

대전입자형 디스플레이의 응답특성

Response Characteristics of Charged Particle Type Display

이동진^{1,a}, 김영조¹

(Dong Jin Lee^{1,a} and Young-Cho Kim¹)

Abstract

We studied driving characteristics according to the ratio of mass and charging(m/q) value for charged toner particles with black and yellow color in charged particle type display panel. After biasing rectangle pulse to the transparency electrodes of putted panel with toner particles, its response time and contrast ratio are simultaneously measured using a laser as a optical source, photodiode as a detector and reflective system. As a results, contrast ratio is largest at the shortest response time region which is different to the particle because of m/q. We proposed relational equation for response time, m/q, cell gap and biasing voltage. It has not been studied and reported to analyze the relationship of response time, biasing voltage, lumping phenomena, cell gap, and contrast ratio for toner particle type display.

Key Words : m/q of electric charge, Charged particles, Response time, Memory effect, Contrast ratio

1. 서론

전자종이는 메모리기능을 가진 반사형 디스플레이로서 저전력 구동, 넓은 시야각, 얇은 패널두께, 낮은 제조비용, 높은 대조비를 가지며, 플라스틱 기판을 적용할 경우 플렉시블 디스플레이로서 높은 가능성을 가지고 있어 차세대 디스플레이로 주목받고 있다.

기존의 백라이트 등을 이용하여 강한 빛을 발산하여 화상을 표시하는 발광형 디스플레이장치의 경우, 화면을 육안으로 장시간동안 응시함에 따라 눈의 피로를 쉽게 느끼게 되며, 외부광원이 화상을 표시하기 위하여 발산하는 디스플레이장치의 광원보다 밝을 경우 화면에서 표시되는 이미지를 육안으로 선명하게 볼 수 없다. 그러나 반사형 디스플레이는 태양광이나 외부의 태양광 및 인공광원을 통하여 화상을 표시하기 때문에 상대적으로 눈의 피로를 훨씬 적게 느끼게 되며, 외부광원이 밝을수

록 화면의 이미지가 더욱 선명해지는 이점이 있다[1]. 현재 이와 같은 기술에 근접한 반사형 디스플레이로는 microcapsule과 micro cup, 그리고 대전입자형 디스플레이(charged particles type display) 또는 QR-LPD 등이 있다[2-6].

특히, 양전하 및 음전하를 띠는 대전입자를 매개체로 화상을 표시하는 대전입자형 디스플레이는 높은 메모리효과, 빠른 응답속도를 지니고 있기 때문에 구동 면에서 기술적 접근이 용이하며, 기존의 디스플레이에 비하여 소비전력이 적다. 그리고 문턱전압(V_T)이 존재하여 PM(passive matrix) 및 구동이 가능하며, 종이와 근접한 높은 대조비와 넓은 시야각을 지니고 있어 화면에 표시된 데이터를 부담 없이 장시간 동안 응시할 수 있다.

그림 1은 대전입자형 디스플레이의 구동원리를 나타낸 단면도이며, 그림과 같이 패널양단의 전극에 구동 펄스를 인가하면 양전하를 띠는 대전입자는 인력에 의해 (-)전압이 공급되는 전극표면으로 운동하며, 음전하를 띠는 대전입자는 (+)전압이 공급되는 전극표면으로 운동한다. 이때, 상판의 전극표면에 충전된 상반된 컬러를 지닌 대전입자들의 빛의 반사 또는 흡수를 통하여 화상표시를 한다[7-9].

1. 청운대학교 대학원 전산·전자공학과
(충남 홍성군 홍성읍 남장리 산 29)
a. Corresponding Author : dongjin.lee7@gmail.com
접수일자 : 2008. 12. 24
심사완료 : 2009. 1. 15

기존의 대전입자형 디스플레이에 대한 대조비와 응답속도는 대조비가 높은 시점을 구동전압으로 정의하여 단순히 인가되는 전압에 의한 응답속도를 측정하였으나 전압차에 따른 응답속도와 대조비의 변화에 대한 분석은 이루어진바 없었다[10].

