

CNT 전극을 적용한 플렉시블 전자종이 디스플레이의 내구성 및 구동특성

김영조
청운대학교 전자공학과 교수

Durability and Driving Characteristics of Flexible Electronic Paper Display Using CNT Electrode

Young-Cho Kim
Professor, Dept. of Electric Engineering, Chungwoon University

요약 ITO와 CNT를 적용한 전극을 코팅하여 제작한 대전입자형 전자종이 디스플레이 패널을 제작하여 내구성 및 전기광학적 특성을 비교한다. ITO 전극의 면저항은 10(ohm/sq.)이고 CNT 전극의 면저항은 300, 600, 1000(ohm/sq.)이며 내구성 측정을 위하여 물리적 충격 및 유연성 측정을 진행한다. ITO 전극의 경우 40회의 충격과 10mm의 곡률 반지름에서부터 변화가 시작되나 CNT 전극에서는 변화가 측정되지 않는다. 입자 이동, 반사율 및 응답 시간 측정에 필요한 구동 전압, 전계 등 전기광학 측정결과 CNT 전극은 ITO 전극과 유사한 결과를 얻었다.

주제어 : 전자종이, ITO, 탄소나노튜브, 하전입자, 응답시간, 유연기판

Abstract Two types of charged particle-type electronic paper display panels with electrodes using ITO and CNT are fabricated to compare durability and electro-optical characteristics. The sheet resistance of the ITO electrode is 10 (ohm/sq.), and the sheet resistance of the CNT electrode is 300, 600, 1000 (ohm/sq.), and durability is carried out by impact and flexibility measurements. Variation in case of the ITO electrode begins at shocks of 40 times and curvature radius of 10 mm, and no change is observed in the CNT electrode. The driving voltage, electric field required for particle movement, reflectivity, and response time measurements show similar results for all ITO and CNT electrodes.

Key Words : Electronic Paper, ITO, CNT, Charged particle, Response time, Flexible substrate

1. 서론

2000년대 초반 많은 종류의 전자종이들이 개발되고 일부 구동방법은 전자책 등의 시장진입이 이루어진 이후 꾸준하게 시장이 확대시켜 왔으며 최근 ESL (Electronic Shelf Label) 등에서는 성공적인 시장확대가 확인되고 있다[1]. 그러나 이러한 긍정적인 환경에도 불구하고 더욱 다양한 분야에 전자종이가 활용되기

위해서는 투명하고 유연성을 가진 패널에 대한 신뢰성 요구가 제기되어 왔으며 많은 노력이 이루어져왔으나, 가장 많이 적용되고 있는 ITO(Indium-Tin Oxide) 전극의 실제 적용은 여전히 많은 문제점을 내포하고 있으며 이로 인하여 응용분야의 확대는 제한되고 있다[1,2].

우수한 전도도와 투과도로 인하여 평판 디스플레이에서 투명전극으로 주로 사용되는 ITO 전극은 전극과 플라스틱 기판 사이의 열팽창계수 차이로 인하여 공정

*This research was supported by Academic Research Foundation of Chungwoon University in 2021

Corresponding Author : Youngcho Kim(yckim@chungwoon.ac.kr)

Received November 22, 2021

Revised December 15, 2021

Accepted February 20, 2022

Published February 28, 2022

및 구동에서 기판의 변형을 불러오며, 플렉시블 패널이 휘어질 때 발생하는 기판의 휨과 기계적인 충격 등에 의한 내구성에 단점을 가지고 있어서 전극파괴 또는 저항의 급격한 증가를 보이고 있어 플렉시블 기판에 대한 적용이 아직 미진한 상태이다[2].

