

고분자 분산형 액정 표시 소자(PDLC)의 제작 및 측정: BDVE(Butanediol Vinyl Ether) 첨가에 따른 효과와 온도의존성 평가

노영석 · 전찬욱[†]

영남대학교 디스플레이 화학공학부 광전자소자 연구실
712-749 경북 경산시 대동
(2007년 9월 20일 접수 2008년 5월 22일 채택)

Electro-optic Properties of Polymer Dispersed Liquid Crystal Displays: Effect of BDVE(Butanediol Vinyl Ether) & Temperature Stability

Young-Seok No and Chan-Wook Jeon[†]

Optoelectronic Devices Lab, School of Display and Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongbuk 712-749, Korea
(Received 20 September 2007; accepted 22 May 2008)

요 약

고분자 분산형 액정 표시 소자(PDLC)에 사용되는 pre-polymer인 PN393에 다량으로 함유된 반응성 모노머 2-ethylhexyl acrylate(EHA)를 비닐에테르 계열의 모노머인 butanediol vinyl ether(BDVE)로 대체하여 제작된 PDLC 셀의 전기 광학적 특성 변화를 알아보았다. BDVE 함량 30 wt%까지는 액정방울의 크기가 작아졌으나, 그 이상의 조성(40 wt%)인 경우, 더 이상의 액정방울크기 변화는 관찰되지 않았다. 명암비, 응답속도는 상용화된 PN393를 적용한 경우보다 각각 490%, 15%로 성능이 향상되었으나, 동작전압은 약 60% 증가하는 것으로 확인되었다. 전기광학적 특성 변화를 0~60 °C 온도범위에서 관찰한 결과, 응답속도와 동작전압의 온도안정성은 향상되었으나, 명암비 성능은 온도 증가에 따라 열화되는 것으로 확인되었다.

Abstract – The electro-optic properties of polymer-dispersed liquid crystal cells containing BDVE(Butanediol vinyl ether) in PN393 base pre-polymer were examined. The higher the contents of BDVE, the smaller becomes the droplet size. However, the droplet size was saturated around 3 μm even at 40 wt% of BDVE. Both of contrast ratio and response time of PDLC cell fabricated with a new formula were found to be superior to the reference cell with PN393 by the factor of 4.9 and 0.15, respectively. However, the new formula made the operating voltage go higher compared to the reference cell of PN393 formula. Except for contrast ratio, response time as well as operating voltage were found to be highly stabilized by adding BDVE in PN393 base pre-polymer over the temperature range of 0~60 °C studied.

Key words: PDLC, EHA, BDVE, PN393, Pre-Polymer

1. 서 론

고분자 분산형 액정(Polymer Dispersed Liquid Crystals; PDLCs)은 고휘도의 투사형 디스플레이 혹은 고대비의 반사형 표시소자에 적용할 수 있는 액정과 고분자의 복합재료로서 최근 다양한 연구가 진행 중이다[1-8]. 다른 디스플레이 소재들과는 달리 비교적 비용이 저렴하고, 공정이 단순하여 반사 및 프로젝션 디스플레이분야나 윈도우셔터, 홀로그래프 기록 미디어로 각광받는 소재이며[5], 이 필름들은 전기장을 걸어줌으로서 빛을 산란시키는 상태에서 투명한 상태로 스위칭 될 수 있다. 고분자 분산형 액정 장치에서 투과도 변화는 전기장에 의한 액정의 재배열에 의한 액정방울과 고분자 매트릭

스간의 굴절률의 차이에 의해 나타난다.

구체적인 PDLC 동작원리는 Fig. 1과 같다. UV 경화 가능한 고분자 단량체와 액정의 혼합물을 셀에 주입한 후 노광을 통해 액정과 고분자의 상 분리를 유도한다. 적절한 조건에서 전압 인가 전 액정방울 내부의 네마틱 texture는 주위의 다른 도메인에 대하여 무작위 배열되어 있다. 입사된 빛이 액정과 고분자의 굴절률 차이에 의해 산란된다. 이 때, PDLC는 불투명한 하얀색을 나타낸다. 또한 수직으로 움직이는 유전을 이방성이 양(+인) 액정을 사용하기 때문에, 전기장이 셀을 가로질러 공급될 때, 액정은 전기장 방향으로 수직 배열하게 된다. 수직으로 입사된 빛이 액정의 단축을 보게 된다. 이 때 만약 액정 도메인의 굴절률이 폴리머의 굴절률과 같아지면 입사광이 셀을 통과하게 되어 투명한 상태가 된다[5].

PDLC의 특징은 편광자를 필요로 하지 않으며, 간단한 방법으로

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: cwjeon@ynu.ac.kr

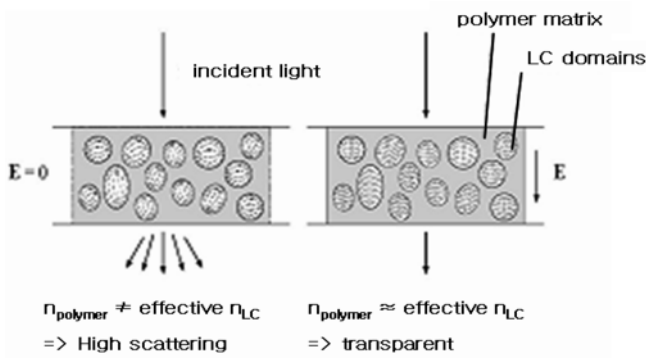


Fig. 1. Operation principle of PDLC film.

