

토너입자형 디스플레이의 광학특성에 관한 연구

A study on Optical Characteristics of Charged Toner Particle Type Display

김백현^{1,a}, 박선우², 김영조¹

(Baek Hyun Kim^{1,a}, Sun-Woo Park², and Young-Cho Kim¹)

Abstract

We fabricated the charged particle type display using opposite-charged two toner particles. The particles were composed of polymer, colorant(TiO₂, carbon black) and external additives(nano-sized silica and so on). In fabrication process we controlled the putting layers of this toner particles on the inner panel. To get the effect of number of layers (1~3), we measured the threshold, driving and breakdown voltages, reflectivity, viewing angle, and color characteristics using RT-300 anisotropic scattering system. We ascertained that these voltages are increased with increasing of layers of particles. Cell gap between electrodes must be enlarged with increment of layers and the size of particles. The lumping phenomena of particles at near of the rib observed by optical system with same CIE values.

Key Words : Reflectivity, Charged toner particle, Electronic paper, Driving voltage, Viewing angle

1. 서론

현대 사회가 고도의 정보의 사회로 발전함에 따라 디스플레이 산업의 기술 개발이 증대하고 있다. 현재까지의 기술 개발 및 제품의 방향을 보면 고품격 이미지 구현 및 대면적화 경량화를 중심으로 기술 개발이 이루어지고 있다. 또한 저가격화 및 휴대성에 대한 관심을 받고 있으며 공정의 단순화 및 얇고 깨지지 않는 전자종이의 기술개발이 이루어지고 있다.

전자종이는 종이와 같이 읽고 쓰고 휴대가 간편한 반사형 정보기기로 인정되기 때문에 디지털 종이라고도 불린다. 즉 책받침 같이 생긴 '전자종이'는 구부러거나 말아서 가지고 다닐 수도 있으며 어디서든 전자문서를 읽을 수 있는 장점을 가진다. 현재 자체발광형 디스플레이 분야에서는 응답성과

색재현성 등의 측면에서 최고 수준의 기술을 개발하고 있는데 반하여 1분에 한번 또는 하루에 한번의 빈도로 이미지를 수정하여 표현하는 디스플레이로 종이를 대체할 전자종이의 시장이 주목을 받고 있다. 여러 전자종이의 형태 중 지금 현재 가장 많은 시제품과 활발한 연구가 진행되고 있는 마이크로 캡슐형 전자종이는 상업화에 가장 접근해 있으나 그러나 응답속도가 느리며, 능동형 구동 방식을 사용해야 하는 단점이 있다.

본 연구에서는 빠른 응답속도, 넓은 시야각, 높은 반사율, 수동형 구동방식을 사용할 수 있는 토너입자형 디스플레이의 제작을 통하여 입자의 특징, 입자의 주입층에 대한 구동 및 광특성 평가를 하여 입자가 패널에 미치는 영향과 전기 및 광학 특성을 평가하였다.

1. 청운대학교 전산·전자공학과

(충남 홍성군 홍성읍 남장리 산29)

