

대전입자형 디스플레이의 방전시간에 의한 응답특성 개선

김영조*, 장성근*, 홍순관**

요약

(+) 및 (-)로 대전된 입자를 혼합한 혼합입자의 방전시간을 기존의 반사형 디스플레이 제조공정에 추가하였으며 그 결과를 비교하고자 한다. 방전은 혼합입자가 패널에 주입된 후 온습도 제어 시스템(thermo-hygrostat)에서 이루어진다. 방전시간을 가진 패널과 그렇지 않은 패널의 응답시간을 비교한 결과, 방전시간을 가진 패널의 검정색 입자(+)의 응답시간은 매우 짧아지며 이상적인 응답곡선에 매우 가까워진다. 흰색입자(-)는 응답시간이 크게 짧아지지는 않았지만 이상곡선의 형태로 변한다. 흰색입자와 검정색 입자의 응답시간 차이는 q/m 값의 차이에 기인한다. 응답시간곡선의 개선은 폐쇄된 공간인 셀 내에서 전기적 중성화에서 비롯된 것이며 이는 입자에 비선형운동을 하도록 하여 패널수명에 기여할 것이다.

Improvement of Response Time by Discharging Time in Charge Particle Type Display

Young-Cho Kim*, Sung-Keun Chang*, Soon-Kwan Hong**

ABSTRACT

We add a discharging time for the mixing particles charged with (+) and (-) charge to the reported fabrication process of a reflective display and compare the result. The discharging is accomplished at thermo-hygrostat after mixing particles are loaded into a panel. In the comparison result of the response time of a panel with and without discharging time, the response time of the black particles (+) is greatly reduced and approaches to an ideal curve. The response time of the white particles (-) is not largely reduced, but changed to the ideal shape. A difference of the response time of the white and black particles is induced to the difference of the q/m value. An improvement of the response time curve is induced by an electrical neutralization and will contribute to a panel lifetime by giving a nonlinear movement to the particles.

Key Words : discharging time, reflective display, response time, thermo-hygrostat, neutralization, lifetime

* 청운대학교 전자공학과(✉yckim@chungwoon.ac.kr)

** 해전대학교 디지털전자과

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

· 접수일(2012년 8월 29일), 수정일(1차 : 2012년 10월 16일), 게재확정일(2012년 10월 19일)

1. 서 론

거의 1세기 동안 음극선 튜브를 이용한 모니터가 디스플레이의 대부분을 차지하였으나, 약 10년 전 평판 디스플레이가 등장한 이후, 다양한 디스플레이 소자가 개발되었다. 특히 눈의 피로도와 전력소비를 줄여주는 자연친화적인 반사형 디스플레이로서 전자종이는 많은 기대를 가지고 개발되기 시작하였으며 일부는 상품화에 성공하고 있다. 특히 전자종이는 패널의 구조 및 소재를 감안하였을 때 휘어지는 디스플레이를 가능하게 하는 후보 중에서도 가장 유력한 후보이다[1-2].

또한 정보기술이 크게 발전함에 따라 공간적인 제약에서 벗어나 시간과 장소에 관계없이 언제 어디서나 정보에 접근할 수 있는 유비쿼터스(Ubiquitous) 시대에 들어서면서 무선통신이 일상생활에 필수적인 요소로 자리잡게 되었다. 이러한 추세에 더불어 최근 부각되고 있는 분야가 축전지 기술과 저전력 단말기 기술이다. 특히 대부분의 단말기가 디스플레이 내부에 광발생 장치 또는 내부에서 발생하는 광을 제어하여 이미지를 표현하는 OLED(Organic Light Emitting Diode) 또는 LCD(Liquid Crystal Display)를 포함하고 있다[3]. 이러한 자발광 디스플레이는 이미지의 명암과 관계없이 항상 광을 방출하기 때문에 전력소비에 한계를 가질 뿐 아니라 강한 햇빛과 같은 외부광이 존재할 경우 이미지 인식이 어려워지는 단점을 가지고 있다[4].