제조 가능하여 Switchable window에 이용된다[6]. 또한 기관으로 사용되는 물질에 따라 유연한(Flexible) 형태로 만들 수 있다. 이러한 PDLC 필름은 디스플레이 소자로서 상당한 잠재성을 가지고 있으며, 액정과 고분자의 혼합 비율, 노광 세기 등의 다양한 상분리 요소를 고려하면 전기광학적 특성이 우수한 셀을 만들 수 있다[7-9]. 현재 PDLC 재료 및 성능 개선에 대한 연구가 지속되고 있으며, 다양한 액정과 고분자 조합에 의해 여러 가지 디스플레이와 광학적인 응용이 전개될 것으로 예상된다.

PDLC 필름을 만드는 방법은 크게 상분리법(Phase Separation)과 유화법(Emulsification)으로 나눌 수 있다. 상분리법은 다시 고분자화에 의한 상분리법(Polymerization Induced Phase Separation: PIPS)과 열에 의한 상분리법(Thermally Induced Phase Separation: TIPS), 용매를 이용한 상분리법(Solvent Induced Phase Separation: SIPS)으로 나뉜다. 위의 방법 가운데 대개 PIPS 방법을 많이 이용하는데 그 이유는 액정을 고분자 precursor와 균일하게 혼합할 수 있고 빛이나 열에 의해 중합하는 동안 상분리가 발생하여 빠르고 간단하기 때문이다[10].

PDLC 제작용으로 상용화된 대표적인 pre-polymer로는 Merck사에서 공급된 PN393을 들 수 있다. PN393은 Ebecryl 1810, 2-ethylhexyl acrylate (EHA), tri-methylolpropane tri-acrylate (TMPTA), diphenyl (2,4,6-trimethylbenzoyl)phosphine oxide and 2-hydroxy-2-methylpropiophenone (Darocur4265)으로 구성되어 있으며, 각 성분의 조성은 Table 1에 나타내었다.

PN393을 이용한 PDLC 특성은 여러 연구자에 의해 보고된 바 있으나, 실험조건의 변화를 고려하더라도 제시된 동작전압, 응답시간, 대조비 등의 범위가 지나치게 차이가 큰 것으로 조사되었다[11, 12]. 이러한 결과들은 반응성 모노머로서 EHA가 다량 함유된 아크릴레이트 계열의 pre-polymer를 사용할 경우 PDLC 특성이 상온 근처의 측정 온도범위에서 매우 민감하게 변하기 때문이며, 따라서 디스플레이 제품への 응용은 기대하기 어렵다[13, 14]. 이에 본 연구그룹에서는 비닐에테르(vinyl ether) 계열의 가교제를 사용함으로써 이러한 온도 민감성을 대폭 줄일 수 있다는 실험결과를 보고한 바 있다[14].

본 논문에서는 PN393의 기본 조성에 EHA를 대체하여 비닐에테르 계열의 반응성 모노머를 도입할 경우 나타나는 PDLC의 전기광학

Table 1. Standard composition of PN393(Merck)

Merck composition	Ebecryl 1810	EHA	TMPTA	Darocur4265
Polymer Wt%	10	87	2	1

적 특성 변화를 제시하고자 한다. 선행연구에서 제시된 diethyleneglycol divinyl ether (DEGDVE)은 비닐에테르 계열의 가교제로서 pre-polymer의 10 wt% 정도에 해당하는 적은 양이 사용된 바 있으며 [14], 본 연구는 PN393의 기본 가교제와 다량의 비닐에테르 계열의 모노머인 butanediol vinyl ether (BDVE)를 5~40 wt% 범위에서 혼합할 경우에 대하여 전기 광학적 특성을 기술하기로 한다.

2. 실험 방법

PDLC에 들어갈 pre-polymer와 nematic 액정의 균일 복합 물질 제작은 다음과 같다(Table 2). 먼저 PN393조성에서 resin(ebecryl1810)을 제외시키고, 제외된 양만큼 EHA로 대체 혼합한 pre-polymer를 reference로 사용하였다. 다음으로 reference에 들어가는 아크릴레이트 모노머인 EHA를 5 wt%, 10 wt%, 20 wt%, 30 wt%, 40 wt% 씩 줄이고, 줄인 만큼 비닐에테르 모노머인 BDVE로 대체 혼합하였다(sample A~E). 다음 단계로 reference를 포함한 6가지의 pre-polymer와 액정(TL205)을 80 : 20 비율로 0.2 g 혼합 제작하였다.

PDLC의 테스트 셀 제작은 Fig. 2와 같다. 먼저 투명전극(ITO)이 증착된 2장의 ITO glass를 2.5×2.0 cm²로 절단한 뒤 한 장의 ITO glass에 spacer(7 μm)가 분산된 IPA(isopropyl alcohol)를 떨어뜨리고 건조시킨다. 건조가 완료되면 ITO glass 위에는 spacer만 남게 되는

Table 2. Compositions of pre-polymers studied in this work

	monomer		crosslinker	photo-initiator
	EHA(wt%)	BDVE(wt%)	TMPTA(wt%)	Darocur4265(wt%)
Reference	97	0		
Sample A	92	5		
Sample B	87	10		
Sample C	77	20	2	1
Sample D	67	30		
Sample E	57	40		

