고분자 안정화 블루상(BP) 액정 기술

최 석 원[1,2,3] ([1]경희대학교 디스플레이재료공학과, [2]디스플레이부품/소재혁신센터, [3]영상정보소재기술연구센터)

Ⅰ. 서 론

최근의 눈 부신 액정 디스플레이 (LCD) 의 기술 발전으로 인하여 고해상도의 대형 LCD TV 는 TV 시장에서 점유율을 점차 확대, 장악하여 향후, 대화면 박형 TV 로서 부동의 위치를 점하리라 예상되고 있다. 그러나, 한 편으로는 LCD 의 결점이라 지적되는 응답 속도를 보완하는 기술이 한계에 가까이 와 있다는 지적 또한 팽배하여 있어, 5년 뒤, 10년 뒤의 LCD 의 모습에 대하여 부정적인 시각이 있는 것 또한 부정할 수 없는 사실이다. 지금까지의 액정의 늦은 응답 속도를 보완하며 동화 특성을 향상시키는 기술로서, 셀간격을 줄이는 방법, 오버드라이브 구동법의 적용, 기존의 60 Hz 구동에서, 120 Hz 나 240 Hz 등의 배속 구동법을 적용하는 방법 등 등의 기술이 쓰이고 있으나, 이러한 방법은 액정 모드의 근본적인 문제점을 해결하는 기술이 아닌, 어디까지나 보완 기술에 불과해 소극적인 문제 해결 법이라고 해도 과언은 아닐 것이다. 물론 액정 재료 측면에서도 장족의 발전이 있어, 고속 응답용 네마틱액정 (nematic LC, 이하 NLC) 물성의 최적화 등의 노력이 이루어지고 있지만, 재료 설계에 분명히 한계는 있어 보인다. 그렇다면 액정 모드의 근본적인 문제를 적극적으로 해결 할 수 있는 방법은 없는 것일까?

2000년 대 초까지 이러한 문제를 적극적으로 해결하는 방법으로 NLC재료를 기반으로 한 현재의 액정 모드를 (반)강유전성 액정 재료로 바꾸자는 연구가 진행되어 왔다. 유전이방성에 의한 NLC의 구동은 인가전계 (印加電界)와 NLC간의 간접적인 응답이라 응답이 완료되기 까지, 수십 밀리초(ms)의 응답 시간이 걸린다. 그 것에 비해, 거시적으로 자발적인 분극을 가지는 (반)강유전성 액정을 이용하여, 인가 전계와 액정간의 직접적인 상호 작용을 유도하면, 마이크로초(μs) 오더의 획기적인 응답 시간의 개선 기대 된다는 것이다. 그러나, 일본의 디스플레이 메이커가 중심이 되어 많은 노력이 견주어 왔지만, 이런 저런 문제로 양산화에 이르지 못하는 현실이다.

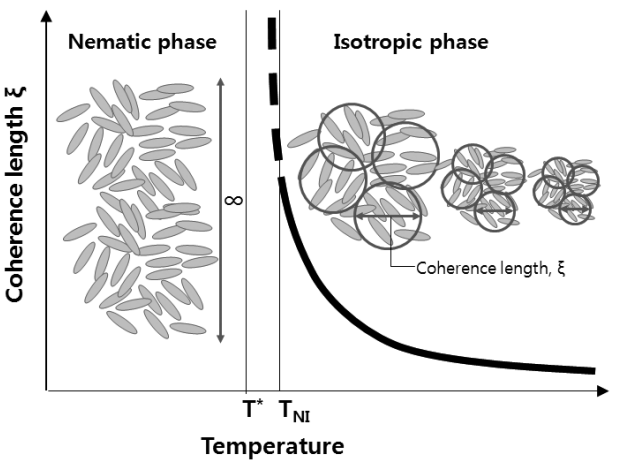
그러한 와 중에 2008년도에 삼성 전자에 의한 “세계 최초 블루상 액정 디스플레이 패널 개발” 이란 소식이 필자를 포함하는 액정 재료 연구/개발자에 큰 충격을 안겨주었다. 그렇다면, 도대체, 블루상(Blue phase, 이하 BP)액정이란 무엇이며, 고분자 안정화BP액정 모드는 앞서 설명한 LCD 의 문제점을 적극적으로, 근본적으로 해결할 수 있는 기술인 것일까? 본고(本稿)에서는 이러한 의문점에 대하여 가능한 한 알기 쉽도록 해설하도록 하며, 개발 현장에서 직면한 문제점 등 등에 대하여도 간략히 소개하도록 하겠다.

Ⅱ. 액정의 고속 응답화

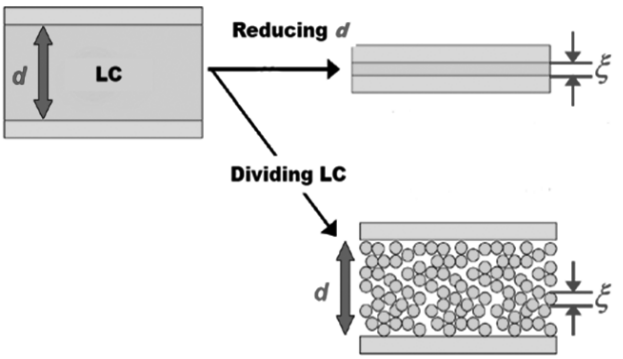
현재, LCD 에 쓰이고 있는 NLC의 배향 벡터 (director)의 다이나믹스는 앞에서 지적한 바와 같이 일반적으로 수십 밀리초 (ms) 오더이나, 액정 분자 한 개의 회전의

다이나믹스가 나노초 (ns) 오더 임을 생각하면, NLC의 고속화 가능성에는 잠재적인 충분한 여지가 있어 보인다.[1] 이러한 NLC의 배향 벡터의 움직임의 둔화의 원인은 그 것이 거대한 분자 집단으로 움직이기 때문이다.(Collective motion) 즉, 배향 벡터는 회전 운동하는 다수의 액정 분자의 평균 배향 방향이기에, 개 개의 분자의 회전이 제 아무리 빠르더라도, 다수의 분자가 모인 집단으로는 그렇게 쉽게 움직일 수가 없다. 그렇다면, 그 집단의 분자 수를 줄여, 운동 단위를 간결한 단위로 단순화 한다면 고속화가 달성될 수 있을 것이다.

