

# 다수전극형 전자종이 필름에서 인가전압에 따른 단일 컬러 가변에 관한 연구

이상일<sup>1</sup>, 홍연찬<sup>1</sup>, 김영조<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> 인천대학교 전자공학과

<sup>2</sup> 청운대학교 전자공학과

## A Study on Variation of Single Color by Applied Voltage in Multi-Electrode Type Electronic Film

Sang-Il Lee<sup>1</sup>, Youn-Chan Hong<sup>1</sup>, and Young-Cho Kim<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Electronic Engineering Incheon National University, Incheon 22012, Korea

<sup>2</sup> Department of Electronic Engineering, Chungwoon University, Incheon 22100, Korea

(Received July 31, 2018; Revised September 12, 2018; Accepted September 17, 2018)

**Abstract:** A multielectrode electronic paper film capable of expressing a single-color image was fabricated by injecting color electronic ink into an electronic paper panel; on the basis of its reflective or transparent properties, it is possible to control the expression of six single-color images and their transmittance. In this study, a single-color image was represented by driving a multielectrode electronic paper film; color coordinates were measured. The six capable single colors were yellowish pink (0.444, 0.354), white (0.355, 0.352), black (0.241, 0.241), orange (0.514, 0.360), reddish orange (0.606, 0.338), and reddish purple (0.469, 0.145). Color particles used in this paper were black and white, by which six colors are accomplished, but more single-color images can be combined by using cyan, magenta, and yellow particles.

**Keywords:** Multi-electrode type e-paper, Color electronic ink, Electrophoresis, Color coordinates, Single color

### 1. 서론

전자종이 디스플레이는 다양한 분야에 응용이 가능한 차세대 디스플레이로써 실제로 전자간판, 전자가격 표시라벨, 전자책, 의류 디자인 등 다방면에 사용되고 있다 [1,2]. 전자종이는 LCD, OLED와 같은 발광형 디스플레이가 아닌 자연광을 반사하여 이미지를 표시하는 반사형 디스플레이로 안구에 가해지는 피로가 적어 종이와 가장 비슷한 가독성을 지닌 전자 디스플레이

장치이다 [3]. 또한 전기영동 방식으로 서로 다른 전하를 띠는 두 개 이상의 입자를 전계를 통해 운동시켜 이미지를 표시하는데 입자들의 쌓안정성이 우수하여 이미지를 유지하는 데 필요한 전압이 소모되지 않기 때문에 전력소모가 적다 [4,5]. 따라서 별도의 충전 없이도 반영구적으로 이미지를 유지하는 것이 가능하다 [6]. 전기영동 방식을 이용한 전자종이 디스플레이는 대부분 전자잉크를 주입하여 제작하며, 전자잉크는 서로 상반되는 컬러와 전하를 띠는 (+)입자, (-)입자를 중성의 투명유체와 혼합하여 제작한다 [7]. 개발 초기에 전자종이는 종이를 대체할 전자책으로써의 용도로 백색입자와 흑색입자를 주입하여 제작하기 때문에 자체적으로 컬러 이미지를 표시하는 것에 불가능했다 [8]. 그러나 전자종이를 다양한 분야에 응용하기 위해서 컬러

a. Corresponding author; [yckim@chungwoon.ac.kr](mailto:yckim@chungwoon.ac.kr)

