

대전입자형 디스플레이 소자의 점유면적 평가방법에 의한 구동특성 및 메모리 효과 분석

김진선¹, 김영조^{1,a}

¹ 청운대학교 전자공학과

Analysis of Driving Characteristics and Memory Effect by Occupation Area Evaluation Method 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 June 14, 2011; Revised July 22, 2011; Accepted July 23, 2011)

Abstract: The charged particle type display is a kind of the reflectivity type display and shows an image by absorption and reflection of external light source, which has keep an image without additional electric power because of bistability. In this paper, we made a device whose cell gap is $56 \mu\text{m}$ and also analyzed driving and memory characteristics by applied driving voltages. As a result, we found that the driving voltage and memory effect depend on q/m (charge to mass ratio) of charged particle. In this case of breakdown voltage, the devices showed degradation of reflectivity and memory effect due to irregular movement of overcharged particles. In addition, contrast ratio of the device varies with memory effect. Thus, we consider that device needs uniform q/m for improvement of electric and optical properties and memory effect.

Keywords: Driving voltage, Area, Memory effect, Particle lumping phenomenon, Q/m

1. 서론

FPD (flat panel display) 시장이 성장하면서 최근 몇 년간 자유롭게 말거나 휘어지는 플렉서블 디스플레이 (flexible display) 시장이 발전하였다. 특히 전자종이는 플렉서블 기관의 적용이 용이하며 발광형이 아닌 반사형 디스플레이로써 눈의 피로가 적어 가독성이 좋고 외부의 전력 없이 쌍안정성인 메모리 효과로 화상을 유지하고 낮은 소비전력을 가지기 때문에 주목을 받고 있다. 전자종이는 휴대폰, kindle (e-book)과 같은 상품이 출시되었으며, 스마트카드, POP (point of

purchase), ESL (electronic shelf label) 시장이 형성되었다. 향후 전자종이의 응용분야로는 포스터, 대형 광고판, 의료기기 등과 같은 신규어플리케이션 시장이 급성장할 것으로 전망된다.

전자종이의 구동방식으로 전기영동 (electrophoretic), 대전입자형 (charged particle), 전기습윤 (electrowetting), 액정 (liquid crystal), 전기변색 (electrochromic) 방식 등이 있으며, 특히 대전입자형 디스플레이는 특히 높은 대조비와 동영상 구현이 가능하고 계조표현이 유리한 빠른 응답속도와 문턱전압이 일정하여 PM (passive matrix) 구동이 가능하며, 상·하판의 격벽을 분리하여 형성하는 본 연구의 경우는 aspect ratio가 향상되고

a. Corresponding author: yckim@chungwoon.ac.kr

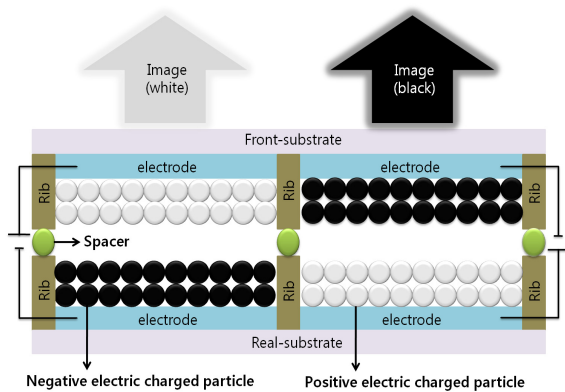


Fig. 1. Driving principle of charged particle type display.

격벽의 높이로 입자의 주입층 혹은 주입량을 조절할 수 있는 이점이 있다 [1-4].

그림 1은 대전입자형 디스플레이의 구동원리를 나타내는 단면도이다 [5]. 대전입자형 디스플레이의 구동원리는 두 전극 사이에 격벽으로 셀을 형성하고 상반되는 전하(양전하, 음전하)와 컬러를 띄는 대전입자를 충전하여 전극에 인가되는 전계의 힘에 의해 운동을 하는 입자들의 스위칭을 통하여 이미지를 표현한다.

