

Normally Scattering(NS)/Normally Transparent (NT)고분자 분산형 액정 모드에서 UV 조건에 따른 전기 광학특성 연구

김미숙*, 서영현*, 이명훈*, 이종문*, 이택수**, 이승희*
전북대학교

Study on the Electro-Optic Characteristics Depending on UV Condition in the Normally Scattering(NS)/Normally Transparent(NT) Polymer Dispersed Liquid Crystal Mode

M. S. Kim*, Y. H. Seo, M. H. Lee*, J. M. Rhee*, T. S. Lee*, S. H. Lee*
Jeonbuk National Univ.

Abstract

Polymer dispersed liquid crystal mode can be classified into two cases, normally scattering mode (NS) and normally transparent (NT) mode according to an initial state. Electro-optic characteristic NS/NT PDLC mode can be improved by controlling the factors to influence the phase separation. In case of NS PDLC mode, we inspected change of a phase separation as a function of curing temperature for the mixture of E7 and NOA65 with different ratios. When the LC concentration is less than polymer such as LC : NOA65 = 40 : 60wt%, the PDLC cell is influenced strongly by the curing temperature. However, when LC concentration is much less than polymer such as LC : NOA65 = 80 : 20wt%, it is influenced slightly by the curing temperature. In case of NT PDLC mode, we observed change of a phase separation as a function of the ratio of the mixture and UV conditions such as curing temperature, UV intensity. The cell made with strong UV intensity and curing temperature of 20°C, in case that the ratio of LC to polymer is 70:30wt%, showed good electro-optic characteristics.

Key Words : NS/NT PDLC, Phase separation, Curing temperature

1. 서론

액정 디스플레이 모드는 크게 투과형과 산란형으로 나뉜다. 투과형 모드는 twisted nematic (TN) 모드[1], in-plane switching (IPS) 모드[2], fringe-field switching (FFS) 모드[3] 등이 있다. 산란형 모드는 고분자 분산형 액정 모드가 대표적이며 이 모드는 편광판이 필요 없고 제조 공정이 간단한 장점이 있다. 고분자 분산형 액정 모드는 전압 인가전 초기 상태에 따라 normally scattering (NS) 모드와 normally transparent (NT) 모드로 나눌 수 있다. 일반적으로 NS/NT PDLC 셀을 만드는데 노광 온도[4], 액정과 고분자의 혼합 비율[5], 노광 세기[6]등의 다양한 상분리 요소를 고려해야 한다. 본 논문에서는 NS PDLC모드의 경우 노광 세기를 고정시킨 후 액정과 고분자의 혼합 비율을 변화시키면서 이때 노광 온도가

상분리에 미치는 영향을 알아보았으며 이때 PDLC 셀의 전기 광학 특성에 미치는 영향을 살펴보았다. NT PDLC 모드의 경우는 혼합물의 비율, 노광 온도 및 노광세기와 같은 노광 조건에 따른 PDLC 셀의 전기 광학 특성 변화를 살펴보았다.

2. 실험

혼합물의 비율에 따라 노광 온도가 초기 산란도에 미치는 영향을 알아보기 위해 NS PDLC 셀을 제작했다. 이때 사용한 prepolymer는 NOA 65 ($n=1.524$)이며 액정은 E7 ($\Delta\epsilon=14.5$, $T_M=59^\circ\text{C}$, $\Delta n=0.2225$, $n_e=1.7464$, $n_o=1.5211$, $\lambda=589.3\text{nm}$)이다. 혼합물의 비율에 따라 노광 온도가 초기 산란도에 미치는 영향을 알아보기 위해 액정과 고분자의 비율을 80:20wt%, 40:60wt% 두 경우로 나누어서 실험을 수행했다. 셀갭은 $20\mu\text{m}$ 이며 UV세기는

198mW/cm²의 강한 노광 조건에서 30초 동안 조사했으며 노광 온도는 상온(25°C)과 액정의 T_{NI}(59°C)보다 높은 고온(70°C)에서 수행했다.