러화는 필수적이기 때문에 그림 1(a)와 같이 컬러필터를 이용하여 컬러 이미지를 표현했으나 서브픽셀 개념의 컬러 기술이기 때문에 원리적으로 단일 컬러의 표시가 불가능하다 [9]. 무엇보다 컬러필터를 사용하게 되면 반사형 디스플레이인 전자종이 디스플레이의 이미지를 표시하기 위한 광원이 충분히 반사되지 않는 치명적인 단점이 있다 [10]. 이와 같은 단점을 보완하고 전자종이 디스플레이의 컬러화를 실현하기 위해 많은 방법이 연구되었으며, 그림 1(b)는 마이크로캡슐 전자종이 디스플레이에서 사용하는 컬러화 방식인 컬러 입자 방법이다. 컬러 입자 방법은 3개의 컬러 입자를 문턱전압이 다르게 제작하여 컬러 이미지를 표시하기 때문에 구동방법이 복잡하다는 단점이 있다. 그림 1(c)는 본 연구팀이 개발한 전자종이 디스플레이의 컬러화 기술인 3전극형 전자종이 필름이다. 3전극형 전자종이 필름은 상부기판에 전극이 한 개, 하부기판에 전극이 두 개 있어 세 개의 전극에 독립적으로 전압을 인가할 수 있도록 구성되어 있다. 세 개의 전극에 인가하는 전압에 따라 입자를 운동시키는 전기영동을 이용하여 3색의 단일 컬러를 구현하는 것이 가능하다 [11]. 3전극형 전자종이 필름은 서브픽셀 개념이 아닌 픽셀화 방법으로 원리적으로 한 개의 픽셀에서 3가지 색의 단일 컬러 이미지를 표현하는 것이 가능하다 [12]. 또한 컬러의 조합을 통해 최대 6가지 컬러 이미지를 표현하는 것이 가능하다. 그러나 이 방식은 반전현상 문제, 컬러 간섭 문제가 발생하는 것으로 알려져 왔다 [13,14]. 따

라서 본 연구팀은 이러한 3전극형 전자종이 필름을 응용하여 컬러 이미지 표현은 물론, 투과도 제어가 가능한 다수전극형 전자종이 필름을 개발하였다.

본 연구에서는 투과도 제어에 대한 부분은 추후 연구할 예정이며, 최대 6가지 컬러 이미지 표현에 대한 방법을 제안하고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 다수전극형 전자종이 필름의 컬러 제조 방법

다수전극형 전자종이 필름의 컬러 구현 방법은 본 연구팀의 선행연구인 3전극형 전자종이 필름의 컬러 구현 방법을 응용한 것이다. 그림 2는 다수전극형 전자종이 필름의 모식도로 4개 이상의 독립된 전극을 셀에 형성한 방법이며, 서로 반대의 전하를 띤 제1 및 제2 컬러 입자와 전기적으로 중성인 제3의 컬러 유체에 의해 단일 컬러가 구현된다. 투명 상·하부 전극의 인가전압에 따라 cyan 및 magenta가 표현되며 하부기판의 전극에 하전입자가 부착되도록 전계를 인가할 경우 중성유체의 컬러인 yellow가 표현되는 원리다. 또한, 다수전극형 전자종이 필름은 하부기판에 형성된 다수개의 전극을 이용하여 3색의 컬러는 물론 6색의 단일 컬러 이미지를 구현하는 것이 가능하다. 다수전극형 전자종이 필름은 그림 2에 보이는 바와 같이 음전하를 띤 magenta(-) 입자, 양전하를 띤 cyan(+) 입자, 그리고 전기적 성질을 띠지 않는 yellow 유체를 혼합하여 제작한 전자잉크를 다수전극형 전자종이 패널에 주입하여 제작한다. 3색을 가지는 전자잉크로 6색의 단일 컬러 이미지를 표현하기 위해서는 다수개의 전극을 이용한 구동방법을 사용한다. 먼저 magenta(-)

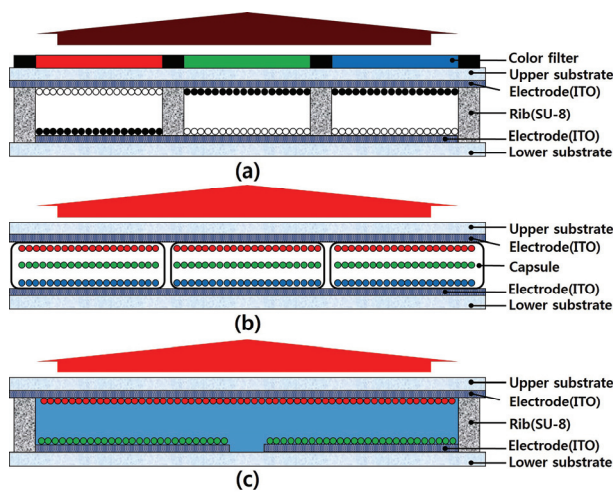


Fig. 1. Color expression method of e-paper, (a) color filter method, (b) color particle method, and (c) three-electrode type electronic paper method.

