

반사형 디스플레이의 패널평가에 관한 연구

김영조*, 장성근*, 홍순관**

요약

최근 다수의 반사형 디스플레이가 개발되고 그 일부는 상업화되었음에도 불구하고, 여전히 디스플레이의 일반적인 평가 지표로 사용되고 있는 자발광형 디스플레이의 평가방식이 적용되고 있다. 특히 대비되는 컬러를 가지며 전기적으로 반대극성을 가지는 입자가 전계에 의해 운동을 하여 이미지를 형성하는 반사형 디스플레이의 경우, 자발광 디스플레이와 차별화된 평가지표가 요구된다. 반사형 디스플레이에 바람직한 평가방법은 응답시간, 메모리효과, 운동에 기여하는 입자의 비율을 나타내는 점유면적, 비선형성 등이 있으며, 본 논문에서는 그 소개와 평가 예를 관련 연구와 함께 보인다. 이들 지표는 전기 및 광학적 특성, 수명, 패널의 신뢰도, 구동회로 제작 등에 직접적인 영향을 미침에도 불구하고, 입자운동에 기초한 이러한 패널 평가방법은 논문에 거의 소개되고 있지 않은 분야이며 따라서 본 논문에서 다루고자 하는 목적이다.

A Study on Panel Evaluation of Reflective Display

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

ABSTRACT

In recent years, although many reflective displays are developed and some of them are commercialized, the evaluation method of the emitting display which is generally used as an evaluation standard of a display is still applied. Especially, in case of the reflective display that the electrically opposite particles with contrastive color move by an electric field and form an image, different evaluation standards with the emitting display are necessary. The desirable evaluation standards of a reflective display are response time, memory effect, occupation area showing a rate of contributive particles to a movement, and non-linearity, of which review and evaluation examples are shown with related research in this paper. Although these standards directly effect to electro-optical property, lifetime, reliability of the panel, and fabrication of driving circuits, these evaluation methods based on particle movement are hardly introduced on papers and are aim of our study.

Key Words : evaluation, reflective display, response time, memory effect, occupation rate, non-linearity

* 청운대학교 전자공학과(✉yckim@chungwoon.ac.kr)

** 해전대학교 디지털전자과

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

· 접수일(2012년 7월 16일), 수정일(1차 : 2012년 8월 19일), 게재확정일(2012년 8월 22일)

1. 서론

평판 디스플레이가 등장한지 10여년이 지난 현재 기판이 휘어지는 플렉시블 디스플레이가 출시를 앞두고 있다. 평판 디스플레이는 대부분 자체 발광하는 원리를 가진 OLED나 패널 내부에 발광장치를 포함한 LCD, 자발광 디스플레이가 주류를 이루고 있으며 광학적 성능평가는 이미 확고하게 정의되어 있다. 한편 이러한 자발광 디스플레이의 후발주자로 반사형 디스플레이인 전자종이가 최근 상품화에 성공하면서 시장 확대를 가시화하고 있는 실정이며 플렉시블 기술에 있어서 자발광 디스플레이에 비해 유리한 것으로 보인다. 인간의 눈은 본래 불빛이나 태양광 등 자발광 이미지는 적응이 힘들며 쉽게 눈의 피로를 가져오는 단점이 있기 때문에 종이와 같은 가독성이 우수한 전자종이가 이슈가 되고 있음은 주지의 사실이다[1-2].

현재 가장 상품화에 성공한 디스플레이 소자는 현대의 전하를 띤 보색의 관계에 있는 작은 두 종류의 입자가 공기 중에서 혹은 유체 내에서 외부에서 인가된 전기장에 반응을 하여 상부의 투명전극에 접촉하여 이미지를 형성하는 원리로 동작한다. 이렇게 한번 형성된 이미지는 영상력(Image force)에 의해 도체로 이루어진 전극표면에 전원이 없어도 접촉을 지속됨은 이미 알려진 바와 같다[3].

