

비이온 계면활성제/소수성 함유 아크릴 아마이드 공중합체에 의한 액정의 분산 안정화

박수진[†] · 김문한 · 이재락
한국화학연구소 화학소재연구부
(1999년 3월 23일 접수)

Stabilization of Liquid Crystal Dispersion by Nonionic Surfactant/ Acrylamide Copolymer Containing Hydrophobic Moieties

Soo-Jin Park[†], Mun-Han Kim, and Jae-Rock Lee
Advanced Materials Division, Korea Research Institute of Chemical Technology,
P.O. Box 107, Yusong, Taejeon 305-600, Korea
[†]e-mail : psjin@pado.kRICT.re.kr
(Received March 23, 1999)

요약: 비이온 계면활성제 ($(\text{H}(\text{OCH}_2\text{-CH}_2)_8\text{-OC}_6\text{H}_4\text{-C}_9\text{H}_{19}$, NP-8)와 소수성 사슬인 nonylphenol groups을 함유하고 있는 acrylamide 공중합체가 액정 (LC)-in-water dispersion에서 액정의 안정성에 미치는 영향을 조사하였다. 호림점과 흡착 실험에 의하면, NP-8과 nonylphenol 사슬 사이에 강한 소수성 상호작용이 발생하였다. 또한 계면활성제를 첨가함으로써 분산된 액정의 안정성과 nematic curvilinear aligned phase (NCAP) 복합필름의 전기광학적 특성이 향상되었다. 이것은 계면활성제가 액정 droplet 주위에 nonpolar microenvironment를 형성하여 결과적으로 액정과 고분자 매트릭스 사이에서 계류효과의 감소에 의한 것임을 알 수 있었다.

ABSTRACT: The effect of nonionic surfactant ($(\text{H}(\text{OCH}_2\text{-CH}_2)_8\text{-OC}_6\text{H}_4\text{-C}_9\text{H}_{19}$, NP-8) and acrylamide copolymer containing nonylphenyl groups as hydrophobic moieties on the stabilization of liquid crystal (LC)-in-water dispersion has been studied. According to cloud point and adsorption measurements, the hydrophobically strong interaction between NP-8 and the nonylphenol moieties is formed. And the addition of surfactant increases the stability of LC dispersion and improves the electrooptical properties of the nematic curvilinear aligned phase (NCAP) composite film. It is due to the presence of surfactant which allows the formation of nonpolar microenvironment in the round of LC droplet and finally reduces the anchoring effect between LC and the polymeric wall.

Keywords: acrylamide copolymer, liquid crystal, steric stabilization, adsorption, coalescence.

서 론

고분자/액정 복합체의 전기광학적 특성이 알려지고, 이를 이용한 기능성 소재로 연구되어온 고분자 분산 액정 복합체 (polymer dispersed liquid crystal, PDLC)는 전자산업의 비약적인 발전에 발 맞추

어 액정을 이용하는 표시소자 분야에서 널리 연구되어오고 있는 소재이다.¹⁻³ PDLC는 주로 20 μm 이하의 얇은 필름의 형태로 제작되는데 고분자 물질 혹은 고분자를 형성할 수 있는 단량체에 저분자량의 네마틱 액정을 혼합하여 분산시킨 후 고분자 매트릭스상과 액정상이 상분리 현상으로 분리되어 있으며, 현재

많이 사용되고 있는 twisted nematic (TN)이나 super twisted nematic (STN) 모드를 이용하는 LCD에 비해 편광판과 같은 부수적인 소재가 필요없어 휘도가 좋고, 전도성판의 prealignment가 필요하지 않아 비교적 손쉽게 셀을 제작할 수 있다는 장점이 있다.^{4,5}

최초로 이런 전기광학적 특성을 응용한 고분자/액정 복합체는 주로 수용성 고분자인 poly(vinyl alcohol) (PVA)를 매트릭스로 사용하여 수용액 상태에서 hydroxyl groups이 분자들간에 수소결합을 형성하여 저분자량의 네마틱 액정을 분산시키는 encapsulation법을 이용하여 만들어졌으며⁶ nematic curvilinear aligned phase (NCAP)라고 불려졌다. 이렇게 만들어진 필름은 광산란에 의한 광차폐와 같은 광학적인 효과는 우수하였지만 투명성이 나타나는 전압 즉, 구동전압 ($>40 V_{rms}$)이 비교적 높아 전기광학적 특성이 우수하지 못했다.^{2,6}

