<응용논문> **DOI:10.3795/KSME-A.2010.34.10.1537** ISSN 1226-4873

전자 인쇄를 위한 잉크젯 프린팅 시스템 개발§

권계시*† · 고정국* · 김진원*
* 순천향대학교 기계공학과

Development of Inkjet Printing System for Printed Electronics

Kye-Si Kwon*†, Jung-Kook Go* and Jin-Won Kim*
* Dept. of Mechanical Engineering, Soonchunhyang Univ.

(Received May 10, 2010 ; Revised July 27, 2010 ; Accepted July 27, 2010)

Key Words: Inkjet Printing System(잉크젯 프린팅 시스템), Printing Algorithm(프린팅 알고리즘), Vector Printing(벡터 프린팅), Raster Printing(래스터 프린팅)

초록: 전자 인쇄 분야에 활용이 가능한 잉크젯 프린팅 시스템을 개발하였다. 목표한 위치에 정확하게 이미지를 패터닝 하기 위한 프린팅 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 개발 하였다. 이를 위하여 패턴 카메라와 선택된 노즐 간의 거리를 구할 수 있는 소프트웨어 알고리즘을 개발하였다. 또한 AutoCAD 의 dxf 파일을 이용하여 XY 스테이지를 동시에 움직여서 프린팅할 수 있는 벡터 프린팅 방법을 개발하였다. 또 다른 프린팅 방법으로 비트맵 이미지를 이용하여 복잡한 이미지를 출력할 수 있는 래스터 프린팅 방법을 개발하였고, CAD 를 이용한 래스터 프린팅 방법과 그 때 생기는 기술적인 문제들을 기술하였다.

Abstract: An inkjet printing system for printed electronics was developed. In this study, a printing algorithm was mainly discussed. In order to print a pattern image at a target location, we developed a hardware and software algorithm for determining the distances between a substrate camera and the selected nozzles. We implemented a vector-printing algorithm where AutoCAD dxf file was used for XY motion control and for printing. We also developed printing method using bitmap images. The technical issues in using CAD drawings and bitmap images were discussed.

1. 서 론

잉크젯 기술이 발전함에 따라 사무용에서부터 전자 부품 및 디스플레이 제조로의 응용 범위가 넓어지고 있다. 이러한 잉크젯이 제조 공정으로서 응용 범위를 넓혀감에 따라 사무용 잉크젯 프린터와 달리 잉크방울(ink drop)의 크기를 정밀 제어 하는 것과 원하는 위치에 수 마이크로미터 이내의 정밀도로 정밀하게 토출 시키는 기술이 필요하다. 이러한 잉크젯 기술은 기존의 반도체 공정과 달리 비싼 재료를 낭비 하지 않고 공정이 이루어지고, 대형화가 용이하여 특히 전자 인쇄 분야에서 잉크젯을 양산 공정에 적용하려는 연구가 활발히 진행 되고 있다.(1)

국외에 잉크젯 공정을 위한 프린팅 시스템을 개발하고 있는 기업들은 Ulvac, AKT(Applied Materials) 등이 있고 헤드 업체인 Dimatix 역시 소형 연구용 장비를 판매하고 있다. 국내의 대표적인 업체로는 Unijet,(2) 디지아이(DGI) 등에서 연구용 장비를 생산하고 있다. 또한 삼성(3) 및 LG 에서는 디스플레이 제조를 위한 잉크젯 장비를 개발하여 양산에 적용하려 하고 있다고 발표한 바 있다. 또한 태양전지 생산을 위한 잉크젯 장비도 schmid 사와 OTB 사에서 생산중이다. 그러나 이러한 기업에서의 프린팅 장비 각 사에서는 자신들만의 프린팅 시스템 제작 및 소프트웨어 Know-How 등을 가지고 있으나 연구자들이 참고할만한 심도 있는 기술적 논문의 발표는 많지 않다.

