

대전입자형 디스플레이 소자의 충전전압에 따른 구동특성 분석

김진선¹, 김영조^{1,a}

¹ 청운대학교 전자공학과

Analysis of Driving Characteristics by Putting Voltage of Charged Particle Type Display Device

Jin-Sun Kim¹ and Young-Cho Kim^{1,a}

¹ Department of Electronic Engineering, Chungwoon University, Hongseong 350-701, Korea)

(Received November 10, 2011; Revised December 8, 2011; Accepted December 24, 2011)

Abstract: The charged particle type display device is a kind of the reflectivity type display and shows an image by absorption and reflection of external light source. The charged particle is important factor for driving of the display and quantity of charge per mass of the charged particle determines the driving voltage, contrast ratio, response time, etc. But it is easy for the charged particles to be damaged in the putting process of the display and the damages cause lumping phenomenon of the charged particles. Because the lumping phenomenon makes high driving voltage, low quality of optical properties, short life time, etc, so the charged particles must be filled by stable putting methods. In this paper, we filled the charged particles into the panels by electric fields to improve the electrical and optical characteristics of the display. Also, we analyzed the driving characteristics of the charged particles according to the applied putting voltages.

Keywords: Driving voltage, Putting voltage, q/m , Particle lumping phenomenon, Reflectivity

1. 서론

디스플레이 시장 및 산업은 LCD (liquid crystal display)와 PDP (plasma display panel)와 같은 FPD (flat panel display)가 현재 주도하고 있으며, 전자산업이 발전하면서 플렉서블 디스플레이에 대한 필요성이 대두되고 있다.

전자종이는 플렉서블 디스플레이의 한 종류로써 플렉서블 기판의 적용이 용이하며 발광형이 아닌 반사형 디스플레이로써 눈의 피로가 적어 가독성이 좋고 외부의 전력 없이 쌍안정성인 메모리 효과로 화상을 유지하고 낮은 소비전력을 가지기 때문에 주목을 받

고 있다. 이러한 전자종이는 다양한 소재를 이용하여 개발되고 있으며 현재 휴대폰, kindle (e-book)과 같은 상품 출시 및 상용화가 되었으며, 스마트 카드, POP (point of purchase), ESL (electronic shelf label) 시장이 형성되었다. 향후 전자종이의 응용분야로는 군수산업, 포스터, 대형 광고판, 의료기기 등과 같은 신규 어플리케이션 시장이 급성장할 것으로 전망된다 [1-3]. 전자종이는 현재 다양한 구동방식이 경쟁하고 있으며, 구동방식으로 크게 전기영동 (electrophoretic), 토너형 (toner), 전기습윤 (electrowetting), MEMS (micro electro mechanical systems) 방식 등으로 나뉜다. 본 논문의 대전입자형 디스플레이는 토너형 방식의 한 종류로써 특히 높은 대조비와 짧은 동영상 구현이 가능하고 계조표현이 유리한 빠른 응답속도와 문턱전압이

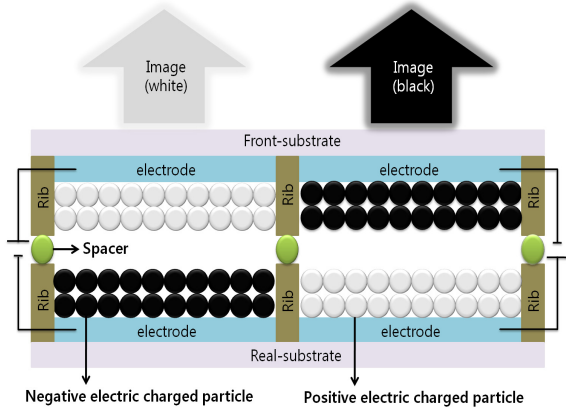


Fig. 1. Driving principle of charged particle type display.

일정하여 PM (passive matrix) 구동이 가능하며, 상·하판의 격벽을 분리하여 형성하는 본 연구의 경우는 aspect ratio가 향상되고 격벽의 높이로 입자의 주입 층 혹은 주입량을 조절할 수 있는 이점이 있다 [4-6].

