

전자종이(E-paper)의 기술개발동향

- 액정기반 디스플레이를 중심으로 -

반 병 섭, 김 재 훈 (한양대학교 전자통신컴퓨터공학부)

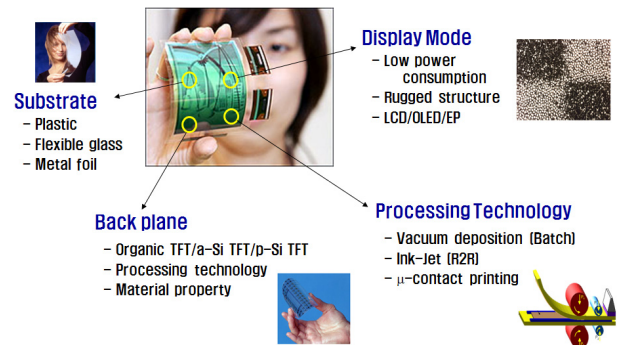
I. 서 론

정보화 시대의 흐름 속에 디스플레이는 시각적인 정보매체이자 효율적인 정보전달의 수단으로서 자리 잡게 되었다. 1990년도 이전에는 CRT(Cathode-ray tube)가 오랫동안 디스플레이 시장을 이끌어 왔으며, 1990년도이후부터는 무겁고 부피가 큰 CRT를 대신해 소비자의 요구에 부응하여 가볍고 얇은 평판디스플레이가 디스플레이 시장을 주도하기 시작했다. 액정디스플레이는 1980년대 소형 전자계산기, 전자손목시계로부터 태동하여 1990년대 Note, Monitor 및 2000년대 들어서는 TV시장으로 자리매김 하였고, 점점 대형화 하여 DID(PID)시장으로도 확대되고 있다. 또한 mobile영역에서도 자리를 지키고 있으며 이는 glass 기판에 TFT-LCD를 토대로 하고 있다.

유비쿼터스 시대에 인간과 정보간 거리를 더욱 가깝게 해주고 있는 디스플레이는 새로운 기술적 진화를 해야 할 시점에 놓이게 되었다. 그렇다면 향후의 소비자들이 더욱 요구하는 key words는 무엇일까? 더 가볍고 얇게, 저소비전력, 동영상, sunlight viewable, No polarizer, No CF, No back light, flexible, wearable 등을 부인 할 수 없을 것이다. 액정디스플레이는 이러한 시대적 요구 사항에 부응하기위해 글라스기판에서 플라스틱 기판, wearable 기판으로 이동하고 있으며 이에 맞게 액정디스플레이모드도 연구개발 영역이 변화 하고 있다.

플렉서블 디스플레이는 이와 같은 관점에서 기술 개발이 시작된 디스플레이로 보다 가볍고, 종이보다 질기며, 깨지지 않고 휘 수 있는 저 전력 소모의 차세대 디스플레이라고 말할 수 있다. 디스플레이 전문가들은 조만간 플렉서블 디스플레이 시장이 새로운 시장 창출의 원동력이 될 것으로 예상하고 있으며, 세계적으로 많은 기술 개발이 진행되고 있다.

플렉서블 e-paper 구현을 위한 요소 기술은 [그림 1]에 나타낸 것처럼 1)기판기술, 2) 구동소자기술, 3) 디스플레이 모드 기술, 4) 플렉서블 디스플레이용 소재, 공정 및 장비 기술 등으로 분류할 수 있을 것이다. 그리고 이들 요소기술 중 플렉서블 전자종이디스플레이의 구현을 위한 디스플레이 모드는 [표 1]에 나타낸 것처럼 다양한 디스플레이 모드, 예를 들면 액정기반의 액정디스플레이, particle 기반을 둔 전기영동부류의



[그림 1] 플렉서블 전자종이 디스플레이 요소기술

[표 1] 플렉시블 전자종이 디스플레이 주요 기술별 분류 및 주요 참여기관

	형태	유형		모드	업체	국내
디스플레이로부터 접근	액정	Dynamic	종래 구조	네마틱 액정	샤프, 세이코엡슨, 마쓰시타 전기	삼성전자, LGD, 한양대, 동아대등
			신 구조	게스트/호스트	도시바, ASET	
				홀로그래픽 PDLC	ASET	건국대
		Memory	-	콜레스테릭액정	미Kent displays, Kent State대, ITRI, Fujitzu	삼성전자, 삼성종합기술원, LMS,LGD, 한양대, 부산대, 동아대, 전북대 등
				BTN	세이코엡슨	부산대등
				ZBD	영국 ZBD사	
		B-nematic	BiNem			
유기 EL	-			파이오니아 등		
종이로부터 접근	전기영동	Memory	마이크로 캡슐		E-ink, TDK	삼성전자, LGD, ETRI
			마이크로 컵		Sipix	
			인플레이형		캐논, IBM	
	트위스트 볼	Memory	트위스트 볼		미 Gyricon사	
	Liquid power	Memory	QR-LPD		일 Bridge stone	
	Fluid	Dynamic	전기습윤		필립스-liquivista Cincinnati 대학	
Quick solid ball	Dynamic /Memory	신 모드	전계 비상형		동진썬미캠	고려대, 호서대

디스플레이, 유기발광다이오드(OLED), 와 전기습윤 (electrowetting) 등이 연구개발 되고 있다.

전자종이 개발은 외국의 경우 산업체 및 연구소에서 활발히 진행되고 있으며, 국내의 경우 삼성전자, LGD 사를 중심으로 한 산업체에서 E-Ink 기반기술과 콜레스테릭 액정기반 기술개발이 진행되고 있으며, KETI (한국전자부품연구원)를 비롯한 국책 연구기관 및 몇몇 대학 연구소에서 활발한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 독자적인 전자종이 mode 기반의 국내 원천기술이 없으며, E-Ink와 같이 외국에서 선행 개발된 전자종이 기술을 적용한 Flexible Display Module 개발에 치중되어 있고, 콜레스테릭 액정기반 역시 Kent displays사가 가장 앞서있다. 그러나 본격적인 상업화를 위해서는 완벽한 컬러 구현, 동영상 구현을 위한 응

답속도 개선과 같은 기술적 해결과제들이 여전히 남아 있다.

