드는데 사용된 용매의 종류를 Table의 아래에 표기하였다. 점도 측정은 BROOK FIELD DV-II 점도계를 이용하였으며, 표면장력은 Du Nouy's Interfacial Tensionmeter 514-B2를 사용하여 측정하였다.

노즐 주변에는 PTC 히터를 설치하여 작동 온도를 제어할 수 있도록 하였다. 잉크젯은 1 kHz주기로 분사

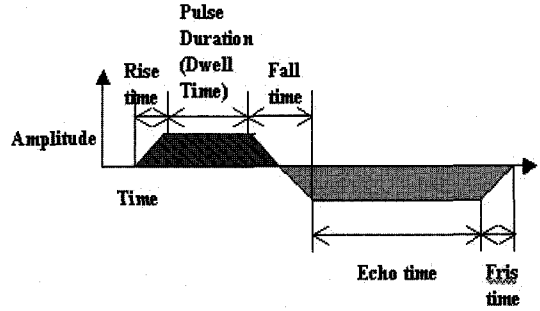


Fig. 3. Electronics signal for ink-jet driving.

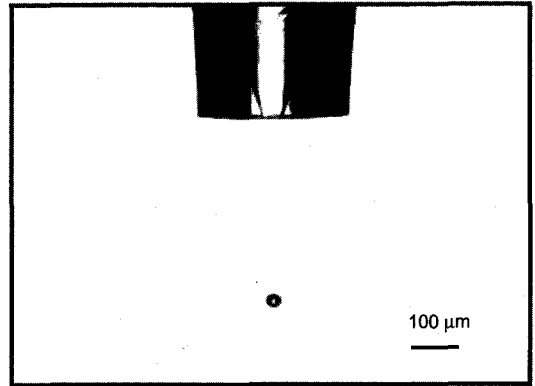


Fig. 4. Photo image of an ink jetted droplet.

되도록 하였으며, 구동 신호의 강도 (Pulse amplitude)와 지속시간 (Pulse duration)을 다양하게 변화시키면서 유체에 따른 잉크 분사 특성을 조사하였다. Fig. 3은 압전 잉크젯을 구동하는 전기적 신호의 모양을 나타낸다. 이때, “Rise time”와 “Fall time”, “Final rise time”(Fris Time)은 모든 실험에 대하여 5 μs로 일정하게 유지시켰다. “Echo time”에 대한 “Dwell time”의 비율 역시 0.5로 일정하게 유지되도록 실험을 수행하였다.

잉크젯 구동용 신호와 동기 된 고휘도 LED광원 및 CCD 카메라를 이용하여 얻은 이미지를 분석하여, 액적의 크기, 속도, 궤적 등의 분사 특성을 측정하였다. Fig. 4는 pulse amplitude 및 pulse dwell time이 각각 38 V 및 47 μs이고 액적이 노즐로부터 분사된 시점으로부터 167 μs 경과된 사진이다.

3. 결과 및 토의

Fig. 5에 상온(21°C)에서 Fluid A의 잉크 분사 조건을 그래프로 나타내었다. “No jetting” 조건은 잉크 방

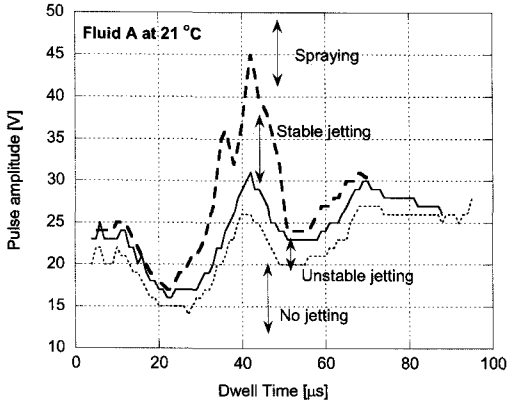


Fig. 5. Ink jetting map for Fluid A at 21°C.

울이 나오지 않음을 의미한다. “Unstable jetting”은 잉크 방울이 나오기는 하지만 휘어진 모양을 보이는 영역이다. “Spraying”은 분사방울이 고정된 궤도 없이 나오는 것을 의미한다. 오직 “Stable jetting” 조건만이 패턴을 그리기에 유용하다.

Fig. 5에서 볼 수 있듯이 노즐의 압전 액추에이터를 구동하는 Pulse amplitude를 증가시키기에 따라서 No jetting → Unstable jetting → Stable jetting → Spraying의 순서로 분사 특성이 변화하는 점은 모든 영역에서 공통적으로 나타난다. 그러나 그림에서 pulse duration time이 변화함에 따라 정량적인 특성 영역의 크기는 크게 변화함을 알 수 있다. 더욱 흥미로운 점은 잉크 분사 특성이 달라지는 각종 경계선의 Pulse amplitude와 Pulse duration의 관계가 비선형적이며, 다수의 모드를 갖는 조화함수의 형태를 나타내고 있다는 것이다.