최근 들어 고분자/액정 복합체는 고분자재료의 다양화, 특히 분자형태의 변화를 통해 낮은 전기장 에너지에서도 액정의 전자기적 효과를 최대화하려는 연구들이 보고되고 있으며, 이것은 고분자 매트릭스 재료 및 액정의 구조를 변화시킨 것이라 할 수 있다. PDLC 중에서도 빠른 응답시간을 구현하기 위해 ferroelectric liquid crystal을 도입한 polymer dispersed ferroelectric liquid crystal (PDFLC),⁷⁻⁹ 액정의 광산란 효과가 크고 구동전압이 낮으며 응답시간이 짧은 polymer network liquid crystal (PNLC),¹⁰⁻¹² 광산란 효과가 크고 구동전압이 낮은 고분자 매트릭스를 변화시키는 방법¹³⁻¹⁵ 등이 있지만 액정의 분산 상태와 고분자 매트릭스의 구조변형에 따른 액정의 분산 안정성, 액정과 고분자간의 계면에서 일어나는 현상에 관한 정확한 이해가 미흡한 상태이다.¹⁶

한편, Ono와 Kawatsuki는¹⁷ PVA/LC 시스템에서 benzylmethacrylate와 perfluorooctylacrylate의 혼합물을 첨가하여 액정 주위에 이들 분자들의 소수성 및 chromophoric 성질에 의한 미세환경을 형성함으로써 PDLC 필름의 전기광학적 특성을 향상시켰다고 보고하였다.

본 연구에서는 Ono와 Kawatsuki의 개념을 바탕으로 소수성 단량체로 nonylphenyl methacrylate (NPMA)를 합성한 후, 친수성 단량체인 acrylamide

의 일부에 NPMA를 공중합하는 방법을 통하여 소수성을 부여하였고, 액정의 분산 안정성을 더욱 향상시키기 위하여 비이온 계면활성제 (NP-8)를 동시에 사용함으로써 액정 표면에 이들 소수성 사슬들을 흡착시켜, 결과적으로 NCAP 필름의 구동전압을 낮추고 contrast ratio를 증가시킬 수 있는 수용액 상태에서 분산된 액정의 안정성 및 계면현상 등을 고찰하였다.

실 험

시약 및 공중합체의 합성. 500 mL 플라스크에 환류 장치와 교반기를 설치한 후 Aldrich Co.사의 제품인 nonylphenol 22 g과 벤젠 100 mL, pyridine 9 g을 첨가하여 혼합한 후 교반하면서 10 °C로 냉각시켰다. 그리고 methacryloyl chloride (Aldrich Co.) 36.2 g을 첨가하여 용액을 10 °C에서 3시간, 40 °C에서 5시간 동안 반응시켰다. 반응이 끝난 후 증류수로 세척하여 수용성 성분을 제거하였으며, 잔류 벤젠을 증발 건조시켜 소수성 단량체인 NPMA 21.8 g (75%)을 제조하였다. 친수성 단량체로는 Aldrich Co.사의 acrylamide (AAm)를 사용하여, 100 mL 플라스크에 AAm 5 g과 NPMA의 농도를 AAm에 대하여 10, 20, 40 wt%로 맞추어 dioxane 용액중에서 라디칼 중합하여 랜덤 공중합체 P(AAm-co-NPMA)를 합성하였다. 중합반응의 개시제로는 azobisisobutyronitrile (AIBN)의 농도를 전체 단량체의 3 wt%로 사용하였으며, 질소 분위기 하에서 반응온도를 60 °C로 유지하였다. 반응이 끝난 후 원심분리기를 이용하여 acetone으로 여러 번 세척한 후 진공건조기에 2일 동안 건조시켜서 사용하였으며, 본 실험의 반응경로는 Fig. 1에 나타내었다. 합성된 NPMA와 공중합체 P(AAm-co-NPMA)는 300 MHz ¹H-NMR과 FT-IR을 이용하여 확인하였으며, 공중합체의 조성은 원소분석기 (EA)를 사용하여 acrylamide의 질소 (N)함량으로부터 계산하여 Table 1에 나타내었다.¹⁴ 액정은 저분자량의 네마틱 액정 혼합물인 E-8 (Merck Co.)을 사용하였으며, Aldrich Co.사의 polyoxyethylene nonylphenol 구조를 가진 비이온 계면활성제 (NP-8)를 동시에 사용하였다.