대전입자형 디스플레이의 구동원리는 두 전극 사이에 격벽으로 셀을 형성하고 상반되는 전하와 컬러를 띠는 대전입자를 충전하여 전극에 인가되는 전계의 힘에 의해 운동을 하는 입자들의 스위칭을 통하여 이미지를 표현하며 그림 1에 이 방식을 간단히 보였다.

대전입자형 디스플레이는 입자의 운동으로 이미지를 표현하기 때문에 입자의 운동특성에 따라 구동특성이 크게 영향을 받는다. 대전입자의 메커니즘 중에 q/m (전하량/질량)은 구동특성을 결정짓는 중요한 파라미터이며 많은 연구결과를 보인 바 있다 [7].

대전입자의 제조는 전기적 특성을 부여하기 위해 촉매제 역할을 하는 CCA (charge control agent) 물질을 첨가한다. 이 물질에 의해 전기적 특성이 정해지며 농도에 따라서 대전입자가 갖는 q/m 값이 정해진다. 대전입자의 q/m 을 균일하게 제조하는 것은 어려운 기술이며 제조과정에서 q/m 를 균일하게 하였다 하더라도 패널주입 과정 혹은 구동에 의한 입자 운동 과정에서 변할 수 있다.

q/m 값이 변할 수 있는 첫 번째 변수는 소자 제작 과정에서 입자의 주입 과정이라고 판단되며 그 원인은 입자주입 과정에서 대전입자는 물리적인 힘과 전기적인 힘을 받게 되는데 받은 힘의 크기에 따라 일부 대전입자의 q/m 이 변하게 되면서 다른 입자들과 뭉침현상을 야기시켜 구동특성이 하락된다.

따라서 본 논문에서는 분리주입 방법으로 입자를

주입하였으며 [8], 주입 시 충전판에 인가되는 충전전압을 변수로 하여 물리적/전기적인 힘에 따른 대전입자의 구동특성을 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 소자 제작

소자의 구동 및 광특성을 평가하기 위해 패널 제작은 셀 사이즈 $225 \mu\text{m} \times 225 \mu\text{m}$, 폭 $30 \mu\text{m}$, 높이 $42 \mu\text{m}$ 인 부도체인 격벽을 형성하여 패널을 제작하였으며, 실험에 사용한 대전입자의 컬러는 흰색과 검은색이며, 입자의 크기는 평균 크기이며 각각 $14.7 \mu\text{m}$, $15.9 \mu\text{m}$ 이다. 또한 대전입자의 q/m 은 흰색입자는 $+4.5 \mu\text{C/g}$, 검은색 입자는 $-3.0 \mu\text{C/g}$ 으로 (-),(+)의 극성을 띠고 있다.

입자주입 방식은 분리주입 방식으로 하였으며 주입 방법은 패널에 대전입자를 주입하기 위해서는 패널의 상판 및 하판에 상반되는 컬러 및 전하를 띠는 대전입자를 도포 후 충전판에 형성된 전극과 패널에 형성된 전극에 전압을 인가한다. 이때 충전판에 인가되는 전압은 도포된 입자와 반대되는 전압을 인가하여 형성된 전계의 힘으로 대전입자를 패널에 형성된 셀에 주입하게 된다.

소자 제작 시 충전판에 인가된 충전전압은 전압을 인가하지 않는 경우 (non), 20 V, 40 V, 60 V를 인가하여 각각 4개의 소자를 제작하였다. 이 때 소자들의 cell gap (두 전극 간의 거리)은 $124 \mu\text{m}$ 로 동일하며, 격벽위에 입자가 충전되는 경우를 고려한 높이이며, $25 \mu\text{m}$ 인 스페이서를 사용하여 입자가 충분히 운동할 수 있는 공간을 확보하였다.

