

플렉시블 디스플레이 기술 및 개발동향

A Study on the Technology and Development of Flexible Display

전황수 (H.W. Chun)	융합신서비스연구팀 팀장
허필선 (P.S. Heo)	융합신서비스연구팀 연구원
유인규 (I.K. You)	플렉시블소자팀 팀장

목 차

-
- I . 서론
 - II . 기술구조
 - III . 시장전망
 - IV . 개발동향
 - V . 향후 전망 및 시사점

플렉시블 디스플레이는 종이처럼 얇고 유연한 기판을 통해 손상없이 휘거나, 구부리거나, 말 수 있는 차세대 디스플레이이다. 유리 대신 플라스틱 소재 · 필름 등을 기판으로 사용하는데, 롤 방식의 대량 인쇄기술의 상용화로 거대한 시장을 형성할 것으로 기대되는 미래 유망산업이다. 본 고에서는 시장전망 및 국내외 개발동향을 중심으로 살펴보고 정책적 시사점을 도출하고자 한다.

I. 서론

플렉시블 디스플레이(flexible display)는 평판 디스플레이(FPD) 단계를 넘어서는 차세대 기술로서, 종이처럼 얇고 유연한 기판을 통해 손상없이 휘거나, 구부리거나, 말 수 있는 디스플레이를 말한다. 이런 유연성으로 paper-like display 또는 digital paper로 부르기도 한다.

플렉시블 디스플레이는 언제 어디서나 정보를 접할 수 있는 유비쿼터스 컴퓨팅 시대에 대응하는 전략적 기반기술 산업이다. 유리 대신 플라스틱 소재·필름 등을 기판으로 사용하는 플렉시블 디스플레이는 생활용품, 모바일기기 등을 중심으로 수요가 먼저 발생하고, 롤 방식의 대량 인쇄 기술의 상용화와 더불어 거대한 시장을 형성할 것으로 기대되는 미래 유망 산업이다.

기술적, 산업적 장점으로 인해 시장 선점을 위한 플렉시블 디스플레이 업계의 기술 및 상품 개발 움직임이 빨라지고 있다. 스포츠용품·시계, 전자책 등의 소형 디스플레이를 중심으로 시장이 확대되고 있고, 모바일단말기, 문서뷰어, 전자페이퍼 등 고성능 플렉시블 디스플레이가 필요한 분야에서도 상용화가 급진전을 이루고 있다. 향후 10년 이내 일반 가정에서도 플렉시블 디스플레이가 보급될 것으로

보이나 지속적인 성능개선 및 원가절감 달성이 필요하다[1].

플렉시블 디스플레이는 향후 5년 이내에 구체적인 시장이 형성되고, 시장 규모 역시 폭발적으로 증가될 것으로 예측됨에 따라 이에 대응하기 위한 원천기술 및 지적재산권 등의 확보에 적극 노력해야 할 것이다. 현재 플렉시블 디스플레이의 기술 수준은 외국 업체에 비해 뒤떨어지지만 국제 표준이 아직 등장하지 않았으므로 국내 산학연의 연구개발 성과에 따라 전 세계 시장을 주도할 수 있는 여지가 충분하다.

본 고에서는 시장전망 및 국내외 개발동향을 중심으로 살펴보고 정책적 시사점을 도출하고자 한다[2].

II. 기술구조

요소기술로는 <표 1>에서 보듯이 패널, TFT 기술, 소자기술, 공정기술, 소재기술, 부품기술, E-Paper 등이 필요하다. 또 구현기술로는 디스플레이 패널을 형성해야 하는 유연한 기판, 패널 내부 픽셀의 전기적 신호를 제어하는 TFT가 구부림에 자유로워야 하며, 픽셀 전극 상부에 형성되어 가시광의 생성 혹은 제어를 담당하는 물질이 구부림에 자유로운 디스플레이 모드가 필요하다.

<표 1> 플렉시블 디스플레이 구현을 위한 요소기술

기술영역	요소기술
패널	Flexible Display, Advanced Flexible Display(E-Paper, Wearable Display, Foldable Display), System on Display
TFT 기술	저온박막증착기술, 거대결정화기술, 구동회로소자기술, 구동회로집적기술, TFT Transfer 기술, LTPS on Flexible Substrate, OTFT 구동회로 집적기술, Printable TFT & Printing 기술
소자기술	능동형 LCD 소자기술, 능동형 OLED 소자기술, 백색 OLED 기술, Top Emission 능동형 OLED 기술, System on Display 소자기술
공정기술	Roll-to-Roll Process, Flexible Substrate에서의 저온공정, Full Color 기술, Flexible Substrate에서의 IC 패키징 기술
소재기술	Flexible Substrate(thin glass, metal foil, plastic film) LCD: Spacer, Sealant, ACF, Color Filter OLED: OLED 신소재, 인광소재, 양극/음극 재료, 봉지재료 CCM Color Filter, Separator, Passivation 재료
부품기술	Color Filter on Flexible Substrate, Sheet Back Light Unit & in-cell Functional Films(LCD), Shadow Mask, Ink-Jet Head
E-Paper	E-link, Twist Ball 전기영동법, ZBD, BTN, 3층 호스트/게스트, 홀로그래픽, PDLC, 콜레스테릭 액정

<자료>: ETRI, 2007.