현재 시제품 혹은 상품화된 대부분의 반사형 디스플레이는 원리는 다를 수 있으나 외부광에 반사 또는 흡수하는 것은 동일하다. 그러나 자발광 디스플레이의 시초인 CRT부터 지속되어 온 광학평가는 반사광의 세기, 컬러구현방법, 단순대조비 등 자발광 디스플레이의 평가수단을 그 동작원리가 전혀 다른 반사형 디스플레이에 그대로 적용하고 있다. 반사형 디스플레이의 경우 입자가 직접 상하 전극을 향하여 이동을 하는 구조이기 때문에 단순히 반사율만을 주요 패널 평가의 수단으로 삼는 것은 입자운동을 평가하는데 있어서 대단히 결여되어 있다. 예를 들면 입자가 상하

에 위치한 전극 사이를 운동하는데 있어서 입자의 전하량과 질량의 비(q/m)가 다르기 때문에 동시에 움직이지 않으며, 다른 물질에 의해 유전율이 달라질 수 있기 때문에 전계가 상하로 똑바로 인가되지 않는다. 유체 내부에서 입자가 운동하는 전기영동방식의 경우 입자의 운동방향이 다르거나 와류현상이 발생하여 광특성을 저하시킬 수 있다.

본 논문에서는 자발광 디스플레이와 구분되는 반사형 디스플레이 패널의 전기 및 광학특성을 평가하기 위한 수단으로 응답시간 특성, 비선형 구동특성, 반사율의 파라미터, 메모리 효과 등에 대한 평가지표를 알아보고자 한다. 이러한 연구는 각 평가지표에 대해서는 부분적으로 발표된 바 있으나 전체적인 평가방법으로 집약한 논문은 발표된 바 없다. 따라서 본 논문에서는 이러한 평가지표를 집약하여 고찰하고자 하며 이는 반사형 디스플레이 분야의 발전에 기여하고자 함이다. 특히 반사형 디스플레이에서 주요 평가지표로 삼고 있는 반사율보다는 패널특성을 정확하게 분석할 수 있는 방법으로 운동하는 입자의 점유율 평가 방법에 대한 소개는 비선형 특성을 비교하였으며 본 평가방법의 중요성을 밝히고자 한다.

II. 패널평가 방법

2.1 응답시간

상반된 전하를 띤 입자의 운동을 이용한 반사형 디스플레이에서 유체의 사용유무와 관계없이 q/m 은 전기 내에서 운동하기 때문에 전기 및 광특성을 결정하게 된다. 이 대전된 입자는 q/m 값이 모두 다르기 때문에 운동속도 뿐 아니라 운동의 시작점이 달라서 지연시간이 각각의 입자에 발생할 뿐 아니라 전극 간의 거리(cell gap)를 이동하는 시간이 다르기 때문에 상부 전극에 형성된 이미지의 전환시간이 다르게 되어 응

답시간을 가지게 됨은 다수의 연구에서 발표된 바 있다[4-5]. 전기영동방식의 경우는 유체 내에서 입자 운동을 하기 때문에 응답시간은 더 길어지게 복잡해진다. 따라서 응답시간은 패널의 이미지를 만드는 입자운동을 평가하는데 중요한 지표가 된다. 응답시간은 입자의 뭉침, 운동에 참여하게 되는 입자의 비율, 이미지의 변환시간, 지연시간, 입자수명 등 광학특성 뿐 아니라 문턱전압, 구동전압, 그리고 항복전압을 정의, 예측, 그리고 개선하는 근거를 제공한다.

