

대전입자형 전자종이에 있어서 셀형태에 따른 응답시간 분석

김기훈*, 김영조**

요약

전자종이 디스플레이 패널의 폐쇄된 공간에서 외부전계에 의해 운동하는 대전입자는 4 종류의 힘이 작용한다. 이 힘을 이해하기 위하여 이론적으로 접근하는 것은 복잡한 변수로 인하여 거의 불가능하기 때문에 실험적인 해석이 타당하다. 전자종이 디스플레이에서 화소를 결정하는 셀 사이즈 및 투명전극간의 거리에 따른 응답시간을 측정하고 분석한다. 전자종이의 응용분야를 소형간판으로 한정하면 셀 사이즈가 커지는 것을 허용하지 때문에, 셀 사이즈가 일정한 크기 이상이면 입자는 안정된 운동을 하게 된다. 전극간의 거리가 일정한 값을 가지게 하여 입자의 운동공간을 확보하는 것은 전자종이 디스플레이의 수명개선에 기여할 것으로 판단된다.

An Analysis of Response Time According to Cell Morphology for Charged Particle Type Electronic Paper

Ki-Hoon Kim*, Young-Cho Kim**

ABSTRACT

In the closed space of the electronic paper display panel, the charged particles moving by external electric fields are acted by 4 types of forces. To understand these forces, experimental analysis is reasonable because theoretical approach is almost impossible due to by complex parameters. We measure and analyze response time according to the cell size defining the pixel size and the length between transparent electrodes in electronic paper display. In case of restricting the application area to the small signage, because large cell size is permitted, the movement of the particles are stable in the cell size over the definite value. It is regarded that having moving space for particles by obtaining the definite length between electrodes contributes improvement of lifetime of particles.

Key Words : cell size, cell gap, e-paper, charged particle, response time

* 와이엠씨(주) (✉newkhh18@yahoo.co.kr)

** 청운대학교 전자공학과

· 제1저자(First Author) : 김기훈 · 교신저자(Correspondent Author) : 김영조

· 접수일(2012년 1월 18일), 수정일(1차 : 2012년 2월 14일), 게재 확정일(2012년 2월 17일)

I. 서론

최근 디스플레이 소자가 크게 발전하면서 점차 종이를 대체하는 노력이 진행되어오고 있었으며, 그 원리는 투명전극들 사이에 전하를 띤 컬러입자가 존재하여 투명전극에 전계를 인가함에 따라 입자의 이동으로 인하여 이미지를 표현하는 것이며, 현재는 모바일 소자들이 발표되면서 픽셀의 크기 및 구동전압 또한 중요성을 가지게 되었다. 전자종이 디스플레이의 적용분야를 고려하면 이러한 고해상도의 모바일보다는 낮은 광학특성이 허용되는 전자책, 소형간판 등에 적용하는 것이 타당한 것으로 보이며 이 분야에 다수의 기업이 연구를 진행하고 있다.[1-2]

특히 전기영동법을 이용한 전자종이는 이미 전자책 등의 형태로 시장에 출시된 바 있으며 많은 호응을 받았다. 또한 최근 다른 electrowetting 을 이용한 방식이나 MEMS 구조와 광의 간섭을 이용한 방식의 전자종이가 개발되어 시장형성을 위한 노력이 진행되고 있으며 국내에서도 상품으로 소개된 바 있다.

전자종이는 기본적으로 서로 다른 컬러와 전하를 띤 입자를 상하에 위치한 전극의 전계에 의해 움직이게 함으로써 투명전극의 하부에 이미지를 형성하게 하며, 전하를 띤 입자와 도전성을 가진 물질간의 영상력을 이용한 쌍안정성을 원리로 한다. 이 원리에 의해 초기에 움직인 입자는 전원이 없어도 부착되는 이른바 메모리 효과를 가지게 된다. 따라서 입사된 외부광이 이 입자에 반사 및 흡수하는 원리에 의해 이미지를 보이게 되므로 외부광이 없는 곳에서는 이미지 관독이 불가능하지만 밝은 곳에서는 이미지가 매우 선명하게 되는 종이와 같은 성질을 가지게 되어 눈의 피로를 줄여주어 가독성을 뛰어나게 한다. 또한 이미지 변환시에만 전원을 사용하기 때문에 소비전력을 크게 낮추게 된다.

