

## 퍼블릭 표시장치의 시장동향 및 ESL 소자의 역할

### Market Trends of Public Display System and Role of ESL Device

김영조\*

Young-Cho Kim\*

#### 〈Abstract〉

The traditional outdoor advertising market has been stagnant recently, but the digital advertising market has been steadily increasing, and the digital signage market has been expanding despite the recent corona pandemic. However, in terms of hardware, new displays are required due to excessive power consumption, lack of visibility in sunlight, and continuous operating expenses. Since the e-paper display does not require a light emitting device therein, it is advantageous to solve above problems. In addition, it has the advantage of consuming power only when converting an image due to bistability, so it is suitable as hardware that implements images rather than moving pictures. Currently, one of the most successful examples of commercializing e-paper displays is ESL devices. According to a recent market study, the market for large-sized panels larger than 10 inches has grown at an annual rate of 21.6%, and the market is expected to exceed 30% by 2026. It is judged that it will be relatively easy to apply the roll-to-roll technology, which is currently developing the technology applied to OLED, to the e-paper display. Therefore, mass production technology and market expansion for ESL panel enlargement are expected, and a new market is also expected to be formed at the same time. New markets will be traffic signs, public displays, billboards, façades, kiosks, digital signage, and so on.

*Keywords : Digital Signage, Display, ESL, Electronic Paper, Panel Size*

---

1\* 정회원, 청운대학교 전자공학과, 교수  
E-mail: yckim@chungwoon.ac.kr

1\* Professor, Department of Electronic Engineering, Chungwoon University

## 1. 서론

퍼블릭 표시장치의 대부분을 차지하는 옥외광고는 공공장소 또는 상업공간에 설치되어 미디어서비스 제공을 목적으로 하는 콘텐츠, 플랫폼, 네트워크, 그리고 하드웨어가 결합된 정보매체로 중앙관리 시스템에서 운영 및 관리되고 있으며, 사용자와 인터랙션을 갖춘 맞춤형 콘텐츠를 제공하는 형태로 진화하고 있다[1]. 특히 최근에는 디지털 사이니지가 크게 보급되면서 공공 및 상업분야의 수요가 크게 증가하는 추세와 더불어 하드웨어 기술의 급격한 발전으로 인하여 시장이 크게 확대될 것으로 예상된다[2]. 특히 2020년에 발표된 디지털 사이니지 하드웨어 글로벌 시장점유는 국내의 제조사가 세계시장의 70% 이상을 점유함으로써 시장장악력이 상대적으로 매우 우수한 것으로 이해된다[3].

이러한 비약적인 발전을 거듭하고 있는 디지털 사이니지의 부정적 측면도 고려할 수 있는데 가장 크게 대두되고 있는 문제가 과도한 에너지 소비문제이다. 공공장소 또는 상업공간에서 사용되고 있는 디지털 사이니지의 디스플레이 장치는 자발광소자 또는 내부에 발광장치(backlight light unit, BLU)를 포함하고 있기 때문에 과도한 전력소비를 유발하여 탄소저감 정책에 적합하지 않을 뿐 아니라, 운영비 및 수리비, 장치의 수명 등으로 고정비용이 과도한 단점이 있다.

정체상태로 머물고 있는 전통적인 방식의 광고물을 대체하는 디지털 사이니지 시장의 확대에 따라 이상의 문제점을 안고 있는 현재의 하드웨어를 포함하는 광고시장은 위에서 나열한 단점을 보완하면서 광고시장에서 요구하는 품질을 유지함과 동시에 햇볕에서도 시인성에 문제가 없는 새로운 디스플레이소자를 필요로 하고 있으며, 전자종이를 이용한 표시장치는 좋은 대안이 될 수 있다.