대전입자형 디스플레이의 메모리 효과라 불리는 쌍안정성은 전압 차단 시 이미지를 유지하는데 있어 중요한 파라미터이며, 메모리 효과의 하락은 소자의 광학특성과 직접적으로 연관이 있다. 따라서 본 논문에서는 메모리 효과를 평가하기 위하여 인가되는 전압의 따른 반사율 및 입자의 점유면적을 비교하여 구동특성을 분석하였으며, 인가전압을 차단하였을 때 그에 따른 반사율 및 점유면적의 변화로 메모리 효과를 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 소자 제작

소자의 구동 및 광특성을 평가하기 위해 ITO glass 위에 셀 사이즈 $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$, 폭 $10\ \mu\text{m}$, 높이 $34\ \mu\text{m}$ 인 격벽을 형성하여 패널을 제작하였으며 실험에 사용한 입자는 크기가 약 $10\ \mu\text{m}$ 인 음전하를 띄는 white 입자와 양전하를 띄는 black 대전입자를 1:1의 비율로 혼합하여 입자를 충전하였다. 이때 두 전극 간

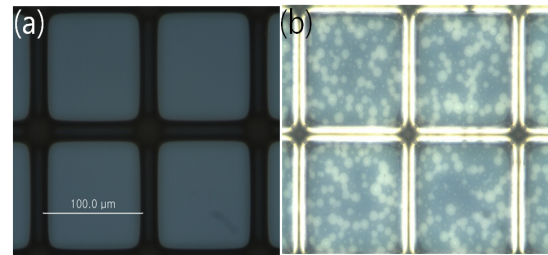


Fig. 2. Device fabrication for driving of charged particle type display. (a) cell of fabrication panel, (b) particles filled in the cells of the panel.

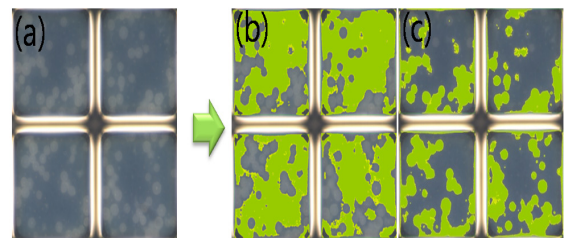


Fig. 3. Area measurement of driven particles. (a) photomicrograph of white and black particles, (b) area of black particles, (c) area of white particles.

의 cell gap은 격벽위에 입자가 충전되는 경우를 고려하였으며 $12\ \mu\text{m}$ 인 스페이서를 사용하였다. 소자 제작은 상·하판을 합착하는 형태로 cell gap (상·하판 전극간의 거리) $56\ \mu\text{m}$ 로 제작하였다.

소자의 구동은 power supply를 사용하여 전압을 인가하였으며 5 V씩 높여 전압대 별로 반사율 및 입자의 점유면적을 측정 하였다. 그림 2는 소자의 셀 내부를 현미경으로 촬영한 사진이며 대전입자가 충전된 상태를 보여주고 있다.

광학평가의 한 종류인 반사율 측정방법은 셀의 개구부뿐 아니라 격벽의 반사율 및 패널의 표면 반사율을 포함하고 있기 때문에 입자만의 순수한 반사율 평가의 저해요인이 된다. 따라서 본 논문에서는 객관적이고 정확한 입자만의 광학특성을 보기 위해서 구동된 입자의 순수한 점유면적측정이 가능한 프로그램을 사용하여 그림 3과 같이 구동 후 입자별로 면적측정을 하였다.

프로그램의 특징은 현미경으로 관찰된 입자의 명암 및 감마값, RGB의 히스토그램을 조절하여 전압대별로 구동된 대전입자들의 전극에 근접 정도를 각각 측

정할 수 있으며, 또한 소자의 표면의 이미지를 분할하여 입자를 추출하고 구동된 입자수를 카운트할 수 있다. 입자의 운동과 무관한 격벽을 제외시켜 셀 안에서 실제로 구동되는 입자의 점유비율을 측정할 수 있으며, 측정정적 및 RGB의 히스토그램을 고정시켜 측정시간을 단축하고 여러 컬러입자를 충전하여도 동일한 색도를 가진 입자를 검출할 수 있어 신뢰성 있는 데이터를 산출할 수 있다 [6,7].

3. 결과 및 고찰

3.1 인가전압의 유무에 따른 구동특성

본 실험에서는 입자가 최초운동을 하면서 반사율의 변화가 있는 시점을 문턱전압(V_{th})이라고 정의하였으며 대전입자가 증가되는 인가전압에 비하여 반사율이 오히려 떨어지거나 입자의 전하량보다 과전압에 의해 격벽에 묻치거나 입자들끼리 묻치는 현상에 의해 입자운동이 불규칙하게 나타나는 시점을 항복전압(V_b)이라고 정의하였다. 일반적으로 말하는 구동전압(V_d)은 대조비가 가장 좋은 시점을 정의하지만, 본 논문에서는 입자들이 불규칙하게 운동하는 항복전압 이후를 제외한 대조비가 좋은 시점을 구동전압(V_d)이라고 정의하였다.