이에 반하여 전도성 고분자 등 ITO 전극 대체연구가 활발하게 이루어지고 있으며[3-5] 그 중 하나인 CNT(Carbon Nanotubes)전극은 뛰어난 기판과의 접착력과 강한 물리적 충격에도 전도성과 안정성이 유지되는 장점으로 인하여 투명전극의 대안으로 주목받고 있다. 그러나 이와 같은 우수한 기계적인 내구성에 비하여 ITO전극에 비하여 면저항이 높기 때문에 특히 전류구동을 하는 소자에 있어서 소비전력이 상대적으로 큰 단점이 있다[6,7].

전자종이 디스플레이의 구동방법으로 본 연구에서 다루고자 하는 대전입자형 디스플레이(Charged Particle-type Display)는 격벽으로 둘러싸인 셀 내부에 (+) 및 (-)로 대전된 하전입자를 채운 후 상하부에 위치한 투명전극에 전계를 인가하여 상부 패널의 표면에 이미지를 표현하는 방법이다. 전자종이에서 플렉시블 패널 적용이 용이한 전자종이의 여러 구동방법 중에서 상대적으로 전류량이 매우 적고 전압구동을 하는 일반적인 반사형 표시소자이다[8]. 본 연구에서는 대전입자형 전자종이 디스플레이 기술과 CNT 전극재료를 융합하여, 기계적 내구성 및 구동특성을 분석하여 CNT 전극이 플렉시블 패널의 투명전극으로 적용될 수 있음을 보이고자 한다.

2. 재료 및 실험방법

2.1 ITO 및 CNT전극의 내구성 측정

CNT전극과 ITO전극의 기계적인 내구성을 측정하기 위해 CVD법으로 형성한 CNT 전극(투과율 90%)과 스퍼터로 증착한 1500Å 두께의 ITO전극(투과율 92%)이 코팅된 Film기판을 0~175°까지 반복적으로 접는 Cycling folding test를 진행하는 과정에서 변화되는 전극의 저항변화를 측정하였으며 그 과정을 그림 1에 모식도로 보였다. 그림에서 축의 지름을 변형하기 위하여 4mm, 10mm, 15mm의 곡률반지름을 가진 실린더를 사용하여 코팅된 전극의 저항을 측정하여 저항의 변화를 측정하였다.

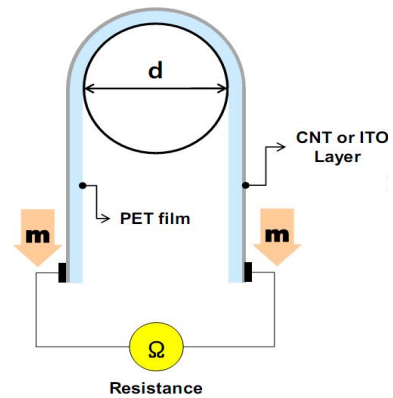


Fig. 1. Bending test of ITO/CNT electrodes

공기중에서 운동하는 대전입자는 일정한 이미지를 표현하기 위해 주어진 전계에 의해 상부 기판 혹은 하부 기판의 표면에 코팅된 전극을 향하여 전계에 비례하는 운동에너지로 반대편 전극으로 운동을 하기 때문에 전극은 이미지가 변경될 때마다 충격을 받게 될 뿐 아니라 외부충격에 의해서도 충분히 견딜 수 있어야 하기 때문에 충격실험을 진행하였으며 그 모식도를 그림 2에 보였다. 그림에서 보는 바와 같이 전극에 직접적인 충격에 의한 저항변화를 관찰하였다. 본 실험은 대전입자에 의한 내부 혹은 외부충격을 가정하여 500g의 질량을 가진 금속추를 50cm에서 자유낙하하는 실험을 100회 이내에서 진행하였으며 하부에 위치한 샘플은 ITO 및 CNT가 코팅된 기판으로 실험 후 저항을 측정하였다.

