

Sunset Yellow 액정 색소를 이용한 광학적 이방성 필름 제조

김병철^{*,**} · 장유진^{*} · 신승한^{*,†}

*한국생산기술연구원 청정생산기술연구부, **한양대학교 화학공학부
(2010년 10월 19일 접수, 2010년 12월 14일 채택)

Preparation of Optically Anisotropic Film by Sunset Yellow Chromonic Liquid Crystal

Byungchul Kim^{*,**}, Eugene Chang^{*}, and Seunghan Shin^{*,†}

^{*}Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), Cheonan 331-825, Korea

^{**}Department of Chemical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-010, Korea

(Received October 19, 2010; Accepted December 14, 2010)

자기 조립성 염료인 Sunset Yellow-FCF 수용액은 상온에서 농도 25 wt%부터 schlieren 구조의 액정상을 보이기 시작하여, 28 wt% 이상이면 완전한 네마틱 액정상으로 관찰되었다. 전단배향에 의한 코팅으로 광학적 이방성 필름을 제조하기 위해서는 30 wt% 이상의 농도가 필요하였다. 액정 색소의 농도, 코팅속도, 건조 온도, 상대습도 등 코팅 변수가 최종 박막필름의 두께, 투과도에 미치는 영향 분석에 의하면, 최종 필름의 두께에는 용액의 농도가 가장 큰 영향을 주었으며, 평행방향의 투과도에는 건조 온도와 농도의 영향이 가장 컸다. 특히 Sunset Yellow-FCF의 농도 증가로 전단코팅에 의한 배향성이 개선되고 높은 편광도를 갖는 필름제조가 가능하였다. 본 실험에서는 33 wt%의 Sunset Yellow-FCF 수용액을 사용하면, 89.7~98.7%의 편광도를 갖는 광학적 이방성 필름이 제조되었다.

The aqueous solution of Sunset Yellow-FCF (SY-FCF) began to show schlieren texture at room temperature when its concentration reaches 25 wt%. A further increase of the concentration of SY-FCF to 28 wt% resulted in a perfect nematic liquid crystal phase. However, more than 30 wt% of SY-FCF in aqueous solution was required to make an optically anisotropic film simply by shear coating. In our study, concentration of SY-FCF solution, coating speed, drying temperature, and relative humidity were considered as coating parameters affecting the preparation of optically anisotropic thin films. From analysis of variance analysis (ANOVA), the solution concentration was revealed as a main factor affecting the film thickness. The drying temperature and solution concentration were main factors affecting the transmittance of parallel direction (T_{\parallel}). Especially, SY-FCF aqueous solution with high concentration induced a better alignment of LC columns and produced highly oriented anisotropic films. In this study, optically anisotropic films prepared by 33 wt% of SY-FCF in aqueous solution showed 89.7~98.7% of degree of polarization.

Keywords: Sunset Yellow-FCF, chromonic liquid crystal, optically anisotropic film, coating parameter, degree of polarization

1. 서 론

유방성 액정(lyotropic liquid crystal)은 온도의 변화가 아닌 용매의 첨가에 의해 분자배향의 규칙성을 갖는 액정 물질로 알려져 있다. 다양한 유방성 액정 중에서 특히, 유방성 액정 색소(lyotropic chromonic liquid crystal)는 광학적 및 전기적 이방성(anisotropic)을 갖는 필름 제조가 가능하기 때문에 이색성 편광필름, 광학재료, 바이오센서용 활성 물질 등의 분야에서 폭 넓게 연구되고 있다[1-4].

일반적으로 유방성 액정 색소는 디스크 형태의 방향족 코어와 코어 주위의 이온성 말단기로 구성되어 있는데, 저 농도에서는 특정한 배열을 보이지 않다가, 농도가 증가함에 따라 디스크 형태의 방향족 코어 간의 π - π 상호작용(interaction)으로 인한 자기조립에 의해 칼럼 구조

를 형성하게 된다. 일반적으로 유방성 액정 색소의 길이는 1~3 nm의 크기이며, 칼럼을 형성하고 있는 유방성 액정 색소의 분자간 거리는 π - π 상호작용을 극대화할 수 있는 약 0.34 nm인 것으로 알려져 있다[5,6]. 이러한 유방성 액정 색소는 농도가 충분히 높으면 칼럼의 종횡비(aspect ratio)가 증가하고, 서로 나란히 배열하여 상당히 긴 범위에서 위치 규칙성을 갖는 고배열된 육방정계 칼럼구조 액정상(highly ordered hexagonal columnar LC phase)을 형성하게 된다. 고배열된 액정 색소를 특정한 방향으로 배향시키고 건조시키면, 광학적 및 전기적인 이방성을 갖는 배향된 결정 필름을 얻을 수 있게 된다.

