

EHD Ink Jet Printing 기술을 이용한
Conductive Particle의 전기전도도에 미치는 영향안주훈 · 이용찬 · 최대산 · 이창열[†]

조선대학교 항공우주공학과

Effect of Conductive Particles on Electrical Conductivity using
EHD Ink Jet Printing TechnologyJu-Hun Ahn, Yong-Chan Lee, Dae-San Choi and Chang-Yull Lee[†]

Department of Aerospace Engineering, Chosun University

Abstract

ACF, which is used for the transparent electrode film is manufactured by the thermocompression method with conductive particles. However, the method has disadvantages since there are many wasted materials and the process is complex. To overcome the demerits of the conventional method, EHD printing technology with conductive particles ink is proposed. The line thickness of patterning is influenced by the characteristics of the inks and the printing conditions. Therefore, it is salient to find the most conducive conditions for the micro patterning. In this paper, the ink with conductive particles was manufactured, and the patterning results were obtained by varying the nozzle thickness and the flow rate. The electrical conductivity according to the ejection of the particles ink is obtained.

초 록

투명 전극에 사용되는 필름인 이방성전도필름은 전도성 입자를 재료로 하여 열 압착법으로 제조되고 있다. 하지만 열 압착법은 낭비되는 재료가 많고 공정이 복잡하다는 단점을 가지고 있으며, 이와 같은 단점을 극복하기 위해 전도성 입자 잉크를 이용한 잉크젯 프린팅 기술을 제안하였다. 잉크의 특성 및 프린팅 조건은 패터닝 선 두께에 영향을 주게 되며, 미세 패터닝을 위한 최적 조건 도출이 중요하다. 본 논문에서는 전도성 입자 잉크를 제작하였으며, 노즐의 두께와 유량을 변화하여 패터닝 결과물을 제작하였고, 전도성 입자 잉크의 토출에 따른 전기전도도를 도출하였다.

Key Words : ACF(이방성전도필름), Electrical Conductivity(전기전도도), Conductive Particle(전도성 입자), Electro hydrodynamics(전기유체역학)

1. 서 론

이방성전도필름(ACF; Anisotropic Conductive Film)은 Display Panel Glass에 IC 또는 TCP(Tape Carrier Package) 등을 접착하기 위해 사용되는 필름이다. 전도성 입자를 균일하게 분산시켜 필름에 전도

성을 부여하여 두께 방향으로의 전도성, 면 방향으로의 절연성, 필름과 부착을 위한 접착성의 세 가지 기능을 가지고 있다. 또한, 투명 디스플레이에 사용되는 투명전극의 재료로 사용되고 있으며, COG(Chip on Glass) 및 COF(Chip on Film) 등 인쇄 회로 기판의 핵심 소재로 적용되고 있다[1]. 전도성 입자를 이용하여 열 압착법으로 이방성전도필름을 제조하는 연구가 진행되었으며, 현재 주로 열 압착법을 이용한 디스플레이 제작 공정이 상용화되고 있다[2]. LCD에 활용하기 위한 이방성전도필름 공정 방식에 대한 연구가 진

Received: July. 02, 2018 Revised: Nov. 06, 2018 Accepted: Nov. 29, 2018

[†] Corresponding Author

Tel: +82-62-230-7955, E-mail: cylee@chosun.ac.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

행되고 있으며, 디스플레이 분야에서 LCD 사용을 위한 복합 이방성전도필름의 연구가 활발하다[3-4].

