한국정밀공학회지 제 32 권 제 9 호 pp. 833-840 September 2015 / 833
J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 32, No. 9, pp. 833-840 http://dx.doi.org/10.7736/KSPE.2015.32.9.833
ISSN 1225-9071(Print), ISSN 2287-8769(Online)

캐드로부터 변환된 비트맵 이미지를 사용한 잉크젯 프린팅

Using CAD-Converted Bitmap Images for Inkjet Printing

김형석 [1], 권계시 [1,✉]
Hyung Seok Kim[1] and Kye-Si Kwon[1,✉]

1 순천향대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Soonchunhyang University)
✉ Corresponding author: kskwon@sch.ac.kr, Tel: +82-41-530-1670

Manuscript received: 2014.12.23. / Revised: 2015.6.25. / Accepted: 2015.7.3.

Inkjet technology is one of the commonly used technologies in the printed-electronics field. The primary issue regarding the usage of inkjet technology as a printed-electronics tool is the printing resolution; therefore, to print complicated patterns of precise dimensions, we developed software that can convert a CAD file into a bitmap image. Moreover, as a bitmap image is not comprised of physical dimensions, its resolution needs to be defined in terms of pixel distance to print a rasterized bitmap image. In this study, we investigated the effects of pixel distance and dot size on printing resolution; based on the experiment results, we concluded that the printed dot size should be used to determine the optimal pixel distance. Lastly, we also propose inkjet printing procedures for bitmap images.

KEYWORDS: Inkjet (잉크젯), CAD (캐드), Bitmap image (비트맵 이미지), Inkjet printing (잉크젯 프린팅)

1. 서론

잉크젯 기술이 발달함에 따라 사무실용의 문서 및 사진 인쇄로부터 제조 공정의 도구로서 응용 범위가 점차 넓어 지고 있다.[1-6] 최근 잉크젯 기술은 전자 소자 및 전자 제품을 프린팅 하는 인쇄 전자의 핵심 요소 기술로서 주목을 받고 있다. 이러한 잉크젯이 제조 공정으로서 응용 범위를 넓혀감에 따라서 정확한 치수를 갖는 미세 패터닝 (patterning)의 필요성이 증대 되고 있다.

기존의 문서 및 사진 인쇄는 헤드의 노즐 간격이 인치 단위기 때문에 해상도를 도트 퍼 인치 (Dots per inch, DPI)의 단위를 사용하고 있으나 인쇄 전자의 응용을 위해서는 마이크로 미터 단위의 임의 해상도의 인쇄가 필요하다. 미터 단위의 치수를 프린팅 해야 되는 필요성으로 인해 기존의 사진 프린팅 방법과는 다른 접근 방법이 필요하나 인쇄 전자를 위한 프린팅 알고리즘에 관련한 참고 자료는 많지 않다.[7-9]

일반적으로 잉크젯 프린팅을 위해서 비트맵 이미지를 사용한 래스터 프린팅 방법을 널리 사용한다. 그러나 비트맵 이미지는 화소의 개수와 화소에서의 밝기 정보만 존재하고 별도의 물리적인 길이 등의 치수 정보가 없다. 또한 복잡한 패턴을

Copyright ⓒ The Korean Society for Precision Engineering
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

효과적으로 비트맵 이미지로 표현하는 어려움이 추가적으로 존재한다. 프린팅을 위하여 복잡한 패턴을 만들기 위하여 캐드를 사용하는 방법이 널리 사용 된다. 캐드의 정보는 치수와 위치의 정보를 동시에 가지고 있으므로 쉽게 프린팅을 위한 패턴을 형성 시킬 수 있다. 캐드의 패턴 정보는 벡터 정보이나 프린팅을 위한 정보는 정해진 개수의 화소를 사용한 비트맵 정보이기 때문에 정보를 변환하는 알고리즘이 필요하다.[8] 이러한 변환 알고리즘에 의하여 프린팅 정밀도 및 프린팅 치수 등이 영향을 받게 된다. 이러한 이미지 변환 알고리즘은 잉크젯 도트 크기 및 패턴 크기를 고려해야만 되기 때문에 기존의 사진을 위한 프린팅 방법과는 다른 알고리즘이 구현이 되어야 한다. 예를 들면 높은 해상도의 이미지를 위하여 비트맵 이미지의 화소 사이의 거리를 매우 작게 정의 하여 세밀한 패턴 정보까지 이미지에서 표현이 가능하게 할 수 있다. 그러나, 프린팅을 위한 이미지가 커지기 때문에 이미지 프로세싱의 측면에서 효율성의 문제가 생기게 된다. 또한 비트맵 이미지의 화소 간의 거리는 잉크젯에서 프린팅 되는 도트간의 거리에 해당하므로 화소 간의 거리가 작으면 잉크 방울 사이의 중첩의 정도가 심해져서 잉크끼리의 뭉침으로 인하여 원하는 패턴이 불가능하다. 따라서 잉크젯을 이용한 프린팅에 고려해야 될 해상도는 미세 패턴을 표현하기 위한 비트맵 이미지의 해상도와 실제 헤드에서 토출되어 기판에 퍼지게 되는 프린팅 도트 (dot) 크기에 해당하는 프린팅의 해상도를 동시에 고려해야 한다.

