

# 2021 Display용 Inkjet 기술 동향

Senior Analyst  
**Tetsuo Urabe**

Chief Analyst  
**Dr. Choong Hoon Yi**

# 목차

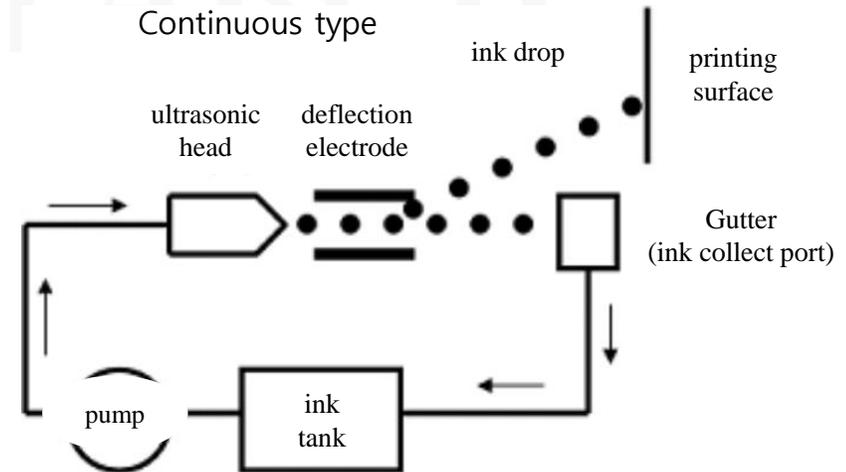
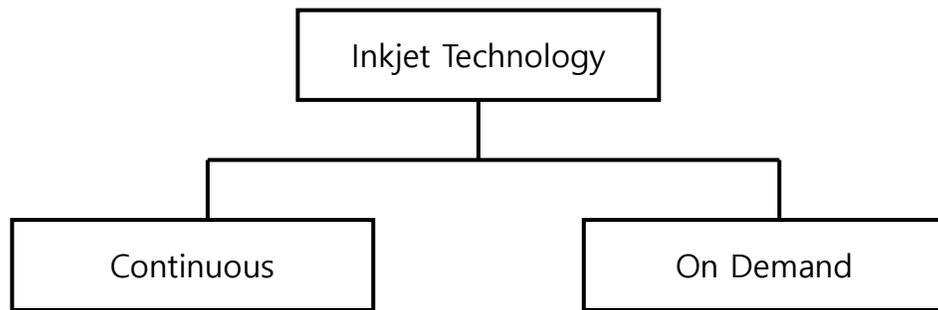
1. Inkjet Printing 기술.....	3	3. Solution Process OLED.....	49
1.1 Printing 기술 분류		3.1 Solution Process 개론	
1.2 Inkjet Printing 기술의 분류		3.2 Solution Process용 재료	
1.3 Thermal Inkjet Printer		3.3 Solution Process OLED용 Inkjet 장비	
1.4 Piezo Inkjet Printer		3.4 Solution Process OLED Process & Device 개발	
1.5 Piezo Inkjet Head		3.5 Solution Process OLED Display 개발	
1.6 Inkjet Printing의 Display에의 응용			
2. Printed Electronics .....	40	4. Quantum Dot의 Display 응용.....	94
2.1 Printed Electronics란		4.1 Quantum Dot이란	
2.2 Printed Electronics의 응용 예		4.2 Display에 있어서 Quantum Dot의 위치	
2.3 Printed Electronics 재료		4.3 색 변환 Quantum Dot	
2.4 Printed Electronics의 Inkjet process		4.4 발광형 Quantum Dot	
2.5 Printed Electronics의 응용 디바이스			
		5. 향후 기술 개발 .....	106
		5.1 Electro Hydrodynamic ( EHD ) Printing	
		5.2 초고정밀 Inkjet : XTPL	
		5.3 Organic Vapor Jet Printing (OVJP)	