이러한 개념이 실제적으로 적용되고 있는 예가, 바로 LCD에서 셀간격을 줄여 고속화하는 방법이다. 즉, N-등방상(Iso) 전이 온도 (T_{NI}) 근방에 발생하는 네막틱적인 단거리 질서를 가지는 영역의 크기 ξ (coherence length, 相關長)는 [그림 1]과 같이 온도와 더불어 급격히 증가하며, T_{NI} 이하에서 무한대로 발산한다. (T*에서 무한대로 발산되며, 일반적으로 T*는 T_{NI} 보다 1℃ 낮은 온도에 존재한다.)[2] 즉, NLC에는 네막틱적인 단거리 질서를 가지는 영역의 크기 ξ는 무한대의 크기를 가지나, 실무적으로는 상판과 하판간의 특정 셀간격을 가지는 용기안에 NLC를 가둬, ξ 를 조절하고 있는 셈인 것이다. 예를 들어, 셀간격이 4μm 이면, ξ 는 4μm로 제한 된 것이며, 셀간격을 2μm 로 줄였다면, ξ 를 2μm로 줄였다는 이야기가 되며, ξ 를 감소시킨 것은,



[그림 1] NLC의 T_{NI} 근방에서 관찰되는 ξ의 온도의존성[1,2]



[그림 2] 셀 내부의 세분화/미세화[3]

즉 집단의 분자 수를 줄여, 운동 단위를 간결한 단위로 단순화하였다는 이야기이다. 셀간격을 줄이는 것이 LCD의 응답 속도의 개선에 크게 영향을 미치는 것이 바로 이러한 이유 때문인 것이다. 그러나, LCD 셀의 전기광학적 특성이나, 셀공정적인 측면에서 무제한으로 셀간격을 줄일 수 없음은 두 말 할 나위 없다.

셀간격을 줄일 수 없다면, [그림 2]와 같이 셀 내부를 일정 크기로 세분화/미세화[3]하여, 운동단위를 간결한 단위로 단순화할 수는 없을 것일까? 여기서, 자발적으로 수백 나노 크기로 분자가 배열하며, 간결한 단위로 자기집합체를 이루는 액정상, 즉, BP를 이용하는 방법이 제안되는 것이다.

Ⅲ. 고분자 안정화 BP

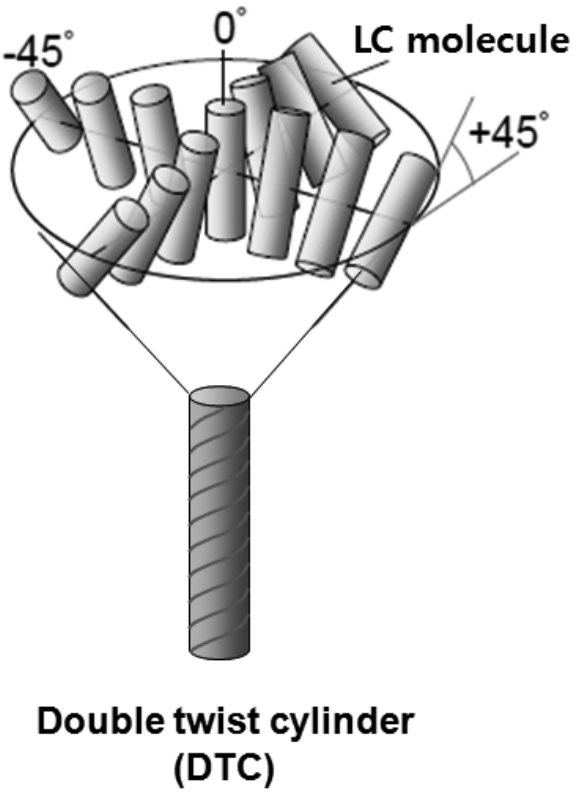
1. BP

BP는 키랄네마틱(Ch)상과 Iso간의 좁은 온도 범위에 출현하는 액정상으로 눈으로 보기에 청색을 띠는 경우가 많아, 청색액정상이라 불린다. (실제는 청색 이외의 색을 띠는 경우도 많다.) 1888년의 액정의 발견과 동시에 BP의 존재 또한 어느 정도 인식되어 왔었으나, 좁은 온도 범위와 준안정적 (準安定的)인 액정상이라는 오인(誤認) 속에서 오랫동안 주목 받지 못하였다. 그러나, 1970년대에 이르러, 액정 연구자들에 의하여 복수의 물질에서 광학 조직 관찰에 의하여 BP가 관찰되었으며, 또한, Ch-BP-Iso의 상전이가 1차전이(1st order

transition)라는 것이 밝혀져, BP가 열역학적으로 안정한 액정상임이 넓게 알려지기 시작하였고, 1980년대에 이르러 비로서 BP 특유의 본질이 규명되었다.[4,5]