이방성전도필름과 함께 연구가 되고 있는 투명 전극을 통해 투명 디스플레이가 제작 가능하며, 이것을 이용하여 전방 주시가 중요한 전방표시장치(HUD; Head Up Display)를 구현할 수 있을 것이라 사료된다. 전방표시장치는 전투기를 비롯한 항공 분야에서 안전한 계기판 확인 및 전방 주시를 동시에 가능하게 해주며, 계기판에서 확인 가능한 고도 및 속도, 수평 등의 정보를 제공해준다. 항공기가 발전할수록 임무가 복잡해지며, 조종사가 인지해야 하는 정보가 많아지게 되지만 전방표시장치로 인해 조종사는 복잡한 항공기의 정보를 보다 쉽게 획득이 가능하게 된다. 과거 전방표시장치 기술은 전투기에 주로 사용되는 기술이었지만, 현재에는 민간기뿐만 아니라 지상에서 운용되는 자동차까지 장착되어 기술 활용이 확장되고 있다. 차량용 전방표시장치는 초창기에는 속도 정보만을 알려주었지만, IT 기술의 발전으로 인해 길 안내를 비롯한 여러 정보를 제공해준다. 차량용 전방표시장치 개발에 대한 연구는 국내·외적으로 활발히 진행되고 있으며, 미국 General Motors Corporation(GM)을 시작으로 국내의 자동차 시장에서 상용화되었다. 또한 전방표시장치를 통한 더 많은 정보 제공을 위해 텔레매틱스를 적용하는 방법에 대해서 연구가 진행 중이다.[5-6] 국내에는 항공기용 전방표시장치 기술이 없어 수입에 의존하고 있으며, 소형 항공기를 위한 설계 시 고려 사항과 광학소자의 RGB 색상을 이용해 컬러 표시 방식을 가지는 항공용 디지털 전방표시장치 개발 및 항공기 안전성을 확보하는 응용연구가 국내에서 활발히 진행되고 있다[7-9].

전도성 입자의 이방성전도필름 제조 방법으로 사용되고 있는 기술인 열 압착법은 원하는 위치에 재료를 쉽게 공정할 수 있는 장점을 가지고 있지만 공정 특성상 낭비되는 재료의 양이 많다는 단점을 가지고 있다. 하지만 프린팅 기술을 적용하게 되면 전도성 입자가 불필요하게 낭비되지 않을 수 있어 기존 열 압착법을 대체 가능할 것으로 사료된다.

이를 위하여, EHD(Electrohydrodynamics) 잉크젯 프린팅 기술을 이용한 전도성 입자 프린팅 연구를 진행하였다. EHD 잉크젯 프린팅은 전도성 잉크를 프린

팅 하는 기술로 기존 잉크젯 프린터에서 불가능하였던 나노 단위의 미세 패터닝을 가능하게 해주는 기술이다. 이 기술을 통해 잉크가 가지고 있는 표면장력을 고전압을 이용하여 기관으로 끌어당겨 주면서 미세 패터닝이 가능하다. EHD 잉크젯 프린팅 기술을 이용한 복합재료 프린팅과 은 콜로이드(Silver Colloid) 잉크를 이용한 패터닝 등의 잉크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며[10-11], 미세 패터닝을 이용한 온도센서 제작 및 태양전지 전극 제조 등의 응용연구가 활발히 진행되고 있다[12-13].

본 논문은 EHD 잉크젯 프린팅 기술을 응용하여 전방표시장치 적용 투명전극에 사용되는 전도성 입자 고분자 잉크와 혼합하였으며, 노즐 두께에 따른 메니스커스 형상을 확인하였다. 노즐 두께 및 유량에 따른 패터닝 결과물의 선두께를 비교해 보았으며, 현미경을 통해 전도성 입자의 밀집된 정도와 전기전도도를 확인하는 방법으로 적용 가능성을 확인하였다.

2. 실험 방법

2.1 잉크 제작

EHD 잉크젯 프린팅 기술에 사용되는 잉크는 용매의 특성 및 고분자의 특성, 잉크의 점도, 전기전도성 등에서 프린팅 가능성이 판단된다. 본 연구에서는 대부분의 유기 용액에 녹는 대표적인 수용성 고분자인 PEO(Polyethylene Oxide, Mw = 10000, AlfaAesar)를 사용하였으며, 극성 유기용매로 화학반응에 주로 사용되는 DMF(N,N-Dimethylmethanamide, 99.5%, DaeJung)를 사용하였다. 잉크의 점성을 부여하기 위해 용매인 DMF에 PEO를 첨가하였으며, 교반기를 이용하여 70 °C에서 약 24시간 동안 혼합하였다. 혼합한 용액에 전도성 입자(H&S HighTech Corp.)를 첨가 후 약 12시간 동안 분산하였으며, 분산 후 약 4시간 동안 실온에서 침전시켜 잉크를 완성하였다.