대부분의 유방성 액정 색소는 방향족 코어로 인해 가시광선과 일부 적외선 영역의 빛을 흡수할 수 있으므로 유방성 액정 색소를 이용하여 배향된 결정 필름을 제조하게 되면, 액정 색소 칼럼의 장축에 평행한 전기장 벡터를 가진 빛만 투과시키는 E 형 편광필름(E-type polarizing film)으로 사용할 수 있다[7,8]. 따라서 전술한 것처럼 간단한 코

† 교신저자(e-mail: shshin@kitech.re.kr)

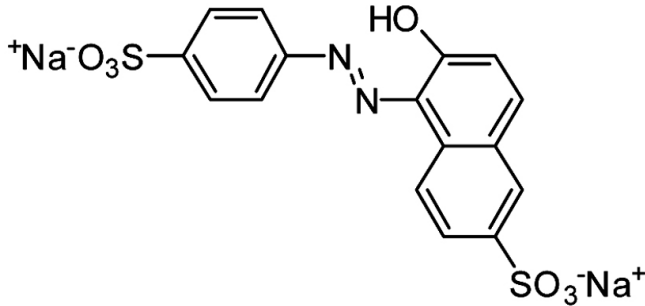


Figure 1. Chemical structure of Sunset Yellow FCF (SY-FCF).

팅공정에 의해 액정상을 갖는 유방성 액정 색소 용액으로부터 광학적 이방성을 갖는 결정 필름 제조가 가능하므로 요오드 기반의 기존 편광필름을 대체할 가능성이 매우 클 것이며, 특히 이러한 광학적 이방성을 갖는 결정 필름은 저가이면서 유연한 액정 디스플레이를 구현하는데 핵심적인 역할을 할 것으로 기대된다. 이렇듯 유방성 액정 색소를 이용하여 배향도가 높은 결정 필름을 제조하기 위해서는 유방성 액정 색소의 칼럼 구조 형성, 칼럼의 응집형태(aggregation), 칼럼의 배향을 유도하는 적절한 코팅방법 등에 대한 연구가 반드시 필요하다.

본 연구에서는 유방성 액정 색소로 Sunset Yellow-FCF (SY-FCF)를 이용하여 광학적 이방성을 갖는 결정 필름 제조를 시도하였다. 자기조립의 칼럼구조 형성을 촉진하기 위해 SY-FCF의 순도향상을 수행하였고, SY-FCF의 상태를 관찰하여 상온에서 네마틱 액정상을 갖는 농도범위를 확인하였다. 또한 배향성이 증가된 결정 필름을 얻기 위하여 bar coater를 이용한 전단 코팅(shear coating)을 실시하였으며, 전단 코팅시 주요한 변수인 SY-FCF 농도, 코팅 속도 등이 최종 SY-FCF 필름의 두께 및 투과도에 미치는 영향을 고찰하여 주효과를 보이는 인자를 도출하고자 하였다.

2. 실험 및 분석

2.1. 재료 및 시료준비

본 실험에서 사용한 유방성 액정 색소로는 Sunset Yellow FCF (SY-FCF 95%, Aldrich)를 사용하였으며, 그 화학 구조를 Figure 1에 나타내었다. SY-FCF의 순도 향상을 위해 증류수에 녹인 뒤 에탄올로 재침전하여 감압 여과한 후, 진공오븐에서 건조하는 정제과정을 2회 반복 수행하였다[9]. 액정 수용액은 호모게나이저(Sonic Materials, VCX750)를 이용하여 정제된 SY-FCF를 증류수에 충분히 분산시킨 후, 주사기 필터(pore size 0.4528 μm)로 여과한 다음 사용하였다. 코팅에 적합한 SY-FCF 수용액 농도 결정을 위해 열제어장치(Mettler Toledo, FP-82)가 부착된 편광현미경(Nikon LV100POL)을 이용하여 SY-FCF/H₂O의 상태도 분석을 수행하였다.

