

토너입자형 디스플레이의 평가방법 제안

김철우^{1,a}, 김영조¹

¹ 청운대학교 전자공학과

A Proposal of the Evaluation Method of Toner Particle Type Display

Cheol-Woo Kim^{1,a} and Young-Cho Kim¹

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

(Received May 7, 2010; Revised July 19, 2010; Accepted August 5, 2010)

Abstract: A measurement method of the particle-based reflective display is proposed, estimated, and compared with reported method. The reflectivity measurement by previous studies is simply obtained by integrating sphere, but it has a limitation for the estimation of real moving particles because its data include surface reflection and incomplete attachment on electrodes. To get the number of real moving particles, the area by attached particles on the electrodes is calculated at microscopic signals. The moving particles on subthreshold voltage are observed and this fluctuational variation of surface on subthreshold voltage gives a tip to understand the driving mechanism. By this measurement we ascertained the relationship of a particle layer and real driving particles, and the feasibility of observation and estimation for moving color particles, which were measured by the reflectivity and CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) system of color specification at previous studies.

Keywords: Toner particle type display, Putting ratio, Reflectivity, Area of toner particle, q/m

1. 서 론

전자산업이 성장함에 따라 디스플레이산업도 더욱 발전하고 있다. 전자종이도 그중의 한 분야로써 미래의 디스플레이 한 부분으로 각광받고 있다. 전자종이의 장점으로는 현재 주를 이루고 있는 발광형 표시소자가 아닌 반사형 디스플레이로써 눈의 피로가 적고, 쌍안정성으로 인한 메모리효과로 낮은 소비전력을 가진다. 이러한 장점을 이용해 전자종이산업의 한 분야인 e-book 시장은 점점 성장되고 있는 추세이며 POP (point of purchase) 광고판, 대형광고판, 휴대폰 등 여러 분야에 응용될 수 있다. 조금 더 폭넓은 응용분야로 건축설비, 의료기기, 우주산업 등에 적용될 수 있을 것이라 예상된다 [1].

전자종이는 크게 전기영동 (electrophoretic) 방식, 트위스트볼 (twisting ball) 방식, 토너 (toner) 방식, 전기습윤 (electrowetting) 방식, 액정 (liquid crystal) 방식 등의 기술이 개발되고 있으며 그 중 토너방식의 일종인 토너입자형 디스플레이는 넓은 시야각, 동영상 구현과 계조표현에 유리한 빠른 응답속도, 문턱전압이 일정하여 PM (passive matrix) 구동이 가능하다는 특징을 가지고 있다 [2-6].

그림 1은 토너입자형 디스플레이의 구동을 모식도로 나타낸 것이다. 서로 다른 전하를 띤 두 입자가 상·하판의 전극 사이를 바이어스된 전압에 의해 운동함에 따라 이미지를 표시한다. 격벽으로 셀이 형성되며 spacer로 cell gap을, 격벽의 높이로 입자의 충전량을 제어할 수 있다.

토너입자형 디스플레이는 토너입자의 충전량에 따라 구동 및 광학특성이 다르게 나타나므로 이는 중요한

a. Corresponding author; rlacheol1@naver.com

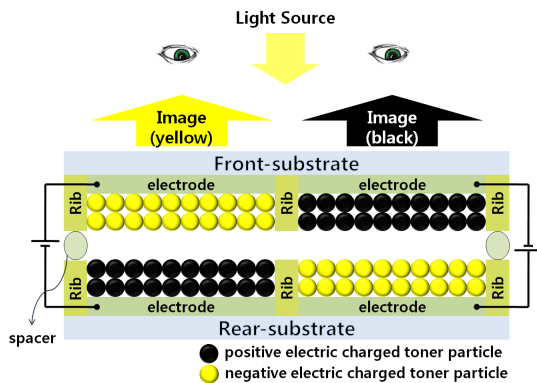


Fig. 1. Driving principle of toner particle type display.

파라미터이다 [7]. 따라서 본 논문에서는 토너입자의 충전량을 파라미터로 한 평가 및 기준에 사용되어온 평가방법을 보완한 새로운 평가방법을 제안하고자 한다.