이러한 문제를 해결하는 방법 중 하나가 반사형 디스플레이이며, 이는 외부의 광원을 이용하기 때문에 눈의 피로가 적고 가독성이 좋으며, 쌍안정성을 가짐으로 인하여 이미 구현된 이미지를 유지하는데 소비 전력을 필요로 하지 않음으로써 별도의 충전 없이도 장시간 사용이 가능하다[4]. 대표적인 반사형 디스플레이는 액체나 공기중에 전하를 띤 작은 입자가 투명 전극을 사이에 두고 채워지는 구조로 되어 있으며 이

투명전극에 가해지는 전계에 의해 상반된 컬러의 입자가 이동함으로써 이미지를 표현하는 원리를 가지고 있다. 이 디스플레이는 작은 전하를 띤 입자가 도체인 전극에 접근할 때 작용하는 영상력(image force)에 의해 전계가 제거되어도 부착되는 성질, 즉 쌍안정성 또는 메모리 효과를 이용한다. 이러한 특성으로 인하여 자발광 디스플레이와 달리 전력소비를 전혀 하지 않고 이미지를 유지한다.

이러한 쌍안정성의 장점을 살린 반사형 디스플레이로 QR-LPD(Quick Response-Liquid Powder Display)를 꼽을 수 있으며 다수의 연구기관에서 연구를 진행하고 있다[5]. 이 방식은 입자가 공기 중에 노출되기 때문에 응답시간이 1ms 이하로 타 반사형 디스플레이, 특히 유체를 사용하는 전기영동방식보다 훨씬 빠를 뿐 아니라 영상력을 극대화할 수 있다. 그러나 유체를 사용하지 않기 때문에 이 방식은 전기적 안정성 또는 중성화의 측면에서 결점을 가지며 결과적으로 불안정한 구동특성을 보인다.

이 방식은 상하부 기관의 양단 간에 존재하는 전극과 입자를 에워싼 격벽으로 이루어지는 셀 내부에 하전입자를 주입하는 공정으로 제조공정이 이루어지며 전계를 인가하는 수단을 포함할 수가 있다. 이 과정은 입자에 마찰전기와 함께 입자가 가진 초기 전하량을 초과하게 하거나 감소하게 하게 된다. 그러나 일단 입자주입이 완료되고 구동이 시작된 후에는 전기적으로 서로 반대인 전하를 가진 입자가 섞이는 상태는 거의 존재하지 않기 때문에 초기 전하량을 초과하거나 감소하게 된 전하가 중성화 혹은 전기적 안정화를 감소시킬 것이며 패널의 신뢰성에 문제점을 야기하게 된다. 따라서 본 논문에서는 패널제조 공정시 초기전하를 유지하는 공정을 제안하며 그 결과를 패널의 응답 특성으로 확인하고자 한다.

II. 실험방법

본 연구를 위하여 ITO(indium tin oxide)를 코팅한 유리기관을 사용하였으며 흰색 입자는 TiO_2 폴리머, (-)전하의 CCA(charge control agent)로 이루어졌으며, 검정색 입자는 carbon black, 폴리머, (+)전하의 CCA로 이루어졌으며, MEK(methyl ethyl keton)에서 중합되었다. 또한 입자의 유동성은 나노크기의 실리콘에 의해서 제어되었다. 여기에서 CCA는 영구적인 입자의 전하를 부여하기 위하여 첨가되었다. 입자는 제조 후 q/m 에 따라 분류되기 때문에 이상적인 경우 최종적으로 제조된 입자는 일정한 범위의 q/m 을 가진다. 그러나 이 입자는 이후 패널공정을 거치면서 q/m 값이 변하게 된다. 초기 입자혼합 공정 및 주입단계에서 마찰 혹은 인가된 전계에 의한 것이 대표적이다.

그림 1은 본 연구의 디스플레이의 제조공정을 설명하기 위한 개념도이며 (a)는 입자의 전하량에 가장 적은 손상을 주는 putting plate에 의한 주입공정을 보였다.

