전자비드를 이용한 패시브 매트릭스 디스플레이 제작 및 평가에 관한 연구

오유미^{1,a}, 박선우¹

¹ 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과

A Study of Fabrication and Estimation Passive Matrix Display Using Electronic Bead

Yoo-Mi Oh^{1,a} and Sun-Woo Park¹

¹ Department of Electrica and Computer Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

(Received February 21, 2012; Revised February 24, 2012; Accepted February 24, 2012)

Abstract: We have developed new materials that lead to methyl meth acrylate monomer and styrene monomer to using polymerization method. The materials have a powder form and show liquid behavior. We call the "Electronic Bead". An our experiment, a positive-charged particle has TiO₂, polymer and CCA(-), while a negative-charged particle consists of carbon black, polymer and CCA(+). The charged particles have electrical characteristic of white -10 uC/g and black 10 uC/g, respectively. Also, these particles have good fluidity by additive of nano-sized silica. Using these materials, we demonstrated prototype displays that have 320×320 array of pixels and 6-in-diagonal viewable image size, driven by passive-matrix addressing. The reflectivity shows about 30% even though our experiment is at the beginning point. Also, the panel has contrast ratio 6:1. We think there are many chances to improve reflectivity through modifying components of particle resin, mixture ratio of each particle, panel structure and so on.

Keywords: Electronic bead, PMMA, PS, CCA, Silica, Q/M

1. 서 론

디지털 기술의 급속한 발전에 따라 인터넷 및 통신 기술의 광역화와 무선화, 컴퓨터, 방송 및 통신의 융합화로 새로운 life style을 제공하면서 평면 디스플레이 산업이 급속히 성장하고 있다. LCD (liquid crystal display), PDP (plasma display panel), 유기 EL (organic electro luminescent display), FED (field emission display) 등과 같은 평면 디스플레이는 고화

질화, 대형화 및 친환경 관련 요구에 따라 경량화, 박형화 및 저소비전력화를 추구하고 있다. 이러한 추세에 따라 종이처럼 친근하고, 가볍고, 말아서 휴대할 수 있는 차세대 디스플레이인 paper like display를 목표로 하고 있다 [1-3].

Paper like display란 종이를 닮은 전자 디스플레이로 눈의 피로감을 감소시키고, 얇고 가벼우며, 휘 수 있는 display를 말한다. 흔히 E-Paper (electronic paper) 또는 EPD (electronic paper display)로 부르기도 한다. 제작하는 방식에 따라 여러 가지 타입의 전

a. Corresponding author: yoomice5@naver.com

자중이가 있다. 건식 타입의 입자형태로 제조하는 방식은 토너 타입이 대표적이며, 사용되는 resin의 종류에 따라서 제조하는 방식이 다양하다. Resin 중에서 대전성을 부여할 수 있고 코팅될 수 있는 소재라면 전자중이용 bead로 사용 가능하지만, 전하의 감쇠가 빠른 것을 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 착색할 수 있는 무기계 입자로서 산화 티탄 (TiO_2), 아연화 (ZnO) 황화 아연 (ZnS), 실리카 (silica), 코발트 블루 (cobalt blue), 카본 블랙 (carbon black) 등을 사용할 수 있다 [4,5]. 본 논문에서는 현탁 중합 방법으로 제조할 수 있는 메타크릴 모노머 (methacrylic monomer) 및 스티렌 모노머 (styrene monomer)를 이용하였으며, 무기계 입자로서 산화 티탄과 카본 블랙을 이용하여 대전성의 부여가 가능한 "electronic bead"를 제조하였다 [6]. 또한 제조된 입자의 구동 특성을 분석하기 위하여 입자 주입 방법 및 전압 인가 방식에 대한 입자의 운동특성을 관찰 및 분석하고 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 Electronic Bead의 제조 및 구동원리

전기적인 특성을 갖도록 하기 위해서 제조된 electronic bead는 그림 1에 보이는 바와 같이 구형을 띠고 있으며 그 크기는 평균 $10 \mu\text{m}$ 내외이다.

Fig. 1. Manufactured electronic bead.