현재 콜레스테릭 액정기반과 전기영동 기반으로 한 기술이 상업화 측면에서 가장 앞서고 있는 것으로 알려져 있지만 아직도 극복해야 할 요소기술들이 많이 있다. [표 2], [표 3]에서 보듯이 전자종이 기술별로 장단점을 가지고 있어 어느 기술이 우세할지는 극복해야 할 기술을 얼마나 빨리 연구 및 개발 하느냐에 달려있다고 본다.

본 보고서에서는 액정기술에 기반을 한 플렉시블 전자종이용 액정디스플레이 모드들의 후보 선으로 연구되고 있는 메모리성 액정모드들의 구성, 구동원리 및 연구개발동향에 대해 소개하고자 한다.

[표 2] 종이, 전기영동형 전자종이와 콜레스테릭 액정형 전자종이의 장단점 비교

	종 이	입자형 (전기영동형)	콜레스테릭 액정형
장 점	<ul style="list-style-type: none"> - 시인성이 우수함 (시야각 의존성이 없고 눈의 피로도가 적음) - 기본적인 부피가 작음 - 전원이 필요 없음 - 가격이 싼 	<ul style="list-style-type: none"> - 종이와 비슷한 질감 및 백색도 - 높은 반사율 (편광필터 불필요) - 메모리 모드 구현 가능 - 광 시야각 - 저 소비전력 	<ul style="list-style-type: none"> - 높은 반사율 (편광필터 및 컬러필터 불필요) - 메모리 모드 구현 가능 - 광 시야각 - 저 소비전력 - LC 기반기술 활용
단 점	<ul style="list-style-type: none"> - 정보의 갱신이 어려움 (정보 update, 수정 불편) - 동영상 표현이 불가함 - 정보의 출력만 가능 - 다량의 정보 표현 불편 	<ul style="list-style-type: none"> - 느린 응답속도 - 높은 구동 전압 - 컬러, 계조 표현 어려움 - AM 구동방식만 가능 - 고해상도 구현의 어려움 - 수분에 취약 	<ul style="list-style-type: none"> - 3-panel 방식의 컬러 표현 (구조 및 공정이 복잡함) - 느린 응답속도 - 계조 표현의 어려움

[표 3] 주요 전자종이 기술의 특성비교

	Newspaper	전기영동	Cholesteric LC
컨트라스트	7-10:1	10~30:1	20~30:1
반사율 (%)	50%	40	40
시야각 (도)	180	180	180
유연성	상	상	하
폴 칼라	상	하	상
응답속도 (ms)	-	100	30~100
최대전압 (V)	-	90	40
기판	paper	플라스틱/유리	플라스틱/유리
구동방식	-	능동형	수동형/능동형

출처 KETI 보고중 일부 2008.12

II. 액정기반 전자종이 개발현황

1. 국외 기술개발 동향

미국 Kent Displays, Kent State University, ITRI, Fujitsu사 등은 Bistability를 가지는 콜레스테릭 LC 모드를 이용한 전자종이 디스플레이 구현 기술에는 액정의 chiral pitch를 조절하여 선택 파장을 반사하여 color를 구현하고, planar, focal conic 상태의 쌍안정성을 이

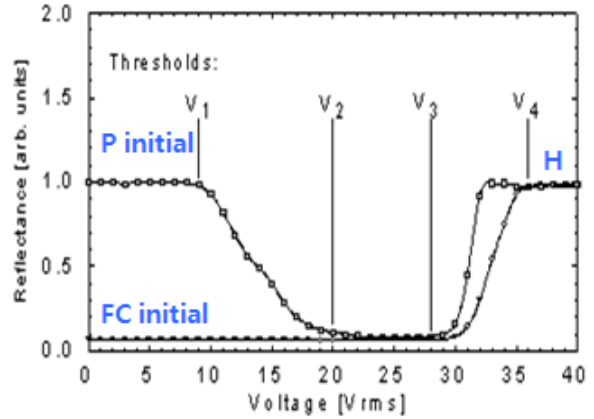
용하여 구동하는 cholesteric LCD 기술을 연구 개발하고 있다. Cholesteric LC mode는 주변광을 광원으로 사용하는 반사형 LCD 모드 중 하나이기 때문에 flexible한 전자종이 디스플레이 제작에 있어 설계적 제한을 감소시킬 수 있는 장점 외에 우수한 광학적 특성과 메모리 특성을 보이고, 기판 선택의 폭이 넓기 때문에 Cholesteric LC 모드를 이용한 전자종이 디스플레이 연구가 활발히 이루어지고 있다. 하기에는 메모리특성을

보이는 주요 액정모드, 주요 기관, 기술 및 현황에 대해 소개한다.

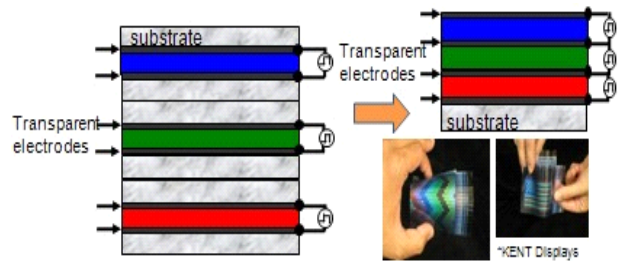
(1) Bistable Cholesteric LCD 모드 (미국 Kent university & Kent displays등)

미국 Kent 대학과 Kent displays는 오래전부터 콜레스테릭 액정표시패널에 대한 공동연구 및 개발이 활발하게 진행되고 있다. [그림 2]에 Bistable Cholesteric LCD의 구조 및 구동원리를 나타냈다. [그림 3]은 전기장에 의한 액정배열 변화에 따른 전기광학 특성을 나타냈다. 초기 액정은 planar상태와 focal conic 상태가 존재 가능하며, 고전압 인가에 의해 수직배향이 되고 전압을 갑자기 줄이면 planar상태로 되어 빛이 반사가 일어나 파장에 의존하여 R, G, B가 반사되며, 전압을 서서히 줄이면 focal conic 상태로 되어 빛이 투과된다.

Multilayer full color 구현 방식은 [그림 4]에서 보는 바와 같이 RGB 3개의 층을 적층하여 구현하는 방식이다. 이 같은 방식은 쉽게 full color를 구현할 수 있다는 장점을 가지고 있지만, 공정상 여러 층을 형성해야 한다는 복잡성과 구동 방식이 복잡하고, 여러 개의 전극에 의해 Display reflectivity가 감소된다. 또한 전체 디스플레이의 두께도 증가하게 되는 단점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 stack 구조가 아닌 Coatable multicolor layer만을 stack 하는 개념의 디스플레이를 구현하였다.