BP의 특징을 종합하면,

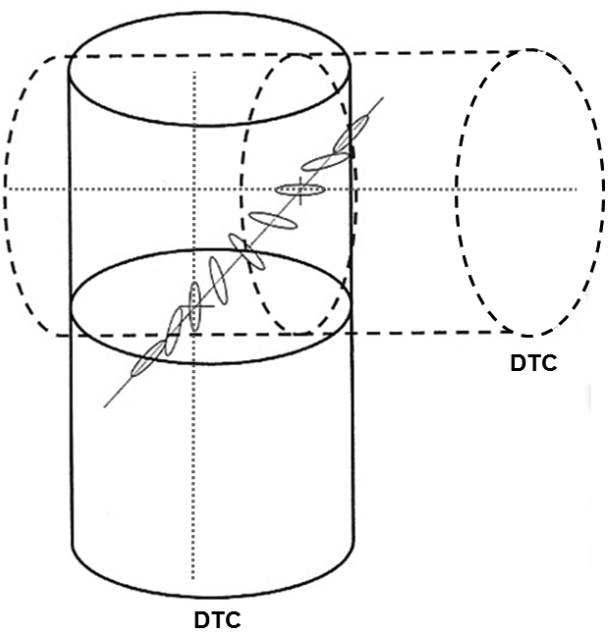
1) 비교적 짧은 나선핏치 (500 nm 이하)의 Ch와 Iso 간의 좁은 온도 범위 (1℃ 내외)에서 출현한다.
2) 광학적으로 등방적이다.
3) 편광현미경에 의하여 청색을 띠는 판상조직 (platelet)이 보인다. (청색 외의 색깔도 관찰 된다.) 관찰되는 색은 복굴절에 의한 색이 아니라, 원편광의 Bragg 반사에 의한 색깔이다.
4) 가시/자외선 영역에 3차원의 Bragg 회절을 한다.
5) 저온으로부터 BP I, BP II, BP III 의 3종의 BP가 존재하며, BP I 은 체심입방, BP II 는 단순입방의 대칭성을 가지며, BP III 는 등방상과 동일한 대칭성을 가지고 있다고 한다.
6) 규칙적으로 배열된 결함선 (disclination line)과 공존한다.



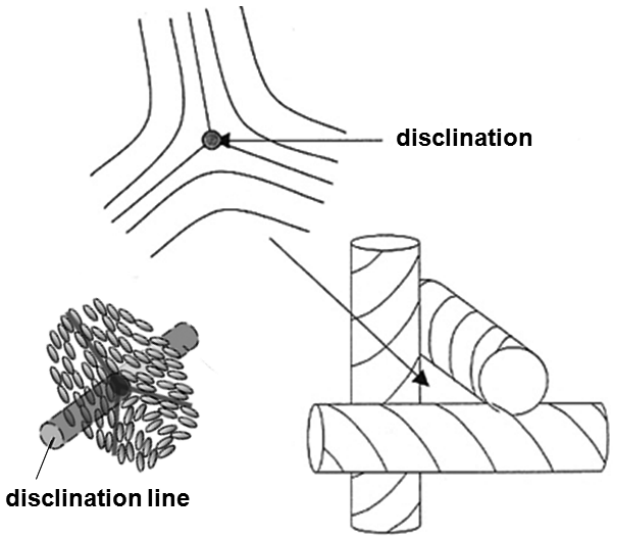
[그림 3] BP의 소구조체(素構造體)인 DTC의 모식도[1]

2. BP의 구조

1축 트위스트(twist) 구조를 3차원적으로 확장한 액정 상이 Ch 라 한다면, 결함의 발생을 허용하면서 2중 트위스트를 3차원적으로 확장시킨 액정상이 BP이다. 그 구조는 어떠한 액정상보다도 독특하며, 그 복잡한 구조를 쉽게 상상하기란 쉬운 일이 아니다. [그림 3]과 같은 2중 트위스트구조를 유지하는 일정 반경을 가지는 기둥(이것을 double twist cylinder: DTC 혹은 double twist tube: DTT라 부름) 이 BP의 소구조체 (素構造體)가 된다. 기본이 되는 DTC 내에서 분자는 중심축으로부터 원주(圓柱)의 외주(外周)까지 45도 트위스트되어 있다. 이렇게 되면 2개의 DTC가 직각으로 접하는 경우, [그림 4]와 같이 그 접점을 통과하여 양 DTC 축에 수직한 직선상으로 분자의 트위스트 구조가 연결된다. 따라서, DTC가 교차되는 구조에서는, 그 각 접점을 통하여 트위스트구조가 연속적으로 확장됨을 알 수 있다. 그리고, DTC간의 틈새에는, 분자가 연속



[그림 4] 직교하며 접하는 2개의 DTC간은 접점을 통하여 분자의 트위스트배열이 연속적으로 연결되어 있다.[1]

