

차세대 영상화 고분자필름의 광학특성 제어기술

이상국 · 박순중 · 이미혜 · 서동학 · 신승한 · 최경호

1. 서론

FPD(Flat Panel Display) 산업은 년 10% 이상 성장하는 고성장 산업이며, 한국은 이 산업에서 44.8%의 생산량을 차지하고 있는 제 1

강국으로서 FPD 산업을 주도하고 있다(그림 1). 그러나 계속적인 패 널가격하락과 대만의 약진, 중국의 등장, 그리고 최근에는 일본의 제도약을 위한 움직임은 성장하는 이 산업의 향후 주도권이 어디로 향 할지 모를 정도로 치열한 경쟁이 진행되고 있다(그림 2). 그 중에 현

이상국

1983 부산대학교 화학과(학사)
1985 KAIST 화학과(석사)
1993 University of Akron(박사)
1985~ Kolon 기술연구소 선임연구원
1993~ SKC 중앙연구소 수석연구원
2003~ 에이스디지텍 연구소장
2006~ 한국생산기술연구원 청정생산시스템
현재 본부 청정생산기술연구부장

박순중

1985 서울대학교 화학공학과(B.S)
1987 서울대학교 화학공학과(M.S)
1994 University of Akron(Ph.D.)
1988~ 한국과학기술연구원 연구원
1989
1994~ Rensselaer Polytechnic Institute
1995 (Post-Doc.)
2005~ 한국과학기술연구원 책임연구원
현재

이미혜

1983 서울대학교 화학교육과(학사)
1985 KAIST 화학과(석사)
1991 KAIST 화학과(박사)
1985 한국화학연구원 연구원
1991 한국화학연구원 선임연구원
1999~ 한국화학연구원 책임연구원
현재
2007~ 정보전자폴리머연구센터장
2008~ 화학소재연구단 단장
현재

서동학

1982 한양대학교 화학공학과(학사)
1984 한국과학기술원 고분자화학(석사)
1991 R. P. I. (Rensselaer Polytechnic Institute) 고분자화학(박사)
1991~ R. P. I. Polymer Sci. and Eng. Program(Post-Doc)
1992~ 한국화학연구원 선임연구원
1997~ 한양대학교 화학공학과 부교수
2005~ Cambridge Univ. 초빙교수
2006~ 한양대학교 화학공학과 교수
현재

신승한

1992 서울대학교 공업화학과(학사)
1994 서울대학교 공업화학과(석사)
1998 서울대학교 공업화학과(박사)
1998~ 일본 큐슈대 선도물질화학연구소
1999 (Post Doc)
1999~ 한국생산기술연구원 수석연구원
현재

최경호

1997 경북대학교 고분자공학과(학사)
1999 포항공과대학교 신소재공학과(석사)
2004 포항공과대학교 신소재공학과(박사)
2004~ 삼성SDI MD본부 전략기술개발팀
2007 책임연구원
2007~ 한국생산기술연구원 청정생산기술연구부
현재 선임연구원

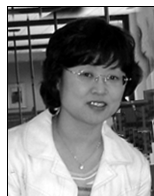
이상국



박순중



이미혜



서동학



신승한



최경호



The Optical Technology of Polymeric Films for the Next Generation Display

한국생산기술연구원 청정생산시스템본부(Sangkug Lee, Seung Han Shin, and Kyung Ho Choi, Clean Technology Research Team, Korea Institute of Industrial Technology(KITECH), Ipjang-Myun, Cheonan 330-825, Korea) e-mail: skdlee@kitech.re.kr

한국과학기술연구원 고분자하이브리드연구센터(Soonjong Kwak, Polymer Hybrid Research Center, Korea Institute of Science and Technology, P.O. Box 131 Cheongryang, Seoul 130-650, Korea)

한국화학연구원 화학소재연구단(Mi Hye Yi, Advanced Materials Division, I & E Polymers Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, P. O. Box 107, Yuseong, Daejeon 305-600, Korea)

한양대학교 화학공학과(Dong Hack Suh, Department of Chemical Engineering, Hanyang University, Haengdang-dong, Sungdong-gu, Seoul 133-791, Korea)

재 산업에서 가장 중요한 부분을 차지하고 있는 LCD(Liquid Crystal Display) 디스플레이의 시장규모는 2007년 기준 FPD 전체에서 85%를 차지하고 있고, 한국은 대형 TFT-LCD 분야에서 수량 부문에서 48.8%의 생산량을 차지하고 있는 제 1강국이다. 그러나 LCD의 제조 비용에서 소재가 차지하는 비율은 약 70%이며, 사용되는 소재의 국산화 비율은 약 30%에 불과해 소재의 핵심기술이 매우 취약한 산

업구조로 되어 있는 것이 현실이다.¹

FPD 산업에서 우수한 소재기술력을 보유하고 있는 나라는 일본이다. 일본은 FPD의 생산주도권을 빼앗긴 이후에 소재 기술력을 바탕으로 디스플레이 산업 및 기술의 방향성을 리드하고 있다. 최근 일본 정부 차원에서 소재기술 보호 및 경쟁력 강화를 매우 강조하고 있어 소재는 FPD 산업에서 향후 수년간 지속적인 디스플레이 가격 및 기술 경쟁력 확보의 쟁점이 될 것으로 보인다.

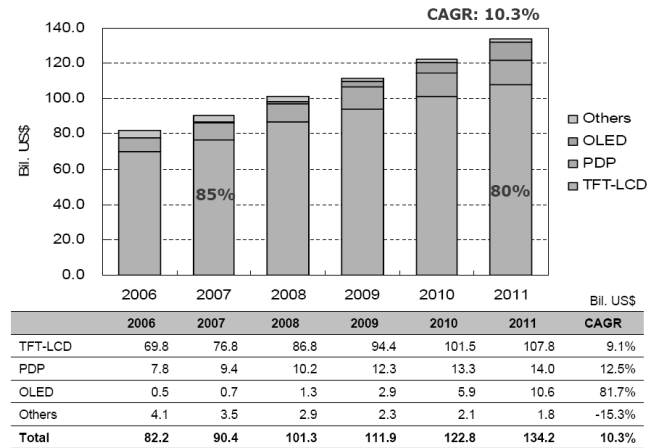


그림 1. FPD(Flat Panel Display) 시장규모(출처:Displaybank).

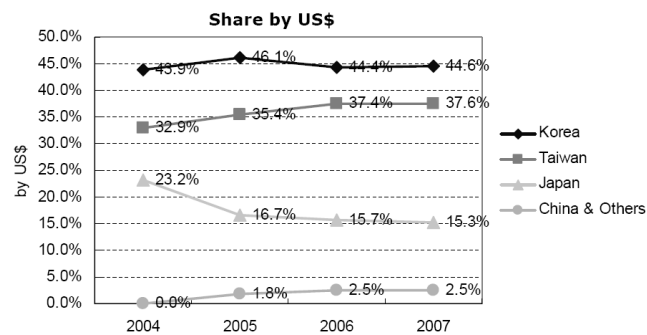


그림 2. FPD(Flat Panel Display) 국가별 생산비율(출처:Displaybank).

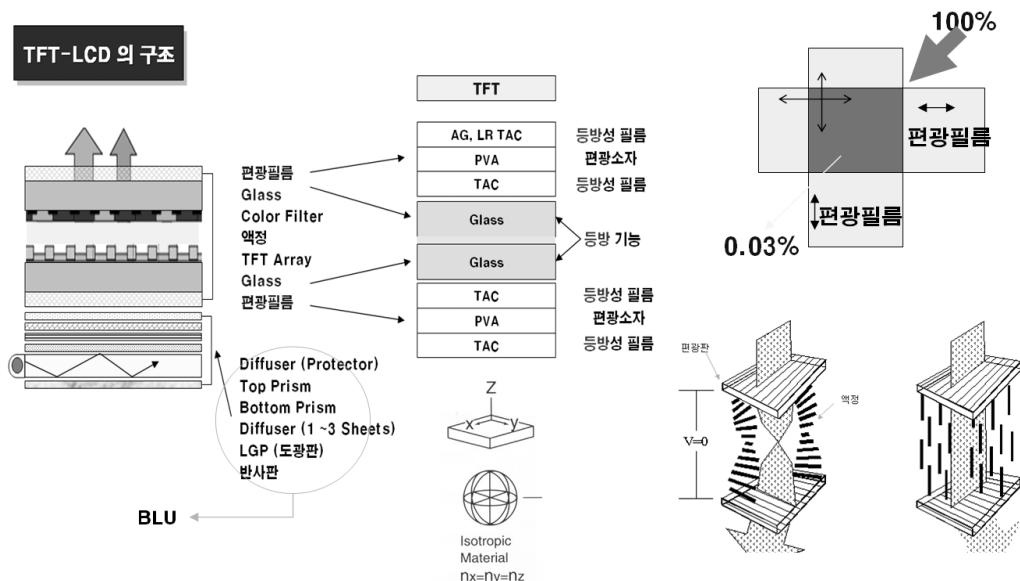


그림 3. TFT-LCD 및 편광필름의 구조.

2. 디스플레이 고분자필름 산업의 현황

LCD에 사용되는 소재 중 고분자 필름에 관련된 부분은 그림 3에서와 같이 편광필름과 BLU(backlight unit) 부분이다. BLU에 적용되는 광학필름의 국산화율은 높은 편이나 편광필름에 사용되는 광학필름의 국산화 비율은 거의 5% 미만에 머물고 있다. 편광필름은 디스플레이 광학특성에 직접적인 영향을 주고 있기 때문에 광학특성 제어를 위한 소재 및 관련기술이 어려운 편이다.

편광필름은 LCD의 구조에서 그림 3에서 보는 바와 같이 패널의 상판과 하판에 위치하고 있으며, 광축이 서로 직각방향으로 위치하고 있어 백라이트에서 나오는 빛을 막아주는 역할을 하고 있다. Normally white 모드에서는 백라이트의 빛이 아래의 편광소자를 통해 형성된 편광이 TAC 필름과 glass를 지난 후 액정에 따라 90도로 회전하여 광축이 수직으로 된 상판의 편광소자를 통해 나오므로 빛이 외부로 나오게 된다. 편광된 빛이 액정을 통해 상판의 편광소자를 통과하기 위해서는 빛이 굴절되지 말아야 한다. 따라서 편광된 빛이 통과되는 모든 소재는 등방성 물질(isotropic material)이 되어야 한다. 편광기능을 가지고 있는 PVA(polyvinyl alcohol) 필름은 일본의 kuraray와 nippon gohsei 만이 생산을 하고 있고, 편광소자 보호필름으로서의 TAC 필름은 일본의 Fuji Photo Film(이하 Fuji로 칭함)과 Konica Minolta Opto(이하 Konica로 칭함)가 전 세계 물량의 95%를 생산 공급하고 있다.² 앞에서 설명한 바와 같이 모든 물질은 등방성 물질이어야 하나, 액정은 이방성 물질이므로 위상차 변화를 시킴으로 인해 LCD

는 많은 위상차 필름 및 보상필름을 필요로 하고 있다. 표 1에 정리한 바와 같이 국내에 LCD-TV 패널 기술인 VA mode에 필요한 보상필름은 Konica의 N-TAC이 주로 사용되고 있다. 계속적인 기술개발로 현재 해상도가 3000:1 정도이며, 앞으로 적용할 4G N-TAC은 5000:1로 예상하고 있다. X-Plate는 한 장으로 보상을 시도했으나 다소 color shift가 있어 고급 사양에는 A-Plate를 상판에 넣어서 문제를 해결하고 있다. 현재 일본 및 대만 업체에서 적용을 하고 있다. 연신필름인 COP(cyclo-olefin polymer) 위상차 필름은 A-Plate와

C-Plate가 같이 사용이 되어 VA 모드 위상을 보상하고 있다. 원가 절감을 위해서 Biaxial Plate를 일부 적용하는 경우도 있다. VA 모드와는 달리 IPS 모드는 Z 축의 굴절률이 적기 때문에 이를 보상할 수 있는 Posi C-Plate가 적용되어야 하나 고가의 관계로 소량 적용이 되고 있다. Posi C-Plate는 액정을 코팅한 액정보상필름으로 일본의 Nitto Denko, 한국의 LG화학이 개발을 하여 제품에 적용을 하고 있다. NRZ 필름은 폴리카보네이트 필름을 Z 축으로 연신한 필름으로 보다 가격적인 경쟁력을 가지고 있다. 최근에 후지가 TAC 필름을 가공하여