플렉시블 디스플레이를 구현하는 기술로는 <표 2>에서 보듯이 기존 평판 디스플레이의 유연성을 강조하는 전자 디스플레이 방식과 인쇄물과 같이 직경 0.1mm 이하의 잉크볼이나 캡슐을 이용하는 종이방식이 있다. 전자 디스플레이 방식의 형태로는 액정, LCD, 가동필름, 반사 필름반사형 등이 있고, 종이방식으로는 전기영동, 트위스트 볼, 기계식 반사형 표시, thermal rewritable 등이 있다.

플렉시블 디스플레이를 구현하기 위한 핵심 기술 분야로는 플렉시블 유리 및 플라스틱 기판, 다층박막을 이용한 차단층, 전도성 폴리머나 무기물의 전도층 성장, 새로운 광전물질 개발, 유기/무기/유·무기 복합형 스위칭 소자 개발 등이 존재한다. 플렉시블 능동구동형 스위칭 소자기술 및 패널기술은 디스플레이를 대형화, 저가격화, 고실감화 시킬 수 있는 핵심기술로서 다양한 응용이 가능하다[3].

Ⅲ. 시장전망

디스플레이 조사업체인 아이서플라이는 <표 3>에서 보듯이 플렉시블 디스플레이 시장이 2013년 28억 달러 규모로 2007년 8천만 달러에 비해 35배나 성장할 것으로 전망하고 있다. 플렉시블 디스플레이는 글로벌 하이테크 산업에서 앞으로 중요한 역할을 담당할 것으로 보이며, 특히 새로운 시장을 형성하고 있는 포터블 기기에서 수요가 증가할 것으로 예상된다. 또 폴리머비전의 e잉크를 이용한 전자종이 ‘레디우스’가 등장해 큰 관심을 얻고 있으며 이와 유사한 제품들도 잇따라 등장할 것이다[4].

플렉시블 디스플레이 시장은 ① E-Paper 기술 중심의 다양한 신규 애플리케이션 시장과 ② 기존에 존재하는 시장 등 2개의 큰 시장 영역에서 성장해 나갈 전망이다. E-Paper 기술 기반의 7인치급 플렉

<표 2> 플렉시블 디스플레이 기술방식에 따른 분류

구분	형태	명칭	주요 연구기관	
전자 디스플레이방식	LCD	네마틱 액정	샤프, 세이코엡슨, 마쓰시타, 소프트픽셀	
		3층 게스트/호스트액정	도시바, ASET	
		홀로그래픽 PDLC	ASET	
		지향성 반사형	ASET	
		콜레스테릭 액정	미놀타	
		ZBD	영국 ZBN	
			BTN	세이코엡슨
		OLED		일본동해대학, 대일본인쇄
		가동필름		파이오니아, 대일본인쇄, UDC, ETL, LG전자
		반사필름반사형 표시		도시바
종이방식	전기영동	마이크로캡슐형	캐나다 British Columbia 대학	
	트위스트 볼	In-Plane	e-Ink, TDK, 삼성전자	
	기계적반사형 표시	iMod	Iridium	
	Thermal Rewritable		오키정보시스템, 리코, 도시바, 미쓰비시제지	

<자료>: 전자정보센터, www.eic.re.kr

<표 3> 플렉시블 디스플레이 세계시장 전망

(단위: 백만 달러)

연도	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
시장규모	80	139	401	686	1368	2089	2772

<자료>: iSuppli, 2008. 6. 10.

시블 디스플레이는 기존의 TFT-LCD에 대비하여 화질과 색상 등 품질 면에서 경쟁적이지는 않지만 얇고, 가볍고, 전력소모가 극단적으로 적은 등의 이유로 E-Book이라는 형태의 신규 애플리케이션 영역에서 2008년부터 새로운 시장을 창출할 것으로 전망된다.

2010년부터는 LCD, OLED 기반의 10인치 이상 급의 대형 디스플레이 시장, 즉 기존의 노트북, TV, 모니터 등과 전혀 다른 디자인과 컨셉을 담은 신제품들이 개발되고 상품화 될 것으로 예상된다.

2011년부터는 3인치급 이하의 LCD와 OLED 기반의 플렉시블 디스플레이를 채용한 high-end의 모바일 폰이 등장하고, 2013년에는 4인치에서 9인치급의 OLED 기반의 모바일 폰 이외의 다양한 애플

리케이션에도 플렉시블 디스플레이가 채용될 전망이다.

IV. 개발동향

1. 국내

<표 4>에서 보듯이 국내에서는 삼성전자, 삼성SDI, LG디스플레이, LG전자, LG화학, 제일모직, 소프트픽셀, 아이컴퍼넌트 등의 기업 연구소를 비롯하여 KETI, ETRI, 경희대, 동아대, 한양대 등에서 플렉시블 LCD, OLED, E-Paper에 대한 연구를 진행하고 있다[5].