# 1. Inkjet Printing 기술

## 1.2 Inkjet Printing 기술의 분류

### Continuous형

- Non-Contact Printing에서 대표적인 Inkjet Printing은 Continuous형과 On Demand형으로 구분된다.
- Continuous형은 아래 그림과 같이 잉크는 항상 헤드에서 토출되어 인쇄 할 타이밍에 편향 전극에 신호가 인가되어, 잉크는 인쇄면을 향해 토출 된다. 그 이외의 타이밍에는 잉크는 거터라는 잉크 회수구쪽으로 토출되어 잉크 탱크에 회수된다.
- Continuous형의 좋은 점은 잉크가 지속적으로 토출되어 있기 때문에 속건성 잉크라도 노즐에 막힘에 의한 결함이 나오지 않고 또한 높은 압력으로 잉크를 뽑기 때문에 점도가 높은 잉크도 사용할 수 있다. 하지만, Multi nozzle 화가 어려운 것과 장치가 커지는 면이 있기 때문에 이 방식은 산업용 마커 등에 사용되는 정도이다.



Ref. Wikipedia

# 1. Inkjet Printing 기술

## 1.4 Piezo Inkjet Printer

### ■ Piezo Inkjet Printer의 Ink 토출 제어

#### Ink 토출량의 균일화

- Piezo 방식 Inkjet head는 nozzle 마다 토출량이 미묘하게 차이가 있다. 이를 보정하는 방식은 다음과 같은 것이 있다.

#### 1) DPN ( Drive Per Nozzle )

각 Nozzle을 개별적으로 구동하고, 토출량이 일정하게 될 수 있도록 구동 파형을 각 Nozzle에 인가한다. (그림 1) 이 방식은 Konica Minolta 헤드 등에 널리 사용되고 있다.

#### 2) Nozzle Mixing

하나의 화소에 N 방울의 토출이 필요한 경우, 하나의 Nozzle에서 N 방울을 토출하는 것이 아니라 N 개의 Nozzle에서 1 방울씩 토출한다. (그림 2) 이 방식은 Kateeva 장치에 도입되어 있다.

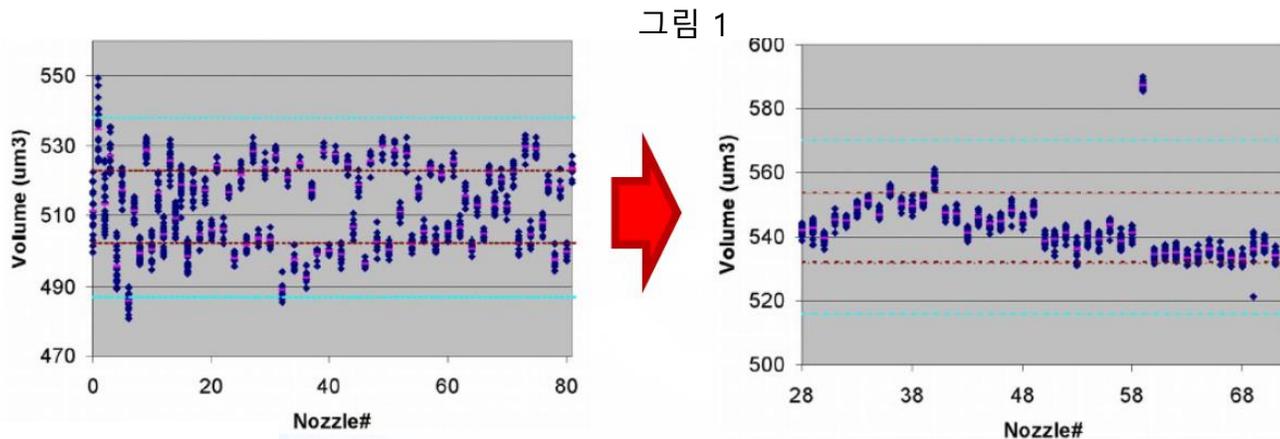
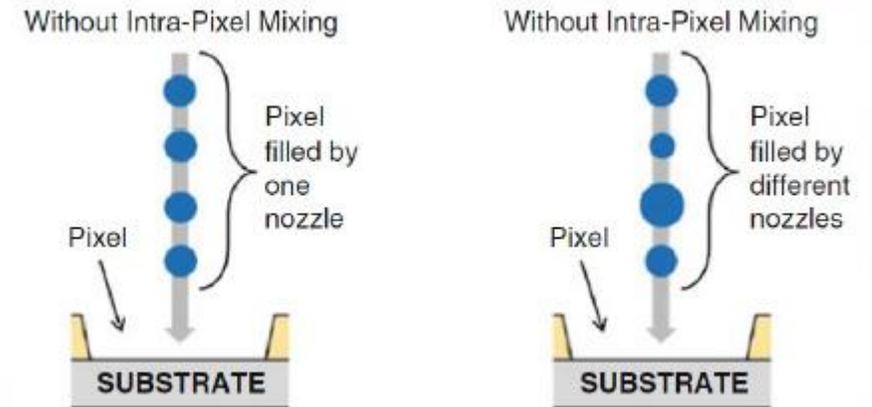