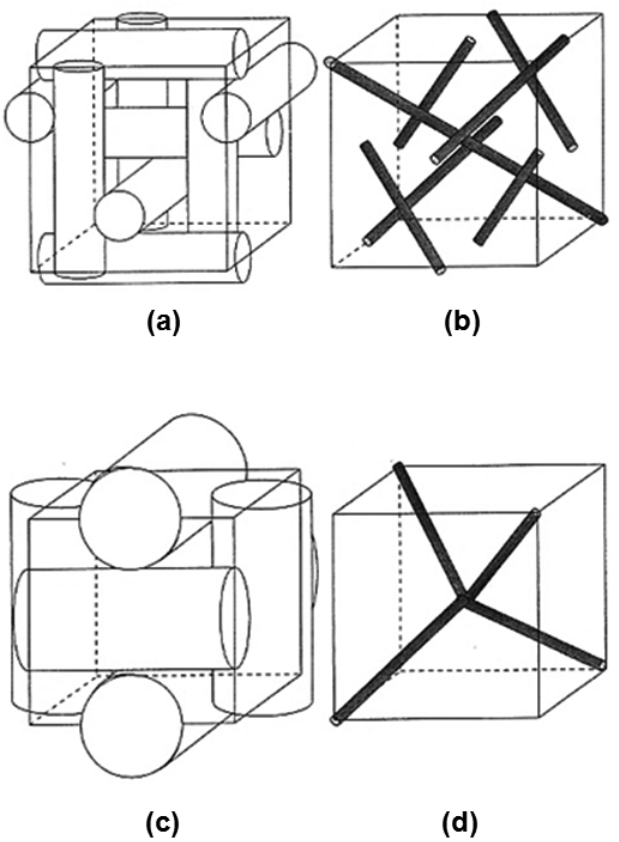


[그림 5] 서로 직교하며 접하는 3개의 DTC의 모퉁이에 발생하는 결함 (disclination). 이 결함은 DTC간을 비스듬이 관통하는 선상(線狀)의 결함선 (disclination line) 을 발생시킨다.[1]

적으로 연결되고자 하는 배열을 한다.

그러나, [그림 5] 과 같은 3개의 DTC 의 모퉁이에서는 배향의 특이점(特異点)이 발생하여, 1/2 강도의 결함 (disclination)이 발생한다. 이 결함은 DTC간을 비스듬히 관통하듯이 선상(線狀)으로 결함선(disclination line)을 발생시키며, 그 배열 또한 입방정계의 격자 구조가 된다.([그림 6] 참조) 이 와 같이, BP는 선결함과 공존하며, 선결함 근방의 분자배열은, 급격한 분자 배열의 변화를 견디지 못하고 등방적으로 흐트러져 있다고 추정되고 있다. 이론적 에너지 계산으로부터 등방적으로 흐트러져 있는 영역으로 이루어진 결함중심 (disclination core)의 직경은 10nm 정도로 어림잡고 있다. BP에서는 DTC와 선결함은 표리(表裏)관계를 가지고 있다고 볼 수 있으며, 양쪽 모두 같은 결정계(結晶系)를 가지고 있어, 결함 측 관점에서 보면 BP는 이러한 결함에 의하여 유도된 액정상이라고도 생각할 수도 있다. 다시 말하면, DTC와 DTC가, DTC 사이에서 발생하는 결함 (defect) 과 균형을 이루면서 에너지적으로 안정적인 형태로 DTC가 직교하면서 입방(cubic)구조의 격자 (lattice)를 이루는 것이 BP이며,[6] 이러한 구조는 Landau-de Gennes 이론에 기초한 계산에 의하여서도 확인되어 있다.[7]

[그림 6]은 BP I 과 BP II 의 단위 격자내의 분자 배열 구조를 나타낸다.[8,9] 입방의 한 변의 길이 (격자상수)는 BP I의 경우는 1주기, BP II 인 경우는 1/2주기의 트위스트구조가 된다. 따라서, Ch의 트위스트주기 (pitch length) 와 같이, 분자의 트위스트 강도(twisting power) 에 의하여 이 주기 (즉, 격자상수) 가 변화한다. 이러한 이유로 BP는 자발적으로 수백 나노크기의 단위구조를 가지는 자기조직형의 액정상임을 알 수 있다. 이러한 단거리의 질서를 자발적으로 가지며, 형성되는 BP를 액정셀 내부에 충진하여 구동시킨다면, 앞서 설명한 바와 같이, 셀 내부를 일정 크기로 세분화/미세화



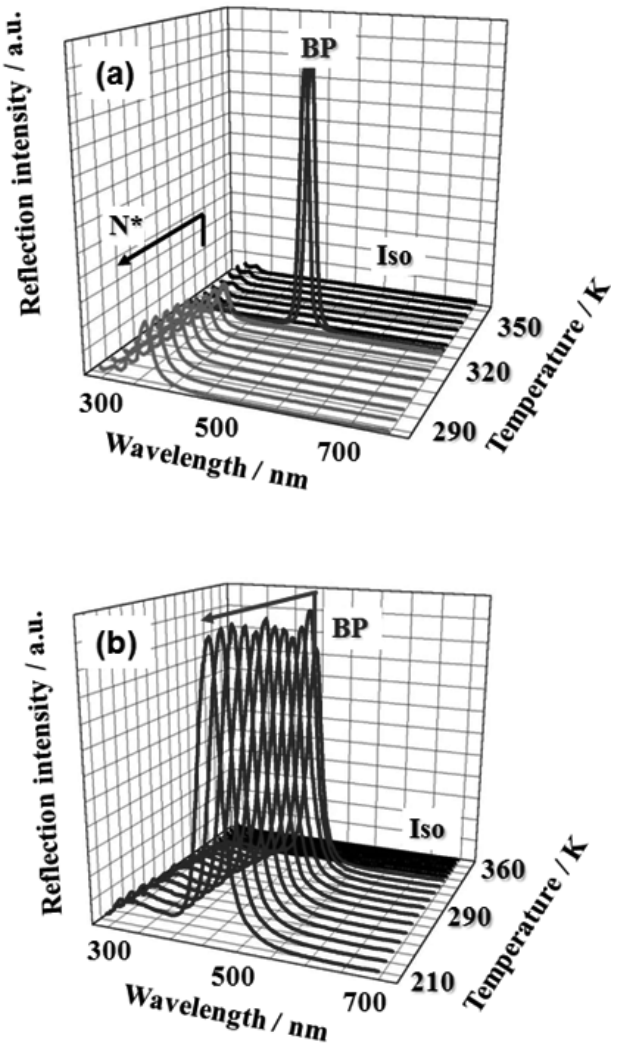
[그림 6] BP의 단위 격자내의 분자 배열 구조. (a) BP I 의 DTC 배열, (b) BP I 의 결함선의 배열, (c) BP II 의 DTC 배열, (d) BP II 의 결함선의 배열.[1,5]