2. 서울시립대학교 전기전자컴퓨터공학부

a. Corresponding Author : baekhyun.kim@gmail.com

접수일자 : 2008. 12. 3

1차 심사 : 2008. 12. 11

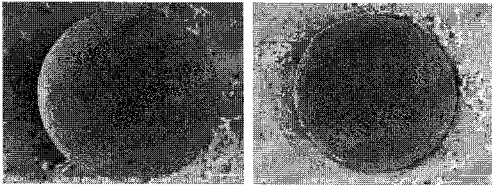
심사완료 : 2008. 12. 23

2. 실험

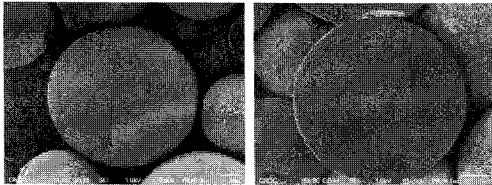
2.1 입자의 특징

폴리머에 실리카를 코팅하는 방법은 2가지가 있는데 폴리머와 같은 극성의 코팅을 하는 것과 반대로 다른 극성으로 코팅하는 것이다[4]. 즉, 양의

극성인 입자에 양의 극성인 실리카를 코팅하는 경우와 음의 극성인 입자에 음의 극성인 실리카를 코팅하는 방법이 있으며, 두 번째 코팅 방법은 양의 극성인 입자에 음의 극성인 실리카를 코팅거나, 음의 극성인 입자에 양의 극성인 실리카를 코팅하는 방법이 있다.



(a) silica-coated charged toner particle



(b) no-silica coated charged toner particle

그림 1. 입자의 원자현미경 사진.

Fig. 1. Atomic force microscope images of charged toner particle.

그림 1(a)는 토너 입자에 실리카가 코팅되어 있는 토너 입자를 보인 원자현미경 사진이며, (b)는 동일한 입자에 실리카가 코팅되어 있지 않는 입자를 보인 것이다. 본 논문에서는 토너입자를 사용하였으며, 그림 1의 (a)와 같이 실리카가 코팅되어 있는 경우이며 음의 극성을 가지고 있는 입자에 양의 극성을 가지고 있는 실리카를 코팅한 입자를 사용하였다.

입자의 특징을 알아보기 위해서 광학현미경을 사용하여 크기를 측정하였으며 입자의 특징은 표 1과 같다.

표 1. 입자의 사이즈.

Table 1. Size of particles.

Particle properties	yellow	black
Min (ø)	2.14 μm	1.67 μm
Max (ø)	9 μm	11.05 μm
Mean (ø)	5.02 μm	5.96 μm
Number (ø)	185	182

입자를 패널에 주입하기 전에 입자의 상태를 확인해야 하고 입자의 크기를 측정해야 한다. 입자의 크기와 주입층을 생각하여 셀 사이즈를 결정해야 한다.

2.2 입자의 주입층 선택

그림 2는 입자에 실리카가 코팅이 되어 있는 입자를 사용하여 입자의 주입층을 선택한 것이다. 광학현미경을 사용하여 초점을 달리하여 주입층을 확인하였다. 그림 2(a)는 패널의 가장 밑에 있는 입자층을 관찰한 것이며 그림 2(b)는 초점을 이동하여 두 번째 입자층을 관찰하였으며 그림 2(c)도 같은 방법으로 세 번째 입자층을 측정하였다.



(a) 1' st layer (b) 2' nd layer (c) 3' rd layer

그림 2. 입자의 주입층 사진.

Fig. 2. Microscope photograph of 1~3 layers of particles.

2.3 광학특성

그림 3은 광학 측정 장비에 대한 그림이다. RT-300S 이등방산란 특성평가 장비를 이용하여 반사율과 시야각, CIE를 측정하였다. 이 장비의 측정 가능 각도는 Incident(θ)는 0°에서 60°이며 Polar(θ)는 -85°에서 85°이며 Azimuth(θ)는 0°에서 360°이다. 이는 여러 각도에서 측정 가능하며, 패널의 전 영역을 측정하였다

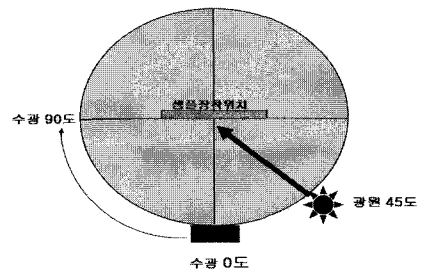


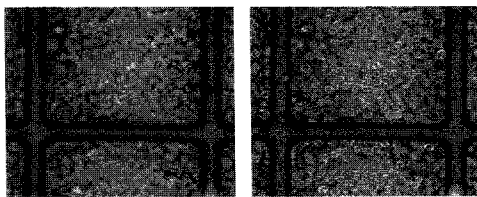
그림 3. 광학 측정 장비.