또한 잉크젯 기술은 다양한 응용범위로 넓어짐에 사용목적에 맞도록 소프트웨어 및 공정 개발이 되어야 한다. 이때마다 목적에 맞게 소프트웨어 및 하드웨어를 변경해야 될 필요성이 있다. 그러나 기존의 상용화된 장비는 연구자가 직접 필요에 따라서 소프트웨어 및 하드웨어

§ 이 논문은 2010 년도 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 춘계학술대회(2010. 4. 22.-23., 제주 라마다프라자) 발표논문임.
† Corresponding Author, kskwon@sch.ac.kr
© 2010 The Korean Society of Mechanical Engineers

변경하는 것이 어렵기 때문에 연구자가 직접 개발을 하여 시스템을 계속해서 개선할 필요가 있다. 본 연구에서는 시스템을 개발 하여 전자 재료를 패터닝(patterning)에 대응할 수 있는 다양한 기능을 갖고 언제든지 필요에 따라서 소프트웨어 및 하드웨어 개선이 가능한 프린팅 장비를 개발 하였다. 또한 다양한 창의적인 프린팅 알고리즘 및 잉크젯 측정 밥법등 의 아이디어를 실제 구현을 통하여 사용자 편의성을 증대시켰다.

기존의 문서 인쇄용 잉크젯 프린터와 달리 전자 인쇄용 잉크젯 프린터는 구별되는 다른 점이 있다. 수 μm 이내의 정밀도가 요구 되고 있고, 또한 원하는 위치에 토출을 시키기 위한 기판 얼라인먼트(alignment) 기술이 필요하다. 또한 토출되는 액적을 정확하게 측정하기 위한 Drop watcher 기능이 필요로 하다. Drop watcher 로부터 측정된 토출 특성은 원하는 제팅 특성이 나오도록 인가되는 입력전압의 파형을 제어 하게 된다.

Drop watcher 개발 및 파형제어는 본 연구실에서 다양한 연구가 진행되었으며 자세한 내용은 참고 논문에서 참조할 수 있다.[4~8] 따라서 본 논문에서는 프린팅을 위한 알고리즘 및 시스템 통합에 대해서 보다 자세하게 기술하려고 한다.

본 논문에서는 시스템 개발 및 하드웨어 통합을 실험실에서 수행하였으며 이를 통합하는 소프트웨어는 NI 사의 LabVIEW software 를 이용하여 구현하였다. 본 연구에서 개발된 소프트웨어 및 하드웨어의 전반적인 내용은 동영상을 통하여 참조 할 수 있다.[9]

2. 하드웨어 구성

전체적인 잉크 제팅 장치의 구성은 Fig. 1 과 같이 구성하였다. 잉크젯 패터닝을 위한 위치 결정 시스템은 기판을 움직이기 위한 Y 스테이지(stage)와 헤드를 움직이기 위한 X 스테이지로 구성이 되어 있다. XY 스테이지 는 리니어 모터를 사용하였다. 헤드의 직각도와 상하 높이 및 기판으로 부터의 수평도를 조절하기 위해서 수동 스테이지를 적용하였다. 프린팅을 위한 기판의 크기는 240x270mm^2 이다.

잉크를 토출 시키는 헤드는 널리 사용되고 있는 단일 노즐 헤드인 Microfab(MJ-AT) 헤드와 Dimatix 사의 128 개의 노즐을 가지고 있는 SE-128 이 서로 쉽게 변환이 가능하도록 하드웨어를 구성하였다. 헤드를 구동하기 위한 드라이브와