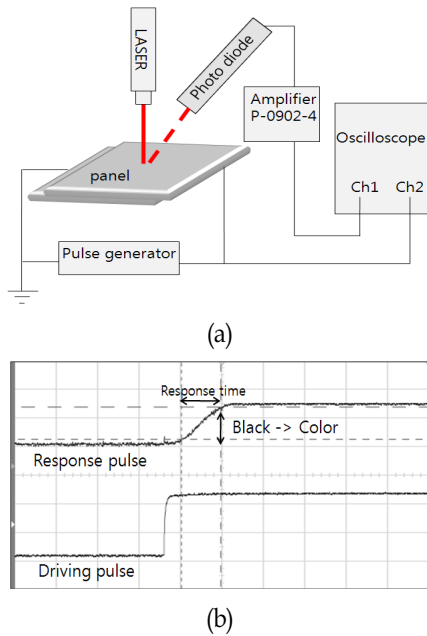


그림 1. 응답시간 측정. (a) 응답시간 측정시스템 (b) 응답시간 측정예

Fig. 1. Measurement of response time. (a) Measurement system of response time. (b) Measurement example of response time

그림 1 (a)는 응답시간을 측정하는 장치의 개념도를 보인 것으로, 이 그림에서 laser로부터 방출되는 광은 패널의 표면에서 반사되며 포토다이오드가 이 광으로부터 신호를 받아서 오실로스코우프에 전송한다. 여기서 펄스발생기를 패널 및 오실로스코우프에 동시

에 연결하여 동기시킨 후 신호를 받게 되는데 그림 1(b)에 그 결과를 보였다. 이 그림에서 아래 부분의 신호는 펄스발생기의 신호이며, 이 신호에 의해 패널의 이미지가 변하게 되는데 laser 광으로부터 반사되는 광을 포토다이오드가 검출한 신호가 윗부분의 신호이다. 이 신호는 응답시간이 지난 후 이미지의 컬러가 변하게 되는데 이 예는 검정색에서 흰색으로 변하는 과정을 보인 것이다. 응답시간 자체는 입자가 하부 전극으로부터 상부전극까지 소요되는 시간을 표현하게 되며 전체패널의 구동시스템을 결정하는 주요인이 된다. 입자의 뭉침, 입자운동의 활성화 정도, 문턱전압 및 구동전압, 입자의 수명 등에 대한 정보를 제공하는 것으로 알려져 있다[6-7].

2.2 메모리 효과

자발광형 디스플레이의 경우 계속적으로 전력공급이 유지되어야 하나 반사형 디스플레이 또는 전자종이는 하전입자와 도체간에 작용하는 영상력에 의해 외부전력 없이 입자를 부착하여 이미지를 유지할 수 있다. 이는 쌍안정성 또는 메모리 효과라 불리며 그 식은 다음과 같이 유도된다[8-9].

$$F = q^2 / 16\pi\epsilon x^2 \quad (1)$$

여기에서 F는 영상력이며, ϵ 은 유전률, x는 실제 전하와 영상전하간의 거리이다. 이 식에서 보는 바와 같이 입자 내 전하가 클수록 그리고 전극에서 가까울수록 영상력은 커져서 메모리 효과가 커진다. 즉, q/m 값이 클수록 메모리 효과는 커진다. 그러나 영상력이 커지면 이를 극복하고 반대편 전극으로 운동하는데 필요한 포텐셜 에너지가 증가하여 구동전압을 증가시키는 요인이 된다고 알려져 있다[10]. 이는 일반적인 전계에 의한 결과와는 다른 것이며 전자종이가 가지는 고유한 특징으로 자발광 디스플레이와 차별화되어

평가되어야 한다. 전원의 on-off에 따라 반사율은 차를 보이며 그 차가 작을수록 메모리 효과는 우수하나 구동방법 및 구동펄스에 따라 그 결과는 크게 달라진다.

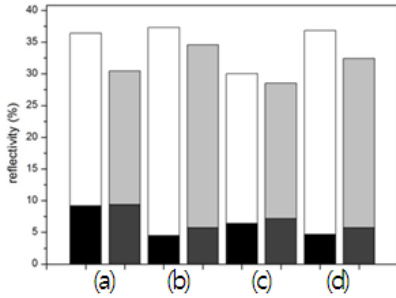


그림 2. 메모리 효과의 평가에
Fig. 2. Evaluation example of memory effect.