표 1. 디스플레이에 적용되는 광학필름의 종류

종류	제품	광학필름	적용분야	제조업체	제조국가
LCD	편광판	PVA	LCD	Kuraray, Nippon Gohsei	일본
		Plain TAC	LCD	Fuji, Konica, IPI(독일), Kodac(미국), 신광(대만)	일본
		N-TAC	VA Mode	Konica	일본
		New TAC	VA Mode	Konica	일본
		3G N-TAC	VA Mode	Konica	일본
		4G N-TAC	VA Mode	Konica	일본
		B-TAC	VA Mode	Fuji	일본
		Z-TAC	IPS Mode	Fuji	일본
		WV-A TAC	TN Mode	Fuji	일본
		WV-SA-TAC	TN Mode	Fuji	일본
		WV-EA TAC	TN Mode	Fuji	일본
		NH	TN Mode	Nisekki	일본
		NR	TN Mode	Nisekki	일본
		LCP	STN Mode	Nisekki	일본
		Posi C-Plate	IPS Mode	Nitto Denko, LG화학	일본, 한국
		X-Plate	VA Mode	Nitto Denko	일본
		J-Plate	VA Mode	Nitto Denko	일본
		A-Plate	VA, IPS Mode	Zeon, JSR, Sekisui	일본
		C-Plate	VA Mode	Zeon, JSR, Sekisui	일본
		Biaxial Plate	VA Mode	Zeon, JSR, Sekisui	일본
		COP 위상차필름	STN Mode	Zeon, JSR, Sekisui	일본
		PC 위상차필름	STN Mode	Teijin	일본
		WRF(W, M, Z)	STN Mode	Teijin	일본
		NRF		Nitto Denko	일본
		NRZ	IPS, STN Mode	Nitto Denko	일본
		DBEF(회도향상필름)	LCD	3M	미국
		AG	LCD	DNP	일본
		AGLR	LCD	DNP, Fuji, Toppan, 일본유지	일본
		LR	LCD	DNP, Fuji, Toppan	일본
		AR	LCD	Toppan, Sony Chemical	일본
		HC	LCD	일본제지, Sony Chemical	일본
		이형필름	LCD	미쯔비세, Teijin-DuPont, Lintech, 도레이세한	일본, 한국
		PET보호필름	LCD	Sun-A, 후지모리, Teijin-DuPont, Lintech	일본, 한국
		PE보호필름	LCD	Sun-A, Nitto Denko	일본
	BLU	보호필름	LCD	Kolon, 찻찻텐, 기모토	한국, 일본
		프리즘시트	LCD	Kolon, LG전자, 두산전자, 신화인터텍, 미래나노텍, 상보, 3M(미국), E/FUN(대만)	한국, 미국, 대만
		광학산 필름	LCD	SKC-Haas, Kolon, 신화인터텍, 도레이세한, 상보	한국
		광학산 Plate	LCD	Kolon, 동우, 제일모직	한국
		Micro Lens Film(MLF)	LCD	SKC-Haas, 신화인터텍, 미래나노텍	한국
		반사필름	LCD	SKC-Haas, 도레이세한	한국
PDP	Filter	EMI 차폐필름	PDP	DNP, Toppan, SOC, Fuji	일본
		색보정필름	PDP	일본화약, SOC, 도요보, SKC-Haas, LG화학	일본, 한국
		AR필름	PDP	일본유지, 일본화약, 아리자와, SKC-Haas	일본, 한국
	Panel	Green Sheet	PDP	삼성SDI, LG전자	한국
OLED	Filter	편광판	OLED	TAC/PVA/TAC 필름 구조	일본
		1/4λ 위상차필름	OLED	WRF, PC, COP 재료 사용	일본

위상을 제어할 수 있는 Z-TAC을 개발함으로써 IPS 모드에 많이 적용이 되고 있다. TN 모드의 대형 패널에는 후지의 WV 필름이 독점을 하고 있고, 소형부에는 Nisekki가 일부 진출하여 일부 시장에 진출을 하고 있다. STN 모드는 현재 한국시장은 거의 없어지고 수출쪽만 남아 있으며 앞으로 이쪽 분야의 적용필름의 수요는 계속 감소될 것으로 판단된다. 반사방지필름은 기술적 접근이 쉬움에도 불구하고 국내 코팅전문기업들이 진출을 잘 하지 못하는 이유는 광학수준의 품질관리의 신뢰성에 있다. 거의 대부분의 제품은 일본에서 생산되는 현실이다. 공정용 PE 보호필름이나, 제품용 PET 보호필름만 일부 진행하고 있는 뿐이다.

LCD의 BLU에 사용되는 필름으로는 프리즘 보호필름, 프리즘 필름, 광확산 필름, 광확산 plate, microlens film(또는 microlens array 라고도 함), 반사필름, DBEF(회도향상필름)이 있다. 프리즘 보호필름의 국산화율은 50% 정도이며, 최근에는 사용하지 않으려는 경향이 있으며, 내년정도에는 거의 없어질 가능성도 있다. 프리즘 필름의 국산화율은 거의 70% 정도이며, 미국 3M사와 대만의 E/FUN사가 국내에서 활동하고 있는 상태이다. 프리즘 필름의 국내업체가 다양해짐에 따라서 가격경쟁력이 중요한 요인이 되고 있다. 광확산 필름은 빠른 국내기술개발로 인해 100% 국산화가 되었고, LCD-TV의 시장 확대로 인해 광확산 plate의 수요가 지속적으로 증가하고 있으며 이 제품 기술 또한 국내에서 확보가 되어 국내에서 모두 공급을 하고 있다. 광확산 필름과 프리즘 기능을 합한 기술이 국내에서 최초로 개발이 되어 일본보다 광확필름 기술 분야에서 우위를 차지하게 된 제품이 microlens 필름이다. 보호필름 또한 국내기술로 전량 대체되었으나, 회도향상용 필름은 특히 때문에 아직도 3M에서 독점 공급을 하고 있는 현실이다. 국내 필름전문업체가 3M과 유사한 기술로 회도향상용 필름을 개발하였으나 특히 때문에 시장진출에 어려움을 겪고 있다. 회도향상 필름을 대체할 수 있는 새로운 대체 제품개발이 국내에서 진행되고 있다.

PDP 디스플레이에서의 광학필름은 크게 필터용과 패널용으로 나누어진다. PDP 필터는 국내에서 수요량의 약 50% 정도 제조되어 있으나, PDP 필터에 사용되는 광학필름의 90%는 일본에서 수입을 하고 있다. PDP 필터용으로 사용되는 광학필름은 EMI 차폐필름, 색보정필름과 AR필름으로 구성되어 있다. EMI 차폐필름은 국내 LG 마이크론에서 Litho 공정을 이용해 일부 생산을 하였으나 사업 철수를 함으로써 현재로는 100% 일본에서 수입을 하고 있다. 색보정 필름은 국내에서 색소 및 필름기술로 약 20% 정도 물량을 공급하고 있으나 대부분 일본이 차지하고 있는 현실이다. AR 필름 또한 국내에서 20~30% 시장을 차지하고 있어 고기능 필름의 기술개발이 매우 필요하다.³ 패널 격벽용 그린시트는 국내에서 개발이 되어 자체적으로 해결하고 있다.

OLED 디스플레이에 적용되는 광학필름은 LCD에 사용되는 편광판 한 장과 1/4 λ 위상차 필름이 사용하여 후면 금속판에 의한 외광 반사방지용으로 일부 사용되고 있다.

3. 차세대 영상화 고분자 필름이란?

차세대 영상화 고분자 필름기술은 원천기술 부재인 현재의 국내 디스플레이 소재산업 구조를 탈피하는데 기여하고 미래의 차세대 디스

플레이 분야에 대해 국내 원천의 소재기술 확보를 목적으로 하여 상기에 열거한 현황을 바탕으로 국내 소재기술 현황을 분석하고 국내개발이 시급한 핵심기술을 도출하여 아래와 같이 5가지의 각 세부기술로 분류하였다.

첫 번째는 디스플레이의 모드기술인 “Paper-like display 구현 소재합성 및 전기광학적 기능 제어기술”로 곧 도래할 전자종이 기술 부문이다. 향후 디스플레이 산업분야의 메카트렌드는 고품질 고성능, 저가격의 FPD 개발과 차세대 Flexible Display의 개발로 연구가 진행될 것으로 예상되므로 차세대 Flexible Display 산업분야 중에서는 기존 종이를 대체할 수 있는 Paper-Like Display 개발 분야는 산업경쟁력이 우수한 분야로 예상되고 있다. 전자종이 산업분야는 기존의 FPD 산업과 구별되게 기술이 시장을 선도하는(technology-driven market) 분야이므로 원천기술 확보가 특히 중요한 분야이다. 기존의 E-Ink 방식의 전자종이에 비해 뛰어난 고속응답 특성과 저가의 passive matrix로 적용할 수 있다는 장점을 가진 QR-LPD 방식의 전자종이 구현을 위해 기능성 복합입자 합성기술과 플렉시블 소자구현기술을 바탕으로 한 필름형태의 디스플레이 소재를 확보하여 상용화의 한계성능으로 되어있는 저전압 구동과 내구성 문제를 동시에 해소하고자 하는 것이다.

문제해결의 핵심이 되는 것은 복합입자의 구조와 특성에 있으며, 디바이스 설계 및 제조 기술이 뒷받침 되어 최상의 전자종이 성능을 발휘하게 된다. 입자합성은 유화중합법과 분산중합법 등 기존의 고분자 입자 합성기술을 바탕으로 다양한 표면처리법 및 복합체 형성방법들을 도입해 입자 유동성 조절, 미세화전 조절, 크기 및 분포 조절 등을 실시함으로 다양한 특성의 liquid powder를 제조하고, 이를 격벽이 형성된 기판에 주입하여 디바이스 특성평가를 통해 입자구조와 구동 특성간의 상관관계에 대한 연구를 필요로 한다. 최종적으로 상용화 가능한 수준의 고내구성과 저전압의 구동 liquid powder 전자종이를 구현하고자 한다. **그림 4**에 기능성 복합입자의 구조 및 디바이스 구조에 대해 나타내었다.

두 번째 세부기술은 플렉시블 기판관련 기술로 Roll-to-Roll 대응을 위한 “스퍼터 박막 대체용 액상코팅소재 및 필름 일체화 기술”이다. 현재 플라스틱 디스플레이의 기반이 되는 플라스틱 기판은 유리 기판 대비 높은 가격을 유지하고 있는데 이는 기판으로 사용되는 고내열성 플라스틱 필름의 높은 가격에도 원인이 있지만 진공 스퍼터 공정을 이용하여 이루어지는 기능성 박막 코팅의 높은 비용에도 그 원인이 있다.

플라스틱 기판에 가장 필수적인 기능성 박막 코팅은 기체 차단막과 투명 전도막으로서 현재 이들 기능성 박막은 대부분 고가의 진공 스퍼터 공정에 의존하고 있으며, 이는 플라스틱 기판의 대형화와 저가 격화를 어렵게 하는 요인으로 작용하고 있다. 또한 점점 대형화 추세에 있는 디스플레이 공정기술은 진공에서 이루어지는 스퍼터 공정이 제한된 공간에서 이루어지므로 필름 폭이 증가할수록 장치에 투자하는 비용이 기하급수적으로 증가할 뿐 아니라 대기압에서 이루어지는 액상코팅 기술은 지속적 공정비용 측면에서도 바람직하여 디스플레이 저가격화를 위해 필수 기술이 될 것으로 전망한다.⁴⁻⁷ 본 세부기술에서는 기체차단막과 투명전도막이라는 두 가지의 접근으로 액상 코팅소재 및 디스플레이 적용을 위한 필름 일체화 기술개발을 목표로 **그림 5**에 도시한 과정으로 기술 개발을 진행하고 있다.

세 번째 세부기술은 위상제어 필름 기술로 “메조페이즈 화합물의 분

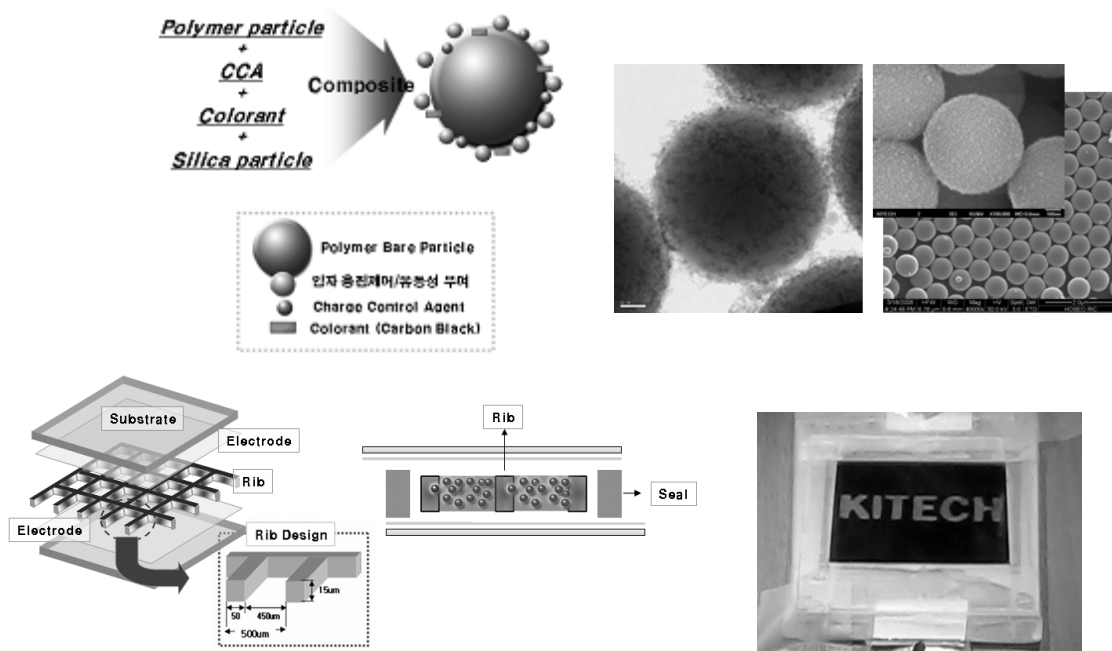


그림 4. 기능성 복합입자의 구조 및 liquid powder방식 전자종이 디바이스 구조.