본 연구에서는 전압차에 의해 응답속도와 대조비가 관련이 있음을 확인하였으며, 대전입자의 질량/전하량(m/q)차를 응답속도를 중심으로 해석하고자 하였다. 그리고 전압차에 의한 대전입자의 응답속도와 광학측정을 통하여 검은색 대전입자와 노란색 대전입자의 상대적인 질량/전하량비(m/q), 대조비 그리고 응답속도 변화를 유도하는 대전입자의 움직임 현상을 분석하였다.

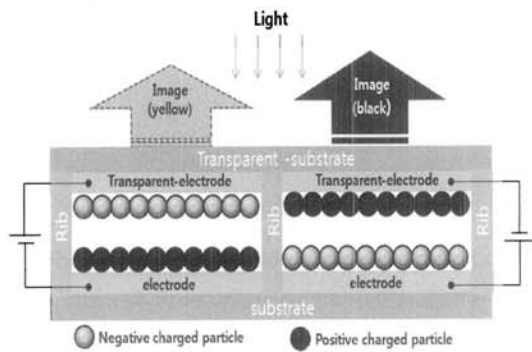


그림 1. 대전입자형 디스플레이 구동원리.
Fig. 1. Driving principle of charged particle-type display.

2. 실험

본 연구에 사용된 대전입자는 양전하와 음전하로 대전된 토너로서 양전하를 띠는 검은색 대전입자와 음전하를 띠는 노란색 대전입자를 사용하였으며, 셀 면적 $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$, 격벽높이 $20\ \mu\text{m}$, 291 ppi의 상판과 하판으로 구성된 패널에 상반된 전하를 띠는 검은색 대전입자와 노란색 대전입자를 주입하여 소자를 제작하였다. 그리고 overshoot 현상이 없고 op-amp에 의해 최대 $\pm 400\ \text{V}$ 로 출력할 수 있는 power supply를 이용하여 제작된 소자에 대전입자가 과전압에 의하여 더 이상 운동하지 않는 전압까지 순차적으로 인가하였으며, 대전입자의 운동특성을 확인하기 위하여 광학현미경으로 확인하였다. 소자의 대조비는 RT-200장비를 이용하

여 노란색 대전입자와 검은색 대전입자의 운동에 의해 변화하는 상판표면의 반사율 및 대조비를 측정하였다. 응답속도를 측정하기 위하여 입사광원으로 레이저를 패널의 상판표면에 입사시켜 반사율 변화를 포토다이오드로 측정한 후 오실로스코프를 이용하여 응답속도를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 패널제작 및 응답속도 측정

그림 2는 비접촉 3차원 표면형상 측정기로 제작된 패널의 상판의 격벽표면을 측정한 사진이다. 측정결과 $0.5\ \mu\text{m}$ 의 오차를 가지며 전극 간격인 $10\ \mu\text{m}$ 에 비해 무시할 수준이었다. 그림 3은 주입된 입자층을 확인하기 위하여 소자를 구동한 후 소자를 분리하여 상판과 하판의 전극 사이를 운동한 대전입자들을 광학현미경으로 관찰한 사진이며, 대부분의 노란색 대전입자와 검은색 대전입자가 단층으로 상판과 하판으로 분리된 것을 확인하였다. 그림 4는 인가된 전압에 의해 상판의 전극으로 운동한 대전입자들의 반사율을 포토다이오드로 측정하여 관찰한 사진이며, 상부의 펄스는 응답펄스로서 포토다이오드의 출력전압펄스이고 하부의 펄스는 패널에 인가된 입력전압펄스이다. 그림 4에서 상승시간은 소자의 상판표면이 검은색 대전입자에서 노란색 대전입자로 전환되는 시간을 말하며, 하강시간은 노란색 대전입자가 검은색 대전입자로 전환되는 시간을 나타낸다. 이때 대전입자가 전환되는 시간을 대전입자의 응답시간으로 정의하였다.

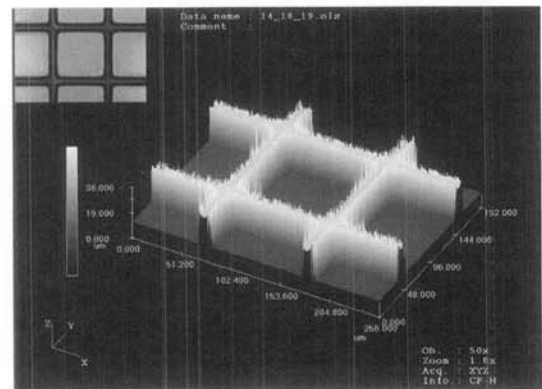


그림 2. 패널의 격벽형상.
Fig. 2. Barrier rib shape of panel.