일반적으로 널리 알려진 현탁 중합방법을 이용하여 제조하였으며, EB의 source로써 monomer인 MMA (methyl meth acrylate), 가교제, 분산제 등을 혼합하

Fig. 2. Surface coated silica of electronic bead.

였다. 입자의 크기를 조절하기 위하여 교반기의 속도를 약 4,000 rpm 정도로 하여 40시간 교반하였다. 또한 bead의 현탁 안정제를 세척하기 위하여 물과 에탄올을 혼합하여 세척하였으며, 수분 성분을 제거하기 위해 탈수 작업을 진행하였다. 입자의 수분을 측정한 결과 3% 이하로 측정 되었다. 제조된 입자는 건조 공정을 거친 후, blender를 이용하여 분쇄 공정을 마치면 구형의 polymer bead가 제조된다.

Mono color를 구현하기 위하여 제조된 입자는 각각 착색제 (colorant)로써, TiO_2 , carbon black을 사용하였다. White electronic bead는 monomer MMA를 black electronic bead는 monomer styrene을 사용하였다. PMMA (poly methyl meth acrylate)와 PS (poly styrene)으로 제조된 입자는 전기적으로 낮은 전하량 (q/m , charge to mass ratio)을 가지고 있다. 입자의 전하량을 측정하기 위하여 패러데이 케이지 측정원리인 TREK-200HS장치를 사용하였다. 그 결과 white 입자는 $2.67 \mu\text{C/g}$, black 입자는 $2.18 \mu\text{C/g}$ 로 측정되었다. EB의 구동원리는 패널 내에서 positive와 negative의 극성을 가진 입자들의 상하운동에 의해 이미지표시를 한다. 입자를 양전하 (positive charge)와 음전하 (negative charge)의 특성을 갖도록 하기 위하여 bead를 제조할 때 전하를 가질 수 있는 positive CCA (charge control agent)와 negative CCA를 투입하여 제조하였다. 또한 입자의 상하운동 시 서로간의 마찰 대전 및 유동성을 부여하기 위하여 표면에 silica를 코팅하였다.

그림 2는 silica가 코팅된 입자의 표면을 찍은 것이다.

Fig. 3. Driving principle of electronic bead.

CCA와 착색제 그리고 silica을 이용하여 positive charge를 갖는 black EB와 negative charge를 갖는 white EB를 제조하였다. 제조된 EB는 외부인가 전압으로 인해 패널 내에서 상하운동을 하여 전극표면에 이미지를 표시하게 된다.

그림 3은 EB가 패널 내에서 움직이는 구동원리이다.

EB는 크기와 전하량 (q/m)에 따라 구동특성이 달라진다. 그 외에 격벽의 높이 입자들의 배열 등에 따라 구동특성의 변수로 작용하지만, 패널 내에서의 운동은 전하량과 크기에 의존하고 있다. EB의 크기가 클수록 전하량은 낮아지고, 작을수록 높아지는 특성이 있다.

또한 두 EB 간의 전하량의 크기에 의해 뭉침현상이나 벽면에 흡착하여 떨어지지 않는 현상도 나타난다. 이러한 특성을 해결하기 위하여 균일하게 제조하고, 전하량은 일정하게 갖도록 silica 코팅을 해야 한다.

본 실험에서는 두 EB의 크기는 평균 $10\ \mu\text{m}$, 전하량의 크기는 평균 $\pm 10\ \text{uC/g}$ 을 갖도록 silica를 코팅하였다.

2.2 실험

패널 내에서의 EB의 배열에 따라 운동은 달라지게 된다. 패널 상판 및 하판에 white와 black으로 배열하는 방법과 상판 또는 하판에 혼합하여 배열하는 방법에 따라 그 특성을 분석하였다. 먼저 EB를 배열하기 위하여 패널 내에 EB를 주입하는 방법으로 많은 방법들 중에서 코로나 건 (corona gun)방식을 이용하였다.

그림 4는 코로나 건 방식에 대한 구조를 나타내었다.

Fig. 4. Electronic bead injection by corona gun.