그림 4(a)는 인가전압의 유무에 따른 반사율 결과로써 이때 소자의 cell gap은 $56 \mu m$ 이다. 그림 4 (a)에서 초기 반사율은 약 5% 정도 차이가 나는데 대전입자 충전 시 충전판과 격벽의 초기 전하량의 차이로부터 발생하며 구동이 반복되면서 초기 반사율의 영향은 완전히 소멸된다. 문턱전압은 40 V로 이 전압에서 일부 입자들이 운동하여 반사율이 변화하기 시작하였다. 구동전압은 순차적으로 인가전압을 높였을 때 70 ~ 75 V 구간에서 대조비가 가장 우수하며 항복전압은 80 V 이후로 반사율이 불규칙한 광학특성을 확인하였다.

또한 항복전압 구간에서 white 대전입자의 반사율이 black 대전입자보다 불규칙한 것을 확인하였다. 그 원인은 white 대전입자의 구동전압이 black 대전입자의 구동전압 보다 낮기 때문에 인가전압이 높아질수록 overcharge가 되면서 입자들이 운동하지 않거나 격벽 및 소자 표면과 입자들 간의 묻침 현상으로 입자들이 불규칙하게 운동을 하게 되는데 이는 현미경에서 자주 관찰된다.

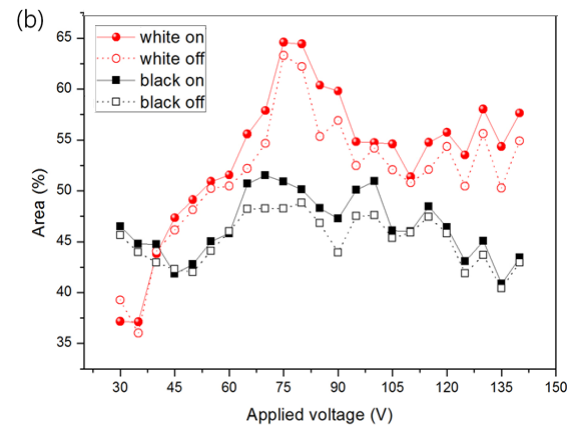
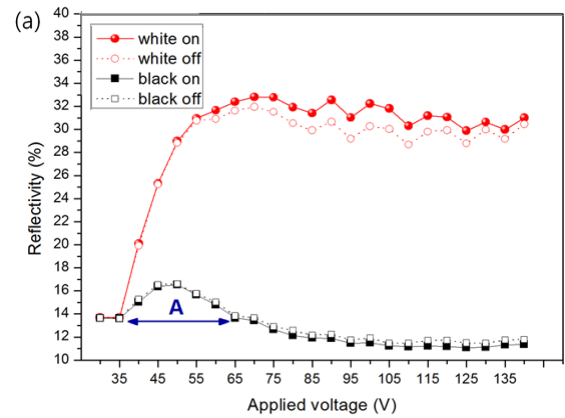


Fig. 4. Optical characteristics by applied voltage. (a) reflectivity of device(cell gap $56 \mu m$), (b) area of device(cell gap $56 \mu m$).

그림 4(a)의 A구간에서는 white 대전입자의 반사율이 증가하면서 black 대전입자의 반사율이 같이 증가하는 특성을 확인할 수 있는데 이는 앞서 언급한 바와 같이 white 대전입자의 구동전압이 black 대전입자의 구동전압 보다 낮기 때문에 white 대전입자는 인가전압에 의해 스스로 운동을 하는 반면에 일부 black 대전입자는 전극으로 부터 떨어져있는 white 대전입자가 운동할 때 black 대전입자가 부착되어 운동하는 것을 현미경으로 확인하였다.

대전입자들은 고유의 q/m (전하량/질량)값이 있으며 구동 시 대전입자의 문턱전압 및 구동전압에 영향을 미치기 때문에 대전입자들의 문턱전압의 차이로 인해 white 대전입자가 black 대전입자의 운동을 지배하여 운동한다고 판단된다. 위와 같은 특성은 대전입자의 q/m 의 불균형으로 인해 나타나는 특성이며 입자의 q/m 을 균일하게 할 수 있다면 개선될 것으로 판단된다.