2.1 점유면적 측정 방법

소자의 광특성 평가방법으로는 일반적으로 반사율 측정이 있으며 이 측정방법은 셀의 개구부뿐 아니라 격벽의 반사율 및 패널의 표면 반사율을 포함하고 있기 때문에 입자만의 순수한 반사율을 표현한다고 보기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 객관적이고 정확한 입자만의 광학특성을 보기 위해서 구동된 입자의 순수한 점유면적 측정이 가능한 프로그램을 사용하여 그림 2와 같이 구동 후 입자별로 점유면적 측정을 하였다 [9].

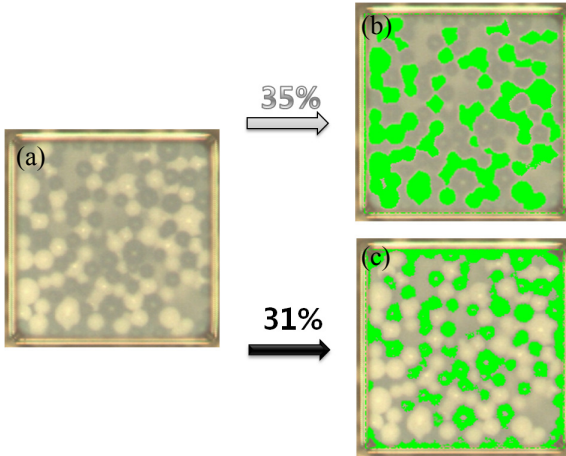


Fig. 2. Area measurement of driven particles. (a) photomicrograph of white and black particles, (b) area of black particles, (c) area of white particles.

소자의 구동은 10 V씩 높여 전압대 별로 점유면적을 측정하였으며, 반사율이 급격히 떨어지거나 과전압에 의해 격벽에 묻치거나 입자들끼리 묻치는 현상에 의해 입자운동이 불규칙하게 나타나는 시점인 항복전압 (V_b) 구간까지 측정하였다. 일반적으로 구동전압의 정의는 대조비가 가장 좋은 구간을 정의하지만, 높은 전압에서 대조비가 우수하다고 하여 구동전압을 정의하는 것은 입자의 수명을 고려하지 않는 것이다.

본 논문에서는 입자들이 불규칙하게 운동하는 항복전압 이후를 제외한 대조비가 좋은 시점을 구동전압 (V_d)이라고 정의하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 충전방법에 의한 입자주입 특성

그림 3은 충전전압에 따른 셀 안에 주입된 대전입자의 주입특성을 보여주고 있다. 그림 3(a)는 충전전압 인가없이 입자를 주입할 경우로써 셀 안에 주입이 잘 안되거나 격벽 위에 입자묻침 현상이 일어나는 것을 확인하였다. 그 원인은 셀 안에는 같은 극성을 가진 입자와 입자 사이에는 서로를 밀어내는 척력인 쿨롱의 힘이 작용하며 주입 시 충전판과 입자, 입자와 입자 간의 접촉에 의한 물리적인 힘 즉, 마찰전기가 발생하게 되어 대전입자의 q/m 값이 변하게 되어 위와