2.2 EHD 잉크젯 프린터 세팅

본 연구는 EHD 잉크젯 프린팅 기술을 위해 제작된 장비를 사용하였으며, Fig. 1은 실험에 사용한 EHD 장비를 나타낸다. EHD 장비의 전체 구성 개략도는 Fig. 2에 보여주고 있다. 컴퓨터 프로그램으로 제어가

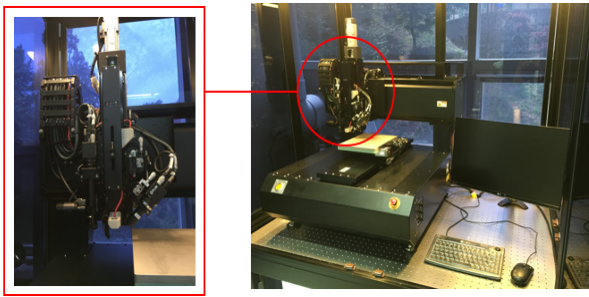


Fig. 1 Experimental Equipments of EHD Ink Jet Printing

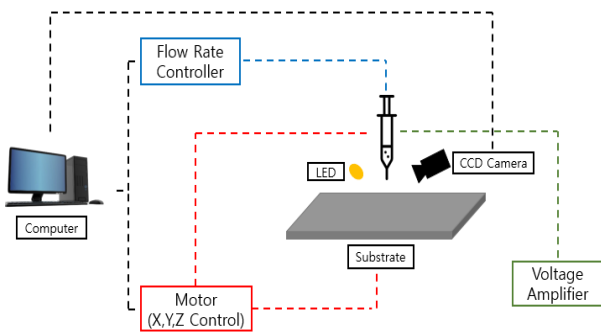


Fig. 2 Schematic Diagram of EHD Ink Jet Printing System

이루어지고, 유량 조절기를 이용하여 실린지(Syringe) 내부에 담겨 있는 잉크의 유량을 조절하게 된다. 모터를 이용하여 X, Y, Z 축을 제어해 주며, 전압 증폭기로 고전압을 인가시켜 준다. 기판에 사용할 필름을 올려 프린팅을 진행하며, 해당 프린팅은 CCD(Charge Coupled Device) 카메라를 이용하여 메니스커스의 형태를 확인할 수 있다. Figure 3은 EHD 잉크젯 프린팅의 원리를 나타내 주고 있으며, 고전압을 인가시키게 되면 노즐과 기판 사이에 전기장이 형성된다. 전기장은 노즐에서 토출되는 잉크의 표면장력을 무너뜨리면서 큰 젯 형태의 메니스커스를 형성해 미세 패터닝을 가능하게 해준다.

EHD 잉크젯 프린팅 기술은 전압, 기판과의 거리, 유량, 노즐의 두께 등 다양한 파라미터가 패터닝 가능성에 직접적인 영향을 주게 된다. 너무 높은 전압을 인가하게 되면 쇼트로 인한 스프레이 형태의 메니스커스가 형성되며, 너무 낮은 전압을 인가하게 되면 잉크의 표면 장력이 인가전압보다 강해 큰 젯 모양의 메니스커스가 형성되지 못하게 된다. 또한 기판과의 거리

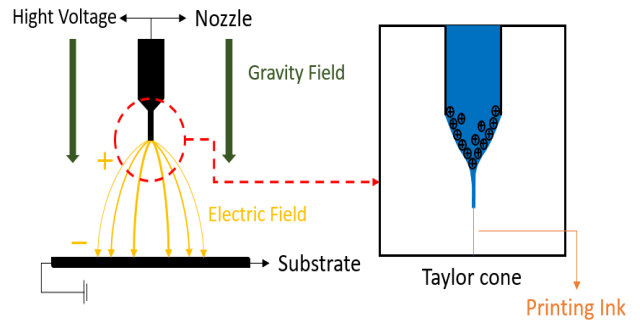


Fig. 3 Mechanism of EHD Ink Jet Printing

가 너무 가깝게 되면 쇼트가 발생할 수 있으며, 너무 멀게 되면 휘핑 현상으로 인해 일정한 선을 구현하지 못하게 된다. 이처럼 EHD 잉크젯 프린팅 기술은 잉크 특성에 맞는 최적의 파라미터를 도출하는 것이 중요하다. 최적 파라미터 도출을 위해 본 논문은 고분자 잉크를 이용해 1 kV부터 전압을 서서히 높여주면서 전기장의 영향으로 메니스커스 형상이 반응하는 파라미터를 도출해 내었으며, 기판과의 거리는 메니스커스의 형상 변화에 따라 조절하였다. 프린팅 속도의 경우 너무 빠를 경우 패터닝 선이 끊어지는 경우가 생기게 되며, 이는 프린팅 결과물의 선 패터닝의 결과 확인을 통해 프린팅 속도를 도출하였다.