그림 2

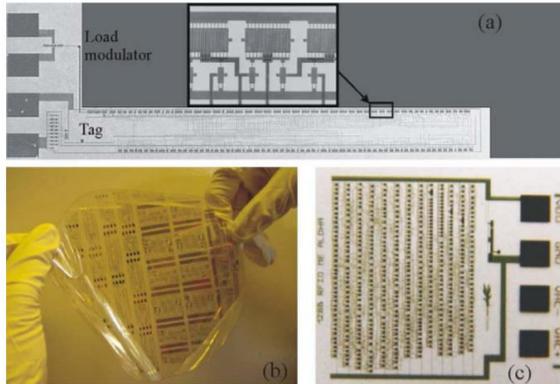


# 2. Printed Electronics

## 2.2 Printed Electronics의 응용 예

- Printing process를 베이스로 하는 Flexible Electronics는 2010년경에 개발의 전성기를 맞아, 아래와 같은 RF ID Tag용 회로, 필름형 메모리, 필름형 광센서 등, 다양한 회로-디바이스가 개발되었다. 그 후 모든 것을 Printing으로 제작하는 것이 아니라, 신호 처리 등은 Si IC를 사용해 Printing 쪽이 적합한 부분만을 Printing으로 제작하는 FHE(Flexible Hybrid Electronics)가 주류가 되었다.

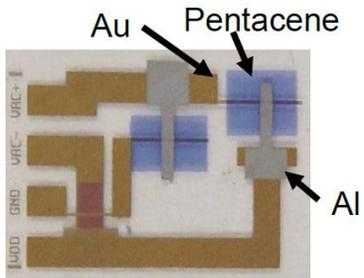
128 bit Organic RFID Transponder chip



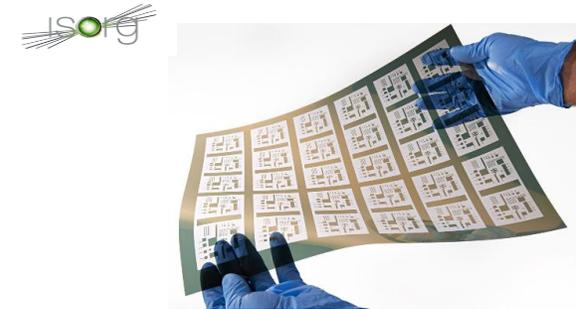
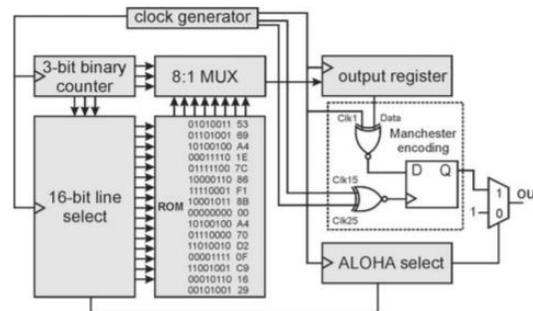
13.56MHz RFID tag