점도 및 표면장력 측정. 합성한 공중합체 P(AAm-co-NPMA)를 수용액으로 만들어 공중합체의 농도에

Table 1. Monomer Mixtures and Copolymer Compositions

	composition of monomer mixtures (wt%)		copolymer composition ^a (wt%)		solubility in water
	[AAm]	[NPMA]	[AAm]	[NPMA]	
	P(AAm-co-NPMA)	90	10	89.1	
	80	20	85.2	14.8	soluble
	60	40	79.5	20.5	insoluble

^a Determined by Elemental Analysis (EA).

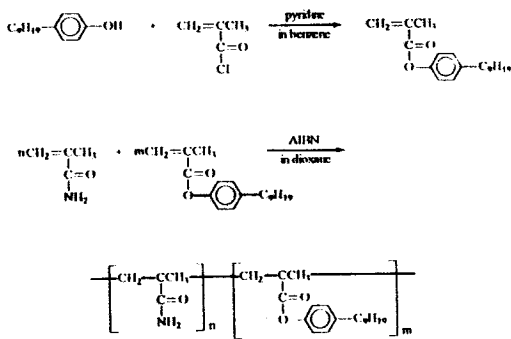


Figure 1. Synthesis of copolymers.

다른 환원점도를 Ubbelohde 점도계를 사용하여 측정하였다. 여기에서 AAm에 소량 함유되어있는 acrylic acid의 polyelectrolyte를 제거하기 위하여 6 wt% NaCl 수용액을 사용하였다.¹⁸

공중합체의 농도에 따른 표면장력은 Fisher tensiometer (Model 21)를 이용하여 ring method로 측정하였다.¹⁹

흐림점 및 흡착량 측정. 계면활성제/고분자 수용액의 흐림점 측정은 계면활성제의 농도를 1 wt%, 고분자의 농도를 0~2 wt%로 변화시킨 수용액을 바이알에 넣은 후 온도조절이 가능한 항온조에 고정시켰다. 그리고 단계적으로 온도를 증가시키면서 각각의 온도에 도달하였을 때 10분 동안 유지시킨 뒤 탁도가 생기는 온도를 측정하였다.

Water/oil의 계면에서 공중합체가 흡착되는 것을 측정하기 위하여 공중합체 수용액 10 mL를 셀에 채우고, 그 위에 순수한 소수성인 nonane (Fluka Co.) 5 mL를 천천히 첨가하여 층을 이루게 하였다. 온도를 25 °C (±0.01 °C)로 6시간 동안 일정하게 유

지시킨 뒤 수용액 3 mL를 취하여 UV-spectrophotometer quartz cell에 넣은 후 흡수율을 측정하였다. 또한 nonane/water 계면에서 공중합체가 흡착된 양 (A)은 아래의 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$A = \frac{(C_{before} - C_{after}) \cdot V}{S} \quad (1)$$

여기에서 C_{before} , C_{after} 는 각각 흡착 전후의 평형 상태에서 고분자 수용액의 농도이며, S는 계면 면적, V는 고분자 수용액의 전체 부피이다.

유착시간 및 NCAP 필름의 모폴로지 측정. 공중합체의 농도가 0.6 wt%인 수용액을 만들어 glass cell 장치¹⁵ 이용하여 미세 주사기로 액정 0.03 mL를 분산시켰다. 그리고 공중합체 수용액에 계면활성제를 첨가하면서 두 액정이 합체되는 시간을 측정하였다.

NCAP 필름의 모폴로지는 먼저 NCAP 필름을 액체질소로 동결시켜 자르고 상온에서 hexane에 3시간 동안 넣어 액정을 제거한 후 scanning electron microscopy (SEM, Model JEOL JSM-840A)를 이용하여 관찰하였다.