삼성전자는 플라스틱을 적용한 5인치급 이상의

<표 4> 국내의 플렉시블 디스플레이 개발동향

기관	개발동향
삼성전자	- 플라스틱 적용 5인치급 이상의 플렉시블 TFT LCD 등과 E-Paper 등을 개발 완료 - 모바일 디스플레이용 2.2인치 풀컬러 투과형 플라스틱 TFT-LCD 모듈과 5~6인치급 e-book용 전기영동 디스플레이를 개발중 - 2007년 10월 일본 FPD 전시회에서 14.3인치 컬러 플렉시블 디스플레이를 선보임
삼성SDI	- 2006년 5.6인치 플렉시블 LTPS-TFT AM-OLED를 제작하였고, 스테인리스 포일을 기반으로 사용한 OLED 기반의 4.1인치 플렉시블 디스플레이를 개발
LG 디스플레이	- 2005년 10.1인치, 2006년 14.1인치 E-Paper용 플렉시블 디스플레이를 개발하였고, 2007년 13.1인치 E-Paper용 컬러 플렉시블 디스플레이를 개발 - 2007년 8월 용액형 유기반도체를 사용한 패널로써 고해상도 풀 컬러 영상을 구현할 수 있는 LCD 패널을 개발 - 2008년 1월 기존 컬러 플렉시블 E-Paper에 비해 무려 4배 향상된 해상도를 구현하는 세계 최고 해상도 (1280×800) 14.3인치 컬러 플렉시블 E-Paper를 개발
ETRI	- 1999년부터 정보통신부 지원 하에 플렉시블 OLED의 핵심기반기술을 연구 - 2000년 1.8인치급 60×21 플렉시블 수동형 단분자 OLED와 고분자 OLED 시연 - 2003년 2인치급 128×64 플렉시블 PM-OLED를 시연 - 플라스틱 기판 상에서 컬러 전자잉크를 이용, 컬러필터를 사용하지 않는 다색 전자종이 개발 및 용액공정에 기반을 둔 roll-to-roll 프로세스에 대한 연구 진행
아이컴퍼넌트	- 2000년 창업 후 플렉시블 디스플레이에서 가장 기본이 되는 플라스틱 기판 개발 - BASF와 폴리에테르술폰(PES) 관련 전략적 파트너십 맺고 기판 개발에 주력
소프트픽셀	- 2006년 4월 세계 최초로 플렉시블 디스플레이 양산 라인을 구축 - 스마트카드, 시계·3차원(3D)안경·휴대폰·PDA·게임기 등 소형 애플리케이션을 시작으로 다양한 규격의 제품으로 라인업해 나갈 계획
홍익대	- 2007년 4월 플라스틱 기판상에 방전 셀을 형성해 초대면적 디스플레이에 적합한 휘는 플라즈마 패널을 개발하는 데 성공 - 휘어지는 플라즈마디스플레이는 기판과 격벽(PDP에서 해상도를 표현하는 단위 구조)에 폴리머 재질을 사용 - 우선 발광만을 구현하는 데 성공했는데, 상용화를 하는 데 3~4년 이상 소요될 전망
기계연구원	- 2007년 9월 플렉시블 디스플레이 기판에 형성되는 투명 박막의 전기적 특성을 기존 대비 3배 이상 증가시킬 수 있는 새로운 제조 기술을 개발 - 그동안 플렉시블 디스플레이 기판 제조시 주요 애로 기술 중 하나였던 박막의 전기전도도 문제가 해결될 수 있을 것으로 기대 - 전기 비저항이 낮아수록 전기전도율은 높아져 선명한 화면구현이 가능해짐

<자료>: 전자신문, 디지털타임스, EIC, 전자통신동향분석, 주간기술동향 등을 재구성

플렉시블 TFT LCD 등과 E-Paper 등을 개발 완료하였고, 모바일 디스플레이용 2.2인치 풀컬러 투과형 플라스틱 TFT-LCD 모듈과 5~6인치급 E-Book용 전기영동 디스플레이를 개발중이다. OTFT에 대한 연구도 활발히 진행하고 있는 등 플렉시블 디스플레이 관련 기술이 점차 축적되고 있다. 유리기판 상에서는 2005년 15인치 XGA급 OTFT-LCD 모듈을 개발하였고, 플라스틱 기판에 저온 a-Si TFT 기술을 이용하여, A4 크기의 E-Paper용 컬러 플렉시블 디스플레이 기술을 개발하였다. 2007년 10월 일본 FPD 전시회에서 14.3인치 컬러 플렉시블 디스플레이를 선보였는데, 이 제품은 0.3mm 두께에 불과하며, 플라스틱 기판의 변형없이 컬러 화면 구현이 가능한 것이 특징이다[6].

삼성SDI는 2006년 5.6인치 플렉시블 LTPS-TFT AM-OLED를 제작하였고, 스테인리스 포일을 기판으로 사용한 OLED 기반의 4.1인치 플렉시블 디스플레이를 개발하였다. 최근 Bridgestone과 동일한 토너 방식의 전자종이 기술이 국내에서도 활발히 연구되고 있는데 LG종합기술원에서 Bridgestone과 같은 건식 분류체 방식의 전기영동 전자종이를 개발한 바 있다. 대전된 고분자입자를 이용하여 전기영동 특성을 가진 입자를 만들었으며, ITO가 코팅된 PET 기판 위에 제작하여 5.7인치급 플렉시블 디스플레이를 구현하였다. 전자종이 특성의 경우 반사율 32%를 얻었으며, 쌍안정성이 6개월 이상인 것으로 확인된 바 있다.