강유전 폴리머를 이용한 Plastic memory



Holst Center, ISSCC 2009



유기 Photo sensor

## 2. Printed Electronics

### 2.5 Printed Electronics의 응용 디바이스

#### TFT

- JAPER(A Japan Advanced Printed Electronics Research Association)는 2015년 Inkjet Printing을 프로세스 일부로 채용하여, 전체를 인쇄 프로세스로 제작한 TFT array를 개발했다. \*
- TFT의 구조는 도1에 도시 된 Bottom Gate/Bottom contact 구조로 유기 반도체 층을 Inkjet로 형성한다. Gate 및 Source Drain 전극은 Offset Printing으로, Gate Insulator는 Slit Die Coating으로 형성했다. 형성된 TFT 어레이를 도2에 나타내었다. 기판의 필름은 30 $\mu$ m 두께의 300 x 400mm이고 밀도는 85ppi이다.
- TFT 특성을 도3에 나타내었다. 평균 이동도는 0.3cm<sup>2</sup>/V·s, 평균 On 전류는 5 $\mu$ A, 면내 변동은  $\sigma < 10\%$ 였다.

그림 1

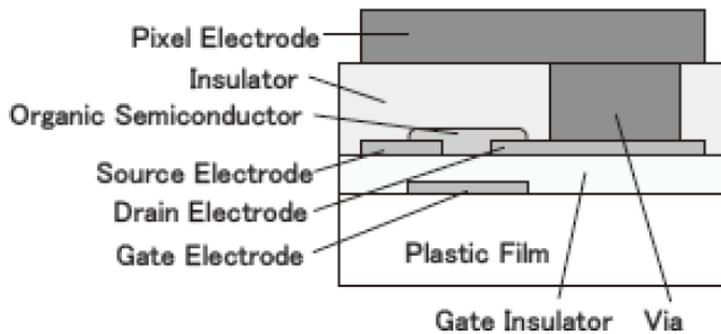


그림 2

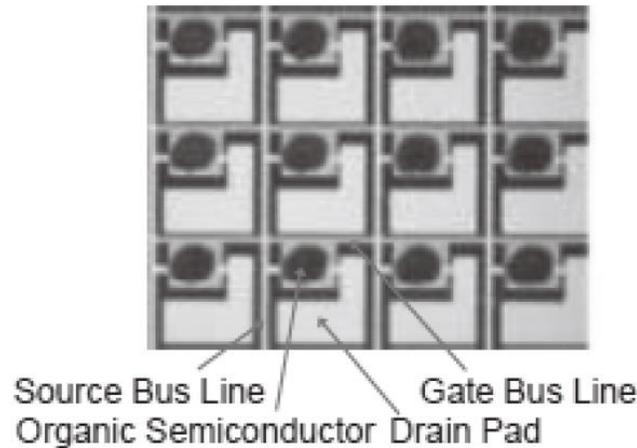
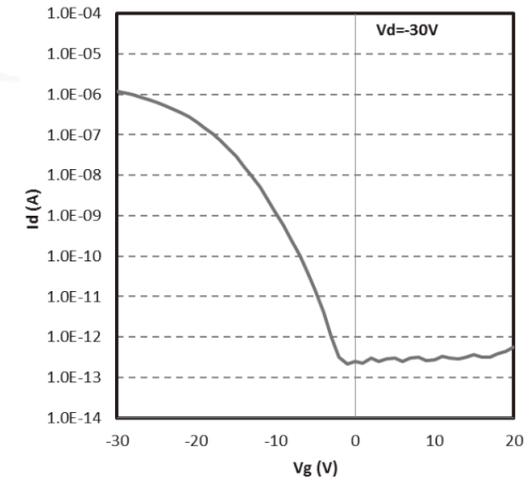