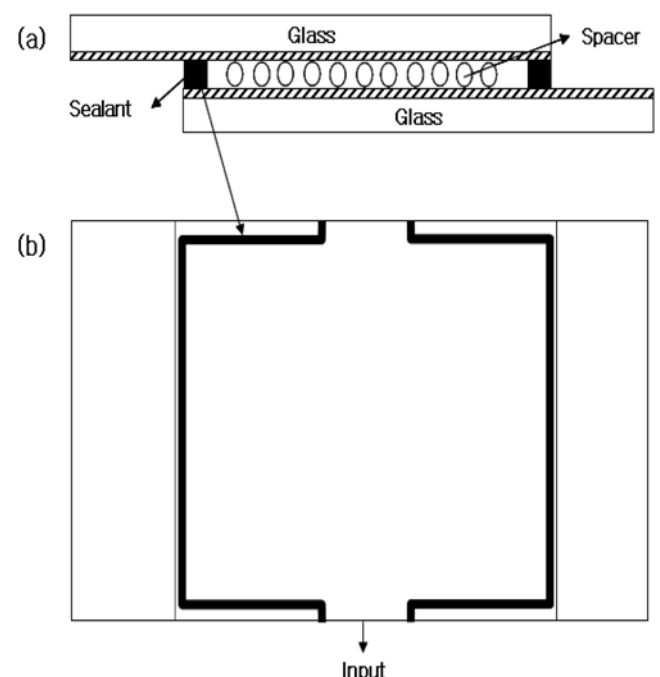


Fig. 2. (a) Cross sectional view and (b) plan view of the test cell used.

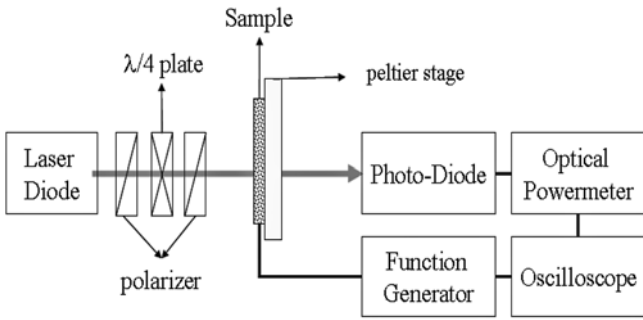


Fig. 3. Schematic diagram of measurement system.

데, 나머지 한 장의 ITO glass를 Fig. 2(a)와 같이 어긋난 샌드위치 형태로 놓고 겹쳐진 가장자리를 따라 UV경화성 sealant를 바른 뒤에 365 nm 중심 파장을 가진 자외선(UV)을 조사함으로써 두 ITO glass를 합착하였다. 완성된 테스트 셀의 디자인은 Fig. 2(b)와 같다. 이 셀에 미리 제작된 pre-polymer와 네마틱 액정의 균일 혼합물질을 그림에서의 주입구에 1~2 방울을 떨어뜨린다. 혼합물은 ITO에 대해 젖음성(hydrophilic)을 갖기 때문에 모세관 현상에 의해 자발적으로 셀의 전 영역을 채우게 된다. 상분리 과정은 UV를 이용한 고분자화 상분리법인 PIPS법을 사용했다. 이 때 UV의 중심파장은 365 nm이고, UV의 조사량은 0.5 mW/cm², 조사 시간은 20 min이다.

PDLC 셀의 전기 광학적 특성은 Fig. 3과 같은 장치를 이용하여 측정하였으며, 인가전압은 1 kHz의 burst파형 신호를 0~20 V_{rms} 범위에서 변화를 주었다. 레이저는 5 mW Laser diode(632 nm, Newport)을 사용하였다. 레이저의 세기는 0.1 mW로서, 측정 전후에 파워미터를 이용하여 출력변화를 측정하였다. 레이저와 PDLC 셀 사이에는 위상차판(λ/4 waveplate)과 편광판을 놓고 측정하였다. 측정온도는 25 °C 상온이며, 냉온스테이지(PE-120, Linkam)로 PDLC 셀의 온도를 ±0.1 °C 오차범위로 조절하였다.

PDLC의 전기광학적 특성에 대한 정의는 다음과 같다. PDLC 셀의 투과율(transmittance)이 각각 0%일 때와 100%(saturation)일 때의 비를 contrast ratio(CR), 투과율이 90%일 때의 전압을 구동전압(operating voltage)으로 각각 정의한다. 한편, 투과율이 각각 10%와 90%일 때의 시간차이를 전압이 인가된 경우(on-time, t_{on})와 전압이 제거된 경우(off-time, t_{off})에 각각 측정하고, 두 가지 시간을 더한 값을 응답시간(response time)으로 정의하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 4는 BDVE의 함량별 투과형 편광 현미경 사진이다. 액정방울들은 큰 방울의 경계 부분에 매우 작은 방울들이 둘러싸고 있는 모폴로지를 나타내고 있으며, 방울들의 형상이 구형에 가까워짐에 따라 그 크기가 작아질 뿐만 아니라, 큰 방울과 작은 방울의 구분이 없는 균일한 크기 분포를 갖고 있다. BDVE 함량 대비 방울크기변화를 Table 3에 값으로 나타내었다. 제시된 액정방울 크기는 무작위로 선정된 5개의 액정방울에 대한 장축 평균값이다. BDVE 함량별로 제작된 PDLC의 액정방울크기 비교에 앞서 Fig. 5를 보면 resin이 포함된 pre-polymer(PN393)와 resin이 제외된 pre-polymer(reference)로 각각 PDLC 샘플을 제작할 경우, 상대적으로 resin 포함 pre-polymer의 액정방울크기가 대략 2~3 μm인 것에 비해 resin 제외된