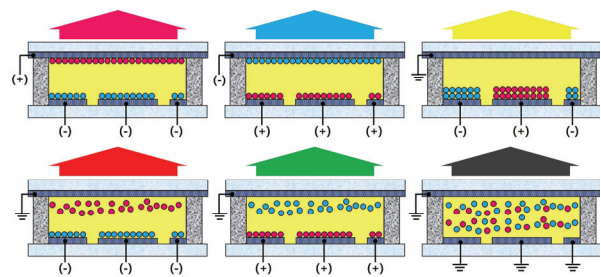


Fig. 2. Multi-electrode type electronic paper film capable of six single color expressions.

를 표현하기 위해서는 그림 2의 첫 번째 단면도와 같이 상부전극에 (+)전압을 인가하고 하부전극 전체에 (-)전압을 인가하여 magenta(-) 입자를 상부기판에 위치시키면 된다. 반대로 상부기판에 -전압을 인가하고 하부전극에 (+)전압을 인가하면 cyan(+)을 표현할 수 있다. 그림 2의 세 번째 단면도는 yellow를 표현한 모습으로 상부기판 전극을 접지하고 하부기판 전극에 (+), (-)전압을 인가하여 cyan, magenta 입자를 하부기판에 위치한다. 그림 2의 하단 좌측 단면도는 컬러 계조를 이용해 red를 표현한 모습으로 상부기판을 접지하고 하부기판에 (-)전압을 인가하여 magenta(-) 입자가 상부기판에 위치하지 않고 유체에 부유하여 yellow+magenta의 혼합색인 red를 표현한다. 또한 그림 2 하단 중앙의 단면도와 같이 cyan+yellow를 혼합하면 green을 표현할 수 있으며, 모든 전극을 접지하면 CMY가 전체적으로 혼합된 컬러를 표현하는 것이 가능하다.

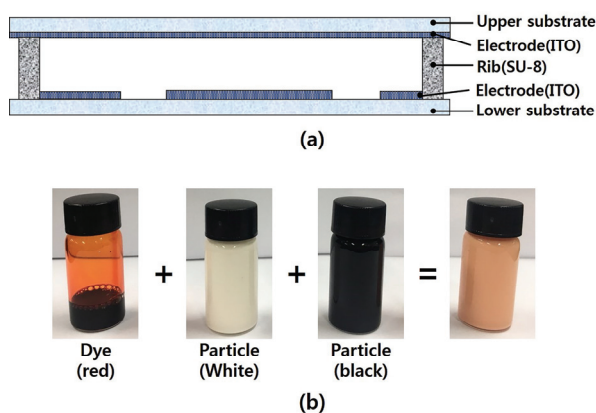
**2.2 패널 제작 및 실험 방법**

다수전극형 전자종이 필름은 ITO가 코팅된 상부기판과 3개의 하부전극을 형성한 하부기판 사이에 전자잉크를 주입하여 제작한다. 그림 3(a)는 다수전극형 전자종이 필름의 셀 구조를 나타낸 단면도다. 앞서 언급한 바와 같이 ITO 상부기판과 3개의 전극을 형성한 하부기판으로 구성되어 있으며, 하부기판 위에는 셀을 만들기 위한 격벽이 형성되어 있다. 격벽의 재질은 SU-8이며 셀 높이는 23.5 μm, 셀 크기는 170 μm × 170 μm이며, 하부전극의 크기는 75 μm, 50 μm, 25 μm

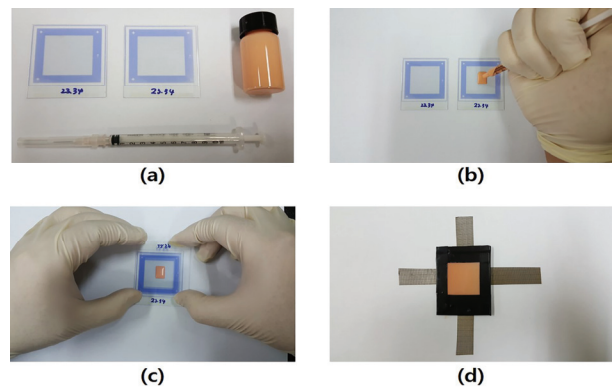
로 제작되었다. 그림 3(b)는 필름에 주입되는 컬러 전자잉크로 백색(+입자, 흑색(-)입자와 중성인 적색유체를 혼합하여 제작하였다. 그림 2에서는 CMY를 이용해 컬러를 표현하는 예를 들었지만, 본 연구에서는 white, black, red를 혼합한 전자잉크를 사용하여 컬러 이미지를 표시하였다.