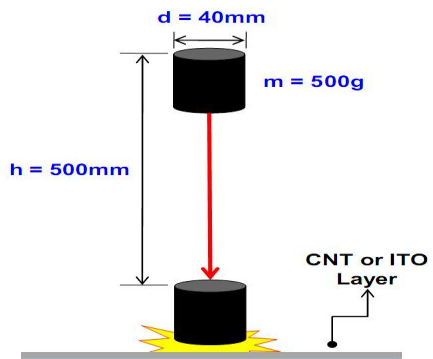


Fig. 2. Impact test of ITO/CNT electrodes

2.2 Panel 제작 및 구동

Fig. 3은 대전입자형 전자종이 제조공정을 보인 것으로 ITO 및 CNT의 전기광학적 특성을 비교하기 위하여 동일한 조건으로 전자종이 디스플레이 패널을 제

작하였다. 그림에서 보인 바와 같이 대전입자, 플라스틱 기판, 공정조건 등은 모두 동일하며 전극만 ITO 및 CNT로 적용하였다. 대전입자는 백색 및 흑색 입자를 사용하였으며 백색 입자는 $-2.1\mu\text{C/g}$, 흑색 입자는 $+2.3\mu\text{C/g}$ 입자를 사용하였으며 입자의 직경은 약 $10\mu\text{m}$ 이며, 셀 사이즈는 $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ 이며 격벽높이는 상판 및 하판에 따로 형성하였으며 그 높이는 $30\mu\text{m}$ 이며 폭은 $10\mu\text{m}$ 로 제조하였다. 전극간의 간격(cell gap)은 상부 및 하부전극간의 거리이기 때문에 스페이서(spacer)를 이용하여 $60\mu\text{m}$, $100\mu\text{m}$, $140\mu\text{m}$ 로 변화하였다. 전자종이 기판은 ITO 또는 CNT를 코팅한 플라스틱 기판을 사용하였다.

Fig. 4는 본 연구에서 패널 제작 후 반사율 및 응답 시간을 측정하기 위한 측정시스템을 보인 것이다. 그림에서 패널에 전계를 인가할 수 있는 파형발생기와 패널의 흑색레벨과 백색레벨의 변화에 따른 반사광을 수광하는 적분구가 있으며 적분구 내부에 설치된 광원과 수광된 반사광을 전기신호로 변환하는 포토다이오드를 구성하였다.

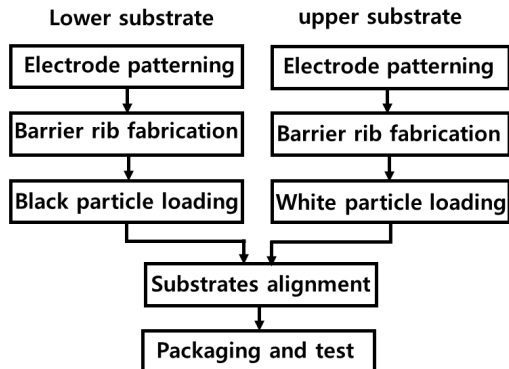


Fig. 3. Fabrication process of electronic paper display having ITO/CNT electrodes

본 연구를 위한 반사율은 시야각, 스펙트럼미터, 그리고 반사율을 실시간으로 동시에 측정할 수 있도록 설계된 RT-200을 이용하여 측정하였다. 또한 포토다이오드로부터 출력신호를 분석하는데 충분한 신호를 제공하지 않으므로 증폭기를 통해 분석 가능한 수준으로 출력신호를 증폭한 후 오실로스코프에서 출력신호를 표시하도록 시스템을 구성하였다. 기술적으로 이들 측정데이터는 정확한 광신호를 검출해야 하는 문제가 발생하는데 이를 동기화기술로 해결하였다.