그러나 대부분의 전자종이 개발을 담당하는 연구자는 기존의 디스플레이인 LCD나 OLED의 연구자이며

광학이론 역시 이 분야에서 출발하고 있는 것이 현실이다. 이러한 자발광형 광원을 사용한 디스플레이는 눈의 피로뿐 아니라 전력소모, 높은 가격, 대규모 설비 등의 단점을 가지고 있기 때문에 반사형 디스플레이로서 전자종이는 점차 상품으로 판매되면서 독자적인 이론을 구축할 필요가 있게 되었다. 전자종이는 전기영동원리를 이용한 방식, 전기습윤 방식, 대전입자를 이용한 방법 등 다수의 방법이 제안되었고 일부는 시제품 단계를 넘어서 상품으로 영역을 확보하고 있다. 전자종이의 장점으로는 눈의 피로가 적을 뿐 아니라, 쌍안정성으로 인한 메모리효과로 낮은 소비전력, 낮은 제조단가, 저가격의 제조설비 등을 들 수 있다. 이러한 장점을 이용하여 전자종이산업의 한 분야인 전자책(E-Book) 시장은 점점 성장되고 있는 추세이며 POP(point of purchase), 대형 광고판, 휴대폰 등 여러 분야에 응용될 수 있다. 조금 더 폭넓은 응용분야로 건축설비, 의료기기, 우주산업 등에 적용될 수 있을 것이라 예상된다.[3-5]

전자종이 분야의 기술개발을 위해서는 재료, 신호처리, 구동, 광특성 분석 등 많은 분야의 기술개발이 필요함에도 불구하고 대부분의 기술이 적절하게 적용되고 있지 못한 실정이다. 입자의 이동을 근간으로 하는 전자종이 디스플레이의 중요한 동작 파라미터 중 하나인 전극간의 거리와 구동전압의 관계는 연구된 바 있으나 응답시간과의 관계는 규명된 바 없다. 늦은 응답시간은 디스플레이에서 프레임 전환시 깜빡거림(flicker) 현상을 야기하여 고가의 능동형 구동을 필요로 하게 되어 저가적인 전자종이의 장점을 상쇄하게 한다.[6] 따라서 본 연구에서는 전자종이 디스플레이에 있어서 셀의 형태, 특히 셀의 크기 및 전극간격에 따라 응답시간의 특성변화를 분석하고자 한다.

II. 입자에 미치는 힘

전자종이 기판 내 하전입자는 지름이 5~20 μm 이며 상하부 전극과 돌레를 감싸는 격벽으로 이루어져 있다. 전하는 일반적으로 커패시터의 형태로 입자의 내부 또는 표면에 존재하기 때문에 그 해석이 대단히 복잡하다. 셀 내에서 입자가 받는 힘을 크게 4가지로 나눌 수 있으며 그림 1에 보였다.

