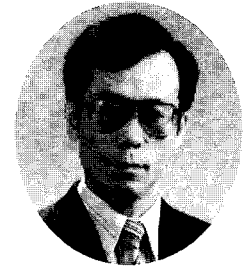


액정기술의 최근 연구 동향

- 제 16 회 국제액정학회발표 연구논문을 중심으로 -



이 신 두

서강대학교 물리학과교수

1. 서 론

국제액정학회(International Liquid Crystal Conference: ILCC)는 처음으로 액정이 발견된 이후 100년 가까이 지난 1965년에 미국 Kent 대학에서 개최되었으며, 매 2년마다 여러 국가를 돌아 가며 열리고 있다. 초기의 대부분의 연구는 Kent 대학의 액정연구소(Liquid Crystal Institute)를 중심으로 활발히 수행되었다. 이 연구결과들은 현재 국제적으로 각광받고 있는 디스플레이를 비롯한 액정의 산업적 응용에 기초를 제공하였고, 현재도 기초기술 및 응용기술 개발에 이바지하고 있다. 1986년 제 11회 국제액정학회에 처음으로 한국인이 참석한 이래 1990년 제 12회 학회에서는 손가락으로 꼽을 만한 숫자가 되었다. 이번 제 16회 학회에는 국내의 학계 및 여러 산업체에서 20여명이 참석하게 되어 액정디스플레이(liquid crystal displays: LCDs) 제 2 생산국으로서의 면모를 보였다. 지금까지 개최된 ILCC의

연도, 장소, 논문발표수를 요약해 보면 아래와 같다.

2. 본 론

이번 제 16회 국제액정학회에서는 세계적으로 저명한 학자들이 5편의 기조강연을 행하였고 22개 session에서 총 900여편의 논문들이 발표되었다. 그중 초청강연이 33편이었다. 이번 학회에 한국인의 초청강연 1편을 포함하여 총 10여편의 논문이 발표된 사실로 볼 때 국내에서도 액정에 대한 연구활동이 점차 저변 확대가 이루어지고 있다고 생각할 수 있다. 금번 ILCC에서 발표된 주요 연구결과와 더불어 응용기술에 대해 몇가지 분야로 요약하여 기술하고자 한다.

2.1 고분자 분산/안정화/네트워크 액정

최근 들어 국제적으로 고분자 분산/안정화/네트워크 액정(polymer dispersed/stabilized/network LCs; PDLC/ PSLC/PNLC) 구조가 상당한 관심을 불러 일으키고 있다. 기존의 네마틱 액정을 이용한 경우와 병행하여 특히 강유전성 액정(ferroelectric LCs)을 이용한 연구가 대단히 활발해지고 있다. 금번 ILCC에서 발표된 PDLC/PSLC/PNLC 구조에 관한 논문수가 총 65편에 이른다는 사실로 부터 쉽게 알 수 있다. 구체적으로는 기조강연이 1편, session 초청논문 3편, 구두발표 10편, 포스터 51편이다. 네마틱 액정을 이용한 것이 53편이고, 12편은 강유전성 액정을 이용한 논문이다. 국가별로는 미국 14편, 유럽 28편, 러시아 9편, 아시아에서 14편이 발표되었다. 아시아 지역에서는 중국에서 발표한 논문이 6편으로 가장 많았으며, 그 다음으로는 일본이 4편을 발표하였고, 한국에서는 1편의 논문만이 발표되어 아직은 이 분야의 연구가 많이 뒤떨어져 있음을 알 수 있다. 발표된 대부분의 논문들은 PDLC 구조의 액정방울

개최회수	연 도	장 소	참석자수
1	1965	Kent, Ohio, USA	42
2	1968	Kent, Ohio, USA	78
3	1970	Berlin, Germany	115
4	1972	Kent, Ohio, USA	181
5	1974	Stockholm, Sweden	260
6	1976	Kent, Ohio, USA	271
7	1978	Bordeaux, France	296
8	1980	Tokyo, Japan	371
9	1982	Bangalore, India	354
10	1984	York, UK	430
11	1986	Berkeley, California, USA	539
12	1988	Freiburg, Germany	503
13	1990	Vancouver, Canada	715
14	1992	Pisa, Italy	956
15	1994	Budapest, Hungary	944
16	1996	Kent, Ohio, USA	900
17	1998	Strasbourg, France	--

에서의 분자배열 구조 및 고분자화 과정에 대한 기초연구이다. 이들 중 향후 가장 응용가능성이 있는 연구결과를 살펴보면 다음과 같다.