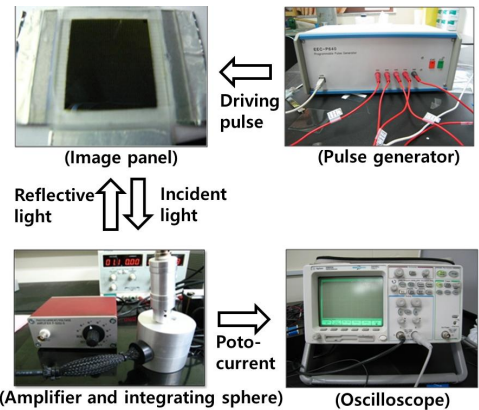


Fig. 4. Measurement system for reflectivity and response time

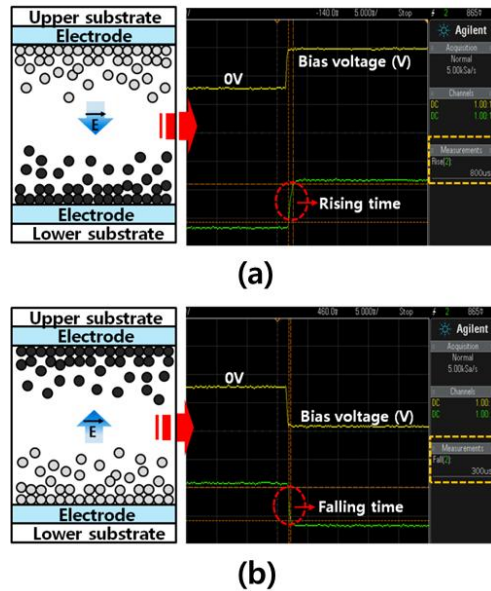


Fig. 5. Response time of charged particles.

- (a) Rising time by the movement of white particles.
- (b) Falling time by the movement of black particles.

Fig. 4에서 보인 바와 같이 전기광학적 특성을 평가하기 위한 측정시스템으로부터 응답시간 측정을 보이면 Fig. 5와 같다. 그림에서 상부 및 하부기판의 표면에 코팅된 전극(ITO/CNT)에 인가된 전계(셀 내부에 표시된 아래방향 화살표 방향)에 의해 양의 전하를 띤 흑색 입자는 하부로 이동하게 되고, 반대로 음의 전하를 띤 백색입자는 상부전극으로 이동하게 되어 상부표면에 백색 이미지를 보이게 된다[7,8]. 이때 백색 및 흑색입자의 이동속도를 Fig. 4에 보인 측정시스템으로부터 측정

할 수 있으며 Fig. 5에 그 일례를 보였다. Fig. 5 (a)는 백색입자가 하부로부터 상부로 이동하는데 걸리는 시간을 보인 것으로 상승시간으로 정의되며, 반대로 (b)는 하강시간이 된다. 오실로스코우프로부터 인가된 펄스와 상승 및 하강시간을 보인 전기신호를 확인할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전극의 물리적 충격실험 결과

Fig. 1에 보인 바와 같이 패널을 구부릴 때 곡률반지름에 따른 저항변화를 확인한 실험을 진행하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 보였다. 그림에서 보는 바와 같이 bending test에서와 마찬가지로 CNT 전극은 저항변화가 거의 없는 반면에 ITO 전극은 15mm 곡률반지름의 경우는 양호하나 10mm에서는 변형이 시작되어 4mm 곡률반지름에서는 심각하게 변형이 발생함을 확인하였다. 가혹조건에서의 굴곡가능을 필요로 하는 소자를 고려하면 CNT 전극이 ITO 전극에 비해 상대적으로 유리함을 확인할 수 있다.

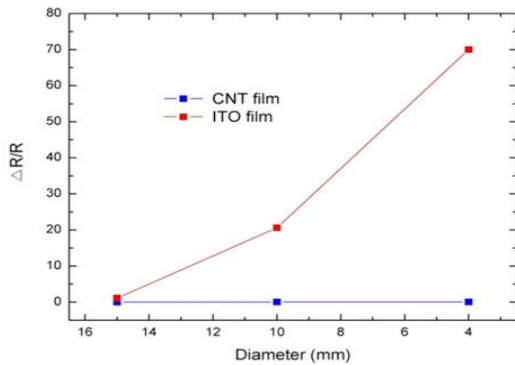


Fig. 6. Comparison of resistance variation by folding angle test.