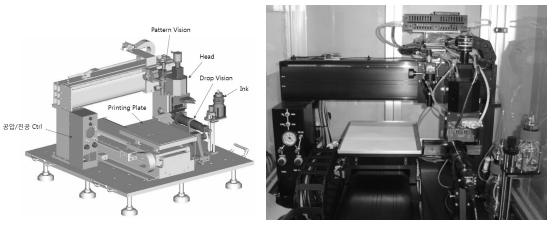

Fig. 1 Hardware for inkjet printing system

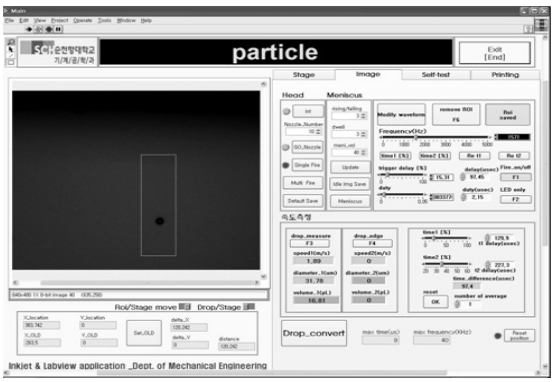

Fig. 2 Main Software

패턴 발생기(pattern generator)는 소프트메카(www.softmecha.com) 사의 것을 이용하였으며 각 헤드에 최적화된 파형 및 프린팅 알고리즘이 변환이 가능하도록 프로그래밍 하였으며 GUI(graphical user interface)에서 사용자의 선택에 의해서 Microfab 또는 Dimatix 헤드에 맞는 최적화 소프웨어 알고리즘이 바로 적용이 되도록 하였다. Fig. 2 는 개발된 소프트웨어의 전체적인 GUI 이다.

모션 제어기로는 NI 사의 PCI-7344 를 사용하였고 UMI-7764 를 통하여 모터 드라이버와 연결하였다. 리니어 모터의 엔코드 해상도는 0.5 μm 를 사용하였으며 엔코더의 위치 정보는 패턴 제너레이터(pattern generator)에 연결이 되어 패터닝 이미지 데이터에 해당하는 데이터를 정확한 위치에 헤드로부터 토출 하도록 하였다.

잉크 액적을 관찰하기 위하여 토출 되는 주파수 제어 및 토출 신호로 부터의 시간 지연을 이용한 LED 제어를 위하여 NI 사의 PCI-6110 의 2 개의 카운터를 사용하였다. 잉크 액적 관찰을 위하여 각 노즐의 위치와 카메라가 정확하게 얼라인먼트 (alignment) 되어야 한다. 전체 노즐의 토출 상태의 측정을 위하여 각 노즐의 토출 속도 및 체적의 측정이 자동으로 스캐닝이 되도록 프로그래밍 하였다. 전체 시스템 통합은 Fig. 3 과 같이 구성하여 이미지를 프린팅 및 액적을 측정할 수 있었다.