LG디스플레이는 2005년 10.1인치, 2006년 14.1인치 E-Paper용 플렉시블 디스플레이를 개발하였고, 2007년에는 13.1인치 E-Paper용 컬러 플렉시블 디스플레이를 개발하였다. 지정질 실리콘을 이용한 4인치 풀컬러 플렉시블 AM-OLED, 용액형 유기반도체를 이용한 고정세 15인치 TFT-LCD를 개발하였다. 2007년 8월 용액형 유기반도체를 사용한 패널로써 고해상도 풀 컬러 영상을 구현할 수 있는 LCD 패널을 개발하였다. 또 2008년 1월 기존 컬러 플렉시블 E-Paper에 비해 무려 4배 향상된 해상도를 구현하는 세계 최고 해상도(1280×800) 14.3인

치 컬러 플렉시블 E-Paper를 개발했는데, 유리 기판 대신 금속박(metal foil)과 플라스틱 기판을 이용해 우수한 화면 표시 특성을 그대로 유지하면서 유연성과 내구성을 동시에 확보하였다[7].

ETRI는 1999년부터 정보통신부 지원 하에 플렉시블 OLED의 핵심기반기술을 연구하여 2000년 1.8인치급 60×21 플렉시블 수동형 단분자 OLED와 고분자 OLED를 시연하였다. 플라스틱 기판을 기반으로 하는 공정기술과 OLED 장수명화 기술을 개발하여 2003년에는 2인치급 128×64 플렉시블 PM-OLED를 시연하였다. 2002년부터는 전자잉크를 사용하여 전자종이를 제작하는 방법에 대한 연구를 진행중이다. 현재 플라스틱 기판 상에서 컬러 전자잉크를 이용하여, 컬러필터를 사용하지 않는 다색 전자종이 개발 및 용액공정에 기반을 둔 roll-to-roll 프로세스에 대한 연구를 진행중이다. 2003년부터 5년간 정보통신부의 지원으로 LG전자 등 5개 산업체, ETRI, KIST 등 3개 정부출연연구소, KAIST 등 4개 대학이 공동으로 LTPS-TFT와 OTFT를 스위칭 소자로 채용한 4인치급 플렉시블 AM-OLED, A4 크기의 전자종이 연구를 수행중이다.

아이컴포넌트는 2000년 창업 후 플렉시블 디스플레이에서 가장 기본이 되는 플라스틱 기판 개발에 매진하고 있다. 세계적 화학 기업인 BASF와 폴리에테르설폰(PES) 관련 전략적 파트너십을 맺고 이를 이용한 기판 개발에 주력해오고 있으며, 플라스틱의 단점인 신뢰성과 내구성 문제를 방지하기 위한 소재로 PES를 활용하고자 한다. 정부의 프린터 디스플레이 사업에도 기판 개발을 맡았으며, 필름, 코팅 등 8년간 축적된 연구 노하우와 기술혁신으로 플렉시블 디스플레이 시대를 여는 데 노력하고 있다[8].

디스플레이 전문 벤처기업인 소프트픽셀은 2006년 4월 세계 최초로 플렉시블 디스플레이 양산 라인을 구축하였고 스마트카드, 시계·3차원(3D)안경·휴대폰·PDA·게임기 등 소형 애플리케이션을 시작으로 다양한 규격의 제품으로 라인업해 나갈 계획이다[9].

홍익대학교 김용석 교수는 2007년 4월 플라스틱 기판상에 방전 셀을 형성해 초대면적 디스플레이에 적합한 휘는 플라즈마 패널을 개발하는 데 성공하였다. LCD의 경우 이미 5, 6년 전부터 유기박막트랜지스터(OTFT) 방식의 휘는 디스플레이 연구가 활발히 진행돼 왔으나 PDP의 경우 고온, 고전력의 이온가스 방전으로 빛이 표출되기 때문에 휘어지는 디스플레이를 구현하는 데 제한이 많았다. 김교수가 개발한 휘어지는 플라즈마디스플레이는 기판과 격벽(PDP에서 해상도를 표현하는 단위 구조)에 폴리머 재질을 사용했다. 개발 제품의 크기는 2인치로 우선은 발광만을 구현하는 데 성공했는데, 상용화를 하는 데 3~4년 이상이 소요될 전망이다[10].

그리고 한국기계연구원 부설 재료연구소 표면기술연구부 이진환 박사팀은 2007년 9월 플렉시블 디스플레이 기판에 형성되는 투명 박막의 전기적 특성을 기존 대비 3배 이상 증가시킬 수 있는 새로운 제조 기술을 개발하였다. 기존 기술로는 투명 박막의 전기 비저항이 $6 \times 10^9 \Omega \text{cm}$ 까지 가능한 반면 이 기술은 전기 비저항을 $2 \times 10^9 \Omega \text{cm}$ 까지 낮출 수 있다. 이번 기술 개발로 그동안 플렉시블 디스플레이 기판 제조시 주요 애로기술 중 하나였던 박막의 전기전도도 문제가 해결될 수 있을 것으로 기대된다. 전기 비

저항이 낮을수록 전기전도율은 높아져 선명한 화면 구현이 가능해진다[11].

한편, 차세대 성장동력인 '플렉시블 디스플레이' 원천기술을 확보하기 위해 민·관이 공동으로 산학공동연구센터를 설립할 예정이다. 2008년 7월 지식경제부와 한국디스플레이산업협회는 2009년 민간 주도의 산학 공동 플렉시블 디스플레이 연구센터를 설립한다는 목표로, 우선 산학 전문가들이 참가하는 플렉시블 디스플레이 연구회를 결성한 뒤 8월 워크숍을 통해 공동 연구센터를 설립하기로 했다. 지경부는 범 국가 차원에서 차세대 플렉시블 디스플레이 기술력 확보가 시급한 만큼 민간이 주도하되 정부도 일정 예산을 출연하는 형태로 추진하기로 했다. 또 LCD 산업을 주도하고 있는 삼성전자·LG디스플레이가 앞장서고, 장비·부품·소재 기업들이 연구 개발 초기부터 주도적으로 참여하며, 해외 선진 연구센터들과 국제 협력관계를 구축, 기술이전 등을 통해 보다 효율적으로 원천기술을 확보할 계획이다[12].