그림 4(b)는 인가전압의 유무에 따른 면적측정 결과를 나타낸 것으로, 순수하게 표면에서 배열한 white 및 black 입자가 차지한 면적을 백분율로 보인 것이다. 이 그림에서 점유면적은 전체 셀 면적 대비 대전입자가 전극표면에 부착된 면적의 비율을 말하며 white, black의 대전입자가 차지하는 면적이 크고 변화가 가장 적은 전압, 즉 대조비가 가장 높고 메모리 효과가 우수한 전압을 구동전압이라고 정의하였으며, 구동전압 이후 점유면적이 전압증가에 비해 오히려 감소하거나 불규칙하게 운동하는 전압은 항복전압이라 정의하였다.

점유면적측정 분석 결과 초기 입자의 면적의 차이가 약 10%정도 관찰되는데 위에서 언급한 바와 같이 입자의 초기 전하량의 차이이며 구동을 반복하면서 차이가 감소하게 된다. 대전입자의 운동량이 큰 전압대는 70~75 V이며, 항복전압은 80 V 이후에는 오히려 면적이 감소하는 것을 확인하였다. 30~60 V 구간에서는 white 면적은 증가를 하는 반면에 black의 면적은 감소하다 다시 증가하는 특성을 확인하였다. 원인은 초기 q/m 의 차이로 대전입자는 문턱전압 및 구동전압이 차이가 나며 white 및 black의 대전입자의 문턱전압은 각각 40 V, 50 V로 차이가 나는 것으로 보아 위와 같은 원인이라 판단된다.

white 입자의 면적이 black 입자의 면적보다 전체적으로 크게 차지하였으며 이는 white 대전입자가 black 대전입자보다는 문턱전압이 낮고 입자의 운동을 주도하고 있음을 확인할 수 있었으며 그림 4(a)의 반사율과 비교하여 거의 유사함을 확인하였다.

3.2 인가전압의 유무에 따른 메모리 효과

소자의 내부에는 전계가 형성되면 입자의 운동에 영향을 미치는 potential energy, 분극현상으로 작용하는 정전기적 인력인 van der waal's force, 입자와 입자간의 coulomb force가 존재하며 인가전압을 차단 시 van der waal's force에 의해 전극과 입자 사이에 작용하는 image force가 작용하여 이미지를 유지한다.

그림 5(a) 및 (b)는 인가전압의 유무에 따른 반사율 및 면적의 차이를 나타낸 것으로 수치가 낮을수록 우수한 메모리 효과를 가진다고 말할 수 있으나 문턱전압 이하의 구간과 항복전압에서의 낮은 수치는 구동전압 및 입자의 수명을 고려하지 않은 것으로 메모리 효과로써의 의미가 없다고 판단된다.

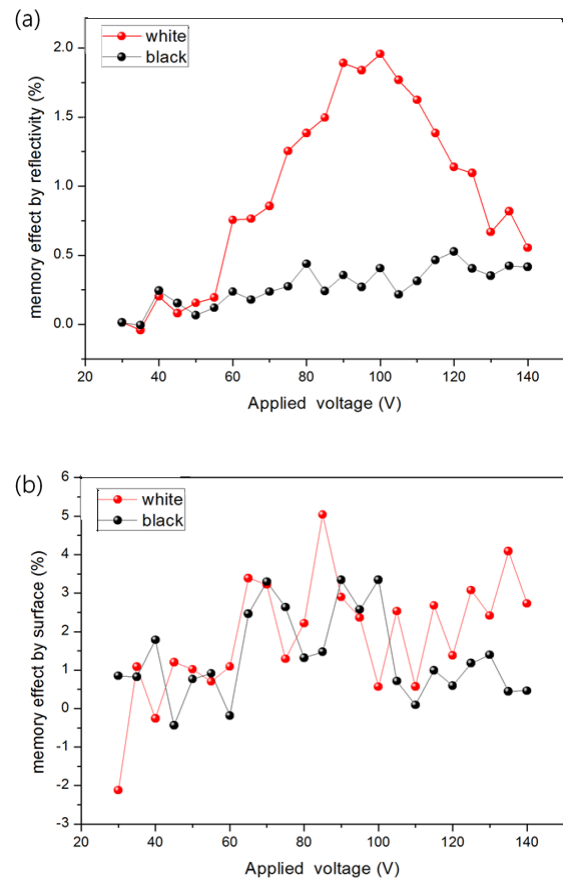


Fig. 5. Memory effect by applied voltage. (a) memory effect of device(reflectivity), (b) memory effect of device(area).