그림 4는 다수전극형 전자종이 필름의 제작과정을 보인 사진이다. 그림 4(a)는 상부 및 하부기판과 컬러 전자잉크, 주입기이며, 그림 4(b)는 주입기에 컬러 전자잉크를 넣어 하부기판에 위에 전자잉크를 로딩하는 모습이다. 그림 4(c)는 상부기판을 하부기판 위에 올려 정합하는 과정이며, 그림 4(d)는 완성된 다수전극형 전자종이 필름의 모습이다.

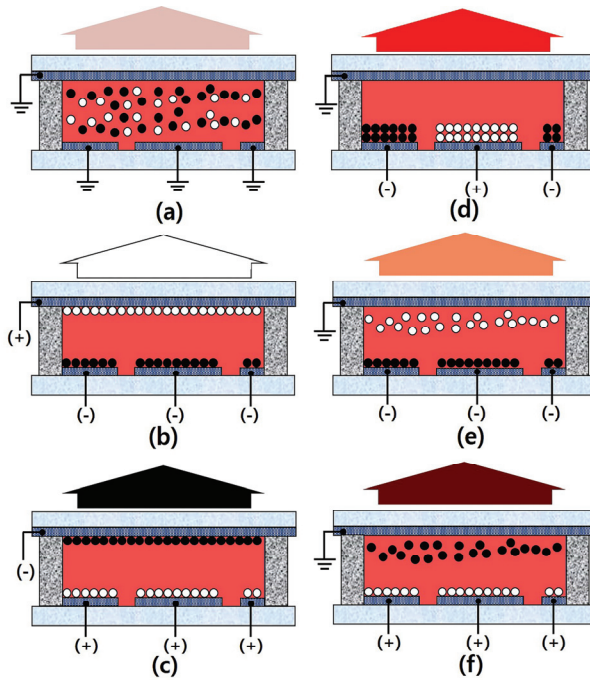
제작한 다수전극형 전자종이 필름의 단일 컬러 이미지 표현을 확인하기 위해 그림 5와 같이 필름을 구동하였다. 필름은 그림 3(b)의 컬러 전자잉크를 주입하여 제작하였기 때문에 기본적으로 백색, 흑색, 적색의 컬러 이미지를 표현하는 것이 가능하다. 그림 5(a)는 필름에 전압을 인가하지 않은 초기 상태로 백색, 흑색, 적색이 모두 혼합된 컬러 이미지를 표현하는 것이 가능하다. 이는 컬러 전자잉크를 혼합하는 입자와 유체의 컬러에 따라 원하는 컬러 이미지를 표현하는 것이 가능하다. 그림 5(b)는 하부전극에 (+), (-)전압을 인가하여 백색, 흑색 입자를 모두 하부기판에 위치시킨 상태로 상부기판에서는 유체의 색을 표현하는 것이 가능하다. 또한 그림 5(c)는 상부전극에 (-)전압을 인가하고 하부전극에 (+)전압을 인가하여 상부기판에서는 백색입자를 위치시킨 상태이며, 하부기판에는 흑색입자를 위



**Fig. 3.** Panel structure and electronic ink of multi-electrode type electronic paper film. (a) Panel structure of multi-electrode type electronic paper film and (b) manufacturing color electronic ink.



**Fig. 4.** Fabrication process of image panel. (a) Upper and lower substrates, ink and injection syringe, (b) electronic ink loading (lower substrate), (c) assembly of the upper and lower substrates, and (d) packaged panel.