그림 2는 구동조건에 따라 메모리효과 변화의 변이를 보이는 것이다. 이 그림에서 (a)부터 (d)의 각 경우는 구동조건에 따라 메모리 효과가 달라지는 것을 보이기 위한 것이며 각 구동조건에서 좌측의 막대그래프는 패널 전원이 on인 상태에서 반사율을 측정하는 것이며 우측의 음영표시된 막대그래프는 패널전원이 off인 상태에서 반사율을 측정하는 것이다. 각 막대그래프에서 위쪽의 밝은 부분은 흰색입자의 반사율에 해당하며 아랫부분의 검정색 부분은 검정입자의 반사율이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 메모리 효과는 구동조건과 깊은 관련이 있으며 이 그림에서는 (b)의 경우의 메모리 효과가 가장 우수함을 쉽게 알 수 있다. 이와 같은 패널평가는 기존의 자발광형 디스플레이에서는 전혀 다루어지지 않지만, 반사형 디스플레이에서는 가장 중요한 파라미터 중의 하나로 이해된다.

2.3 입자운동에 의한 반사율 평가

반사형 디스플레이는 기본적으로 컬러를 띤 입자가 외부전계에 의해 운동을 하는 현상을 이용하여 이미

지를 표현한다. 따라서 일반적으로 평가지표로 사용되는 반사율보다는 입자운동에 기초를 둔 패널평가가 바람직하다[11].

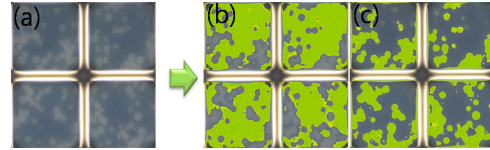


그림 3. 점유면적의 계산과정. (a)패널의 현미경사진 (b)검정색입자의 점유면적 (c)흰색입자의 점유면적
Fig. 3. Calculation process of occupation ratio. (a) Microscopic photograph of panel. (b) Occupation rate of black particles. (c) Occupation rate of white particles.

그림 3은 이러한 평가에 기초하여 이미지에서 원하는 컬러입자가 전체 패널에서 차지하는 점유면적을 계산하는 과정을 보였다. 이 그림에서 (a)는 패널의 이미지를 확인하기 위한 현미경 사진이며 (b)는 현미경의 이미지 신호로부터 밝은 색(흰색)의 이미지가 차지하는 면적을 계산하는 과정을 이미지화한 것으로 초록색은 흰색 입자의 점유면적을 나타내며 어두운 부분은 검정색의 점유면적을 보인 것으로 (c)의 초록색 부분과 일치한다. 이와 같은 분석은 실제로 움직이는 입자의 비율을 반영한 것으로 일반적으로 사용되는 반사율과는 접근방법이 다르다. 예를 들어 입자의 반사율은 입자의 광에 대한 반사율, 개구율, 격벽의 반사율, 패널의 표면반사, 광굴절에 의한 빛의 왜곡, Fresnel에 의한 반사율 저하 등을 함께 표현하기 때문에 전계에 의한 입자의 운동만을 표현하기에는 부족하다. 따라서 순수한 입자운동을 평가하기 위해 입자의 점유면적평가는 대단히 유익한 지표이며, 기존의 자발광형 디스플레이에서는 다루어진 바가 없다.

폐쇄된 공간 내에서 운동하는 입자는 전계에 의한 입자운동 뿐 아니라 입자간의 상호작용이 있기 때문에 전계에 의한 단순한 입자운동으로 해석하는 것은 크게 무리가 있다. 또한 각 입자의 운동은 2.1절에서 언

급한 q/m이 모두 다르기 때문에 응답시간이 달라지며 측정된 응답시간은 평균시간이 된다. 입자가 두 전극 사이를 운동하면서 생성하는 운동에너지는 인가전압에 따라 달라지기 때문에 큰 운동에너지를 요구하는 패널인 경우는 충돌로 인하여 입자가 전기 및 기계적인 손상을 받게 되어 입자의 수명을 단축시키게 된다. 따라서 인가전압을 낮게 함과 동시에 입자를 한꺼번에 움직이게 하는 이른바 비선형 운동을 하도록 하는 것이 바람직하다. 따라서 계조표현은 펄스폭 변조 방식이 타당한 것으로 알려져 있다[12].