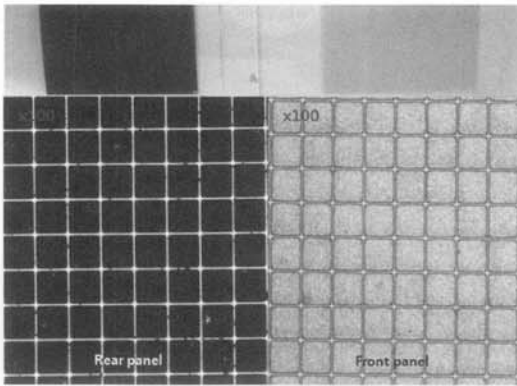


그림 3. 단층으로 주입된 패널.
Fig. 3. Filled panel with single layer.

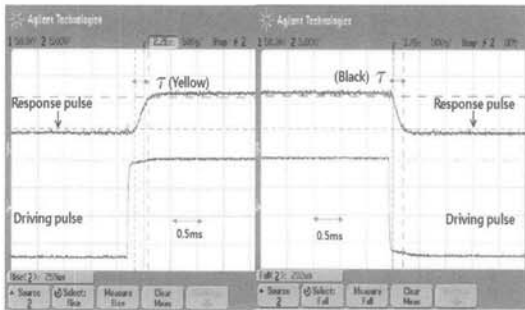


그림 4. 인가펄스에 의한 대전입자의 응답속도.
Fig. 4. Response time of charged particles by applied driving pulse.

3.2 전위차에 따른 대전입자의 운동

대전입자형 디스플레이는 문턱전압(V_T)이 존재하여 PM(Passive matrix)방식으로 구동이 가능하다. 본 논문에서는 입자가 최초운동하고 반사율의 변화가 나타나는 시점의 전압을 문턱전압으로 정의하였으며, 대전입자가 지닌 질량/전하량(m/q)보다 높은 과잉전압에 의하여 대전입자가 입자들끼리 뭉치거나 격벽에 밀착되어 더 높은 전압을 인가하여도 대전입자가 더 이상 운동하지 않는 상태를 과대전(overcharging)현상으로 정의하였다. 또한, 대전입자가 더 이상 증가되는 인가전압에도 오히려 대조비가 급격하게 하락하는 시점의 전압을 항복전압(V_D)으로 정의하였다. 그리고 문턱전압과 항복전압 사이에서 대조비가 가장 높은 시점의 전압을 구동전압(V_D)으로 정의하였다.

증가되는 전압에 의하여 운동하는 대전입자를 광학현미경으로 관찰한 결과, 문턱전압인 35 V부터 일부 소수의 대전입자가 운동하는 것을 확인하였으며, 문턱전압 이후 인가전압의 영역에 따라 변화하는 입자운동을 분석하였다.

인가전압이 35 V~45 V범위에서 운동하는 대전입자들을 관찰한 결과, 노란색 대전입자들은 스스로 운동한 반면에, 검은색 대전입자들은 노란색 대전입자들이 이동하면서 검은색 대전입자에 가까워졌을 때 두 대전입자간의 인력으로 인하여 검은색 대전입자가 노란색 대전입자에 근접하여 뭉치는 것을 확인하였다.

즉, 이 전압범위에서는 노란색 대전입자가 검은색 대전입자 운동을 지배하여 운동하며, 이는 노란색 대전입자의 전하량이 상대적으로 큰 것을 의미한다.

인가전압 65~95 V범위에서는 두 대전입자들이 불규칙적으로 운동한 것을 확인하였으며, 특히 노란색 대전입자들이 60 V 이후에 격벽과 상판에 과대전(overcharge)되거나 인가전압이 높아짐에 따라 breakdown되는 노란색 대전입자가 증가하는 것을 확인하였다. 그리고 검은색 대전입자는 100 V~110 V범위에서 가장 활발히 운동하는 것을 확인하였으며, 110 V 이상에서 과대전현상이 급격히 증가하고 점차적으로 대전입자가 breakdown되는 것을 확인하였다.