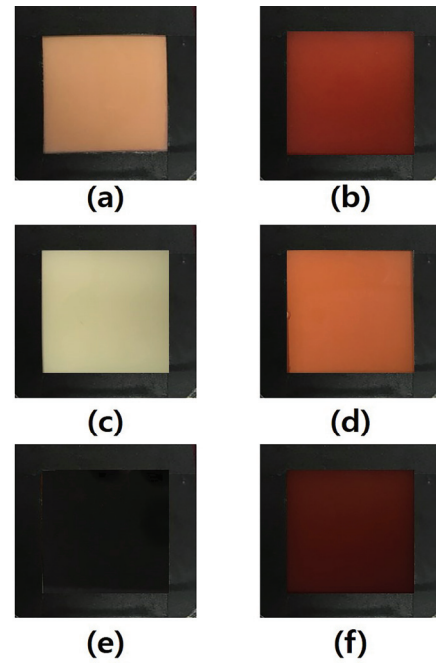
**Fig. 5.** Driving method for various color image of multi-electrode type electronic paper film. (a) Initial state, (b) reddish orange, (c) white, (d) orange, (e) black, and (f) reddish purple.

치시킨 상태로 백색을 표현하는 것이 가능하다. 그림 5(d)는 컬러를 조합하여 표현한 단일 컬러 이미지로 백색입자와 적색유체의 컬러를 조합한 컬러를 표현하는 것이 가능하다. 이는 상부전극을 접지하고 하부전극에 (-)전압을 인가하여 백색입자를 유체에 부유시킴으로써 필름을 구동하는 방법을 이용하는 것이다. 그림 5(e)는 상부전극에 (-)전압을 인가하고, 하부전극에 (+)전압을 인가하여 흑색의 단일 컬러 이미지를 표현하는 것이 가능하며, 그림 5(f)는 그림 5(d)와 같은 방법으로 흑색입자와 적색유체의 컬러를 조합한 단일 컬러 이미지를 표현할 수 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 다수전극형 전자종이 필름의 단일 컬러 표현

앞서 언급한 바와 같이 다수전극형 전자종이 필름을 이용한 단일 컬러 표현은 최대 6가지의 컬러를 표현하는 것이 가능하다. 그림 6(a)는 필름에 전압을 인가하지 않은 그림 5(a)와 같이 구동하여 패널의 모습을 관



**Fig. 6.** Color implementation of multi-electrode type electronic paper film. (a) Initial state, (b) reddish orange, (c) white, (d) orange, (e) black, and (f) reddish purple.

찰한 사진이다. 백, 흑, 그리고 적색을 혼합한 단일 컬러 이미지가 표현되었다. 그림 6(b)는 그림 5(b)와 같이 구동하여 유체의 색을 표현한 필름을 관찰한 사진으로 육안으로 적색이 표현되는 것을 확인할 수 있다. 이는 다수의 하부전극에 각각 (+), (-) 전압을 인가하여 백, 흑색 입자를 모두 하부전극에 위치시켜 상부기판에서 필름을 관찰할 시 유체의 컬러가 표현되는 것이다. 그림 6(c)는 백색을 표현한 필름의 모습으로, 그림 5(c)의 상태로 구동하여 백색입자를 상부기판에, 흑색입자를 하부기판에 위치시켜 상부기판에서 백색의 단일 컬러를 표현한 것이다. 그림 6(d)는 컬러 전자잉크의 입자와 유체의 컬러를 조합하여 단일 컬러를 표현한 필름의 모습으로 그림 5(d)와 같이 백색입자와 적색유체를 조합하여 컬러를 표현한 것이다. 또한 그림 6(e)는 흑색을 표현한 모습으로 그림 5(e)에서 보이는 바와 같이 구동하여 흑색입자를 상부기판에, 백색입자를 하부기판에 위치시켜 흑색의 단일 컬러를 표현한 것이다. 마지막으로 그림 6(f)는 그림 5(f)와 같이 구동하여 흑색입자와 적색유체를 조합한 단일 컬러를 표현한 모습이다. 컬러 구현 실험을 통해 그림 6(d), (f)와 같이 입자와 유체의 컬러를 조합하여 새로운 단일 컬러

러가 표현되는 것을 확인하였다. 또한 백색 이미지의 반사율이 30.4%, 흑색 이미지의 반사율이 3%로 10:1의 대조비를 확인하였다.