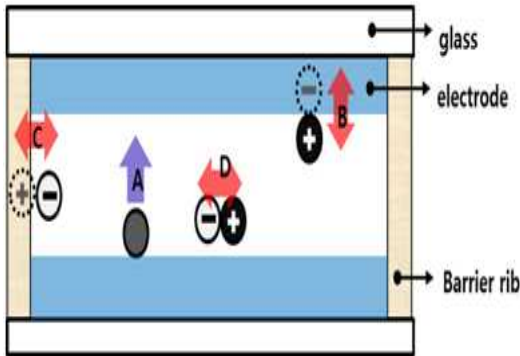


그림 1. 입자에 미치는 여러 가지 힘
Fig. 1. Various forces on a particle

이 그림에서 힘 A는 입자를 전극 사이에서 움직이게 하는 전계에 의한 힘을 보인 것으로 운동에너지가 인가된 전계에 의해 발생하는 전기에너지를 평형으로 보면 $qV = (1/2)mv^2$ 으로 표현된다. 여기에서 V는 구동전압, q는 전하량, m은 입자 하나의 질량이며 v는 입자의 운동속도이다. 이 식에서 입자가 운동하는 거리, 즉 셀갭(cell gap)을 고려하여 전극 사이를 이동하는데 걸리는 시간(τ)을 구하면 $\tau = d \cdot \sqrt{m/2qV}$ 로 유도된다. 여기에서 d는 전극간 거리(cell gap)이다. 전극 사이를 운동하는 전하는 이 힘에 의해 움직이는 시간으로 단순히 응답시간이 얻어지는 것이 아니며, 다음에 설명하는 몇 가지 힘이 동시에 작용하여 대단히 복잡한 운동이 이루어진다.

그림 1의 B는 메모리 효과라 불리는 영상력(image force)이며, $F = q^2/16\pi\epsilon x^2$ 로 표현된다. 여기에서 x는 전하와 영상전하간의 거리이며, 실제로 이미지를

표현하는 힘이 된다. 이 힘은 위에서 설명한 힘 A와 반대의 작용을 하게 되어 응답시간에 부의 영향을 미치게 된다. 또한 힘 C는 Van der Waals의 힘으로 부도체와 대전입자 사이에 작용하는 힘이며 입자의 크기가 상대적으로 작을 경우 큰 영향을 미치게 되며 상하운동을 하려고 하는 입자의 운동을 방해하게 되어 응답시간에 영향을 미치게 된다. 마지막으로 힘 D는 극성이 다른 입자간에 작용하는 힘을 나타내며 입자몽침 현상을 야기하며 입자의 운동을 불규칙하게 하는 원인이 된다. [6-8]

이상에서 살펴본 바와 같이 폐쇄된 공간에서 전계에 의해 운동하는 입자는 많은 힘이 동시에 작용하며 그 힘을 독립적으로 혹은 이론적으로 규명하는 것은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 전자종이 디스플레이의 광학특성에 영향을 미치는 셀 사이즈와 구동전압에 직접적으로 영향을 미치는 셀갭에 따라 응답시간의 변화를 분석하고자 한다. 응답시간 특성은 패널의 구동회로를 설계하는데 있어서 매우 중요한 파라미터이며 적용분야를 결정하는 요인이기도 하다.

III. 실험방법

대전입자의 응답시간을 측정하기 위하여 레이저로부터 입사되는 광에 대한 반사광을 추출하였으며 수광장치로 적분구를 장착한 포토다이오드를 이용하였다. 간단한 개략도를 그림 2에 보였다. 이 그림에서 포토다이오드의 출력단에 연결된 증폭시스템과 입력단에 설치된 적분구는 생략되었으며 전원장치는 10V/ μs 의 rise time를 가지도록 설계되었다.

외부의 잡음을 피하기 위하여 전자파 차폐장치에서 실험을 진행하였으며, 입사광은 표면반사를 최소화하기 위하여 연직방향에서 8° 기울어져 있다.

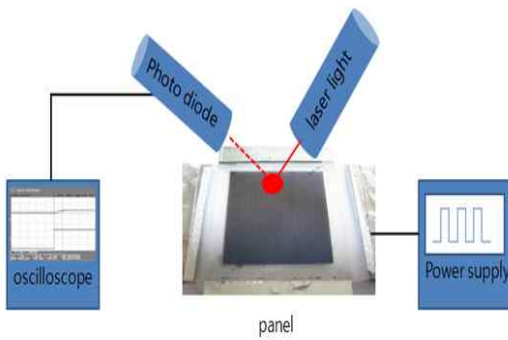


그림 2. 응답시간 측정시스템
Fig. 2. Measurement system for response time

이 측정시스템으로부터 얻어진 입출력 신호는 오실로스코프로부터 동위상으로 확인할 수 있으며 그 예를 그림 3에 보였다. 이 그림의 오실로스코프 신호에서 보는 바와 같이 아래쪽의 입력신호에 대해 위쪽의 출력신호를 검출할 수 있으며 그 응답시간을 측정할 수 있다. 이 그림에서 편의상 최종적으로 전환된 컬러를 중심으로 이름을 붙였다. 즉, black으로부터 white로 변환될 때의 응답시간은 white 응답시간이라고 하고 그 반대의 경우를 black 응답시간으로 명명하였다.