비트맵을 이용한 기존의 문서 및 사진 인쇄는 해프톤 (half tone) 알고리즘을 사용하여 프린팅 결과에 명암 및 칼라를 표현하게 된다.[8] 그러나 이 방법은 육안으로 구별되는 패턴에 목적을 두기 때문에 인쇄 전자에는 적절한 방법이 아니다. 문서 사진 인쇄와 달리 인쇄 전자에서는 패턴의 이어짐과 떨어짐이 확실하게 구별되어야 전자 소자의 역할을 할 수 있어야 하기 때문에 비트맵를 생성하는 방법이 기존의 프린팅 방법과 근본적으로 달라야 된다. 이러한 이유로 인쇄 전자를 위한 프린팅 프로세스를 체계적으로 정립할 필요가 있다.

본 연구에서는 인쇄 전자의 응용을 위하여 캐드의 패턴 정보를 비트맵 이미지로 변환할 때 최적의 프린팅 조건을 구하기 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해 캐드로부터 변환된 이미지 해상도에 따라서 구현된 프린팅 결과를 실험적으로 분석하였다.

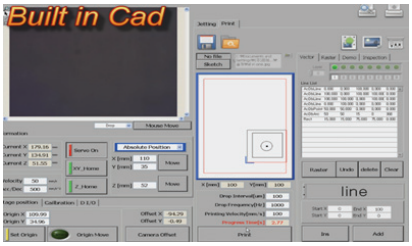
인쇄 전자에서는 패턴이 전기가 통할 수 있는 도선인 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 전기를 통할 수 있도록 이어지는 최소 선폭 구현과 서로 다른 배선이 떨어지기 위한 최소 간격 등을 도출하기 위한 조건을 실험으로부터 구하였다. 프린팅 조건에 따른 프린팅 결과를 체계화 함으로서 잉크젯 연구자들로 하여금 인쇄전자를 위한 공정 개발시 시행착오를 줄일 수 있도록 참고 자료를 만드는 것이 본 연구의 목표이다.

2. 프린팅을 위한 이미지 변환 알고리즘

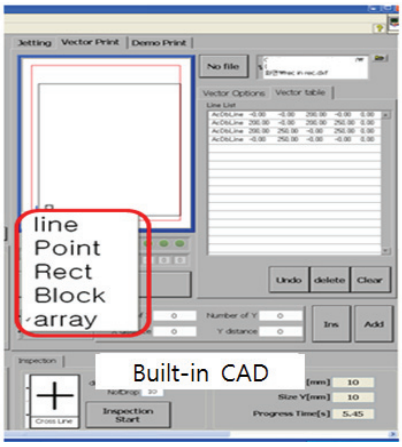
2.1 빌트인 캐드 소프트웨어 개발

캐드를 이용한 프린팅 방법에는 캐드의 도면을 비트맵 이미지 (bitmap image)로 변환하여 프린팅하는 래스터 프린팅 (raster printing) 방법과 캐드의 디엑스에프 (drawing exchange file format, DXF) 파일의 정보를 사용하여 프린팅 하는 벡터 프린팅 (vector printing) 방법이 있다. 디엑스에프 파일은 아스키(ASCII) 형태의 파일로 다양한 캐드 간의 도면 교환에 널리 사용되는 파일 방식으로 도면의 치수 및 선 종류 등의 모든 도면 정보를 가지고 있는 파일이다. 한편으로 비트맵 이미지를 사용한 래스터 프린팅은 토출 헤드가 주 (main) 방향으로만 프린팅 하고 보조 (sub) 방향으로는 프린팅의 위치 이동을 하는 방식으로 보다 복잡한 이미지의 프린팅에 적합하고, 멀티 노즐을 구비한 헤드에 보다 유리한 방식이다.