NT PDLC 셀의 경우 사용한 prepolymer는 acrylate계 PN393(n=1.473)이며 액정은 MJ001327 ($\Delta\epsilon = -3.9$, T_{NI}=96°C, $\Delta n = 0.1547$, n_e=1.6447, n_o=1.49, $\lambda = 589.3\text{nm}$)이다. 전압인가 전 투명한 상태를 만들기 위해 수직 배향 막을 코팅했으며 이때 셀갭은 4 μm 이다. 액정 대 고분자의 비율을 50:50wt%에서 70 : 30wt%까지 변화시키면서 또한 노광 세기(1.3mW 와 198mW)와 노광 온도(20°C, 30°C, 40°C)를 변화시키면서 셀의 전기 광학 특성을 살펴보았다.

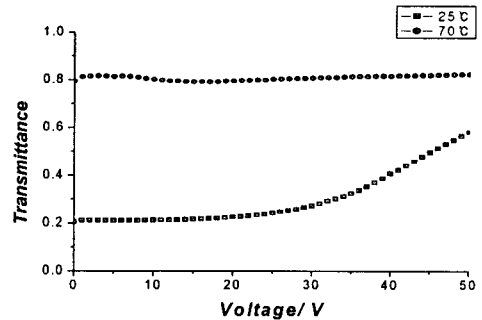
3. 결과 및 고찰

그림 2는 NS PDLC 모드에서 혼합물의 비율을 달리한 후 전압에 따른 투과율 변화를 나타낸다. 그림 2의 (a)는 액정 대 고분자의 비율이 40:60wt%로 고정된 경우의 노광 온도가 상온일 때와 고온일 때를 나타낸다. 그림 2의 (b)는 액정 대 고분자의 비율이 80:20wt% 이면서 노광 온도가 상온일 때와 고온일 때를 나타낸다. 혼합물의 비율에 상관없이 노광 온도가 상온일 때가 고온일 때보다 더 좋은 초기 산란도를 보이나 액정 대 고분자의 비율이 40:60wt% 이면서 노광 온도가 액정의 T_{NI}보다 높은 고온일 때 전압 인가 전 투과율이 80% 이상이 되면서 PDLC 셀의 전기 광학 특성을 급격하게 떨어뜨린다. 혼합물의 비율에 따라 PDLC 셀의 전기 광학 특성이 어떻게 변하는지 자세히 알기 위해 노광 온도에 따른 투과율 변화와 contrast ratio(CR) 변화를 살펴보았다.

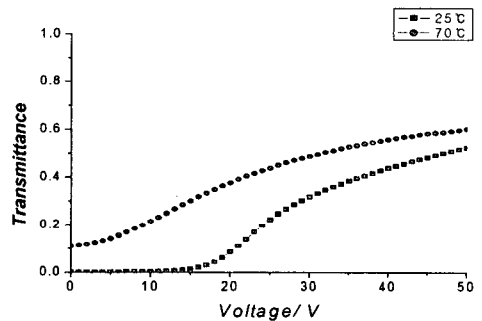
$$\text{contrast ratio}(CR) = T_{50V}/T_{0V}$$

액정 대 고분자의 혼합 비율이 40:60wt%인 경우, 노광 온도가 상온일 때 CR값은 3이며 고온일 때는 1.05로 CR 값이 거의 1에 가깝다. 이때는 셀의 초기 산란도가 전압 인가 후 상태와 거의 비슷하다. 액정 대 고분자의 혼합 비율이 80:20 wt%인 경우, 이때 노광 온도가 상온일 경우의 CR 값은 238:1이며 고온의 경우 5.5:1로 액정 대 고분자의 혼합 비율이 40:60wt%인 경우에 비해 이 경우가 CR 값이 훨씬 크며 더 좋은 전기 광학 특성을 가진다. 즉 액정 대 고분자의 혼합비율이 40:60wt%인 경우 고온에서 노광시 전압 인가 전 투과율이 80%이상이

되면서 PDLC 셀의 전기 광학 특성을 급격하게 떨어진다. 그러한 현상이 나타나는 이유를 알기 위해



(a)



(b)

그림 2. NS PDLC 셀에서 전압에 따른 투과율 곡선: (a) 액정 대 고분자 비율 = 40:60wt% (b) 액정 대 고분자비율 = 80:20wt%.