2. 실험 방법

충전량에 따른 토너입자의 특성평가를 위하여 ITO (indium tin oxide)가 코팅된 glass 기판위에 격벽을 형성한 패널을 제작하고, 양전하를 띤 검정색 토너입자와 음전하를 띤 노란색 토너입자를 재료로 사용하였다. 패널의 셀 사이즈는 $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ 이며, 격벽의 폭을 $10\ \mu\text{m}$ 로 형성하였다. 토너입자형 디스플레이의 주된 특징 중 하나인 상·하판의 격벽높이를 조절할 수 있는 특징을 이용하여 토너입자의 충전량에 차등을 두었다.

상판에 노란색, 하판은 검정색 토너입자를 충전하여 상·하판의 합착으로 소자를 제작하였다. 제작된 소자는 노란색, 검정색 토너입자 둘 다 격벽높이가 $17\ \mu\text{m}$ 와 $25\ \mu\text{m}$ 에 충전한 소자, 토너입자의 충전량이 다를 때를 비교하기 위해 노란색을 $25\ \mu\text{m}$, 검정색을 $17\ \mu\text{m}$ 에 충전한 패널과 노란색을 $17\ \mu\text{m}$, 검정색을 $25\ \mu\text{m}$ 에 충전한 패널을 제작하여 비교하였다.

토너입자의 운동은 소자 내부의 전계에 의해서 이루어지는데 그 전계를 형성하기 위해 외부에서 구형파의 전압을 공급한다. 전압의 진폭을 5 V씩 증가시켜 인가하여 각 전압별로 특성을 비교하였다. 토너입자의 충전량에 대한 구체적인 사진을 그림 2에서 보였다. 위 그림은 앞서 말한 바와 같이 격벽의 높이에 차등을 두어 제작한 소자의 표면을 현미경으로 관찰한 그림이며, 그 높이를 상판 $25\ \mu\text{m}$ 와 하판 $17\ \mu\text{m}$ 의

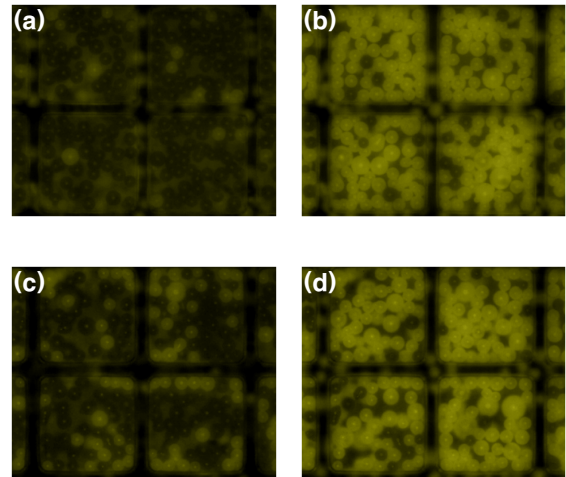


Fig. 2. Condition of toner particle in cell.

(a) black toner state of device of barrier-rib height $42\ \mu\text{m}$
 (b) yellow toner state of device of barrier-rib height $42\ \mu\text{m}$
 (c) black toner state of device of barrier-rib height $50\ \mu\text{m}$
 (d) yellow toner state of device of barrier-rib height $50\ \mu\text{m}$

패널을 black 상태(a)와 yellow 상태(b), 상판 $25\ \mu\text{m}$ 와 하판 $25\ \mu\text{m}$ 로 제작된 패널을 black 상태(c)와 yellow 상태(d)로 각각 전압을 인가하여 나타낸 것이다.

토너입자의 운동특성에 대한 분석을 위해 면적계산이 가능한 현미경 프로그램을 사용하였다. 검정색과 노란색 토너입자는 명암차가 확실하기 때문에 프로그램 상으로 빛의 명암과 파장을 조절하여 구별이 가능하므로 전압을 인가하였을 때 셀 내부에서 두 토너입자가 각각 차지하는 면적에 대한 비율을 비교하였다.

