

## 6. Liquavista's Electrowetting Driven E-paper

LG Micron 이재성

2003년 9월 25일자 Nature의 표지에 Philips Research Laboratory의 Hayes and Feenstra가 제안한 전기습윤(electrowetting)을 이용한 전자종이가 그림 1에 소개되었다 [1]. 특이할 만한 사항은 기존의 전자종이는 동영상, 즉 빠른 응답속도에 중점을 두기보다 쌍안정성(bistability)과 흑백의 명암 비를 높이는 방향으로 연구개발이 이루어지고 있었는데, Philips사의 모델은 동영상의 구현에 초점을 두었다는 것이다. 고전적인 전기습윤의 원리를 디스플레이의 On/Off switch로서 제안한 Fancy한 아이디어였다. 작년 SID(Society for Information Display) 2006년에 Philips사에서 분사한 Liquavista는 Nature에 제안한 아이디어를 기반으로 만화를 동영상으로 선보였다(그림 2). Liquavista에서 제안한 것은 반사형(reflective type)이지만, University of Cincinnati의 Dr. Hikenfeld는 발광형(emissive type)의 전기습윤기반의 전자종이를 선보였다. 전자는 Red, Green, Blue의 구현을 액적의 색깔(colored oil)로 하는 것이고, 후자는 자외선에 반응하여 가시광선을 내는 Lumophore라는 형광체를 사용하는 데 있다. 그러나, 두 방식 모두에 있어서 전기장하에서 액적(droplet)의 움직임을 조절하는 전기습윤이 구동방식이다. 전기습윤을 이용하여 디스플레이를 구현하는 원리에 대한 소개와 이 방식이 갖는 장단점이 다른 방식과 비교하며 소개될 것이다.



(a)



(b)

그림 1. (a) Philips사에서 발표된 아이디어가 실린 Nature 표지, (b) SID2006에 소개된 동영상.

대표적으로 잘 알려진 반사형의 경우 그 구동원리가 그림 2에 소개되어 있다. (a)는 전기장이 가해지지 않은 상태로, 빨강의 액적오일이 기판(substrate)에 고르게 퍼져 있어 반사되는 빛이 액적오일의 색을 나타내는 것을 보여주고 있으며, (c)는 (a)를 위에서 본 그림이다. 전기장이 가해졌을 때는 (b)와 (d)의 상태를 보여주는데, 액적이 한쪽으로 치우쳐 모이는 것을 볼 수 있다. 이렇게 되는 이유는 위와 아래의 전기장의 분포로 인해 물이 액적을 한쪽으로 몰기 때문이다. 전극위에 발수성(hydrophobic insulator)층이 있어 전압이 가해지지 않으면, 오일이 그 표면 위를 덮게 되게 된다. 그러나, 전압이 가해지게 되면 전기습윤현상으로 인해 물이 오일을 한쪽으로 밀치게 되는 것이다. 그림 4는 4개의 픽셀이 각각 다른 색깔의 오일이 픽셀내에서 모이고 흩어진 형상을 보여주고 있다. 이 픽셀은 LCD에서 칼라필터와 같은 역할을 해주고 있는 것으로, LCD는 안료를 이용하여 픽셀내에 고체로 존재하는 반면, 액적을 이용하는 방식은 빛을 On/Off의 switcher로서의 역할을 하는 액정(Liquid Crystal)의 역할과 안료의 역할을 액적이 함께 해주고 있는 것이다. 픽셀내에서의 액적의 움직임은 오일의 두께, 픽셀사이즈, 오일의 점도등의 함수이다 [2].