Fig. 5. Inserted electronic bead in cells of the panel. (a) white EBs inserted in cells of the panel and (b) SEM image of the panel.

코로나 건에 EB를 주입한 후 높은 전압으로 분사하는 방식으로 코로나 건 맞은 편 기관에 EB를 충돌시켜 흡착시킨다. EB가 흡착 되기 전, 코로나 건으로부터 분사된 EB는 높은 전압에 의해 이온화가 된다. 기관은 전계가 형성되어 전극표면에만 흡착이 되고, 격벽 표면에는 흡착 되지 않는다. 이러한 특성은 패널을 합착할 때, 격벽 표면에 EB가 놓여 패널의 간극이 벌어지는 현상을 방지할 수 있다. 또한 EB를 혼합하여 코로나 건으로 주입하는 방법은 위의 방법과 유사하나 전압을 인가하지 않고, 압축공기의 힘만으로 EB를 주입할 수 있는 방식이다. 그림 5의 (a)에 코로나 건을 이용하여 EB를 주입한 패널 사진을 나타내었다. EB를 주입하기 위한 패널은 포토리소그래피 방법으로 제작하였으며, 격벽의 재료로 THB-151N thick PR을 사용하여 높이 $25\ \mu\text{m}$, 폭 $30\ \mu\text{m}$ 로 제작하였고, cell 크기는 $300\ \mu\text{m}$ 로 하였다. 그림 5의 (b)에 본 연구에 사용된 패널의 SEM 사진을 나타내었다.

EB 주입 방법에 따른 패널들의 구동특성을 관찰하였다. 상판 및 하판에 white와 black를 각각 주입한

Fig. 6. Characteristic of EBs at biased voltage. (a) separated insertion in cells of the panel and (b) mixed insertion in cells of the panel.

패널의 경우, 10 V 단위로 전압을 인가하여 측정한 결과 50 V에서 EB의 운동이 일어났으며, 100 V를 넘어가면서 운동하는 EB의 수가 증가하였다. 이는 하판 cell 내에 EB와 상판 cell 내의 EB간의 상하운동시 가득 채워져 있는 상태에서 EB가 움직일 수 있는 공간이 부족하여 EB들 사이의 마찰력으로 인해 뭉침 현상이 발생하여 운동속도가 느려지고, 높은 인가전압을 필요로 하게 된 것으로 판단된다. 상판 또는 하판에 혼합하여 주입한 경우, 같은 방법으로 측정한 결과 분리하여 주입한 결과보다 약 20 V 정도 낮은 80 V에서 EB의 운동속도가 빨라졌다. 이는 EB가 운동할 수 있는 공간, 즉 하판 cell 내에서 상판 cell 내로 이동할 수 있는 약 20 μm 정도의 공간이 확보된 결과로 판단된다. 본 실험에서 알 수 있듯이 EB의 운동에 필요한 인가전압은 상하운동에 필요한 공간에도 제약을 받지만, 격벽 높이에도 많은 제약을 받는다는 것을 알 수 있었다. 그림 6에 EB를 분리 주입한 패널 (a)와 혼합하여 주입한 패널 (b)의 구동 후의 그림을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

EB를 혼합하여 주입한 방법으로 6인치 패널을 제작하였다. 패널의 cell크기는 300 μm 이고, 격벽의 높이는 25 μm , 격벽 폭 30 μm 로 제작하였다. 패널을 구동하여 이미지를 표현하기 위한 외부 controller는 scan, data line 각각 320×320 array로 구성하였고, driver IC는 stv의 IC를 사용하였다. 그림 7에 본 실험에 사용된 driver IC를 나타내었다. Driver IC와 패널을 연결할 FPCB 및 쪽 보드를 설계하여, 패널에 각각 연결하였다.

Fig. 7. Driver integrated circuit and board.

Fig. 8. Schematic of driving circuit main board.

Fig. 9. Driving method (three-voltage level method).

Driver IC는 상판 및 하판에 1개 씩 결합되어 각각 320 array로 전압을 인가하고 있으며 max 90 V까지 전압인가가 가능하다. 또한 driver IC에 전압을 인가하고 이미지 및 텍스트를 전송할 수 있는 main board는 그림 8과 같이 구성하였다.