전자종이 디스플레이는 쌍안정성(bistability)를 가지고 있기 때문에 이미지가 바뀌지 않거나 동영상을 구동하지 않는 경우 전력소비를 하지 않는 장점을 가지며, 반사형 디스플레이이기 때문에 주간 의 매우 밝은 환경에서도 시인성이 뛰어나다[4]. 이러한 전자종이 디스플레이 소자를 적용하여 상품에 성공한 대표적인 예가 가격표시장치(electronic shelf label, ESL)이며 이는 앞서 디지털 사이니지의 단점을 보완할 수 있을 뿐 아니라 전자종이 디스플레이 상품화의 시작점이 될 수 있다. 전자종이 디스플레이는 기술진보와 제조비용을 고려할 때 급격한 진보를 이룰 가능성이 있으며 기술개발과 함께 앞서 단점으로 제시한 바와 같이 기존 디스플레이 장치를 적용한 디지털 사이니지를 비롯한 광고시장의 문제점을 해결할 수 있는 방안으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 옥외광고시장의 최근 변화와 함께 점유율이 빠르게 확대되고 있는 디지털 사이니지의 국내외 시장동향을 살펴보고, 기술현황, 대형화 가능성을 조사 및 분석하여, 문제점에 대한 대안으로 ESL 기술을 제안하고자 한다.

## 2. 퍼블릭 표시장치의 시장현황

### 2.1 국외시장 현황

미국의 옥외광고협회가 발표한 2019년 자국의 옥외광고 수익현황을 Fig. 1에 보였으며 이를 참고하면, 미국은 리먼 브라더스 사태(2008년) 이후 지속적으로 증가해왔으며, 그 성장률을 상세하게 살펴보면, 교통시설 18.6%, 야립광고 63.8%, 거리시설물 6.1%, 장소기반 11.5%, 순이며, 본 연구와 관련한 디지털 야립광고용 디스플레이 수를 비교하면 2018년도에 8,800개에서 2019년도에

9,600개로 증가하였다[3]. 또한 수익률을 보여주는 2020년 마그너 글로벌의 분석에 따르면 코로나 팬데믹에도 불구하고 디지털 광고가 20% 이상의 수익률을 보여주었으며, 전통적인 옥외광고는 -15.7%의 마이너스 수익률을 보여주어 디지털 광고시장의 확대를 확인할 수 있다[5].

한편 옥외광고가 가장 먼저 발달하기 시작한 영국의 광고시장 동향에 대한 분석보고서를 살펴보면 지난 10년 동안 지속적으로 성장해왔으며, 특히 코로나가 팬데믹으로 전환되어 본격적으로 유행하기 전인 2020년 1분기까지의 성장률은 6.9%로 보고되었다. 최근 디지털 옥외광고는 미국과 비슷하게 점유율이 크게 높아지고 있으며 이에 따른 점유율은 지속적으로 증가하고 있으며 Fig. 2에 이를 보였다[3].

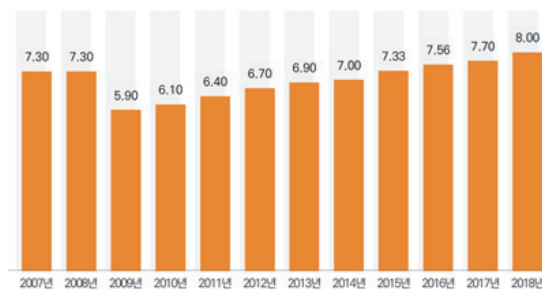


Fig. 1 U.S. Outdoor advertizing revenue status (billion \$)

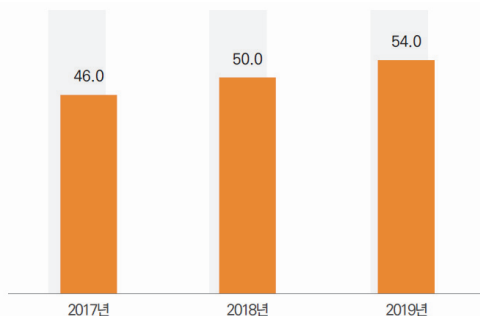


Fig. 2 Digital outdoor advertizing market share in the UK (%)

코로나 팬데믹이 발생하기 전까지 발표된 통계를 참고하면 미국과 영국 뿐 아니라 프랑스, 독일, 호주, 중국, 싱가포르 등의 주요국가에서 디지털 사 이니지를 비롯한 옥외광고가 차지하는 비율이 급격하게 확대되어 가는 추세를 확인할 수 있다[3].