본 연구는 캐드의 벡터 정보를 비트맵으로 전환한 래스터 프린팅 방법에 대한 연구를 주로 하였다. 캐드의 정보를 비트맵 이미지로 변환 시키기 위하여 변환시킬 비트맵 이미지의 화소 간의 길이를 정의하는 것이 중요하다. 화소 간의 길이를 정의하고 패턴의 크기를 고려하면 비트맵 이미지의 크기인 화소의 개수를 결정할 수 있다. 이렇게 정의된 이미지 위에 캐드의 위치 정보를 이용하여 캐드의 패턴을 그릴 수 있는 캐드 뷰어 (viewer) 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 소프트웨어는 캐드 파일의 정보를 읽을 뿐만 아니라 직접 원하는 패턴을 비트맵 이미지 위에 추가 및 변경할 수 있도록 캐드 기능을 일부 추가 하였다. 캐드의 정보를 비트맵 이미지로 표현 한 후에 이진 이미지 (binary image)로 변환하여 토출 시킬 위치와 그렇지 않을 위치를 구분하였다. 이와 같은 소프트웨어는 Fig. 1과 같이 구현하였다. 이미지 디



(a) Printing software



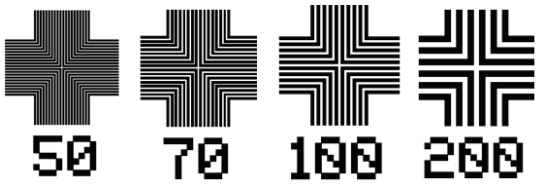
(b) Built-in CAD software

Fig. 1 Built-in CAD printing software

스플레이를 이용한 소프트웨어 개발은 LabVIEW의 Vision Development Module을 사용하였으며 자세한 내용은 본 저자의 교재를 참고 할 수 있다.[10]

변환된 이진 이미지는 바로 래스터 프린팅을 위한 데이터로 사용되거나 파일 형태로 저장하여 다른 프린팅 시스템에서 사용이 가능하다.

본 연구에서 개발된 소프트웨어는 기존의 상용화된 캐드 소프트웨어와는 달리 잉크젯 프린팅에 적합하도록 되어있다. 예를 들면 일부 상용화된 캐드 소프트웨어에도 캐드의 정보를 비트맵 이미지로 저장하는 기능이 있다. 그러나 상용화 캐드 소프트웨어를 사용하여 비트맵 이미지로 변환 하는 경우에는 이미지 생성시 화소(pixel)/길이(mm)의 단위를 사용하게 되어 패턴의 길이를 정밀하게 비트맵 이미지 상에 구현하는 것이 어렵다. 예를 들면, 상용화 캐드를 사용하여 10 pixel/mm의 단위로 비트맵 이미지로 변환 한다면 0.13mm의 간격으로 이루어진 패턴의 프린팅을 정밀하게 구현하는 것이 불가능하다. 또한 CAD 소프트웨어에서 비트맵 이미지를 생성 시킬 때 절대 기준 위치를 상실하기 때문에 정확한 절대 위치에 프린팅 하는 것이 어렵다. 따라서 본 연구를 위하여 개발한 소프트웨어 에서는 치수와 절대 위치를 보다 효과적으로 이미지 상에 표현하기 위하여 mm/pixel 또는 μm /pixel의 단위로 비트맵을 생성 시키고 절대 위치를 캐드의 원점 기준으로 정의 하였다. 보다 자세한 이미지 변환 알고리즘 및 프린팅 방법은 본 연구실에서 발표한 논문을 참고 할 수 있다.[8]



(a) 50 μm (b) 70 μm (c) 100 μm (d) 200 μm

Fig. 2 Test pattern for printing

2.2 프린팅 실험을 위한 테스트 패턴

배선의 굵기와 배선간의 간격이 다른 기준 패턴의 디엑스에프 파일을 한국전자통신연구원 (ETRI)로부터 제공받아서 실험을 수행하였다. Fig. 2는 캐드로 구현한 테스트 패턴을 보여준다. 여기서 패턴 밑의 숫자는 각 배선의 간격 및 두께를 마이크로 미터의 단위로 표시하였다. 배선 간격 및 두께는 50μm 부터 시작하여 200 μm 까지 증가 시켰고 배선의 개수를 조정하여 여러 배선이 갖는 두께는 모두 2mm정도가 되도록 하였다.

Fig. 2의 캐드 정보는 비트맵 이미지로 변환 과정을 겪는데 변환된 이미지 자체는 치수를 가지고 있지 않기 때문에 원하는 치수를 만들기 위해서는 이미지 화소 간격 (drop interval)을 정해주어야 한다. 같은 치수의 프린팅 패턴을 위해서는 픽셀 사이의 간격이 작아졌을 경우에는 픽셀의 개수는 증가하게 된다. Fig. 3은 같은 화소 사이의 간격을 변화 시켰을 때 이미지 크기의 변화의 예를 보여준다. Fig. 3(a)와 같이 치수를 가지고 있는 패턴의 정보는 치수가 없는 비트맵 이미지로 변화할 때 화소의 간격을 지정하여 치수를 표현한다. 만약 2mm를 100 μm의 화소 간격으로 표현을 하게 되면 Fig. 3(b)와 같이 20개의 화소 수를 가지는 이미지로 변환이 된다. 한편으로는 화소 간격을 10μm로 하였을 때는 2mm의 길이를 Fig. 3(c)와 같이 변환된 이미지 상에서 200개의 화소로 표현을 하게 된다. 이 경우 Fig. 3(b)에 비해서 이미지 크기가 10배로 커지게 된다.