2.2. 코팅에 의한 필름제조

SY-FCF 수용액의 코팅은 Figure 2에 제시된 코팅 장비를 이용하여 수행하였다. 코팅 기재로는 유리기판을 사용하였으며, 유리기판은 코팅 전에 상온에서 피라나 용액으로 2 h 세정하고, 2-프로판올에 침지한 후 초음파세척기로 45 min 간 세척하였다. 네마틱 상을 갖는 SY-FCF 액정 용액을 도입한 후, 바 코터(2 μm , Osawa Screw Grinding)를 이용하여 코팅을 수행하였다. 용액의 농도, 코팅 속도, 건조 조건 등을 변화시켜 가면서 박막 필름을 제조하였다. 필름의 건조는 항온항습기(JEIO Tech, TH-ME-25L)를 이용하여 수행하였다.



Figure 2. Photo of a bar coater type coating apparatus used in this study.

2.3. 필름의 특성분석

SY-FCF로 제조된 필름의 광학적 이방성은 편광현미경(Nikon LV100-POL)을 이용하여 관찰하였으며, 필름의 두께는 α -step (KLA Tencor)를 이용하여 측정하였다. 필름의 편광도는 polarized UV-Vis spectroscopy (Shimadzu spectrometer 1601)를 사용하여 측정된 투과도를 바탕으로 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

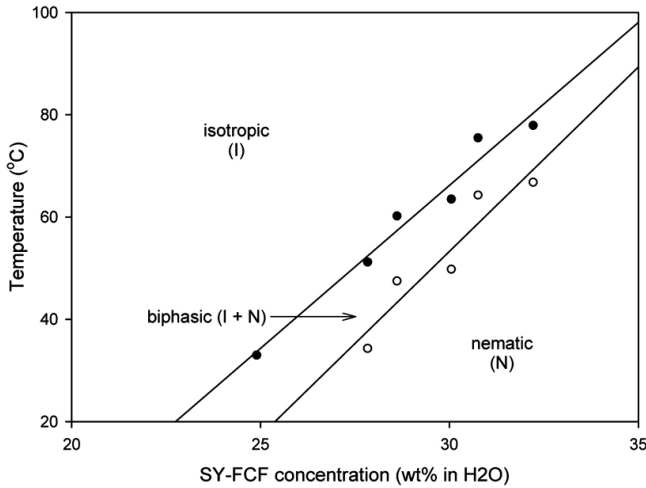
$$P_{eff}(\%) = \frac{T_0 - T_{90}}{T_0 + T_{90}} \times 100$$

이 식에서 P_{eff} 는 편광도를 나타내고, T_0 는 필름의 코팅방향과 편광된 UV-Vis 빛이 평행일 때의 투과도이며, T_{90} 은 서로 수직일 때의 투과도를 나타낸다. 본 연구에서 사용한 SY-FCF는 400~500 nm 파장의 빛을 흡수하며, T_{90} 가 가장 낮은 459 nm에서 투과도를 기준으로 편광도를 계산하였다.

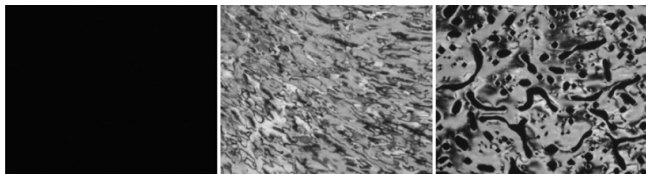
3. 결과 및 고찰

3.1. Sunset Yellow FCF의 상태도 결정

유방성 액정 색소 용액의 코팅을 통해 광학적 이방성 필름을 제조하기 위해서는 유방성 액정 색소가 용액상에서 자기조립에 의한 칼럼 구조를 형성하여야 한다. 이는 자기조립에 의한 칼럼구조가 형성되어야만 전단코팅에 의해 이러한 칼럼들이 배향성을 갖고 결정화되어 광학적 이방성 필름을 형성할 수 있기 때문이다. 유방성 액정의 자기조립에 의한 칼럼구조 형성은 액정 용액의 농도 및 온도에 의존하므로 SY-FCF 수용액의 상태도 분석을 실시하였다. SY-FCF의 상태도는 열제어기(heat processor)가 장착된 편광현미경을 이용하여, SY-FCF의 농도를 20~35 wt%로, 측정온도는 20~95 $^{\circ}\text{C}$ 로 변경해 가면서 측정하였다. 용액의 농도를 일정하게 유지하기 위하여 샌드위치 형태의 액정 셀을 제조하고, 예폭시 접착제를 이용하여 틸트를 밀봉하였다. SY-FCF의 농도가 35 wt%이면 고형분이 너무 많아 녹질 않으므로 33 wt% 수용액까지 제조하였다. Figure 3에 SY-FCF의 함량이 20, 25, 그리고 30 wt%인 수용액의 편광현미경 사진을 제시하였다. 상온의 경우 주어진 농도에서 모두 쉘러렌(schlieren) 구조를 보여주고 있으며, 이는 전형적인 네마틱(nematic) 액정상임을 알 수 있다. 상태도를 보면