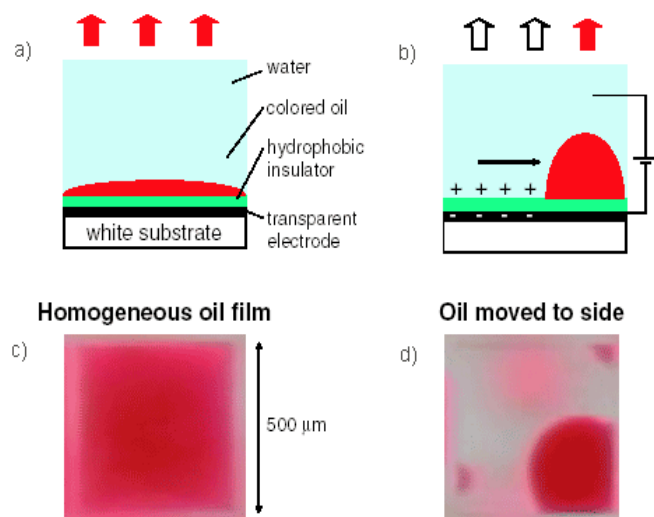


그림 2. 반사형의 전기습윤방식의 구동원리.

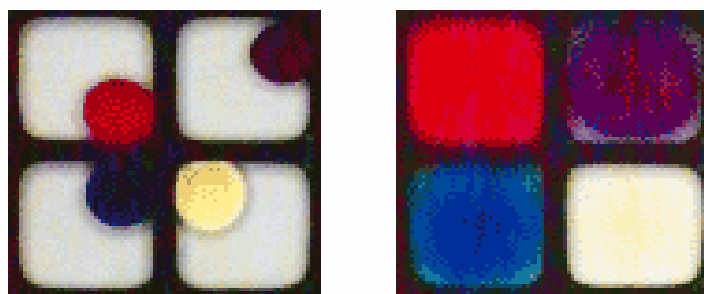


그림 3. 4개의 pixel에 구현된 반사형 전기습윤방식.

발광형 전기습윤방식의 전자종이는 University of Cincinnati의 Dr. Steckl과 Dr. Heikenfeld에 의해 소개되었다 [3]. LED를 이용한 light-wave coupled display는 비극성 오일이 반사형모드와 마찬가지로 switcher의 역할을 한다. 기존의 LCD의 휘도보다 10~40배 정도 이 론효율이 높다. 또한, Red, Green, Blue의 최대 휘도는 각각 950, 5530, and 530  $cd/m^2$  정도이다. 그림 4의 Waveguide는 UV를 저장하는 plate(storage plate)로 굴절율(refractive index)이 ~1.5정도 이다. LED를 통해 발생한 자외선영역의 빛이 Waveguide를 통해 전파되고, 오일에 포함되어 있는 형광체(lumophore)를 자극해 가시광선을 방출하게 된다. 이때, cladding layer는 굴절율이 1.3보다 작은 값을 가져 자외선 빛을 반사시켜 UV를 storage plate로 되돌려 보내는 기능을 한다. 전압이 인가되어 오일이 한쪽으로 모이게 되면, 물의 굴절율(~1.3)로 인해 자외선 빛은 다시 UV storage plate로 돌아가게 된다. 그림 5는 flexible substrate에 구현한 light-wave coupled display (LWC display)인데, 전기습윤을 이용한 것이 아니라, 글자인 부분에 홈을 파서 lumophore를 포함한 오일을 채워 구현한 것이다. 현재까지 전기습윤의 원리를 적용하여 구 현된 light-wave coupled display는 보고되지 않았지만, 빠른 시간안에 소개될 것으로 예상된다.

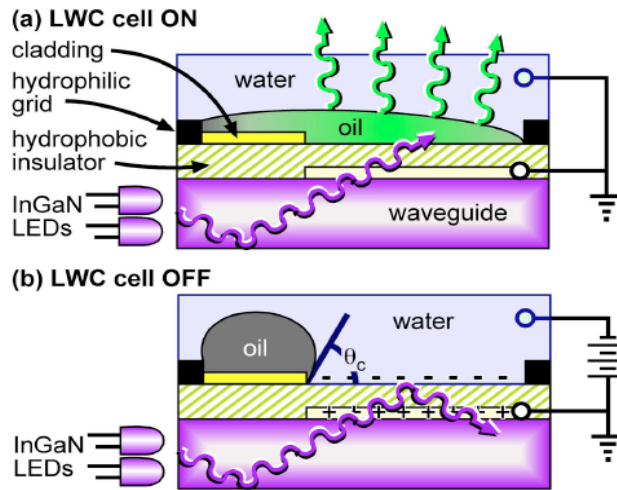


그림 4. 발광형 전기습윤을 이용한 전자종이의 구동원리.