NCAP 필름의 제조 및 전기광학적 특성. 공중합체 P(AAm-co-NPMA, 85 : 15)를 15 wt% 수용액으로 만들고, 공중합체에 대한 계면활성제의 농도와 액정 (E-8)의 농도를 각각 4 wt%, 60 wt% 첨가하여 UV-Turrey Model TU 5/6 emulsifier를 이용하여 2500 rpm에서 5분 동안 분산시켰다. 제조된 혼합물을 24시간 동안 degassing한 다음 indium-tin-oxide (ITO) glass위에서 두께 조절이 가능한 applicator를 이용하여 도포시킨 후 48시간 동안 건조시켜 두께가 20 μm인 NCAP 필름을 제조하였다. NCAP 필름의 전기광학적 특성은 파장이 632.8 nm인 He-Ne laser를 이용하여 NCAP 필름에 투과시켜 photo-diode에서 투과된 빛의 세기 변화를 측정하였다. 투광도는 photo-diode에 전혀 빛이 닿지 않을 때를 0으로 하고, NCAP 필름이 들어있지 않은 두장의 ITO glass를 통과한 빛이 닿았을 때의 투광도를 100으로 하였다.

결과 및 고찰

공중합체의 특성. 합성한 공중합체의 농도에 따른

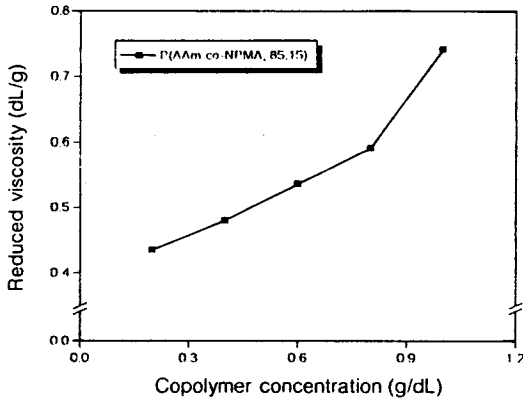


Figure 2. Reduced viscosity of aqueous copolymer solution as a function of copolymer concentration at 25 °C.

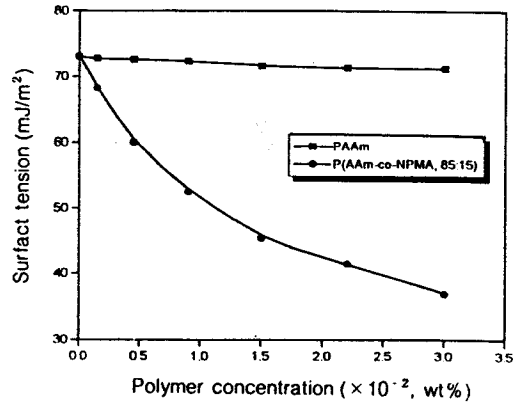


Figure 3. Effect of polymer concentration on surface tension of aqueous solution, measured at 25 °C.

환원점도를 Fig. 2에 나타내었다. 비교적 낮은 농도에서는 농도와 환원점도가 비례하지만, 농도가 0.8 g/dL에서 임계점이 나타나 높은 농도에서는 비례하지 않는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 고분자 수용액에서 흔히 나타나며, 특히 용해된 고분자에서 inter- 또는 intramolecular 사이에 상호작용이 있을 때 나타난다.¹⁸ Fig. 1의 공중합체의 구조에서 살펴보면 낮은 농도에서는 불규칙하게 분포된 소수성 사슬들이 분자내에서 약한 상호작용이 발생하지만 일정농도 이상에서는 인접한 분자의 같은 성질을 가진 소수성 사슬들 사이에서 인력현상이 나타나며, 또한 AAm의 amide group은 분자들간에 강한 수소결합을 형성하여 결과적으로 점도가 크게 증가하는 것으로 사료된다.

수용액 상태에서 액정과 의 상용성을 증가시키기 위한 방법으로 친수성 AAm에 공중합시킨 NPMA 소수성 사슬이 미치는 영향을 조사하기 위하여 수용액에서 고분자 농도에 따른 표면장력의 변화를 측정하였다. Fig. 3에서 나타난 것과 같이 AAm 단일중합체인 PAAm과 비교할 때 공중합체내의 NPMA의 존재는 결과적으로 수용액의 표면장력을 크게 감소시키는 것을 확인하였다. 이것은 PAAm이 수용액 상태에서 표면활성이 작는데 비해 소수성이 도입된 P(AAm-co-NPMA)의 경우는 수용액에서 자체의 표면활성이 상대적으로 더 크다는 것을 의미한다. 분자간의 인력 관점에서 살펴보면, 수용액 내에 용해되어 있는 공중합체 분자들은 물에 용해되는 즉시 물과

공기의 경계면에서 공중합체의 친수성 및 소수성 사슬들의 재배열이 일어나며, 이런 현상을 일반적으로 젖음성 또는 큰 의미의 흡착이라고¹⁹ 하는데, 수용액 표면에서는 소수성인 NPMA의 농도가 상대적으로 증가하게 되어 극성 요소가 강한 수용액 내부의 분자간 인력이 작아져 결과적으로 수용액의 표면장력이 감소하는 것이다.

