

# 대전입자형 전자종이의 계조표현 방법에 관한 연구

양명섭\*, 조상엽\*\*, 장성근\*\*\*, 김영조\*\*\*

## 요약

제조비용, 소비전력, 시인성 등에서 대부분의 스스로 광을 방출하는 자발광 디스플레이보다 우수한 장점을 가진 반사형 디스플레이에 적합한 계조표현 방법을 제안한다. 본 연구에서는 전하를 띤 입자를 사용하는 이른바 대전입자형 전자종이의 계조표현을 위하여 하나의 셀전극을 4개의 전극으로 분할하여 설계하고 논리를 확인하고, 제작된 멀티전극 마스크로부터 패널을 제작하고 구동특성을 평가한다. RT-200을 이용한 반사율 측정으로 선형성을 확인하였는 바 이는 산술적으로 명확하게 활성영역이 구분할 수 있기 때문이다. 기존의 계조표현으로 대전입자형 전자종이에 적용되고 있는 펄스폭 변조방법과 결합할 경우 대량생산에 응용될 수 있다.

## A Study on Grayscale Presentation Method for Charged Particle Type Electronic Paper

Myung-Sub Ynag\*, Sang-Yeop Cho\*\*, Sung-Keun Chang\*\*\*, Young-Cho Kim\*\*\*

## ABSTRACT

We propose a grayscale presentation method adapted with the reflective type display which has more strong points than the most emissive type display at the fabrication cost, power consumption, and easy viewing. In this study we designe cell electrodes separated with 4 electrodes, fabricated the panel with multi-electrode mask, and estimate the driving properties in charged particle type display. The linear characteristics are ascertained by reflectivity measurement using RT-200, which is induced by exact arithmetic partition for cell electrode. The results of our study is applicable to the mass production of electronic paper, if this method is combined with the pulse width modulation which is used as a grayscale presentation in charged particle type electronic paper.

Key Words : grayscale, charged particle, display, multi-electrode, sub-cell

---

\* 초당대학교 컴퓨터과학과(✉msyang@chodang.ac.kr)

\*\* 청운대학교 인터넷학과

\*\*\* 청운대학교 전자공학과

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

· 접수일(2011년 8월 22일), 수정일(1차 : 2011년 9월 20일), 게재확정일(2011년 9월 22일)

## I. 서론

중국의 채륜이 종이를 발명한 이래도 인류의 역사는 거의 종이에 의해 기록되고 보존되어 왔다. 그러나 최근 디스플레이 소자가 크게 발전하면서 점차 종이를 대체하는 노력이 진행되어오고 있었다. 대표적인 분야는 전자책(Electronic Book)으로 매출이 크게 증가하고 있는 실정이다. 하지만 그 콘텐츠를 보는 방법은 여전히 인류의 신체적인 조건에 부합하지 않는 자발광형 디스플레이가 주류를 이루고 있으며, 특히 LCD 및 OLED 등이 그 중심을 이루고 있다. 특히 인간의 눈은 본래 불빛이나 태양광 등 자발광 이미지는 가산형 컬러구현이기 때문에 적응이 힘들며 쉽게 눈의 피로를 가져오는 단점이 있음에도 불구하고 이를 이용한 디스플레이가 크게 보급되고 있다. 그러나 이러한 자발광형 광원을 사용한 디스플레이는 눈의 피로 뿐 아니라 전력소모, 높은 가격, 대규모 설비등의 단점을 가지고 있다. 따라서 이와 같은 자발광형 디스플레이와 달리 생체에 보다 친화적인 감산형 커리구현 방법인 반사형 디스플레이로서 전자종이도 점차 상품으로 판매되면서 그 영역을 확보해나가고 있다. 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 이용해 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.[1-3]

전자종이 분야의 기술개발을 위해서는 재료, 신호처리, 구동, 광특성 분석 등 많은 분야의 기술개발이

필요하며 대부분 LCD에 의존하고 있음도 사실이다. 이미지 구현방식이 전혀 다른 원리에 의해 이루어지고 있음에도 불구하고 대부분의 기술이 적절하게 적용되고 있지 못한 실정이다. 디스플레이의 중요한 구성요소중 하나인 계조표현 역시 기존의 LCD 등의 디스플레이에서 정의되고 있는 방법을 따르고 있음은 물론이다.[4] 따라서 본 연구에서는 전자종이의 구동원리를 바탕으로 가장 적합한 계조표현 방법을 제안하고 제안된 방법으로 제작된 전자종이 디스플레이로부터 계조표현을 구현하고 그 결과를 논의하고자 한다.