기존의 분석방법 중 하나인 토너입자가 각 전압에서 운동한 개수를 측정하여 분석하는 방법과 각 전압에서 토너입자가 차지하는 면적을 계산하여 분석하는 방법을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 소자에 전압을 인가하여 구동하고, 각 전압대에서의 노란색, 검정색 토너입자가 운동한 모습을 촬영하여 면적을 계산한 그림이다. (a)는 노란색 토너입자가 인가전압에 의해 상판으로 구동했을 때의 면적을, (b)는 검정색 토너입자가 구동했을 때의 면적을 측정하는 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 좌측의 그림이 측정 전, 우측은 측정이 완료된 그림을 나타내고 있다.

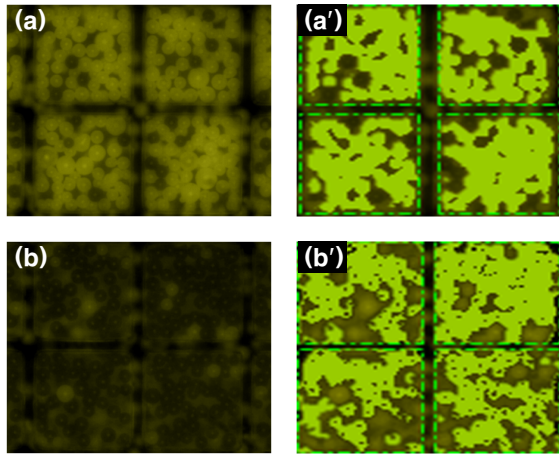


Fig. 3. Before and after measuring the appearance of the device area.

- (a) photomicrograph of yellow toner
- (a') measuring the area of toner
- (b) photomicrograph of black toner
- (b') measuring the area of toner

측정할 영역을 지정함으로써 구동 시 토너입자가 차지하는 면적과 무관한 격벽부분은 측정에서 제외하였다. 색의 밝고 어두운 정도와 RGB의 히스토그램을 조절하여 원하는 토너입자의 면적값을 측정 후 그 범위를 고정시킴으로써 서로 다른 그림에서 동일한 색도를 나타내는 토너입자들을 측정할 수 있어 보다 객관적이고 신뢰성 있는 데이터로 판단된다. RGB의 히스토그램을 조절할 수 있기 때문에 세 종류 이상의 색상을 가진 토너입자가 충전되어도 동일한 방법으로 각각의 면적을 계산할 수 있다.

그림 4는 각 전압에 따른 면적측정의 결과를 나타낸 것이다. 각 상태에서의 토너입자가 차지하는 면적을 측정한다는 것은 그 전압에서 토너입자의 운동량을 알 수 있다는 것과 같다. 토너입자가 차지하는 면적이 가장 큰 전압을 구동전압으로 정할 수 있고, 운동량이 가장 많이 측정된 전압대는 70~80 V이며 소자 간에 큰 차이는 없었다. 구동전압보다 높은 전압이 인가되면 운동량이 감소되는 경우를 볼 수 있는데 이것은 토너입자가 overcharge되어 상태가 불안정하게 되는 항복전압의 영역에 있다고 판단된다. 이 영역의 토너입자는 서로간의 인력이 크게 작용하게 되며 그로 인해 토너입자끼리 뭉치는 현상이 나타난다. 또 토너입자를 충전할 때와 구동할 때 격벽이 정전기를 띄게 되면 토너입자들이 근접하여 달라붙어 운동을