2.3 제작 잉크 프린팅

전도성 입자를 첨가한 잉크의 미세 패터닝을 위한 최적의 파라미터를 도출하였으며, 본 연구에서는 최적의 프린팅 속도와 기판과 노즐 사이의 거리, 고전압을 인가 시켜 주었을 때 메니스커스의 형상이 큰 젯 형상으로 도출 된다는 것을 확인하였다. 해당 파라미터를 기준으로 Table 1에 기재한 세 가지 노즐 두께로 프

Table 1 Nozzle Sizes for Experiments

Gauge*	ID Size** (mm)	OD Size*** (mm)
27 G	0.20	0.41
30 G	0.15	0.30
32 G	0.10	0.23

*Nozzle Size **Inner Diameter, ***Outer Diameter

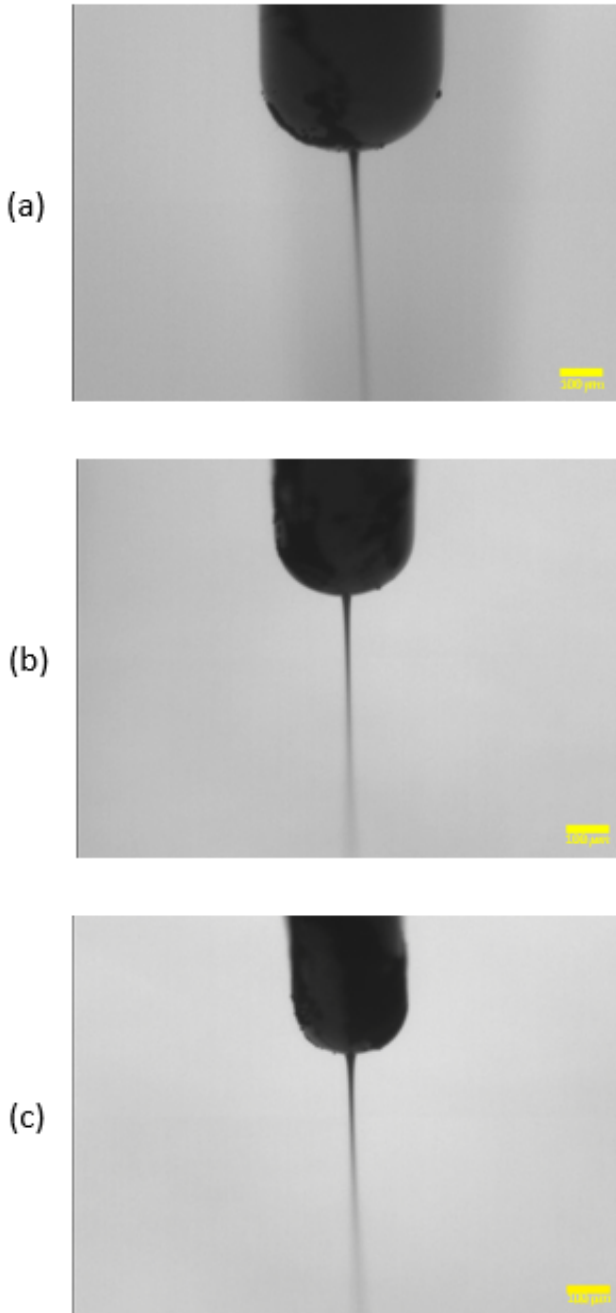


Fig. 4 Meniscus Shapes of Nozzle Sizes
[(a):27 G, (b):30 G, (c):32 G]

린팅을 진행하였으며, 유량은 각각의 노즐에 대하여 $5 \mu\text{l}/\text{min}$, $10 \mu\text{l}/\text{min}$, $15 \mu\text{l}/\text{min}$ 의 세 가지 조건으로 프린팅을 진행하였다. 제조한 전도성 입자 잉크는 폴렉서블한 PET(Polyester) 필름을 사용하였으며, 대류 건조기를 이용해 $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 온도에서 약 24시간 동안 경화하여 패터닝 결과물을 제작하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 메니스커스 형상