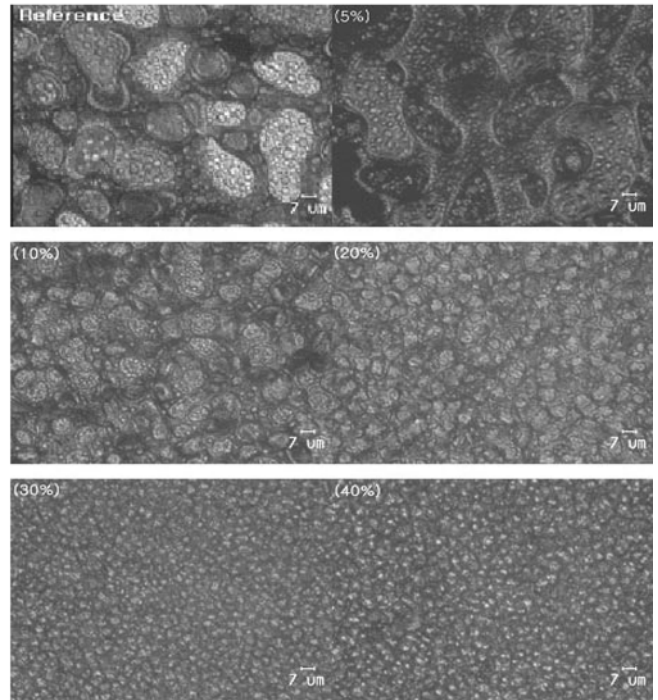


Fig. 4. Polarized optical micrographs of PDLCs having various BDVE contents, which are identified in the upper-left corner of images.

Table 3. The measured domain diameters of PDLC cells made of different BDVE compositions and electric optical properties about domain diameters.

BDVE Composition (%)	Domain diameter (μm)	Contrast Ratio (CR)	Operating Voltage (V)	Response time (msec)
0	26.5	4.0	4.9	104
5	31.9	3.5	5.8	20.9
10	13.1	7.0	7.5	16.2
20	7.7	13.6	8.2	22.1
30	3.6	19.6	7.8	39.8
40	3.3	6.8	7.1	39.8

pre-polymer의 액정방울크기는 평균 26.5 μm로서 resin 포함 PDLC 보다 약 8~13배까지 더 큰 것을 확인하였다(Table 4). 따라서 resin이 액정방울 크기를 작게 만드는 역할을 하는 것을 알 수 있다. 한편 Fig. 4를 보면 BDVE 함량 5 wt%일 때의 액정방울크기는 reference의 액정방울크기보다 약 1.2배 더 큰 것을 알 수 있다. 또한 액정방울들이 서로 분리되어 있지 않은 polymer network 형태의 모폴로지를 갖고 있는 것을 확인하였다. 그러나 BDVE 함량 10 wt% 이상부터, 조성이 높아질수록 액정방울크기가 reference의 50% 이하로 작아지는 것을 확인하였고, BDVE가 약 30 wt%에서는 액정방울크기가 reference의 약 13%로 줄어들었다. 그리고 BDVE 40 wt%일 때의 액정방울형성크기 또한, BDVE 30 wt%일 때의 결과와 차이가 없는 것도 확인되었다(Table 3). 현미경 사진에 대한 액정방울 크기 비교 그래프는 Fig. 6과 같다.

액정방울크기는 PDLC의 전기 광학적 특성 중 특히 CR에 영향을 주게 된다. 액정방울크기와 CR의 관계를 Fig. 7(a)에 나타내었다. 여기서 CR은 액정방울크기가 작아질수록 커지는 경향을 나타내게 되며, 그 원인은 CR과 투과율과의 관계를 나타내는 식 (1)으로 설명된다.

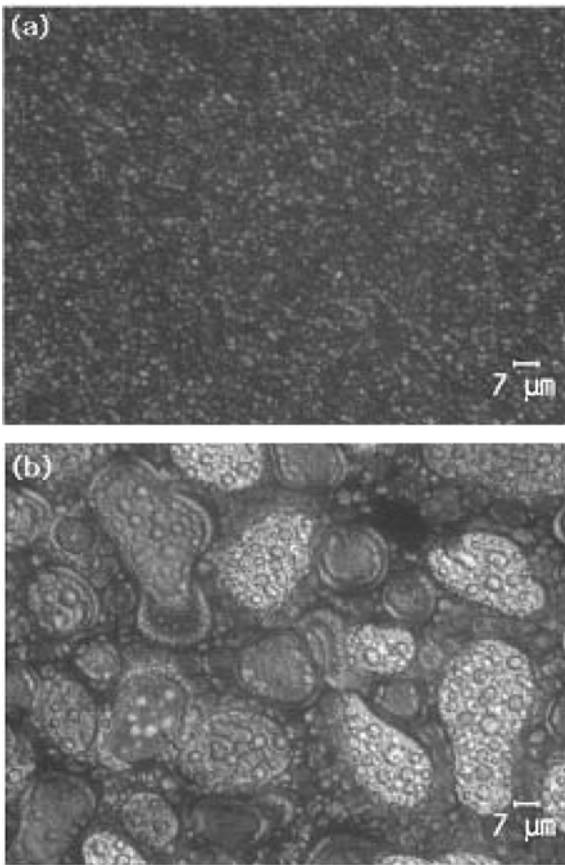


Fig. 5. Polarized optical micrographs of PDLCs (a) include resin (PN393) (b) except for resin.