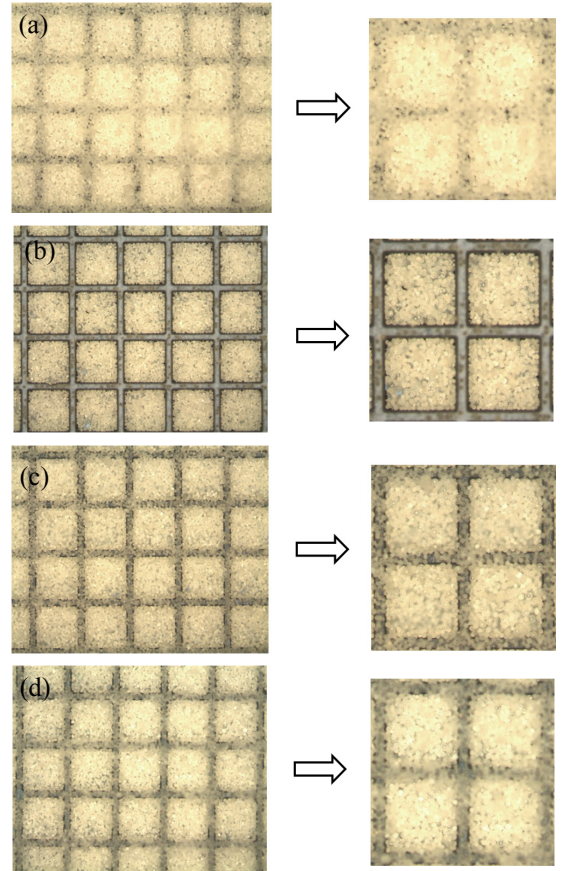


Fig. 3. Characteristics of putted white particle by putting voltage. (a) non-putting voltage, (b) putting voltage of 20 V, (c) putting voltage of 40 V, (d) putting voltage of 60 V.

같은 특성을 보이는 걸로 판단된다.

그림 3(b), (c), (d)와 같이 충전전압을 인가하였을 경우에는 그림 3(a)와 비교하였을 때 비교적 입자 주입이 잘되며, 입자묻침 현상이 적은 것을 확인하였다. 그 원인은 충전판과 패널 사이에 형성된 전계의 힘이 쿨롱의 힘과 물리적인 힘으로부터 받는 입자 손실을 방지해주며 전계에 의해 대전입자의 주입이 안정적이며 입자의 배치가 균일하게 되는 것을 현미경을 통해 관찰되었다.

또한 형성된 전계의 힘에 의해 일정분포의 q/m 을 가진 입자가 주입되는 필터링 효과가 일어난다. 이는 형성된 전계보다 낮은 전계에서 운동하는 q/m 이 큰 입자들은 전계에 의해 셀 안에 주입되지 않고 셀 밖으로 필터링된다. 앞 절에서 언급한 듯이 입자묻침을

야기하는 것은 입자의 q/m의 불균형이 원인이므로 필터링 효과에 의해 입자몽침 현상을 감소시켜 구동 특성에 영향을 줄 것으로 판단된다.

전체적으로 주입특성을 비교하였을 때 그림 3(b)와 같이 적절한 충전전압을 인가하였을 경우 주입상태가 우수한 것을 확인하였으며, 그림 3(c), (d)와 같이 과 충전전압을 인가하였을 경우는 입자의 overcharge를 야기시켜 격벽 및 입자들 간의 몽침현상이 일어나는 것을 확인하였다.

3.2 충전방법에 의한 점유면적 특성

그림 4는 충전전압에 따른 흰색입자의 점유면적 측정 결과로써 소자에 인가된 충전전압은 non, 20 V, 40 V, 60 V이며 분리주입 특성상 패널 상·하판에 입자가 분리되어 있으므로 신뢰성 있는 면적 측정하기 위하여 구동 후 흰색입자의 점유면적을 측정하여 구동특성을 분석하였다.

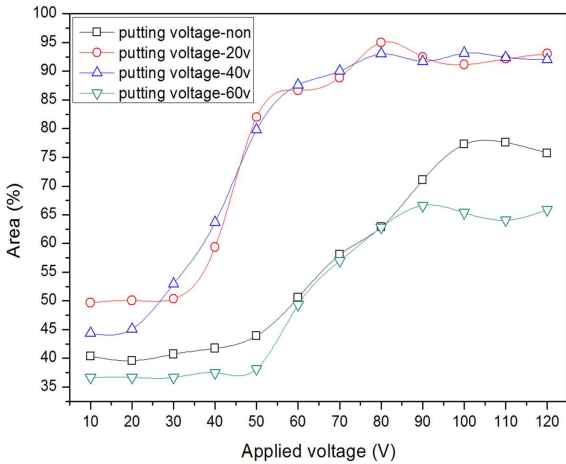


Fig. 4. Comparison of occupation area of devices by putting voltage.