그림 3



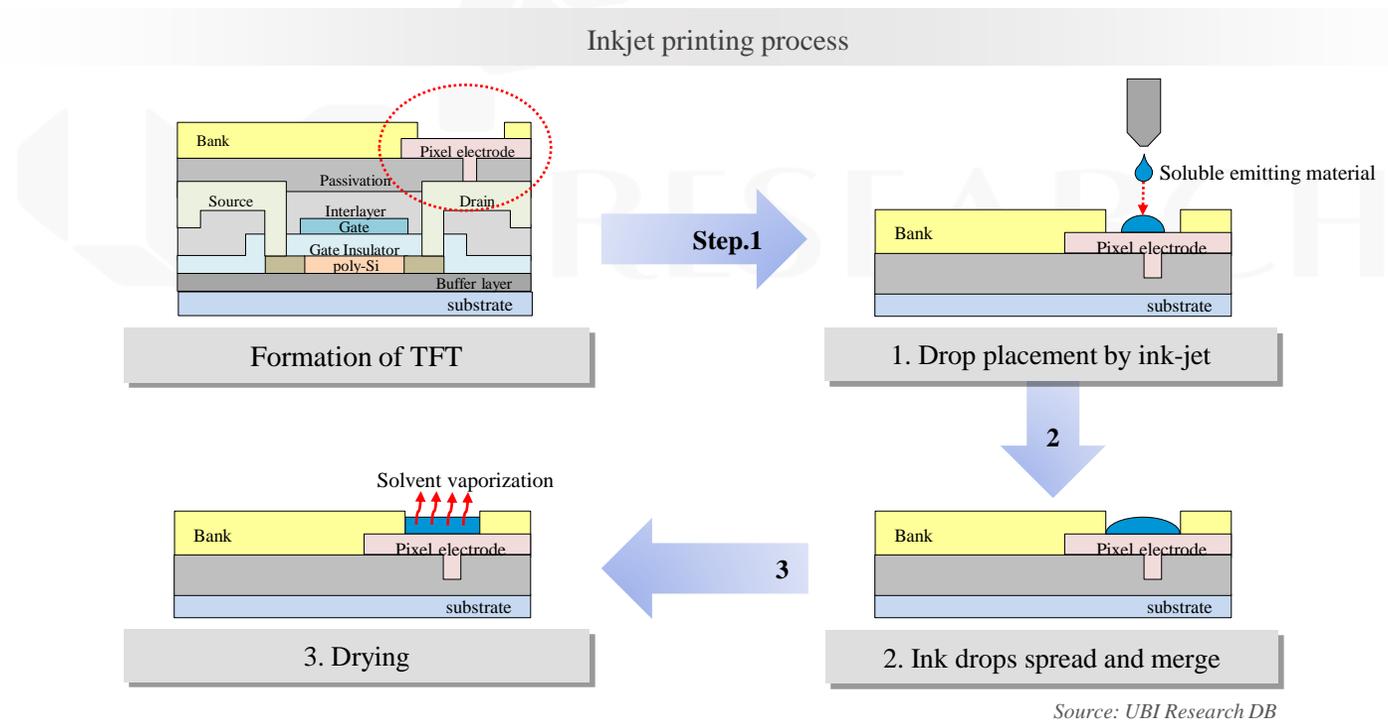
\* Shinichi Nishi, Journal of the Japanese Society of Photography, 2015, Vol. 78, No. 2, 66-69

# 3. Solution Process OLED

## 3.1 Solution process OLED 개요

■ Solution process OLED의 정의

- Solution process에 의한 Active matrix OLED의 프로세스 흐름을 아래 그림에 나타내었다. 화소 전극까지의 TFT 공정을 종료한 후 PDL(Pixel Defining Layer)에 의해 Bank를 형성하고, 그 Bank 내에 Inkjet에 의해 발광 재료를 인쇄한다. 그 후 건조하여 발광층을 형성한다. 또한, OLED 소자는 캐리어 주입층·수송층이나 발광층 등 복수의 유기층이 적층된 구조이므로, Inkjet과 건조 프로세스는 여러번 행해진다.