그림 6(d)와 같이 상부전극을 접지하고 하부전극들에만 (+)전압을 인가하여 패널을 구동하게 되면 (-)전하를 띠는 흑색입자는 하부전극으로 이동하게 되고 백색입자들은 상부기판에 위치하지 않고 유체에 부유하게 된다. 이는 컬러 전자잉크의 문턱전압을 이용하여 구동했기 때문이다. 본 연구에 사용한 패널에 주입한 컬러 전자잉크의 입자가 운동하기 시작하는 문턱전압은 흑색과 백색 입자 모두 1 V이다. 따라서 하부전극에 +2 V를 인가하고 상부기판을 접지하면 흑색입자는 하부전극으로 끌어당겨져 위치하게 되지만 백색입자는 상부기판에 미치지 못하고 주변에 부유하게 된다. 그러므로 백색과 적색을 조합한 컬러가 표현되는 것이다. 흑색과 적색을 조합한 컬러를 표현한 그림 6(f)도 같은 방법으로 컬러가 표현되는 것이다. 육안으로만 필름의 컬러를 확인할 수 없기 때문에 필름이 표현한 컬러의 색좌표와 반사율을 측정하였다.

### 3.2 다수전극형 전자종이 필름의 광특성 측정

다수전극형 전자종이 필름의 컬러를 구현하고 컬러의 광특성을 수치상으로 확인하기 위해 단일 컬러를 구현한 다수전극형 전자종이 필름의 색좌표를 측정하였다.

다수전극형 전자종이 필름의 색좌표 측정은 본 연구팀이 보유한 RT-200 장비를 사용하여 측정하였으며, CIE 1931 색좌표계로 결과를 나타내었다. 먼저 그림 7(a)는 모든 전극을 접지한 초기 상태의 컬러의 색좌표를 측정한 것이다. 색좌표는 (0.444, 0.354)로 yellowish pink를 표현한다. 이는 컬러 전자잉크의 초기상태인 백색, 흑색, 적색이 모두 조합된 컬러다. 그림 7(b)는 유체의 색인 적색의 색좌표를 측정한 결과이다. 색좌표는 (0.606, 0.338)로 reddish orange를 표현한다. 적색의 유체에 백색, 흑색을 혼합하지 않은 상태에서 측정된 색좌표도 reddish orange로, 완전한 유체의 컬러를 표현하는 것을 확인했다. 그림 7(c)는 백색의 색좌표로 (0.355, 0.352)로 백색을 표현하는 것을 확인할 수 있으며, 그림 7(d)는 적색과 백색을 조합한 컬러로 색좌표상으로 (0.514, 0.360)에 위치해 orange를 표현하는 것을 확인했다. 그림 7(e)는 (0.241, 0.241)로 흑색을 표현하며, 그림 7(f)는 적색과 흑색을 조합한 컬러인 reddish purple로 좌표는 (0.469, 0.145)이다. 색좌표 측정 결과 6가지의 서로 다른 단일 컬러가 표

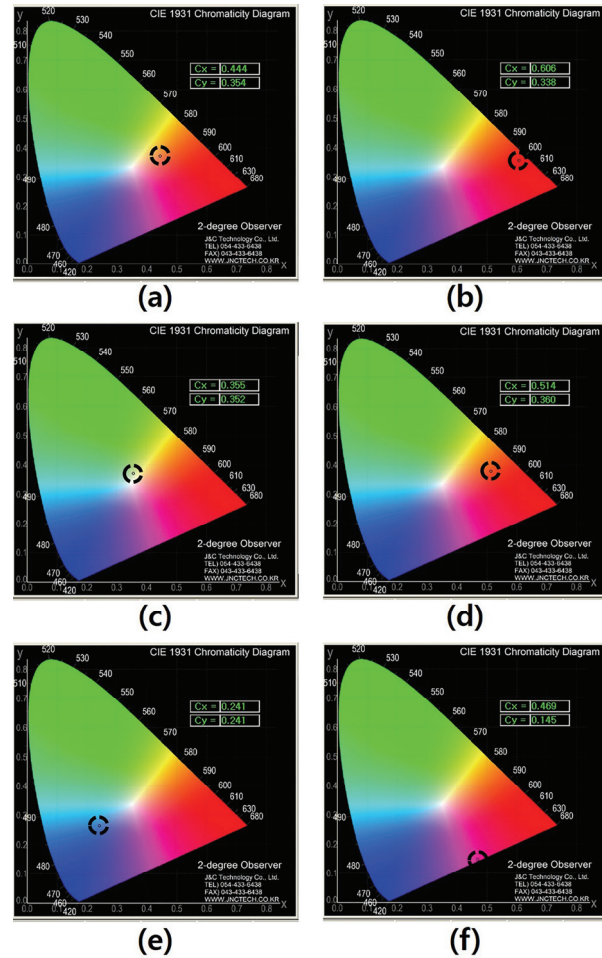


Fig. 7. Color coordinates of Fig. 6. (a) Initial state, (b) reddish orange, (c) white, (d) orange, (e) black, and (f) reddish purple.