국내 플렉시블 디스플레이 관련 기술은 일부 분야에서는 세계적인 수준을 자랑하고 있지만 전반적으로 다른 기술 선진국들에 비해 많이 뒤떨어진 상황이다. 특히 원천 기술 및 특허, 그리고 핵심 부품 및 장비, 재료 분야에서는 미국, 일본, 유럽 등에 비

<표 5> 선진국 대비 국내 기술수준 및 중요도 지수

번호	과제 명	중요도 지수	기술수준 (%)	국내실현 시기	세계실현 시기	최고기술 보유	격차(년)
1	트랜지스터, 전극, 발광층이 유기물질로 이루어진 대형 플렉시블 디스플레이 실용화	76.2	66.6	2012	2010	일본/미국	2
2	CNT를 이용한 FED 실용화	69.1	69.0	2011	2010	미국	1
3	롤러별 휴대용 디스플레이 실용화	72.9	59.2	2014	2011	미국/일본	3
4	Wearable 컴퓨터용 Head Mounted 디스플레이 실용화	70.6	56.3	2014	2012	미국	2
5	완전 컬러가 가능한 E-Paper 실용화	74.9	53.3	2013	2012	미국/일본	1
6	3D 디스플레이 기술이 다양한 용도의 생산기술에 실용화	68.6	56.1	2014	2010	미국	4
7	휴대용 공간 디스플레이(예, 홀로그램) 시스템의 개발	76.4	50.5	2013	2011	미국	2
8	실제 촉감까지 전달되는 입체 디스플레이 개발	65.6	46.0	2016	2013	미국	3
9	투명한 유리형태의 디스플레이 보급	73.2	61.0	2013	2012	미국/일본	1
10	플렉시블 디스플레이 보급	73.0	62.6	2008	2010	미국/일본	2

<자료>: MOST, KISTEP, '과학기술예측조사(2003~2030) 미래사회 전망과 한국의 과학기술', 2005. 5.(조사방법: 델파이)

해서는 많이 낙후되어 있는 분야다. 국가과학기술위원회에 따르면 평판 디스플레이 기술에 대한 우리나라의 기술경쟁력은 세계적으로 리더그룹에 속해 있으며, 가전 및 업무용 AM-OLED 분야는 경쟁력이 있으나, 플렉시블 디스플레이 분야의 경쟁력은 매우 취약한 것으로 분석하였다.

<표 5>에서 보듯이 KISTEP에서 조사한 과학기술예측조사(2005~2030년) 자료에 따르면 플렉시블 디스플레이 기술에 대한 주요 선진국 대비 국내 기술수준은 전체적으로 58.1% 정도로 전체 산업분야 평균인 52.5% 보다는 높지만 선진국에 비해 기술격차가 큰 실정이다. 실제 촉감까지 전달되는 입체 디스플레이 기술과 휴대용 공간 디스플레이 시스템, 완전 컬러가 가능한 E-Paper 기술 등은 기술격차가 매우 큰 것으로 나타났다. 연구개발 중요도 측면에서는 완전 컬러가 가능한 E-Paper 기술을 비롯, 유기물질로 이루어진 대형 플렉시블 디스플레이, 휴대용 공간 디스플레이 시스템, 롤러별 휴대용 디스플레이 등이 높은 것으로 나타났다[13].

2. 해외

차세대 플렉시블 디스플레이 기술은 현재 전세계 패널 관련 업체, 기업 및 국가연구소, 학계 등에서 광범위하게 연구되고 있으며, 기술 발전속도가 점차 가속화되어 근년에 시장형성이 급속히 진행될 것으로 시장예측기관들은 예상하고 있다.

LCD, OLED, E-Paper 방식의 플렉시블 디스플레이의 경우 세계적으로 약 30~40개의 업체에서 연구개발을 진행중이고, 수백 개 연구소 및 학계에서 관련 연구를 수행하고 있다.

미국에서는 IBM, Sarnoff, UDC, E-Ink, Bell Labs, PARC 등의 기업연구소를 중심으로 플렉시블 LCD, OLED, E-Paper 등에 대한 연구가 수행되고 있다. 특히 플렉시블 디스플레이에 대한 많은 원천 기술, 핵심 기술 및 특허 등을 확보하고 있고, 정부기관 및 업체들의 집중적인 투자가 이루어지고 있어 향후 플렉시블 디스플레이 분야에 있어 매우 중

요한 위치를 점할 것으로 예상된다. E-Ink는 Top-pan Printing과 손잡고 PET 기재에 ITO 공통 전극 층과 E-Ink microcapsule 층 그리고 접착제 층을 포함하는 imaging film을 제조하여 판매하고 있으며, 또 필립스와 손잡고 E-Ink를 이용한 전자종이 모듈기술을 개발중이다[14].