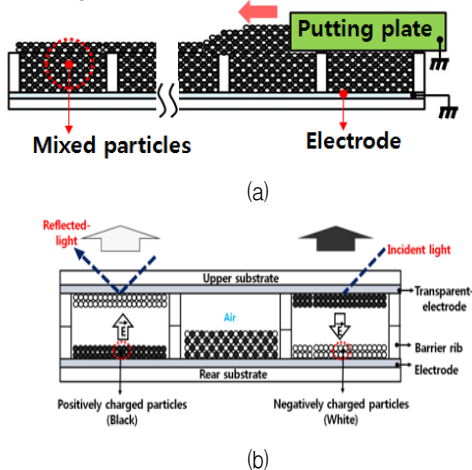


그림 1. 대전입자형 디스플레이의 제조공정 (a)putting plate에 의한 주입공정 및 (b)입자의 상태.
Fig. 1. Fabrication process of the charged particle type display. (a>Loading process by putting plate. (b)state of particles

그림에서 보는 바와 같이 주입공정에서 입자는 마찰전기에 의해 전하량이 변하게 된다. 특히 putting plate에 전압을 인가하는 경우는 입자에 큰 전하량의 변화를 가져올 수 있기 때문에 본 연구에서는 전계를 가하지 않았다. 입자는 제조직후의 초기 전하량 (intrinsic charge)보다 증가 또는 감소한 경우가 발생하나 이는 원래 자신의 전하량이 아니기 때문에 결국 방전하려는 경향을 가지는 이른바 중성화를 진행한다. 그러나 주입이 완료되고 일단 구동이 시작된 입자는 같은 부호의 전하를 띠는 입자끼리 전극표면에 위치하기 때문에 완전히 방전하기까지는 상당한 시간이 소요된다. 즉, 셀내에 (+) 전하와 (-) 전하를 띤 입자가 원리적으로 중성을 유지하여야 하나 주입공정에 의해 전기적으로 중성을 잃게 되어 구동을 불안정하게 하는 원인을 제공한다.

본 연구에서는 서로 상반된 전하를 띤 입자가 혼합된 상태에서 입자가 서로 방전하도록 하기 위하여 온습도 제어 시스템(thermo-hygrostat)으로 고온 다습한 상태($35^{\circ}C$, 80%)를 3일간 유지한 후 패널의 응답시간을 측정하였다. 동일공정으로 제조한 또 다른 패널은 온습도 제어시스템에서 보관하지 않고 주입직후 동일한 측정을 하였다. 본 연구에서 사용된 패널의 셀사이즈는 $300\mu m \times 300\mu m$ 이며, 격벽의 폭은 $20\mu m$ 이며, 셀갭은 격벽의 높이 $50\mu m$ 에 별도의 spacer을 두어 조절하였으며, 입자의 평균지름은 $10\mu m$ 이고 평균 전하량은 흰색은 $3.8\mu C/g$ 이며, 검정색은 $4.5\mu C/g$ 이다.

III. 결과 및 토의

입자가 가지는 포텐셜에너지를 극복하고 입자가 운동하게 하기 위하여 외부전계에 의해 운동에너지를 부여하여 이동한 입자에 의해 이미지를 형성하는데, 입자의 운동은 최종적으로 인가된 전체에너지, 즉 인가전압과 인가된 펄스폭에 의해 영향을 받게 된다[6].

그림 2는 인가전압 및 펄스폭이 이미지의 반사율에 미치는 영향을 보인 것이다. 이 그림에서는 검정색의 반사율을 예로 든 것으로, 인가전압은 20~80V까지 변화시켰으며 펄스폭은 0.1~300ms까지 변화시켰다.

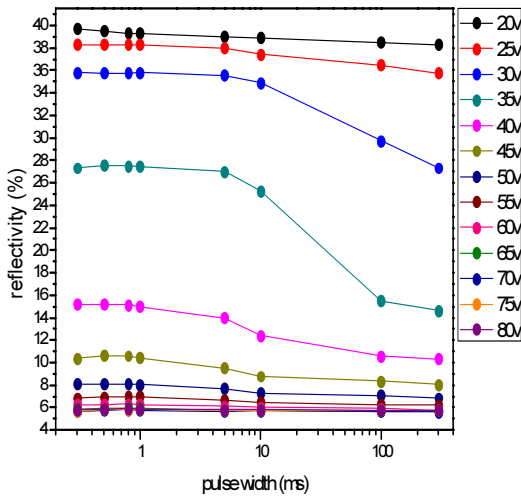


그림 2. 인가전압과 펄스폭에 따른 반사율.
Fig. 2. Reflectivity according to bias voltage and pulse width.