(a)



(b)

(c)

(d)

Figure 3. Phase diagrams of SY-FCF/H₂O solution with and without purification (a), and POM textures taken at room temperature of purified SY-FCF 20 wt% (b), 25 wt% (c), and 30 wt% (d) solutions, respectively.

일정한 농도에서 온도를 올리거나, 일정한 온도에서 농도를 낮추면 네마틱 액정상은 네마틱 상과 등방성(isotropic)상이 공존하는 두 개의 상(biphasic)을 거쳐 궁극적으로는 등방성상으로 변화하였다. 상온에서 안정한 네마틱 상만을 보이려면, SY-FCF의 농도가 28 wt% 이상은 되어야 함을 알 수 있었다.

3.2. SY-FCF 액정 용액의 코팅

SY-FCF 용액을 이용하여 광학적 이방성 필름을 제조하기 위해서는 용액상에서 SY-FCF가 칼럼구조를 갖는 것도 중요할 뿐만 아니라, 코팅에 의해 이러한 칼럼들을 일정한 방향으로 배향시키고, 건조 시에도 배향을 유지시키는 것이 중요하다. 전술한 상태도 분석을 통해 SY-FCF의 농도가 28 wt% 이상이면 상온에서 칼럼구조를 형성하지만, 28 wt%의 SY-FCF용액을 전단 코팅하면, 용액의 낮은 점도로 인해 필름의 배향이 잘 이루어지지 않고, 건조 공정 시 배향이 많이 흐트러지는 결과가 관찰되었다. SY-FCF 농도가 30 wt% 이상이 되어야 전단 코팅에 의한 배향 향상과 건조 공정 시 배향 흐트러짐이 관찰되지 않았다. 한편, SY-FCF 액정 용액으로 제조된 박막 필름은 두께의 미세한 차이에 따라 투과도가 달라지기 때문에 필름 내 두께 편차를 억제하는 조건을 찾는 것이 필요하다. 바 코터 장비에 의한 코팅 시 고려할 수 있는 변수들은 Figure 4에 제시된 바와 같다. 제시된 변수 중에서 애플리케이터(applicator)를 누르는 힘(downward force)의 제어가 필름의 두께 편차 억제를 위해 가장 필요하였는데, 다양한 무게 추를 애플리케이터에 장착한 후, 코팅을 수행한 다음 α -step을 이용하여 코팅된 필름의 두께 변화를 측정하였다. Figure 5를 보면, 추를 이용하지 않고 코팅한 필름의 두께는 $0.5 (\pm 0.1) \mu\text{m}$ 로, 2200 g의 추를 장착한

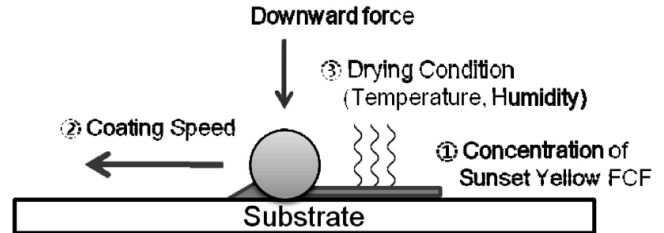


Figure 4. Representative parameters affecting the coating process by using bar coater type coater.