유럽에서는 필립스가 중심이 되어 고분자 재료를 이용한 연구가 진행중인데, 필립스의 경우 플렉시블 디스플레이의 개발과 상용화 추진을 위한 Polymer Vision을 설립하고 집중 투자중이다. 영국의 PlasticLogic에서는 잉크젯 기반의 OTFT와 이를 이용한 플렉시블 디스플레이용 backplane 개발을 진행중이다[15].

필립스는 플라스틱 LCD 분야에서 가장 오랫동안 연구개발을 해왔는데, 현재 플라스틱 기판을 이용한 각종 디스플레이 모드 개발에 관한 기술을 보유하고 있다. 2001년에 반사형 PDLC용 TFT 제작기술을 발표했고, 이어 64×64 픽셀의 유기 TFT 구동 LCD를 개발하였으며, E-Ink와 협력하여 플렉시블 전기영동 디스플레이 제품을 발표하였다. 2004년부터는 CDT와 기술 라이선싱을 통한 폴리머 OLED를 비롯해 E-Ink에 투자를 통한 제작 참여로 전기영동 디스플레이 관련 사업을 확장하고 있다. 또 LG 전자와 협력관계를 맺고 공동 기술개발 및 상용화를 진행하고 있으며, 2007년 5월 세계 최초로 A4 용지 크기의 컬러 플렉시블 디스플레이를 개발한 데 이어 역시 세계 최초로 4인치 플렉시블 AM-OLED를 개발하였다. 2008년 상반기까지 E-Book용 10.1인치 플렉시블 디스플레이를 상용화할 계획이다. 그리고 Polymer Vision이라는 벤처를 세워 플라스틱 기판 위에 유기 박막 트랜지스터(organic thin film transistor)를 구동소자로 사용하여 E-Ink사의 표시소자를 이용한 전자종이를 개발하여 상업화를 시도중이다[16].

Polymer Vision은 필립스에서 사내벤처로 설립한 업체로 유기전자 분야에 대한 혁신적인 연구개발을 진행해오고 있으며, 업계 최초로 유기물질 기반의 기능성 RFID 회로와 능동형 매트릭스 디스플레이

이를 시연하였다. 또한 동일한 전기적 특성을 가진 폴리머 기반 TFT의 대형 어레이에 대한 신뢰할 수 있는 제작기술을 통해 유기물질 기반 QVGA 능동 매트릭스 디스플레이를 제작하였다. 새로운 디스플레이 장치를 상용화한 제품은 Radius(레디우스)로 휴대폰과 연결되는 PDA 크기의 기기 두루마리형 스크린을 사용한 최초의 장치이다. 이 스크린은 유리 대신 플라스틱 필름으로 제작되었으며, 내구성이 강한 폴리머에 금으로 배선을 한 트랜지스터를 만들어 스크린이 휘어질 때의 압력을 최소화, 수만 번 휘어도 이상이 없도록 했다. 이는 일반 PDA 폰 정도의 작은 크기에 두루마리 화장지 형태의 디스플레이를 펼쳤을 경우 5인치에 넓은 흑백화면을 제공해 E-Book, E-Mail, RSS 등을 높은 가독성으로 확인할 수 있도록 했다. 또 4G의 내장 메모리와 내장 스피커를 통해 폭넓은 음악감상이 가능하다. 2007년 12월 영국 사우샘프턴에 플렉시블 디스플레이 공장을 완공하고, 돌돌 말 수 있을 정도로 휘어지는 디스플레이를 세계 최초로 양산하기 시작했다[17].

Plastic Logic Ltd은 플라스틱 기판과 박막 트랜지스터를 사용하여 전자종이를 생산하려고 시도중이다. Polymer Vision과 함께 플렉시블 OTFT/E-Paper 디스플레이 기술의 대표적인 업체로 독일 드레스덴 지역에 OTFT용 공장을 건설중이다[18].

iRex는 2001년 9월 네덜란드의 아인트호벤 High Tech Campus에서 필립스가 사내 iRex Technologies를 분사하여 설립되었다. 전자신문 등의 콘텐츠를 위한 전자단말기를 출시하고 있다.

일본에서는 히타치, 소니, AIST, 세이코엡손 등의 기업 및 연구소에서 OTFT, Poly-Si TFT, OLED 등에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 최근에는 Bridgestone이 QR-LPD를 발표 조만간 상용화할 것으로 예상된다. 소니 및 세이코엡손에서는 우수한 Poly-Si 제작 및 Transfer 기술을 바탕으로 하여 고분자 기판 상에 특성이 매우 우수한 Poly-Si TFT를 가진 디스플레이를 개발 및 시제품을 선보였으며 NHK 방송기술연구소에서는 OTFT를 이용한 능동형 OLED에 대한 연구를 진행중이다. 소니

〈표 6〉 플렉시블 디스플레이의 기술별 주요 참여업체

형태	명칭	연구기관
액정	나마틱 액정	샤프, 세이코엡손, 마쓰시타전기
	3층게스트/호스트 액정	도시바, ASET
	홀로그래픽 PDLC	ASET
	지향성 반사형	ASET
	콜레스테릭 액정	미 Kdnt State대, 미놀타
	ZBD	영국 ZBD사
	BTN	세이코엡손
유기 EL		도카이(東海)대, 대일본인쇄
가동필름		파이오니아, 대일본인쇄, 미 Universal Display사
반사필름, 반사형표시		도시바
전기영동	마이크로캡슐형	캐나다 British Columbia 대학
	인-플레이형	E-Link, TDK
트위스트 볼		캐논, IBM
Electrowetting Display		미 Gyricon사
미케니컬 반사형표시		필립스
Thermal Rewritable		미 Iridigm Display사
		리코, 도시바, 오키정보시스템, 미쓰비시제지

〈자료〉: 한국과학기술정보연구원, 플렉시블 디스플레이, 2005. 11., p.25.