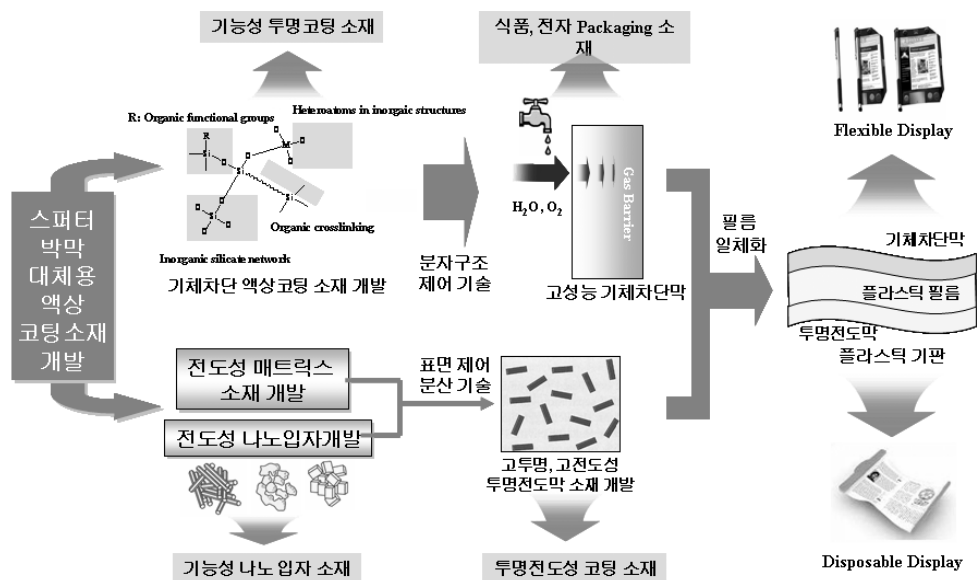


그림 5. 스퍼터 대체를 위한 코팅소재 개발 및 필름 일체화 기술.

자설계 및 필름 특성 제어기술"이다. 광학필름의 고기능화로 현재 디스플레이 산업용으로 실용화된 메조페이즈 화합물의 구조는 가늘고 긴 막대 모양의 봉상형태가 일반적이나, 분자의 중심 부분이 환상 π 전자 공액계를 형성하고 있는 원반상 메조페이즈 화합물의 경우에는, 향후 디스플레이 소자의 성능향상에 핵심적인 역할을 담당하는 새로운 개념의 광학필름 뿐만 아니라, 광통신용 광학소재, 차세대 유기소자용 광·도전성 필름 및 전자사진용 감광필름 등 그 응용 분야가 대단히 광범위할 것으로 예상된다.

기존의 메조페이즈 화합물에서 발현되지 않았던 광학적·전기적 특성을 제공할 수 있는 독창적 구조의 반응성 메조페이즈 화합물 분자 설계·합성, 배향 질서(orientation order)와 상(phase)의 정밀제어 및

고정화 반응을 통한 필름공정기술로서 반응성 메조화합물의 상(phase)과 배향을 조절한 후, 고정화하는 기술로서 온도, 전압, 전기장의 변화 혹은 다양한 용매 조건에서도 고정화 전의 분자배열 및 특성을 그대로 보유할 수 있는 특징이 있다. 디스코텍 네마틱 페이즈를 나타내는 원반상 메조페이즈 화합물로 그림 6과 같은 물질들이 있다.

네 번째 세부기술은 "디스플레이용 광 모듈레이터 소재 합성 및 필름화 기술"로 신개념 디스플레이 구현 기술이다. FPD는 국가 성장동력 산업으로서 전략적으로 자리매김하고 있고, 또한 끊임없는 기술 혁신과 응용분야 확대를 통하여 세계적 기술 및 시장 경쟁력을 유지하고 있는 LCD 산업도 업체 또는 국가 간의 경쟁 심화에 의해 가격하락으로 인한 수익성 악화의 어려움을 겪고 있으며, 특히 핵

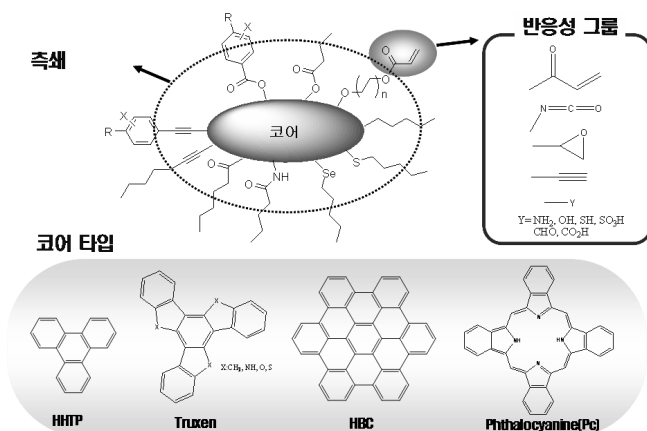


그림 6. 디스코틱 네마틱(N_d) 페이스를 나타내는 원반상 메조페이즈 화합물.

심 소재인 액정과 광학 필름의 해외 의존도가 높은 것이 현실이고 향후 더욱 치열하고 심화될 것으로 예상된다. 따라서, 우리나라의 디스플레이 분야에서의 지속적인 세계적 경쟁력을 유지하고, 차세대 디스플레이에 대한 외국 기술의 의존성을 탈피하기 위해서는 신개념 디스플레이와 이를 구현하기 위한 원천 소재 기술의 선도적 연구 개발이 필수적이다. 미래에는 보다 단순하고 유연성이 있으며, 높은 광효율을 갖는 새로운 개념의 광 모듈레이터형 디스플레이의 개발이 요구되고, 이를 위해 액정 기능을 대체할 필름화가 가능한 신소재의 개발을 필요로 한다. 새로운 광 모듈레이터는 구동 모드에 있어 원천 기술을 제공함으로써 LCD 대비 편광필름 및 위상차필름을 사용하지 않아 광효율을 올릴 수 있고, 또한 구조도 단순화시킬 수 있어 고가의 광학필름 사용을 억제하여 초저가형 디스플레이를 제공할 수 있는 기술이다(그림 7).

신규 광 모듈레이터의 구동 기술은 반사형 디스플레이 기술들에 적용된 빛의 파동성과 관련한 광학 원리인 반사와 간섭을 이용한 파장의 중첩과 상쇄 간섭을 투과형 디스플레이에 필름화 방법을 통하여 구현하는 것으로 매질에 입사된 빛은 굴절률이 다른 계면에서 굴절과 반사가 발생할 것이며 반사된 빛은 다시 굴절률이 다른 입사면에서 투과 방향으로 진행할 것이다. 이 때 빛은 낮은 굴절률을 지닌 층에서 다중 반사를 일으키며 이후 입사한 빛의 진행 경로와 같은 방향의 반사파는 서로 간섭을 발생시켜 빛의 강도를 증폭 또는 상쇄시킨다. 굴절률이 높은 층(n_2)이 λ 의 배수를, 굴절률이 낮은 층(n_1)이 $\lambda/4$ 의 홀수배의 두께를 충족하면 입사한 빛은 상쇄 간섭이 발생하여 빛의 투과량이 감소되는 특성이 나타날 것이다. 이러한 빛의 상쇄 조건을 초기조건으로 하여 인위적인 전기적 제어에 의해 빛의 상쇄 조건이 파괴됨에 따라 빛의 모듈레이션을 실시하게 된다.

마지막으로 현재의 LCD 분야에서 매우 중요한 기능적 역할을 하고 있는 편광소자에 대한 기술로 기존의 필름형 다층소자를 간단한 코팅공정으로 대체하고자 하는 “Coatable polarizer 소재합성 및 편광 기능 제어기술”이다. 편광필름의 박막화 및 저가 제조공정기술은 FPD 기술의 메가트렌드인 극저원가 LCD 및 플렉시블 디스플레이 구현을 위한 핵심 요소기술이 될 것으로 기대한다. 편광필름의 저가화, 박막화를 위해서 요오드형 편광필름과는 다른 새로운 개념의 박막형 차세대 고분자 편광필름의 개발이 모색되고 있는데, 그 중에 대표적인 것이 다색체 색소를 이용한 방법과 콜레스테릭 액정을 이용한 방법이다. 다색체 색소를 이용한 편광필름은 요오드 대신 원반상(disc) 모양의

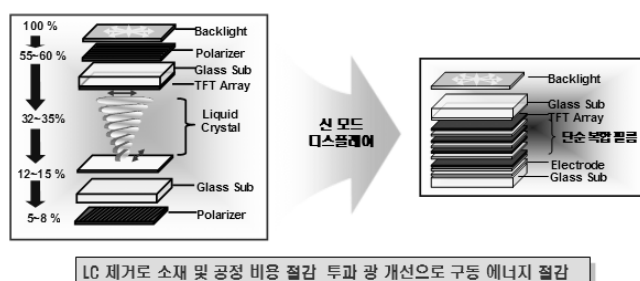


그림 7. 신 모드 디스플레이 기술 개요.

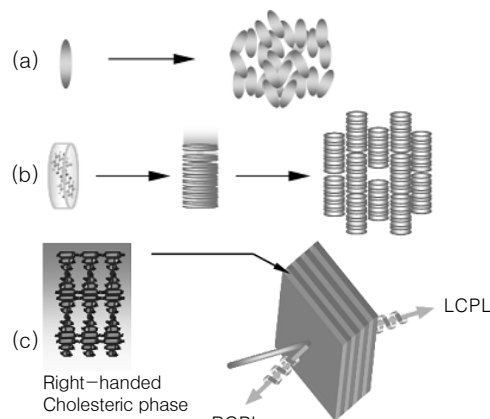


그림 8. (a) 막대기(rod) 모양의 액정과 분자 자기조합으로 형성된 네마틱 상, (b) 원반상 모양의 액정과 분자 자기 조합으로 형성된 컬럼과 그 배향막, and (c) 우원 편광 콜레스테릭 액정 편광판과 작동원리.

다색체 색소(chromonic dye)를 함유한 또 다른 형태의 흡수형 편광 필름이다. 편광판에 사용되는 원반상 모양의 다색체 색소는 π -공액계의 방향족 코어(π -conjugated aromatic core)와 그 주위에 친수성 기능기로 구성되어 있기 때문에 유방성 액정(lyotropic) 성질을 갖는다. 그림 8에 제시된 것처럼 다색체 색소의 π -공액계의 방향족 코어는 강한 π - π interaction을 할 수 있기 때문에 수용액에서 분자 자기조합을 통하여 컬럼(column)을 형성하고 매우 잘 배향된 다색체 유방성 액정 편광판은 원반상 색소 분자의 긴축 방향으로 편광된 빛을 흡수하고 분자의 긴축 방향에 수직 방향으로 편광된 빛을 투과시켜 선형 편광을 만들 수 있다.⁸

콜레스테릭 액정은 일정한 피치(pitch)를 갖는 나선형의 액정상을 가지기 때문에 액정의 피치와 일치하는 원편광된 빛을 선택적으로 반사하는 특성을 가지고 있다. 따라서, 이를 이용하면 자연광 중에 존재하는 특정한 파장의 원편광 빛을 투과하도록 분리하고, 나머지 반사된 빛을 재사용하는 방법으로 고효율의 편광막을 제조할 수 있다. 만약 그림 8과 같이 콜레스테릭 액정이 오른쪽 나선 구조를 하고 있다면, 피치와 같은 파장을 가지는 우원 편광의 빛은 반사하고, 좌원 편광된 빛은 투과한다. 반사된 빛은 다시 백라이트 부분에서 재반사되어 편광판에 재입사된다. 이때 투과된 원편광 빛은 $1/4 \lambda$ plate를 사용하면 선편광된 빛으로 변환할 수 있다. 이와 같이 제조된 선편광 필름은 원칙적으로 흡수 손실이 없으므로, 기존의 요오드형의 편광필름에 비해 편광 효율을 2배 향상시킬 수 있다. 그러나 콜레스테릭 액정은 특정한 파장을 반사하기 때문에 파장대역이 한정되므로 가시광선 전 영역을 포함하는 것이 어려운 점이라고 하겠다.^{9,10}

4. 국내외 기술동향

4.1 전자종이 디스플레이 개발동향

전자종이 기술은 기존 LCD나 PDP 등과는 달리 특정 구현방식을 중심으로 발전하기보다는 다양한 구동메커니즘의 디바이스들이 동시에 연구 개발되고 있다. 현재까지 보고된 전자종이용 구동모드 중에서 E-Ink사의 전기영동방식과 브릿지스톤사의 liquid powder 방식 그리고 Kent대의 콜레스테릭 액정을 이용하는 전자종이가 가장 대표적이라 할 수 있는데, 그 중 E-Ink사 방식이 상용화 보급을 위해 가장 빠르게 움직이고 있다. 이 외에 electro-wetting 및 electrochromic 기술 등이 알려져 있고, 최근 2008 SID에서 silver electrodeposition 기술 등 새로운 방식이 보고되기도 하였다.

E-Ink 전자종이의 기술은 표면하전을 띠는 양극의 흰색 및 음극의 검은입자를 동일한 밀도로 조절한 투명유체와 같이 캡슐 속에 넣어서 이를 균일하게 필름화한 형태로 만들어 전위를 인가하여 구동하는 방식이다. 이 필름의 상품명은 VIZPLEX로 패널업체에 공급하고 있는데, E-Ink사 전자종이의 기술개발 방향은 VIZPLEX 생산효율 증가와 칼라화 방향이고, 또한 저전압 구동은 지속적으로 요구되는 기술이라 밝히고 있다. 칼라화 기술개발은 국내에서도 ETRI와 KIST에서 진행을 해 왔었는데, 현재 시제품으로 나와 있는 칼라 E-INK사 전자종이는 칼라필터를 사용하여 선보인 것이다. 이는 입자 및 반사의 경로로 빛이 필터를 이중으로 통과해야 하기 때문에 광학적 성능은 매우 취약한 것으로 보고되고 있다. **그림 9**에 E-Ink 방식의 흑백 구동원리의 구조를 나타내었다.

유체속의 입자를 활용한 또 다른 기술은 SiPix에서 개발한 Microcup 방식이 있다. **그림 10**과 같이 black 용액 속에 white 입자를 넣어 입자의 구동에 따라 흑백을 display하는 것으로 Roll-to-Roll 방

식의 제조로 전자종이 시제품을 제시하고 있다. 이 제품의 기술방향도 칼라화에 있으며 일부 칼라화 가능성을 제시했다.