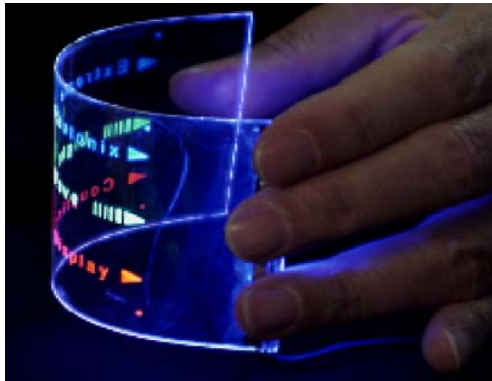


그림 5. 발광형 전기습윤을 이용한 전자종이.

전기습윤을 이용한 방식과 다른 방식과의 구동전력에 대한 비교가 그림 6에 도시되어 있다. 전자종이의 구동방식인 iMoD와 전기습윤을 이용한 방식은 상대적으로 OLED와 기존 LCD에 비해서 훨씬 작은 소모전력을 나타내고 있다. 또한, 전기습윤방식은 구동 전력면에서 큰 장점이 있음을 알 수 있다. 표 1에서도 보듯이 반사율과 대조비 또한 전기습윤방식이 다른 방식에 비해 뛰어남을 알 수 있다. 무엇보다 color conversion이 종이와 같은 수준까지 되어 색의 구현에 있어도 큰 장점이 있다 [4].

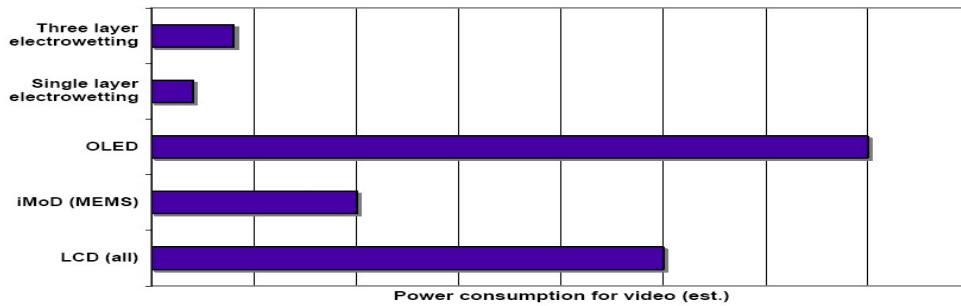


그림 6. 다른 방식과의 전력비교.

Technology	B/W Reflectivity	Color Conversion	Contrast	Viewing angle	Switching speed (ms)
Reflective LC	50	33	15	Limited	15
CTLCD	30	100	10	Limited	50
Electrophoretic	55	33	12	Good	150
MEMS	50	33	12	Limited	<10
Electrowetting*	60	100	15	Good	<10
Paper	70	100	15	Good	-

\* optical properties: in-pixel x 0.90 (accounting for losses at walls)

표 1. 다른 방식과의 특성비교

#### 참고문헌

1. Hayes RA, Feenstra BJ (2003) Video-speed electronic paper based on electrowetting. Nature 425:383-385.
2. Roques-Carmes T, Hayes RA, Feenstra BJ, Schlangen LJM (2004) Liquid behavior inside a reflective display pixel based on electrowetting. Journal of Applied Physics 95:4389-4396.
3. Heikenfeld J, Steckl AJ (2005) Intense switchable fluorescence in light wave coupled electrowetting devices. Applied Physics Letters 86:011105.
4. <http://www.liquavista.com/files/LQV060828XYR-15.pdf>.