하여, 운동단위를 간결화 할 수 있는 것은 아닐까? 이것이 BP를 이용하는 이유인 것이다. 그리고, 이러한 격자(운동단위)가 자외선 파장 정도(또는 자외선 파장보다 짧음)의 크기라면, 특별한 초기 배향 처리 없이도, 빛의 산란이 없는 광학적으로 등방적인 액정상이 될 것이다. 그러나, BP의 발현 온도 범위가 1도 내외이니, 이대로는 사용할 수 없다. 즉, 발현 온도 범위의 확장을 꾀하는 노력이 요구되는 것이다.

3. BP 발현 온도 범위의 확대

여기에서는 일본 큐슈대의 Kikuchi 연구그룹에 의해 보고된 BP발현 온도의 확장에 대한 결과를 소개한다.[10,11] 그들은 BP중에 소량의 고분자를 도입시키는 방법으로 BP가 극적으로 안정화된다는 것을 발견하였다. 그들의 "고분자에 의한 안정화"란 고분자화를 통한 분자배열의 고정이란 의미가 아닌, 본래 가지고 있는 액정 분자의 활발한 분자운동성을 그대로 유지한 체, 액정상의 발현 온도 범위를 확대하는 것을 지칭한다고 한다.

그들은 호스트 액정 재료로 혼합 NLC (JC-1041XX와 5CB) 에 카이랄첨가제 (chiral dopant, ZLI-4572)를 도입하여 BP를 발현시켰다. 즉, BP의 유도는 특별한 분자 구조를 가진 액정 분자에 한정되는 것이 아니라, 일반적인 NLC재료에 트위스트 구조를 유도할 수 있는 카이랄첨가제를 적정량 도입하면 된다. 이러한 물질을 이용하여 혼합물을 만들어, 반사스펙트럼을 측정하면, [그림 7] (a)와 같이 된다. 450 nm 근방의 피크는 BP I의 (110)면으로부터의 회절에 의한 피크이며, 일반적으로 보고되고 있는 것처럼, 그 회절이 관측되는 온도 범위는 1도 정도로 좁다. 이 저분자 액정 혼합물에 빛에 의하여 반응하는 고분자 전구체인 2-ethylhexylacrylate (EHA) 및 RM257를, 그리고 광개시제를 첨가하여, BP I을 유지시키면서 광중합을 행하면, [그림 7] (b)와 같이 450 nm 부근의 반사 피크가 출현하는 온도 범위가 보다 낮은 온도 영역으로 넓게 확장되었다. 편광현미경 관찰에 의해서도 그 넓은 온도 범위에서 BP I 특유의 판상조직 (platelet)이 관찰되었으며, 100도 이상 확장되었다. 이렇게 확장된 BP를 고분자안정화 BP라고 정의하고 있다. 이러한 안정화 효과는 저온 측에 발현하는 Ch상에 대한 BP의 상대적인 안정성이 증대되었기 때문이며, 이하와 같은 고찰로 설명하고 있다.



[그림 7] (a) 저분자BP 및 (b) 고분자 안정화 BP의 반사스펙트럼의 온도의존성. 450 nm 부근의 피크는 BP I 의 (110)면으로부터의 회절에 기인된다.[10]

선결함 주위의 분자는 앞서 설명한 바와 같이, 등방상과 같은 무질서한 분자배열을 이루고 있다. 따라서, BP는 유질서(有秩序)상과 무질서(無秩序)상이 공존하는 액정상이라 할 수 있다. 일반적으로, 고분자의 저분자 액정에 대한 상용성(相容性)은 액정의 배향질서도

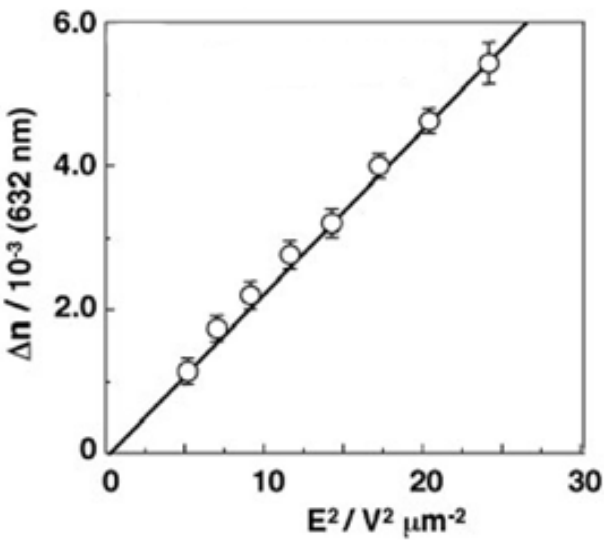
에 의존하며, 질서도가 낮을수록 상용성은 높다. 따라서, BP중에서 광중합된 고분자는 유질서(有秩序)상인 DTC 영역보다는 무질서상인 선결함 구조내에 편재(偏在)되리라 기대할 수 있다. 동시에, 고분자의 컴포메이션(conformation) 도 무질서 (random coil) 하기에, 선결함 구조내의 분자 배열을 무질서한 채로 유지시키는데도 고분자는 도움이 된다. 그렇게 되면, BP에서 Ch 상으로의 상전이에 따라 소멸하는 선결함구조는 고분자에 의하여 고정적(固定的)구조로 되며, BP 내지는 Ch의 상의 종류에 관계 없이 존재하게 된다. 이렇게 됨으로, 결함이 야기하는 불이익 (에너지적으로 불안정함)은 BP와 Ch에서 공통이 되며, Ch의 BP에 대한 열적우위성의 근거가 상실된다. 오히려 Ch보다 탄성에너지적으로 유리한 BP가 저온 영역에서도 에너지적으로 안정한 상으로 존재하게 되는 것이다. 그러한 의미에서 고분자 안정화 BP는 BP상의 고분자 안정화라기 보다는 Ch상의 불안정화가 그 본질이라 하겠다.