# 3. Solution Process OLED

## 3.4 Solution Process OLED Process & Device 개발

### Interlayer mixing

- Interlayer mixing이 일어나는 계면의 위치와 캐리어의 재결합 영역의 위치와의 관계를 Kyung Hee Univ.가 조사하고 IDW2020에서 보고했다.\*
- 공통의 HTL, HBL, ETL, EIL과, EML의 호스트만을 전자 수송성의 TPBi로 한 디바이스 A와, 정공 수송성의 APPG087로 한 디바이스 B를 제작했다. 여기서 HTL과 EML은 Solution Process로 형성되고 HBL, ETL, Cathode는 진공 증착으로 형성되었으므로 Interlayer mixing은 그림 1과 같이 HTL과 EML의 계면에서 일어난다.
- 이 두 장치의 EQE를 비교 한 것이 그림 2이다. 장치 A는 장치 B에 비해 높은 EQE를 나타낸다. 이것은 도1에 도시 된 바와 같이 호스트의 차이에 따라 전자와 정공의 재결합 영역의 위치가 이동하고, 디바이스 B의 경우 재결합 영역이 정확하게 Interlayer mixing의 위치가 되어 버리기 때문에 특성 저하가 일어난다. 즉, interfacial mixing이 발생하더라도 재결합 영역의 위치를 적절히 설계함으로써 특성 열화가 방지된다는 것을 나타낸다.

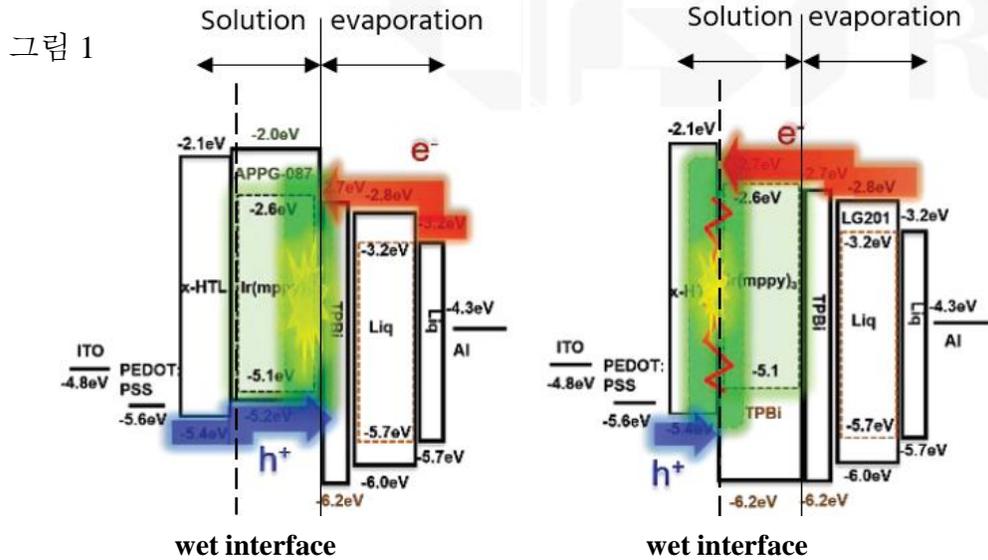
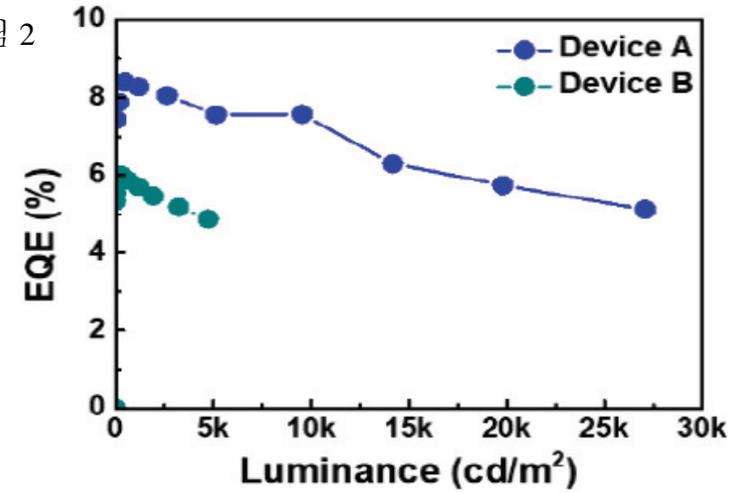