현재 PDLC 구조의 제품화에 가장 큰 걸림돌이 되고 있는 것은 구동전압이 높다는 것이다. 이번 학회에서는 구동전압을 낮추는 방법에 관한 연구결과가 여러편 발표되어 주목을 받았다. 미국 Kent 대학에서는 광고분자(photopolymer)를 이용한 네마틱 PDLC 구조에 관한 연구결과를 발표하였다. E48액정에 azo기를 포함한 diacrylate를 1~5% 혼합한 후 편광된 자외선 (ultraviolet; UV)을 사용하여 비등방적 고분자 network을 형성하였다. 한편, 중국 과학원에서는 이와 유사한 고분자 안정화 super-twisted nematic(STN) 구조를 발표하였으며, 이 구조는 구동시 문턱전압(threshold voltage)을 낮추고 시야각 특성을 향상시킨다는 장점이 있다.

미국의 Raychem사에서는 carboxylic acid를 polyvinylalcohol-based PDLC film에 첨가함으로써 구동전압을 낮출 수 있다는 연구결과를 발표하였다. 또한, acid의 농도의 변화에 따른 수직 및 수평배향에서의 극성 표면 고정에너지(surface anchoring energy)의 변화도 관찰하였다. 일본 Toshiba사에서는 PDLC, polymer network LC, polymer stabilized cholesteric LC 등에 사용할 수 있는 trench type의 LCD를 발표하였다. Trench의 높이는(20~40) μm 이고 벽의 두께는 5 μm , 그리고 벽간의 간격은(10~20) μm 로 하였다. 이 구조에서는 구동전압이 낮아지며, 화상의 질이 향상된다는 장점이 있다. 또 다른 하나의 연구결과는 미국의 Southern Mississippi 대학에서 발표한 무중력 공간에서의 PDLC 제작에 관한 연구로서 지상에서 제작한 PDLC 시편이 "Swiss cheese"와 같은 단면 morphology를 보이는 반면 우주에서 제작한 PDLC 시편의 경우에는 세포조직과 같은 단면 morphology를 갖는다. 이 결과는 액정 주입시 중력이 PDLC의 조직형성에 미치는 영향에 관한 최초의 연구결과이다. 이외에도 PDLC를 이용한 3차원 영상 기술과 반사형 소자로 사용하기 위한 고분자 분산 cholesteric LC 구조, PDLC의 전기적 특성에 대한 결과들이 발표되었다.

빠른 응답속도를 보이는 강유전성 액정(ferroelectric liquid crystals; FLCs)을 디스플레이에 응용하고자 하는 시도는 액정 분자들의 배향이 외부충격등에 의해 쉽게 깨어지기 때문에 많은 어려움을 겪고 있다. 이를 해결하기 위해 제시된 방법이 고분자 분산 강유전성 액정(polymer-dispersed ferroelectric liquid crystal; PDFLC) 구조이다. 금번 학회에서 영국과 중국에서 PDFLC의 내구성(durability)에 관한 연구결과가 발표되었다. 강유전성 액정의 경우 층구조와 나선구조를 동시에 가지고 있기 때문에 액정방울 크기의 변화에 따라 전기광학 특성이 큰

영향을 받는다. 한국에서 발표한 논문은 UV 광의 세기에 따른 방울 형성과정과 전기광학 특성과의 상호 연관관계를 최초로 연구한 것으로서 기존의 PDFLC 시편의 경우 엇밀기 방법 (shear method)으로 배향한 데 반해 표면 처리한 기판을 사용하여 자발적인 배향을 유도한 점에서 큰 관심을 끌었다. 국제적인 관심과 발표 논문수를 고려해 볼 때 향후 국내에서도 이에 관한 연구가 시급히 수행되어야 할 것이다.