## 2.2 국내시장 현황

국내 옥외광고시장은 코로나 팬데믹 위기로 인하여 일시적인 감소가 있었으나 2021년 들어서 14.9% 정도 회복이 진행된 것으로 보고되고 있다 [6]. 2019년도 국내옥외광고 시장은 3조 5000억 원을 상회하는 것으로 집계되었으며, 2020년 국내 옥외광고 시장은 코로나 팬데믹의 영향으로 27.2% 정도 하락한 것으로 집계되었으나 디지털 옥외광고는 코로나 팬데믹 상황에서도 성장을 유지하고 있는 것으로 보고된 바 있다[3]. 디지털 옥외광고는 주로 LED, LCD 등을 활용하고 있는데 기존의 전통적인 건물, 또는 교통시설 부착방식, 광고물 출력 등을 빠르게 대체하고 있는 것으로 판단되며, 국내에 설치된 기존 형식의 간판을 비롯한 옥외광고물은 70만개 정도로 보고되고 있다 [3]. 전체적인 시장규모는 폐쇄적인 구조로 인하여 정확하게 집계하는 것이 어려우나 전체 광고시장의 40% 정도로 추정하는 것이 일반적인 것으로 시장조사기관들은 인식하고 있다.

## 3. ESL 기술의 개요

ESL 소자는 가볍고, 저전력으로 구동이 되어야 하고 쌍안정성을 가진 디스플레이를 요구하고 있으며 현재의 기술로 이를 충족할 수 있는 형태는 전자종이 디스플레이가 유일하다. 전자종이는 구동방식에 따라 여러 가지가 있으나 현재는 전기영

동기술을 이용한 캡슐형 또는 격벽형이 가장 널리 적용되고 있다. 본 연구에서 다루고자 하는 ESL 소자를 이해하기 위해 동작원리를 간단히 살펴보고자 한다. Fig. 3은 캡슐형 전기영동방식을 보여주는 그림이다[7]. 그림에서 흰색입자와 검정색 입자는 각각 서로 다른 전하를 띠도록 제작되어 캡슐 내부에 위치하게 되며 캡슐은 다시 상하부에 투명전극이 증착되어 있는 기판에 위치하여 외부에 연결된 회로에 의해 최종적으로 흰색 및 검정색의 하전입자에 전계가 가해지게 되어 운동을 함으로서 표면에서 이미지를 볼 수 있게 된다.

그림에서 전하를 띠지 않는 투명한유체 내부에 위치한 하전입자는 투명전극에 근접하기 때문에 영상력에 의해 쌓안정성을 가지게 되어 외부에서 전원을 제거하여도 영상을 유지하게 된다[8-10]. 이와 같은 성질을 이용하기 때문에 전력은 이미지를 변경하는 경우에만 소비되어 ESL에 응용될 때는 작은 배터리에 의해 구동될 수 있다. 한편 기판은 플라스틱 필름에 형성되므로 플렉시블 가능 뿐아니라, 이후 논의할 롤투롤(roll-to-roll) 공정적용이 용이하여 대형 패널의 양산기술개발이 상대적으로 쉽게 구현될 수 있다. 현재의 컬러화 기술은 pixelation 방식으로 이루어지고 있으며, 이는 캡슐 내부에 Red, Green, Blue 입자를 위치하도록 하여 외부에서 3상의 전압을 인가하여 컬러를 구현하는 방식이다 [11]. 또 다른 연구로는 격벽형에서 3전극을 이용하여 컬러화를 이루어 단색 이미지 및 여러 종류의 컬러이미지를 구현하고 있다[12].