전극에 직접적으로 가하는 물리적인 충격시험에서도 Fig. 7의 그래프에서 보는 바와 같이 ITO전극은 가해지는 충격이 40회 정도 반복되었을 때 저항이 급격히 변화하기 시작하였으나 CNT전극의 저항변화는 거의 없는 것을 확인하였다. 대전입자를 사용하는 전자종이의 경우는 이러한 충격에 노출될 뿐 아니라 전자종이의 적용분야를 고려할 경우 외부충격에 CNT가 ITO에 비해 우수함을 확인하였다.

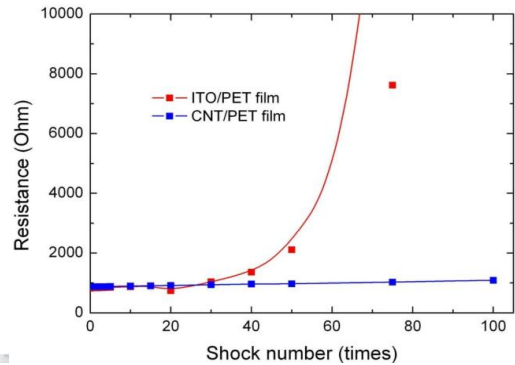


Fig. 7. Comparison of resistance variation by physical impact test.

3.2 패널제작

Fig. 3에 의해 제작한 소자 구동을 위하여 ITO전극 또는 CNT전극이 코팅된 플라스틱 기판에 동일한 조건의 음전하를 띠는 백색 대전입자와 양전하를 띠는 흑색 대전입자들을 충전하여 소자를 제작하였으며 패널을 Fig. 8에 보였다. 제작된 소자의 면저항, 전극간격 (cell gap), 셀 사이즈, 충전비율에 따라 변화되는 대전입자의 운동특성, 구동전압, 응답시간 등을 관찰하였다.

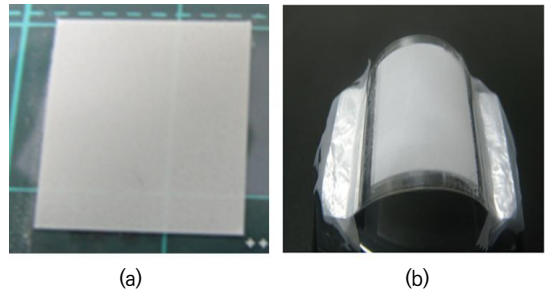


Fig. 8. Image panel (a) and banded panel (b) fabricated with charged particles on ITO/CNT electrodes.

3.3 셀 사이즈 및 면저항에 따른 구동특성

면저항이 10(ohm/sq.)인 ITO전극을 코팅한 유리기판과 면저항이 300(ohm/sq.), 600(ohm/sq.), 1000(ohm/sq.)인 CNT전극이 코팅된 필름 기판으로 소자를 제작하여 구동한 결과 ITO 전극의 경우 구동을 위한 전계는 0.167V/μm이었으며, CNT 전극의 경우 300 (ohm/sq.) 기판은 0.18V/μm, 600(ohm/sq.) 기판은 0.187V/μm, 그리고 1000(ohm/sq.) 기판은 0.2V/μm로 측정되었으며 이를 Table 1에 정리하였다. 실험결과 면저항이

1/30 혹은 그 이하인 경우라 할지라도 실제 구동을 위한 전계는 차이가 거의 없음을 알 수 있으며, CNT 전극의 면저항을 더 낮게 할 경우 인가전계는 더 낮출 수 있을 것으로 판단된다. 또한 동일한 조건을 적용하고 변수를 최대한 줄이기 위한 실험조건을 위해 전극간격(cell gap)을 150 μm , 충전비율 20%로 정하였기 때문에 전극간격을 줄일 경우 전계는 더욱 낮아질 수 있다[9,10].