CCD 카메라를 이용하여 촬영한 메니스커스의 형상을 Fig. 4에 나타내었으며, 노즐 두께에 따른 메니스커스 형상을 비교해 보았다. Figure 4(a)는 27 G, Fig. 4(b)는 30 G, Fig. 4(c)는 32 G를 나타내며, 세 가지 조건 모두 $5 \mu\text{l}/\text{min}$ 의 유량에서 진행하였다. 노즐 두께에 따른 메니스커스의 콘 젯 두께 차이는 거의 없었으며, 노즐 두께로 인한 전도성 입자 잉크의 메니스커스 콘 젯 두께 차이는 큰 영향이 없다는 것을 해당 결과를 통해 확인할 수 있었다.

3.2 프린팅 결과

EHD 잉크젯 프린팅을 이용하여 전도성 입자의 패터닝 결과물을 Fig. 5-7에 나타내었다. Figure 5는 27 G의 노즐을 사용하였으며, Fig. 6은 30 G, Fig. 7은 32 G의 노즐 두께의 조건에서 프린팅을 진행한 패

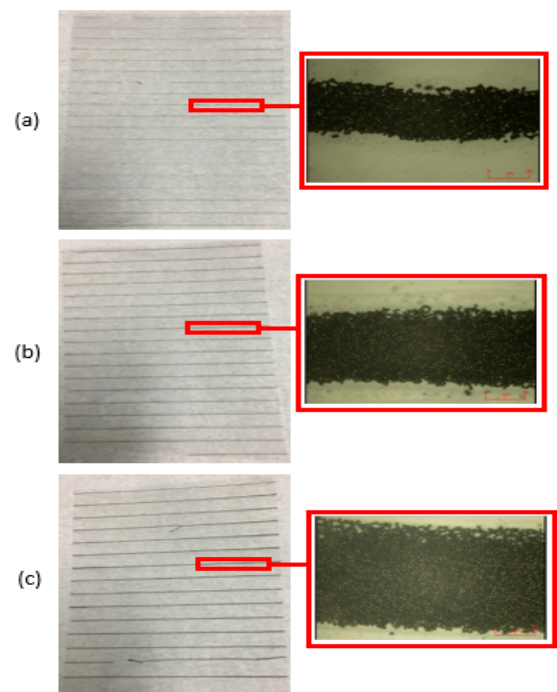


Fig. 5 Printing Results according to Flow Rate in 27 G Nozzle (X1200) [(a): $5 \mu\text{l}/\text{min}$, (b): $10 \mu\text{l}/\text{min}$, (c): $15 \mu\text{l}/\text{min}$]

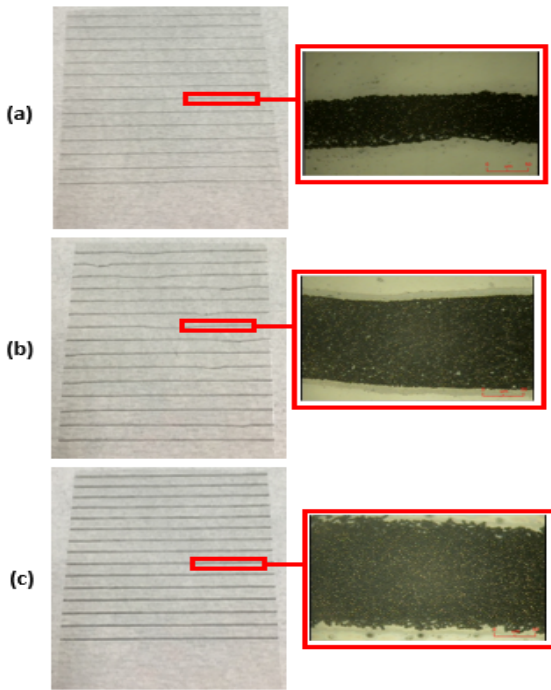


Fig. 6 Printing Results according to Flow Rate in 30 G Nozzle (X1200) [(a): 5 μ l/min, (b): 10 μ l/min, (c): 15 μ l/min]