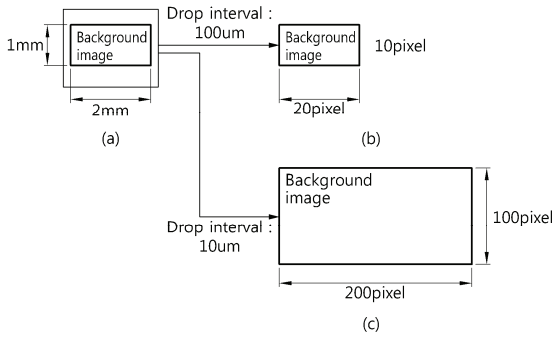


Fig. 3 Image resolution and image size; (a) Original pattern (b) Converted image with pixel distance of 100 μm (c) Converted image with pixel distance of 200 μm

3. 프린팅 실험

3.1 실험장치

Fig. 4는 프린팅 실험을 위한 본 연구실에서 개발한 프린팅 시스템 (㈜피에스, PSjet 300, www.psolution.kr)이다. 프린팅을 위한 XY 스테이지를 위하여 리니어 모터를 사용하였고 구성된 프린팅 시스템의 사양은 Table 1과 같다. 실험을 위한 기판은 특별한 표면처리를 하지 않은 슬라이드 글라스를 사용하였다.

토출을 위한 잉크로는 은 나노 잉크 (DGP 40LT-15C, ANP, Korea) 를 사용하였고 슬라이드 글라스 위에 토출 후 측정된 도트의 직경은 61 μm이었다.

전도성 잉크를 사용한 패턴 형성의 연구를 위하여 캐드로 형성 시킨 Fig. 2의 기준 패턴을 사용하고 변환된 비트맵 이미지의 화소 간의 거리를 잉크젯 도트의 크기 보다 작은 25 μm부터 시작하여 100 μm 까지 증가 시켜서 프린팅 실험을 수행하였다.

3.2 50 μm 의 배선 선폭 및 간격 프린팅

Fig. 2(a)와 같이 배선의 간격 및 선폭이 50 μm 인 패턴을 화소 간의 간격을 다르게 하여 비트맵 이미지 생성시키고 프린팅 한 결과를 비교하였다. Fig. 5는 화소 간의 간격을 25 μm로부터 시작해서 100 μm까지 증가 시켰을 때 변환된 비트맵 이미지를 보여준다. 픽셀 간격에 따른 변환된 이미지 그림에서 알 수 있듯이 화소 간의 간격이 좁아질수록 이미지의 크기 (화소의 개수)는 증가하였다. 그림에서 알 수 있듯이 배선 간격에 비해서 화소 간의 간격 (pixel distance)이 1/2 이하가 되어야 의도했던 이미지가 Fig. 5(a)와 같이 표현이 가능하다. 만약 배선간의 간격 및 굵기가 50 μm인데 50 μm의 화소 간격으로 변환된 비트맵 이미지는 Fig. 5(b)와 같이 배선간의 간격이 없어지게 된다. 마찬가지로 화소 간의 간격이 배선간의 간격 및 굵기보다 커지는 경우 Figs. 5(c)와 5(d)에서 알 수 있듯이 원래 패턴을 표현하는 것이 모두 불가능하였다.

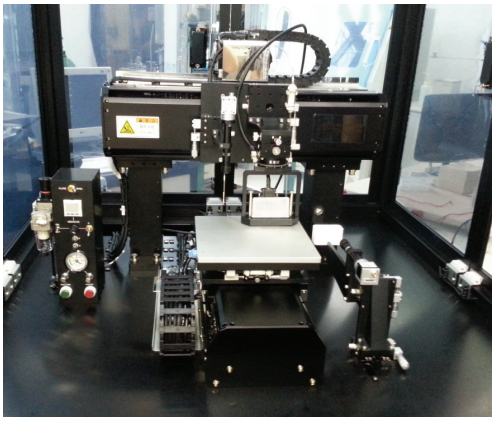
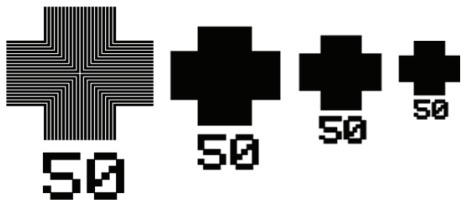


Fig. 4 Printing system

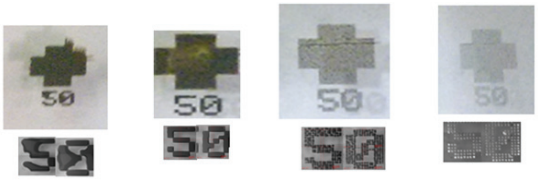
Table 1 Specification of printing system