그림 2



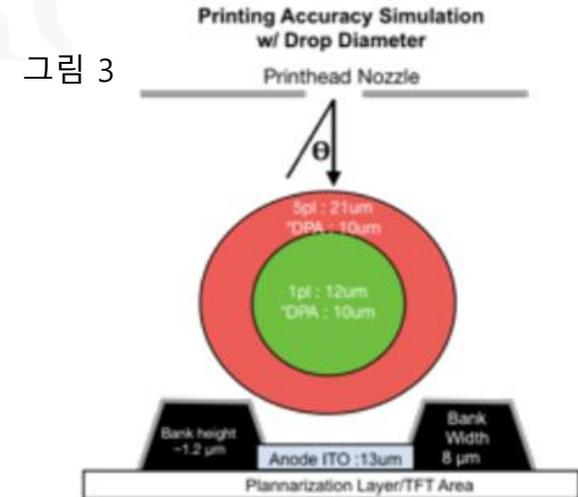
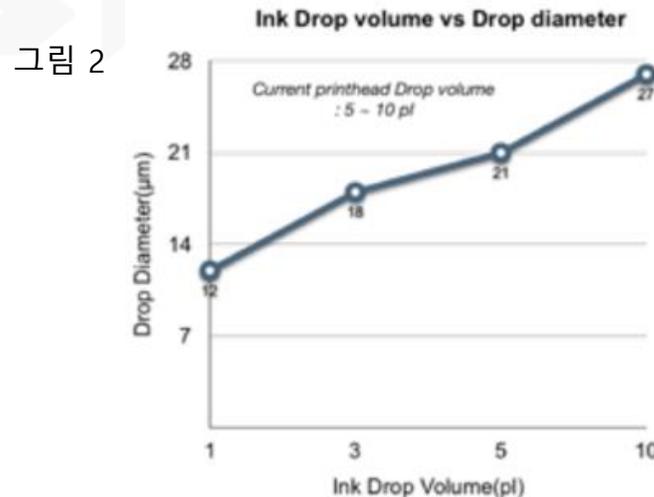
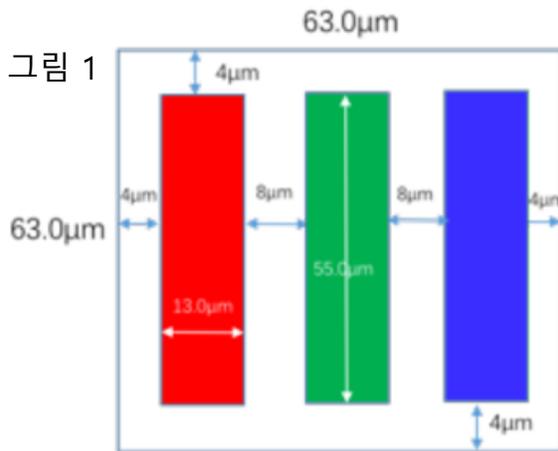
\* The Na Le et. al. IDW2020 Digest OLED 1-4 p.371