Table 1에서 확인한 바와 같이 면저항이 입자구동을 위한 전계에 큰 영향을 미치지 않는 것은 대전입자를 이용한 전자종이의 경우 전류구동이 아닌 전압구동에 의한 것이기 때문에 짧은 배선을 가진 경우 전압강하가 크게 이루어지지 않으며 오히려 전극을 이루는 길이(length)와 폭(width)에 의해 영향을 받게 된다[11-13].

Table 1. Biased electric field for driving image panel by ITO/CNT electrode with various sheet resistances

#	electrode	sheet resistance(ohm/sq.)	E(V/ μm)
1	ITO	10	0.167
2	CNT	300	0.18
3	CNT	600	0.187
4	CNT	1000	0.2

3.4 전극간격 및 충전비율에 따른 구동특성

본 연구를 위해 제작한 이미지패널에 대한 전기광학적 특성을 Fig. 5에서 보인 측정시스템으로부터 얻었으며 그 결과를 Table 2에 보였다. Table 2는 본 연구를 위한 모든 시료 각각에 대하여 구동전압 및 응답시간을 측정하였으며, 전극간격, 충전비율전계 등은 패널조건 및 실험결과로부터 얻었다. 응답시간은 Fig. 6에서 보인 예와 같은 실험을 모든 시료에 적용하여 얻은 것이다.

면저항이 300(ohm/sq.)인 ITO 혹은 CNT 전극이 코팅된 Film 기판에 상부 및 하부기판의 격벽높이를 30 μm 로 형성했기 때문에 스페이서를 두지않은 시료, 40 μm 두께의 스페이서, 그리고 90 μm 두께의 스페이서를 둔 시료를 제작하였기 때문에 각 경우에 대한 전체 전극간격은 쉽게 얻어지며, 이에 따라 충전비율의 근사치도 구해진다[14,15]. 이러한 패널조건을 ITO 전극과 CNT 전극을 적용한 경우로 나누어 Table 2에 정리하였다. 이러한 각각의 패널조건에 대하여 구동전압, 전계, 하부전극에 위치한 백색입자가 상부전극으로 이동하는데 걸리는 시간으로 정의되는 상승시간, 반대로 하부전극에 위치한 흑색입자가 상부전극으로 이동하는데

걸리는 시간으로 정의되는 하강시간을 측정하였다.

대전입자가 운동하기 위해서는 두 전극 사이에 인가된 전계에 의해 생성된 전계의 힘이 전극과 대전입자와의 거리, 대전입자가 지닌 q/m , 전극과의 포텐셜에너지 등을 극복할 수 있어야 한다. 따라서 전극간격이 증가하면 구동전압이 이에 비례하여 증가해야 하지만, 동일한 양의 대전입자가 주입되어 상대적으로 충전비율이 낮아지게 되어 입자의 자유도가 증가하고 입자 간에 작용하는 힘이 감소하기 때문에 구동전압의 상승이 둔화된다. 따라서 전극간격의 증가와 충전비율의 감소가 함께 작용하여 입자구동에 필요한 전계가 결정된다 [14]. Table 2에서 보는 바와 같이 전극간격이 증가함에 따라 구동전압이 정비례하여 증가하지 않음을 확인할 수 있으며 이는 구동을 위한 전계의 세기에서도 확인되며 ITO 전극과 CNT 전극에서 동일한 경향을 보인다. 특히 ITO 전극의 면저항이 CNT 전극에 비해 300배 적은 것을 고려하면 구동전압의 측면에서 거의 동등함이 확인된다. 이는 대전입자형 전자종이는 전압 구동 소자이며 전류량이 극히 적어 면저항의 영향을 크게 받지 않기 때문이다[15].