Function	Specifications
Print head	DMC-11610, Fujifilm Dimatix, USA
Maximum print speed	600 mm/s
Compatible printing file	Bitmap, JPG, CAD dxf file (dxf), CAD built-in CAD
Printing mode	Raster printing/Vector printing
Monitoring	Jetting monitoring visualization (drop watcher)
Printing area	240 × 260 mm^2
Positioning accuracy	Encoder resolution: 1 μm



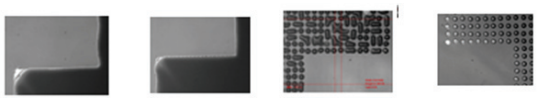
(a) 25 μm (b) 50 μm (c) 75 μm (d) 100 μm

Fig. 5 Converted pattern image with 50 μm line width and interval with various pixel distance



(a) 25 μm (b) 50 μm (c) 75 μm (d) 100 μm

Fig. 6 Printed line pattern with 50 μm width and spacing using different pixel distance



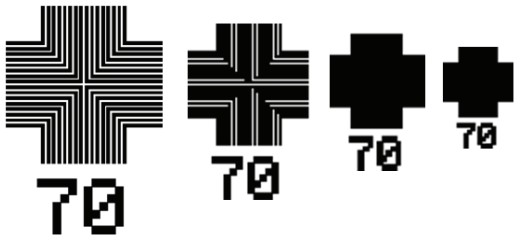
(a) 25 μm (b) 50 μm (c) 75 μm (d) 100 μm

Fig. 7 Magnified printed line pattern with 50 μm width and spacing using different pixel distance

Fig. 6는 Fig. 5의 이미지를 이용하여 잉크젯으로 프린팅한 결과이고, Fig. 7은 프린팅 결과를 확대한 이미지이다. 화소 간의 간격이 25 μm인 경우에는 잉크젯 도트 크기 (61 μm)에 비해서 도트 간의 간격이 너무 좁아서 많은 잉크의 중첩이 문제가 되었다. 비트맵 이미지에서 화소 간의 간격이 잉크젯 프린팅 에서는 도트간의 간격이 된다. 많은 잉크의 중첩의 결과로 배선 형성시 Figs. 6(a)과 7(a)에서 볼 수 있듯이 기판 위에서 잉크가 넓게 퍼지게 되어 배선 사이의 간격이 모두 잉크로 채워져 의도했던 패턴을 얻을 수 없었다. 한편으로는 화소의 간격을 50 μm이상으로 한 경우에는 Figs. 5(b)-5(d)와 같이 변환된 비트맵 이미지 자체에 문제 가 있기 때문에 Figs. 7(b)-7(d)와 같이 의도한 패턴이 형성이 불가능하였다. 특히 도트 크기 보다 약간 큰 화소 간격을 갖는 이미지로 프린팅 하면 Figs. 7(c)와 7(d)에서 볼 수 있듯이 도트와 도트가 연결이 되지 않게 된다. 따라서 배선을 위한 패턴에서는 화소의 간격을 도트의 간격에 비하여 크게 하는 것이 바람직하지 않았다.

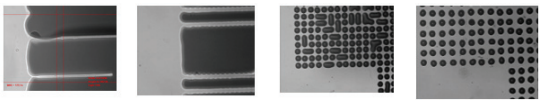
3.3 70 μm 의 배선 선폭 및 간격 프린팅

Fig. 2(b)와 같이 70 μm의 배선 폭 및 간격을 갖는 패턴을 Fig. 8과 같이 화소 간격을 변경시켜서 각각의 화소 간격에 대한 비트맵 이미지를 생성시켰다. 화소의 간격을 25 μm으로 하였을 때는 Fig. 8(a)와 같이 패턴의 형상을 표현할 수 있었다. 그러나 배선 간의 간격의 거리가 균일하지는 않게 되었다. 한편으로는 화소의 간격이 50 μm가 되도



(a) 25 μm (b) 50 μm (c) 75 μm (d) 100 μm

Fig. 8 Converted pattern image with 70 μm line width and interval with various pixel distance



(a) 25 μm (b) 50 μm (c) 75 μm (d) 100 μm

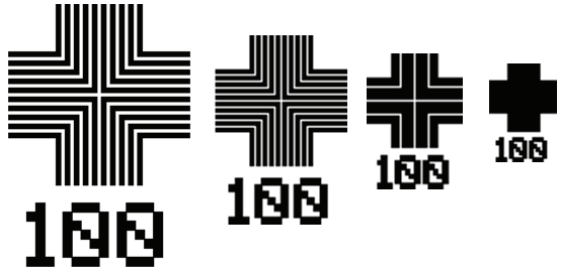
Fig. 9 Magnified printed line pattern with 70 μm width and spacing using different pixel distance