Table 4. The measured domain diameters of PDLC cells made of include resin and except for resin about domain diameters

	Domain diameter (μm)
Include resin (PN393)	2 ~ 3
Except for resin	26 ~ 27

즉, T_{sar} 이 일정할 경우, CR은 T_0 에 반비례한다. T_{sar} 의 경우, 액정이 전기장 방향으로 모두 배열된 상태에서 얻어지는 최대투과율이므로 액정방울의 크기와 무관하게 거의 일정함을 알 수 있다. 그러나 T_0 는 액정방울의 산란능력에 의존하며, 산란능력은 통상 입자가 작아질수록 커진다. 따라서 Fig. 7(b)를 보면 액정방울이 작아질수록 산란되는 빛의 양이 많아지게 되어 T_0 가 급격하게 작아지는 것을 확인할 수 있고, 최소 T_0 와 최대 T_0 의 비율은 약 3배이다. 이러한 T_0 의 차이로 인하여 액정방울크기에 따른 cr이 변하게 된다. 다시 말해, 액정방울크기가 작아질수록 T_0 도 작아지게 되고, 그 결과 CR은 커지게 된다. BDVE 40 wt%일 경우 액정방울의 크기는 30 wt%일 때와 거의 같으나, 초기투과율은 더 크게 나타났으며 이는 EHA보다 굴절률이 더 큰 BDVE 함량을 늘릴수록 액정과 굴절률 차이($n_{EHA} = 1.436$, $n_{BDVE} = 1.444$, $n_{LC,extraordinary} = 1.7445$)가 줄어들기 때문에 나타나는 현상으로 사료된다. 한편, 액정방울크기가 커질수록 PDLC 셀의 구동전압은 Fig. 8에서 나타낸 바와 같이 감소하였다. PDLC의 구동전압은 일반적으로 식 (2)으로 설명 가능하다[5].

$$V_{90} = \frac{1}{cR} d (L^2 - 1)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{4\pi K}{\epsilon_0 \Delta \epsilon} \right)^{\frac{1}{2}}$$

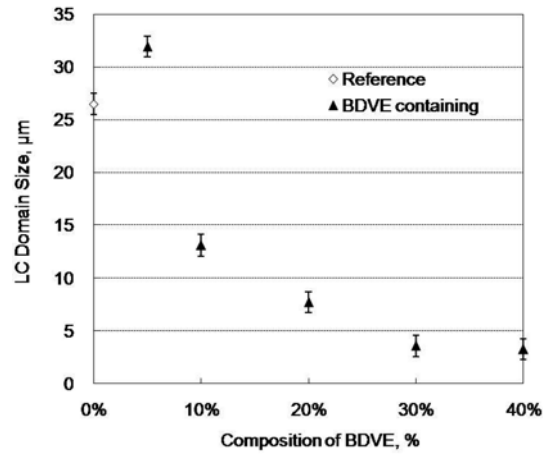


Fig. 6. Variation of domain size with respect to BDVE composition.

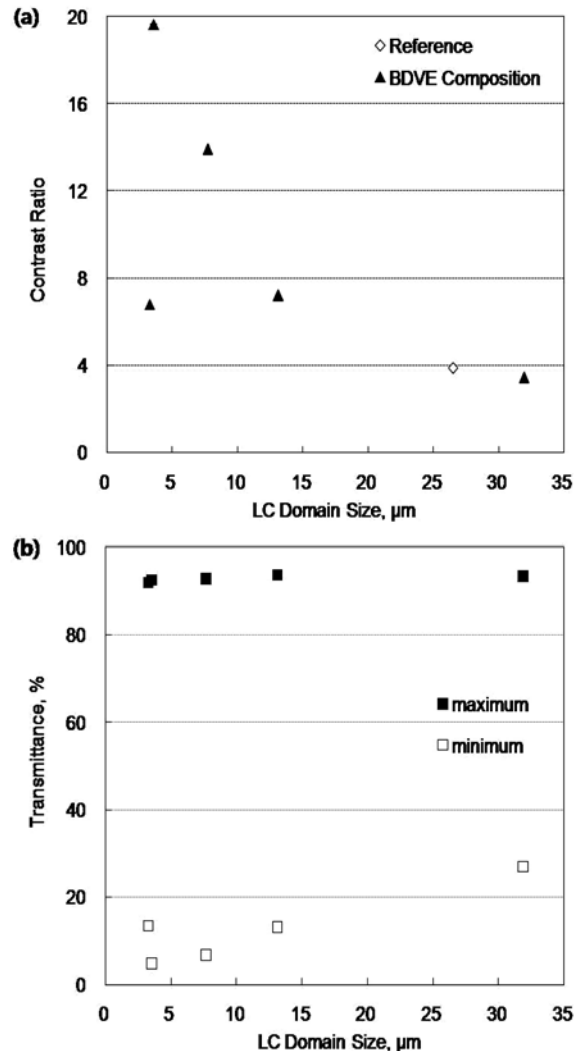


Fig. 7. (a) Variation of contrast ratio with respect to domain size (b) Minimum transmittance (T_0) and maximum transmittance (T_{sar}) about contrast ratio except reference.

여기서 $\frac{1}{c}$ 는 액정방울에 걸리는 유효전기장을 반영한 보정상수, d 는 셀갭, R 은 액정방울의 반지름, L 은 액정방울의 장축과 단축의 비, K 는 액정의 탄성계수, ϵ_0 은 공기의 유전상수, $\Delta \epsilon$ 은 액정의 유

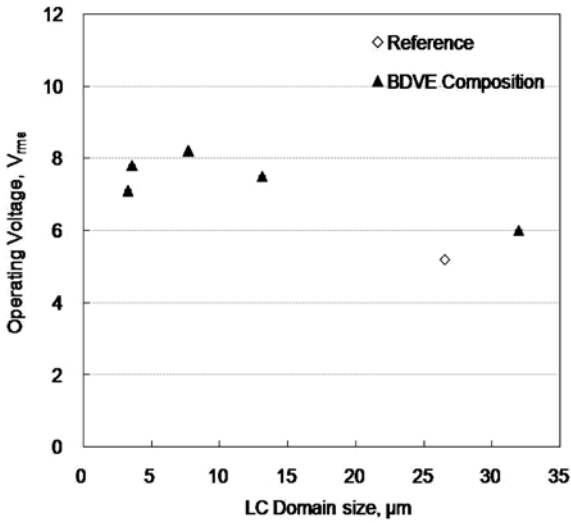


Fig. 8. Variation of operating voltage (V_{90}) with respect to the domain size.