검정색 이미지의 반사율은 이동한 검정색 입자의 점유면적에 의해 결정되므로 패널에 인가한 전압과 펄스폭을 결정하는 변수가 된다.

0.1ms 이하의 빠른 응답시간을 요구하는 응용분야의 패널의 경우는 80V에 가까운 전압을 인가하는 것이 바람직하나 구동전압이 증가함으로 인하여 패널의 수명과 구동시스템 가격상승을 고려해야할 것이다.

반대로 100ms 이하의 느린 응답시간을 허용하는 패널의 경우는 구동전압을 35V 정도로 낮출 수 있으며 이 경우 패널수명이 크게 증가하나 낮은 대조비를 고려해야 할 것이다.

이와 같이 구동전압과 펄스폭은 반사형 디스플레이의 응용분야에 따라 선택될 수 있다. 패널의 제조표현을 위한 방법으로 펄스폭 변조는 바람직한 방법 중의

하나이며 기존의 연구에서 보고된 바 있다[7].

패널에 혼합입자를 주입한 후 구동과정은 입자가 섞이는 경우는 거의 발생하지 않아 셀내의 중성화 조건은 매우 미약하여 중성화를 이루기 위해서는 상당한 기간이 필요하게 된다. 따라서 주입과정에서 본래 자신이 가지는 초기전하량과 다른 값으로 설정된 전하량을 바로잡기 위한 중성화 공정이 필요하다. 본 연구에서는 이를 위해 온습도 제어 시스템(thermo-hygrostat)으로 고온 다습한 상태(35°C, 80%)를 3일간 유지하여 방전함으로서 중성화를 하였으며 결과를 평가하기 위해 패널의 응답시간을 측정하였으며 그 결과를 그림 3에 보였다.

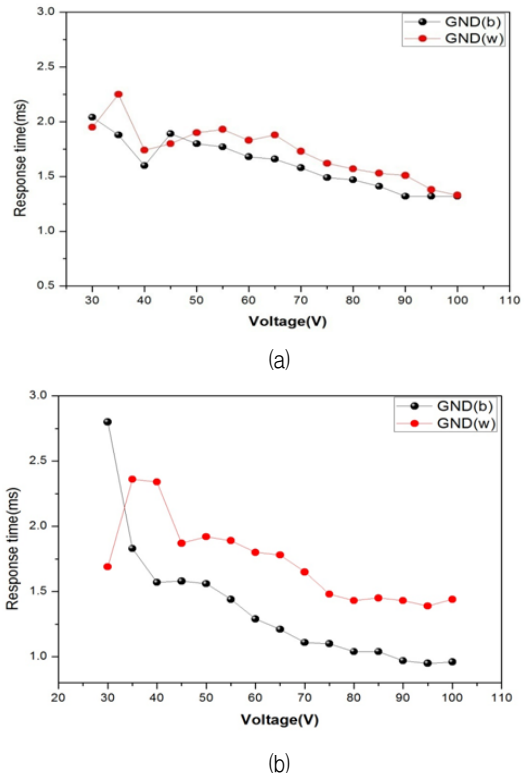


그림 3. 응답시간 비교. (a)방전시간 없이 제조된 패널과 (b)방전시간을 가진 패널의 응답시간.
Fig. 3. Response time of the panel fabricated without (a) with (b) discharging time.

이 그림에서 GND는 패널구동시 전압을 인가하는 기준이 되는 회로상의 ground이다.