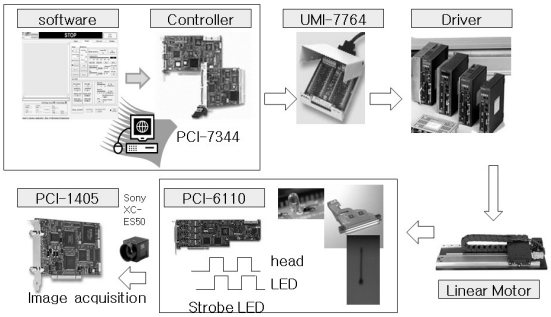

Fig. 3 System integration for printing system

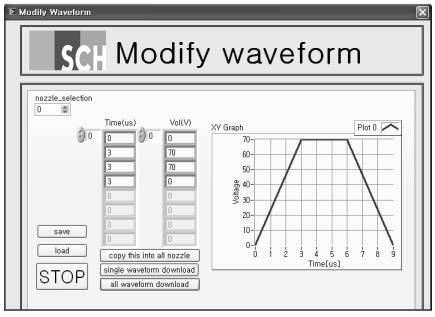

Fig. 4 Waveform modification

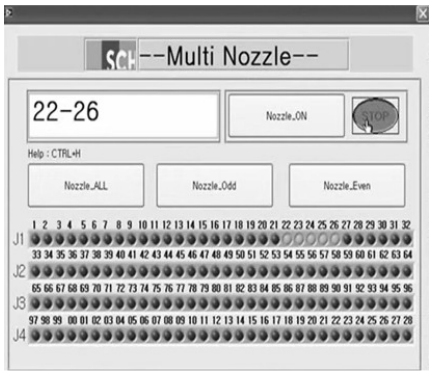

Fig. 5 Nozzle selection for jetting

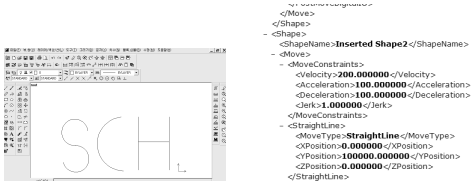

Fig. 6 Dxf file to XML file conversion

3. 프린팅 알고리즘

3.1. 헤드의 제어

토출 되는 잉크의 토출 특성을 제어하기 위해 토출 되는 잉크 방울을 측정하고 이를 제어 하기 위하여 헤드에 인가되는 전압을 이용하여 토출 특성을 변화하는 것이 가장 일반적인 방법이다. 이를 위해 Fig. 4 와 같이 메인 화면으로부터 팝업 메뉴 형태로 사용자로부터 전압의 파라미터를 변화시킬 수 있도록 프로그래밍 하였다.

Microfab 헤드인 경우에는 토출 되는 노즐이 한 개이지만, 다중 노즐의 헤드인 경우 모든 노즐을 다 사용할지 아니면 일부 노즐만 사용할지에 대한 것을 설정해 주어야 한다. 노즐 선택 후 해당 노즐만 이용하여 프린트하는 것은 연구용 장비 측면에서 꼭 필요한 기능이다. 일부 노즐이 막힘등으로 문제가 생길 때 정상 노즐만 토출을 시키므로 헤드 기능의 일부 손상을 입었을 때에도 프린트하는데 문제가 없게 된다. 이를 위하여 Fig. 5 와 같이 토출시키는 노즐을 선택할 수 있게 프로그래밍하였다.

3.2 벡터 프린팅

벡터 프린팅은 XY 스테이지가 동시에 움직이면서 주로 1 개 (혹은 적은 수의) 노즐을 선택하여 프린팅하는 방법이다. 장점으로는 사선, 선분, 도형등을 프린팅할 때 효과적이다. Fig. 6 과 같이 CAD 의 dxf file 을 이용하여 토출 시켜야 될 부분의 운동(shaped motion)과 토출시키지 않을 운동(inserted shaped motion)을 xml 파일 형식으로 변환 시켜 스테이지를 움직인다. 토출시킬 부분에서는 모션 제어기의 DIO(Digital Input Output)로부터 +5V 가 출력이 되고, 토출시키지 않고 다른 패터닝을 위하여 헤드 또는 기판을 프린팅 없이 이동하는 부분에서는 0V 가 출력이 되도록 프로그래밍하였다. 디지털 IO 에서 +5V 가 출력이 될 때, Fig. 7 과 같이 카운터를 사용하여 사용자가 설정한 주파수로 연속 펄스를 만들어준다. 설정한 펄스를 트리거 신호로 이용하여 선택한 노즐을 토출 시키면 CAD 도면의 치수대로 패턴을 만들 수 있다.

이 때의 단점은 토출시키는 구간인 경우 초기 또는 정지시의 가속도 구간에서는 정속 구간에 비해 속도가 작기 때문에 일정한 주파수로 토출이 되도록 프로그래밍 한 경우 토출된 잉크 액적의 간격이 작게 되는 구간이 생기는 단점이 있다. 그러나 정속 구간에서는 일정한 간격의 잉크 액적을 얻을 수 있고 쉽게 토출 주파수를 변화하여 잉크 액적 사이의 간격을 조절할 수 있는 장점이 있다.

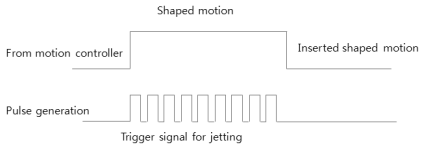

Fig. 7 Firing signal generation for vector printing

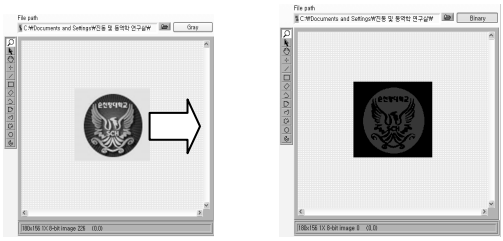

Fig. 8 Binary image conversion

3.3 래스터 프린팅

일반적으로 잉크젯 헤드는 래스터 이미지(raster image)로 패터닝을 하게 된다. 패터닝을 위한 이미지를 위하여 비트맵 이미지(bitmap image)파일을 이용하였다.