## II. 계조표현 방법

자발광형 디스플레이는 가격 및 제도단가 등에서 전자종이에 비해 월등하게 고가이며 계조표현은 인가전압 또는 인가전류에 비례하기 때문에 비교적 단순한 방법으로 계조표현을 한다. 그러나 전자종이는 저가격, 저제도단가를 장점으로 하는 대신 광고판 등에 한정되어 있기 때문에 계조표현 관련연구는 심도있게 진행되어지지 않고 있다.

일반적으로 반사형 디스플레이인 전자종이의 계조표현의 방법은 그림 1에 보인 바와 같이 인가전압의 크기(Amplitude), 인가하는 펄스의 수(number of pulse), 그리고 펄스폭에 의해 이루어진다. 그러나 이 방법은 기존의 LCD나 OLED 등 자발광형이 주로 쓰는 방법이며, 따라서 전자종이, 특히 대전입자형 전자종이에는 적합하지 않은 부분이 있다. 먼저 그림 (a)에 보인 전압크기에 의한 방법은 쉽게 이해되는 바와 같이 대전입자가 상하운동을 하면서 충돌에너지에 의해 대전입자의 표면에 위치하는 전하를 띠는 물질(CCA, Charge Controlled Agent)가 손상을 입고 수명이 짧아지는 단점이 있고 또한 떨어져나간 CCA는 셀 내부에서 또 다른 물질에 부착되어 입자운동을 불안정하

계 하는 요인을 제공한다. 따라서 이 방법에 의한 계조 표현은 현재는 거의 사용되지 않고 있다.

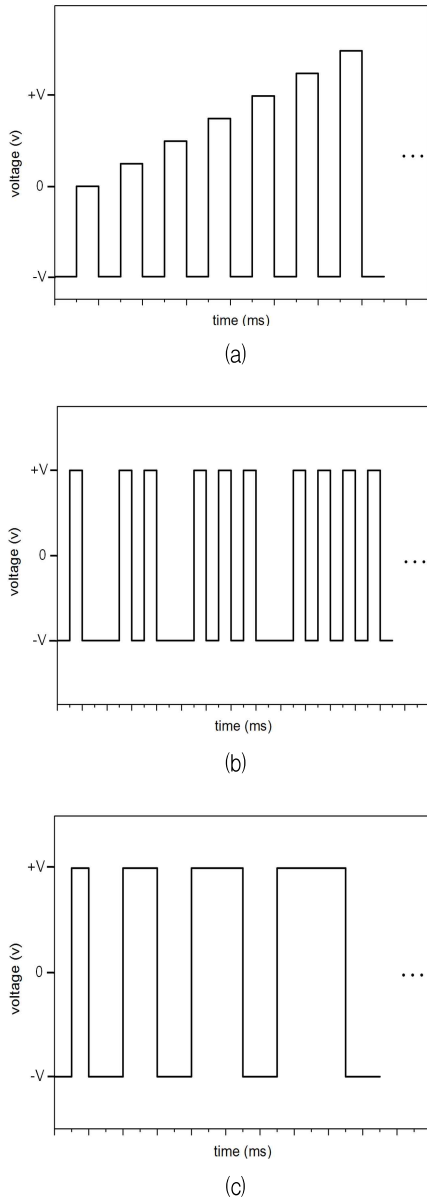


그림 1. 계조표현의 예  
Fig. 1. examples of grayscale expression

또 다른 방법으로 그림 (b)에 보인 바와 같이 펄스 수에 의한 방법은 낮은 계조표현을 이룰 때 극히 짧은 펄스는 입자의 운동을 제한하여 실제 입자가 운동을 하지 않은 상태에서 입자에 짧은 펄스에 의해 과대전 (overcharge)을 야기하게 된다. 즉 운동하지 않은 입자에 반복적인 대전을 야기하여 최종적으로 과대전된 입자는 불안정한 운동을 보이다가 결국 입자들간의 뭉침현상을 일으키게 된다. 이 방법은 일부 전자총이 구동방법으로 사용되고 있으나 펄스수의 제한으로 바람직한 방법이 되지 못하며, 입자의 수명을 짧게 하는 요인이 된다.