NCAP 필름에 사용되는 대부분의 액정은 물에 대한 용해도가 매우 낮으며, 또한 점도가 높고 상온에서는 nematic ordered structure를 가지기 때문에 수용액 상태에서 액정의 분산을 위해서는 분산제의 사용이 필수적이다. 그러나 이때 사용되는 분산제는 고분자 매트릭스와의 상호작용이 약해야 하는데, 그것은 분산제와 고분자 매트릭스의 상호작용이 강할 경우 액정과 고분자 매트릭스 사이의 경계면에서 발생하는 액정의 anchoring effect가 증가하여 최종 필름의 전기광학적 특성이 저하되기 때문이다.

Nakagawa는 친수성-소수성 사이의 비상호작용을 친수성 고분자와 소수성인 비이온 계면활성제 사이에도 그 상호작용이 매우 약하다고 체계있게 보고하였다.²⁰ 따라서 본 실험에서는 소수성 NPMA를 함유한 AAm 공중합체와 분산제로 사용된 비이온 계면활성제 (NP-8) 사이에서는 공중합체의 NPMA 사슬과 NP-8 사이에서만 상호작용이 일어나리라 사료된다. Fig. 4는 NP-8을 1 wt% 사용한 고분자 수용액에서 고분자 농도에 따른 계면활성제의 흐림점 변화를 나타내었다. PAAm의 농도가 증가할수록 흐림점은 급

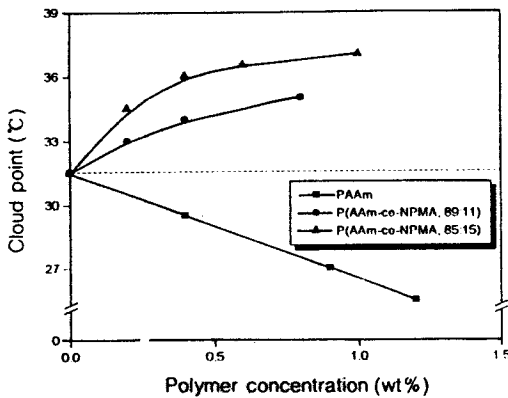


Figure 4. Dependence of cloud point of surfactant (NP-8) in aqueous polymer solution as a function of polymer concentration. [Surfactant]=1 wt%.

격하게 감소하는 것을 알 수 있었고, 소수성 NPMA를 공중합한 P(AAm-co-NPMA)의 경우에는 흐림점이 증가하였다. 일반적으로 흐림점은 계면활성제가 미셀을 형성할 때 나타나는데, 결과적으로 공중합체 P(AAm-co-NPMA)의 농도가 증가함에 따라 흐림점이 증가한다는 것은 첨가된 공중합체가 수용액에 용해되어 있는 계면활성제의 용해도를 증가시키는 것이라 할 수 있다. 또한, 이것은 공중합체의 NPMA 사슬과 NP-8의 소수성 사이에 강한 비극성 상호작용이 존재한다는 것을 알 수 있으며, NPMA가 15 wt% 공중합된 것이 더욱 강한 상호작용이 일어나는 것을 알 수 있었다. Akyrlaromatic group을 함유하고 있는 액정, 공중합체 및 NP-8의 구조를 고려할 때, 수용액에서 분산된 액정 표면에 이들 소수성 사슬 즉, akylaromatic group들이 흡착되어 분산된 액정을 안정화시키는 것을 알 수 있었다.

흡착 및 유착시간. Fig. 5는 공중합체 P(AAm-co-NPMA, 85:15)가 소수성 액체인 nonane에 흡착되는 것을 UV spectrum으로 측정하여 나타내었다. Spectrum에 나타난 것처럼 270 nm에서 발색단의 존재를 확인할 수 있으며, 6시간 동안 nonane에 흡착시킨 후에는 흡수율이 크게 감소하였다. 이것은 공중합체의 소수성 사슬들이 nonane/water 계면에서 흡착되었다는 것을 알 수 있으며, 평형 농도가 증가할수록 흡착되는 양은 일정한 값에 도달하는 것을 볼 수 있었다.