이상적인 패널에서 패널의 응답시간(τ)과 인가전압(V)은 $\tau = a/\sqrt{V}$ (a 는 상수)로 표현되므로 이 그래프는 제곱근 함수의 곡선을 가진다[8]. 방전시간을 거치지 않은 응답시간 곡선은 전기적으로 안정화가 이루어지지 않았기 때문에 그림 3(a)에 보인 바와 같이 직선에 가까우며 위의 식을 따르지 않는다. 한편 온습도 제어 시스템에서 방전시간을 가진 패널의 경우 그림 3(b)에 보인 바와 같이 곡선에 가까우며 특히 검정색의 경우는 응답시간도 매우 빨라짐을 알 수 있다. 그러나 흰색의 경우는 응답시간이 크게 감소하지는 않으나 (a)의 경우 위로 볼록한 형태에서 아래로 볼록하게 변하여 위에 보인 식에 가까워져 이상곡선에 가깝게 변하였음을 알 수 있다. 흰색 입자의 응답시간이 검정색 입자의 응답시간보다 늦는 이유는 q/m 값이 검정색보다 작기 때문이며, 기존의 연구에서 이미 보고된 바 있다[8]. 응답시간이 이상적인 패널에 가까워지는 것은 입자의 전하량 분포가 일정한 범위 내에 존재하는 비율이 많음을 뜻하며, 입자의 구동전압에 일시에 입자가 움직이는 이른바 비선형 운동을 하도록 하며, 이는 비정상적인 인가전압에 움직이는 입자의 비율을 낮게 하여 패널의 수명을 증가하게 되어 향후 반사형 디스플레이의 실용화에 기여할 것으로 기대된다. 한편 방전시간을 부여하기 위하여 장기간 공정시간을 필요로 하기 때문에 입자주입 후 에이징이나 어닐링을 통한 방전시간 단축은 향후 연구과제이다.

IV. 결론

최근 정보기술이 크게 발전하면서 유비쿼터스, 가독성 향상, 저전력 구동 등에 적합하면서 휘어질 수 있는 디스플레이를 만족할 수 있는 반사형 디스플레이에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 상하부 기판

의 양단 간에 존재하는 전극과 입자를 에워싼 격벽으로 이루어지는 셀 내부에 하전입자를 주입하는 방식의 반사형 디스플레이의 패널제조 공정에서 주입공정은 입자에 마찰전기에 의해 입자가 가진 초기 전하량을 초과하게 하거나 감소하게 된다. 이러한 현상은 셀 내의 전기적 중성을 헤치게 되며, (+) 전하를 띤 입자와 (-) 전하를 띤 입자가 완전히 섞이게 되는 경우가 거의 드물기 때문에 주입공정에서 발생한 불완전하게 대전된 전하를 방전시키는데는 많은 시간을 필요로 한다. 본 연구에서는 온습도 제어 시스템에 혼합입자가 주입된 패널을 두어 (+) 및 (-) 전하를 띤 입자가 혼합된 상태에서 서로 방전하도록 하도록 하여 셀내에 전기적 중성을 이루도록 하였으며 그 결과를 응답시간으로 확인하였다. 그 결과 응답시간은 이상적인 곡선에 가깝게 변하였으며 이는 입자의 비선형 운동, 안정된 구동특성을 비정상적인 인가전압에 움직이는 입자의 비율을 낮게 하여 패널의 수명을 증가하는 효과를 가져올 것이며 향후 반사형 디스플레이의 실용화에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] T.Z. Kosc, "Particle Display Technologies Become E-Paper", *Optics & Photonics News*, Vol.16 pp. 18-23, 2005
- [2] J. Heikenfeld, P. Drzagic, 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] J. Heikenfeld, P. Drzagic, 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.
- [4] 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

- [5] 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
- [6] D. J. Lee and Y. C. Kim, "A study on a moving characteristics of charged particle in uniform electric field of charged particle type Display", *Journal of the KAIS*, Vol. 10, No. 6, pp. 1186-1190, June, 2009
- [7] M. S. Yang, S. K. Chang, S. Y. Cho and Y. C. Kim, "A study on grayscale presentation method for charged particle type electronic paper", *Journal of the KKITS*, Vol. 23, No. 9, pp. 691-695, September, 2010
- [8] 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

홍순관(Soon-Kwan Hong)



1987년 서울시립대학교 전자공학과 (공학사)
1989년 서울시립대학교 전자공학과 (공학석사)
1994년 서울시립대학교 전자공학과 (공학박사)

1994년~현재 혜전대학교 디지털전자과 교수
※ 관심분야: PCB 제조공정, 반도체 소자 및 재료

저자소개

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

장성근(Sung-Keun Chang)



1984년 경북대학교 전자공학과(공학사)
1993년 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
1996년 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
1996년 ~ 2000년 현대전자 메모리연구소 책임연구원

2000년~현재 청운대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야: 반도체소자, 디스플레이(구동회로설계)