그림 5의 반사율 및 면적의 메모리 효과 분석 결과 70 V에서 white, black 대전입자의 메모리 효과가 가장 우수하며 구동전압 70~75 V 이후로는 메모리 효과가 하락하는 것을 확인하였다. 문턱전압에서 구동전압에 이르기까지 구동을 반복하면서 전극에 부착되어 있는 대전 입자층에 전극과 입자 사이에 작용하는 힘 image force가 구동하지 않은 중간 대전 입자층에 입자와 입자 사이에 작용하는 힘 coulomb force 보다는 크게 작용하며, 구동전압 이후로는 반대로 coulomb force가 크게 작용하여 메모리 효과에 영향을 주는 것으로 판단된다.

인가전압 100 V 이후로는 다시 수치가 낮아져, white, black 대전입자의 메모리 효과가 상승하는 것처럼 보이지만 이는 인가전압의 유무에 따라서 대전 입자는 charging/discharging이 되고 구동을 반복하면

서 격벽 및 전극에 부딪히거나 입자들 간의 충돌로 인해 입자의 수명이 다하고, 또한 입자의 overcharge에 의해 나타나는 것으로 앞에서 언급한 것처럼 입자의 수명을 고려하지 않은 것이며, 반사율 또한 하락하는 것을 확인하였다. 그렇기 때문에 메모리 효과가 우수한 것으로 보기에 어렵다고 판단된다.

전체적으로 white 대전입자 보다는 black 대전입자의 메모리 효과가 우수하였다. 원인은 q/m 차이로 상대적으로 black 대전입자의 q/m 값이 white 대전입자보다 크기 때문에 image force가 크게 작용을 한 것으로 판단된다.

그림 5(a)와 (b)의 메모리 효과를 비교했을 때 black 대전입자의 메모리 효과가 우수하지만, 그래프 (b)의 일부 구간에서 white 대전입자 보다 메모리 효과가 하락하는 특성을 확인하였다. 원인은 white, black 대전입자의 문턱/구동전압이 다르기 때문에 black 대전입자가 운동할 때 white 대전입자와 뭉쳐 같이 운동을 하거나 전압의 극성이 스위칭될 때 일시적으로 전극 표면에서 부착된 뭉친 대전입자들이 운동을 하지 않아 나타나는 특성으로 판단되며 현미경으로 확인하였다.

4. 결 론

본 실험에서는 인가되는 전압의 유무에 따른 입자의 구동특성 및 메모리 효과를 분석하였다. 대전입자는 초기 q/m 에 따라 광학특성이 다르게 나타나며 구동이 반복되면서 초기 광학특성 영향은 완전히 소멸하였다. 점유면적 측정방법에 의한 구동특성을 비교하였을 때 문턱/구동전압은 비슷하거나 차이가 없었으며, 항복전압 이후로 대전입자는 overcharge에 의해 불규칙한 운동을 하는 것을 확인하였다.

메모리 효과는 white 대전입자보다는 black 대전입자가 우수하였으며, 100 V 이후로 메모리 효과 수치가 낮아지지만 반사율 수치는 하락하는 것으로 확인하였다.

전자종이의 큰 장점은 우수한 메모리 효과로 인한 낮은 소비 전력이며 메모리 효과의 하락은 소비 전력과 광학특성에 직접적으로 연관되어 있다. 이를 보완하기 위해서는 대전입자간의 인력과 전극에 근접한 입자층과 바로 밑에 있는 입자층의 인력을 극복할 적절한 cell gap, 균일한 q/m 의 입자 등이 요구되며 적절한 구동전압을 인가한다면 구동/광학특성을 향상시킬 수 있을 것이며 반사율 측정방법과 달리 면적측정 방법은 구동한 순수한 입자만을 평가가 가능하기 때문에 두 측정방법을 비교 분석하여 개선된 구동/광학 특성 얻을 수 있을 것으로 예상되며 연구가 더욱 진행되어야 할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] R. Hattori, S. Yamada, N. Nihei, and R. Sakurai, *SID Digest*, **04**, 136 (2004).
- [2] T. Kitamura, *International Display Workshops*, **06**, 587 (2006).
- [3] R. Sakurai, S. Ohno, Y. Masuda, and R. Hattori, *SID Symposium Digest Tech. Papers* (San Francisco, USA, 2006) p. 1922.
- [4] D. J. Lee, I. S. Hwang, and Y. C. Kim, *J. KIEEME*, **21**, 63 (2008).
- [5] D. J. Lee and Y. C. Kim, *Journal of the KAIS*, **8**, 1376 (2007).
- [6] B. H. Kim, S. W. Park, and Y. C. Kim, *J. KIEEME*, **22**, 86 (2009).
- [7] C. W. Kim and Y. C. Kim, *J. KIEEME*, **23**, 691 (2010).