굵은 점선으로 표시된 No jetting → Jetting 경계선의 경우, Dwell time이 22 μs에서 15 V의 최소값을 갖고, 이후 42 μs에서 26 V의 값을 갖을 때까지 증가하다가 이후 다시 감소한다. 실선으로 표시된 Unstable jetting → Stable jetting 경계선이나 쇄선으로 표시된 Jetting → Spraying의 경계선의 경우는 그 변화폭이 더욱 더 심해져서 22 μs → 42 μs에 대해서 각각 16 V → 31 V 및 16 V → 45 V로 각각 변화한다. 결과적으로 Stable jetting 영역의 크기는 Dwell time이 42 μs 부근에서 최대값을 갖는다.

그러나, 또 한편으로는, 이러한 특성 경계선의 복잡하고 비선형적인 변화 특성에도 불구하고, dwell time 변화에 대한 각 경계선의 정성적인 특성이나 모드의 위치는 상호간에 잘 일치하는 특징이 있다. 이는 jetting, spraying 등의 분사 특성이 공통적인 인자에 의하여 결정되고 있음을 암시한다.

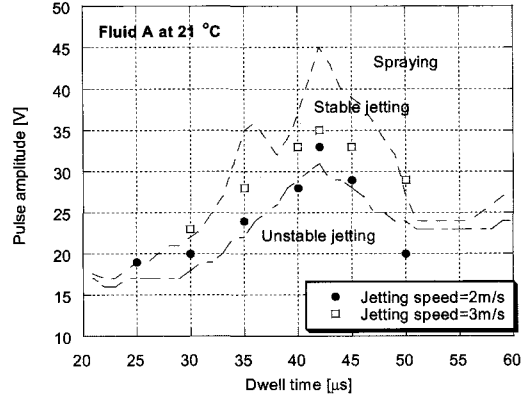


Fig. 6. Jetting speed in the Stable jetting zone for Fluid A.

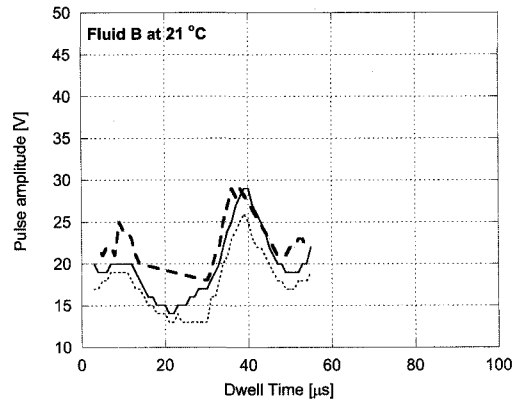


Fig. 7. Ink jetting map for Fluid B at 21°C.

각 분사 특성 영역의 경계를 결정짓는 요인에 대하여 좀더 알아보기 위하여 main Stable jetting 영역에 대하여 액적 분사 속도를 측정하여 보았다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이, 각 분사 특성 영역의 경계선이 동일 분사 속도 곡선의 형태와 유사하다. 특히, Unstable jetting → Stable jetting 경계선은 분사 속도가 2 m/s인 지점과 잘 일치함을 알 수 있다. 반면에, 미세방울의 부피는 분사 속도 2 m/s일 때, 40~120 pico liter 사이로 크게 변화하는 특성을 보였다.

Fig. 7에는 21°C에서의 Fluid B의 잉크 분사 조건 맵을 나타내었다. Table 1에 나타난 물성에서 알 수 있듯이, Fluid A와 Fluid B의 밀도와 표면장력은 서로 큰 차이가 없는데 반하여 점성은 각각 2.1 cp와 4.1 cp로 약 2 배에 가까운 차이가 난다. 이러한 점성의 큰 차이에도 불구하고, 적색 점선으로 표시된 No jetting → Jetting 경계선의 경우, Fig. 5에 나타난 Fluid A의 경우와 정량적 및 정성적 측면에서 매우 유사한 특성

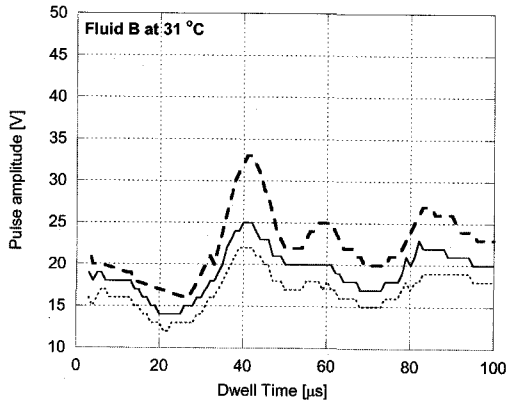


Fig. 8. Ink jetting map for Fluid B at 31°C.