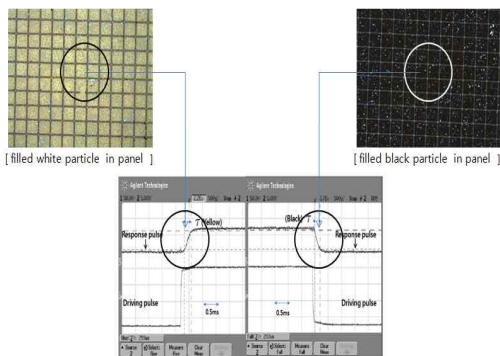


그림 3. 응답시간의 측정예
Fig. 3. Example of the response time

본 연구에서 사용된 패널은 그 면적이 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$, $150\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$, $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ 의 셀사이즈를 각각 가지도

록 설계하여 이 면적이 화소가 되도록 하였으며 그 현미경 사진은 그림 4에 보였다. 격벽의 폭은 $20\mu\text{m}$ 이며 셀겉은 격벽의 높이 $50\mu\text{m}$ 에 별도의 spacer를 두어 조절하였다.

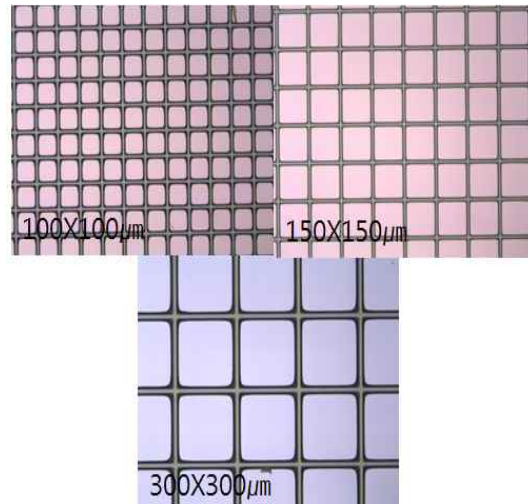
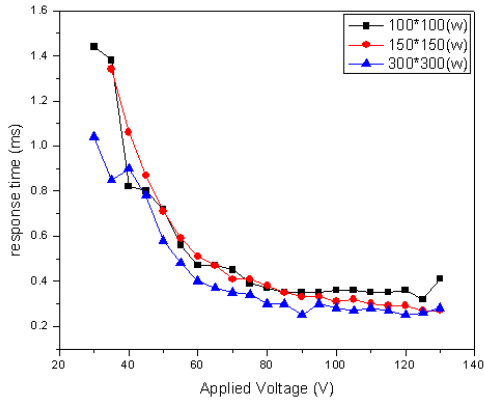


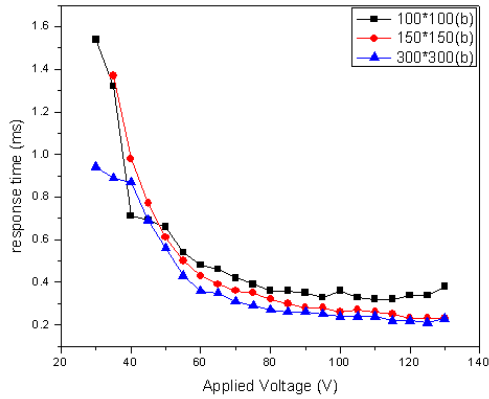
그림 4. 패널의 현미경사진
Fig. 4. Microscopic photographs of panels

IV. 결과 및 토의

앞의 2장에서 살펴본 바와 같이 작은 셀 내에 있는 하전입자는 크게 4종류의 힘을 받고 있다. 또한 이 장에서 살펴본 응답시간 관련식에서 보는 바와 같이 인가전압의 제곱근에 반비례하는 관계가 있음은 자명하다.[9-10] 그러나 입자가 운동을 할 때 그림 1에서 C 및 D와 같이 격벽재료 및 주변의 입자에 의해 영향을 받게 된다. 이러한 폐쇄된 작은 공간에 존재하는 하전입자의 운동을 해석하는 것은 대단히 복잡하고 어려운 문제이기 때문에 본 연구에서는 실험적인 해석을 하고자 하며, 이에 따라 먼저 화소를 이루는 셀 사이즈에 따른 응답시간을 측정하였으며 그 결과는 그림 5에 보였다.