록 비트맵 이미지로 변환 시켰을 때는 변환된 이미지는 Fig. 8(b)와 같이 간격이 일정하게 되지 않을뿐더러 일부 배선의 간격은 없어지게 되어 정상적으로 패턴을 표현하는 것이 불가능하였다. 이미지 변환의 결과로부터 균일한 배선을 표현하기 위해서는 화소 간의 간격이 배선의 폭 또는 간격과 정확한 배수로 되어야 함을 알 수 있었다. 만약에 배선의 간격 보다 이미지의 화소 간의 간격이 큰 경우 (75 μm 이상) 에는 Figs. 8(c)와 8(d)와 같이 모든 배선이 붙은 형태로 이미지가 변환되어 원래의 패턴 형상과는 전혀 다른 패턴이 된다.

Fig. 9은 Fig. 8의 이미지를 프린팅 한 결과를 확대한 이미지이다. Figs. 9(a)와 9(b)에서와 같이 화소 간의 간격을 25 μm와 50 μm 으로 하여 변환된 이미지를 사용하여 프린팅한 경우에는 도트 사이의 중첩으로 인하여 배선이 두꺼워지고 이로 인하여 선폭의 간격이 좁아지게 되어 원래 의도한 배선 간격은 불가능하였다. 반면에 화소 간의 간격이 75 μm와 100 μm로 큰 경우에는 도트 사이가 분리가 되어 Figs. 9(c)와 9(d)와 같이 전기 통전을 위한 배선 형성은 불가하였다.

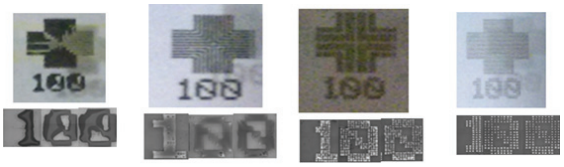
3.4 100 μm 배선 선폭 및 간격 프린팅

Fig. 2(c)에서와 같이 100 μm 배선 폭 및 간격을 가진 패턴을 프린팅을 위하여 비트맵 이미지로 변환된 이미지는 Fig. 10과 같다. Figs. 10(a)와 10(b)에서와 같이 화소의 간격을 25 μm, 50 μm으로 하여



(a) 25 μm (b) 50 μm (c) 75 μm (d) 100 μm

Fig. 10 Converted pattern image with 100 μm line width and interval with various pixel distance

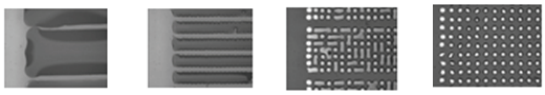


(a) 25 μm (b) 50 μm (c) 75 μm (d) 100 μm

Fig. 11 Printed results of line pattern with 100 μm width and spacing using different pixel distance

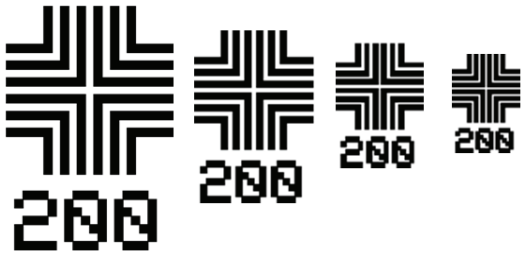
이미지 변환을 수행한 경우에는 캐드에서 의도했던 패턴을 비트맵 이미지로 표현이 가능하였다. 한편으로는 화소 간격을 75 μm으로 하였을 경우에는 비록 픽셀 간격이 배선의 선폭 및 간격인 100 μm 보다 작지만 화소 간격에 비하여 2배 이상 크기 않기 때문에 변환된 비트맵 이미지에서 의도한 패턴을 표현하는 것이 불가능하였다. 마찬가지로 100 μm의 화소 간격으로 이미지 변환한 비트맵 이미지는 Fig. 10(d)와 같이 배선간의 간격이 존재하지 않게 되었다.

화소간의 간격이 25 μm 인 Fig. 10(a)의 이미지를 프린팅을 할 경우에는 도트 크기 (61um)이기 때문에 배선 형성시 과도한 잉크의 중첩으로 인하여 배선의 두께가 증가하여 Figs. 11(a)와 12(a)에서 볼 수 있듯이 배선끼리의 간격이 매우 줄어들거나 일부 배선끼리는 붙게 된다. 반면에 도트 크기 (61 μm)보다 약간 작은 화소 간격 (50 μm)으로 변환된 이미지를 프린팅 할 때는 잉크끼리의 중첩이 약 15 ~ 20% 정도만 되어 배선이 형성되는 것이 가능 할 뿐더러 배선의 두께가 지나치게 증가하지 않기 때문에 원하는 패턴 형성이 가능하였다. 화소 간격을 75 μm 이상으로 하여 변환된 비트맵 이미지를 프린팅 한 경우에는 (Figs. 12(c), 12(d)) 프린팅 되는 도트들이 떨어져 있기 때문에 배선 형성이 불가능하였다.