입자를 이용한 방식의 또 다른 전자종이 기술로는 브릿지스톤에서 최근에 개발한 QR-LPD 방식이다. 이는 기존의 유체속의 입자의 형태에서 일반 공기속에서 입자를 움직이게 함으로써 응답속도를 0.2 ms 수준까지 현저히 향상시킨 기술이다. 또한 문턱전압이 존재하기 때문에 TFT를 사용할 필요가 없어 저가 및 저 소비전력이 가능한 전자종이 기술이다. 그러나 현재로는 높은 구동전압과 내구성이 떨어져 상업화제품이 아직 출시되지 못하고 있는 실정이다. 외국에서는 최근에 이 방식의 칼라화 기술 시도가 SID에서 발표가 되었다. 각 칼라입자를 가진 입자의 층을 따로 두어 칼라화를 구성한 기술이 발표가 되었다. 그러나 아직 만족할 만한 성능은 달성이 어려워 지속적인 기술개발이 필요할 것으로 판단된다.

액정을 이용한 전자종이 기술개발도 꾸준히 상업화에 도전을 하고 있다. Cholesteric 액정을 이용하여 개발을 시도한 Kent University에서 분사한 Kent display사는 시제품을 제시하여 상업화를 적극적으로 추진하고 있다. 일본의 후지쯔는 2008년 FINETECH에서 시제품을 선보였다. RGB 각각의 층을 형성하여 칼라화도 가능하다는 것을 보였다. 최근에는 단층으로 칼라를 구현하려는 기술개발이 시도되고 있다. 2008년 SID에서 대만의 ITRI가 **그림 11**의 구조로 10.4인치 flexible single layer color cholesteric liquid crystal display를 선보였다. Cholesteric 액정에 광반응성 chiral 도판트를 도입하여 UV노광량에 따른 cholesteric 액정의 twist pitch를 조절하여 반사광의 파장을 변화시켜 단일층으로 칼라를 구현한 기술인데, 국내에서도 엔디스라는 호서대학교내 벤처기업에서 이 기술을 활용한 제품개발을 시도하고 있다. 2006년 벤처기업으로 된 Liquavista는 electrowetting 기술을 이용한 전자종이 상업화를 위해 활동을 하

Cross-Section of Electronic-Ink Microcapsules

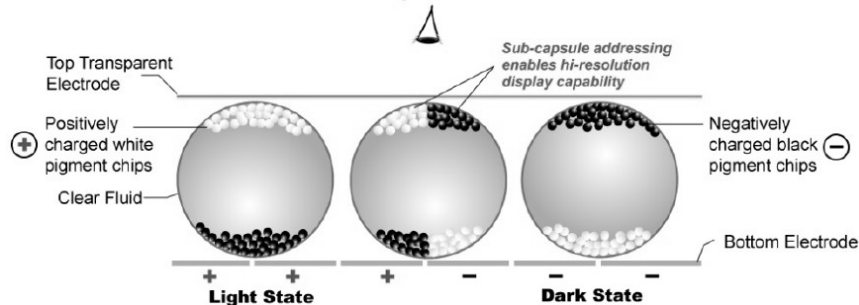


그림 9. E-Ink 방식 전자종이의 동작원리.

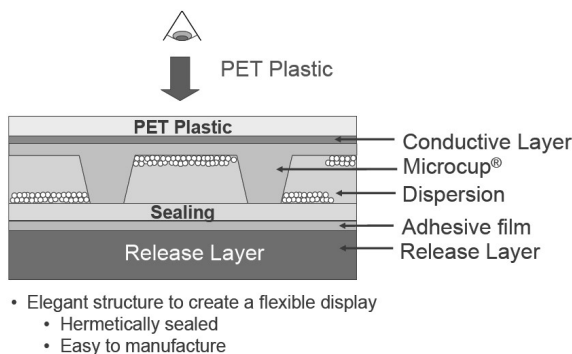
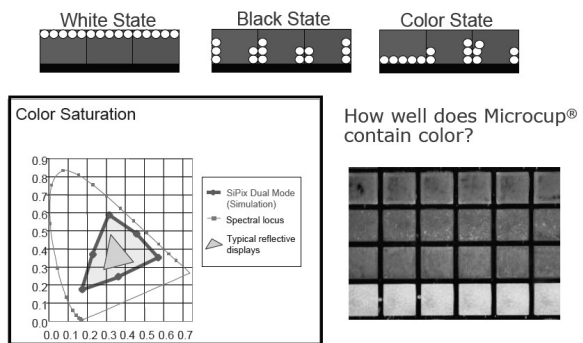


그림 10. SiPix사의 Microcup 방식 전자종이 및 칼라 구현 방식.



고 있다. 이 기술은 필립스 연구소에서 개발이 된 것으로 **그림 11**과 같이 백색 기판위에 색을 띤 오일과 물을 올려 전위차를 이용하여 오일의 수축을 발생케함으로써 색의 변화를 유발케 한다. 2008년 SID에서는 2 mm droplet를 20 V 이하로 passive matrix를 기본으로 작동되는 연구결과를 발표를 했다.

액정을 이용하는 또 다른 접근으로 Binem의 쌍안정 원리를 이용하는 방식이 있다. 액정의 배열을 이용한다는 것은 일반적인 액정의 동

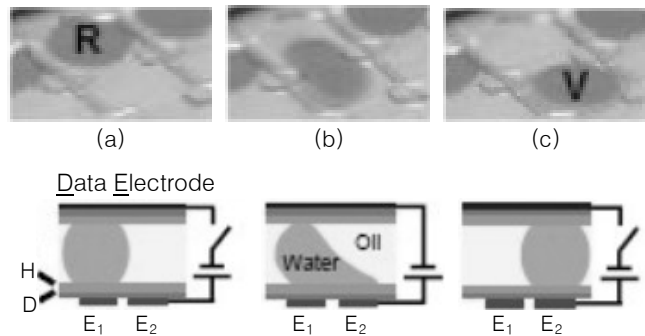
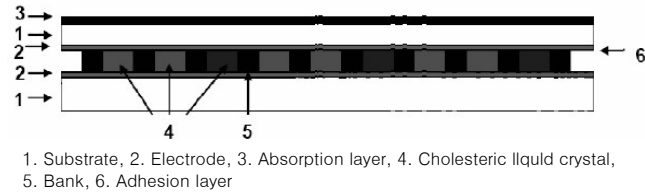


그림 11. 폴칼라 Cholesteric 디스플레이의 Single layer 구현 및 Electro-wetting Display.

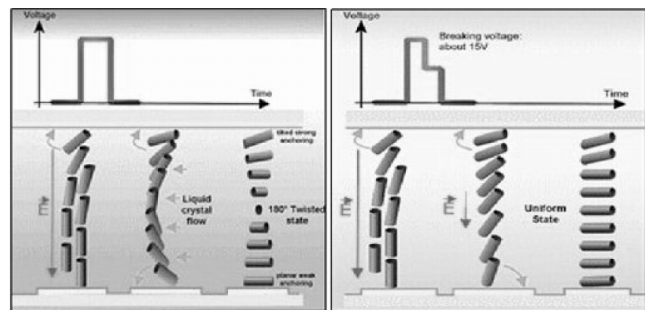


그림12. Binem의 동작원리 (좌) Twist state and (우) Uniform state.

작원리와 유사하나 **그림 12**에서와 같이 양쪽 기판에 anchoring energy가 다른 두 종류의 배향막을 적용하여 한쪽은 강하게 나머지 한쪽은 약하게 표면에 binding되어 있다. 2개의 특정한 펄스의 모양에 따라 기판과 평행한 상태(uniform state) 또는 직각인 상태(twist state)로 모양을 유지하는 양쪽성 안정성을 발휘할 수 있다. 일반적인 액정에 비해 강한 분자 분극성과 쌍극자 모멘트를 가지는 화합물 액정을 사용하는 것으로 알려져 있다.

그 외 Ntera사의 electrochromic 형식의 전자종이 및 electro-deposition 기술을 기반으로 한 전자종이 기술이 계속 발전되고 있다. 최근 SID에서 silver electrodeposition 기술로 3.5인치 active matrix 구동 시제품을 Konica Minolta에서 선보였는데 우수한 반사율과 1.5 V 구동으로 관심을 받기도 하였다.

4.2 투명전도막 개발동향

플라스틱 디스플레이는 디스플레이 제조에서 기존의 유리 기판 대신 플라스틱 기판을 사용하는 것을 의미한다. 디스플레이에 플라스틱 기판을 사용하게 되면 제품의 경량화, 박형화, 내충격성, 휘어짐, 기판의 연속공정(Roll-to-Roll) 처리에 의한 제조원가 절감 등의 기존의 유리 기판에서는 얻을 수 없는 많은 효과를 얻을 수 있다. 이러한 플라스틱 기판에서 가장 필수적인 기능성 박막 코팅은 **그림 13**에서 보는 바와 같이 기체차단막과 투명전도막이라 할 수 있다. 플라스틱 기판의 기체차단막은 기판을 통과해서 들어오는 산소와 수증기의 투과를 막는 역할을 한다. 일반적으로 LCD, 특히 유기EL에 사용되는 유기물들은 수분과 산소에 노출될 경우 고유의 전기, 화학적 기능을 쉽게 상실할 뿐만 아니라 계면에서의 접착력 저하에 의한 금속 전극 박리와 같은 부

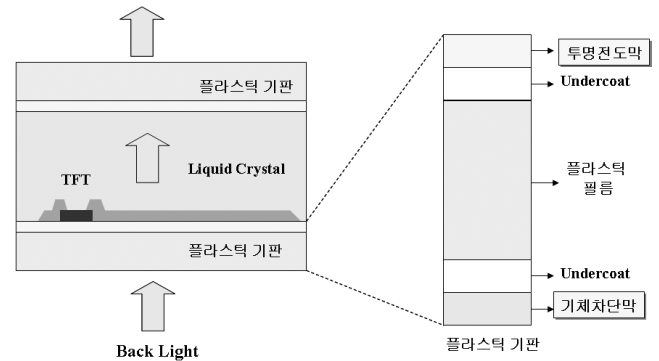


그림 13. 플라스틱 TFT LCD의 플라스틱 기판 구조.

표 2. 건식 코팅 기체차단막의 국내외 기술 동향

구분	기술명	개발 내용	개발주체
국외	건식 코팅 기체차단막	다층 구조형 기체차단막(스퍼터 무기막/고분자 alternating 구조) (Barix™ Coating)	Vitex
		고차단성 스퍼터 단층 기체차단막	Symmorphix
		PECVD를 이용한 다층 기체차단막	GE
		다층구조형 기체차단막(스퍼터 무기막/고분자 alternating 구조)	Battelle Memorial Institute
		PECVD를 이용한 산화규소계 기체차단막(PECVD buffer층 이용)	Dow-Corning
		단층 기체차단막(PES 기반)	Sumitomo Bakelite
국내	건식 코팅 기체차단막	단층 기체차단막(고온 PC 기반)	Teijin
		스퍼터 단층 기체차단막(PES 기반)	i-components
		스퍼터 & PECVD 단층 기체차단막 (PES 기반)	KIST(i-components와 공동 개발)
		Undercoat 및 기판 base film 연구	한국생산기술연구원, 한국화학연구원
		스퍼터 기체차단막	LG 화학

작용이 유발된다. 현재 고성능의 기체 차단 기능을 수행하기 위해서는 주로 산화규소(SiO_2), 산화알루미늄(Al_2O_3) 등의 무기물 층이 주로 코팅되는데 이들은 대부분 진공 스퍼터 공정에 의해 코팅되고 있다. 기체 차단막에서 요구되는 기체차단 특성은 디스플레이의 종류에 따라 다르며 LCD의 경우 $10^{-2} \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 수준의 수증기 투과도가 요구되며, 유기EL의 경우 $10^{-6} \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 의 높은 수증기 차단성을 요구한다.^{11,12} 표 2에는 건식 방법에 의한 기체차단막의 국내외 기술을 표시하였다.

기체차단막과 더불어 플라스틱 기판의 또 다른 중요한 요소인 투명 전도막은 플라스틱 기판의 화소 전극으로 사용되며 낮은 표면저항, 높은 광투과율, 고밀착성, 표면 평활성, 내열성, 전극 패턴 가공성 등의 제반 특성이 요구된다. 그림 14에서 보는 바와 같이 투명전도막에서 요구되는 표면저항은 응용분야에 따라 상당한 차이가 있다. 현재 디스플레이 투명전극으로는 ITO(indium tin oxide)가 대부분 사용되고 있는데 주로 진공 스퍼터 공정에 의해 코팅되고 있다. 스퍼터 공정에 의해 코팅된 ITO는 투명전도막으로서 매우 우수한 특성을 갖고 있지만 유연한 성질을 갖는 플라스틱 기판의 투명전극 소재로 사용될 경우에는 많은 문제점을 갖고 있다 할 수 있다. ITO 박막은 $50 \Omega/\square$ 이하의 낮은 표면저항을 갖기 위해서는 고온 열처리가 필요한데 플라스틱 디스플레이에 적용될 경우, 플라스틱 필름의 고온 열처리가 불가능하므로 ITO의 표면저항을 낮추는데 한계가 있으며, 기계적 내구성 문제 및 굽혔을 때 표면저항이 증가하는 문제점 등이 있다. 그림 14는 투명전도막이 코팅된 플라스틱 기판을 굽혔을 때의 표면저항 변화를 비교한 것인데 ITO의 경우는 급격한 저항 증가가 관찰되는 반면 유연한 투명전도막인 poly-3,4-ethylenedioxythiophene(PEDOT)의 경우는 저항 증가가 없는 것을 알 수 있다. 이 밖에도 ITO는 적층 두께가 두꺼워짐에 따라 표면저항은 감소하지만, 광투과율이 현저히 감소하는 경향이 있으며 기본 원료인 인듐(indium) 자원의 부족과 가격 상승에 따른 경제성의 문제가 점점 심해지고 있는 것 또한 새로운 문제로 대두되고 있다. 표 3에는 투명전도막의 국내외 기술개발 동향을 나타내었다.