Napper는 oil-in-water dispersion에서 소수성이

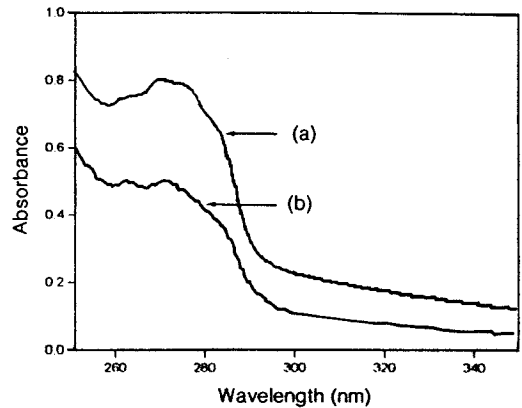


Figure 5. UV-Spectra of aqueous solution of P(AAm-co-NPMA, 85:15). (a) before adsorption and (b) after adsorption onto nonane/water interface.

도입된 공중합체의 흡착은 분산 상태에서 anchoring group의 용해도에 의해 발생한다고 하였다.²¹ 앞서 언급한 것과 같이 LC-in-water dispersion에서는 LC/water 계면에서 anchoring group (즉, 소수성 사슬)이 흡착되어도 외부 전기장이 가해졌을 때 액정 분자의 배향이 자유로워야만 한다. 그러므로 이때 흡착되는 공중합체의 소수성 사슬은 수용액 상태에서 분산된 액정의 주위에 소수성 미세환경을 형성함으로써 분산된 액정의 안정성을 향상시킬 것이라 사료된다.

LC-in-water dispersion에서 분산된 액정의 안정성을 평가하는 방법으로 수용액 내에서 분산된 두 액정이 서로 합체되는 시간 즉, 유착시간을 측정하여 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 친수성 고분자 수용액 내에 분산된 액정은 더 작은 표면적을 가지기 위해 서로 합쳐지게 된다. Fig. 6에서 살펴보면 NP-8의 농도가 증가할수록 유착시간이 길어지는 것을 볼 수 있으며, 특히 NP-8만을 사용한 수용액에서 액정의 분산 안정성은 더욱 우수하였다. 이것은 공중합체의 소수성 사슬인 NPMA와 계면활성제가 분산된 액정표면에 균일하게 분포되어 규칙적으로 흡착된 결과라 할 수 있으며, 액정의 안정성은 이들 농도에 크게 의존한다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 7의 SEM 사진에서도 알 수 있듯이 NCAP 필름의 제조에 있어 계면활성제 (NP-8)의 첨가는 분산된 액정의 크기를 감소시키는 것을 알 수 있으며, 크기분포도 또한 일정하게 나타나 액정의 분산성이

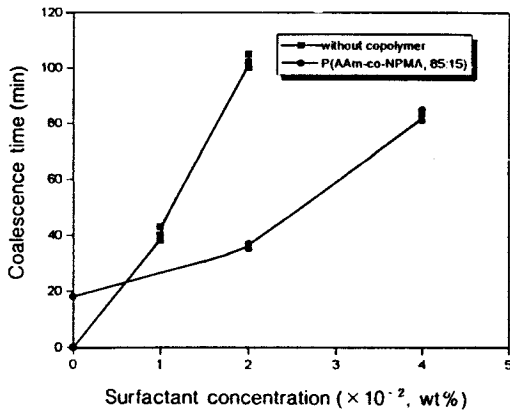


Figure 6. Effect of surfactant concentration on coalescence time of LC droplet stabilized with copolymer. Volume of LC droplet: 0.03 mL, [copolymer] = 0.6 wt%.

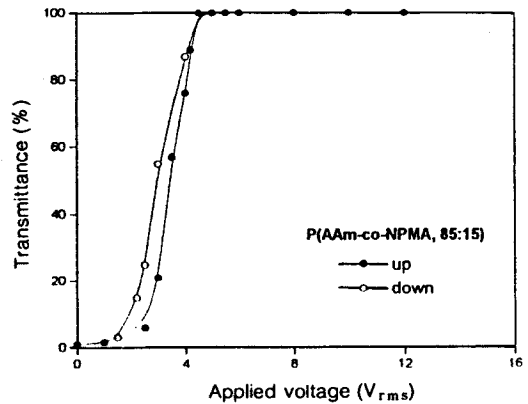


Figure 8. Dependence of electrooptical properties of NCAP system on applied voltage.