전을 이방성이다. 식 (2)에서, 구동전압은 액정방울 반지름(R)에 반 비례하고 액정방울 장축과 단축의 비(L)에 비례하는 것을 알 수 있으며, 실험결과와 잘 일치하고 있다. Table 3에 나타난 구동전압 수치를 보면, 모든 액정방울크기에서 기존 reference보다 다소 높아지는 결과를 확인하였다. 하지만 이것은 기존의 구동전압보다 약 1~1.7배 높은 결과로서 액정방울크기 대비 구동전압(Fig. 8)과 액정방울크기 대비 CR(Fig. 7)을 고려하여 BDVE 함량을 첨가한다면, 적절히 낮은 조건의 구동전압에서 높은 CR의 특성을 나타내는 PDLC를 제작할 수 있을 것이라 예상된다.

Fig. 9(a)는 응답시간과 액정방울크기와의 관계를 나타내는 그래프이며, 액정방울크기와 응답시간의 관계는 식 (3)과 식 (4)으로 나타낼 수 있다[10].

$$t_{on}^{-1} = \frac{1}{\eta d^2} \frac{9\epsilon_0 \Delta \epsilon V^2}{(p_p/p_{LC} + 2)^2} \quad (3)$$

$$t_{off}^{-1} = K \frac{(L^2 - 1)}{\eta R^2} \quad (4)$$

여기서 η 는 액정의 회전점도, V는 액정에 가해지는 전압, p는 저항이며, P와 LC는 Polymer와 액정(Liquid crystal)을 의미한다. 위에 나타난 식 (3)과 식 (4)은 각각 t_{on} 과 t_{off} 에 대해 설명하는 식으로서, t_{on} 은 액정방울크기와 관계없이 일정하며, t_{off} 의 경우만이 액정방울크기에 비례하여 증가하고, 장축과 단축의 비에 반비례할 것으로 예상된다($t_{off} \propto R^2/(L^2-1)$). 실제로 Fig. 9(b)에서의 결과를 보면 t_{on} 의 경우, 액정방울크기와 관계없이 거의 일정하다. 그러나 t_{off} 의 경우, 예상과는 달리 셀갭보다 절반 크기의 액정방울이 존재하는 PDLC보다 셀 갭의 약 1~4배 정도 큰 액정방울이 존재하는 PDLC에서 더 작은 t_{off} 가 관찰되었다. 액정방울의 크기에 따라 t_{off} 가 증가해야 함에도 불구하고, 더 감소하는 것은 실험에서 사용된 샘플의 액정방울크기가 셀 갭보다 더 크기 때문이라 예상된다. 액정방울의 크기가 셀갭보다 크면, 방울 내 액정분자들이 ITO 표면과 닿기 쉽고, 이 때 액정분자의 장축방향이 ITO 면을 따라 배열될 가능성이 높다. 수직편광상태에서 관찰된 액정방울의 이미지(Fig. 4)에서 큰 액정방울 내부의 색깔이 균일하다는 사실은 액정분자들이 화학공학 제46권 제5호 2008년 10월

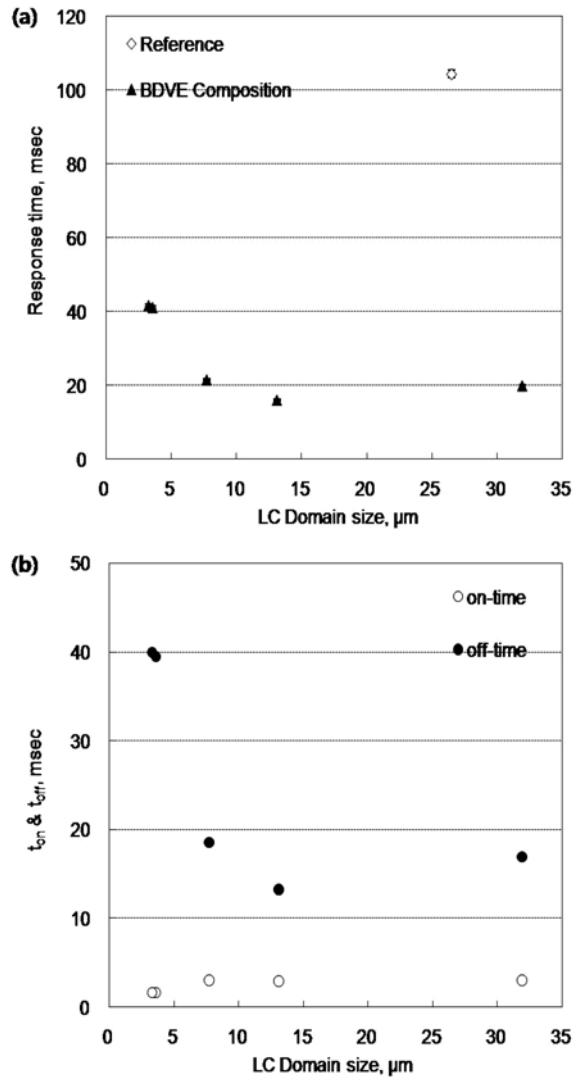


Fig. 9. (a) Variation of response time with respect to LC domain size (b) On-time(t_{on}) and off-time(t_{off}) about response time except reference.

planar anchoring되어 있다는 것을 간접적으로 확인할 수 있다. 결과적으로 planar anchoring된 액정분자들은 복원력이 크기 때문에 상대적으로 작은 t_{off} 를 갖게 된다. 또한, Fig. 9(a)에 나타난 모든 액정방울크기에 따른 응답시간들이 기존 reference의 응답시간과 비교했을 때, 15~38% 수준으로 줄어들어 있어, BDVE를 첨가한 PDLC가 응답속도 특성이 더 우수한 것을 확인할 수 있다.