그림 4의 흰색입자의 점유면적 분석 결과 초기 흰색입자의 점유면적이 약 5 % 정도 씩 차이나는 것을 확인하였다. 이는 충전전압에 따른 주입량의 차이이며 충전전압 non, 60 V로 인가했을 경우에는 주입량이 3 layer 이상으로 주입된 것을 현미경으로 관찰하였다. 그 원인은 충전판과 접촉한 대전입자는 물리적/전기적 힘에 의해 대전입자의 CCA가 떨어지거나 q/m값이 변하게 되어 입자몽침 현상이 일어나 주입

량의 차이를 보인 것으로 판단된다. 입자 주입량이 많을수록 입자가 운동하는데 필요한 운동에너지는 커지며 그에 비례하여 구동전압은 커지게 된다.

충전전압을 인가하지 않을 경우에는 문턱전압 (반사율이 변화가 시작되는 시점)은 50 V이며 구동전압 100 V에 이르기 까지 점유면적이 일정하게 증가되는 것을 확인하였다. 구동전압에서 점유면적은 77%이며 약 23% 정도 흰색입자가 구동하지 않으며 그 원인은 입자주입 과정에서 충전판과 접촉한 일부 입자는 순간적으로 큰 물리적인 힘에 의해 데미지를 받아 운동을 하지 않거나 데미지를 받은 입자가 셀 안에 주입되어 전극표면 및 입자들 간의 몽침현상이 일어나 입자의 운동을 방해하는 것을 판단된다.

충전전압 20 V를 인가했을 경우에는 문턱전압 40 V, 구동전압은 80 V이며 구동전압에서 점유면적이 94% 으로 가장 우수하였다. 앞에서 언급한 듯이 분리주입방식에 의한 필터링 효과에 의해서 50 V에서 흰색입자의 점유면적이 80% 이상으로 급격히 증가되면서 대부분의 입자가 활성화되는 fully driving 운동하는 특성을 확인하였다. Fully driving 구동특성은 입자가 운동하기 위한 최소한의 구동전압으로 대부분의 입자가 활성화되기 때문에 입자의 수명과 광학특성 개선에 매우 효과적인 특성으로 이상적인 구동특성을 보이는 것으로 판단된다. 또한 인가된 충전전압에 의해 입자는 대전되어 미약하지만 에이징 효과로 인해 입자가 활성화되는 것으로 판단된다 [10].

충전전압 40 V를 인가했을 경우에는 문턱전압은 30 V이며, 문턱전압 이후 구동특성은 20 V를 인가했을 경우와 비슷한 구동특성을 보이지만, 앞 절에서의 주입특성 면에서는 차이를 보이는 것을 확인하였다. 그 원인은 전계의 힘에 의해 셀 안에 주입된 입자는 물리적 힘을 적게 받으며, 그 외 전계의 힘에 필터링되는 입자는 주입되는 과정에서 충전판의 물리적/전기적 힘에 의해 쉽게 입자몽침 현상이 일어나는 것으로 판단된다. 또한 높은 충전전압으로 인해 일부 q/m이 큰 입자가 주입되면서 필터링 효과는 20 V에 비해 떨어지는 것으로 판단된다.

마지막으로 충전전압 60 V를 인가했을 경우에는 과충전 전압에 의해 흰색입자는 overcharge되어 구동특성이 충전전압을 인가 안했을 경우 보다 현저히 떨어지는 것을 확인하였다. 흰색입자가 가지고 있는 고유의 q/m이 큰 충전전압에 의해 q/m이 변하게 되어 입자 및 격벽에 몽치는 현상으로 인해 구동특성이 하락되는 것으로 판단되며, 입자주입 시 입자가 받는