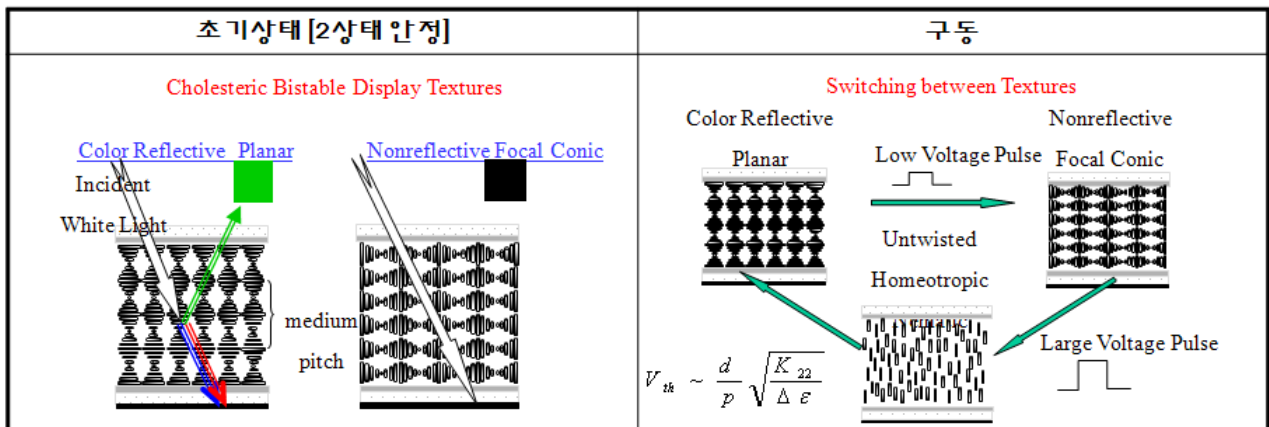


[그림 3] Bistable Cholesteric LCD 전기광학 특성



[그림 4] Multilayer 방식을 이용한 full color 구현

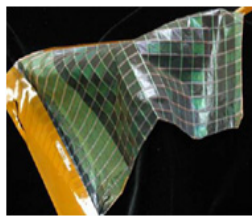
이는 기존의 stacking display에서 요구되었던 6개의 electrode를 4개로 감소시키고, 기관의 수도 1개로 감소하여 reflectivity를 향상시켰고, 매우 얇고 flexibility한 color display를 구현할 수 있게 되었다. 하지만, 이 방



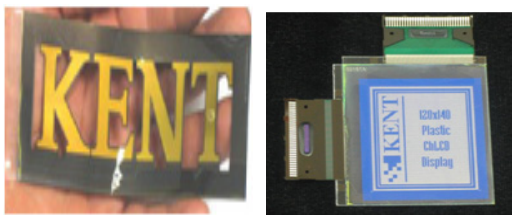
[그림 2] Bistable Cholesteric LCD의 구조 및 구동원리

식도 electrode로 사용되는 conducting polymer가 빛을 흡수하게 되어 display brightness가 감소되는 경향이 있다. 고분자를 이용하여 콜레스테릭 액정 상을 안정화시킴으로써 명암비가 기존대비 2.5배 향상되고 응답 시간 또한 향상되는 결과를 보였다 (SID 1998). 또한 구동 전압 파형을 개선하여 대면적 패널에서의 균일한 계조 (16계조)를 확보하였으며, 이때 명암 비는 약 6:1 정도이다 (SID 2008).

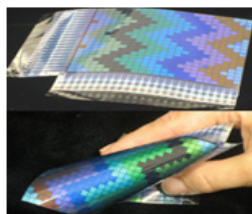
[그림 5]에서 보듯이 Kent displays사의 학회보고에 의하면 a) IDRC 2006은 플렉시블 PCB 기판에 PM 방식으로 substrate-free 15x16 monochrome 콜레스테릭 시제품을 선보였다. b) SPIE 2007은 laser edge sealed 한 24x20 pixel 3판넬 방식의 ultra-thin (~70µm) display를 선보였다. Ink jetting CP-PET사용하였다. c) SID 2007은 mono type 으로 125µm PET 기판에 LCD driver를 부착한 샘플이다.



a) IDRC 2006



b) SPIE 2007



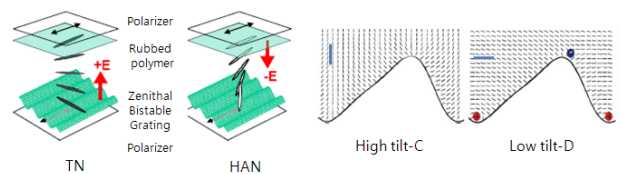
c) SID 2007

[그림 5] Kent displays 공개자료

(2) ZBD mode (ZBD 사)

ZBD (Zenithal Bi-stable Display) mode는 grating morphology를 가지는 surface에 의한 bistable anchoring force를 이용하여 쌍안정 특성을 가지는 디스플레이 모드로 ZBD사가 원천기술을 갖고 있다. ZBD 구동원리 [그림 6]은 기판 표면의 격자를 이용하여 액정을 배향한다는 점이 기존의 액정디스플레이 패널 방식과 다르다. 한쪽 기판의 표면에 격자를 형성시켜 격자의 홈과 액정의 뒤틀림에 의해 쌍안정성이 생기는 방식으로 일반적인 TN(Twisted Nematic) 구동방식과 유사하다. 문턱전압이 존재하므로 PM(수동) 구동이 가능하며, 액정과 격자와의 표면효과(Elastic Distortion Energy)로 인해서 쌍안정성이 가능하다. 격자표면과 액정의 pre-tilt에 의해 두 가지 안정된 상태가 표현된다. Homeotropic layer가 도포된 연속적인 주기와 amplitude를 가지는 grating morphology의 surface는 다른 pretilt를 가지는 두 가지의 안정상을 유도한다. 일정한 주기와 amplitude의 grating morphology가 형성된 surface에 근접해 있는 액정 분자들의 elastic deformation에 의한 flexoelectric polarization에 의해 다른 polarity의 전압 펄스를 인가하여 표면에서의 high pretilt alignment 상태와 low pretilt alignment 상태 두 개의 안정된 상태로 전이할 수 있고, 전압 펄스 인가를 제거하여도 그 상태는 각각 유지된다.