마지막으로 BDVE를 첨가한 PDLC 시리즈와 기존 reference의 온도안정성을 비교함으로써, 전기 광학적 특성의 우수여부를 비교 분석하였다. 측정온도를 0 °C 부터 5 °C 간격으로 온도를 높여가면서 PDLC의 전기 광학적 특성을 평가하였다(Fig. 10). Contrast ratio (CR)의 온도안정성을 평가한 Fig. 10(a)를 보면, BDVE 함량 5 wt%를 제외한 나머지의 BDVE 첨가 PDLC 시리즈가 reference 보다 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그리고 BDVE 함량 5 wt% PDLC 또한 측정온도가 0~10 °C일 때를 제외한 모든 온도에서 reference의 결과와 거의 비슷한 것을 확인하였다. 하지만 reference의 온도별 측정값은 최대 CR 대비 최소 CR 갭이 0.5로서 그 변화 폭이 좁아, 온도별 안정성 측면에서 우수한 것으로 나타났다. 하지

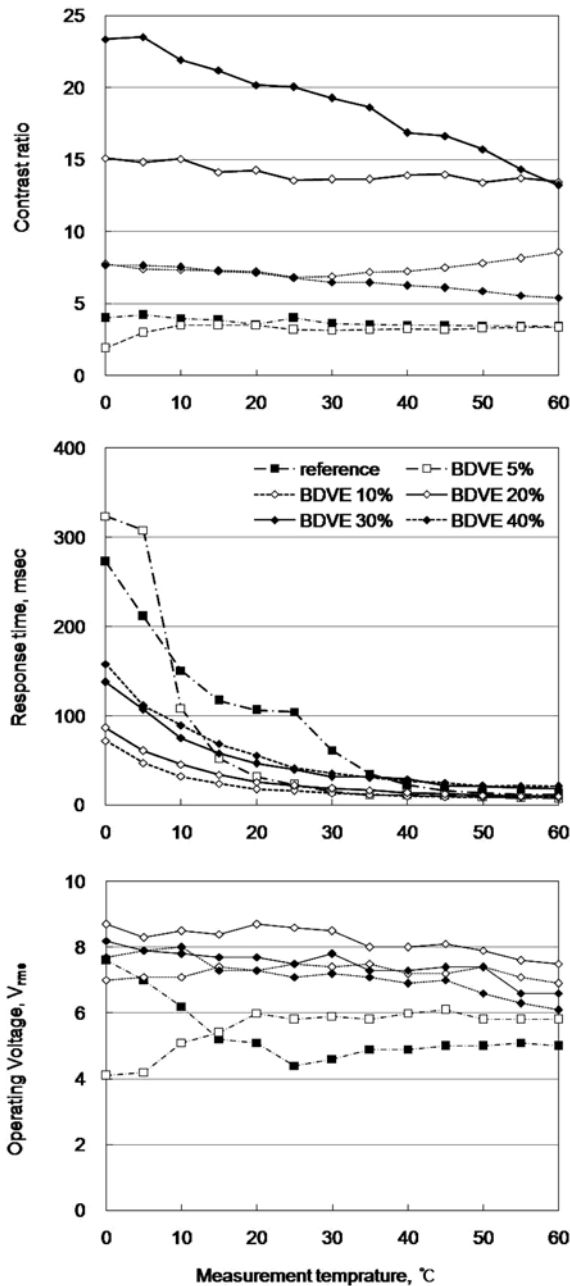


Fig. 10. Variation of electro-optic properties of PDLCs: (a) Contrast ratio, (b) response time, (c) operating voltage.

만 CR의 절대값은 3.5~4.0로서 BDVE가 첨가된 PDLC와 비교하였을 때 매우 열등한 것으로 확인되었다. BDVE를 첨가한 PDLC, 예를 들어 BDVE 함량 30 wt%의 경우 최대 CR값이 23.4로서 reference보다 대략 5.5~7배 높다.

응답시간의 온도안정성을 평가한 Fig. 10(b)의 경우, reference는 주어진 온도구간에서 약 12~272 msec의 변화를 보이고 있다. 한편, BDVE 10 wt%가 포함된 PDLC의 경우, 약 8~72 msec의 적은 변화만을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이것은 BDVE 첨가 PDLC가 reference보다 변화가 적고, 그만큼 온도별 전기광학적 특성이 안정함을 증명하는 결과이다. 또한 최대 응답시간 결과로만 두 샘플을 평가할 경우, reference는 약 272 msec이고, BDVE 첨가함량이 10 wt%인 PDLC의 응답시간은 72 msec로서 reference의 응답시간

보다 약 25% 수준으로 향상됨을 알 수 있다. 25 °C 기준으로 응답 시간 결과를 평가한다면, reference는 104 msec, BDVE 10 wt%는 16 msec로서 BDVE의 첨가로 인해 응답시간은 대폭 짧아진다. 따라서 새로운 모노머 BDVE의 첨가는 응답시간특성을 우수하게 개선시키는데 탁월한 효과가 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 10(c)에 나타난 구동전압의 경우, 전반적으로 BDVE가 첨가된 PDLC가 우수한 온도안정성을 나타내었다. 일반적으로 온도가 증가할수록 PDLC의 구동전압은 낮아지는 것으로 알려져 있다. 하지만 BDVE 5% 첨가된 PDLC의 경우 반대의 경향이 관찰되었으며, 이의 원인에 대해서는 추가적인 연구가 진행되어야 한다. 이 경우를 제외하면 전 조성범위에서 BDVE는 구동전압을 안정하게 유지하는 역할을 하는 것으로 확인되었다.