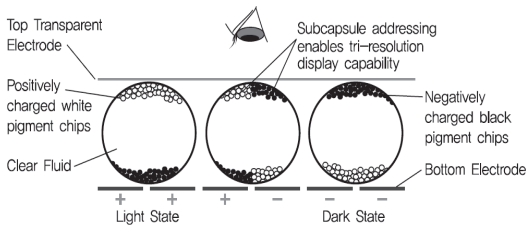


Fig. 3 Capsule-type electronic paper display

#### 4. ESL 시장현황

앞서 설명한 ESL 기술은 전자종이 디스플레이를 적용하면서 최근 급격한 시장확대가 이루어지고 있는 바 이에 대한 시장현황을 살펴보고자 한다. 통계분석기관인 Mordor Intelligence의 발표에 따르면 2020년 세계 ESL 시장은 7억 7910만 달러였으며, 2025년에는 20억 3680만 달러로 증가하여, 연평균 21.2%의 성장을 이룰 것으로 예측하고 있으며 이를 Fig. 4에 보였다[14]. ESL 기술은 전자종이 디스플레이 소자로 콘텐츠를 보이되, 중앙제어식 또는 수동식 통신네트워크를 이용하여 변동된 가격을 디스플레이를 통해 업데이트할 수 있도록 한 기술로 디지털 사이니지 또는 아날로그 광고시장에서 점유율이 점차 확대되고 적용분야가 늘어날 것으로 예상된다. 또한 이미 상용화 단계에 이른

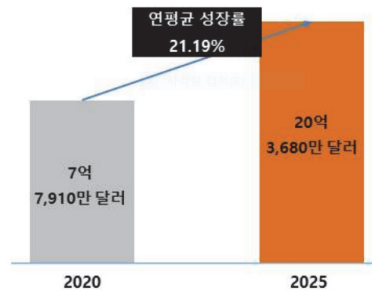


Fig. 4 Global ESL market size and forecast

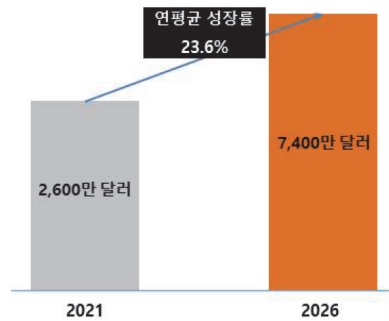


Fig. 5 Domestic ESL market size and forecast

것으로 판단되는 스마트 윈도우도 양방향 투명 디스플레이의 장점을 활용한 전자종이 디스플레이가 OLED와 함께 유력함은 알려져 있다[15,16].

특히 부착형 표시장치로 활용이 가능하여 광고 시장에 진출할 것으로 예상되는 컬러형 전자종이 및 10인치 디스플레이 패널시장은 연 20% 이상의 성장률로 성장할 것으로 MarketsandMarkets는 예측하고 있다[14]. 이 시장조사기관의 예측에 의하면, 우리나라의 ESL(전자가격표시기) 시장은 2021년 2,600만 달러에서 2026년에는 7,400만 달러에 이를 것으로 전망하고 있으며 연평균 성장률 23.6%로 예측하고 있으며, 이를 Fig. 5에 보였다.

### 5. ESL의 구성요소별 시장현황 및 전망

ESL은 소매점에서 제품의 가격을 동적으로 책정할 수 있는 자동화 솔루션으로 대형마트, 전문점의 소매업자에게 널리 퍼지고 있으며 최근 여러 분석기관으로부터 확인되고 있으며 그 현황을 앞서 확인하였다. 한편, ESL은 최근 양산 및 상품화가 이루어진 아직 시장진입단계이기 때문에 시장현황뿐만 아니라 기술적인 측면 혹은 하드웨어적인 측면에서 분석할 필요가 있다. 통신관련 부품 및 마이크로프로세서는 기존의 기술을 적용하기 때문

에 개선요인이 거의 없는 반면에 전자종이 디스플레이 패널에 대한 기술은 추가로 이루어져야 할 부분이다.

ESL의 구성요소로는 무선주파수(RF), 적외선(IR), 근거리통신(NFC) 등의 통신망과 전자종이 디스플레이 패널, 마이크로프로세서, 배터리 등으로 구성된다. 각 구성요소에 대한 시장전망을 위하여 MarketsandMarkets의 분석을 인용하면 표 1과 같으며, 이 표에서 보는 바와 같이 각 요소의 시장 확대가 연 20% 이상으로 보고되고 있다[14].