각각의 상은 이미지 변화 시에만 전기적 신호를 인가하면 되기 때문에 보편적인 LCD보다 전력소모 부분에 있어 효과적이다. 여러 다른 bistable LCD와는 달리 bistable surface alignment에 의해 쌍안정성을 가지는 ZBD mode는 mono-stable surface 즉, grating surface의



a) b)

[그림 6] ZBD 구동원리



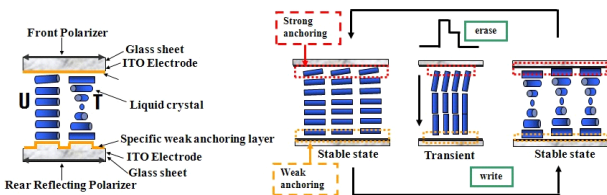
[그림 7] ZBD 사 공개 자료

반대쪽 표면에 배향 조건을 다르게 함으로써 다양한 모드 구현이 가능하다. 또한 cell gap의 변화, 온도 변화, 외부에서 가해지는 shock등에도 안정된 이미지를 구현, 유지할 수 있다. [그림 7]에는 ZBD 사 공개 자료를 나타냈다.

(3) BiNem모드 (BiNem 사)

Surface control을 이용하여 twisted state와 uniform state 쌍안정상을 이용하여 디스플레이를 구현하는 BiNem (Bistable Nematic) mode의 원천기술을 갖고 있다. BiNem mode는 surface anchoring breaking technology로 축약할 수 있다. [그림 8]에 BiNem LCD의 구조 및 동작 특성을 나타냈다. 한쪽 기관은 weak anchoring energy를 가지며 다른 한쪽 기관은 strong anchoring energy를 가지는 조건으로 설계한다.

이러한 표면 조건에 의해 각각 다른 형태의 간단한 전압 펄스를 인가하여 Uniform state(U)와 Twisted



[그림 8] BiNem LCD의 구조 및 동작 특성

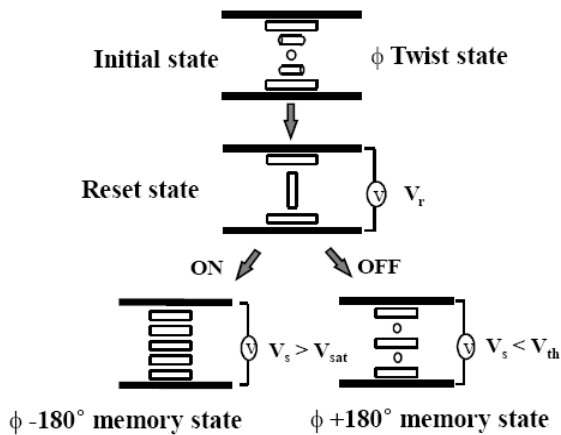


[그림 9] BiNem mode display 제품

state(T) 두 개의 안정된 액정 상을 유도하며 각각의 액정상은 switching 전압이 없을 경우 memory 특성을 보이게 된다. Steep falling edge pulse를 인가하게 되면 액정 층의 burk 영역에서 야기 되는 액정 backflow가 하부 기관 쪽의 액정 분자들을 상부 기관 쪽의 액정 분자 배열 방향과 반대방향으로의 배열을 유도하게 되어 결과적으로 dark 상태의 Twisted state를 유도한다. Smooth falling edge pulse가 인가되면 elastic relaxation의 영향으로 bright상태의 uniform state를 유도하게 된다. [그림 9]에는 ZBD 사 공개 자료를 나타냈다.

(4) BTN모드 및 기타모드 (T-BTN, BCSN, BBS 모드)

두 개의 안정된 twisted state를 가지는 BTN (Bistable Twisted Nematic) 모드, 즉 액정의 꼬임각이 서로 다른 두 가지 준안정 상태를 표시하는 모드이다. 구동원리 [그림 10] 를 보면 초기상태는 상하기관의 러빙 각도와 콜레스테릭 액정의 doping량으로 180도 꼬이게 한다. 셀에 Freedericksz 전위 이상의 reset 전압을 인가하여 액정분자가 일어서게 한다. 다음으로 V_{th} 이하로 전압을 갑자기 낮추면 backflow 현상이 일어나 초기꼬임각 + 180 상태로 전이하고 (그림에서 off상태), V_{th} 이상의 전압을 인가하면 액정은 reset흐름에 역행하여 초기 꼬임각-180도 (그림에서 on상태), 로 전이한다. 따라서 초기 꼬임각이 180도인 경우 쌍안정상태는 0도와 360도가 된다. 0도 상태에 직교편광판을 사용하면 black state 가 된다. 장점으로는 CR, 시야각, 응답속도,



[그림 10] Bistable twist nematic (BTN) LCD의 구조 및 동작 특성

passive 구동 등이 있으나, 단점으로 장시간 bistable 유지나 grey scale 구현이 어렵다.

기타 T-BTN (Three-terminal bistable twisted nematic) 모드, BCSN(Bistable chiral splay nematic)모드, BBS (Bistable bend splay) 모드 등이 memory성을 갖는 액정 모드로 제안 연구되고 있다.

2. 국내 기술 개발 동향

기존 LCD등의 평판 디스플레이 산업은 세계 최고의 기술력을 가지고 있으나, 고해상도, 고속응답 Flexible Color E-Paper의 경우 관련 기술이 초기 단계이고 독자적인 원천 기술은 전무한 상태이다. 미국, 일본, 유럽에 비해 비교적 늦게 플렉서블 디스플레이에 관한 연구를 시작하여 원천기술 및 특히, 핵심 부품, 장비, 재료분야에 걸쳐서 많이 뒤쳐져 있는 것이 사실이다. 현재 삼성전자, 삼성SDI, LGD, LG전자, LG화학, 동진세미켐, 소프트픽셀, 네오릭스, 아이컴포넌트 등의 기업 연구소를 비롯하여 전자부품연구원(KETI), 한국전자통신연구원(ETRI), 한양대, 고려대, 동아대, 호서대, 경희대, 서울대 등에서 전자종이 관련 기술에 대한 기초 및 응용 연구가 진행 중이다. 하기에 주요기관의 관련 동향을 소개한다.