Fig. 2. Voltage-dependent curve in the NS PDLC cell: (a) LC : polymer = 40:60wt%, and (b) LC : polymer = 80:20wt%

혼합물의 비율을 달리한 상태에서의 온도에 따른 상분리 거동을 살펴보았다. 그림 3은 혼합물의 비율을 달리하면서 노광 온도를 변화시킬 때의 상분리 도표이다. A와 B는 액정과 고분자의 비율이 40:60wt%이면서 노광 온도가 상온일 때와 고온일 때, C와 D는 액정과 고분자의 비율이 80:20wt%이면서 노광 온도가 상온일 때와 고온일 때를 나타낸다. A와 같이 액정과 고분자의 비율이 40:60wt%이면서 노광 온도가 상온일 때 상분리 영역 내부에 위치하기 때문에 초기 산란 정도가 좋은 셀을 만들 수 있었으며 B의 경우는 상분리 영역을 벗어난 경우로 이러한 노광 온도 조건에서 상분리 시킬 때는 초기 산란 정도가 매우 나쁜 셀

이 만들어졌다. 액정과 고분자의 비율이 80:20wt% 인 경우는 노광 온도가 상온인 경우나 $T_{NI}(59^{\circ}\text{C})$ 이상인 고온(70°C)인 경우 모두 상분리 영역 내에 존재하기 때문에 초기 산란 정도가 좋은 PDLC 셀을 제조할 수 있다. 즉 혼합물의 비율을 다르게 하면서 노광 온도에 따른 상분리 분석을 통해 각 비율에 따른 최적 노광 온도 범위가 존재한다.

NT PDLC 모드의 경우 상분리에 영향을 주는 요소인 혼합물의 비율과 노광 조건을 변화 시키면서 각각의 경우 전기 광학 특성을 살펴보았다. 그림 4는 혼합물의 비율에 따른 또한 노광 조건을 달리 할 때 전압에 따른 투과율 곡선이다. 그림 4(a)에서 보이는 것처럼 액정의 비율이 50wt%일 때 초기 투과율은 높으나 전압에 따른 투과율 변화가 아주 적으며 이때는 두물질 사이의 상분리가 잘 이루어지지 않는다. 액정의 비율을 60wt%에서 70wt%로 증가시 초기 투과율이 증가하며 구동전압이 감소한다. 이때 노광 조건은 198mW에서 20°C 이다. 그림 4(b)는 노광 온도를 변화시킬 때 전압에 따른 투과율 곡선이다. 온도가 20°C 에서 40°C 로 증가시 전압 인가전 투과율이 감소한다. 이때 액정 비율은 70wt%, 노광 세기는 198mW이다. 그림 4(c)는 노광세기를 변화시킬 때 전압에 따른 투과율을 나타낸다. 1.3mW에서 198mW로 변화시 초기 투과율이 증가함을 알 수 있다. 이렇게 만들어진 셀의 형상관찰을 통해 전기 광학 특성이 우수할 때의 액정 방울 크기를 알기위해 광학 현미경에서 셀을 관찰했다. 그림 5는 혼합물의 비율과 노광 조건을 달리할 때 전압 인가 전 초기 상태를 나타낸다. 그림 5(a)에서 보이는 것처럼 액정의 비율이 50wt%일 때에는 혼합물 사이에 상분리가 일어나지 않는다. 액정의