(a) 25 μm (b) 50 μm (c) 75 μm (d) 100 μm

Fig. 12 Magnified printed results of line pattern with 100 μm width and spacing using different pixel distance



(a) 25 μm (b) 50 μm (c) 75 μm (d) 100 μm

Fig. 13 Converted pattern image with 200 μm line width and interval with various pixel distance

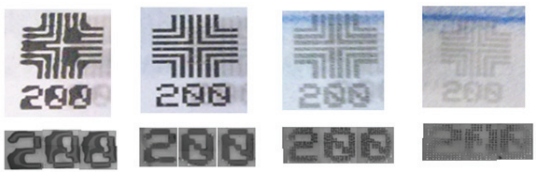
3.5 200 μm 배선 선폭 및 간격 프린팅

200 μm의 배선 간격 및 폭을 가진 패턴을 Fig. 13과 같이 화소 간의 간격을 변화 시켜서 비트맵 이미지로 변환을 하였다. 배선의 간격이 넓기 때문에 비트맵 이미지 변환을 위한 화소의 간격을 100 μm 까지 증가시켰을 때도 의도했던 패턴의 형상을 얻을 수 있었다. 그러나 75 μm의 화소 간격으로 이미지를 변환한 경우에는 화소 간의 거리와 배선 사이의 거리가 정확한 배수의 관계가 아니기 때문에 비트맵 이미지 상의 배선 간격 등이 균일하지 않는 문제가 있었다.

Fig. 14는 Fig. 13의 변환된 비트맵 이미지를 이용하여 프린팅 한 결과이고, Fig. 15는 이를 확대한 결과이다. 200 μm의 배선 간격은 잉크 도트의 크기에 비하여 충분히 떨어져 있지만 화소 간의 거리에 따라서 패턴이 형성이 불가능한 경우도 있었다.

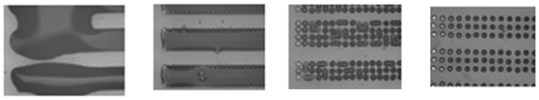
Figs. 14(a)와 15(a)에서 볼 수 있듯이 25 μm의 픽셀 간격으로 프린팅한 경우에는 많은 중첩으로 인하여 배선의 두께가 증가하게 배선 사이의 간격이 매우 좁아지고 일부 배선이 붙게 되었다. 결론적으로 이미지 변환시 해상도를 증가시키는 것은 미세한 패턴을 이미지상에서 표현하는 데에는 장점이 있지만 프린팅 해상도에는 오히려 악영향이 생겼음을 실험 결과로부터 확인하였다.

이미지 화소 간의 거리를 50 μm로 하여 생성된 이미지를 프린팅 하였을 때는 Figs. 14(b)와 15(b)에



(a) 25 μm (b) 50 μm (c) 75 μm (d) 100 μm

Fig. 14 Printed results of line pattern with 200 μm width and spacing using different pixel distance



(a) 25 μm (b) 50 μm (c) 75 μm (d) 100 μm

Fig. 15 Magnified printed results of line pattern with 200 μm width and spacing using different pixel distance

서 볼 수 있듯이 패턴과 배선간의 간격 이 잘 형성되었음을 볼 수 있다. 그러나 화소 간의 간격이 75 μm이상인 경우에는 Figs. 14(c)와 14(d)에서 볼 수 있듯이 육안으로는 패턴이 잘 형성된 것 같지만 확대하여 패턴을 관찰해 보면 Figs. 15(c)와 15(d)와 같이 도트끼리 연결이 되지 않아 전기를 통하는 배선을 프린팅 하는 경우에는 문제가 됨을 알 수 있다. 또한 배선의 굵기인 200 μm얻기 위하여 3회 또는 4회 배선의 선폭 방향으로 프린팅이 됨을 Figs. 15(c)와 15(d)에서 볼 수 있다. 화소의 간격이 75 μm인 이미지를 사용하여 200 μm의 배선 간격을 구현한 경우에는 화소의 간격과 배선의 간격이 정확히 배수가 되지 않는다. 따라서 Fig. 15(c)에서 알 수 있듯이 패턴의 간격 및 폭이 균일하게 프린팅 되지 않은 것을 볼 수 있다.