# 3. Solution Process OLED

## 3.4 Solution Process OLED Process & Device 개발

### 해상도

- Inkjet 공정에서 제조한 Solution Process OLED에서 현재 가장 고해상도 제품은 JOLED의 204ppi이다. 그러면 이것을 403ppi로 하면 어떻게 되는지 검토를 Juhua가 SID2020에서 보고했다.
- 403ppi 일 때의 RGB Stripe 배열의 경우의 화소 치수는 도 1과 같다. 즉, 각 서브 픽셀의 짧은 축 폭은  $13\mu\text{m}$ 이다. 한편, 액적의 용량과 직경의 관계는 도 2와 같이 되어 있기 때문에, 예를 들면 액적이  $1\text{pL}$  인 경우의 액적 직경은  $12\mu\text{m}$ 이다. 따라서, 이 액적을 서브 픽셀의 짧은 축 방향 단면에 중첩하면, 도 3과 같이 된다. 이 액적의 착탄 정밀도가  $\pm 10\mu\text{m}$ 이면 액적을 정확하게 sub-pixel 내에 토출하는 것은 불가능하다는 것이다.
- Juhua는 이 문제를 해결하기 위해 화소 패턴을 새롭게 설계하여 액적량 :  $5\sim 8\text{pL}$ , 뱅크 폭 :  $15\mu\text{m}$ , 착탄 정밀도 :  $\pm 15\mu\text{m}$  라는 인쇄 조건으로 4.92형 403ppi 고화질 패널의 프로토타입에 성공했지만 어떤 픽셀 패턴이 공개되지 않았다.



## 4. Quantum Dot의 Display 응용

### 4.3 색 변환 Quantum Dot

#### ■ Inkjet용 QD Ink

- 색 변환용 QD를 Inkjet으로 인쇄하기 위한 잉크를 DIC와 Nanosys가 공동 개발해 IDW2017로 보고했다.
- 가정 장치는 Blue의 Backlight 광원을 가지며 CF 대신 QD를 가진 LCD이다. Backlight의 광 이용 효율을 높여 저소비 전력화 한다. 그리고 이 방식은 QD OLED나 Micro LED에 그대로 적용할 수 있는 기술이다.
- QD는 충분한 색 변환 특성을 갖게 하기 위해 고농도(15~50%)로 하고, 산란으로 색 변환을 더욱 촉진시키기 위해  $\text{TiO}_2$ 를 5~20% 혼합하고 있다. 도포 후 경화는 열경화와 UV 경화를 모두 테스트했다. Inkjet Head는 Dimatix의 것을 사용했다.
- 그림 1과 같이 Black Matrix Bank (높이  $2\mu\text{m}$ ) 안에 Inkjet로 Green과 Red의 QD를 인쇄하고, Blue sub pixel은 채우지 않았다. 해상도는 42ppi이다. Green과 Red의 QD를 인쇄·경화 후 전면에 반투명의 Yellow의 막을 형성하여 QD층을 투과하는 Blue 빛을 제거 했다.
- 이 QD plate를 Blue Backlight에 중첩한 것이 도 2, 도 3이다.

그림 1

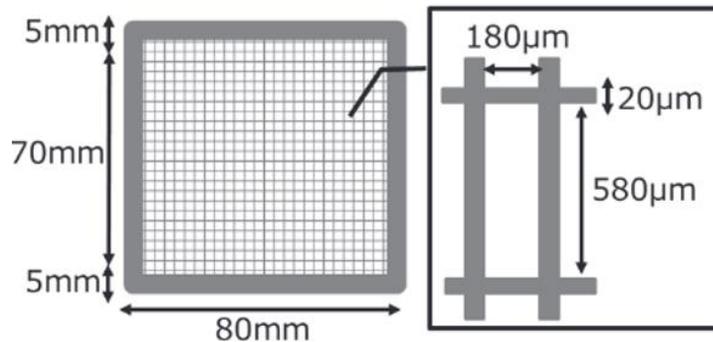
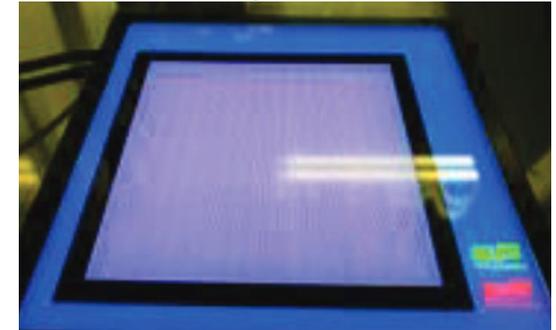


그림 2



그림 3



Ref. Ravi Tangirala et. al. IDW 2017 Digest MEET 4-2 p.1330