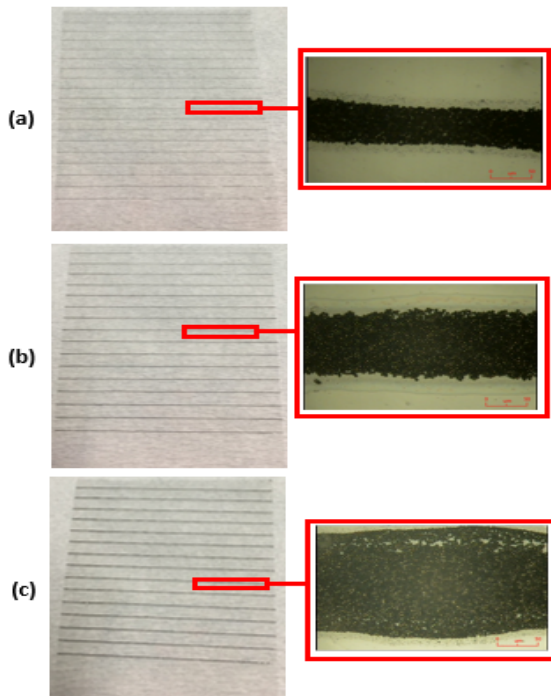


Fig. 7 Printing Results according to Flow Rate in 32 G Nozzle (X1200) [(a): 5 μ l/min, (b): 10 μ l/min, (c): 15 μ l/min]

Table 2 Line Thickness with Printing Results

		Nozzle Size		
		27 G	30 G	32 G
Flow Rate	5 μ l/min	70 μ m	70 μ m	60 μ m
	10 μ l/min	120 μ m	130 μ m	110 μ m
	15 μ l/min	170 μ m	170 μ m	170 μ m

터닝 실험 결과이다. 또한 세 가지 노즐 두께에 5 μ l/min, 10 μ l/min, 15 μ l/min의 동일하게 세 가지 유량 조건을 주었으며, Fig. 5-7(a)은 5 μ l/min, Fig. 5-7(b)은 10 μ l/min, Fig. 5-7(c)은 15 μ l/min로 프린팅 결과를 보여주고 있다.

Table 2에 비교 결과를 정리하였으며, Fig. 8의 그래프를 이용해 노즐별 유량에 따른 두께의 경향성을 나타내었다. 노즐 두께에 따라 선의 두께의 영향은 없지만 노즐의 두께가 커질수록 안정적인 선 패터닝이 가능하다는 것을 출력물을 통해 확인할 수 있다. 세 가지 유량 조건에 따른 패터닝 결과물을 비교해 보았을 때 유량이 많아질수록 선의 두께가 두꺼워지는 것을 확인하였다.

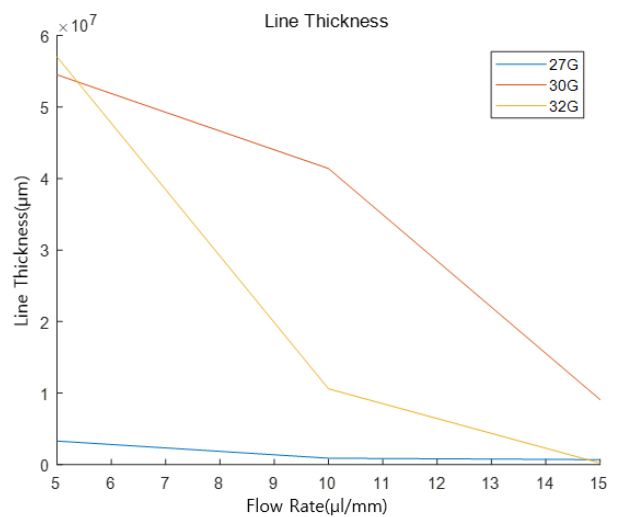


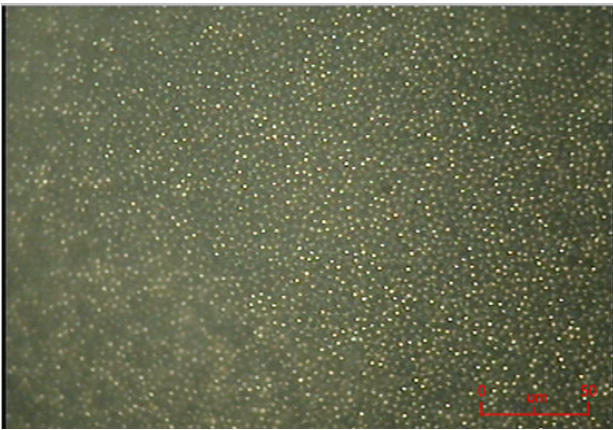
Fig. 8 Line Thickness according to Nozzle Size and Flow Rate