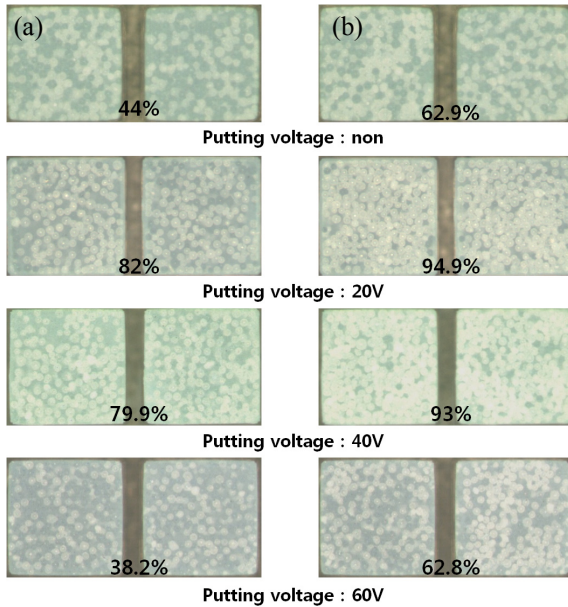


Fig. 5. Occupation area of devices by applied voltage. (a) applied voltage 50 V, (b) applied voltage 80 V.

물리적인 데미지 보다 전기의 힘에 의해 손상이 오히려 큰 것을 확인할 수 있었다.

그림 5는 충전전압에 따른 입자의 운동특성을 특정 구간 50 V, 80 V에서 운동한 흰색입자를 현미경으로 관찰한 그림이다. 점유면적 수치로 비교하면 충전전압 20 V, 40 V에서 점유면적이 우수하여, 물리적/전기적인 데미지를 받은 충전전압 non, 60 V의 경우에는 점유면적이 하락된 것을 확인하였으며 이 결과는 반사율 결과와 일치하였다.

4. 결론

본 논문에서는 충전방법에 의한 대전입자의 운동 및 구동특성을 분석하였다. 주입특성으로는 전기의 힘으로 주입 시 격벽표면 및 입자들 간의 뭉침현상이

적게 일어났으며 물리적인 힘으로 주입 시와 비교했을 때 주입특성이 우수한 것을 확인하였다.

소자의 광특성은 충전전압에 따른 흰색입자의 점유면적 차이를 보였으며 점유면적은 충전전압 20 V에서 가장 우수하였으며 필터링 효과에 의한 fully driving을 하는 구동특성을 확인하였다.

충전전압 60 V와 같은 과충전전압을 인가했을 경우 입자의 overcharge을 야기시켜 입자의 운동특성이 하락되는 것을 확인하였다. 이 결과로 보아 분리주입으로 입자주입 시 적절한 충전전압의 인가는 자명하며, 그에 따른 필터링 효과로 인해 구동특성이 향상됨을 확인하였다. 소자의 구동특성을 향상시키기 위해서는 필터링 공정이 필수적으로 생각되며 q/m의 불균형에 따른 구동특성 하락을 해결할 수 있는 해답이라고 판단된다.

REFERENCES

- [1] M. K. Yoo and S. J. Lim, *Expert Syst. Appl.*, **37**, 6459 (2010).
- [2] H. W. Chun, P. S. Heo, and I. K. You, *Electronics and Telecommunications Trends*, **23**, 153 (2008).
- [3] "E-Paper Displays Report", *Display Search* (2009).
- [4] R. Hattori, S. Yamada, N. Nihei, and R. Sakurai, *SID Symposium Digest Tech. Papers*, **04**, 136 (2004).
- [5] T. Kitamura, *International Display Workshops*, **06**, 587 (2006).
- [6] R. Sakurai, S. Ohno, Y. Masuda, and R. Hattori, *SID Symposium Digest Tech. Papers* (San Francisco, USA, 2006) p. 1922.
- [7] J. S. Kim and Y. C. Kim, *J. KIEEME*, **24**, 669 (2011).
- [8] D. J. Lee, I. S. Hwang, and Y. C. Kim, *J. KIEEME*, **21**, 62 (2008).
- [9] C. W. Kim and Y. C. Kim, *J. KIEEME*, **23**, 691 (2010).
- [10] I. H. Kim and Y. C. Kim, *J. KIEEME*, **22**, 93 (2008).