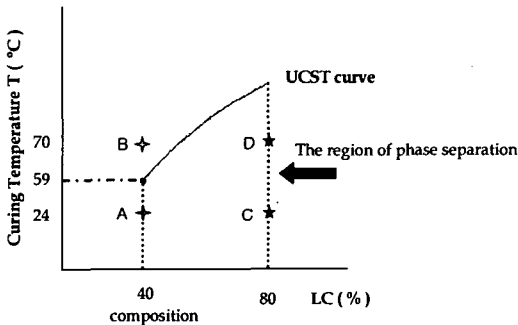
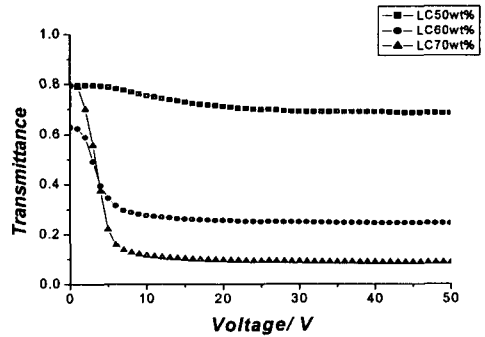
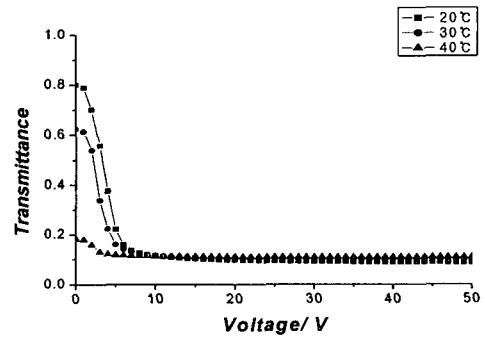


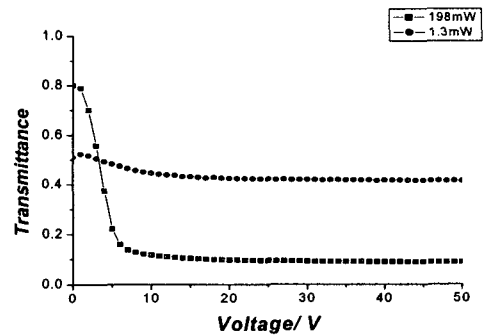
그림 3. NS PDLC 셀 노광시 상분리 도표.
Fig. 3. Phase diagram for curing NS PDLC cell.



(a)



(b)



(c)

그림 4. 전압에 따른 투과율 곡선(a)액정 비율별(50, 60, 70wt%), (b)노광 온도별(20°C , 30°C , 40°C), (c)노광 세기별(1.3mW, 198mW).

Fig. 4. Voltage-dependent transmittance curve : (a) at different LC wt%(50, 60, 70wt%), (b) at different curing temperature(20°C , 30°C , 40°C), (c) at different UV intensity(1.3mW, 198mW).

비율이 60wt%인 경우 액정 방울의 크기는 1~4 μ m, 70wt%인 경우는 0.5~2 μ m로 이 경우 균일하면서 가시광 영역과 파장이 비슷한 작은 액정 방울이 만들어지면서 초기 투과율이 좋다. 그림 5(b)는 노광 온도를 20, 30, 40 $^{\circ}$ C로 변화시킨 경우이며 노광 온도가 20 $^{\circ}$ C인 경우 액정 방울의 크기는 0.5~2 μ m, 30 $^{\circ}$ C인 경우는 2~5 μ m, 40 $^{\circ}$ C인 경우는 10 μ m 이상으로 노광 온도 증가시 액정 방울의 크기가 더 커진다. 그림 5(c)는 노광 세기를 변화시킬 때로 1.3mW의 약한 노광에서는 약2~4 μ m의 액정 방울이 생겨 초기 투과율이 감소된다. 198mW의 강한 노광 세기에서는 0.5~2 μ m의 액정 방울이 생긴다.