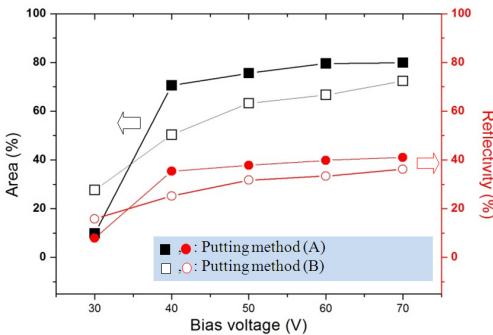


그림 4. 반사율, 점유면적 및 비선형특성
Fig. 3. Reflectivity, Occupation rate, and nonlinear Characteristics.

그림 4는 이러한 구동방식의 평가를 보여주는 예이며 좌측 수직축은 그림 3에서 보인 점유면적의 측정치이며 우측수직축은 일반적으로 사용되는 반사율 측정치를 보인 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 점유면적과 반사율은 완전히 일치하지 않으며 점유면적은 운동하는 입자에 의해서만 표현된 값이다. 이 그림에서 하부의 원형으로 표시한 데이터와 상부의 사각형의 데이터는 입자를 패널에 주입하는 방법에 따라 광특성이 달라짐을 보여주고 있다. 이 그림에서 주입방법 A가 점유면적이 훨씬 비선형임을 보여주고 있다. 주입방법에 대한 논의는 본 연구에서 벗어나므로 추후에 다시 논하고자 한다. 반사율의 경우보다 점유면적

의 차가 훨씬 비선형임을 보여주는 것은 40V에서 독립적으로 일시에 입자가 움직이는 것을 보여준다. 즉 자발광 디스플레이에서 일반적으로 사용되는 휘도이론에 기초한 반사율보다는 운동하는 입자의 점유면적이 반사형 디스플레이의 운동특성을 효과적으로 표현하고 있음을 확인할 수 있다[13-14].

III. 결론

반사형 디스플레이가 본격적으로 연구된 최근 몇 년 동안 다수의 패널구조 및 그 시제품이 발표되었으며 일부는 시장에 진출하여 성공적인 반응을 얻고 있다. 현재의 전자종이 또는 반사형 디스플레이 시장은 향후 크게 증가될 것으로 예상되며 터치패널 등과 결합하여 새로운 제품으로 등장할 가능성이 매우 크다. 그러나 한발 앞서 크게 시장형성을 이룬 자발광 디스플레이인 평판 디스플레이의 영향으로 패널평가가 여전히 반사형 디스플레이의 구동특성에 적합하게 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 논문에서는 반사형 디스플레이에 적합한 특성평가를 다루었으며 자발광 디스플레이에 차별성을 가진 예로 응답특성, 메모리효과, 비선형특성, 점유면적 등에 대한 이해와 분석예를 보였다. 이러한 차별화된 특성평가는 향후 반사형 디스플레이의 신뢰성과 시장형성에 기여할 것이다.

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

- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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
- [8] 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
- [9] D. J. Lee, I. S. Hwang and Y. C. Kim, "Fabrication and Addressing Method of Charged Particle Type Display", *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, Vol.21, pp. 64-65, 2008
- [10] 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
- [11] Korea Institute of Industrial Technology, "Method for injecting particles in electrical paper display", KOR Patent, Application Number: No.10-2008-0052909, 2008
- [12] 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
- [13] D. J. Lee, Y. M. Oh, S. W. Park, B. E. Park, and Y. C. Kim, "Improvement of Electric and Optical Properties of a Reflective Electronic Display by Particle-Moving Method," *Journal of Display Technology*, J. Display Technology, Vol. 8, No. 6, pp. 361-365, 2012
- [14] 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

감사의 글

본 연구는 2012학년도 청운대학교 대학발전 학술연구 조성비의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

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)

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