(a) white particles

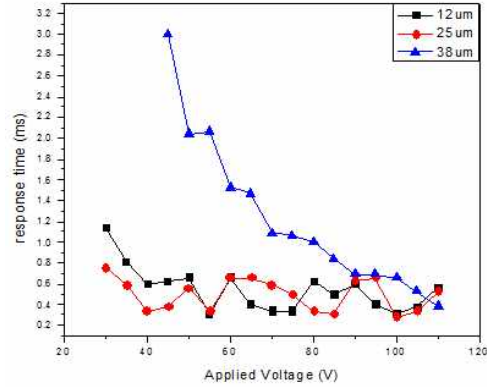


(b) black particles

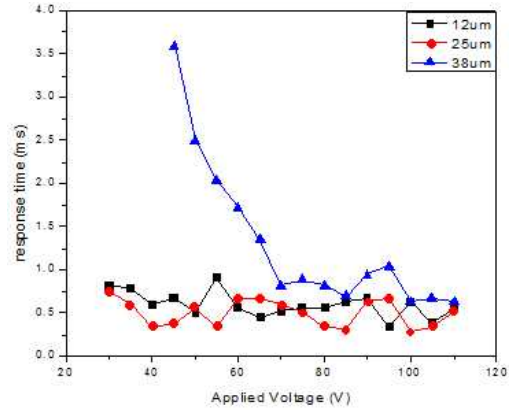
그림 5. 셀사이즈에 따른 응답시간

Fig. 5. Response time according to cell size

예상하는 바와 같이 이 그림에서 셀 사이즈가 커지면 운동하는 입자와 격벽간의 Van der Waals의 힘이 작용할 가능성이 낮아지므로 입자의 운동이 자유롭게 되어 응답시간이 줄어드는 경향을 보인다. 제작된 패널의 구동전압이 60V인 점을 고려하면 70V 이상의 전압 구간에서는 응답시간이 포화된다. 즉, 60V 이전 구간에서는 입자가 전압에 따라 반비례관계에 있으나 이후 구간에서는 입자들이 서로 뭉치거나 강한 충돌 등에 의해 입자운동이 불규칙적이 됨을 알 수 있다. 또한 white 입자와 black 입자의 응답시간 및 그래프의 상이점은 그 전하량이 정확히 일치하지 않기 때문이다.[11]



(a) white particles



(b) black particles

그림 6. 셀갭에 따른 응답시간

Fig. 6. Response time according to cell gap

그림 6은 셀갭에 따른 응답시간을 보인 그림으로 그림의 내부에 보인 스페이서의 거리에 따른 응답시간을 보인 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 셀갭이 일정한 값 이상이 된 경우(38 μ m 스페이서 이상)에 응답시간이 2장에서 보인 식을 따르며 25 μ m 및 12 μ m의 스페이서인 경우는 일정한 응답시간 즉 포화를 이루어 불규칙한 입자운동을 한다고 판단된다. 즉, 패널제작시 입자의 운동공간을 확보하는 것이 안정적인 패널동작을 위해 필수적인 것을 알 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 입자의 운동공간에 따른 응답시간 특성을 확인하였으며, 작은 간판 규모 등

에 적용하는 목적의 전자종이 디스플레이로 화소의 크기가 $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ 이상이 허용된다면 보다 빠르고 안정적인 구동특성을 보이며 결과적으로 소자의 수명을 개선하는 효과를 보일 것이다.