Table 1에서 보인 각 요소에서 이미지를 보여주는 ESL 디스플레이는 전자종이 디스플레이 패널로 이루어져있다. 전원은 기존 디스플레이와 달리 교류전원 대신 리튬이온 전지로 충분하기 때문에 새로운 기술개발은 필요하지 않다. 유사하게 트랜시버 및 마이크로프로세서도 기존기술을 적용하는 정도이기 때문에 핵심기술로 보기 어렵다. 따라서 ESL 기술은 이미지 패널인 전자종이 디스플레이 기술이 핵심기술이며 2003년 이후 개발이 지속적으로 이루어지고 있으며, 최근 자동차 표면에 변색기능을 선보인 바와 같이 가전제품으로 확대되는 추세이다[17]. 현재 전자종이 디스플레이를 구현하고 있는 형태는 전기영동기술을 응용한 것이며 최근 다수의 기업 및 연구소에서 양산기술이 개발되고 있다.

Table 1. Market outlook according to ESL components

Component	2021	2022	2023	2024	2025	2026	CAGR (2021-2026)
Displays	331	397	479	585	729	899	22.1%
Batteries	145	174	208	254	315	387	21.6%
Transceivers	131	153	180	215	261	314	19.0%
Microprocessors	165	193	227	271	330	397	19.2%
Others	53	59	65	74	84	94	12.2%
Total	826	976	1,161	1,398	1,720	2,092	20.4%

## 6. ESL 패널의 대형화

새로운 표시장치로 등장한 전자종이 디스플레이를 적용한 ESL 시장은 2017년부터 2020년까지 연평균 10.4%의 성장을 하였으며 특히 10인치 이상 패널은 21.6%의 성장을 보이고 있으며 Table 2에 보였다[13]. 동일한 조사기관의 분석에 의하면 2021년 2억 2910만 달러에서 2026년은 6억 3230만 달러로 연 22.5% 성장을 이룰 것으로 예측되고 있으며 이미지 화면은 대형화 경향을 뚜렷하게 보이고 있어서 7~10인치 전자종이 시장은 2021년 1억 1600만 달러에서 2026년 3억 4500만 달러로 확대될 전망으로 분석하였으며 10인치 이상 전자종이 시장은 2021년 3300만 달러에서 2026년 9400만 달러로 확대되어 연평균 23.3%의 성장을 이룰 것으로 분석하였다. 이와 같은 경향은 ESL이 단순한 가격표시장치의 기능으로부터 적용분야를 확대할 수 있음을 보여주는 것으로 판단된다.

기술적인 부분을 살펴보면, 전자종이 디스플레이의 제조공정에서 롤투롤 공정의 양산적용이 가능하게 되어 대형화 수요에 충분히 대응할 수준이 되었으며, 구동전압 및 쌍안정성이 크게 향상되어 전력소비는 리튬이온 전지로 충분히 구동이 가능하다. 롤투롤 공정은 제조공정을 마친 상부 및 하부기판을 패키징하는 공정으로 장비의 크기에 따

라 패널 사이즈는 대형화 수요에 충분히 대응할 수 있다.

Fig. 6은 롤투롤 장비의 개념도를 보인 것으로 마이크로컵 방식의 전자종이 디스플레이 패널을 제조의 예를 든 것이다[18]. 이 장치는 플라스틱 기판 상부에 형성하고자 하는 격벽재료를 도포한 후 Roller에 의해 마이크로컵 패터닝을 형성한 후 다시 전자잉크를 주입 및 sealing하여 전자종이 패널을 완성한다. 이와 같은 제조방법은 LCD 및 OLED 등의 자발광 디스플레이 소자에 비해 상대적으로 단순한 공정이며, 최근에는 다층구조를 가지며 유기물을 적층하는 증착기술을 요구하는 기술을 요구하는 OLED 소자도 이와 같은 롤투롤 방식으로 제조하는 기술이 개발되고 있다. 전자종이는 무기물을 사용하며 적층구조가 아닌 방식이기 때문에 대량생산을 용이하게 할 수 있음과 동시에 Roll의 폭을 확대하는 수단에 의해 패널 사