인가전압에 따라 대전입자의 운동비율이 다른 현상을 보면, 노란색 대전입자들과 검은색 대전입자들의 각각에 대한 전하량이 불균일한 질량/전하량(m/q)을 지닌 것으로 판단된다.

3.3 전위차에 의한 응답속도 및 대조비 변화

전위차가 V인 두 점 사이에서 전하량 q인 전하를 옮기는데 필요한 일(W)은 $W=qV$ 이며, 전기장 내에서 (+)전하를 전위가 낮은 곳에서 높은 곳으로 이동시키려면 전기장에 대하여 외부에서 일을 해주어야한다. 이때, 포텐셜에너지는 운동에너지로 변환되며 다음의 식 (1)에 보였다.

$$\therefore E_p = qV \propto \frac{1}{2} mv^2 = E_k \quad (1)$$

여기서, E_p 는 입자의 포텐셜에너지이며, q는 대전입자의 전하량, V는 인가전압, v는 입자의속도, 그리고 m은 대전입자의 질량이다.

식 (1)에서, 속도는 $v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$ 로 유도되며, 이 식으로부터 대전입자의 응답속도(τ)를 구할 수 있다. 즉,

$$\therefore \tau^2 \propto d^2 \cdot \frac{2m}{qV} \quad (2)$$

이다. 여기에서, τ 는 응답속도이며, d 는 상판과 하판의 전극간의 거리이다. 이 식으로부터 동일한 전압과 거리에서, 전하량이 클수록 응답속도가 빠르다는 것을 알 수 있으며, 이는 일반적인 전자기적 예측과 일치한다.

그림 5는 검은색 대전입자와 노란색 대전입자 전위차의 증가에 따라 변화하는 응답속도를 측정하여 나타낸 그래프이다. 노란색 대전입자와 검은색 대전입자의 질량/전하량(m/q)이 일정하다면, 두 대전입자의 응답속도는 증가되는 인가전압에 따라 선형적으로 반비례해야한다. 그러나 측정된 응답속도는 선형적이지 않으며, 불특정한 응답속도를 나타낸 것을 확인하였다. 이는 앞서 3.2에서 논한 광학현미경으로 확인한 대전입자들의 운동에 기초하여 분석한 것과 일치한다.

소자에 주입된 대전입자의 응답속도가 대전입자의 대조비에 어떤 영향을 주는지 확인하기 위하여, 응답속도 측정과 동시에 대조비를 측정하였다. 대전입자의 대조비가 높기 위해서는 상판에 형성된 셀에 대전입자가 모두 채워져야 하며, on/off 구동에서는 상반된 컬러를 지닌 대전입자가 상판의 표면에 동시에 존재하여 빛의 반사와 흡수에 영향을 주지 않아야 한다. 그림 5의 A지점을 광학현미경으로 확인한 결과 노란색 대전입자가 주도적으로 운동하고 검은색 대전입자가 노란색 대전입자에 의해 유도되어 운동하며, 가장 응답속도가 빠르고 대조비가 가장 높은것을 확인하였다.

A지점 이후에는 대전입자의 응답속도가 불규칙하게 나타나며, 검은색 대전입자가 주도적으로 운동하는 B지점에서 A지점 이후 응답속도가 빠르고 대조비가 높다는 것을 확인하였다.

즉, 대전입자들의 운동이 가장 활발할 때, 대조비가 가장 높고 응답속도가 빠른 것을 확인하였다.

대전입자의 응답속도와 대조비는 대전입자의 m/q 에 의해 결정되며, A지점은 m/q 가 동일한 노란색 대전입자가 가장 많은 지점이며, B지점은 m/q 가 동일한 검은색 대전입자가 가장 많은 지점

이라는 것을 알 수 있다. 이는 식 (2)와 함께 이해된다.

따라서 m/q 가 일정하지 않으면, 상대적으로 낮은 m/q 를 지닌 대전입자는 과잉전압이 인가되어 과대전현상과 breakdown을 유도한다.