플렉시블 디스플레이를 위한 유연한 투명전도막 형성을 위하여 주로 ITO 입자, 나노메탈 입자^{13,14} 및 전도성 고분자 입자와 같은 전도성 필러를 매트릭스에 분산시켜 박막화하는 방법을 주로 연구하여 왔다.¹⁵ 하지만, 이러한 입자를 분산시키는 방법은 입자의 특성에 따라, 여러 단점이 있다. 예를 들면 ITO 입자의 경우에는 전도성 및 인쇄 가능성이 미흡하며, 특히 유연성이 불량하여 플렉시블 박막으로는 사용

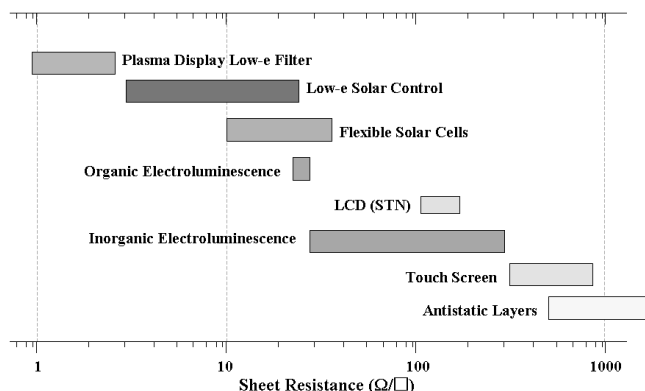


그림 14. 응용분야에 따라 요구되는 투명전도막의 표면저항.

이 어렵다. 또한, 나노금속 입자의 경우에도 가격, 투명성 및 유연성 등이 미흡한 단점이 있다. 이와 같은 단점을 보완할 수 있을 것으로 기대되어 연구가 진행되어 온 전도성 고분자 박막 또는 전도성 고분자 입자를 분산시킨 박막의 경우에는 인쇄성은 우수하나 다른 특성들이 상용화되기에는 미흡한 실정이다. 현재까지 국내외에서 많은 연구가 수행되었고 현재 진행되고 있지만 세계최고수준은 광투과도(파장 550 nm) 85%, 표면저항 $200 \Omega/\square$ 정도이며 이는 투명전도막의 여러 응용분야 중에서 터치스크린 정도에 적용이 가능한 수준이다. 디스플레이 종류에 따라 투명전도막에서 요구되는 표면저항 특성을 보면(그림 14) STN LCD 경우 표면저항 $150 \Omega/\square$ 이하, TFT LCD는 $50 \Omega/\square$ 이하, 그리고 유기 EL에서는 $25 \Omega/\square$ 이하의 표면저항을 요구하고 있다. 따라서 현재 최고 수준의 투명전도막이라 하더라도 STN LCD에도 적용되기 어려운 실정이며 궁극적인 플렉시블 디스플레이의 구동 방식이라 할 수 있는 유기 EL에 적용되기 위해서는 획기적인 돌파구가 필요한 시점이라 할 수 있다. 최근에는 전도성 입자와 전도성 고분자를 복합화한 복합 투명전도막에 대한 일부 시도가 있었으나 전도성 입자의 전도도, 안정성, 분산 등 여러 문제로 인해 뚜렷한 성과를 보지 못하고 있는 실정이다. 그러나 전도성 고분자 또는 전도성 입자 단독으로 달성할 수 있는 전도도 특성에는 한계가 있으므로 이러한 복합화를 통해서 만이 미래 투명 전도막의 요구사항을 만족시킬 수 있다는 것이 전문가들의 공통된 의견이다.

본 연구의 목적은 스퍼터 공정 기체차단막 및 투명전도막 대체를 위한 액상 코팅 소재 개발 및 이의 플라스틱 디스플레이 적용을 위한 필름 일체화 기술 개발에 있다. 앞으로 디스플레이 공정 기술이 발달함에 따라 a-Si TFT 공정, curing, photolithography 등의 기판 공정 온도가 점점 낮아지고 더 나아가서는 상온 공정이 가능한 전유기 디스플레이가 도래할 것으로 예상되며 이때는 일반 광학필름이 기판으로 사용될 수 있을 것으로 예측된다. 따라서 이 시기의 플라스틱 기판 가격은 전적으로 기능성 박막 코팅 비용에 의해 좌우될 것으로 사료

표 3. 투명전도막의 국내외 기술개발 동향

구분	기술명	개발 내용	개발주체
국외	CNT를 이용한 박막기술	MWCNT를 사용하여 정전기 방지 소재	Hyperion사
		SWCNT를 사용한 투명 박막(Inviscon™)	Eikos사
		금속성 CNT를 분리하는 기술	Du Pont, MIT, Illinois 대학
		CNT 분산 표면에 전도성 고분자 중합기술	S. Roth
	전도성 고분자를 이용한 박막기술	PEDOT 나노입자 분산 용액(Batron P™)	Bayer사
		PEDOT 나노입자 분산 용액(Orgacon™)	Agfa사
		폴리아닐린 나노입자 분산 용액 기술	Ormecon사
		폴리아닐린 나노입자 분산 용액	Panipol사
		PEDOT/PEG 블록 공중합체 (Aedotron™, Pligotron™)	TDA Research
		전도성 고분자 투명 전극(Denatron™)	Nagase Chemtex
국내	전도성 고분자를 이용한 박막기술	새로운 구조의 전도성 고분자	대학
		산화지르코늄을 산화지르코늄과 아크릴계 고분자를 사용한 IPN	RIKEN
		전도성 고분자의 합성 및 응용	아주대, 명지대, 성균관대, 고려대 등
	CNT를 이용한 박막기술	PEDOT 조성물 조절	디피아이슬루션스
		PEDOT 조성물 조절	나노캠텍

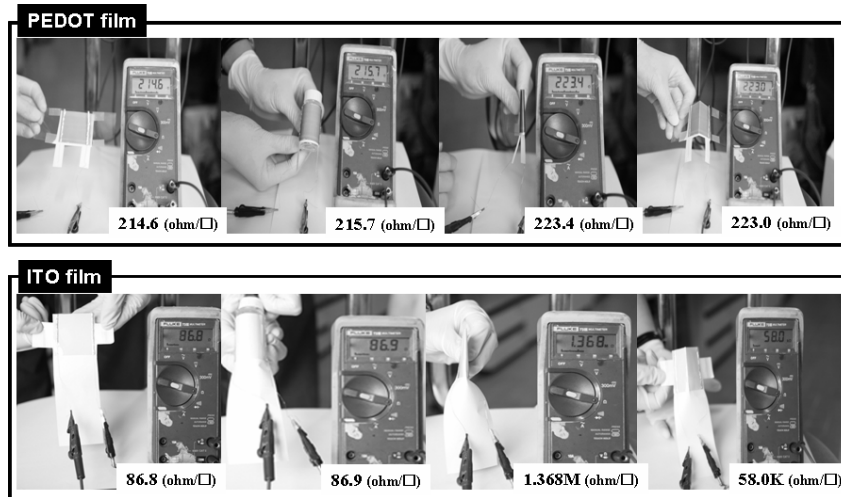


그림 15. 플라스틱 기판위에 코팅된 투명전도막을 굽혔을 때의 표면저항 변화 비교.

되며 디스플레이의 저가격화를 위해서는 비용이 저렴한 대기압 액상 코팅 소재 및 공정 기술의 실현이 필수적이라 할 수 있다. 디스플레이의 저가격화를 좌우하는 또 다른 측면은 코팅 장비에 대한 투자 비용이라 할 수 있는데 진공에서 이루어지는 스퍼터 공정은 chamber의 제한된 공간에서 이루어지므로 코팅되는 필름의 폭에 여러 제약이 따르며 필름 폭이 증가할수록 장치에 투자되는 비용이 기하급수적으로 증가하게 된다. 이에 반해 대기압에서 이루어지는 액상 코팅은 코팅되는 필름 폭에 제한이 적어 진공 스퍼터 공정에 비해 대면적 코팅에 매우 유리하며 디스플레이의 대형화에 매우 적합한 공정이라 할 수 있다. 디스플레이의 대형화 및 저가격화와 더불어 차세대 디스플레이의 또 하나의 큰 흐름은 완벽한 플렉시블 디스플레이의 구현이라 할 수 있다. 현재 진공 스퍼터 공정에 의해 코팅되는 기체차단막, 투명전도막 등의 기능성 박막은 유연성이 거의 없는 무기물로 이루어져 있어 충격에 매우 약하며 굽힘, 인장 등의 변형에 취약해 두루마리 또는 입고 다닐 수 있는 플렉시블 디스플레이 소재로는 부적합하다. 굽힘에 따른 기판특성의 변화실험을 그림 15에 나타내었는데, 플렉시블 디스플레이에 적합한 유연한 기능성 박막 코팅 소재는 유기 또는 유기/무기 하이브리드 소재로 가능하며 이는 정교한 분자구조제어가 가능한 액상 코팅 소재의 적용으로 가능할 것으로 사료된다.

4.3 메조페이즈 화합물 개발동향

메조페이즈 화합물은 LCD의 광학필름 소재로서 배향막, 광시야각 보상필름, 위상차판, 휘도 향상필름 등으로 응용이 가능하며, 관련 기술 개발 및 제품화가 진행되고 있다. 또한, 메조페이즈 화합물에서 관찰된 전기광학적 특성은 광통신용 광학소자, 유기 EL용 도전성 광학필름, 태양전지의 전하 전달층, 유기박막트랜지스터용 채널층, 영상 저장용 감광체 등의 적용이 기대되고 있으며 관련 연구가 기초단계에서 진행되고 있다. 원반형 및 막대형 메조페이즈 화합물에 중합가능한 반응성기를 도입하여 상과 배향을 조절한 후 고정화하는 기술은 자체적으로 또는 지지체 위에서 필름화함으로써 외부 환경조건의 변화에도 고유의 광학적 전기적 특성 유지를 가능하게 하여 디스플레이 및 전자소자 소재로서의 응용 전망이 밝다고 하겠다.

원반형 메조페이즈 화합물은 1977년 인도의 Chandrasekhar에 의해 처음 보고된 이후로 2차원적으로 펼쳐진 분자의 구조로 인해 막대형 메조페이즈 화합물과는 다른 특성을 나타내므로 그에 따른 활발한

연구가 진행되고 있다. 원반형 메조페이즈 화합물의 상은 크게 분자배열에 따라 원반상 네마틱상(discotic nematic phase), 원반상 라멜라 상(discotic lamella phase), 원반상 주상(discotic columnar phase)의 세 종류로 구분된다. 이러한 상에 따라 그 광학적, 전기적 특성이 크게 변하는데 특히 주상에 있어서는 원주의 중심부에 이루어지는 π 전자공액계의 적층으로 인해 높은 전도성을 나타낼 수 있으며 이를 이용한 전하 이동층 혹은 전도성 막으로서의 적용 연구가 수행되고 있다. 원반형 메조페이즈 화합물의 columnar 상을 이용하는 도전재료 연구는 영국의 Leeds 대학교 SOMS 센터, 독일의 Max-Planck Institute를 중심으로 연구되고 있으며, Canon사, Fuji Photo Film사, Dainippon Ink & Chem. Inc., Siemens사 등과 같은 기업에서도 활발한 기술 개발을 진행하고 있다. 일본의 후지포토필름사는 네마틱 상에서 입사광에 대한 광이방성 특성이 다르게 나타나는 현상을 이용하여 LCD의 광시야각 보상필름을 개발·상용화하였다. 봉상 혹은 원반상 메조페이즈 화합물의 고정화 연구는 일본의 오사카공업기술연구소에 의해 추진된 바 있으며, 메조페이즈 화합물 축방향의 분자간 상호작용과 구조 및 주상(column) 배향 구조와의 상관관계를 해명하고 기판 상의 배향 거동 등을 규명하는 연구가 수행되었다.

전성 특성의 효시로서 1994년 트리페닐렌(triphenylene, TP)계 화합물이 온도 및 결정성에 따라서 등방상에 비해 1,000배 이상의 전기전도성이 향상되었다는 연구결과가 네이처지에 발표되었으며 이후 프탈로시아닌(phthalocyanine)계, 에틸벤젠(ethynylbenzene)계, 포피린(porphyrin)계 등의 원반형 메조페이즈 화합물이 개발되어 적용되고 있다. 방향족 중심부를 최대한 크게 하는 구조로서 헥사벤조코로넨(hexabenzocoronene, HBC) 유도체를 이용하여 정공(hole)의 이동도(μH)를 상온의 온도범위에서 $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 수준으로 얻은 결과가 보고된 바 있다. 또한, HBC 화합물은 염료 화합물과 박막형태의 조합을 통해서 광전소자(photovoltaic cell)로서 34%의 양자 효율(quantum efficiency)로 보였는데 이는 원반상 메조페이즈 화합물의 높은 전하이동 특성과 2차원적인 박막분포를 통해 얻어진 결과이며 유기 태양전지 소재로서 응용 가능성을 보여준 것이라고 하겠다. 캐논사는 TP계 원반형 메조페이즈 화합물을 기본 골격으로 하여 전하수송층을 포함하는 감광체, 유기전계발광(organic electroluminescence) 소자에의 적용 기술을 개발하였다. 또한, 대일본인크사는 유기금속 원

반형 착물을 이용하여 상기와 동일한 용도의 소재를 개발하고자 하였으며 후지포토필름사는 포피린 계열의 전하 이동층 형성 기술개발을 진행한 바 있다.