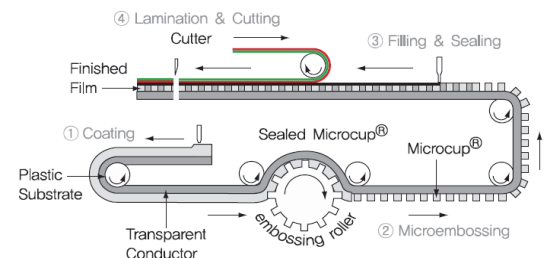


Fig. 6 Concept diagram of roll-to-roll fabrication process

Table 2. Market outlook according to panel size of ESL

Display Size	2017	2018	2019	2020	CAGR (2017-2020)
Less than 3 Inches	321	356	393	396	7.3%
3 to 7 Inches	134	157	182	194	13.3%
7 to 10 Inches	64	77	92	101	16.3%
More than 10 Inches	16	20	25	29	21.6%
Total	535	610	693	720	10.4%

이즈가 확대되기 때문에 기술적 장애는 상대적으로 충분히 적다고 판단된다. 최근 자동차의 외관에 변색기능 적용예를 참고하면 대형화는 이른 시기에 진행될 것으로 판단된다[16].

대형화 기술이 상대적으로 용이한 전자종이 디스플레이의 적용이 가능한 시점에 도달한 것으로 보이며 그 시발점 중의 하나가 ESL일 것으로 판단된다. 본 기술은 기술적 난이도보다는 시장수요로 판단되기 때문에 양산기술개발 및 시장진출이 이른 시기에 시작될 수 있으며, 동시에 새로운 시장형성도 예상된다. 새로운 시장은 교통표지판, 공공성을 가진 퍼블릭 표시장치, 파사드, 광고보드, 디지털 사이니지 등이 될 것이며 이에 대한 기술개발 및 시장형성에 대한 대응이 요구된다.

## 7. 결론

2016년 이후 전통적인 옥외 광고시장은 최근 정체되어 왔으나 디지털 옥외광고시장은 꾸준히 증가해왔다. 특히 최근 코로나 팬데믹으로 인하여 옥외광고시장이 전체적으로 위축되었음에도 불구하고 디지털 사이니지 시장은 오히려 활성화된 면이 있으며, 상당 부분은 디지털 사이니지로 대체될 것으로 예상된다. 제 4의 미디어로 불리는 디지털 사이니지는 기존 공공장소나 상업용 공간의 광고, 안내판을 벗어나 전시장, 병원, 약국, 자율자동차 등 다양한 공간으로 시장이 확대되고 있다.

그러나 현재 설치 및 운영되고 있는 옥외광고의 하드웨어는 대부분 자발광 디스플레이이거나 발광장치를 내부에 포함하고 있으며, 쌍안정성을 가지지 않기 때문에 동영상이나 사진 이미지를 표현하는 경우에도 비슷한 전력을 소비하고 있다. 따라서 햇볕이 쬐이는 주간에도 시인성이 확보되고 전력소비를 낮추어 탄소저감정책에도 위배

되지 않고 하드웨어 비용 및 운영비를 줄일 수 있는 새로운 디스플레이 장치에 대한 수요가 증가하고 있다. 이러한 요구에 적절한 디스플레이 장치가 전자종이 디스플레이로 판단되며, 최근 시장확보가 급격하게 이루어지고 있는 ESL이 좋은 예로 판단된다. 이에 본 연구에서는 옥외광고 시장을 중심으로 퍼블릭 표시장치의 시장현황을 살펴보고 특히 ESL의 기술 및 시장현황과 함께 대형화 가능성을 확인하였다.