(1) 삼성전자

삼성전자는 7인치급 이상의 플라스틱 LCD 개발을 완료하였고, 모바일 디스플레이용 2.2인치 풀 컬러 투과형 플라스틱 TFT-LCD 모듈을 개발하였다. 유기소재 기반의 OLED, OTFT에 대한 연구도 활발히 진행하고 있어 전자종이 관련 기술개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 그리고 플라스틱 LCD공정기술의 일부를 확보한 것으로 알려져 있다. 또한 콜레스테릭 액정기반 e-paper 기술을 2007년부터 개발 중에 있는 것으로 알려지고 있다. 또한 blue phase LC를 이용한 LCD 패널도 연구개발 되고 있다.

(2) 삼성 SDI

2002년 세계 최초로 전자책 단말기용 최적의 디스플레이인 접을 수 있는 콜레스테릭 LCD(Cholesteric Liquid Crystal Display)를 이용한, 화면 사이즈가 8.4인치 (가로 171mm, 세로128mm), 해상도 VGA(640×480)급 140ppi (pixel per inch/1인치당 화소수)를 개발한 이력이 있다.

[그림 11] 구동속도 개선을 통해 한 화면의 구현시간을 기존의 3~4초에서 1초 이내로 3배 이상 단축하였고, 구동전압을 30V 이하로 낮춰 이미 STN-LCD에서 사용 중인 구동회로를 그대로 사용할 수 있다고 보고 하였다. 새로운 액정 혼합물과 배향 막의 러빙 파라미터 최적화를 통해 콜레스테릭 액정표시장치의 구동전압을 기존의 30 V에서 25 V까지 감소시키고 반사율을 향상시켜 명암 비를 증가시켰으며, 최대 단색 16계조



[그림 11] SDI CLC mono E-book

를 구현한다. 콜레스테릭 액정의 구동 방법 변화를 통한 gray-scale 개선을 위한 연구가 진행되고 있으며, 최대 32 계조를 구현한다. 그러나 이 기술은 mono color 방식이었고, 현재는 더 이상의 개발이 보류된 상황이다. 삼성전자, LGD와 같은 세계적인 Display관련 국내 업체를 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있지만 전반적으로 액정디스플레이 전자종이 기술이 다른 기술 선진국들에 비해 많이 뒤떨어진 상황이다. 특히 원천 기술 및 특허, 그리고 핵심 부품 및 장비, 재료 분야에서는 미국, 일본, 유럽 등에 비해서는 많이 낙후되어 있는 분야다.

(3) 기타 산학공동 연구그룹

최근 효과적인 연구 및 개발을 위해 산학연 (한양대, 부산대, 동아대, 전북대, 삼성전자, LMS사 등) 공동 연구를 통해 1-panel 풀 칼라 구현기술, 구동기술, 공정기술을 공동 개발 중에 있다.

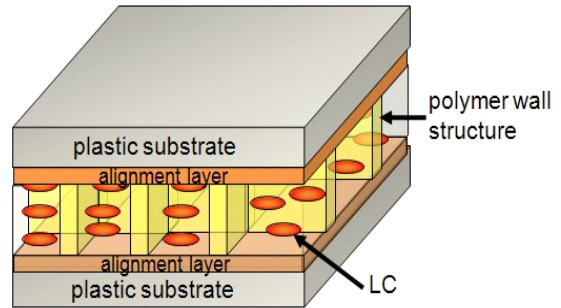
한양대학교 연구진은 플렉서블 전자종이를 개발하기 위한 연구를 수년에 걸쳐 현재까지 진행해 오고 있으며, 플라스틱 디스플레이 안정화 모드 기술 (PILC)을 연구하고 있으며 [그림 12], 기존 액정모드를 이용한 3" 플라스틱 시제품 [그림 13] 개발하였다. 또한 콜레스테릭액정을 이용한 1-panel 풀 칼라 구현을 위한 연구를 하고 있으며 RGB 구현의 feasibility [그림 14]를 확인하였고, 연구개발을 진행하고 있다.

그리고 부산대학교는 구동 기반기술보유, 동아대학교는 플라스틱 기반기술, 구동기술 보유, 전북대학교는 액정모드 기술 보유, LMS사는 필름제조기술 보유, 삼성전자는 LCD제조기술 보유하고 있어 산학공동연구를 통해 액정기반 전자종이에 대한 원천기술 및 실용화 기술들이 연구및 개발이 될 것으로 기대된다.

III. 액정기반 전자종이 개발이슈 및 전망

상용화가 가장 빠를 것으로 예상되는 액정 기반을 둔 e-paper 기술을 [표 4]에 주요 기관별 수준 및 특징

을 나타냈다. 표에서 보듯이 Kent displays 와 Kent 대학의 LCI 연구소에서 원천기술을 많이 갖고 있으나 3-panel방식으로 집중화 되어있다. 일본 후지쯔사는 응용관점에서 PM 방식으로 접근하고 있다. 이에 비해 SDI사는 mono color방식으로 PM 구동방식을 전시한바 있다. 그러나 제조공정 단순화 및 원가측면에서 1-panel 방식 개발의 필요성이 제기되고 있다. 또한 유비쿼터스 시대의 제품 요구사항에 맞추기 위해서는 고정세화도 요구된다.



[그림 12] 플라스틱 디스플레이 안정화 모드 (PILC)



[그림 13] 플라스틱 안정화 모드를 활용한 LCD 시제품 (SPIE 2009 invited talk:한양대학교)



[그림 14] 1-panel 2 칼라 구현기술 현황 (한양대 연구 진행 결과 중 일부)