현된 것을 확인하였다. 색좌표 측정을 통해 컬러의 조합을 통해 새로운 컬러를 표현할 수 있다는 것을 색좌표를 통해 확인하였다.

## 4. 결론

다수전극형 전자종이 필름은 3가지 컬러를 표현할 수 있는 컬러 전자잉크를 주입하여 단일 컬러를 표현하며, 3가지 컬러를 조합하여 다른 3가지의 컬러를 표현하는 것이 가능하며 최대 6가지 컬러를 단일 컬러로 표현하는 것이 가능하다. 따라서 백색입자, 흑색입자, 적색유체를 혼합한 컬러 전자잉크를 다수전극형 전자종이 패널에 주입하여 필름을 제작하고 컬러를 표현하였으며, 이를 수치상으로 확인하기 위해 색좌표를 측정하였

다. 색좌표 측정결과 백색, 흑색, 그리고 적색의 단일 컬러와 이를 조합하여 표현한 reddish orange, yellowish pink, reddish purple을 표현하는 것을 확인하였다. 이로써 컬러 전자잉크를 주입한 다수전극형 전자종이 필름을 이용한 컬러 표현은 최대 6가지 컬러를 표현할 수 있음을 확인하였다. 향후 다른 컬러의 입자와 유체를 혼합한 컬러 전자잉크를 제작하여 다른 컬러 조합이 가능한 다수전극형 전자종이 필름에 대한 연구를 진행할 예정이며, 다수전극형 전자종이 하부기판의 다수개의 전극을 이용하여 전자종이 필름의 투과도를 제어할 수 있는 새로운 구동방법에 대한 연구도 진행할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 2018년도 청운대학교 학술연구 조성비 및 한국연구재단(2017R1A2B1010310) 지원에 의하여 연구되었음.

### REFERENCES

- [1] D. J. Lee and Y. C. Kim, *J. Disp. Technol.*, **9**, 972 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.1109/JDT.2013.2273125>]
- [2] D. J. Lee, Y. M. Oh, S. W. Park, B. E. Park, and Y. C. Kim, *J. Disp. Technol.*, **8**, 361 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.1109/JDT.2012.2190135>]
- [3] R. Sakurai, S. G. Lee, W. K. Cho, B. G. Ryu, and M. B. Song, *IMID DIGEST*, **5**, 423 (2005).
- [4] C. W. Kim and Y. C. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **23**, 691 (2010). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2010.23.9.691>]
- [5] J. S. Kim and Y. C. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **24**, 669 (2011). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2011.24.8.669>]
- [6] I. H. Kim and Y. C. Kim, *J. Korean Acad.-Ind. Coop. Soc.*, **10**, 1175 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.6.1175>]
- [7] C. A. Kim, S. Y. Kang, G. H. Kim, S. D. Ahn, J. Oh, and K. S. Suh, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **499**, 282 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.1080/15421400802619578>]
- [8] S. I. Lee and Y. C. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **28**, 109 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2015.28.2.109>]
- [9] J. S. Kim and Y. C. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **25**, 48 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2012.25.1.48>]
- [10] D. J. Lee, B. E. Park, and Y. C. Kim, *J. Disp. Technol.*, **8**, 534 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.1109/JDT.2012.2199280>]
- [11] S. I. Lee, Y. C. Hong, and Y. C. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **29**, 231 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2016.29.4.231>]
- [12] S. I. Lee, Y. C. Hong, and Y. C. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **31**, 171 (2018). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2018.31.3.171>]
- [13] Y. K. Shin and Y. C. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **28**, 21 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2015.28.1.21>]
- [14] H. L. Kang, C. A. Kim, S. I. Lee, Y. K. Shin, Y. H. Lee, Y. C. Kim, and B. K. Ju, *J. Disp. Technol.*, **12**, 742 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.1109/JDT.2016.2524023>]