4. 결론

다양한 치수를 구현하기 위해서는 캐드를 사용한 패턴 형성이 필수적이다. 캐드의 정보는 치수와 위치 정보를 가지고 있는 벡터 정보이기 때문에 잉크젯 토출의 정보로 변화하기 위하여 비트맵 이미지로 변화 시켜야 한다. 비트맵이미지는 제한된 해상도를 가지고 있기 때문에 복잡한 패턴을 표현하기 위해서는 화소 간격을 줄여야 한다. 이를 위하여 프린팅 하려는 패턴의 최소 선폭 및 간격에 비해서 최소한 2배 이상의 이미지 해상도를 가져야만 변환된 이미지에서 패턴을 표현할 수 있음을 확인하였다. 또한 표현하려고 하는 선폭 및 간격은 화소 간의 간격에 정수배가 되어야 비트맵상의 패턴은 왜곡이 되지 않았다. 그러나 화소 간의 간격이 토출된 도트 크기에 비해 50% 이상 작아지면 실제 프린팅을 할 때 기판 위의 잉크 액적(도트) 사이의 지나친 중첩으로 인하여 잉크 뭉침이 생김으로 인하여 목표로 한 패턴 선폭 및 배선 간격 구현이 불가능하였다. 실험 결과로부터 기판 위에 잉크 도트의 크기가 패턴의 정밀도를 결정하는데 중요한 요소가 되었음을 확인하였다. 실험 결과의 결론으로서 다음과 같은 순서로 패턴 정밀도의 한계를 결정하고 프린팅을 위한 이미지의 화소 간의 간격을 결정하는 과정의 프린팅 프로세스를 다음과 제시 할 수 있었다.

(1) 기판위에 토출된 잉크젯 1개의 도트 크기를 측정한다.

(2) 캐드의 패턴을 비트맵 이미지로 변환 시킬 때 이미지의 화소 간의 간격을 토출된 도트 크기에 비해 20~30% 정도 작게 결정한다. 예를 들면 액적 크기가 60 μm라면 50 μm의 화소 간격을 사용하여 이미지 변환을 수행한다.

(3) 프린팅 하려는 패턴의 폭 및 간격이 화소 거리의 2배 이상이 되는지 검토 하여 변환된 이미지가 원래 의도한 패턴과 같은지를 검토한다.

(4) 변환된 비트맵 이미지를 결정된 화소 간의 간격으로 프린팅 한다.

본 연구의 결론은 기판이 친수성의 성질을 가질 때 인쇄 전자 응용에서 배선을 패턴 하는 응용분야에 적합하다. 만약 기판이 소수성 특성을 가지는 경우에는 잉크끼리의 중첩이 있을 때 뭉침이 심해지기 때문에 배선 형성이 불가하다.

후 기

이 논문은 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업 (NRF-2010-0021127, NRF-2013 R1A2A2A01004802) 지원으로 수행하였음.

REFERENCES

1. Kwon, K.-S. and Kim, W., “A Waveform Design Method for High-Speed Inkjet Printing Based on Self-Sensing Measurement,” Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 140, No. 1, pp. 75-83, 2007.

2. Creagh, L. T., McDonald, M., and Letendre, W., “Ink Jet Printhead as a Precision Deposition Tool in Manufacturing FPDs,” Equipment for Electronic Products Manufacturing, Vol. 8, pp. 9-14, 2004.
3. Kwon, K. S., “Vision Monitoring,” in: Inkjet-Based Micromanufacturing, Korvink, J. G., Smith, P. J., and Shin, D.-Y., (Eds.), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, pp. 127-144, 2012.
4. Kwon, K.-S., “Speed Measurement of Ink Droplet by Using Edge Detection Techniques,” Measurement, Vol. 42, No. 1, pp. 44-50, 2009.
5. Kwon, K. S., “Development of a Test Stand for Measuring Ink Jetting Performance,” J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 25, No. 8, pp. 45-50, 2008.
6. Kwon, K.-S., “Experimental Analysis of Waveform Effects on Satellite and Ligament Behavior via in Situ Measurement of the Drop-on-Demand Drop Formation Curve and the Instantaneous Jetting Speed Curve,” Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 20, No. 11, Paper No. 115005, 2010.
7. Oh, J. H., Kim, S. K., Yoon, H. Y., Oh, S. I., Kang, Y. M., et al., “Multi-Head Inkjet Patterning System for Manufacturing a Full Color Polymer Light Emitting Device (pLED),” Proc. of the Korean Society of Mechanical Engineers Spring Conference, pp. 1219-1225, 2003.
8. Kwon, K. S., Go, J. K., and Kim, J. W., “Development of Inkjet Printing System for Printed Electronics,” Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers: A, Vol. 35, No. 10, pp. 1537-1542, 2010.
9. Roh, H. R., Go, J. K., and Kwon, K. S., “Electrohydrodynamic Inkjet Printing System for Ultrafine Patterning,” Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers: B, Vol. 37, No. 9, pp. 873-877, 2013.
10. Kwon, K. S. and Ready, S., “Practical Guide to Machine Vision Software: An Introduction with LabVIEW,” Wiley-VCH, pp. 33-74, 2014.