2.2 강유전성 액정

강유전성 액정을 이용한 디스플레이의 경우, 기존의 네마틱 액정을 이용한 소자에 비해 응답속도가 수백배 또는 천배 정도 빠른 특성을 가지고 있어 수동구동 방식을 채용하더라도 대화면 디스플레이를 구현할 수 있다는 장점이 있다. 그 반면, 배향이 어렵고 충격에 약할 뿐 아니라 특별한 경우를 제외하고는 자체의 계조표시가 거의 불가능하다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 세계적으로 수많은 연구가 수행되고 있으며, 금번 학회에서도 총 73편의 논문이 발표되었다. 그중 session 초청 논문이 4편, 구두발표 6편, 포스터 63편이었다. 국가별로 분류하면, 미국 18편, 러시아 6편, 유럽 33편, 그리고 아시아 지역에서 16편의 논문이 발표되었으며, 자세하게는 일본이 5편, 인도 8편, 중국 2편, 방글라데시 1편의 논문이었다. 이 논문들을 분석해 보면, 액정 디스플레이에 직접적인 응용 기술보다는 기초연구에 치중하고 있음을 알 수 있다. 향후 응용 가능성과 관련된 몇가지 논문을 살펴보면 다음과 같다.

일본의 Fujitsu에서는 표면 안정화 강유전성 액정(surface stabilized FLC; SSFLC)에서 어느 정도의 계조표시를 달성하는 방법을 제시하였다. 네마틱 액정의 전기광학적 문턱전압이 표면 고정에너지에 의해 크게 영향을 받는 반면에, SSFLC에서의 문턱전압은 추가로 층형성에 의한 부피영역에서의 구조(즉 bookshelf 구조 또는 chevron 구조)에 크게 좌우된다. 따라서, 표면과 부피영역에서 형성된 구조사이의 상호작용을 적절히 조절하면 계조표시가 가능하게 된다. 이외에도 deformed helix FLC(DHFLC) 구조를 이용한 계조표시 구현에 관한 연구가 미국과 영국, 그리고 러시아 등에서 발표되었다. 그 중에서 영국의 논문은 DHFLC 구조를 이용하여 제작한 Fabry Perot etalon에 관한 연구결과로서 고속의 광switching이나 파장선택 필터 등에 응용될 수 있다. 사용한 액정은 La Roche사의 FLC 6304(피치: 0.35 μm)와 FLC9848(피치: 0.15 μm)을 이용하였으며 두 액정 모두 빠른 응답시간(<100 μs)과 낮은 문턱전압(<2 V/ μm)을 갖고 있다. 중국에서는 한 개의 편광자 만을 사용한 dye guest-host FLC 구조와 비틀린 강유전성 액정구조에 대해

발표하였다. 한편, 이탈리아에서는 배향막으로 polytetrafluoroethylene(PTFE 또는 teflon)을 이용한 수동구동 방식의 FLC를 발표하였다. PTFE 배향막을 사용한 경우에는 polyimide를 사용한 기존의 FLC에 비해 hysteresis가 존재하지 않으며, image sticking이 줄어들고 응답시간이 빨라지는 장점이 있다. 이밖에도 미국의 Displaytech사에서는 광소자로 응용하기에 적합한 새로운 강유전성 액정물질을 발표하였다. 종합하면, 강유전성 액정 디스플레이의 제품기술보다는 기초기술과 상대적으로 소형인 공간 광변조기(spatial light modulator)와 같은 소자 응용기술이 주된 결과들이었다.

2.3 표면현상, 배향, 컴퓨터 모델링

이번 ILCC에서 주목할 만한 점들 중의 하나는 액정의 상전이나 임계현상을 비롯한 부피영역이 보이는 물리적 현상보다 표면현상에 관심이 집중되었다. 특히, 디스플레이에의 응용과 관련하여 고체 기판과 액정 사이의 계면현상, 자세히는 러빙 또는 광배향 처리된 기판에서의 표면 고정에너지와 표면질서에 관한 연구결과가 많이 발표되었다. 이들 발표된 논문 중에서 액정의 계면현상과 표면고정 현상에 관한 결과를 중심으로 살펴보기로 한다.