Fig. 3. Reflectivity measurement equipment.

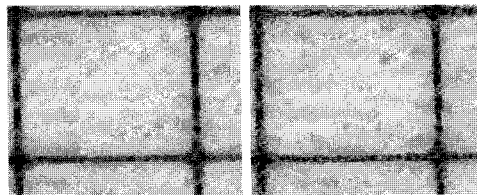
교정은 CIE(국제조명위원회)에서의 반사율의 측정 조건을 사용하였으며, Incident(θ) 수직조명 0° 와 Polar(θ) 45° 수광, Incident(θ) 45° 조명과 Polar(θ) 수직수광 0° , Incident(θ) 수직조명($\alpha \sim 0^\circ$) 과 Polar(θ), 확산 수광 그리고 확산조명, 수직 수광의 4가지의 방법 중 Incident(θ) 수직조명 45° 와 Polar(θ) 45° 수광을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

입자에 실리카가 코팅되어 있는 것과 없는 것의 차이는 입자의 유동성과 관계있고, 입자의 손상을 최소화할 수 있다. 또한 패널에 입자를 주입하는 과정에서 실리카가 코팅되어 있는 것은 쉽게 입자 주입이 되는 반면 실리카 코팅이 되어 있지 않은 입자는 입자의 뭉침이 심하여 입자의 주입에 있어 어려움이 있다. 실리카가 코팅되어 있는 입자는 주입층을 선택할 수 있으나 실리카가 코팅 되어 있지 않은 입자는 뭉침으로 인하여 입자의 주입층을 선택할 수 없다. 그림 4(a)는 입자에 실리카가 코팅되어 있는 입자를 사용하여 1~2 입자의 주입층을 선택하였다. 입자의 주입과정에서 쉽게 주입되며 주입층도 선택할 수 있었다. 입자가 주입되는 과정에서 뭉침이 없었다. 평균 입자의 사이즈가 $5 \mu\text{m}$ 이고 셀 사이즈가 $150 \times 150 \mu\text{m}^2$ 에 입자의 주입 수는 900개이다. 그러나 실리카가 코팅되어 있는



(a) silica-coated charged toner particle

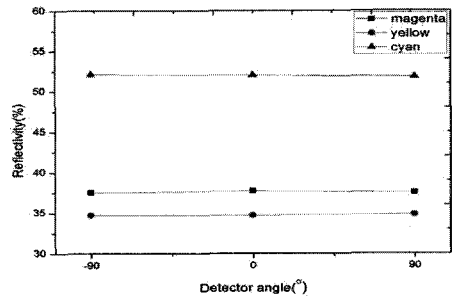


(b) no-silica coated charged toner particle

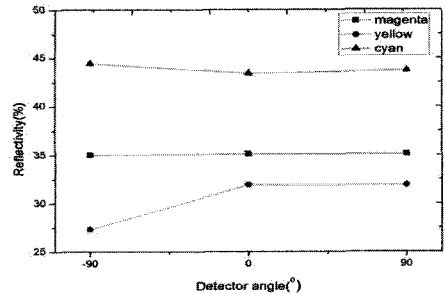
그림 4. 입자의 주입층 사진.

Fig. 4. Microscope photograph of 1~2 layers of particles.

입자에 유동성이 커서 셀 안의 입자의 수는 412개로 광학 현미경을 사용하여 확인하였다. 그림 4(b)는 입자에 실리카가 코팅이 되어 있지 않은 입자를 패널에 주입한 사진이다. 패널에 입자를 주입하는 과정에서 입자의 뭉침 현상이 있었으며 입자에 실리카가 코팅되어 있는 입자보다 많은 양의 입자를 사용하였다. 또한 여러 번의 입자 주입이 있었으며 입자의 손상이 많았다. 입자의 주입층 선택은 주입과정에서 뭉침 현상으로 선택할 수 없었다.