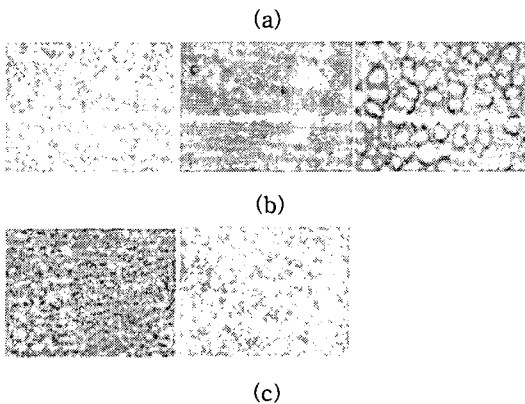


그림 5. NT PDLC 셀의 형상 관찰:(a) 액정 비율(50, 60, 70wt%), (b) 노광 온도별(20, 30, 40 $^{\circ}$ C), (c) 노광 세기별(1.3mW, 198mW).

Fig. 5. The morphology of NT PDLC cell : (a) at different LC wt%(50, 60, 70wt%), (b) at different curing temperature(20, 30, 40 $^{\circ}$ C), (c) at different UV intensity(1.3mW, 198mW).

4. 결론

본 논문에서는 노광 온도, 혼합물의 비율, 노광 세기 등의 적절한 상분리 조건을 고려해 NS/NT PDLC 셀을 제작했다. NS모드의 경우 노광 세기를 고정시킨 후 액정과 고분자의 혼합 비율을 변화시키면서 이때 노광 온도가 상분리에 미치는 영

향을 알아보았다. 액정 대 고분자의 비율이 40:60wt%인 경우 액정의 T_{NI} 온도가 상분리에 중요한 변수로 작용하며 T_{NI} 온도 이내에서 상분리 해야 전기 광학 특성이 우수한 PDLC 셀을 만들 수 있다. 액정 대 고분자의 비율이 80:20wt%인 경우 노광 온도 범위가 액정의 T_{NI} 이상으로 올라간다. 따라서 PDLC 셀 제작시 혼합물의 비율에 따른 최적 노광 온도범위를 고려해야 전기 광학 특성이 우수한 셀을 만들 수 있었다. NT모드에서는 액정의 비율(50, 60, 70wt%)을 달리하고 노광 온도나 노광 세기를 달리하면서 셀의 전기 광학 특성을 살펴보았다. 액정의 비율이 50wt%인 경우는 그림에서처럼 상분리가 거의 발생하지 않고 액정 상을 나타낸다. 액정의 비율을 60wt%에서 70wt%로 증가시 액정 방울의 크기가 점점 감소해 전기 광학 특성이 우수한 셀이 만들어지며 노광 온도를 20 $^{\circ}$ C, 30 $^{\circ}$ C, 40 $^{\circ}$ C로 증가시 액정 방울의 크기가 커지면서 전압 인가전 투과율이 감소했다. 노광 세기는 1.3mW에서 198mW로 강하게 할 때 액정 방울의 크기가 작게 형성되면서 전기 광학 특성이 우수한 셀을 만들 수 있었다.

참고 문헌

- [1] H. Yoshida, and J. Kelly, "Light behavior analysis of twisted nematic liquid crystal", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36, p. 2116, 1997.
- [2] H. Y. Kim, I. S. Song, and S. H. Lee, "Rubbing angle effects on the electro-optic characteristics of in-plane switching liquid crystal display", Transactions on electrical and electronic materials, Trans. on EEM, Vol. 4, No. 1, p. 24, 2003.
- [3] 김미숙, 김향울, 이승희, "Fringe-Field Switching (FFS) 모드에서 액정의 유전을 이방성에 따른 동력학 안정성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 16권, 3호, p. 224, 2003.
- [4] G. W. Smith, "Curing parameters and phase behavior of an ultraviolet-cured polymer-dispersed liquid crystal", Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 196, p. 89, 1991.
- [5] G. W. Smith, "Mixing and Phase Separation in Liquid Crystal/Matrix Systems: Determination of the Excess Specific Heat of Mixing", Phys. Rev. Lett., Vol. 70, No. 2, p. 198, 1993.
- [6] H. Ren, S-T Wu, "Inhomogeneous nanoscale polymer-dispersed liquid crystals with gradient refractive index", Appl. Phys. Lett., Vol. 81, No. 19, p. 3537, 2002.