유동성 메조페이즈 화합물의 말단 반응성기를 연결하여 온도 및 용매에 대한 안정성과 필름으로서의 기계적 물성을 부여하는 반응성 주상 메조페이즈 화합물에 대한 기술 개발은 네마틱(nematic) 메조페이즈 화합물상 광학필름에 비해서 상대적으로 낮은 기술 개발 단계를 보이고 있으며 주된 개발 방향은 단분자 메조페이즈 화합물에 연결된 반응기를 이용하여 고분자 주사슬에 펜던트형태로 연결시킨 메조페이즈 화합물 고분자를 구현하거나, 복수개의 반응기를 메조페이즈 화합물 분자에 도입하여 서로 연결시키는 형태가 보고된 바 있으나 도전 재료로서의 응용 수준 기술 개발은 진행되지 않았다. 반응성 메조페이즈 화합물을 통해 얻어지는 메조페이즈 화합물 고분자 소재는 네마틱상과 스멕틱(smectic)상을 이용하는 메조페이즈 화합물을 기반으로 하여 개발이 주로 이루어지고 있다. 반응성 메조페이즈 화합물을 가교시킨 후에도 높은 정공(hole) 및 전하의 이동도를 나타내게 하는 방향의 연구개발이 티오펜(thiophene)과 플루오렌(fluorene) 골격의 반응성 메조페이즈 화합물을 중심으로 하여 머크(Merck Chemical)사의 연구를 통해 진행된 바 있다.

LCD용 광시야각 필름은 LCD의 광학보상용으로 이용되는 재료이며 폴리카보네이트(PC) 수지, 시클로올레핀 수지, 액정폴리머(LCP) 등의 투명필름을 연신하여 광학적 이방성을 부여함으로써 액정 고유의 복굴절성에 기인한 시야각이 좁아지는 문제를 해결하였다. 광시야각 필름의 재료로는 PC수지가 주로 사용되어 폴리카보네이트의 1축 연신 필름 또는 2축 연신 필름이 이용되어 왔다. 최근에 LCP나 시클로올레핀 수지계의 신소재 위상차 필름이 등장하고 있다. 2002년 세계 수요의 34%를 차지하고 있는 니토덴코는 액정층에 곧바로 위상차층을 형성할 수 있는 기술을 개발하여 배향막, 배향기관, 접착제 등을 사용하지 않고 광학적 기능이 향상된 박막형태의 위상차 필름을 개발하였다. 신일분석유는 액정폴리머(LCP)를 이용한 위상차 필름을 개발하고 있다. 또한, 테이진의 우치야마 아카히코 등은 신규 분자설계에 기초하는 복굴절률 파장분산제어기술을 적용하여 폴리카보네이트 공중합체(co-PC) 위상차 필름을 개발하여 제품화하여 LCD를 비롯한 광학소자에 사용하고 있으며 1장의 필름으로 광대역화를 실현함으로써 LCD의 박막화, 시야각 향상을 달성한 것이 특징이다. 한편, 후지포토필름은 원반형 액정의 배향제어기술을 채용해 TN 모드용 시야각 확대필름인 <WV필름>을 생산하여 독점 공급하고 있으며 제조공정의 온도변화를 없애는 연구와 관련 기술을 심화하는 연구를 지속적으로 진행하고 있다.

국내의 메조페이즈 화합물 관련 기술은 디스플레이 산업을 중심으로 관련 소재 개발로 집중되고 있다. LCD 양산을 본격화한 1990년대 중반 이후 국내기업의 생산이 이 세계시장 1위로 올라가면서 양산기술 면에서는 최고수준을 보이고 있으나 관련 소재 기술은 매우 뒤떨어져 있으며 광시야각화를 위한 핵심소재의 경우 최근에 이르러 국산화 연구를 시작할 정도로 소재 기술이 매우 낙후되어 있는 문제점을 안고 있다. 국내 대학 및 연구기관에서의 연구는 1990년대 중반부터 간헐적으로 추진되어 왔다. (주)동진세미켐이 건국대학교와 함께 고분자 분산형 메조페이즈 화합물(polymer dispersed LC) 및 STN용 메조페이즈 화합물을 자체 기술로 개발하였고 고속응답형 수직배향형(vertical alignment mode) 메조페이즈 화합물의 개발을 추진한

바 있으나, 국산화에 성공하지는 못한 것으로 보고되어있다. 전 세계 메조페이즈 화합물 재료 수요의 60%를 공급하고 있는 머크사는 1992년에 머크-코리아(Merck-Korea)사를 설립하여 메조페이즈 화합물 부분 측정기술을 국내에 도입하였으며, 2000년부터 LG화학과 TFT-LCD용 차세대 광학필름을 공동 개발하였다. 제일모직은 1996년 이후 액정배향막, 컬러레지스트, 백라이트용 도광판 등 관련 기술 개발 및 생산을 진행하였다. 또한, 10여개 대학의 연구센터가 BK21사업과 국가지정연구실 사업을 통해 메조페이즈 화합물 관련 연구를 수행하고 있다. 2004년까지 경희대학교에 의해 수행된 광학 보상필름 개발 과제에서는 두께 0.5 μm 이하의 박막으로, 열안정 특성을 갖는 광시야각 필름 기술개발이 추진되었으며 본 연구를 통해 광학필름 특성평가기술이 확보되었다고 보여진다. 고려대학교 진정일 교수 연구팀을 중심으로 하여 주시슬 및 결사슬의 고분자 액정 연구가 진행되었고 서울대학교 장지영 교수 연구팀에서는 원반형 메조페이즈 화합물의 합성을, 금오대 최이준 교수팀에서는 바나나형 액정화합물 설계 및 특성 평가 연구가 수행되고 있다.

특히, 정부출연연구기관인 한국화학연구원(현 지식경제부) 지원 중기거점연구사업을 시작으로 2000년부터 액정배향막에 관한 연구를 수행해오고 있다. 그 결과 2005년 9월 제일모직(주)과 함께 수직배향용 액정배향막의 상용화에 성공하였으며, 비접촉식 광배향막 및 플라스틱 LCD용 저온공정 액정배향막 연구를 수행하여 다양한 구동모드에 적용이 가능한 액정배향기술을 확보하고 있다. 특히, 최근에는 기존의 액정배향기술을 광학보상필름의 개발에 접목하는 연구를 시작하였으며, 동시에 반응성 메조페이즈 화합물의 독자적인 설계 연구에 착수하여, 광학보상필름 연구뿐만 아니라, 유기반도체소자용 채널소재로의 응용확대연구도 수행 중에 있다.

4.4 신규 광 모듈레이터 개발동향

신규 광 모듈레이터용 굴절률 제어 소재의 핵심은 공기에 근접한 저굴절률 소재의 개발이 핵심이 될 것으로 판단된다. 그리고 본 기술에 적용 가능한 필름형 저굴절률 소재는 현재까지 전자 기기 디스플레이의 표시부에서 외부상 반영, 광 반사·눈부심 등을 억제하고 시인성을 향상시키기 위해 반사방지층에 적용된 물질이 고려될 수 있다. 대표적인 저굴절률 소재로는 불소계 투광성 고분자가 있으며 이 중 PTFE(polytetrafluoroethylene)는 열적, 화학적 표면특성을 유지하면서 독특한 전기 및 광학적 특성을 갖는 것으로 알려져 있다. 현재 상용화된 제품으로는 Asahi Glass사의 CYTOPTM이 있다(표 4, 그림 16).

이는 기존의 불소수지와는 전혀 다른 물성을 지니고 있다. CYTOPTM은 비정질(amorphous)이며 가시광선 투과율이 95% 이상인 초고투명성이다. 또한, 특수 불소화합물 용액에 용해 가능하며, sub-micron 두께의 박막코팅이 가능하다. Asahi Glass사는 CYTOPTM 이후 월등한 내후성을 가지며 다양한 용매에 우수한 용해도를 가지는 LUMILONTM (Refractive index=1.458)을 개발하여 상품을 출시하였다. 그 밖에 불소수지계 고분자 상품들에는 DuPont사의 Tefzel[®] ETFE, Telfon[®] FEP, Telfon[®] PFA, Kalrez[®]와 Honeywell사의 ACLAR[®] CTFE, HALAR[®] ECTFE, 3M사의 Fluorel[®]이 있다. 현재 이러한 불소수

표 4. CYTOPTM의 광학 성질

	Cytop	PTFE	PFA	PMMA
Refractive index	1.34	1.35	1.35	1.49
Transmittance(%)	95	Opaque	Opaque	93

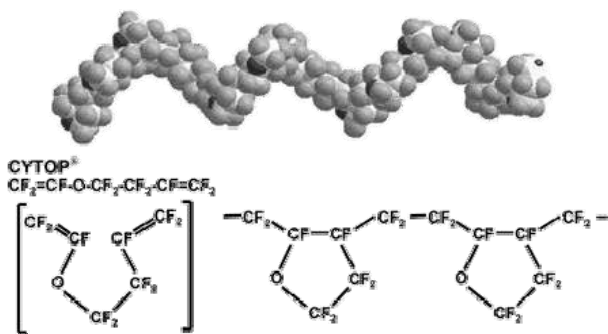


그림 16. CYTOPTM의 화학구조.

지계 저굴절을 고분자 개발에 대한 연구가 진행 중에 있으며 이와 관련된 특허들도 국제출원이 많이 이루어진 상태이다.¹⁶

국내 저굴절률 소재개발은 아직 미약한 상태이다. 그러나, 최근 디스플레이 시장의 크게 확대되는 반면 수입에 크게 의존해 왔던 반사 방지필름의 중요성이 부각되면서 국내에서도 저굴절률 소재개발에 대한 연구가 진행되고 있다. 인하대학교의 이필주, 황보창권 연구팀은 CF_4 이온빔 보조증착법으로 굴절률이 유리보다 낮은 SiO_xF_y 박막을 제작하고 광학적 특성을 연구하였는데 End-Hall 이온총의 양극전압에 따라 SiO_xF_y 박막의 굴절률은 1.455에서 1.394까지 변하는 현상을 확인하였다.¹⁷ 한국화학연구원 화학기술부의 김광한, 소원옥, 박인준, 문상진, 이수복 팀은 불소계 투광성 고분자 중간체(FCAF)를 합성하였다. 이 팀은 발연황산($\text{SO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$)을 이용한 DCIPFB(1,2-dichloro perfluoro butyl iodide)의 산화반응에 의해 대표적인 불소계 투광성 고분자인 CYTOPTM 중간체의 하나인 FCAF(florinated chloro acyl fluoride) 합성시 반응온도 등의 대표적인 실험변에 따른 FCAF의 합성특성을 고찰하였다.¹⁷ 광소재부품연구센터에서는 ‘온도 무의존형 hybrid AWG에 적용가능한 폴리머 재료 및 소재개발’ 과제에서 저광손실, 저굴절률, 화학적·물리적 안정성을 갖는 불소화 방향족 신규 폴리머 재료를 개발하였다.

다른 저굴절 소재로서 다공성 박막재료가 있다. 기본적으로 실리카는 광범위한 파장에 걸쳐 탁월한 광 투과도를 가지며, 비교적 낮은 굴절률, 즉 약 1.45의 굴절률을 갖는다. 다공성 실리카 박막은 불소수지계 고분자에 비하여 월등히 낮은 굴절률을 갖는다. 이와 관련하여 일본에서 많은 연구가 진행되었다. 다공성 실리카 박막을 제조하는 대표적 기술은 다공성 실리카 입자를 제조하고 이를 결합제를 사용하여 기판 상에 고정시킴으로써 저굴절률을 갖는 다공성 실리카 박막을 형성하는 방법, 다량의 실란올기를 함유하고 비교적 낮은 축합도를 갖는 실리카 입자 졸(Sol)을 포함하는 박막을 형성시킨 후 박막을 경화시켜 실리카 입자 졸을 간극이 서로 인접한 고체 실리카 입자로 전환시키는 방법, 그리고 다수의 성분(다공성 실리카 입자 포함)으로 구성된 박막을 형성시킨 후 박막을 경화시키는 방법으로써 성분들의 수축비 간의 차이를 이용하여 공극을 박막 내에 형성시키는 방법 등이 있다. 위 방법은 다공성 실리카 박막의 강도를 향상시키기 위해 다공성 실리카 입자간의 접촉 및 광학 기판에 대한 다공성 실리카의 접촉을 향상시키도록 결합제의 사용이 필수적이다. 이러한 결합제의 사용으로 인해 다공성 실리카 박막의 다공도를 향상시키는 것이 불가능하다. 다공도를 갖는 실리카 박막을 수득함에 있어 고체 실리카 입자의 수축비를 증가시키기 위해 고온에서 실리카 입자 졸의 박막을 경화시켜 실리카의 축합도를 증가시킴으로써 박막의 다공도를 목적하는 수

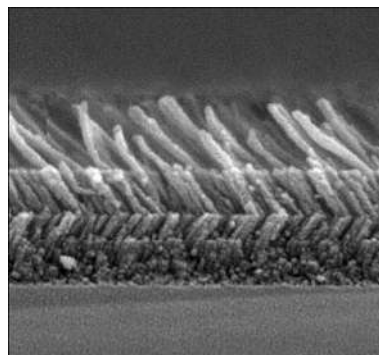


그림 17. Rensselaer Polytechnic Institute(RPI)의 연구 결과.