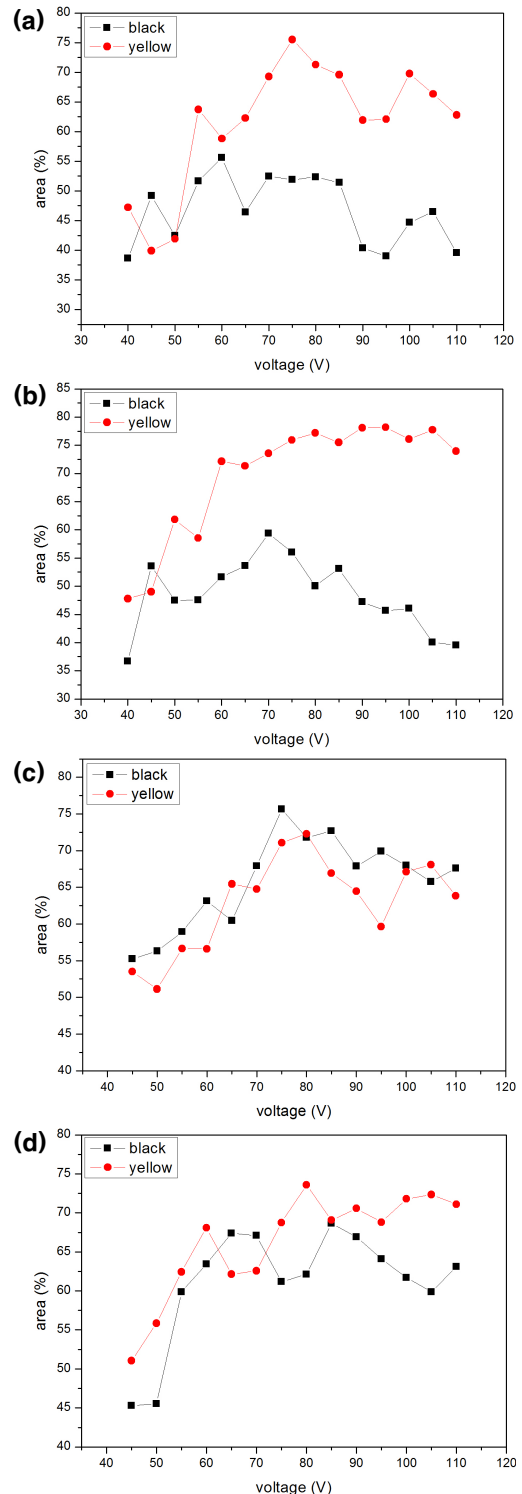


Fig. 4. Area per voltage of device.
 (a) yellow(barrier-rib:17 μm)+black(barrier-rib:17 μm)
 (b) yellow(barrier-rib:17 μm)+black(barrier-rib:25 μm)
 (c) yellow(barrier-rib:25 μm)+black(barrier-rib:17 μm)
 (d) yellow(barrier-rib:25 μm)+black(barrier-rib:25 μm)

하지 않게 되고, 인가전압이 올라갈수록 격벽의 정전기도 커지므로 그 수는 많아지게 된다. 격벽에 근접하여 토너입자들이 뭉치면 다른 토너입자의 구동에도 영향을 미치고, 대조비와 응답속도 등을 하락시켜 신뢰성을 떨어뜨리는 원인으로 작용한다.

노란색과 검정색 토너입자가 차지하는 면적이 최대인 전압대가 다른 이유는 최초 토너입자가 띄는 전하량이 차이가 있고, 전압이 인가되어 운동을 하면서 그 값이 변하기 때문인 것으로 판단되며 두 토너입자가 최적의 상태로 운동할 수 있는 전압을 찾아 인가하면 반사율과 대조비를 향상시킬 수 있다.

운동량의 분포를 비교하였을 때 입자의 충전량은 적은 소자보다 많이 충전된 소자에서 변화폭이 적은 것은 후자가 보다 안정적인 구동을 한다는 것임을 말하고, 전극과 토너입자 간의 image force로 인하여 낮은 전압대에서 첫 번째 층에 충전된 토너입자들의 재현성 있는 균일한 운동은 기대하기 힘들기 때문에 충전량이 너무 적을 경우 특성의 하락을 초래한다. 따라서 토너입자의 충전량을 제어하는 것이 구동특성을 향상시킬 수 있는 방법임을 보여준다.

토너입자의 충전량이 같은 소자와 다른 소자를 비교하면 노란색, 검정색의 토너입자량이 다르게 충전된 소자가 같은 양이 충전된 소자보다 운동량이 더 많다는 것을 알 수 있다. 이는 토너입자 서로간의 전하량 대 질량비(q/m)가 일치하지 않기 때문에 토너입자가 운동을 하며 charging/discharging함에 있어서 다른 특성을 보이기 때문일 것이라 판단된다.