먼저, 이탈리아에서는 수평과 수직고정의 상호경쟁에 의한 네마틱 액정의 배향에 관해서 발표하였다. 단거리(short-range) 네마틱-기판 상호작용은 수직 배향을 유도하는 반면, 장거리(long-range) 수평고정에 의한 효과는 이것과 서로 경쟁한다. 단거리 표면고정의 세기에 따라 액정은 수평, 수직, 또는 변형된 배향 구조를 선택하게 되고, 이러한 이론은 네마틱 액정의 온도 혹은 선택적 흡착에 따른 표면 전이를 설명하는데 적용될 수 있다. 한편, 이 현상은 네마틱 액정의 선경사각(pretilt angle)을 조절하는데 적용될 수 있다. 미국 UC Berkeley 대학에서는 액정의 부피영역까지 미치는 표면배향의 근본적인 원인을 규명하기 위해 표면 제 2 고조파 발생(second harmonic generation; SHG)을 이용하여 표면 단일층(surface monolayer)의 배열방향을 결정하였고, 부피영역에서의 배열방향을 ellipsometry로 분석하였다. 그 결과로부터, 단거리 기판-액정의 상호작용에 의해 표면 단일층이 배향되고, 다시 액정-액정 상호작용에 의해 탄성적(또는 epitaxial)으로 부피영역의 액정이 배향됨을 설명하였다. 또, 이러한 접근을 스멕틱 액정에도 적용하여 네마틱 상관(correlation) 뿐만 아니라, 네마틱과 스멕틱 질서간의 결합(coupling)이 스멕틱 액정의 배향에 큰 영향을 준다는 사실을 발견하였다. 이러한 스멕틱 액정의 배향 메커니즘은 강유전성 액정의 배향 문제와 직접 연관된 중요한 의미를 가진다.

한편, 러빙된 polyimide 표면에서의 atomic force microscopy(AFM)를 이용한 표면연구는 현재까지 한국을 포함하여 국제적으로 상당히 발표되었지만, 영국의 국방성 연구처에서 수행한 연구는 한층 진일보한 것으로 평가된다. 여러 기판소재와 박막 polyimide가 입혀진 후의 표면형상을 비교·분석하였을 뿐 아니라 러빙에 의해 변화된 표면형상을 여러가지 종류로 체계적인 분석을 시도하였다. 그 중에서도(50-300)nm 정도의 길이와(5-15)nm 높이의 용기된 부분이 고밀도로 분포되어 선경사각에 영향을 주며,(5-20)nm 넓이의 배경조직(background texture) 또한 배향에 관계함을 알았다. 이러한 연구로부터 기존의 러빙기술은 배향에 불필요한 부분까지 포함하고 있으며, 능동구동 소자인 박막 트랜지스터(thin film transistor; TFT)에 손상을 거의 주지 않을 정도의 약한 힘만으로도 배향이 가능함을 제시하고 있다. 액정 자유 계면에서의 구조를 연구하는 새로운 도구로서 AFM을 적용한 연구가 다수 발표되었으며, Schlieren 조직과 같은 결함(defect)이나 전경(disclination)들의 표면 네마틱 구조와 더불어 콜레스테릭 액정의 지문조직도 관찰하였으며, 일반적으로 에너지 관점에서 본 기존의 표면굴곡보다 실제로는 훨씬 크다는 사실을 발견하였다. AFM을 이용한 또 다른 경우는 Slovenia에서 처음으로 보고한 등방상-네마틱 상전이 부근에서 액정표면이 보이는 인력 및 척력의 임계거동에 대한 것이다.

이와 더불어, 표면 고정에너지의 측정방법에 관한 연구가 발표되었다. Osaka Sankyo 대학에서는 수직과 수평고정이 합해진 개념의 통일 고정에너지(unified anchoring energy)의 개념을 제시하여 그것을 측정하는 방법을 발표하였으나, 통일 고정에너지 관점은 아직은 여러 가지 측면에서 논란이 있을 것으로 보인다. 그 밖에 Nagoya 대학에서 고안한 편광자, 검광자 및 시편 모두를 회전하며 투과도를 측정하는 방법을 사용하여 twisted nematic(TN) 시편의 수평 고정에너지를 측정하였으며, 이 방법은 현재 일본에서 상용화를 목표로 하고 있다. 또한, 타 국가 연구팀들 또한 표면고정의 온도의존성에 대한 연구를 수행하여 네마틱 질서와 표면고정 사이의 연관관계를 밝히고자 하였다. 일본 동북대에서는 단일층 광섬유를 이용한 러빙으로, 기존의 러빙과정의 단순화를 통하여 러빙효과와 표면배향 메커니즘에 대해서 연구하였으며, 미세골(micro-groove)의 폭이 넓을수록 표면고정이 상대적으로 커진다는 사실을 보고하였다. Kent 대학에서는 선형으로 편광된 UV 광에 의한 고분자 박막에서의 배향에 대한 미시적 모델을 제시하여, 노광량과 고분자 박막이 보이는 광학적 이방성 사이의 관계를 설명하였다.