일반적인 흑백이미지(8bit image)는 각 pixel 에 해당하는 값이 0~255 의 값을 갖는다. 잉크가 토출이 되는 부분과 토출이 안되는 부분을 만들기 위해서 바이너리 이미지(binary image)로 변환하였다. 실제로는 이미지의 진한 부분과 옅은 부분을 묘사하기 위한 다양한 알고리즘을 구현 할 수 있으나 실제로 전자 인쇄를 위한 공정의 패터닝은 단순한 바이너리 이미지로 변환하여 프린팅을 하여도 충분하다. 바이너리 이미지는 잉크를 토출할 부분에서는 1 의 값을 갖고 잉크가 토출 하지 않을 곳은 0 으로 되어 스테이지를 차례로 움직이면서 프린팅을 해주면 된다.

래스터 프린팅은 복잡한 사진 및 그림 파일 등을 패턴하는 것이 유리하며, 실제 프린팅하는 방향은 주 스캐닝 방향(Main scanning direction, Y stage)과 다음 스왓(swath) 로 이동하기 위한 보조 스캐닝 방향(Subscanning direction, X stage)으로 구별되어 진다. 따라서 Y 스테이지의 엔코더 신호를 이용하여 토출을 위한 트리거 신호로 사용된다.

래스터 프린팅을 위하여 다중 노즐인 경우에 헤드를 기울여서 사용되는 경우와 기울이지 않는 경우가 있다.

헤드를 기울이지 않는 경우 헤드 노즐간의 간격과 이미지의 사이의 x 방향의 간격이 정확하게 정수배의

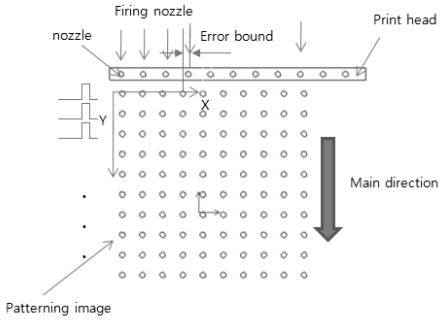

Fig. 9 Patterning algorithm for non-tilted head

관계가 되지 않으면 Fig. 9 과 같이 오차가 발생할 수 있다. 본 개발에는 오차의 범위를 설정하여 오차 범위보다 크지 않은 경우 해당 노즐에서 토출 하지 않고 다음 swath 에서 토출이 되도록 프로그래밍 하였다. 그러나 노즐간의 거리와 프린트해야 될 이미지의 X 해상도가 일치 하지 않을 때 더 많은 swath 가 필요로 하고 모든 노즐이 동시에 토출이 되지 않기 때문에 프린팅 효율이 떨어지는 단점이 있다. 반면에 주프린팅 방향인 Y 방향의 픽셀의 위치는 정밀하게 프린팅하는 것이 가능하다.

선택된 노즐을 모두 프린팅하기 위하여는 x 방향의 이미지의 간격의 배수로 노즐의 간격이 정확히 맞도록 Fig. 10 과 같이 기울이는(tilting) 하는 방법이 많이 사용된다. 그러나 주방향의 이미지(Y 방향)는 Fig. 10 과 같이 토출시 오차가 생기게 된다. 이와 같이 잉크젯 헤드를 기울이는 것은 높은 정밀도가 요구되는 특수한 응용에서 사용되는 경우가 대부분이다. 이때에는 모든 노즐 별로 드라이버를 가지고 있는 DPN(drive per nozzle)을 사용하면 Y 방향의 정밀도 문제 역시 간단히 해결할 수 있다. 그러나 헤드와 드라이브가 고가격이라는 문제점이 있다. 본 연구에서는 1 개의 드라이브가 여러 노즐을 동시에 사용이 되는 저가헤드인 Dimatix 사의 SE-128 헤드인 경우 기울였을 경우 주 방향인 Y 방향의 오차를 감소시키기 위한 방법에 대하여 논의 하려고 한다.