(a) without surfactant



(b) with surfactant 1 wt%

Figure 7. SEM microphotos of NCAP composite films on the base of P(AAm-co-NPMA, 85:15).

우수하다는 것을 알 수 있다. NCAP 필름에 있어 분산된 액정의 크기분포는 적어야 하며, 특히 2~4 μm

에서 우수한 전기광학적 특성을 발휘하는 것으로 알려져 있다.⁶ 따라서 본 연구에서 합성한 공중합체와 계면활성제의 농도를 변화시켜 분산된 액정의 크기를 조절할 수 있기 때문에 우수한 전기광학적 특성을 발현할 수 있으리라 사료된다.

Fig. 8은 본 실험에서 제조된 P(AAm-co-NPMA, 85:15) NCAP 필름의 전기광학적 특성을 나타내었으며, 임계전압 및 구동전압이 각각 2.5 V_{rms} , 4 V_{rms} 로 나타났으며, 응답시간은 26 msec, contrast ratio는 100으로서 우수한 NCAP 필름을 제조하였다.

결론

소수성 단량체 NPMA를 공중합시킨 acrylamide 공중합체와 비이온 계면활성제 (NP-8)을 동시에 사용한 수용액에서 흐림점과 유착시간을 측정된 결과, 소수성 akylaromatic group 사이에 강한 비극성 상호작용이 존재하는 것을 확인하였다. 특히 수용액 상태에서 분산된 액정 표면에 이들 akylaromatic group들의 규칙적인 coadsorption으로 액정 주위에 소수성 미세환경을 형성함으로써 분산 안정성은 더욱 향상되었으며, 매트릭스 고분자와의 anchoring effect는 감소되었다. NCAP 필름을 제조할 때 NP-8의 농도를 변화시키면 분산된 액정의 크기를 조절할 수 있어 고분자상과 안정화된 액정상으로 구성된 시스템을 응용하여 구동전압 및 contrast ratio가 우수한 NCAP 필름의 제조가 가능하였다.

참 고 문 헌

1. J. W. Doane, in "Liquid Crystals-Applications and Uses", ed. by B. Bahauder, World Scientific, Singapore, 1990.
2. P. S. Drzaic and A. M. Gonzales, *Appl. Phys. Lett.*, **62**, 1332 (1993).
3. N. Kawatsuki and H. Ono, *J. Appl. Polym. Sci.*, **55**, 911 (1995).
4. A. B. Macknick, P. Jones, and L. White, *Proc. SPIE*, **1080**, 169 (1989).
5. D. Coates, *Displays*, **14**, 94 (1993).
6. P. S. Drzaic, *J. Appl. Phys.*, **60**, 2142 (1986).
7. K. Skarp and M. A. Handschy, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **165**, 439 (1988).
8. H. -S. Kitzerow, H. Molsen, and G. Heppke, *Polym. Adv. Tech.*, **3**, 231 (1992).
9. H. -S. Kitzerow, *Liq. Crystals*, **16**, 1 (1994).
10. P. Nolan, M. Tillin, and D. Coates, *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Lett.*, **8**, 129 (1992).
11. A. J. Lovinger, K. R. Amundson, and D. D. Davis, *Chem. Mater.*, **6**, 1726 (1994).
12. G. W. Smith, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **196**, 89 (1991).
13. B. K. Kim and S. H. Kim, *J. Polym. Sci., Polym. Phys.*, **36**, 55 (1998).
14. A. Kim, S. J. Park, and J. R. Lee, *J. Colloid Interface Sci.*, **197**, 119 (1998).
15. S. J. Park, M. H. Kim, and J. R. Lee, *Polymer(Korea)*, **23**, 213 (1999).
16. T. F. Tadros and B. Vincent, "Encyclopedia of Emulsion Technology", ed. by P. Becher, vol. 1, chap. 3, Marcel Dekker, New York, 1982.
17. H. Ono and N. Kawatsuki, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **33**, 11 (1994).
18. E. Glass, "Polymers in Aqueous Media", ACS, Washington, 1989.
19. A. W. Adamson, "Physical Chemistry of Surface", 5th Ed., John Wiley, New York, 1990.
20. T. Nakagawa, in "Nonionic Surfactants", chap. 17, Marcel Dekker, New York, 1996.
21. D. H. Napper, "Polymeric Stabilization of Colloidal Dispersions", Academic Press, London, 1983.