따라서 대전입자형 전자총이에 가장 적합한 계조표현은 그림 (c)에 보인 펄스폭 변조에 의한 방법으로 알려져 있다. 이 방법은 전압의 인가시간을 늘리는 방법으로 입자에 안정된 전계가 형성되어 비교적 안정된 계조표현이 가능하다. 그러나 펄스수 변조 방법과 마찬가지로 펄스 폭이 좁으면 입자뭉침 현상이 야기되고 펄스폭이 적정수준을 넘어서면 입자운동이 포화상태로 변하기 때문에 계조수에 한계를 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 계조수를 증가시키기 위하여 외부에서 인가하는 펄스폭 변조 뿐 아니라 패널의 전극 구조를 세분화하여 계조수를 개선하고자 한다. 이 방법에 의한 계조표현 및 발생하는 표동전류(Drift Current)는 참고문헌 [5]에 보였다.

### III. 실험방법

본 연구에서는 패널의 전극을 분할하는 방법 (multi-electrode, 멀티전극)을 이용하였으며 따라서 전극 패턴을 수정하였으며 그 설계원리의 개략도를 그림 2에 보였다. 계조표현의 가능성을 확인하기 위한 설계이기 때문에 상하판에 각각 2개의 채널이 마주보게 하였으며 이를테면 채널 1 및 2는 하부패널의 전극이며 채널 3 및 4는 상부패널의 전극을 보인 것이다.

따라서 채널 1 및 4가 활성화된 경우 서브셀(sub Cell) A가 선택되며, 채널 1 및 3이 활성화된 경우는 서브셀 B가, 채널 2 및 4는 서브셀 C, 채널 2 및 3인 경우는 서브셀 D가 활성화되도록 설계하였다.[6,7] 각 활성화를 위한 인가전압은 기존의 연구결과를 활용하였다. 또한 각 활성화한 서브셀에 인가되는 펄스의 폭을 변조하면 펄스폭에 의한 계조표현을 동시에 적용하여 계조수를 크게 향상할 수 있다.

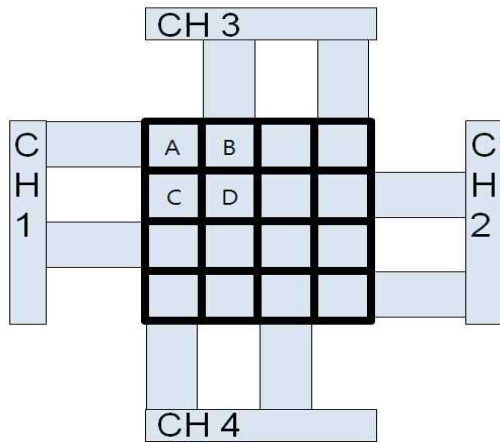


그림 2. 멀티전극 방법에 의한 계조표현의 원리  
Fig. 2. principle of grayscale expression by multi-electrode method

그림 3은 이러한 원리를 바탕으로 설계하여 패터닝을 한 마스크의 사진을 보였다. 이 그림에서 (a)는 전체적인 전극 패터닝 사진으로 전극위에 격벽이 형성된 것이며 (b)는 전극패드와 연결된 멀티전극을 크게 보인 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 각 셀에 해당하는 전극을 2개로 분할하였으며 여기에 바이어스되는 전압을 각각 독립적으로 인가된다. 여기에서 셀은 ITO 전극이 코팅된 유리기판 위에  $320\mu\text{m} \times 320\mu\text{m}$ 의 크기로 형성되었다. 입자를 주입하는 방법은 여러 가지가 제안되어 있으나 본 연구에서는 기확보된 방법으로 충전판(putting plate)를 적용한 방법을 활용하였다.[8] 또한 개구율을 높이기 위하여 상부 및 하부기판에 격

벽을 따로 형성하여 패키징하는 방법을 사용하였으며 패널성능평가는 RT-200으로 진행되었다. 반사율 및 면적점유율은 동시에 활용되었으며 기연구 결과를 활용하였다.