(a) Reflectivity of putted panel before driving



(b) Reflectivity of driving panel

그림 5. 측정위치에 따른 반사율

Fig. 5. Angular dependence of reflectivity.

그림 5는 패널의 구동 전과 구동 후의 반사율을 측정된 것이다. 그림 5(a)는 구동 전 패널의 반사율을 측정된 데이터이며, 측정된 각도는 Incident(θ)는 30° 에서 광을 조사하였으며 Polar(θ)는 0° 에 수광부를 고정을 하였으며, Azimuth(θ)의 각을 90° 와 0° 그리고 -90° 의 세 곳에서 측정하였다. 구동전의 패널에서는 패널의 전체의 반사율 값이 변화가 없었다. 이는 패널의 입자 주입이 고르게 분포된 것을 알 수 있다. 그림 5(b)은 구동 후의 반사율을 측정된 데이터이며 구동 전 패널과 같은

측정 방법을 사용하였다. 구동 전 패널과 비교하면 반사율 값이 다르다는 것을 확인하였다. 그 이유는 입자가 Azimuth(θ) -90° 부분에서 입자의 뭉침이 다른 부분보다 많았거나 구동 후 입자의 이동이 없는 경우이다. 그러나 패널을 살펴본 결과 입자의 양이 다른 곳 보다 상대적으로 많이 있었으며, 구동함에 있어 입자의 뭉침 현상으로 인하여 반사율 값이 다르게 된 것이다[2].

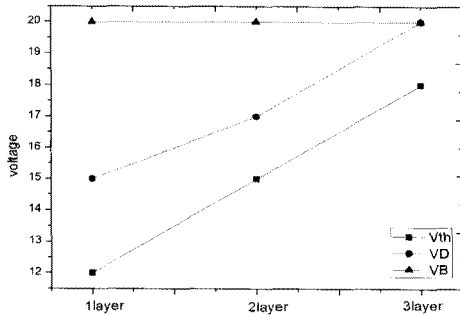


그림 6. 주입층에 따른 구동전압.
Fig. 6. Relationship between putting layer and driving voltages of charged toner particle.

그림 6은 입자의 주입층 선택에 따른 구동전압을 측정하는 것이다. 첫 층으로 주입된 패널과 두 번째 층으로 주입된 패널 그리고 세 번째 층으로 주입된 3개의 패널을 제작하여 구동하였다. 층에 따른 구동전압은 차이가 있었으나 항복 전압은 20 v 로써 그 이상의 전압을 인가하면 뭉침 현상이 심하여 입자의 이동이 관찰되지 않았다. 구동하기 전 패널의 상하판 반사율을 측정하고 구동후에 반사율을 측정하였다. 패널을 구동하였으며 구동 전에 aging을 하였으며 aging은 입자의 분포를 고르게 하며, 두 입자의 대전량이 증가되어 구동전압이 낮아지는 효과가 있다. 이때 반사율을 측정해야 하며 측정은 반사율 측정에서 Incident(θ)는 30° 에서 광을 조사하였으며, Polar(θ)는 0° 에서 수광부를 고정하여 패널을 측정하였다. 상하판을 합착하여 구동했을 때의 입자가 최초 이동을 했을 때의 최저 반사율이 나올 때의 전압을 문턱전압이며 최대 반사율이 나올 때의 전압을 구동전압이라고 하며 최대 반사율보다 전압을 더 인가하였을 때 반사율이 낮아지는 값이 측정될 때 항복전압이라고 정의하였다. 반사율 값을 측정하여 문턱전압, 구동전압, 항복전압을 찾았다.

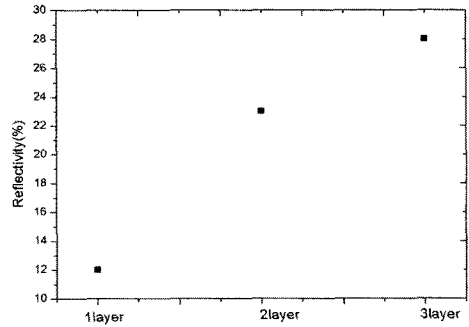


그림 7. 주입층에 따른 반사율.
Fig. 7. Relationship between putting layer and reflectivity of charged toner particle.