4. 결 론

본 논문에서는 상용화된 pre-polymer, PN393 조성 중 아크릴레이트 계열의 반응성 모노머인 EHA의 일부를 비닐에테르계열의 모노머인 BDVE로 대체하여 PDLC를 제작하고, 모노머 함량변화에 따른 PDLC의 전기 광학적 특성 변화를 살펴본 결과, 구동전압은 4.9~8.6 V, 명암비는 3.2~20, 최소응답시간은 16.2 msec으로 나타났다.

BDVE는 함량이 높을수록 액정방울크기를 작게 만드는 역할을 하는 것이 확인되었다. 또한 액정방울크기가 작아짐으로써 초기투과율(t_{on})이 작아지게 되어 CR이 20까지 높아졌다. 동작전압은 BDVE 함량이 높아질수록, 즉 액정방울크기가 작아질수록 높아지는 결과를 확인하였다. 액정방울크기가 커질수록 응답시간은 낮아지는 경향이 나타났으며, 이는 형성된 액정방울의 크기가 셀갭 정도보다 비교적 크기 때문에 액정들이 ITO 표면에 평행한 방향으로 planar anchoring 되었기 때문에 나타난 결과로 판단된다. BDVE 모노머를 가진 pre-polymer는 상용화 소재에 비해 명암비의 온도안정성은 다소 떨어지나 명암비 향상효과는 매우 우수함을 확인하였다. BDVE가 첨가된 PDLC는 전반적으로 reference 소자에 비해 응답시간과 구동전압의 온도안정성이 월등히 우수함을 확인하였다. 따라서, 디스플레이 소자에 적용성을 고려할 때, 상용화된 PN393 pre-polymer보다 BDVE를 포함하는 새로운 조성의 pre-polymer를 사용하는 것이 더욱 바람직하고 말할 수 있다.

감 사

이 논문은 2006학년도 영남대학교 학술연구조성비 지원에 의한 것임.

참고문헌

- Kim, M. S., Won, H. K., Song, S. H., Lee, M. H. and Lee, S. H., "Electro-Optic Characteristics of Polymer Dispersed Liquid Crystal Cell with Transparent State Initially," *Polymer(Korea)*, **28**, 4(2004).
- Park, W. S., Koh, Y. B. and Park, S. G., "Electro-optical Properties of Dispersed Liquid Crystal Displays," *Journal of the Korean Institute of Electrical Materonic and Electronic Material Engineers*, **11**, 10(1998).
- Lee, J. H., Sung, G. Y., Lee, S. J., Kim, K. H., Joh, Y. G., Kwak, C. H., Song, J. B. and Lee, Y. W., "Fabrication of Bifocal Holo-

- graphic Lenses by Holographic Polymer Dispersed Liquid Crystal Film," *Hankook Kwanghak Hoeji*, **14**, 2(2003).
4. Ren, H. and Wu, S.-T., "Reflective Reversed-mode Polymer Stabilized Cholesteric Texture Light Switches," *J. Appl. Phys.*, **92**, 2 (2002).
 5. Carter, S. A., LeGrange, J. D., White, W., Boo, J. and Wiltzius, P., "Dependence of the Morphology of Polymer Dispersed Liquid Crystals on the UV Polymerization Process," *J. Appl. Phys.*, **81**, 9(1997).
 6. Lee, C. H., Lee, S. L. and Kim, B. K., "Polymer Dispersed Liquid Crystal of PVA/E44 Prepared by Emulsion Technique," *Polymer(Korea)*, **18**(6), 1035(1994).
 7. Smith, G. H., "Polymer Dispersed Liquid Crystal Films for Modulating Infra-red Radiation," *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **196**, 89(1991).
 8. Ren, H. and Wu, S.-T., "Liquid-crystal Microlens Arrays Using Patterned Polymer Networks," *Appl. Phys. Lett.*, **81**(19), 3537 (2002).
 9. Han, J. W., Kang, T. J. and Park, G. H., "Effects of Composition, Curing-Time, and Temperature on the Electro-Optical Characteristics of Polymer-Dispersed Liquid Crystal Films," *Journal of the Korean Physical Society*, **36**, 3(2000).
 10. Kim, I. T. and Yu, Y. S., "Effect of Droplets Size on Electro-optical Switching Properties of Polymer Dispersed Liquid Crystals," *Hankook Kwanghak Hoeji*, **17**, 1(2006).
 11. Park, W. S. and Choi, K. S., "Improvement in the Electro-optical Properties of Polymer Dispersed Liquid Crystals," *Journal of the Korean Physical Society*, **34**, 231(1999).
 12. Amundson, K., Blaaderen, A. and Wiltzius, P., "Morphology and Electro-optic Properties of Polymer-dispersed Liquid-crystal Films," *Physical Review E.*, **55**, 1646(1997).
 13. Amundson, K. and Srinivasarao, M., "Liquid-crystal-anchoring Transitions at Surfaces Created by Polymerization-induced Phase Separation," *Physical Review E.*, **58**, 1211(1998).
 14. No, Y. S., Kim, J. H., Jeon, C. W. and Park S. H., "Temperature Stability of Electro-Optic Properties of Polymer Dispersed Liquid Crystal with Different Crosslinking Monomer in PN393 Base Pre-Polymer," *Korean J. Chem. Eng.*, **25**, 1(2008).