는 E-Ink 기술을 이용한 “LiBRie”라는 전자책을 2004년 일본 시장에 출시한 바 있고, 미국시장에서는 소니가 Reader라는 제품을 출시하였다. 소니는 2007년 5월 플렉시블 OLED 디스플레이 시제품을 선보였는데, 1600만 색상을 구현할 수 있다[19].

<표 6>에서는 플렉시블 디스플레이 기술별 주요 참여업체들을 정리해 놓았다.

V. 향후 전망 및 시사점

1. 향후 전망

플렉시블 디스플레이는 1960년대에 기초연구가 시작된 이래, 1975년 Xerox에서 초보적인 프로토타입의 전자종이를 구현하여 영문자 X를 표시하여 Tdau, 1999년에는 E-Ink사에서 Immedia™라는 최초의 전자종이 제품을 출시하였다. 현재 많은 업체에서 다양한 모드의 시제품을 구현하여 발표하고 있으며, 2010년 정도에는 충분한 유연성과 디스플레이로서의 기능을 완전히 갖춘 플렉시블 디스플레이가 대량 생산체제에 접어들 것으로 전망된다.

낮은 그레이드의 플렉시블 디스플레이는 단순 매트릭스 타입이 적용되고, E-Book, E-Paper 등에는 a-Si TFT가 채용될 것으로 전망되며, TFT가 모두 유기물로 구성된 Organic TFT(OTFT)는 2010년경 제품에 적용될 것으로 예상된다. 플렉시블 디스플레이 기술은 차후 다양한 컬러색상을 구현하여 UMPC나 휴대폰 디스플레이에 적용, 휴대성과 넓은 화면을 통한 편리성을 높일 수 있는 차세대 디스플레이로 성장할 수 있을 것으로 예상된다.

전자종이는 휘는 디스플레이의 궁극적 지향을 담은 용어로 종이처럼 가볍고 잘 휘고 운반도 편리한 디스플레이를 의미한다. 흑백은 물론, 컬러 전자종이 시대가 몇 년 안에 현실화될 전망이다. 이미 A4 용지 크기의 휘는 디스플레이는 흑백과 컬러 모두 개발돼 있는 만큼 상용화가 가능한 본격적 양산 체제가 갖춰지는 것도 시간문제이다. 미래에는 ‘휘는 전자종이’ 수준을 넘어 ‘접는 전자종이’도 개발될 가

능성이 높아, 언제(anytime) 어디서나(anywhere) 어떤 크기로도(any size) 신문을 볼 수 있는 세상이 도래할 것이다. 전자종이를 들고 다니다가 아무 곳에서나 휴대전화 충전하듯 할 수 있고 관심 분야를 지정해 두면 문자메시지가 들어오듯 뉴스가 바로 ‘배달’되는 시대가 될 것이다. 흑백 전자종이에서 컬러 전자종이로, 나아가 동영상도 구현되는 전자종이로 진화하여 전자종이 신문 위에서 동아닷컴의 인터넷 서비스가 구현되는 꿈같은 일이 현실이 된다. 많은 전력을 잡아먹는 야외전광판이 사라지고 종이 벽보처럼 전자종이 광고판을 아무 곳에나 붙일 수 있게 된다.

우리나라는 기존의 디스플레이 기술을 이용한 플렉시블 디스플레이의 구현에 역점을 두고 기술개발을 추진하고 있으며, 기관의 경우 유리기관에서 점차 유리 와 플라스틱을 같이 사용하고, 2010년경에는 플렉시블 기관으로 대체를 예상하고 있다. 일본의 경제산업성이 작성한 기술전략맵에 의하면, 일본에서는 2010년까지 능동방식 LCD를 이용한 플렉시블 디스플레이를 개발하고, 2010년 이후에는 능동 유기 EL을 이용한 플렉시블 디스플레이를 개발할 계획이다[20].

디스플레이는 컬러 반사형 LCD의 고휘도화와 OLED의 고효율화를 통해 점차 필름 디스플레이 형태를 취하고, 전자회로인 스위칭 소자는 저온 p-Si TFT에서 저온공정 개발을 통해 고속응답이 가능한 초저온 p-Si TFT나 OTFT를 구현하여 새로운 형태의 디스플레이가 탄생할 것으로 전망된다. 배터리도 기존의 박막형 폴리머 배터리에서 고용량화를 추구하며, 점차 유연성이 가미된 종이 배터리로 발전할 것으로 전망된다.

2. 시사점

플렉시블 디스플레이는 지금부터라도 연구개발을 서둘러야 할 차세대 성장동력으로 초기에는 민관 협력으로 공동 연구센터 등을 설립해 힘을 하나로 모아야 한다. 플렉시블 디스플레이는 유비쿼터스 환

경에서 언제 어디서나 정보를 전달하는 매체로서 외부 충격에 강하고, 휴대성이 높으며, 경량·박형이면서 임의 형태로 패널 구현이 가능하다. 모바일 기기 등을 중심으로 수요가 먼저 발생하고, 롤 방식의 대량 인쇄기술의 상용화와 더불어 거대 시장을 형성할 것으로 기대되는 유망산업이다.