준으로 증가시킬 필요가 있다. 따라서 위 방법은 낮은 열변형 온도를 갖는 광학 시트 또는 막이 기판으로서 사용되는 경우 박막의 경화가 충분히 높은 온도에서 수행될 수 없고 따라서 만족스러운 강도(박막의 연필 경도 및 기판과 박막 간의 접착 강도의 차원에서)를 갖는 다공성 실리카 막을 수득하기가 불가능하다는 문제가 있다.

다수의 성분(알콕시실란 또는 그의 가수분해/중축합 생성물 및 하나 이상의 공극형성제(pore-forming agent) 포함)로 구성된 박막을 형성시킨 후 공극형성제를 박막으로부터 추출함으로써 박막 내에 균일한 공극을 형성시키는 방법을 통하여 각각의 공극이 가시광선의 파장보다 더 작은 직경을 갖게 되는 방법 등이 있다.¹⁹ 실리카의 낮은 경도의 특성 때문에 통상적인 방법에 의해서는 낮은 굴절률, 높은 광 투과도 및 높은 강도를 갖는 다공성 실리카 박막을 수득하기가 불가능하다. 따라서 상기와 같은 다공성 실리카 박막의 개발에 대한 요구가 이어져 왔다. MERCK사에서는 Sol-Gel 중합을 이용하여 다공성 실리카입자를 기본으로 한 액상에서 코팅을 하는 방법을 개발하였고, NICHIA사에서는 실리카입자를 상분화시켜서 내놓고 있으나, 불소계화합물 고분자에 비해서 다공성소재는 디스플레이의 적용에 소극적인 입장이다.

최근 고분자필름이 지닌 저굴절률의 한계(Refractive index=1.3~1.4)를 극복하고자 미국 물리학자들이 최초로 공기에 근접한 굴절률을 가진 박막 광학 필름을 만들었다. 이 광학 필름은 45° 정도로 비스듬하게 증착된 나노막대들의 배열로 이루어져 있는데, 전체적으로 1.05 정도의 굴절률을 가진다. 적절한 반사 및 투과 특성을 달성하는 데는 전통적으로 다층 박막 코팅이 널리 이용되어 왔다. 다층 박막 코팅은 높고 낮은 굴절률의 물질 층들을 쌓아 이루어지는데, 일반적으로 교대로 반복되는 순서로 쌓는다. 층들 간에 굴절률의 차이가 크면 클수록, 고성능 코팅을 설계하기가 쉬워지고, 성능이 향상될 수 있다. 굴절률 차이를 증가시키기 위해서는 신중 물질을 이용하여 고굴절률 한계를 끌어올리거나 저굴절률 한계를 내려야 한다. Rensselaer Polytechnic Institute(RPI)의 프레드 슈버트(Fred Schubert)와 연구팀은 비스듬한 각도의 전자빔 증착을 이용하여 수직으로부터 약 45° 기울어진 나노막대들을 성장시켜 굴절률을 1.05 정도로 낮은 물질을 구현하였다(그림 17).

신규 광 모듈레이터에 요구되는 광학 필름화 기술은 표면에 패턴을 포함한 방식과 다층으로 형성되는 방식일 수 있다. 확산 필름 제조 방법은 PET 필름 표면에 광 확산제를 배합한 투명 수지액을 코팅하고 광 확산제를 베이스수지 중에 분산시켜 필름상으로 성형하고 폴리카보네이트 필름을 압출물로 가열, 가압해서 불규칙한凹凸을 무수히 형

성하는 엠보스 가공(표면가공)을 행하는 방법으로 제조하는 기술이 상용화되어 있다. 광학 다층 필름은 반사 방지 필름, 저반사 필름으로 산업적 응용이 이루어지고 있다. 특히, CRT, LCD, 편광판, PDP 전면판(광학 필터)에 붙여 반사 방지층에 의한 광 간섭을 이용해 화면의 표면 반사·영상 포함을 억제해 반사광을 저감하는 효과를 가지고 있다.

Photonic crystal의 연구 동향을 살펴보면 1D, 2D, 3D의 격자 구조에 따른 회절, 분산 등 빛의 특성과 다양한 고분자를 이용한 격자 패턴에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.¹⁸ 선행되고 있는 photonic crystal display의 필름화 연구에서는 기존의 저굴절률 소재와 고굴절률 소재를 사용함으로써 굴절률 차가 크지 않으므로 적층수가 많아야 하는 문제점이 있다. 또한, Sol-Gel Process의 사용으로 여러 층의 필름 두께 편차가 나타난다. 이와 같은 문제점을 해결하고 차세대 디스플레이에 접목시키기 위해 본 과제에서는 현재 선진 기술에서 photonic crystal display의 기초 단계인 빛을 switching하는 smart화에 초점을 두고 연구하고 있다(그림 18).²⁰

투과형 광 모듈레이터로는 LCD가 대표적이며 이외에 elastomeric light valves와 light shutter, foil display screen 등이 논문과 특허 등을 통하여 보고된 것이 있으나, 실제 평판 디스플레이용으로 시제품 및 상용화된 사례는 확인할 수 없었다(그림 19).

이들의 대표적인 특징은 공간상에 가동 부분을 가지고 있고 실제 구동에 사용되는 원리는 대부분 정전기력을 이용하는 특징이 있다. 위에서 제시된 모델들은 고해상도를 가지는 투과형 디스플레이에 적용하는데 많은 제약을 지니고 있기 때문에 차세대 디스플레이를 위한 투과형 광 모듈레이터에 직접적으로 적용하기에는 어려움이 있는 기술이다. 따라서, 반사형 디스플레이 모델에 적용된 빛의 고유 특성을 이용하는 방식으로 구동하는 신개념의 투과형 디스플레이를 구현할 수 있는 광 모듈레이터 기술이 필요하다. 추가적으로 신개념 디스플레이 기술

의 구현 공정이 용이하게 이루어지기 위해서는 본 기술에 요구되는 핵심 부품이 필름형으로 이루어져야 한다. 이러한 새로운 디스플레이의 핵심 기술은 요구 기능을 수용할 수 있는 원천 소재의 개발과 이를 필름화하는 기술이 될 것이다.

액정을 사용하지 않는 반사형 디스플레이의 광 특성 이용 기술을 확인하는 것은 신규 디스플레이용 투과형 광 모듈레이터의 응용을 위한 기본적 기술을 제공한다. 반사형 디스플레이는 광원으로부터의 빛을 반사시켜 화상을 구성하는 방식으로 구동한다. 이러한 디스플레이 방식은 통상 실리콘 기판을 사용하므로 소형으로 고해상도 화상 구현이 가능한 특징이 있다. 반사형 디스플레이의 대표적인 예로는 Micro-Electro-Mechanical-System(MEMS) 기술을 사용하여 Texas Instrument사가 제안한 Digital Micromirror Device(DMD)와 Sony에서 시판한 Grating Light Valve(GLV)가 있다. 또한, 유사 방식의 반사형 디스플레이로는 투사형 제품이 아닌 휴대 기기용으로 개발된 Qualcomm사의 iMOD가 있다(그림 20). 이들의 공통적 특징은 MEMS 기술을 적용과 빛의 고유 특성인 반사와 굴절 및 흡수를 이

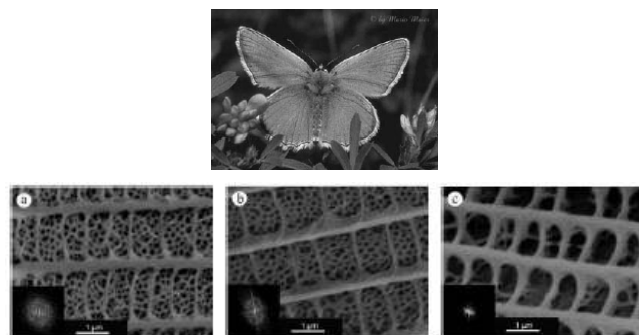
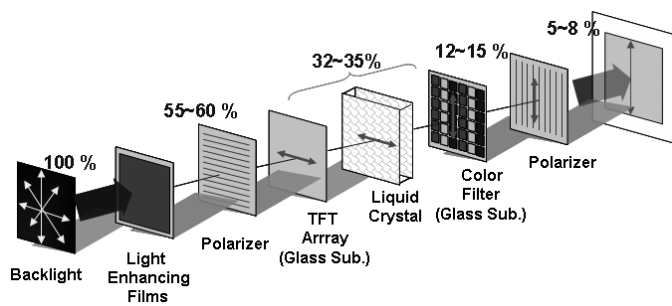


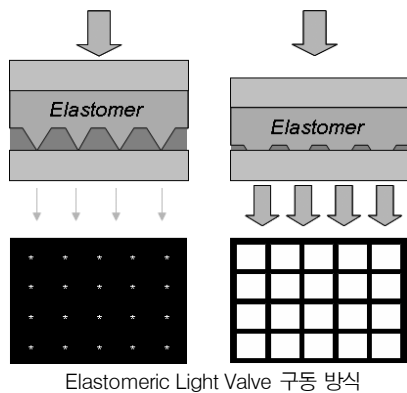
그림 18. Natural Photonic Crystal: Cynaphrysremus.



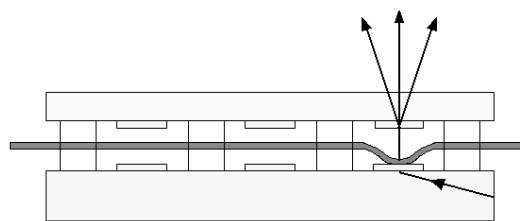
LCD의 두께에 따른 광 투과율



Light Shutter Actuator의 형태



Elastomeric Light Valve 구동 방식



Foil Display Screen 구동

그림 19. 투과형 광모듈레이터 종류.

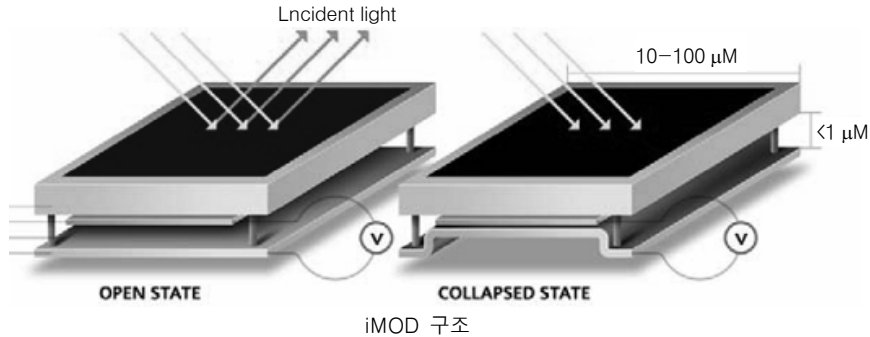
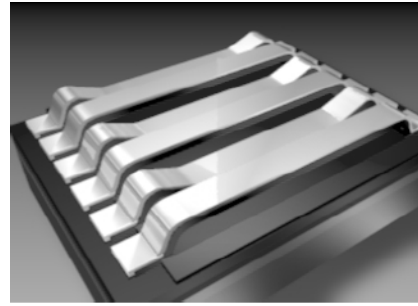
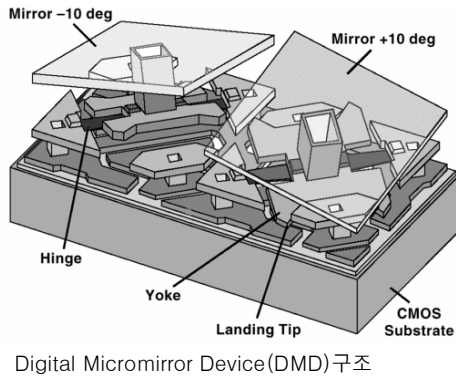


그림 20. 반사형 광 모듈레이터 종류.

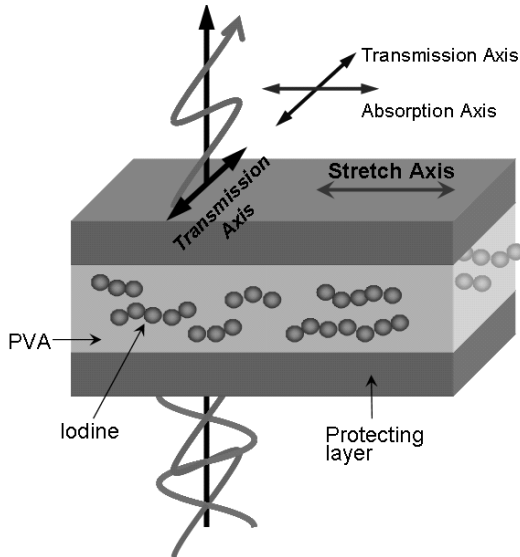


그림 21. Iodine을 함유한 PVA 편광판과 그 작동원리.

용한다는 점이다.

4.5 Coatable Polarizer 개발동향

액정 디스플레이에 사용되는 대표적인 편광필름인 요오드형 편광필름의 구조는 그림 21과 같다. Poly(vinyl alcohol) 필름에 요오드와 같은 이색성 염료를 흡착시킨 후, 한 방향으로 연신하고 이를 두 장의 TAC(triacetylcellulose) 필름 사이에 라미네이트하여 제조되어 진다. 그림에 나타난 것과 같이 iodine 편광필름이 빛을 편광하기 위해서는 iodine이 매우 잘 배향(highly oriented)되어 있어야 하며, 이와 같은 iodine의 높은 배향성은 사용되는 PVA 폴리머 박막을 특정 방

향으로 잡아당김(stretching)으로써 가능하다. 이렇게 배향된 iodine을 함유한 PVA 박막에서 iodine의 전자가 고분자의 주사슬을 따라 움직일 수 있기 때문에 고분자 주사슬에 평행하게 편광된 빛은 편광판에 의해 흡수되고, 고분자 주사슬에 수직 방향으로 편광된 빛만이 투과하게 되는 것이다.