[표 4] 액정기반 전자종이 기술의 주요 기관별 수준 및 특징

국가	업체	기술수준 및 특징	전망	
미국	Kent displays	<ul style="list-style-type: none"> - 1998년 CLC 6인치 VGA mono 개발 - 2001년 105*171mm, 600dpi 개발함 - 2004년 polymer wall을 사용한 CLC320*320 개발함. - 2005년 Encap CLC와 PDCLC를 개발함 - 2006년 PIPS CLC 를 개발함 - PSCT 방법을 이용 Roll to roll 공정 set up - PM 구동을 이용하여 5.5" QVGA 개발 - 1-panel Multicolor Reflective Cholesteric Display (2007) - PM 방식 	* 전자종이의 상업화를 주도함	
	KSU	<ul style="list-style-type: none"> - CLC 원천기술 보유 - Photunable CLC 구동전압 높음 (>60V) - 1-panel, PM 방식 	<ul style="list-style-type: none"> * 구동전압 낮추는데 주력 * 원천기술 개발 	
일본	후지쯔	<p>05년-3.8인치 QVGA (320*240), 화소핏치 0.24*0.24mm, 106ppi, 3초</p> <p>06년-7.8인치 VGA (640*480), 화소핏치 0.25*0.25mm, 102ppi, 6초</p> <p>06년-11인치 QVGA (320*240), 화소핏치 0.70*0.70mm, 36ppi, 3초</p> <p>공통점: 반사율 25%, RGB 3패널방식, 색수 4096색, PM 방식, 패널두께 0.8mm, 구동전압>35, LC: -20~85℃ [Nikei FPD 2007 전략편]</p>	-	
대만/중국	ITRI	<p>IDW 06년: Inkjet Printed Multicolor Cholesteric Liquid Crystal Display 발표</p> <ul style="list-style-type: none"> * 1-panel, AM 방식, a-si TFT 320*240, 수직배향 (one side) * RGB 독립 chiral dopant doping * 셀갭 3.5, <ul style="list-style-type: none"> • 동화상 구동 조건 * Data 전압 : 30V STN IC 적용 * 계조 표현 : multiple sub-frames * Sub frame Refresh:Homeotropic blinking, 20~60 Hz (flicker free) 	-	
한국	SDI	<ul style="list-style-type: none"> - 2002년 8.4인치, VGA (640*480), 140ppi를 개발 * mono, PM구동, 16계조, 구동>30V, 100ms - mono 방식, PM 방식 	-	
	한양대 주관 G	-1-panel 풀 칼라 구현 연구(한양대)	안정화 모드 기술 확보	공동연구 및 개발 1-panel 방식 원천기술 확보 제품기술 개발
		- roll to-roll 개발 중 (LMS 사)	필름 양산 기술 보유	
		- 구동기술 개발 중 (부산대-동아대)	LCD 구동기술 보유	
		- 고속액정모드 연구 중 (전북대)	각종모드 개발기술 보유	
- 공정 및 소재기술 개발 (삼성전자)	LCD 1위 업체			

Single layer full color 구현 방식은 Multilayer의 경우와는 달리 단일 cholesteric 액정 층을 이용하여 pixel 별로 다른 반사 color를 구현하는 기술이다. 대만의 ITRI사는 응용관점에서 AM 방식의 1-panel 방식으로 pixel 단위로 패턴 된 격벽을 이용한 pixel separation 이후 직접 RGB 각각의 cholesteric LC를 진공 주입하여 full color cholesteric LCD를 구현하는 기술이 소개되었다. 그 외 에도 발표된 기술로는 [그림 15]에 나타난 것처럼 photosensitive한 물질의 농도를 조절하는 기술, 온도 variation을 통해 cholesteric LC의 pitch를 조절하는 기술, 전압에 의한 pitch 조절 등의 기술들이 소개되었다.

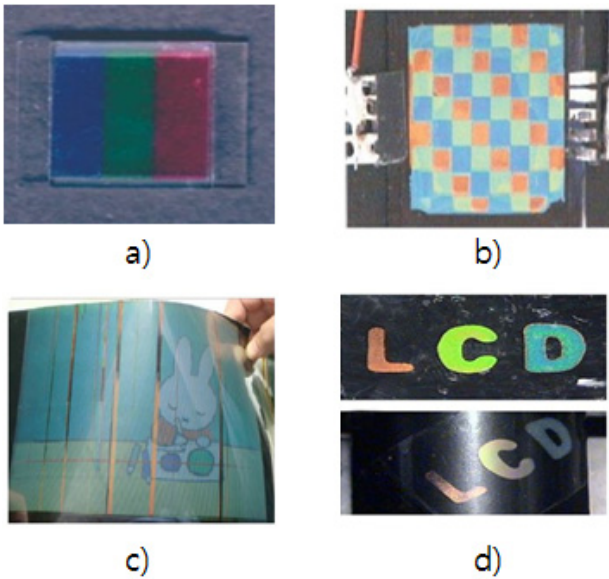
이들 기술들은 구동전압이 높거나 피치의 안정성이 부족하다는 문제를 가지고 있다. Cholesteric LC를 이용

한 반사형 LCD의 경우 이론적으로는 반사율이 50%에 달해야 한다. 유리 기판을 사용하여 반사형 디스플레이를 구현 하였을 때는 이론적 수치에 거의 근접한 반사율을 구현할 수 있지만, plastic 기판을 사용하였을 때는 모드의 안정화 방법에 따라 반사율이 12%에서 30% 수준까지 달성된 것으로 보고되고 있다. 이와 같이 plastic 기판을 사용하였을 때 낮은 반사율을 보이는 것은 안정화 구조 형성 시에 cholesteric 액정의 domain들이 작은 영역 내에 갇히게 되어 산란광의 세기가 감소되기 때문이다. 반사율뿐만 아니라 Contrast ratio 역시 유리 기판의 경우 20:1에서 30:1의 수치를 보이지만, plastic 기판에 cholesteric LCD를 구현하였을 때 약 10:1 정도로 수치가 저하된다고 보고되고 있다. 따라서 액정 표시 소자의 개발을 위해서는 single layer에서 full color를 구현할 수 있으며 높은 디스플레이 표시 특성을 나타낼 수 있는 기술 개발이 요구되고 있는 실정이다.

콜레스테릭 액정형 모드전자종이 전망으로는 콜레스테릭 액정형 모드에 대하여 신 물질의 개발, 새로운 모드의 구현, 구동 mechanism의 개발 및 공정 기술 개발을 통하여 그 특성을 극대화 하고, 융합한 신개념의 dynamic/memory 및 active/passive 구동이 가능한 hybrid display 개발도 제기될 것으로 본다.

플렉서블 컬러 전자종이는 기술 개발 초기 단계이므로 국내의 관점에서 본다면 국내의 산학연을 통해 원천 특허 확보 및 기술 선점이 요구되며, 관련 소재 및 공정의 개발을 통해 차세대 전자종이 시장의 선점이 가능하게 할 수 있을 것으로 기대한다. 하기 [표 5]에 액정기반 전자종이 디스플레이 현 수준 및 3~5년 후의 기대치를 나타냈다.