Table 3 Resistance according to Nozzle Sizes and Flow Rate

Nozzle	22 G	27 G			30 G			32 G		
Flow Rate ($\mu\text{l}/\text{min}$)	20	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Resistance ($M\Omega$)	0.056	3.3	0.9	0.7	54.5	41.5	9.1	57	10.6	0.22

Table 4 Electrical Conductivity according to Nozzle Sizes and Flow Rate

Nozzle	22 G	27 G			30 G			32 G		
Flow Rate ($\mu\text{l}/\text{min}$)	20	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Electrical Conductivity (S/mm)	0.134	0.033	0.069	0.063	0.002	0.001	0.005	0.002	0.006	0.020

**Fig. 9** Micrograph of 22G Nozzle Printing (X1200)

전도성 입자의 밀집도를 확인하기 위하여 1200배 배율의 현미경을 이용해 패터닝 결과물의 선을 확대 확인하였다. 전도성 입자의 밀집도는 전기전도도에 지대한 영향을 미치기 때문에 매우 중요하며, 본 연구의 결과물인 패터닝 선의 전도성 입자가 잘 밀집되어 있다는 것을 확인하였다.

3.3 전기전도도

Figure 9는 밀집도가 매우 높은 전도성 입자의 배열을 보여주고 있다. 해당 결과물의 경우 노즐의 두께가 내경 0.40 mm 외경 0.71 mm인 22 G의 두꺼운 노즐을 사용하여 프린팅 하였으며, 20 $\mu\text{l}/\text{min}$ 의 매우 높은 유량으로 토출시킨 결과물이다. 저항 측정 결과 저항 값은 약 0.056 $M\Omega$ 이며, 전기전도도 값은 약 0.134 S/mm 로 도출되었다.

다음으로, 노즐의 두께와 유량에 따른 패터닝 결과물의 저항 값은 Table 3에 정리하였다. 유량이 높아지면 저항 값은 낮아지게 되고, 노즐의 두께가 커질수록 저항이 낮아지는 경향성을 확인할 수 있다. 27 G 노즐의 두께에서는 유량에 따른 저항 변화가 크지 않은 반면 30 G, 32 G는 유량별 저항변화가 비교적 크게 나타났다. 이는 전기전도도의 역할을 하는 전도성 입자의 배열이 27 G에서 가장 안정적인 토출이 이루어졌다는 결과를 도출할 수 있다.

패터닝 결과물의 전기전도도는 Table 4에 정리하였다. 노즐 27 G, 유량 10 $\mu\text{l}/\text{min}$ 에서 전기전도도가 가

장 높음을 확인하였으며, 저항 측정 결과와 비교해 보면 저항이 낮아짐에 따라 전기전도도가 올라가는 현상을 확인할 수 있다. 하지만 27 G의 경우 가장 높은 유량인 15 $\mu\text{l}/\text{min}$ 보다 10 $\mu\text{l}/\text{min}$ 에서 전기전도도가 높았다. 해당 결과는 패터닝 결과물의 면적당 전도성 입자 수가 더 많이 분포되어 나타나는 현상으로, 노즐 27 G, 유량 10 $\mu\text{l}/\text{min}$ 조건에서 전도성 입자가 가장 높은 밀집도로 출력되었음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 디스플레이 분야에서 투명전극과 함께 연구가 활발하게 진행되고 있는 재료인 전도성 입자를 잉크로 제작하였으며, EHD 잉크젯 프린팅 기술을 이용하여 약 70~170 μm 의 선 두께를 가지는 패터닝을 수행하였다.