이론과 컴퓨터 모델링에서는 UC Santa Barbara 대학에서 발

표한 표면부근의 질서 매개변수의 요동에 의한 국소적 상전이 온도의 변화를 비롯한 여러가지 현상들이 있으며, 기존의 평균장 이론을 현상론적으로 수정하여 강유전성 액정에 적용함으로써 실험치에 근접하는 자발분극을 계산할 수 있음을 보고한 Colorado 대학이 있다. 한편, 액정분자들 사이에서 Gay-Berne 포텐셜을 고려한 분자 동역학 전산시뮬을 통하여 표면 고정 에너지지를 계산하고 표면 고정과 표면 유도층의 온도의존성을 연구한 결과도 보고되었다.

2.4 반강유전성 액정 및 응용

반강유전성 액정(antiferroelectric liquid crystals; AFLCs)은 1988년 일본 동경 공업대 연구팀에 의하여 발견된 이후, 고유한 특성(상전이시의 여러 중간상의 존재, 외부 전기장 유도 반강유전-강유전 상전이 시의 tristable switching 및 급격한 문턱전압의 존재, 빠른 응답속도, 넓은 시야각, 외부 충격에 대한 안정성 등)으로 말미암아 학문적인 관심 뿐 아니라 차세대 액정 디스플레이에의 응용에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 이번 ILCC에서 반강유전성 액정에 대한 발표 논문은 구두발표 7편과 포스터 발표 40편으로 총 47편이었고, 이들은 일본 및 아시아권에서 17편(한국은 초청강연 포함 2편), 미국 6편, 유럽 21편, 구소련권을 포함한 러시아 3편으로, 유럽 및 아시아권에서 주된 연구가 이루어짐을 알 수 있다. 현재 일부를 제외하고는 응용측면보다 주로 반강유전 특성 및 새로운 현상에 대한 접근과 기초이론 등이 주된 발표 내용이지만, 디스플레이에의 응용 가능성을 제시한 몇몇 논문들과 시제품을 중심으로 살펴보기로 한다.

먼저, 동경 공업대의 연구팀은 최초로 반강유전성 액정을 발견하였을 뿐 아니라 현재 이 분야에서 가장 선두적인 위치를 차지하고 있다. 이번 학회에 발표된 주된 연구결과는 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 기존 강유전성 액정에서는 자발분극이 액정 경사면에 대하여 수직(transverse)으로 존재하는데 반해 반강유전성 액정에서는 스멕틱 층 경계면에서 액정 경사면에 평행한(in-plane) 자발분극이 존재한다는 새로운 사실을 제시하여 많은 관심을 끌었다. 둘째, 반강유전성 액정의 전기장 유도 반강유전-강유전 상전이의 경우 문턱전기장이 존재하지 않는 연속적인 switching을 보이는 새로운 물질에 대한 결과이다. 반강유전성 액정의 대부분은 외부 전기장에 대해 일반적으로 세 개의 안정된 상들이 존재(전기장이 걸리지 않을 때는 반강유전상을 유지하며 문턱전기장 이상에서 그 극성에 따라 분자 경사방향이 서로 반대인 두 개의 강유전상이 나타남)하는 것으로 알려져 왔다. 또한, 전기장 유도 반강유전-강유

전 상전이에에는 급격한 변화가 나타나는 문턱전기장이 존재함이 일반적인 현상이다. 이러한 전기장 유도 상전이 시 문턱전기장 이하에서는 서로 직교하는 두 편광자 사이에 있는 반강유전성 액정시편의 투과도가 작기는 하지만 전기장의 제곱에 비례하여 변화하는 선전이 효과(pretransitional effect)가 나타난다. 반강유전성 액정의 tristable switching 특성과 외부 충격에 대한 반강유전상의 안정성, 넓은 시야각 및 빠른 응답속도는 액정 디스플레이로의 응용측면에서 기존의 강유전성 액정보다 유리하나 선전이 효과에 의해 대비비(contrast ratio)가 떨어지는 단점이 존재한다.