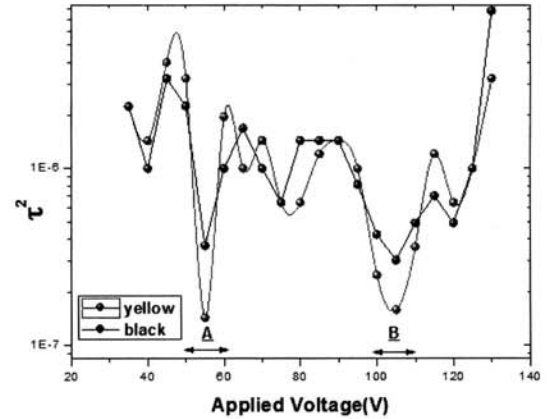


그림 5. 인가펄스에 의한 대전입자응답속도.
Fig. 5. Response time of charged particles by applied driving voltage.

4. 결론

대전입자의 m/q 는 소자의 응답속도, 구동전압, 그리고 광학특성에 큰 영향을 미친다. 계조표현의 방법으로서 펄스에 의해 계조표현이 가능한 응답속도는 신뢰성과 재현성을 가져야 하는데 대전입자의 m/q 가 다르다면, 화상을 표시하는 대전입자의 응답속도와 대조비가 재현성을 가지기 힘들다.

즉, 동일한 전위차에서 구동되지 않고 전위차를 m/q 가 낮은 대전입자를 기준으로 두고 구동할 경우 m/q 가 상대적으로 큰 대전입자가 m/q 가 낮은 대전입자에 종속되어 구동되고 운동하는 대전입자들이 적고 m/q 가 높은 대전입자를 기준으로 구동할 경우 m/q 가 큰 대전입자들의 운동량이 증가하는 반면에 상대적으로 m/q 가 낮은 대전입자는 과잉전압에 영향을 받아 전반적으로 과대전현상과 breakdown현상이 동반되어 구동전압이 높아지고 대조비가 급격히 낮아진다. 따라서 구동전압, 대조비, 응답속도가 재현성을 가지고 안정적으로 구동되기 위해서는 대전입자의 m/q 를 비롯한 연구가 더욱 진행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2007년 소재원천기술개발사업(과제번호 M20070100131)지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] T. Kitamura, "Electronic Paper Based on particle Movement Electrophoretic and Toner Display", IDW 06, p. 587, 2006.
- [2] R. C. Liang, J. Hou, H. M. Zang, and J. Chung, "Passive Matrix Microcup Electrophoretic Displays", IDMC'03, p. 1, 2003.
- [3] R. Hattori, S. Yamada, Y. Masuda, N. Nihei, and R. Sakurai, "Ultra Thin and Flexible Paper-like Display using QR-LPD Technology", SID DIGEST 04, p. 136, 2004.
- [4] Y. Masuda, Y. Sakurai, N. Nihei, and R. Hattori, "Novel Type of Multi-stable Reflective Display Using Electric Powder", IDW/AD 05, p. 821, 2005.
- [5] R. Sakurai, S. Ohno, Y. Masuda, and R. Hattori, "Color and Flexible Electronic Paper Display using QR-LPD Technology", SID DIGEST 06, p. 1922, 2006.
- [6] J.-B. Park, J.-Y. Hwang, D.-S. Seo, D.-G. Moon, and J.-I. Han, "Study on electrical characteristics of plastic ITO film with bending on multi-barrier films", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 17, No. 1, p. 70, 2004.
- [7] D. J. Lee, S. W. Kim, C.-J. Kim, and Y.-C. Kim, "Fabrication and driving of charged particle type display", Proc. 2007 Summer Conf. KIEEME, Vol. 8, p. 72, 2007.
- [8] D. J. Lee, I.-H. Kim, and Y.-C. Kim, "Studies on parameters and voltage characteristics of cell for charged particle type display", Proc. 2008 Summer Conf. KIEEME, Vol. 9, p. 89, 2008.
- [9] Y. Masuda, N. Nihei, R. Sakurai, and R. Hattori, "A reflective-display QR-LPD", Journal of the SID 14/5, p. 443, 2006.
- [10] R. Hattori, S. Yamada, Y. Masuda, and N. Nihei, "A novel bistable reflective display using quick-response liquid powder", Journal of the SID 12/1, p. 136, 2004.