그림 7은 구동 후 주입층에 따른 반사율을 측정하는 것이다. 첫 번째 주입층을 가지고 있는 패널은 구동 후 입자의 뭉침이 심하여 하판의 입자가 보였으며, 낮은 반사율 값을 측정되었다. 반사율 값을 높이기 위해서 구동전압을 올려야 하는데 20 v 보다 높은 구동전압을 인가하면 입자의 이동이 없어 반사율을 측정할 수 없었다. 첫 번째 주입층보다 입자를 더 주입하여야만 높은 반사율 값을 얻을 수 있다.

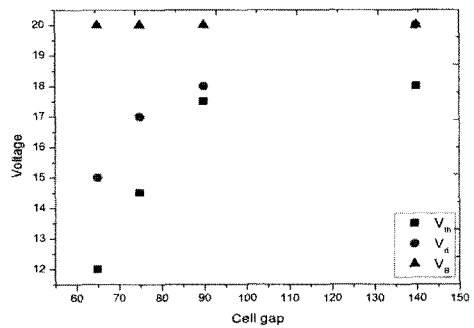


그림 8. Cell gap에 따른 구동전압.
Fig. 8. Relationship between cell gap and voltages of charged toner particle.

그림 8은 cell gap에 따른 구동 전압을 측정하는 것이다. 상하판 전극의 차이 (cell gap)을 두어 구동 전압을 측정하였으며, 입자의 주입층은 2층으로 주입을 하였다. cell gap이 높아짐에 따라 구동 전압도 높아졌다. 이는 전극과 전극 사이가 멀어짐에 따라 입자의 이동거리가 멀어져서 상대적으로 높

은 전압을 인가하여야 입자가 이동 한다는 것을 알 수 있었다.

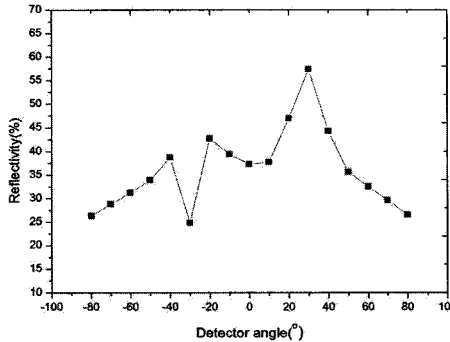


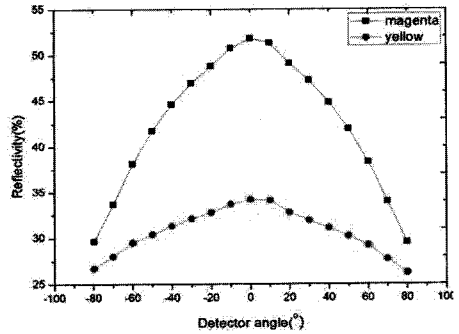
그림 9. 반사율 측정 방법.

Fig. 9. Angular dependence of reflectivity and the measurement set-up.

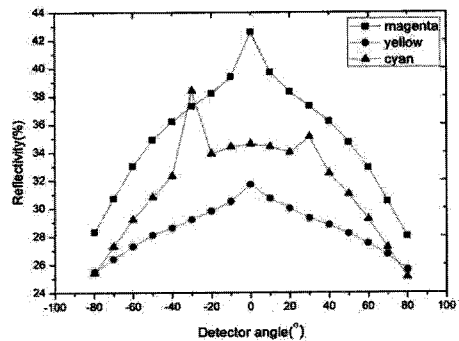
그림 9는 패널의 반사율을 측정하는 데이터이다. 본 실험에서는 Incident(θ)는 30° 에 고정 시키고 Polar(θ)는 -85° 에서 시작해서 85° 로 10도 간격으로 측정을 하였으며 이중 가장 높은 값을 반사율로 정의하였다. 핑크색의 토너입자를 사용하여 입자의 주입층이 3층 정도 주입하여 반사율을 측정하였으며, 60 %정도의 반사율 값을 측정하였다. 입자의 층이 많을수록 높은 반사율 값을 가짐을 알 수 있었다.