현재까지 일본에서 선전이 효과를 억제하여 대비비를 높인 두가지 prototype의 반강유전성 액정 디스플레이를 개발하였으며, 이들은 Nippondenso Co., Ltd.의 "6급, video rate, full-color 디스플레이와 Citizen Watch Co., Ltd.의 5.5" 급, VGA monochrome 디스플레이가 있으며, 두 가지 모두 매우 넓은 시야각과 30 이상의 대비비를 갖고 있다. 그러나, tristable switching 만을 이용한 이러한 디스플레이의 경우는 여전히 제조표시에 한계가 있다는 단점이 있다. 이번 학회에서 발표된 문턱전기장이 없는 연속적인 switching을 나타내는 반강유전성 액정을 사용할 경우에는 반강유전성 액정의 넓은 시야각, 높은 대비비, 빠른 응답속도를 유지하며 이상적인 제조표시가 가능하여 차세대 액정 디스플레이의 개발에 이용될 수 있을 것으로 기대된다. 반강유전성 액정의 제조표시에 대한 또 다른 접근으로 스페인의 Ciudad 대학에서 발표한 multiple micro-domain들의 전기장에 대한 서로 다른 응답특성의 평균 투과도를 이용하는 방법이 있다.

한편, 반강유전성 액정 셀을 제작할 경우 배향이 쉽지 않고 배향된 액정분자들도 전기장 인가에 의한 상전이가 일어날 때 스멕틱층들이 회전하게 된다. 이와 같은 특성들은 반강유전성 액정 디스플레이의 단점이 되며, 따라서 표면과 배향특성과의 상관관계등에 대한 더 자세한 연구가 필요한 실정이다. 일본의 Nippondenso Co., Ltd.에서는 러빙 처리한 표면의 종류와 외부에서 인가하는 전기장의 파형에 따른 스멕틱층의 회전에 대한 결과를 발표하였다. 한국의 초청강연에서는 반강유전성 액정의 전기장 유도 상전이에 대한 이론적 모델을 제시하였고, 추가로 응용기술로는 액정셀의 두 러빙방향 사이의 각도가 스멕틱 경사각의 두배가 되는 twisted AFLC(TAFLC) 구조를 처음으로 제안하였다. TAFLC 구조에서는 기존의 두 러빙방향이 평행한 경우보다 뛰어난 배향을 얻을 수 있고 투과도가 향상된다는 장점이 있다. 또한, 이 구조에서는 선전이 효과가 기존 AFLC에 비하여 매우 크게 나타나게 되어 오히려 우수한 제조표시 기능을 달성할 수 있다.

2.5 액정의 광학 특성 및 응용

액정의 광학 특성 및 응용 관련분야의 발표논문들 중에서 상기에 이미 언급한 강유전성 액정, 반강유전성 액정, 제한 구조와 다음 절에서 기술할 비선형 광학분야를 제외하고는 구두발표 10편을 포함하여 약 40여편의 논문이 발표되었다. 국가별로는 미국이 13편으로 가장 많고, 일본이 7편, 유럽권에서 9편, 러시아 4편, 일본을 제외한 아시아권에서는 한국 2편을 포함하여 5편 등으로 이 분야에서는 미국에서 많은 연구가 진행되고 있다. 특히, 이 분야에서는 학문적인 관점에서 뿐 아니라 응용을 위한 많은 연구결과들이 발표되고 있지만, 현재 디스플레이에 직접 연관되기 보다는 광소자에 관련되는 기술에 대한 결과들이 상대적으로 많았다. 응용에 대한 논문들을 내용별로 살펴보면, 먼저 배향막의 광학적 처리에 의한 네마틱 액정의 배향에 대한 것이 있고 광소자 관련분야는 콜레스테릭 액정을 이용한 경우가 대다수를 차지하고 있다.

배향막의 광학적 처리에 의한 배향특성 연구는 현재 국내에서도 광고분자 배향막에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 이는 배향막의 균일도와 시야각 향상을 위한 하나의 접근방법으로 고려된다. 구체적으로는, 고분자 배향막에 편광된 자외선을 입사하여 배향막의 비등방성을 유발하여 액정을 배향하는 것으로 표면 고정에너지를 측정함으로써 자외선에 의한 배향막의 배향 메커니즘을 알고자 하였다. 이 연구는 액정 디스플레이의 표면처리에 대한 기초적인 연구이며, 일본의 동경대학, 일본 IBM 연구소, 미국의 Kent 대학, 한국의 LG 전자 등의 연구결과들이 있으며 배향막으로 사용된 고분자로는 polyimide나 polyvinyl cinnamate(PVCI) 등이 있다.