상승시간 및 하강시간으로 표현되는 응답시간은 응답시간을 단축하는 요인인 구동전압과 증가하는 요인인 전극간격이 상호보완적으로 작용하여 나타나게 되는데 Table 2에 정리한 실험결과에서 확인할 수 있다. Table 2에서 보인 CNT 전극의 응답시간이 ITO에 비해 약간 빠른 것은 구동전압이 높기 때문이다. 따라서 구동전압 및 전계특성에서와 마찬가지로 ITO 및 CNT 전극 모두 거의 동일하게 변화함을 확인할 수 있다. 응답시간은 구동의 안정성을 확인하는 바람직한 구동특성으로 CNT 전극이 기존에 사용되어지고 있는 ITO 전극에 비해 동등한 특성을 가지고 있음을 확인하였다.

지금까지 살펴본 CNT 전극을 적용한 전자종이 패널과 기존에 사용하고 있는 ITO 전극으로 동일한 공정조건으로 제작한 패널에 대하여 전기광학적 특성을 측정 및 비교하였으며, 그 결과 CNT 전극을 적용한 패널이 ITO 전극을 적용한 패널에 비해 동등한 특성을 가짐을 확인하였다. 이는 향후 flexible panel에 적용할 수 있는 좋은 후보 중의 하나로 판단되며, ITO 전극대체를 위해서는 수명, 패키징 등의 추가실험 및 분석이 요구되며, 특히 전기영동법에 의해 제작된 패널에의 적용가능성에 대한 면밀한 연구가 필요하다.

Table 2. Driving voltage, rising and falling time of image panel according to ITO/CNT electrodes having different cell gap and filled rate

#	rib height (μm)	spacer height (μm)	cell gap (μm)	Filled rate (%)	V_D , ITO	Electric field (V/ μm), ITO	Rising time (ms), ITO	Falling time (ms), ITO
					V_D , CNT	Electric field (V/ μm), CNT	Rising time (ms), CNT	Falling time (ms), CNT
1	60	0	60	50.0	20	0.33	1.54	1.33
					22	0.37	1.51	1.30
2	60	40	100	33.3	22	0.22	1.71	1.68
					24	0.24	1.69	1.69
3	60	90	150	20.0	25	0.17	1.97	1.85
					27	0.18	1.96	1.85

4. 결론

플렉시블 패널은 얇고 가벼우며 휴대성이 뛰어나고 유연성을 가지기 때문에 적용분야가 넓다. 그러나 전극을 코팅한 플렉시블 패널을 소자에 실제로 적용하기 위해서는 안정적인 전기광학적 구동이 이루어져야 하며 특히 기계적으로 충분한 내구성을 갖추어야 한다.

CNT 전극의 기계적인 강도는 기존의 투명전극인 ITO 전극에 비해 우수한 내구성을 가짐을 물리적인 충격실험으로 확인하였으며, 플렉시블 디스플레이의 특성인 굴곡실험에서도 ITO 전극에 비해 우수한 면저항 변형특성을 가짐을 확인하였다. 동일한 조건으로 제작한 ITO/CNT 전극을 이용한 전기광학적 특성에서 CNT 전극을 적용한 패널이 ITO 전극을 적용한 패널에 비해 거의 유사한 구동전압, 구동전계, 응답특성을 가짐을 확인하였다. 이상의 실험을 통하여 CNT 전극으로 제작한 전자종이 디스플레이는 ITO 전극을 적용한 경우에 비해 우수하여 실제 소자로 적용이 가능함을 확인하였다.