EHD 잉크젯 프린팅 기술의 조건 중 노즐의 두께와 유량을 달리하여 실험을 진행하였으며, 노즐의 두께에 따라 메니스커스의 형상에 끼치는 영향을 확인하였다. 또한 유량을 달리하였을 때 필름 위에 프린팅 되는 패터닝 선 두께에 끼치는 영향을 확인하였으며, 현미경을 통해 확대한 결과 밀집된 전도성 입자를 확인할 수 있었다. EHD 잉크젯 프린팅 기술을 이용하여 패터닝한 전도성 입자의 저항 및 전기전도도를 확인하였다. 노즐의 두께와 토출 유량이 증가할수록 저항은 낮아졌으며, 전기전도도는 계산을 통해 노즐의 두께와 토출 유량이 증가할수록 높아지는 경향을 도출하였다. 해당 결과를 통해 프린팅 기술을 이용한 전도성 입자의 미세 패터닝의 가능성 및 HUD 투명 전극 기술에 적용 가능성을 확인하였다.

후 기

이 성과는 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017R1C1B2007217).

References

- [1] M. J. Yim and K. W. Paik, "Recent advances on anisotropic conductive adhesives (ACAs) for flat panel displays and semiconductor packaging applications," *International Journal of Adhesion & Adhesives*, vol. 26, no. 5, pp. 304-313, Aug. 2006.
- [2] J. S. Park, I. J. Jo and Y. E. Shin, "Thermocompression anisotropic conductive films (ACFs) bonding for flat panel displays (FPDs) application," *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, vol. 22, no. 3, pp. 199-204, Mar. 2009.
- [3] C. S. Jang, S. Y. Han, J. C. Ryu, S. M. Cio and H. G. Kim, "Issues in assembly process of next-generation fine-pitch chip-on-flex packages for LCD applications," *IEEE Trans. of Advanced Packaging*, vol. 30, no. 1, pp. 2-10, Feb. 2007.
- [4] W. Jin, "Composite anisotropic conductive film," *International Journal of Applied Mechanics and Materials*, vol. 302, pp. 182-188, Feb. 2013.
- [5] K. H. Kim, S. I. Cho and J. H. Park, "Application of head-up-display technology to telematics," *Journal of Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 23, no. 1, pp. 153-162, Feb. 2008.
- [6] K. H. Kim and H. S. Park, "Trends of in-vehicle AR technology," *Journal of Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 28, no. 4, pp. 45-52, Aug. 2013.
- [7] J. W. Lim, "A study on the safety of flight(SOF) assure through aircraft diagnostics systems," *Journal of The Society for Aerospace System Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 35-40, Feb. 2017.
- [8] H. G. Jeon, K. H. Lee and Y. B. Lim, "A study on the development of digital head up display for aircraft," *Proc. of KSAS Spring Conference 2014*, Wonju, Korea, pp. 1082-1085, Apr. 2014.
- [9] B. J. Lee and Y. K. Jin, "Design considerations of electronic display in part 23 airplanes," *Journal of The Society for Aerospace System Engineering*, vol.

- 7, no. 1, pp. 26-31, Mar. 2013.
- [10] J. H. Ahn and C. Y. Lee, "Characteristics comparisons of PVDF and PVDF/PZT composites ejected by electrohydrodynamics ink jet printing," *Proc. of SASE 2017 Fall Conference*, Busan, Korea, pp. 354-355, Nov. 2017.
- [11] J. H. Park, B. S. Kim, S. Y. Kim and J. H. Hwang, "Prediction of drop-on-demand (DOD) pattern size in pulse voltage-applied electrohydrodynamic (EHD) jet printing of Ag colloid Ink," *International Journal of Applied Physics a Materials Science and Processing*, vol. 117, no. 4, pp. 2225-2234, Dec. 2014.
- [12] J. H. Ahn, Y. C. Lee, D. S. Choi and C. Y. Lee, "BaTiO₃ ink manufacturing and ejection using EHD ink jet printing technology," *Proc. of SASE 2018 Spring Conference*, Jeju, Korea, pp. 432-433, Apr. 2018.
- [13] H. D. Lee, Y. J. Jeong, B. S. Lee, S. U. Park, H. T. Yudistira, C. L. Choong, J. J. Park, C. E. Park and D. Y. Byun, "Fabrication of poly (3-hexylthiophene) (P3HT) field-effect transistors by electrohydrodynamic (EHD) jet printing," *Proc. of KSME 2014 Fall Conference*, Gwangju, Korea, pp. 1563-1556, Nov. 2014.