콜레스테릭 액정을 이용한 광소자 개발 분야에서는 미국이 선두를 달리고 있으며 Reveo, Inc.와 Kent 대학 등이 많은 결과를 발표하였다. 특히, Reveo, Inc.에서는 콜레스테릭 액정을 이용한 single layer non-absorptive broadband polarizer를 고안하고 이에 대한 다수의 연구결과를 발표하였는데, 이 결과들은 광소자 및 평판 디스플레이에의 응용에 중요한 역할을 할 것으로 생각된다. 일반적으로 dichroic이나 prism형의 polarizer를 많이 사용하나 dichroic의 경우는 흡수에 의한 낮은 투과도를 갖는 단점이 있고, prism형의 경우는 광학계의 numerical aperture (N.A.)가 증가하는 단점이 있다. 그러나, 수평조직 콜레스테릭 액정막을 사용한 polarizer의 경우 비흡수형이면서도 N.A.의 증가가 없는 polarizer를 개발할 수 있고, Reveo에서는 광대역의 비흡수형 콜레스테릭 polarizer에 대한 연구결과와 함께 콜레스테릭 액정을 기반으로 한 다층 광정보 저장기술에 대한 결과도 보고하였다. 미국의 Kent 대학에서 다양한 분야의 연구결

과들을 발표하고 있는데 그 중 indium tin oxide(ITO)가 입혀진 유리기판 대신 전도성 고분자 기판을 이용한 액정 디스플레이 개발에 관한 내용이 있다. 이 연구결과들은 여러 가지 종류의 고분자 기판위에 전도성 고분자막으로 전극을 형성하여 제작한 콜레스테릭 반사형 액정 디스플레이의 적합성을 시험하였고, 그 전기광학 특성을 ITO 유리기판의 경우와 비교하였다.

한국에서 발표한 "Homeotropic to Twisted Planar(HTP) Transition in Nematic Liquid Crystals with Negative Dielectric Anisotropy" 논문에서는 HTP 구조가 기존의 TN 구조와는 역의 개념으로 매우 높은 대비비와 넓은 시야각, 그리고 입사광에 대한 파장의존성이 거의 없는 장점으로 인해 TFT 액정 디스플레이에 매우 적합한 구조임을 보고하였다. 그 결과들은 세계적으로 학계 및 산업체의 깊은 관심을 불러 모았다. 다른 한편, 표면 변전효과(flexoelectric effect)에 대한 연구결과는 TN 및 STN 구조에서의 구동특성에 극성 전기장이 미치는 영향을 체계적으로 분석하여 화면의 질을 향상시키고자 하였다.

2.6 비선형 광학 현상과 분자 동역학

마지막으로 비선형 광학 현상(nonlinear optical phenomena)과 분자 재배열 동역학(reorientational dynamics) 분야에 발표된 논문은 각각 13편과 15편으로 아직까지는 이 분야의 연구가 활성화된 편은 아니다. 현재까지의 연구상황을 보면, 먼저 비선형 광학 분야는 주로 강유전성 액정을 정보통신에 응용하기 위한 광학소자 개발측면에서 고분자 재료(polymer materials)를 주로 연구해 왔고, 분자 재배열 동역학 분야에서는 네마틱 액정에 거의 집중되었다. 이번 ILCC에서 발표된 논문들을 몇가지 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 비선형 광학 분야에서는 미국, 일본, 스웨덴 등지에서 주로 논문을 발표하였으나, 일본의 동경 공업대와 미국의 Kent 대학을 빼놓을 수는 없다. 주된 연구는 대부분 네마틱 액정, 강유전성 액정과 액정 고분자에 관한 내용이며, 배향층의 구조 분석을 위한 제 2고조파 발생 연구결과가 포함되어 있다. 일반적으로 제 2고조파 발생은 noncentrosymmetric한 매질에서 발생하는 현상으로 균일한 네마틱 액정에서는 구조적 대칭성 때문에 제 2고조파가 발생할 수 없으나, 미국의 Kent 대학에서는 주기적인 방향자 분포를 갖는 네마틱 구조에서 제 2고조파를 관측하였다. 액정 고분자나 배향층에서의 제 2고조파 발생 연구에서는 액정의 배향 메커니즘을 이해하기 위해 여러 나라에서 실험을 수행하였다. 한편, 강유전성 액정에서의 제 2고조파 발생 연구는 보다 큰 제 2차 비선형 광학계수를 갖는 물질을 개발하기 위하여 분자구조를 변화시키면서 수행한 미

국의 Colorado 대학 연구팀의 결과가 있다. 한국에서 발표된 논문은 강유전성 액정에서의 chirality 변화에 의한 제2고조파 발생특성에 대한 결과가 있을 뿐이다.