구동회로 구성 및 패널 EB 주입을 완료한 후 이미

Fig. 10. Panel image of three-voltage level driving method.

지 및 텍스트를 구현하기 위하여 DHVDD (data high VDD) 90 V, SMVDD (scan middle VDD) 45 V, DMVDD (data middle VDD) 45 V를 각각 인가하였다. 이 방식은 전압을 3단계의 레벨로 인가하는 방식으로 three-voltage level driving이라고도 한다. 범용적으로 많이 쓰이는 방식으로 최대 인가전압은 90 V로 driver IC의 수용 전압과 같다. 그림 9에 구동 방식을 나타내었다.

위의 방식으로 전압을 인가하여 제작한 패널에 화상을 형성한 결과 그림 10에 보이는 바와 같이 pixel 320×320 array, 약 76 ppi의 해상도가 측정되었다. 화상의 contrast ratio는 약 6:1이고, 응답속도는 약 0.3 msec로 다소 낮은 편이었다. 또한, 인가된 전원을 제거해도 구현된 이미지가 그대로 남아있는 메모리 효과 (memory effect)의 특성도 나타내었다.

위의 실험 결과들에 의하면 EB를 혼합하여 주입하는 방식의 경우 EB간의 상하운동이 원활하여 뭉침 현상은 줄어들지만, 주입된 EB의 수가 적어져 contrast ratio를 확보하기 어려울 것으로 판단된다.

EB를 분리하여 주입하는 방식의 경우 EB 운동에 의한 뭉침 현상은 늘어나지만, EB의 수는 많아져서 contrast ratio는 높아질 것으로 판단된다. 따라서 contrast ratio를 높이고 EB의 뭉침 현상을 줄여 들게 하기 위하여 패널 사이에 spacer를 삽입하는 방식도 하나의 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

Electronic bead의 특성은 구성하는 재료에 따라 달라지며, 첨가제인 CCA, silica의 요소에 따라 원하는 특성대로 제조가 가능하다. 이와 관련하여 positive EB와 negative EB를 제조하기 위하여 MMA 및 styrene인 모노머를 사용하였으며, EB의 유동성 및 대전성을 부여하기 위하여 각각의 극성에 맞는 CCA를 사용하여 제조하였다. 그 결과 EB의 크기에 적합한 대전성 및 유동성을 갖게 하였다. 또한 주입 방법 및 패널의 구조에 따라서 그 구동 특성을 분석하기 위하여 분사방식인 corona gun을 이용한 입자 혼합 주입 방식을 이용하였다. 주입된 EB는 cell 내에 안정하게 흡착되어 패널 구동 시 뭉침현상이 줄어드는 것을 위의 실험으로 증명하였다. 인가된 전압은 아직 높지만, 안정적으로 화상을 구현할 수 있고, 읽고 쓰기가 간편하며, 전원을 제거해도 구현된 화상이 지워지지 않는 메모리 효과 (memory effect)를 가지는 패시브 매트릭스 방식의 디스플레이 특성을 제시하였다.

REFERENCES

- [1] T. Z. Kosci, *Optics & Photonics News*, 18 (2005).
- [2] R. Sakurai, S. Ohno, Y. Masuda, and R. Hattori, *SID Symposium Digest Papers* (San Francisco, USA, 2006) p. 1992.
- [3] T. Kitamura, *Asia Display, IDW'04*, 1721 (2004).
- [4] S. Yamamoto, M. Tatsumi, H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberger, G. Menges, and J. I. Kroschwitz, eds., (*Encyclopedia of Polymer Science and Engineering* Wiley-Interscience, New York, 1988) p. 453.
- [5] A. D. Jenkins, in *Vinyl Polymerization, Part 1* (G. E. Ham, Ed.) (Marcel Dekker, New York, 1967) p. 219.
- [6] Y. M. Oh, K. S. Kim, S. W. Kim, H. S. Youn, C. J. Kim, K. W. Chae, and S. W. Park (IWFPE2010 Workshop, DSSC-p9, Korea, 2010) p. 151.