본 연구에서는 Fig. 10 과 같이 추가 더미 이미지(dummy image)를 삽입하는 방법으로 Y 방향의 정밀도를 증가 시켰다. 이의 효과는 Y 방향의 트리거 간격을 이미지의 간격이 아닌 원하는 정밀도 만큼 증가 시켜서 패터닝을 함으로서 Y 방향의 토출 정밀도를 얻을 수 있었다.

3.4 얼라인먼트 방법

인쇄전자를 위한 프린터가 카메라를 통해 정확한

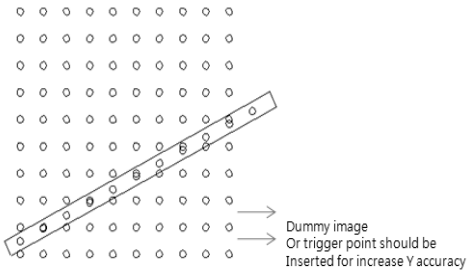

Fig. 10 Patterning algorithm for tilted head

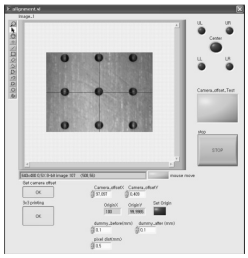

Fig. 11 Alignment algorithm for patterning

위치에 패터닝 할 수 있다는 것은 기존의 문서 출력용 잉크젯 프린트와 구별되는 특징이다.

패터닝 위치에 정확하게 토출을 시키기 위해서는 패턴 카메라(pattern or substrate camera)의 위치와 노즐의 위치의 차이를 정확하게 아는 것이 중요하다. 이를 위하여 노즐 밑면을 관찰할 수 있는 카메라를 이용하여 노즐의 위치를 스캐닝 하여 위치 정보를 구하는 방법이 있다. 본 방법에서는 추가적인 카메라의 설치 없이 지정된 위치에 토출된 결과와 카메라로 이 이미지를 찾은 후 노즐과 카메라의 위치 계산하여 그 차이를 보정해 주는 방법을 사용하였다.

멀티 노즐인 경우 모든 노즐의 카메라로부터의 상대 위치와 헤드의 기울기(tilting)각도등의 정확한 정보가 필요하다. 이를 위해 지정된 곳에 토출 된 곳을 비젼 알고리즘을 통하여 자동으로 찾은 후에 각 위치를 정보를 자동으로 찾는 기능을 구현하였다. 이를 통하여 헤드의 기울기 각도 뿐만 아니라 헤드의 토출 직진성 역시 분석하는 것이 가능하게 되었다.

3.5 멀티 레이어 프린팅 방법

정확히 토출 했던 곳으로부터 다른 이미지를 프린팅하기 위하여 카메라와 노즐간의 거리를 이용하는 방법에 대해서 기술하였다. 그러나 실제로 이전에 토출 했던 부분에 대해서 새로운 토출 해야 되는 정확한 위치를 패터닝 이미지 상에 구현해야 된다. 이를 위하여 Fig. 12 와 같이