그림 10(a)는 구동전의 시야각이며, (b)는 구동 후의 시야각이다. 백색 표준판을 측정하여 반사율 값을 100 %로 교정을 하고 Incident(θ)는 30° 에 고정 시키고 Azimuth(θ)는 0° 에 고정시킨다. Polar(θ)는 -85° 에서 시작해서 85° 에서 측정을 마친다. 측정 각도는 10° 이다. 그림 10(a)에서 0° 에서 가장 높은 값 53 %, 33 %로 측정되었다. 구동 전에는 0° 를 기준으로 양쪽 반사율 값은 같았다. 그러나 구동 후 양쪽의 반사율의 값은 다르게 측정되었다. 어느 한쪽에 입자의 뭉침이 있어 반사율 값이 달라진 것이다. 또한 전자총에서 가장 중요한 넓은 시야각에서도 패널의 구동 전후에서도 전 영역에서 넓은 시야각을 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

그림 11은 cyan, yellow, magenta 토너 입자를 주입한 패널의 색좌표를 측정한 데이터이다. 색좌표 CIE 1931 chromaticity diagram에서 $x=0.191$, $y=0.2124$, CIE 1976 chromaticity diagram에서



(a) Viewing angle of puttied panel before driving



(b) Viewing angle of driving panel

그림 10. 각도 변화에 따른 반사율.

Fig. 10. Angular dependence of reflectivity.

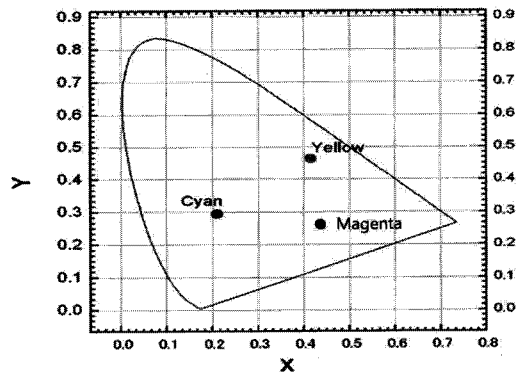
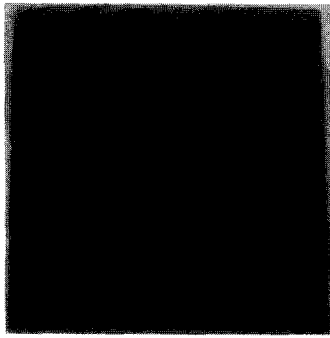


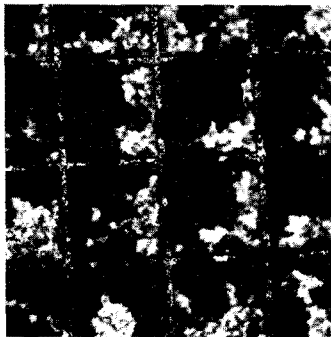
그림 11. 1931 색좌표.

Fig. 11. CIE 1931 chromaticity diagram.

$u'=0.1478$ $v'=0.37$ 에서 cyan을 측정하였고 479.6 nm 인 지점에서 형성되었다. 입자의 주입층에 관계없이 색좌표는 비슷한 값을 측정하였으며 구동에 따라 반사율 값이 달라지듯이 색좌표 값도 달라졌다[6].



(a) putting panel



(b) breakdown voltage

그림 12. 입자를 주입한 패널과 항복전압을 인가한 패널.

Fig. 12. Putting and breakdown voltage of panel.