다색체 유방성 액정을 이용한 편광필름의 제조는 배향된 다색체 유방성 액정 필름이 광학적 이방성을 보인다는 사실에서부터 출발하였으며, 주로 다양한 구조의 다색체 유방성 액정을 강한 자기장, 전단력, 또는 배향막을 이용하여 고도 배향시키는 방법들에 대한 연구가 진행되어 오고 있다. 다색체 유방성 액정의 배향은 1946년 Dreyer에 의해 처음 시도되었는데, 그는 기판 표면을 일축방향으로 러빙하거나, 아조벤젠(azobenzene)기를 갖는 고분자의 광배향막을 이용한 액정 배향을 시도하였다.²¹ 1997년 이후 Ichimura 등은 아조벤젠 작용기를 갖는 고분자에 선형 편광된 빛을 조사하여 배향 기판을 제조하고, 그 위에 다색체 유방성 액정을 아조벤젠 분자축과 평행하게 배향시켜 편광도 0.89, 0.95의 광학적 이방성을 보이는 필름을 제조하여 편광필름으로서의 가능성을 타진하였다. 한편, 전단력에 의한 배향은 다색체 유방성 액정을 배향시키는 중요한 기술로 Tiddy, Sahouani 등에 의해 보고된 바 있으며, 특히 Lavrentovich 등과 Tam-Chang 등은 다색체 유방성 액정 혼합물을 이용하여 파장대역이 넓은 편광필름 제조방법을 제안한 바 있다.²²⁻²⁵

산업적 적용 측면에서 2005년 미국의 Crysoptix는 다색체 유방성 액정으로부터 극박 결정형 위상차 필름을 제조하였으며, 이듬해인 2006년 일본의 Nitto Denko는 정밀 박층 코팅기술에 근거한 도포형 보상판 부착 편광필름을 개발하였다. 최근에는 미국 Optiva와의 기술 협력을 통해 다색체 유방성 액정을 이용한 편광필름 제조관련 특허를 발표한 바 있다. 또한, 일본의 Sony는 미국 Optiva의 다색체 유방성

액정 혼합물을 이용하여 도포형 편광소재의 in-cell화 연구를 수행하였다. 다색채 유방성 액정을 이용한 편광필름의 실용화를 위해서는 콘트라스트비의 향상, 단파장 영역에서의 광누락 보완, 고성능의 박막 편광판을 기관 전면에 균일하게 도포하는 기술 등의 향상이 필요하며, 이러한 맥락에서 최근에 Nine sigma사는 도포형 편광필름 개발관련 연구과제 공모를 진행한 바 있다.

국내의 경우는 일부 디스플레이 세트업체가 관련 기술동향을 주시하고 있는 상태이나, 지금까지 다색채 유방성 액정관련 실질적인 연구는 거의 전무한 실정이다. 단지 최근에 국내 K사에서 관련 기술개발을 진행하려는 움직임이 있었으나, 다색채 유방성 액정소재 확보 문제로 답보상태에 있는 것으로 알려져 있다. 국내의 관련 연구는 2007년 소재원천기술개발사업으로 진행되는 것이 유일하다고 할 수 있겠다. 특히, 유방성 액정소재는 기술적 난이도가 매우 높으나, 디스플레이 분야뿐만 아니라 바이오 분야, 센서 분야 등에 널리 사용되는 소재이므로 기반기술 확보 시에는 많은 응용분야 개발이 가능한 핵심소재라 할 수 있다. 그러나, 국내 연구기반은 매우 취약한 상태로 이에 대한 시급한 대책이 필요하다고 하겠다.

한편, 콜레스테릭 액정을 이용한 편광판 제조는 1995년 D. J. Broer 등에 의해 최초로 보고되었으며, 그는 콜레스테릭 물질과 네마틱 액정을 혼합하여 나선구조를 유도하고, 광조사를 통한 콜레스테릭 물질의 가교로 안정된 광학필름을 얻었다. 또한, 콜레스테릭 액정의 피치 구배를 도입하여 넓은 파장범위에서 반사능을 보이는 결과를 얻었다. 이는 콜레스테릭 물질, 네마틱 액정, 광개시제 등의 확산거동을 이용하여 정밀 피치제어가 가능하다면 400~700 nm의 가시광선 전영역을 커버하는 콜레스테릭 액정에 의한 새로운 편광판 제조가 가능함을 처음으로 제안한 것이라고 할 수 있다.

이론적으로 살펴보면, 콜레스테릭 액정은 특정한 파장을 반사하기 때문에 파장대역이 한정되므로 가시광선 전 영역을 포함하는 것은 현실적으로 어렵다. 이러한 콜레스테릭 액정의 선택적 파장 영역대($\Delta\lambda$)는 분자구조에 의존하고, 액정이 high Δn 을 갖을수록 선택 파장 영역 폭을 넓힐 수 있다. 그런데 Δn 은 통상 0.3 이하이고 이 값을 크게 할 경우 액정의 배향특성, 액정상의 온도 등 다른 성질이 만족스럽지 않아 실용화에 난점이 있다. 따라서 현실적으로 $\Delta\lambda$ 를 150 nm 정도로 하는 것이 목표이며, 실제로 대부분의 콜레스테릭 액정의 경우 30~100 nm 정도인 경우가 많다. 또한, 선택된 파장광의 중심 파장 λ 는 콜레스테릭 액정의 피치와 관련성을 가지므로 가시광선 전영역대를 커버하는 광대역의 콜레스테릭 액정 편광판을 제조하기 위해서는 다른 선택 반사 파장대를 갖는 콜레스테릭 액정막을 여러 층 쌓던가, 피치가 두께 방향으로 연속 변화하는 콜레스테릭 막을 제조하여야 한다. 따라서, 지금까지의 시도들을 살펴보면, 콜레스테릭 광경화 조성물을 자외선 경화시 입사 표면 측과 내부 측의 노광 강도를 다르게 함으로써 중합속도가 필름의 수직방향으로 차이가 나도록 하면서, 반응속도가 서로 다른 두 가지의 액정을 사용하면 두께 방향으로 피치를 변화하도록 하거나, 자외선 흡수제를 이용하여 광조사에 따른 profile을 더욱 증폭시키는 연구가 보고된 바 있다.²⁶⁻²⁸

콜레스테릭 액정을 이용한 편광판 제조는 반응성 네마틱 액정에 근거하므로 액정시장의 80%를 점유하고 있는 Merck가 연구개발의 주도권을 쥐고 있는 상태이다. 한편 Philips, Kent State Univ 등이 다양한 구조의 키랄 도펀트를 합성하여 콜레스테릭 액정상을 구현하고, 광학필름화 하는 연구를 선도하고 있다. 산업적 측면에서는 최대 편광

필름 제조사인 일본의 Nitto Denko가 콜레스테릭 액정을 이용한 편광판 제조관련 특허를 많이 확보하고 있으며 가장 활발한 움직임을 보이고 있다.

국내의 개발동향을 살펴보면, 콜레스테릭 액정은 편광판 용도뿐만 아니라 컬러필터, 전자종이 등의 응용분야가 있으므로 다색채 유방성 액정의 경우보다는 다소 연구 저변이 넓다고 할 수 있으나, 선진국과 비교하면 역시 매우 취약하다. 국내 콜레스테릭 액정관련 연구는 1990년대 중반이후 국내 S사와 L사 등 대기업을 중심으로 활발한 연구가 진행하였으나, 현재는 다소 소강된 상태이고, 전북대학교, 경희대학교 등의 대학을 중심으로 한 연구가 지속되고 있다. 그러나, 연구내용도 주로 콜레스테릭 액정 소재의 개발보다는 시판 소재를 이용하여 디바이스를 제작하거나, 광학필름화 하는 제조방법에 집중되고 있는 실정이다. 최근에는 국내의 정밀화학업체인 S사가 콜레스테릭 액정을 이용한 편광판 제조관련 특허를 출원한 바 있으나, 역시 소재개발관련이 아닌 기존 소재를 이용한 필름화 공정에 관한 내용이었다. 현재에는 반응성 액정을 이용하여 광학필름을 제조하는 일부 중소기업이 중심으로 액정소재 자체에 대한 개발의 욕구가 증대되고 있어 이에 대한 연구개발이 시작되는 단계라고 할 것이다.

5. 결론

디지털시대에 맞춰 차세대 디스플레이의 요구 증대와 이동통신, PC, TV 등의 디스플레이 후방 산업이 확장됨에 따라 디스플레이산업 및 소재 분야의 시장 경쟁이 치열해 지고 있다. 한국은 세계 최고 수준의 LCD 및 PDP 양산 기술을 보유하고 있으며, 적절한 설비투자로 시장 요구에 적기 대응함으로써 세계 1위의 디스플레이 강국의 입지를 지켜오고 있다. 그러나, 최근 소재 분야의 강국인 일본을 비롯하여 중국, 대만 등 후발국의 투자 증대 및 국가차원의 지원이 이뤄지면서 한국 디스플레이 산업을 위협하고 있다. 또한, 전문 인력 공급 부족과 차세대 디스플레이 기술 개발 미흡, 취약한 부품 소재 및 장비 기술, LCD 및 PDP의 대규모 투자에 따른 거대 자본 소요 등이 국내적인 문제점으로 남아있다.

디스플레이 강국의 입지를 지속적으로 고수하기 위해서는 현 산업 구조에서 매우 취약한 디스플레이 소재분야에 대한 원천기술 확보가 필요하고 동시에 미래의 신기술에 대한 원천기술 확보에 대한 노력이 꼭 필요하다. 본 총괄과제에서는 이러한 문제를 대처하고자 현재의 디스플레이 시장에서 해외 의존도가 매우 큰 고분자 필름소재 가운데 LCD분야에서 가장 중요한 역할을 하면서도 전량 수입에 의존하고 있는 편광소재 및 광보상 필름에 대한 기술개발을 선정하여 진행하고 있으며, 또한 앞으로 도래할 플렉시블 디스플레이 분야를 대응하는 전자종이 구현기술, 플렉시블 기관용 코팅소재 기술과 신규 광모듈레이터 소재 및 디스플레이 개발에 대한 내용을 포함하여 미래기술에 대한 대응을 진행하고 있다.

본 과제의 성공으로 인한 파급효과로는 현재의 디스플레이 시장에서 패럴원가의 70%에 달하는 소재부분에 대한 원천기술 확보로 진정한 디스플레이 1위 강국의 위상을 가지게 될 것이고, 지속적으로 성장하는 차세대 디스플레이 부문에 대해서도 시장변화를 가속화 하고 소재에서 제품까지 확고한 기술력 구축으로 최강의 제품경쟁력을 가지게 할 것이다. 단기적으로는 디스플레이 소재부분 무역수지 개선효과로

인한 경제, 산업적인 효과를 기대할 수 있고 장기적으로는 차세대 디스플레이 부문에서도 기술선도의 밑거름을 마련하여 지속적인 디스플레이 산업의 세계적 강국이 될 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 권상제, *Korea Display Conference 2007* (2007).
2. 이상국, *부품소재지*, **26**, 32 (2008).
3. KIET *산업경제* (2008).
4. T. J. Vink, W. Walrave, J. L. C. Daams, P. C. Baarslag, and J. E. A. M. van den Meerakker, *Thin Solid Films*, **266**, 145 (1995).
5. S. Ray, R. Banerjee, N. Basu, A. K. Batabyal, and A. K. Barua, *J. Appl. Phys.*, **54**, 3497 (1983).
6. J. Kido, *Organic Electroluminescence Materials and Displays* (2001).
7. D. C. Paine, T. Whitson, D. Janiac, R. Beresford, and C. O. Yang, *J. Appl. Phys.*, **85**, 8445 (1999).
8. D. J. Broer, J. Lub, and G. N. Mol, *Nature*, **378**, 467 (1995).
9. 일본특허 특개 평6-281814.
10. 일본특허 특개 평11-24894.
11. S. Kwak, J. Shim, H. G. Yoon, and K. H. Lee, *Polymer Science Technology*, **14**, 181 (2003).
12. J. Shim, H. G. Yoon, S. H. Na, I. Kim, and S. Kwak, *Surf. Coat. Technol.*, **202**, 2844 (2008).
13. Fuji photo film, JP2002-098803.
14. Sumitomo metal mining, JP2002-127320.
15. A. N. Aleshin, S. R. Williams, and A. J. Heeger, *Synth. Met.*, **94**, 173 (1998).
16. 일본 특허출원공개공고 평3-78946, 평 6-345487a 및 평7-48527호.
17. *Applied Chemistry*, **7**, 523 (2003).
18. PCT/JP03/17007, PCT/JP04/16362 etc.
19. Biro et al, *Phys. Rev. E* (2003).
20. *Nature Materials*, **6**, 957 (2007).
21. J. F. Dreyer, *J. Phys. Colloid Chem.*, **52**, 808 (1948).
22. T. L. Crowley, C. Bottrill, D. Mateer, W. J. Harrison, and G. T. Tiddy, *Colloids Surf. A*, **95**, 129 (1997).
23. H. Sahouani, K. M. Vogel, and M. C. Cliffe, US Pat. 6,395,354 (2002).
24. T. Schneider, K. Artyushukova, J. E. Fulghum, L. Broadwater, A. Smith, and O. D. Lavrentovich, *Langmuir*, **21**, 2300 (2005).
25. S.-W. Tam-Chang, W. Seo, R. Kyle, and S. M. Casey, *Chem. Mater.*, **16**, 1832 (2004).
26. D. J. Broer, G. N. Mol, J. A. M. M. van Haaren, and J. Lub, *Adv. Mater.*, **11**, 573 (1999).
27. 일본특허 특개 평6-281814.
28. 일본특허 특개 평11-24894.