본 연구로부터 전자종이를 구동하는 많은 방법 중의 하나인 대전입자형 전자종이 디스플레이에 CNT 전극을 코팅하여 제작한 투명패널을 적용한 결과 소자가 안정적으로 구동됨을 확인하였으며, 추가적으로 전기영동형 전자종이의 경우에도 가능함을 보이는 연구를 진행할 예정이다. 또한 본 연구는 CNT 전극의 내구성과 전자종이 디스플레이 기술에서 반드시 필요한 투과성 및 플렉시블 기술에 융합된 것으로, 향후 플렉시블 기술에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] J. Heikenfeld, P. Drzaic, J-S. Yeo & T. Koch. (2011). A Critical Review of the Present and Future Prospects for Electronic Paper. *Journal of the SID*, 19, 135-153.
DOI : 10.1889/jsid19.2.129
- [2] Neuchatel. (2016). *ITO Replacements: Carbon Nanotubes*. Germany: Springer.
DOI : 10.1007/978-3-319-14346-0_55
- [3] K. B. Kim. (2020). Rapid Thermal Annealing for Ag Layers on SiO₂ Coated Metal Foils. *Journal of Convergence for Information Technology*, 10(8), 137-143.
DOI : 10.22156/CS4SMB.2020.10.08.137
- [4] K. C. Kim. (2017). Synthesis of Titanium Dioxide Nanoparticles with a High Crystalline Characteristics. *Journal of Convergence for Information Technology*, 7(5), 53-58.
DOI : 10.22156/CS4SMB.2017.7.4.075
- [5] K. B. Kim, J. Lee & M. Kim. (2021). Effect of Perovskite Surface Treatment Using Oxygen Atmospheric Pressure Plasma. *Journal of Convergence for Information Technology*, 11(6), 146-153.
DOI : 10.22156/CS4SMB.2021.11.06.146
- [6] H. Cui, X. Zhang, D. Chen & J. Tang. (2019). Pt & Pd decorated CNT as a workable media for SOF₂ sensing. *Applied Surface Science*, 471, 335-341.
DOI : 10.1016/j.apsusc.2018.12.016
- [7] T. Z. Kosc. (2005) Particle Display Technologies Become E-Paper. *Optics & Photonics News*, 16, 18-23.
DOI : 10.1364/OPN.16.2.000018
- [8] R. Hattori, S. Yamada, Y. Masuda & N. Nihei. (2003). Novel Type of Bistable Reflective Display using Quick Response Liquid Powder. *SID 03 DIGEST*, 846-849.
DOI : 10.1889/1.1824242
- [9] G. R. Jo, K. Hoshino & T. Kitamura. (2002). Toner Display Based on Particle Movements. *Chem.*

Mater, 14, 664-669.

DOI : 10.1021/cm010664n

- [10] R. Hattori, Y. Masuda, N. Nihei, R. Sakurai & S. Yamada. (2005). Power consumption of a Quick-Response Powder Display (QR-LPD). *IMID 05 DIGEST*, 845-849.
- [11] D. J. Lee, I. S. Hwang & Y. C. Kim. (2008). Fabrication and Addressing Method of Charged Particle Type Display. *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, 21, 64-65.
DOI : 10.4313/JKEM.2012.25.1.48
- [12] J. B. Lee, G. N. Bae, J. H. Hwang & K. W. Lee. (2001). Charge Distribution of Spray Electrification of Corona Discharge. *KSMEE*, 25(1), 124-132.
DOI : 10.22634/KSME-B.2001.25.1.124
- [13] D. Lee, Y. Oh, S. Park, B. Park & Y. Kim. (2012) Improvement of Electric and Optical Properties of a Reflective Electronic Display by Particle-Moving Method. *Journal of Display Technology*, 8(6), 361-365.
DOI : 10.1109/JDT.2012.2190135
- [14] D. J. Lee & Y. C. Kim. (2012) Color Realization of Reflective Electronic Display Using Particle-Moving Method. *Journal of Display Technology*, 8(9), 534-538.
DOI : 10.1109/JDT.2012.2199280
- [15] H. J. An & Y. C. Kim. (2020). Analysis on Current and Optical Characteristics by Electronic Ink Loading Method in Charged Particles Type Display. *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.* 33(2), 123-129.
DOI : 10.4313/JKEM.2020.33.2.123

김 영 조(Young-Cho Kim)

[정회원]



- 1989년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학사)
- 1991년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 8월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학박사)

- 1995년 3월 ~ 현재: 청운대학교 전자공학과 교수
- 관심분야: 반도체소자, 디스플레이, 전자종이
- E-Mail: yckim@chungwoon.ac.kr