V. 결론

패널 상하부에 있는 전극에 의해 하전입자가 운동하는 원리를 이용한 전자종이 디스플레이의 중요 동작파라미터의 하나인 전극간의 거리와 구동전압의 관계는 연구된 바 있으나 응답시간과의 관계는 규명된 바 없다. 응답시간 특성은 디스플레이에서 프레임 전환시 깜빡거림(flicker) 현상을 야기하여 고가의 능동형 구동을 필요로 하게 되는 바, 본 연구에서는 전자종이 디스플레이에 있어서 셀의 형태, 특히 셀 사이즈 및 전극간격에 따라 응답시간의 특성변화를 분석하였다. 폐쇄된 공간에 존재하는 입자가 외부전계에 의해 운동을 하는데 있어서 셀 사이즈가 커지면 격벽 또는 다른 입자에 의한 영향이 감소하며 패널의 구동이 안정적이 됨을 확인하였으며, 셀갭이 일정값 이상이 되어야 함을 확인하였다. 작은 간판 등에 적용할 수 있는 전자종이 디스플레이로 화소의 크기가 $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ 이상이 허용된다면 보다 빠르고 안정적인 구동특성을 보이며 결과적으로 소자의 수명을 개선하는 효과를 보일 것이다. 이러한 연구는 전자종이 디스플레이의 시장을 활성화하는데 기여한 것으로 보이며, 향후 소형 간판 등을 최종 적용분야로 하는 실질적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] T.Z. Kosc, "Particle Display Technologies Become E-Paper", *Optics & Photonics News*, Vol.16 pp. 18-23, 2005

[2] J. Heikenfeld, P. Drzaic, J-S. Yeo and T. Koch, "A critical review of the present and future prospects for electronic paper", *Journal of the SID*, Vol.19, pp. 135-153, 2011

[3] R. Hattori, Y. Masuda, N. Nihei, A. Yokoo and S. Yamada, "High-voltage and low power consumption driver for an electronic paper", *IMID/IDMC 06 DIGEST*, pp.222-223, 2006

[4] "E-Paper Displays Report", *DisplaySearch*, 2009

[5] S. W. Park, k. y. Kwon, S. K. Chang and Y. C. Kim, "Evaluation of Optical Characteristics by Panel Current Analysis for Charged Particle Type Display", *Journal of the KIEEME*, Vol. 22, No. 10, pp. 844-849, October, 2009

[6] D. J. Lee, R. E. Sloper, Y. H. Jeon, S. K. Han, S. Lee, K. H. Choi, W. H. and Y. C. Kim, "Analysis of Fully Driving Electronic Paper Fabricated Using Particle-Transfer Method", *SID 11 DIGEST*, pp. 1523-1524, 2011.22-25: OK

[7] R. Lee-Desautels (2005). *Theory of van der Waals Forces as Applied to Particulate Materials*. [Online]. Available:

[8] V.M. Moreno-Villa, M.A. Ponce-Velez, E. Valle-Jaime and J.L. Fierro-Chavez, "Effect of surface charge on hydrophobicity levels of insulating materials," *IEEE Proceedings. Generation, Transmission and Distribution*, Vol.145, pp. 675-681, 1998

[9] C. W. Kim and Y. C. Kim, "A Proposal of the Evaluation Method of Toner Particle Type Display", *Journal of the KIEEME*, Vol. 23, No. 9, pp. 691-695, September, 2010

[10] S. J. Kim and Y. C. Kim, "Analysis of Driving Characteristics and Memory Effect by Occupation Area Evaluation Method of Charged Particle Type Display Device", *Journal of the KIEEME*, Vol. 24, No. 8, pp. 669-673, August, 2011

[11] D. J. Lee and Y. C. Kim, "Response Characteristics of Charged particle type Display", *Journal of the KIEEME*, Vol. 22, No. 2, pp. 169-173, February, 2009

저자소개



김기훈(Ki-Hoon Kim)

2010년 청운대학교 전자공학과

(공학사)

2012년 청운대학교 전자공학과

(공학석사)

2012년~현재 와이엠씨(주) 기술연구소 연구원

※ 관심분야: 디스플레이공학, 반도체 소자 및 플라즈마



김영조(Young-Cho Kim)

1989년 서울시립대학교 전자공학과

(공학사)

1991년 서울시립대학교 전자공학과

(공학석사)

1994년 서울시립대학교 전자공학과

(공학박사)

1995년~현재 청운대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야: 디스플레이공학, 반도체 소자 및 재료