ESL의 구성요소에 따른 시장추세 및 전망자료에 의하면 연평균 20%를 상회할 것으로 예상되며, 10인치 이상에 대한 수요도 20% 이상일 것으로 예상된다. 따라서 현재 시장이 형성된 3인치 이하의 단순 가격표시장치에서 벗어나 10인치 이상의 ESL 표시장치 수요가 예상된다. OLED에서도 활용하고자 기술개발이 되고 있는 롤투롤 기술을 전자종이 디스플레이의 대량생산에 적용하여 대형화를 이루는 것은 상대적으로 용이하여 기술적 어려움이 낮기 때문에 대형화의 수요에 대처가 가능한 기술이기 때문에 시장확대 및 새로운 시장이 예상된다.

## 감사의 글

본 연구는 2022년도 청운대학교 학술연구조성비의 지원을 받아 수행된 연구임.

## 참고문헌

- [1] 유승철, 민지원, 황혜영, “한국 디지털 사이니지 연구의 어제와 오늘,” 한국컨텐츠학회 논문지, vol. 16, no. 10, pp. 745-757, (2016).
- [2] 김창훈 방광석, “차세대 디지털 사이니지의

- 발전방향,” 산업클러스터학회 논문지, vol. 4, no. 1, pp. 51-61, (2016).
- [3] 한국옥외광고센터, “2020 옥외광고통계,” 한국 옥외광고센터 보고서.
- [4] 이주원, 김영조, “격벽형 전자종이의 하전입자 필터링 방법 및 구동조건에 따른 응답시간 및 반사율 분석,” 한국전기전자재료학회 논문지, vol. 33, no. 6, pp. 475-482, (2020).
- [5] MAGNA global, “MAGNA global advertising forecast,” (2020).
- [6] 한국옥외광고센터, “2021 옥외광고통계,” 한국 옥외광고센터 보고서.
- [7] Li, Luhai, “The microcapsule process & application in electronic paper,” J. function materials, vol. 35, no. 4, pp. 407-409, (2004).
- [8] 안형진, 김영조, “전기영동 디스플레이에서 전자잉크의 전류특성 및 평가,” 한국전기전자재료학회 논문지, vol. 33, no. 1, pp.31 - 36, (2019).
- [9] 송진석, 김영조, “싱글입자-마이크로캡슐형 전자종이의 셀갭 차이에 따른 구동특성 평가,” 한국전기전자재료학회 논문지, vol. 29, no. 8, pp.518 - 523, (2015).
- [10] 황인성, 김영조, “탄소나노튜브 전극을 이용한 플렉시블 반사형 디스플레이의 구동특성,” 한국전기전자재료학회, 제 25권, 제 6호, pp.451-455, (2012).
- [11] Dong-Jin Lee, Byung-Eun Park, and Young-Cho Kim, "Color Realization of Reflective Electronic Display using Particle-Moving Method," J. Display Technology (IEEE), vol. 8, No. 9, pp.534-538, (2012).
- [12] Dong-Jin Lee, Yoo-Mi Oh, Sun-Woo Park, Byung-Eun Park, and Young-Cho Kim, "Improvement of Electric and Optical Properties of a Reflective Electronic Display by Particle-Moving Method," J. Display Technology (IEEE), vol. 8, No. 6, pp.361-365, June (2012).
- [13] Mordor Intelligence, “Mordor Intelligence Report 2020,” (2020).
- [14] marketsandmarkets, "Electronic Shelf Label Market with COVID-19 Impact," Report of marketsandmarkets.
- [15] Dong-Jin Lee and Young-Cho Kim, "Stability of Particle Movement in Reflective Electronic Displays by Analysis of the Response Time," J. Display Technology (IEEE), vol. 9, No. 12, pp.972-976, (2013).
- [16] 이상일, 홍연찬, 김영조, “투명 디스플레이로서 활용가능한 다수전극형 전자종이 필름 제안,” vol. 32, no. 4, pp.295-300, (2019).
- [17] 윤재웅, 박승구, 문성철, “전기가변 고분자 소재를 이용한 응용소자,” 전자통신분석 논문지, vol. 34, No. 4, pp.108-116, (2019).
- [18] 정은, 김성진, 조성민, “롤투롤 공정을 통한 유기조명 및 디스플레이 생산기술 개발 현황,” 진공학회 논문지, vol. 4, no. 3, pp. 24-28, (2017).