그림 12(a)는 패널에 입자를 주입한 패널의 사진이다. (b)는 항복전압을 인가하였을 때 입자의 뭉침에 대한 사진이다. (a)와 같이 입자에 실리카가 코팅되어 있는 입자는 고르게 입자가 주입되며 입자의 주입층도 선택할 수 있었다. 색상도 육안으로 식별했을 때 선명하였으며, 선명한 색은 최고의 반사율 값을 가진다. 반면에 (b)에서와 같이 항복전압을 패널에 인가하였을 경우 입자의 뭉침이 심하였으며, 이 두 입자를 분리하기 위해서는 더 높은 전압을 인가하여야 한다. 그러나 더 높은 전압을 인가하더라도 입자는 구동하다 짧은 시간 내에 뭉치며 더 이상의 입자의 이동은 없다.

4. 결론

본 논문에서는 입자에 실리카가 코팅되어 있는 입자를 사용하여 입자의 주입층을 선택하여 구동

및 광학특성을 분석하였다. 입자에 실리카가 코팅되어 있는 입자는 유동성이 커서 입자의 주입층을 선택이 가능하였으며, 1~3층의 주입층을 선택하여 광학특성을 분석하였다. 또한 cell gap이 커짐에 따라 구동전압이 높았으며 반사율 값을 찾을 수 있었다. 입자의 주입층에 상관없이 색좌표는 비슷한 값을 형성하였으며, 구동전압보다 높은 전압을 인가하였을 경우 입자의 뭉침 현상이 발생하여 반사율과 시야각에 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 예측할 수 있는 바와 같이 입자의 구동후 입자의 뭉침 현상이 광학특성에서 관찰되었다.

감사의 글

본 연구는 2008년 소재원천기술개발사업(과제번호 M20070100131)지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Y. Masuda, Y. Sakurai, N. Nihei, and R. Hattori, "Novel Type of Multi-stable Reflective Display Using Electric Powder", Proc. of IDW Symposium, p. 821, 2005.
- [2] R. Hattori and S. Yamada, "Ultra thin a flexible paper-like display using QR-L technology", SID 04 Digest, Vol. 35, No. 1, p. 136, 2004
- [3] R. Hattori and S. Yamada, "Novel type of bistable reflective display using quick response liquid powder", SID 03 Digest, Vol. 34, No. 2, p. 846, 2003.
- [4] S. H. Kwon, S. G. Lee, W. K. Cho, B. G. Ryu, and M. B. Song, "Reflective Paper-like Display using Oppsite-charged Two Particles", The 6th IMD'05 DIGEST, p. 423, 2005.
- [5] 김백현, 김성운, 황인성, 김철주, 김영조, "대전입자형 디스플레이의 전기 및 광학특성 분석", 한국전기전자재료학회 2007춘계학술대회 논문집, p. 66, 2007.
- [6] T. Yamamoto, D. Takahashi, S. Nakamura, and T. Kitamura, "Color Toner Display Basedf on Control of Particle Movement", Asia Display/IDW05, p. 899, 2005.
- [7] B. Gady, D. J. Quesnel, D. S. Rimai, S. Leone,

and P. Alexandrovich, "Effects of silica additive concentration on toner adhesion, cohesion, transfer, and image quality", J. Imaging Sci. Technol, Vol. 43, No. 3, p. 288, 1999.

- [8] 김백현, 김영조, "대전입자형 디스플레이의 충전 Layer 제어와 광학특성 평가" 한국전기전자재료학회, 2008춘계학술대회논문집, p. 85, 2008.
- [9] R. Sakurai, S. Ohno, S. Kita, Y. Masuda, and R. Hattori, "Color and flexible electronic paper display using QR-LPDTM technology", SID Symposium Digest, p. 1922, 2006.
- [10] 김인호, 이동진, 김영조, "대전입자형 디스플레이의 셀 내부의 파라미터 및 전압특성에 관한 연구", 한국전기전자재료학회 2008춘계학술대회논문집, p. 89, 2008.