기술적 효과로는“고해상도, 고속응답 칼라 전자종이 기술 개발”을 위한 연구는 국가 17개 신 성장 동력 사업 중 첨단 융합 산업으로(플렉서블 디스플레이) 국가 차세대 성장을 견인할 핵심 전략 기술이라 할 수 있다. 기술 선도국과의 격차를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 그 우위에 설 수 있는 것으로서, 전자 종이에 국한되지 않고 플렉서블 디스플레이 전반에 대한 새로운 분야를



- a) UV intensity 조절을 이용한 pitch variation 기술로 구현된 color cholesteric LCD
- b) 온도 조절을 이용한 pitch variation 기술로 구현된 color cholesteric LCD (Philips, 네덜란드)
- c) pixel 단위로 RGB cholesteric LC를 진공 주입하여 구현한 color cholesteric LCD (ITRI, 대만)
- d) 전압 세기 조절을 이용한 pitch variation 기술로 구현된 color cholesteric LCD

[그림 15] 1-panel 칼라 구현기술 현황

[표 5] 액정기반 전자종이 디스플레이 현 수준 및 전망치

주요 Spec)	단위	세계최고 수준	국내수준	
			현 수준	3~5년 후 (전망치)
1. Color E-paper	수	-	독자적인 국내 전자종이 기술이 없음	>64K
2. 해상도	ppi	140ppi (미국/Kent display)		>200
3. 콘트라스트		30:1 (미국/Kent display)		>20:1
4. 구동전압	V	30V (미국/Kent display)		<30
5. 응답속도	ms	0.2ms (일본/브리지스톤)		<10
6. 곡률반경	cm	-		3cm이하
7. 시야각	도	180		180
8. 기판	-	플라스틱/유리		플라스틱/유리
9. 구동방식		수동형		수동형/능동형

개척하는데 유용할 것이다. 산학연 연구개발을 통해 원천 기술 확보와 기술 확산을 통한 국가의 경쟁력 강화를 얻어낼 수 있을 것으로 전망된다.

경제·산업적 효과로는 기존의 경쟁이 치열한 red ocean의 디스플레이 산업이 아닌 새로운 blue ocean 산업분야이다. 따라서 현존하는 시장이 아닌 미래 가치 지향적인 시장을 형성하는 기술로서 그 가능성이 무한하다 할 수 있다. 원천기술의 개발 및 산업 인프라의 구축은 향후 시장을 선도하기 위한 필수불가결한 요소라 할 수 있다. 산업체와의 공동연구 및 기술 이전을 통하여 국가의 성장 동력인 디스플레이 및 반도체 사업의 세계 정상을 유지하기 위한 차세대 디스플레이 사업으로 활용/발전될 것으로 전망한다.

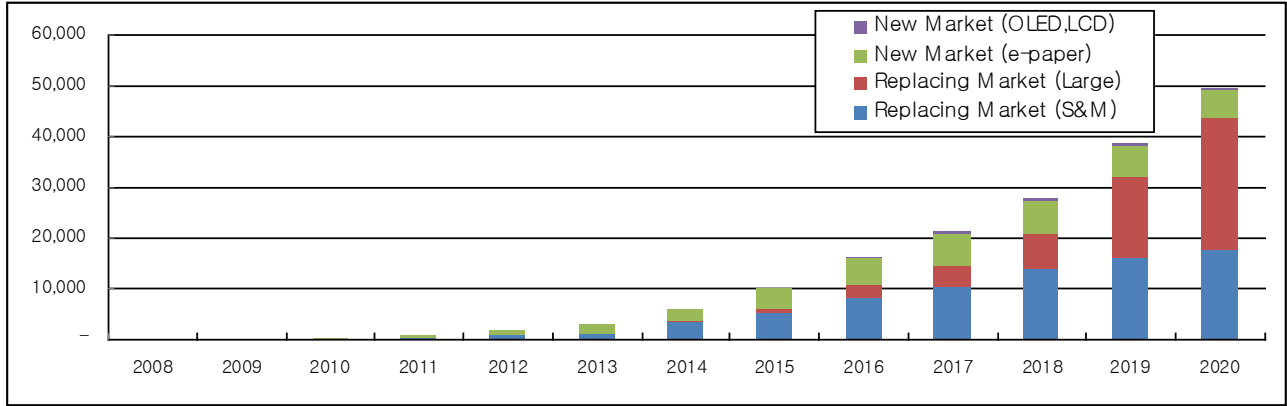
부가적인 효과로는 디스플레이에 사용되는 각종 유기 재료에 관련된 산업 뿐 아니라 이 기술을 활용한 다양한 응용 기술 산업 분야 및 공정 장비 기술 분야까지 전·후방 산업에의 파급 효과가 큰 기술이다. 특히 전자종이 및 플렉서블 디스플레이 전용 장비에 대한 기술 개발은 디스플레이 제조 경쟁력을 높일 뿐 아니라 장비 수출 효과를 기대할 수 있다. 고성능 전자 종이와 같은 미래형 디스플레이 구현을 위한 기술 개발을 통

하여 국내 기업이 디스플레이 및 반도체 산업에서의 세계 시장에 대한 지배력을 강화하고, 향후 경쟁이 치열할 차세대 전자소자 시장에서도 독자적 기술을 바탕으로 경쟁력을 확보하는데 기여할 것으로 전망된다.

IV. 전자종이 지식재산권 현황 및 시장현황

전자종이 관련 US 출원건수는 액정기반 및 particle 기반을 합하여 850건 이상이 출원되었으며, 전자종이 관련 국내 특허는 400건 이상이 출원되었으나, 실용화하기 위해서는 아직 극복해야 할 기술들이 산재해 있다.

디스플레이뱅크 자료에 의한 플렉서블 디스플레이 전체 시장전망을 [그림 16], [표 6]에 나타냈다. 표에서 보다시피 플렉서블 디스플레이 전체 시장 중 e-paper부분에서 2009년 8.6 천만 불에서 2013년 약 19억불 2015년 약40억불 2020년에는 약 53억불로 획기적인 시장성장을 할 것으로 예상된다. 플렉서블 디스플레이의 중심 어플리케이션은 2011년까지는 신규 어플리케이션인 e-paper 기술 기반의 e-Book 및 광고판 등이 될 것이며, 그 이후로는 모바일 폰을 중심으로 한 중소형 대체 어플리케이션이 시장을 리드할 것으로 전망 된다.