4. 고분자 안정화 BP의 전기광학 Kerr 효과

BP상에 전기장을 인가할 때에 일어나는 현상으로는 다음의 3가지가 알려져 있다.[12-14]

1) 국부적인 분자 재배열
2) 격자 변형
3) 상전이

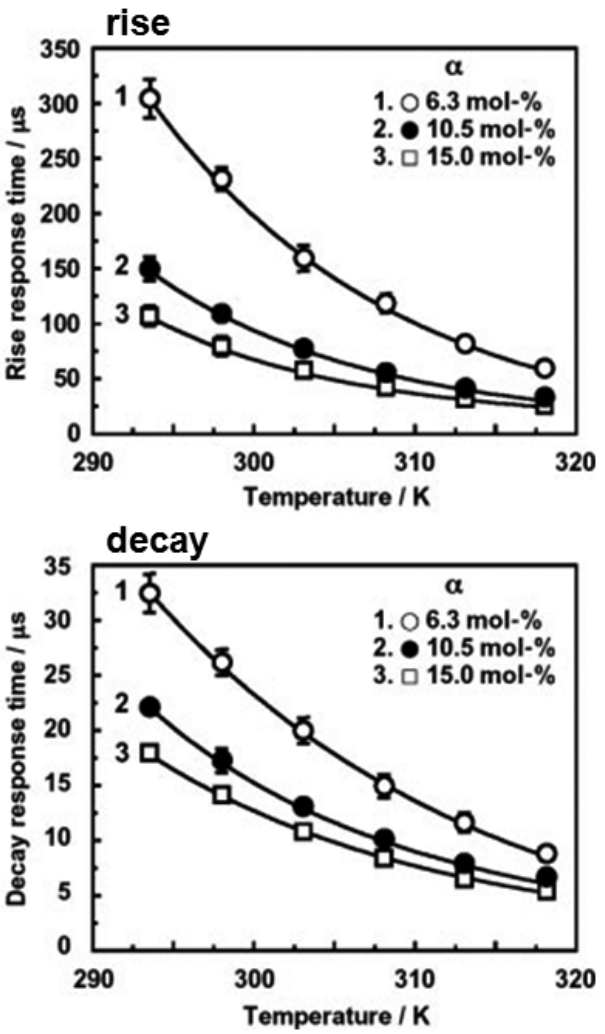
가장 낮은 전기장(低電氣場) 영역에서 일어나는 1)은 BP의 격자 구조의 변화를 수반하지 않고, 전기장 강도에 따라 국부적인 분자의 재배열이 일어나는 현상으로, 유도된 복굴절은 인가전기장의 2승에 비례하게 된다. (Kerr 효과) 여기서, 더욱 전기장을 증가 시키면, 2)가 일어나며, 격자 상수가 변화한다. 그리고, 보다 높은 전기장의 인가로 Ch 내지는, N으로의 전기장 유도의 상전이가 일어난다. 응답 시간은 1)은 수 ms 오더로 고속응답이며, 반면에 3)은 수 초(s) 이상의 오더가 된다. 고분자 안정화 BP에 전기장이 인가되는 경우에는 2), 3) 은 현저히 억제되어, 1) 이 주로 일어난다.



[그림 8] 고분자 안정화 BP의 전기장 인가에 의한 유도 복굴절.[11]