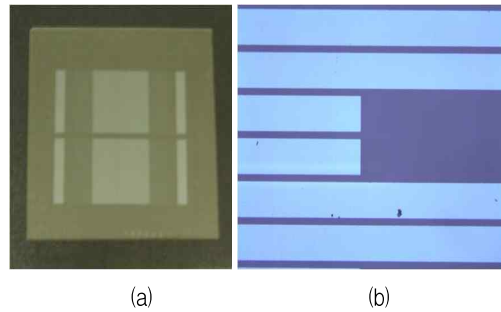


그림 3. 멀티전극 마스크 사진  
Fig. 3. photographs of mask of multi-electrodes

#### IV. 결과 및 토의

앞 절의 그림 2의 원리에 의해 계조표현을 할 때 각 멀티전극에 인가된 전압에 따른 각 경우의 계조수를 다음의 표 1에 정리하였다. 이 표에서 보는 바와 같이 활성화된 서브셀의 수는 셀에서 흰색입자의 면적으로 이해할 수 있기 때문에 5단계로 표현이 가능하다. 참고문헌 [5]에서 보인 펄스폭 변조에 의해 선형부분 5단계를 동시에 적용하면 25단계가 되어 일반적인 단일 컬러를 사용하는 인쇄물이 8단계 정도임을 고려하면 전자책 정도에서 인용되는 사진 등을 표현하는데 충분하다고 보여진다. 한편 출시되고 있는 전자책의 경우 프레임 전환시 깜빡거림의 문제는 응답속도에서 해결이 가능하고 계조표현을 위해 TFT(Thin Film Transistor)를 사용하여 능동구동을 하는 대신 본 연구의 계조표현을 이용하면 수동구동을 할 수 있게 되어 저가격에 유리할 것으로 판단된다.

표 1. 멀티전극 방법에 의한 계조표현의 예  
Table 1. examples of grayscale expression by multi-electrode method

서브셀 셀계조	A	B	C	D
0	OFF	OFF	OFF	OFF
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	ON	ON	OFF	OFF
3	ON	ON	ON	OFF
4	ON	ON	ON	ON

입자가 주입된 후 하부에 존재하는 멀티전극의 형태는 입자주입시 전압을 다르게 인가하여 입자층을 구분할 수 있는 방법으로 멀티전극 구동으로 계조표현이 가능한 것을 확인할 수 있으며 그 예를 그림 4에 보였다. 그림에서 보는 바와 같이 각 셀의 우측부분은 약간 검은 색을 띠게 되는데 이는 좌측보다 전압을 낮게 인가하여 입자를 주입하였기 때문에 유리기관 밖의 검정색 부분이 투과된 것을 확인할 수 있었다. 즉 입자의 밀도에 따라 충분히 상세한 계조표현이 가능함을 입자주입 단계에서 확인하였다. 상부패널은 기본적으로 그림 4에 보인 패턴과 같은 원리로 설계하였다.

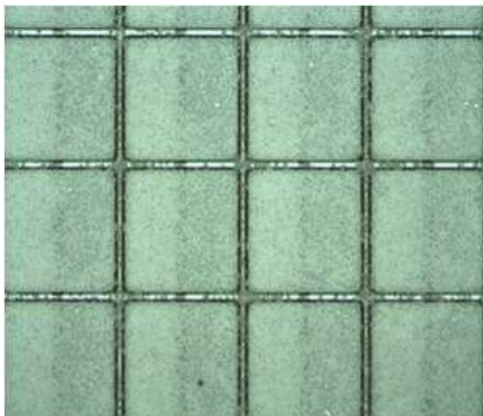


그림 4. 멀티전극에 주입한 입자의 현미경사진  
Fig. 4. microphotograph of inserted particles into multi-electrodes

본 연구에 의한 계조표현의 가능성을 확인하기 위하여 각 계조에서 반사율을 측정하였으며 그림 5에 그 결과를 보였다. 이 그림에서 수평축은 검정색으로 활성화된 서브셀의 개수를 표현한 것으로 반대로 흰색의 활성화된 개수로 치환될 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 선형성이 우수한 편이며 소자적용이 가능한 것으로 판단된다. 이는 전극표면을 정확하게 4등분한 구조이기 때문에 예상된 결과라고 판단된다. 또한 이는 보고된 어떤 계조보다 선형성이 우수한 것으로 보이며, 이러한 선형성을 바탕으로 펄스폭에 적용될 경우 계조수를 개선하는 기술로 보여진다.[9,10]