그림 5는 각 소자에 전압을 인가하였을 때 토너입자의 개수를 측정하여 나타낸 그래프이다. 그림 4의 그래프와 비교하면 토너입자가 차지하는 면적과 실개수를 나타낸 값은 결과적으로 각각의 전압에서 그래프의 형태가 큰 차이를 보이지 않는다는 것을 알 수 있다.

표 1은 구동전압에서 입자의 면적과 개수를 나타낸 것이다. 두 입자의 운동량이 최대값에 가까우며 편차가 작을 때의 전압을 구동전압이라 정의하였다. 대부분의 소자에서 노란색 토너입자가 주도적으로 운동하고 있음을 알 수 있는데 이는 검정색 토너입자의 유동성이 작고 입자의 뭉침이 노란색 토너입자 보다 크기 때문일 것이라 판단된다. (c)의 경우 검정색 토너입자가 노란색 토너입자의 운동량 보다 크고, 다른 조건의 소자들 보다 편차가 적음을 알 수 있으며, 이는 4가지 소자 중 가장 이상적인 구동을 보여주고 있음과 더불어 입자의 q/m 이 안정적인 상태일 것이라 판단된다.

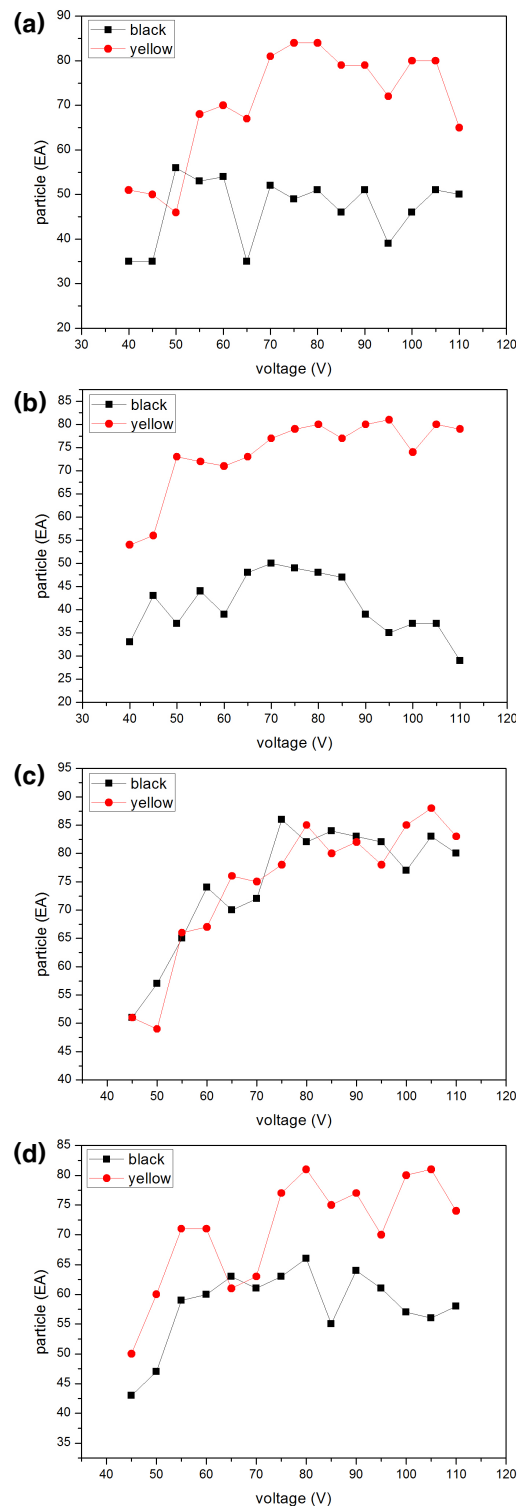


Fig. 5. Driving particle number by applied voltage
 (a) yellow(barrier-rib:17 μm)+black(barrier-rib:17 μm)
 (b) yellow(barrier-rib:17 μm)+black(barrier-rib:25 μm)
 (c) yellow(barrier-rib:25 μm)+black(barrier-rib:17 μm)
 (d) yellow(barrier-rib:25 μm)+black(barrier-rib:25 μm)

Table 1. Area and number of particles on driving voltage.