플렉시블 디스플레이는 미래 디스플레이 경쟁력의 원천이 저원가 구조의 창출에 적합한 것으로 평가되고 있으며, 곡면 디스플레이 모니터 등 새로운 폼팩터까지 가능하므로 LCD, PDP의 뒤를 이을 차세대 디스플레이의 대표주자로 손꼽힌다. 다양한 응용제품에의 적용이 가능한 장점을 가진 차세대 디스플레이 기술개발을 통해 미래에는 더욱 경제적, 산업적 측면뿐만 아니라 국가경쟁력 향상에 기여할 것으로 기대된다[21].

LCD, OLED, E-Paper 방식의 플렉시블 디스플레이의 경우 시장 선점을 위해 국내외 업계의 기술 및 제품 개발 움직임이 빨라지고 있고, 국가차원의 전략사업들도 진행중으로 특허에 의한 원천 기술 확보 경쟁이 심화되는 중이다.

국내 플렉시블 디스플레이 관련 기술은 일부 분야에서 세계 수준에 접근하고 있지만 전반적으로 유럽, 일본 등 기술 선진국에 비해 뒤떨어져 있다. 특히 원천기술 및 특허, 핵심 부품 및 장비, 재료 분야에서는 매우 낙후되어 있다.

하지만 플렉시블 디스플레이는 기존 평판 디스플레이 시장을 대체할 충분한 잠재력을 지닌 사업으로

아직까지 국제표준이 정립되지 않은 시장 진입초기 단계로, 국내 산학연의 연구개발 성과에 따라 전세계 시장을 주도할 가능성이 존재한다.

우리나라는 21C 프런티어 사업의 일환으로 2003년부터 10년간 AOD 사업을 포함하는 디스플레이 전 분야에 대한 연구개발사업(약 100억/Y)이 진행 중이다.

차세대 디스플레이 산업은 현재 세계 1위를 유지하고 있는 평판 디스플레이 시장에서의 대한민국의 위상을 지속적으로 유지할 수 있는 중요한 분야이다. 여기에 포함된 OTFT 기술, OLED 기술, 플렉시블 디스플레이용 소재기술 등을 학계, 산업계, 연구계가 공동으로 개발중이다. 현재 진행되고 있는 교육과학기술부의 21세기 프론티어 사업이나 지식경제부의 산업기술개발사업 이외에도 국내 산학연의 상용화 연구지원을 위한 인적·물적 인프라 확충이 시급하다[22].

약 어 정 리

AOD	All Organic Display
FPD	Flat Panel Display
PARC	Palo Alto Research Center

참 고 문 헌

- [1] 홍성화 외, “플렉시블 디스플레이,” 한국과학기술정보연구원, 2005. 11., p.2.
- [2] 이진호 외, “플렉시블 디스플레이,” 전자통신동향분석, 제20권 제6호, 2005. 12., pp.48-49.
- [3] EIC, “유럽 플렉시블 디스플레이 시장동향,” 2007. 11., pp.2-3.
- [4] 디지털타임스, 2008. 6. 12.
- [5] 홍성화 외, “플렉시블 디스플레이,” 한국과학기술정보연구원, 2005. 11., p.24.
- [6] 전자신문, 2008. 2. 28.
- [7] 전자신문, 2008. 2. 28.
- [8] 전자신문, 2008. 2. 25.
- [9] 전자신문, 2006. 4. 12.
- [10] 전자신문, 2007. 4. 10.
- [11] 전자신문, 2007. 7. 9.

용 어 해 설

플렉시블 디스플레이(flexible display): 휘어지는 디스플레이로 유리판이 아닌 플라스틱 같은 유연한 소재를 기판으로 사용한다. 돌돌 말아 휴대할 수 있고, 옷으로 만들어 입을 수 있는 제품도 나올 것으로 보인다. E-Paper(전자종이)도 플렉시블 디스플레이의 일종이다.

프린티드 디스플레이(printed display): 디스플레이를 만드는 기법 중 하나이다. 반도체 회로를 유리판에 새겨 넣는 복잡한 공정을 거치지 않고, 인쇄하듯 회로를 부드러운 기판에 찍어내 곧바로 디스플레이로 사용할 수 있다는 ‘꿈의 디스플레이’이다.

- [12] 전자신문, 2008. 7. 8.
- [13] 과학기술부, 과학기술예측조사(2003-2030), 미래사회 전망과 한국의 과학기술, 2005. 5.
- [14] 홍성화 외, “플렉시블 디스플레이,” 한국과학기술정보연구원, 2005. 11., p.11.
- [15] EIC, “유럽 플렉시블 디스플레이 시장동향,” 2007. 11., pp.16-18.
- [16] EIC, “유럽 플렉시블 디스플레이 시장동향,” 2007. 11., p.17.
- [17] 전자신문, 2007. 12. 13.
- [18] EIC, “플렉시블 디스플레이 산업동향,” 2008. 1., p.18.
- [19] 디지털타임스, 2007. 5. 25.
- [20] 홍성화 외, “플렉시블 디스플레이,” 한국과학기술정보연구원, 2005. 11., p.34.
- [21] EIC, “유럽 플렉시블 디스플레이 시장동향,” 2007. 11., p.21.
- [22] EIC, “플렉시블 디스플레이 산업동향,” 2008. 1., p.22.