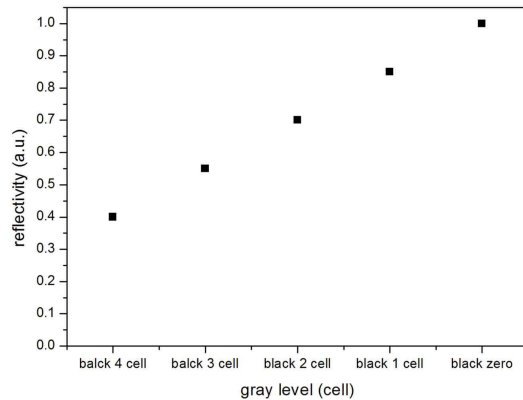


그림 5. 활성화된 각 셀에 따른 반사율  
Fig. 5. reflectivity by activated cells

반사율은 레이저 입사광으로부터 8° 떨어진 곳에 위치한 포토다이오드로부터 측정하였으며 측정된 값은 다시 증폭기를 거치는 시스템이며 반사율은 RT-200에서 계산되어 출력된다. 한편 이 데이터는 포토다이오드의 전류값으로도 확인되며 이 전류는 대전 입자의 이동에 의해 발생하는 표동전류이며 전극표면에서 충돌 및 산란하기 때문에 그 값은 시간에 따라 미세하게 진동하는 값을 가지나 이는 입자의 표동에 의한 것이기 때문에 실제 시인성과는 관계가 전혀 없으며 그 결과는 그림 5에서 확인한 것과 거의 일치한다. 또한 본 연구팀에서 선행연구로 발표한 참고문헌 [11]

및 [12]에 따르면 셀에서 차지하는 입자의 면적비를 계산할 수 있는데 역시 거의 일치함을 확인하였다.

## V. 결론

최근 제조비, 전력소비, 시인성 등에서 기존의 자발광형 디스플레이에 비해 우수한 장점을 가지는 반사형 디스플레이에 적합한 계조표현 방법이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 전하를 띤 입자를 상하운동하여 이미지를 표현하는 전자종이 디스플레이에서 한 개의 셀을 4개의 서브셀로 분할하도록 전극패턴을 고안하여 이른바 멀티전극형 계조표현을 설계하고 소자를 직접 만들어 구동 및 평가하였다. 그 결과 선형성이 우수하여 소자적용이 가능한 것으로 판단되며, 특히 전자종이 디스플레이에서 적합한 것으로 보이는 펄스폭 변조방식의 계조에 결합할 경우 보다 우수한 계조수 표현이 가능할 것이다. 본 연구는 기존의 자발광형 디스플레이에 기초한 계조보다는 반사형 디스플레이에 적합한 것으로 판단되며 작은 규모의 광고판, 대형 광고판, 1회용 디스플레이 등에 응용될 것으로 보인다. 또한 향후 고해상도 및 실제 이미지 표현을 실현하는 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

## 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] Koshimizu, "The past, present, and future of electronic paper", Vol. 24, pp. 23-242008.
- [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] K. Y. Kwon, S. W. Kim, I. S. Hwang and Y. C. Kim, "The Driving Method of a Charged Particle Type Display", *Journal of the KAIS*, Vol. 9, No. 1, pp. 33-40, February, 2008
- [7] B. H. Kim, S. W. Kim, S. K. Lee and Y. C. Kim, "Optical Characteristics and Measurement System of Charged Particle Type Display", *Journal of the KAIS*, Vol. 9, No. 1, pp. 29-34, February, 2008
- [8] D. J. Lee, I, S, Hwang and Y. C. Kim, "Fabrication and Addressing Method of Charged Particle Type Display", *Journal of the KIEEME*, Vol. 21, No. 1, pp. 63-67, January, 2008
- [9] K. H. Kim and Y. C. Kim, "Grayscale of Charged Particle Type Display", *proc. 2010 summer conf. KIEEME*, Vol. 11, pp. 38, June, 2010
- [10] Korea Institute of Industrial Technology, "Method for Expressing Gray Scale in Electronic Paper Display Panel", *KOR Patent*, Application Number: No.10-2009-0036910, 2009
- [11] 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
- [12] 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

저자소개



양명섭(Myung-Sub Yang)

1995년 전북대학교 전자계산학과  
이학석사  
1999년 전북대학교 전자계산학과  
이학박사

2000년~현재 : 초당대학교 컴퓨터과학과 교수  
※ 관심분야 : Machine Vision, Image Processing



조상엽(Sang Yeop Cho)

1988년 중앙대학교 전자계산학과  
(이학석사)  
1993년 중앙대학교 전자계산학과  
(공학박사)

1995년 ~ 현재 청운대학교 인터넷학과 교수  
※ 관심분야: 인공지능, 퍼지이론, 페트리네트 응용

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)



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