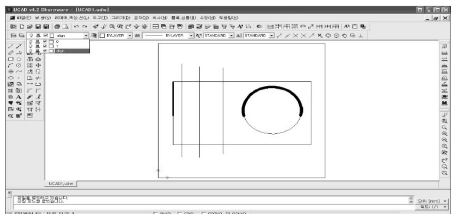

Fig. 12 CAD drawing for multi-layer printing

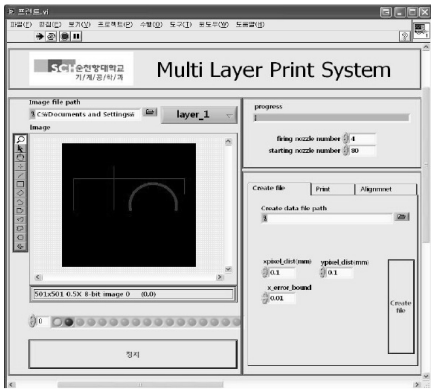

Fig. 13 Multi-layer printing software

CAD 의 다층 레이어 도면을 사용하여 토출 시킬 패턴을 도면화 하였다. 이를 비트맵 이미지로 변환하여야 하므로 이를 위하여 CAD 에서 저장할 때 pixel/mm 를 지정하여 비트맵 이미지를 만들었다. 다층 이미지를 비트맵 이미지로 바꿀 때 치수는 정확하게 픽셀간의 간격을 통하여 변환이 되지만, 절대 위치의 정보는 없어지게 된다. 따라서 모든 레이어의 절대 위치를 통일 할 필요가 있게 된다. 이를 위하여 같은 위치에서 외각선(boundary line)을 CAD 도면에 그렸다. 이 외각선은 기준 위치가 되는 점을 기준으로 그리면 절대 위치로부터 프린팅이 되는 것을 만들어줄 수 있다. CAD 에서 비트맵 이미지로 변환하면서 외각선 보다 크게 변환된 이미지를 얻게 된다. 이미지 프로세싱 기법을 사용하여 외각선 보다 큰 영역을 비트맵 이미지로부터 삭제 하여 외각선의 시작 부분을 같은 위치로 지정하여 패터닝하게 되면 정확하게 다층 레이어로 된 도면을 카메라로 지정된 위치에 정확하게 프린팅하는 것이 가능하게 된다. Fig. 13 은 변환된 이미지를 분석하고 프린팅 할 수 있도록 구현된 소프트웨어이다.

4. 결 론

전자 인쇄를 위한 프린팅 시스템을 개발하였다. 이를 위한 프린팅 알고리즘 및 얼라인먼트

알고리즘을 구현하였고 이때의 기술적인 이슈에 대하여 기술하였다. 이러한 프린팅 알고리즘은 본 연구실에서 개발된 액적 측정 장치 및 잉크젯 모니터링 측정 알고리즘과 함께 통합되어 작동 상태 진단 및 파형 설계 자동화의 알고리즘과 결합하여 지능화된 프린팅 시스템 (intelligent printing system)을 만들기 위한 연구가 진행중이다.

후 기

이 논문은 2008 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호: 331-2008-1-D00019)

참고문헌

(1) Creagh, L., McDonald, M. and Letendre, W., 2004, “Ink Jet Printhead as a Precision Deposition tool in Manufacturing FPDs,” *SEMICON China,* FPD Manufacturing Conference.

(2) Kim, S.S., Kim D.S., Lee, W.H., Shin, D.Y. and Kim, C.H., 2006, “Ink-Jet Printing Technology for Paradigm Shift in Mass Production,” *Journal of Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 23, No.8, pp. 15~21,.

(3) Oh, J.H., Kim, S.K., Yoon, H.Y., Oh, S.I., Kang, Y.M. and Kim, K.I., 2003, “Multi-Head Inkjet Patterning System for Manufacturing a Full Color Polymer Light Emitting Device (pLED),” P*roceedings of KSME springing conference*, pp. 1219~1225.

(4) Kwon, K.S. and Kim W., 2007, “A Waveform Design Method for High Speed Inkjet Printing Based on Self-Sensing Measurement,” *Sensors and Actuators A*, Vol. 140, pp. 75~83.

(5) Kwon, K.S., 2009, “Waveform Design Methods for Piezo Inkjet Dispensers Based on Measured Meniscus Motion,” *IEEE/ASME Journal of Microelectromechanical Systems*, Vol. 18, No. 5, pp. 1118~1125.

(6) Kwon, K.S., 2009, “Speed Measurement of Ink Droplet by Using Edge Detection Techniques Measurement,” Vol. 42, No. 1, pp. 45~50.

(7) Kwon, K.S., Myung, J.H., Um, T.J., Joo, Y.C. and Lee, S.W., 2009, “Relationship Between Ink Jetting Speed and Inkjet Input Waveform Parameters,” Vol. 26, No. 9. Pp. 143~147.

(8) Kwon, K.S. and Myung, J.H., 2009, “Experimental Study on the Relationship Between Ink Droplet Volume and Inkjet Waveform,” Vol. 26, No.4, pp. 141~145.

(9) Kwon, K.S., 2009, “Printing System Development,” website: http://www.youtube.com/watch?v=1eG8kDujXr8,