분자 재배열 동역학에 대한 연구는 디스플레이 및 광학소자로서 액정을 이용하기 위해 필수적으로 선행되어야 한다. 전기장에 의한 분자들의 회전운동이나 빛의 세기에 따른 구조적 변화 등에 관한 연구가 이 분야의 주된 주제이다. 전기장에 의한 액정분자들의 집합적 회전운동은 디스플레이의 응답속도를 결정하게 되고 빛의 세기에 따른 액정의 구조적 변화는 차세대 all-optical system 구성에 요구되는 기초연구이다. 이 분야에서의 연구는 미국, 스웨덴, 이탈리아 등지에서 활발하게 수행되고 있으며, 안타깝게도 국내에서는 전무한 상태이다.

미국 Colorado 대학팀은 염료(dye)가 첨가되어 있는 배향된 액정에 514nm의 Ar 레이저를 입사시켜 간섭무늬가 생기는 현상을 관찰하였다. 직류 전기장이 인가된 액정에서 간섭무늬의 수직방향으로 생기는 빛의 세기분포는 액정 방향자의 변조를 발생시키며, 그 결과 생기는 굴절률의 변조는 He-Ne 레이저의 회절로 검지하였다. 이 결과들을 광굴절 효과의 동역학으로 분석하였다. 스웨덴 Chalmers 대학팀은 네마틱과 스멕틱 A상에서의 액정분자 및 층 재배열을 연구하였으며, Kent 대학에서는 염료가 첨가된 배향막에서 편광된 빛에 의해 유도되는 비등방성에 대해서 연구하였다. 빛에 의해 유도된 복굴절과 polyimide에 존재하는 몇몇 azo-dye들의 표면 고정에너지를 빛의 세기와 조사한 시간의 함수로 측정하였으며, 이를 설명하기 위한 간단한 이론을 제안하였다. 이탈리아와 독일에서는 광학적 Kerr 효과 실험을 수행하였다. 한편, 미국의 Brandeis 대학의 Meyer 교수팀은 "Liquid Crystal Smart Reflectors"를 개발하였으며, 여기에 사용한 시료는 빛을 흡수하는 염료와 온도에 민

감한 helix pitch를 갖는 콜레스테릭 액정의 혼합체이다. 액정에 입사되는 빛은 염료에 의해서 흡수되어 열을 발생시켜 액정의 온도를 상승시키고 그 결과 콜레스테릭 액정의 helix pitch가 변화면서 시편의 반사율을 증가시킨다. 이 경우 염료에 흡수되는 빛의 양이 줄게 되고 이 negative feedback은 주어진 빛의 세기에 대해서 reflector를 안정화시킨다. Meyer 교수팀은 기초강연에서 이러한 소자의 두가지 형태를 제안하였고, 이들 모두의 실험결과를 수학적인 모델 내에서 설명하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 비선형 광학 현상 및 분자 재배열 동역학 분야에서의 연구는 현재 다른 분야에 비해 상대적으로 새로운 분야이나, 액정의 차세대 응용관점에서는 앞으로 연구가 더욱 활발히 진행되어야 할 것이다.

3. 결 론

상기에 요약한 제16회 ILCC에서 발표된 논문들의 내용을 종합해 보면, 액정의 물리화학적 성질에 대한 기초연구를 포함하여 액정의 산업적 응용을 위한 기반기술의 개발에 대한 결과가 망라되어 있다. 이러한 점을 감안할 때, 매 2년마다 개최되는 ILCC는 현재 학계 뿐 아니라 디스플레이 관련 산업체에서의 참석이 절대적으로 요구된다. 특히, 지적재산권의 분쟁이 갈수록 심화되는 현 시점에서 차세대 액정 디스플레이 및 광정보 처리 소자 개발을 위해서도 국내의 고급 연구인력의 육성이 시급한 실정이다. 한마디로 결론짓자면, ILCC는 액정관련 기초연구 및 응용연구 결과의 세계적 제전이라고 일컬을 수 있고, ILCC를 통하여 한국이 명실상부한 제2의 더 나아가 제1의 차세대 액정 디스플레이를 개발하기 위한 기반 요소기술을 확보할 수 있으리라 기대한다.