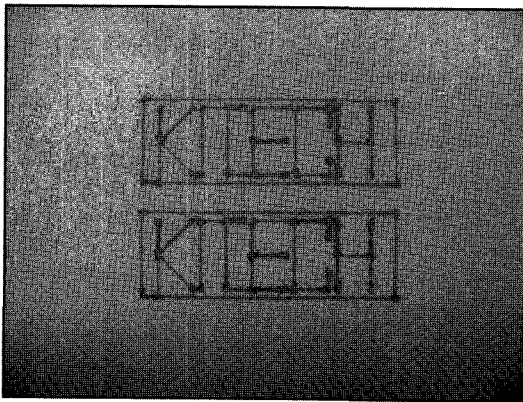


Fig. 9. Printed pattern of Fluid A.

을 보이고 있다.

반면에, Fluid B의 Stable jetting 영역의 특성은 Fluid B와 커다란 차이를 나타내고 있다. 그림에서,

Dwell time이 30 μ s 이하인 경우에는 Stable jetting 영역이 소폭 증가하는데 반하여 30 μ s 이상인 구간에서는 Stable jetting 영역이 현격히 줄어들고 있음을 볼 수 있다.

Fig. 5와 Fig. 7에서 나타난 Fluid A와 Fluid B의 분사 특성의 상이점은 두 유체의 점성 차에 기인하였을 가능성이 매우 높다. 점성과 Stable jetting 영역의 관계에 대하여 좀더 명확히 알아보기 위하여, Fluid B의 작동 온도를 31°C로 높임으로써 점성을 상온의 Fluid A와 유사하도록 조치한 뒤 분사 특성을 알아 보았으며, 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 7과 8을 비교하면 알 수 있듯이, Fluid B를 가열하여 점도를 낮추면, dwell time이 30 μ s를 기준으로

그 이하인 경우와 이상인 경우에서 Stable jetting 영역이 각각 증가, 감소하여 분사 특성이 Fluid A와 유사하게 변화하였다. 이러한 결과는 Stable jetting 영역을 특징 짓는 Jetting \rightarrow Spraying의 경계선에 점성이 미치는 영향이 지대함을 잘 보여주고 있다.

본 연구의 실험 결과를 바탕으로, Fluid A에 대한 Stable jetting 영역 내의 구동 조건을 선정하여 프린팅한 결과를 Fig. 9에 제시하였다. Dwell time이 42 μ s이고 구동 펄스 전압이 33 V인 조건하에서, 2차원 이송장치를 이용하여 인쇄면을 이송하여 패턴을 프린트하였다.

4. 결 론

압전 (Piezoelectric) 구동 방식의 잉크젯 프린터 제어를 위하여, 두 가지 고분자 EL 잉크에 대한 구동 신호의 pulse amplitude와 pulse width에 따른 잉크 분사 특성 map을 작성하였다. 이 연구에서는 고분자 EL 잉크 분사조건에서, 노즐 출구 유속에 따른 분사 영역 특성이 구분되는 현상을 알아 보았으며, 특히, 유체의 점성이 Stable jetting 영역에 미치는 영향을 강조하는 결과를 제시하였다.

이번 연구에서 고려하지 않은 표면 장력 등과 같은 다른 유체속성의 효과는 앞으로 연구되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 첨단 기계류, 부품 기술개발사업(특정연구개발사업)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. Blazdell, P., "Solid free-forming of ceramics using a continuous jet printer," J. of Materials Processing Technology, Vol. 137, 2003, pp. 49-54.
2. "Performance of Four Fluids," MicroFab Technote 99-05, 1999.
3. Dmary, M. A., *et al.*, Inorg. Chem. 42(7) 2176, 2003.
4. Brunner, K., *et al.*, J. Am. Chem. Soc. 126 (19), 6035 2004.
5. Chin, B. D., *et al.*, J. Info. Display 4, 3, 2003.
6. Bharathan, J. and Yang, Y., 1998. Polymer electro-luminescent devices processed by ink jet printing. I. Polymer light-emitting logo. Appl. Phys. Lett. 72(21), pp. 2660-2662.