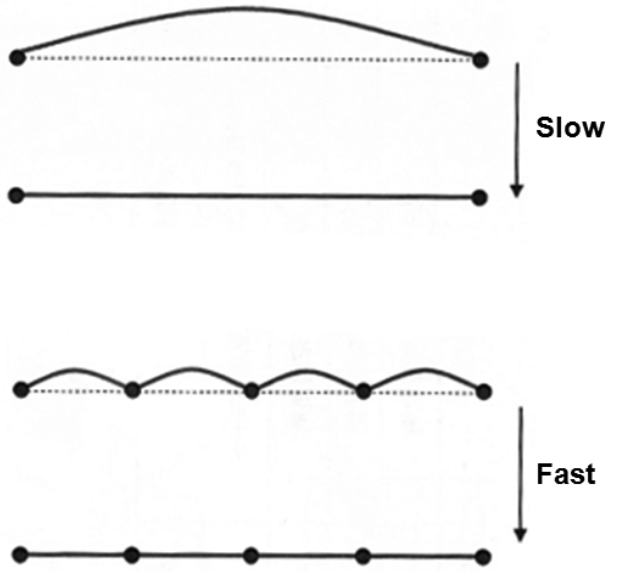
[그림 8]는 고분자 안정화 BP에서의 인가 전기장에 의한 유도 복굴절의 의존성을 나타낸다. 유도된 복굴절 Δn은 전기장의 2승에 비례하여 증가하며, 이 현상은 2차의 비선형 전기광학 현상인 Kerr 효과임을 알 수 있다. [그림 9]의 기울기로부터 계산되는 고분자 안정화 BP의 Kerr 상수는 니트로벤젠의 약 100배 이상의 크기로 보고되고 있으며, 이 크기는 N액정의 T_{NI} 근방의, 단거리 질서를 가지는 Iso영역에서 관측되는 큰 Kerr효과에 필적된다. 이러한 큰 Kerr 효과는 개 개의 분자가 전기장에 의하여 독립적으로 응답하는 것이 아니라, 일정 수의 분자가 협동적(協同的)으로 응답하기 때문이며, 고분자 안정화 BP의 큰 Kerr 효과는 단거리 질서를 유지한 체, 국부적인 협동적 분자 재배열을 하기 때문이다.[1,10]

[그림 9]는 고분자 안정화 BP의 응답시간을 나타낸다.[11] rise 및 decay 모두, 10~100 μs 정도의 응답시간을 보이고 있다. 이 응답시간은 BP단독으로 관측되는 결과와 같으며, 고분자 안정화 BP에서도 액정 분자의 운동성은 상실되어 있지 않음을 나타내고 있다. 특히, 주목 할 사실은, 액정의 응답시간에서 일반적으로 문제점으로 여겨지고 있는 늦은 decay 응답속도가 BP에서는 rise 응답속도보다 짧다는 것이다.

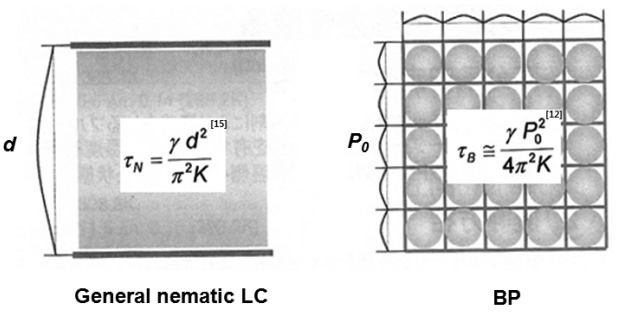


[그림 9] 고분자 안정화 BP의 응답시간. α는 첨가 광중합모노머량을 나타낸다.[11]

이러한 decay시의 고속 응답성을 Kikuchi 교수는 다음과 같은 예로 해석하고 있기에 소개하기로 한다.[1] 만약에 5μm의 셀간격을 가지는 액정셀에 액정 분자가 주입되어 있다고 할 때, 액정 분자는 기판 계면에 의하여 배향이 유지되고 있다. 그러나, 이 액정셀에 전기장이 인가될 경우, 기판 근방의 액정 분자는 계면의 Anchoring 으로 거의 움직임이 없으며, 기판으로부터 떨어진 액정셀 중심 부근의 분자들의 배향이 크게 변화하게 된다. 전기장을 제거하면 액정 분자의 탄성에 의하여 초기 배향으로 돌아 오게 되는 데, 이 것은 마치, 양단(兩端)이 고정



[그림 10] 양단(兩端)이 고정되어 있는 현(弦)의 탄성 변형. 고정단간(固定端間)의 거리가 짧아질 수록 복원시간은 짧게 된다.[1]



[그림 11] 일반적인 NLC 는 수mm오더의 셀간격(d)을 가지는 셀 내에서 분자가 재배열된다. 반면에 BP는 가시광/자외선 영역 (수백 nm) 의 격자 주기 (P0) 내에서 국부적인 분자 재배열이 일어난다.[1] 그림에 삽입된 식은 NLC 와 BP에서의 decay 응답 속도의 이론식이다.

되어 있는 현(弦)의 탄성변형에 유사하다고 할 수 있다는 것이다. 현의 길이가 짧아지면 짧아 질수록, 시정수(時定數)가 작아 지듯이, 같은 현의 탄성률이 동일한 탄성률을 가지고 있다고 가정할 때, 고정단(固定端)간의 거리가 짧아 질수록 복원시간은 짧게 된다. ([그림 10] 참조) BP는 결함의 격자와 공존하는 액정상이므로 내부에 다수의 고정단을 가지고 있다고 할 수 있다. 따라서, BP는 짧은 현의 집합체라 볼 수 있으며, 각 현의 평균의

완화시간이 Kerr효과의 decay 응답시간에 해당되어 고속응답이라는 것이다. 이러한 생각은 서두에 소개한 셀 내부를 일정 크기로 세분화/미세화하여, 운동단위를 간결화하여, 간결한 운동단위에서 응답이 완료되도록 하여 고소응답화를 꾀한다는 생각과 일맥 상통하는 것이라 할 수 있다. ([그림 11] 참조)

Ⅳ. 향후 과제

이러한 고분자 안정화 BP 기술을 채용할 경우, 1) 초고속 응답속도, 2) 배향 공정 제거를 통한 공정단순화를 통한 원가절감 등의 효과를 기대할 수 있다. 그러나, 현재의LCD TV를 이러한 고분자 안정화 BP 기술로 대체하기에는 극복해야 할 사항 또한 산적해 있는 것이 현실이다. 이에 몇 가지 시급히 해결되어야 할 사항을 소개한다.