[그림 16] 플렉서블 디스플레이 전체 시장전망-금액기준 (출처: 디스플레이뱅크 2008)

[표 6] 플렉서블 디스플레이 전체 시장전망 - 금액기준

	2009	2011	2013	2015	2017	2020
Replacing Market (S&M)	30	3,91	1,280	5,262	10,279	17,730
Replacing Market (Large)	-	-	-	619	4,310	25,964
New Market (e-paper)	86	552	1,894	3,998	6,231	5,358
New Market (OLED,LCD)	-	-	18	160	516	785
Total	117	943	3,192	10,039	21,335	49,837

(Mili. US\$)

“디스플레이뱅크 2008 보고서”에 의하면 플렉서블 전자 종이 디스플레이의 신규 어플리케이션 시장은 2008년, e-paper 기술을 기반으로 7인치 이하의 e-Book과 Smart card로부터 시작될 것으로 예상된다. 또한, 2009년부터는 e-paper의 대형화와 칼라화가 진척되어 A4사이즈의 칼라 e-Book과 같은 어플리케이션도 출현할 것으로 기대된다.

V. 결론

액정기반 전자종이디스플레이의 모드 및 개발동향에 대해 소개를 하였다.

전기영동디스플레이는 장점으로는 콘트라스트, 시야각, 반사율 등이 있으나, 극복되어야 할 기술로는 구동전압이 높으며, 동작 할 수 있는 온도범위가 좁고, 수분

함량 조절이 난점으로 극복되어야 할 기술이 있고, 풀칼라를 위해 칼라필터를 사용해야하는 한계점이 있다.

콜레스테릭액정 디스플레이는 장점으로는 콘트라스트, 시야각, 반사율 등이 있으나, 극복되어야 할 기술로는 구동전압을 더 낮출 필요가 있고, 단일 기판에 풀칼라 구현기술, 구동기술, 고속응답기술 및 roll to roll 기술 개발로 제조원가를 낮출 필요가 있다. 전자종이 기술별로 장단점을 가지고 있어 어느 기술이 우세할지는 극복해야 할 기술이 얼마나 빨리 연구 및 개발 하느냐에 달려있다고 본다.

액정기반 전자종이 기술은 기존 LCD 기반기술 활용 및 산학공동연구를 통해 전자종이에 대한 원천기술 및 실용화 기술들이 빠르게 연구 및 개발이 될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] 서경수, 김철임, 강승열, “전자종이의 기술개발 동향” KIDS 제 6권 5호 (2005년 10월)
- [2] 김창동, 박용인, 백승환, “플렉서블 액정디스플레이 기술현황”KIDS 제 9권 5호(2008년 10월)
- [3] 김인선, “플렉서블 디스플레이용 기관 개발동향”KIDS 제 9권 4호 (2008년 8월)
- [4] 전황수, 허필성, 유인구, “플렉서블 디스플레이 기술 및 개발동향”ETRI 제 23권 5호 (2008년 10월)
- [5] 진민영, 김재훈, Flexible Liquid Crystal Display 기술동향”물리학과 첨단기술 (2008년 10월)
- [6] Gregory P. Carwford, “Flexible Flat Panel Display” John Wiley & Sons, Ltd ; 이신두, 김재훈, 유창재 공역 “ 플렉시블 평판디스플레이” 청범출판사 2008년
- [7] Displaybank "Flexible Display Technology and Market (2007-2017)" report
- [8] “Flexible LCD 기술현황 및 개발 로드맵”, 전자부품연구원 2007.
- [9] “플렉시블 디스플레이”, 전자부품연구원 2006.
- [10] Kent displays 논문집, 1993-2008년 100편 이상중 관련 부분 (<http://www.kentdisplays.com/tech/papers.html>)
- [11] USDC Flexible Display Report (2004)
- [12] 전철규, “ Flexible dual operation device with tri-state LC cell” 프론티어(2008)
- [13] 신성태, “세계 최초 blue phase LCD패널 개발”KIDS 제 9권 5호 (2008년 10월)
- [14] Yuan Chang Liao, Jen Chieh Yang, Jyh Wen Shiu, Yi Siu Tsai, Shin Hsien Liu, Chin Jen Chen, Chien Chih Hsu, Wen Chih Chen, Yu Pei Chang, and Rui Ling Sun, “Flexible Color Cholesteric LCD with Single-Layer Structure”, *Tech. of SID08*, pp807-809, (2008).
- [15] Haiqing Xianyu, Tsung-Hsien Lin, and Shin-Tson Wu, “Rollable multicolor display using electrically induced blueshift of a cholesteric reactive mesogen mixture”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 89, p091124, (2006).
- [16] Rienk Eelkema and Ben L. Feringa, Amplification of chirality in Liquid Crystals, *Org. Biomol.Chem.*, 4, 3729-3745 (2006)
- [17] Monika Bauer, Christine Boeffel, Frank Kuschel, Horst Zschke, Evaluation of Choral dopant for LCD applications, *Journal of the SID*, (2006)
- [18] Giovanni De Filpo, Fiore P. Nicoletta, and Giuseppe Chidichimo, “Cholesteric Emulsions for Colored Displays”, *Adv. Mater.*, Vol. 17, p1150, (2005).
- [19] J. Cliff Jones, " The zenithal Bistable Device" P1347, SID 07 digest, (2007)
- [20] Irina Shiyonovskaya, Sankar Barua, Seth Green, Asad Khan, Greg Magyar, Duane Marhefka, Nick Miller, Oleg Pishnyak, and J. William Doan, “Single Substrate Coatable Multicolor Cholesteric Liquid Crystal Displays”, *Tech. of SID07*, pp65-68, (2007).
- [21] R. A. M. Hikmet, R. Polesso, “Patterned Multicolor Switchable Cholesteric Liquid Crystal Gels”, *Adv. Mater.*, Vol. 14, pp502-504, (2002).

저 자 약 력

반 병 섭



- 1989년 : 건국대학교 화학과 학사, 석사 (1991년), 박사(1999년)
- 1992년~1996년 : 현대전자 연구원
- 1994년 : 미국 IQT 사 Visiting Scientist
- 1999년~2007년 : 삼성전자 수석연구원
- 2005년~2006년 : 미국 켄트주립대학교

액정연구소 Visiting Scientist

- 2008 유화기업 이사
- 2008년~현재 : 한국폴리텍대학 신소재응용과 겸임교수
- 2008년~현재 : 한양대학교 전임연구교원

김 재 훈



- 1987년 : 서강대학교 물리학과 학사
- 1989년 : 미국 오레곤대학교 물리학 석사
- 1996년 : 서강대학교 물리학과 박사
- 1989년~1990년 : 현대전자 연구원
- 1996년~1999년 : 미국 켄트주립대학교
액정연구소 Post. Doc
- 1999년~2000년 : 삼성전자 책임연구원

- 2000년~2004년 한림대학교 물리학과 조교수
- 2004년~현재 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 부교수