Device condition	Driving voltage (V)	Area of particles [Y/B](%)	Number of particles [Y/B](EA)
(a)	75	76/52	84/49
(b)	70	74/59	77/50
(c)	75	71/76	78/86
(d)	80	74/62	81/66

두 측정방법 모두 실제로 패널 내부에서 운동하는 입자의 분석에 유효하다고 판단되지만 토너입자의 개수를 측정하는 것은 입자의 사이즈는 고려하지 않는 방법이며, 입자 사이즈는 반사율에 영향을 미치는 파라미터이다. 동일한 토너입자의 개수가 구동되어있는 두 셀을 비교하면 보다 큰 사이즈의 토너입자가 많이 충전된 셀이 더 향상된 광학특성을 가진다.

이에 반해 토너입자가 차지하는 면적을 측정하는 것은 입자의 사이즈도 고려되어진 방법으로 면적 측정 시 그대로 적용되고, 데이터의 신뢰성이 보다 높으며, 측정시간이 실제적으로 단축되는 효과를 볼 수 있다. 그러므로 크기가 다른 입자들이 충전된 소자의 특성분석에서 실개수를 측정하는 분석법보다 면적을 측정하는 분석법이 더 유용할 것이라 판단된다.

4. 결론

토너입자형 디스플레이의 충전량에 따른 특성분석과 평가방법을 제시하였다. 입자의 충전량이 적은 소자보다 많은 소자의 특성이 나왔고, 같은 비율로 충전이 된 소자보다 다른 비율로 충전된 소자의 특성이 향상된 것을 볼 수 있는데 이는 토너입자의 q/m이 다르기 때문인 것으로 판단된다. 토너입자가 최적으로 구동하는 전압이 다르므로 두 토너입자의 구동전압을 조절하여 전압을 인가하면 특성이 향상된 결과를 얻을 수 있을 것이라 기대된다.

토너입자가 그 전압에서 구동하여 차지하는 면적을 계산하는 방법은 토너입자의 운동량에 대한 비교가 가능한 방법이고, 토너입자의 실개수를 측정하는 방법을 대체하여 사용할 수 있는 평가방법으로 제시하였다. 토너입자의 명암과 RGB의 히스토그램을 선택하여 원하는 토너입자만을 측정할 수 있고, 이 결과는 인가전압에 대해 실제로 입자가 셀에서 차지하는 비율이기 때문에 소자의 대조비를 비교할 때에도 참고하여 사용될 수 있다. 두 가지 색상만 비교하는 것이 아닌 여러 가지 색상의 입자들이 충전되어도 측정이 가능하므로 면적을 계산하는 방법은 반사율 및 CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) 색표계를 비교하는 방법과 더불어 유용한 평가방법일 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] H. W. Chun, P. S. Heo, and I. K. You, *Electronics and Telecommunications Trends* **23**, 153 (2008).
- [2] I.-H. Kim and Y.-C. Kim, *J. KIEEME* **22**, 93 (2009).
- [3] B.-H. Kim, S.-W. Park, and Y.-C. Kim, *J. KIEEME* **22**, 86 (2009).
- [4] R. C. Liang, J. Hou, H. M. Zang, and J. Chung, *Proceedings of the 3rd International Display Manufacturing Conference (IDMC'03)* (Taipei, Taiwan, 2003) Paper Fr-17-05, p. 1.
- [5] R. Sakurai, S. Ohno, Y. Masuda, and R. Hattori, *SID Symposium Digest Tech. Papers* (San Francisco, USA, 2006) **37**, p. 1922.
- [6] T. Yamamoto, D. Takahashi, S. Nakamura, and T. Kitamura, *Proc. 12th Asia Display/Int. Disp. Workshops 2005 (IDW'05)* **1**, 899 (2005).
- [7] D.-J. Lee and Y.-C. Kim, *Journal of the KAIS*, **8**, 1376 (2007).