첫 번째로 구동 전압이 기존 모드에 비해 월등히 높다. 현재, 연구/개발 중인 고분자 안정화 BP의 단위전극길이(μm)당 포화 전압은 기존의 LCD 모드에 비하여 매우 높다. 고분자 안정화 BP는 comb-type 전극 패턴 된 하판의 횡전계에 의하여 구동하는 방식이 일반적이며, 동일한 횡전계 인가 방식인 IPS 모드처럼, 셀 내부의 셀간격 방향으로 균일한 전계가 유지되는 영역은, 하판 근방에 한정되며, 하판에서 멀어질수록 인가 전계 효율이 저하되는 것은 물론이거니와 재료의 본질적인 특성상 N상에 비해 구동 전압이 높아 지는 것은 피할 수 없다. 이 문제를 해결하기 위하여 보다 큰 Kerr 상수를 가지는 재료의 개발[16] 및 최적 소자설계가 필요하며, 더욱 획기적인 구동전압의 절감이 요구 된다.

두 번째로 소자의 고신뢰성의 확보 문제이다. BP를 고분자 안정화하기 위하여, 호스트 액정 외에 광중합모노머 및 광개시제등의 이물(異物)이 첨가된다. 그리고, 자외선 광으로 안정화 시킨다. 혹자는 이러한 것은 깨끗한 액정 재료를 오염(?) 시킨다고 우려한다. 오염에 의한 신뢰성의 저하의 우려뿐 만 아니라, 고분자 안정화된 BP의 고분자쇄들이 반복되는 전기장의 구동에 의하여, 고분자쇄의 재배열 혹은 파괴로, 반복 구동 후에 원래 상태로 회복하지 못하여 표시 성능이 저하된다는 보고 또한 있다. 또한, 고분자 안정시의 BP의 발현 온도가 좁아, 대화면 제작 시의 패널 면내의 온도 불균일에 의한 불량이 발생할 가능성도 있고, 광 조사 조건에 따라서는 셀 내부의 셀간격 방향으로의 불균일한 고분자쇄의 형성가능성 등도 문제점으로 지적되고 있다.

그러나, 초기 연구/개발시의 TN, VA, IPS 등도 전혀 문제점 없이, 쉽게 개발되어, 지금의 LCD의 주역이 된 것이 아닌 것처럼, 많은 연구/개발자의 피 땀나는 노력으로는 충분히 극복 가능하리라, 액정을 연구하는 한 연구자로서 기대해 본다. 이러한 신규 모드의 출현은 기존의 LCD모드를 대체할 뿐 아니라, 새로운 FPD 시장을 개척하여 FPD시장의 보다 큰 발전을 꾀할 수 있다는 점에서도 앞으로의 연구/개발 추이에 대하여 크게 기대하여 본다.

사 사(謝辭)

본고(本稿)의 작성에 있어서, 많은 도움과 자료를 제공하여 주신 Kyushu University(九州大)의 Kikuchi Hirotsugu (菊池裕嗣) 교수님께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] H. Kikuchi, Ekisho, vol. 9, pp. 82(14), 2005.
[2] P. de Gennes, J. Prost, The Physics of Liquid Crystal, Oxford, 1993.
[3] Y. Haseba, Doctoral thesis, Kyushu University, 2006.
[4] D. Wright, N. Mermin, Rev. Modern. Phys., vol. 61, pp. 385, 1989.
[5] P. Crooker, Chirality in Liquid Crystals, Springer-Verlag, New York, 2001.
[6] A. Saupe, Mol. Cryst. Liq. Cryst., vol. 7, pp. 59, 1969.
[7] R. Hornreich, S. Shtrikman, J. Phys., vol. 41, pp.

335, 1980.

[8] S. Meiboom, M. Sammon, W. Brinkman, Phys. Rev. A, vol. 27, pp. 438, 1983.

[9] S. Meiboom, M. Sammon, D. Berreman, Phys. Rev. A, vol. 28, pp. 3553, 1983.

[10] H. Kikuchi, M. Yokota, Y. Hisakado, H. Yang, T. Kajiyama, Nature Materials, vol. 1, pp. 64, 2002.

[11] Y. Hisakado, H. Kikuchi, T. Nagamura, T. Kajiyama, Adv. Mater. vol. 17, pp. 96, 2005.

[12] P. Gerber, Mol. Cryst. Liq. Cryst., vol. 116, pp. 197, 1985.

[13] G. Heppke, B. Jerome, H. Kitzerow, P. Pieranski, J. Phys. France, vol. 50, pp. 549, 1989.

[14] H. Stegemeyer, F. Porsch, Phys. Rev. A, vol. 30, pp. 3369, 1984.

[15] E. Jakeman, E. Raynes, Phys. Lett., vol. 39A, pp. 69, 1972

[16] S.-W. Choi, S.-I. Yamamoto, Y. Haseba, H. Higuchi, H. Kikuchi, Appl. Phys. Lett., vol. 92, pp. 043119, 2008.

저 자 약 력

최 석 원

- 1991년~1995년 : 한양대학교 섬유공학과 공학사
- 1996년~1998년 : Tokyo Institute of Technology 유기/고분자물질전공 공학석사
- 2004년~2007년 : Tokyo Institute of Technology 유기/고분자물질전공 공학박사
- 1998년~2003년 : LG.Philips LCD(현 LG Display) 선임연구원(과장)
- 2007년~2008년 : 일본과학기술진흥기구(JST) 특별연구원
- 2008년~현재 : 경희대학교 디스플레이재료공학과 조교수