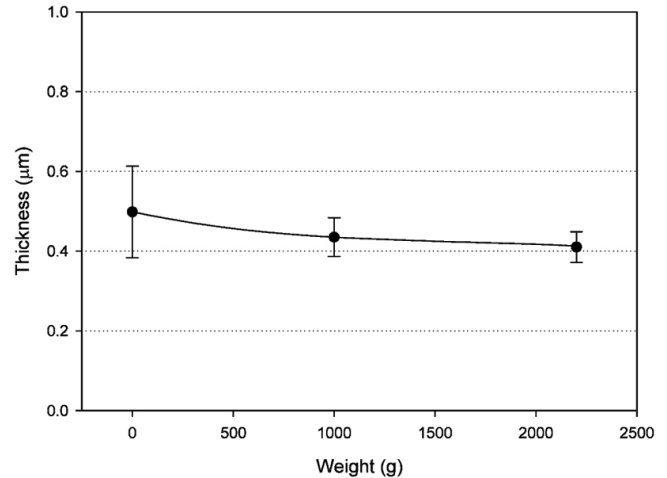
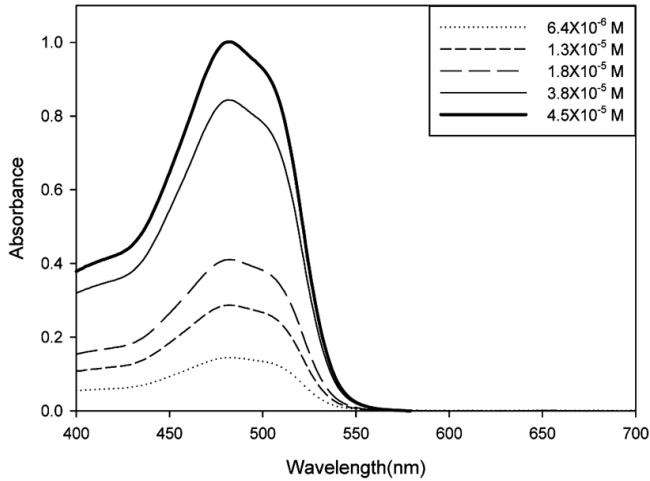


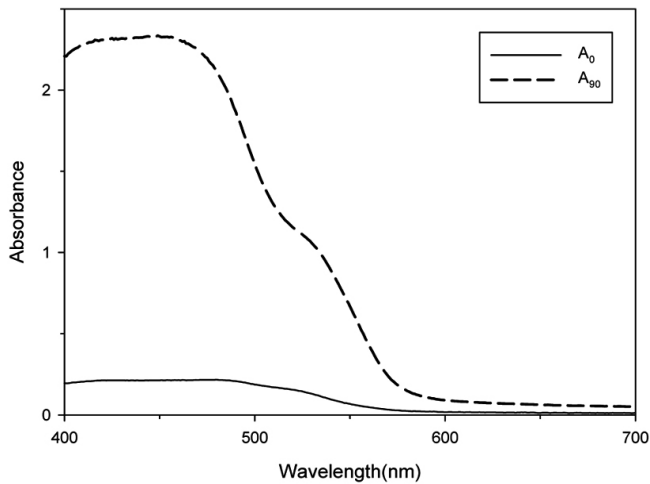
Figure 5. Mean thickness of SY-FCF anisotropic films as a function of downward force using 31 wt% solutions at room temperature and 60 mm/s of coating speed.

경우 두께는 $0.4 (\pm 0.04) \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 이로부터 애플리케이터를 누르는 힘의 제어를 통해 평균적으로 두께도 얇아지고, 표준편차도 감소된 다소 균일한 필름을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

2200 g의 무게 추를 장착하고 바 코터($2 \mu\text{m}$)를 이용하여 31 wt% SY-FCF 수용액을 20 mm/s의 속도로 코팅한 후, 25 °C에서 건조시켜 광학적 이방성 필름을 제조하였다. 제조된 필름의 광학 이방성을 고찰하기 위해 SY-FCF 용액의 가시광선 흡수 스펙트럼과 코팅에 의해 제조된 필름의 가시광선 흡수 스펙트럼을 측정하여 비교하였다 (Figure 6). 용액의 경우 농도에 따라 스펙트럼이 조금씩 변화하나 400 ~ 550 nm에서 강한 흡수 스펙트럼을 보이는 것을 알 수 있다. 한편 편광판을 광원에 부착하여 측정된 SY-FCF 필름의 가시광선 흡수 스펙트럼을 보면, 편광판과 SY-FCF 필름의 배향방향이 수직인 경우 (A_{90})는 용액과 유사한 흡수 스펙트럼이 관찰되나, 수평인 경우(A_0)는 거의 흡수 피크가 관찰되지 않음을 알 수 있다. 따라서 SY-FCF 필름은 편광판과의 상대적인 방향차이에 따라 다른 흡수 스펙트럼을 보이는 이색성(dichroism)을 가짐을 알 수 있다. 또한 제조된 SY-FCF 이방성 필름의 표면 편광현미경 사진과 편광도를 계산하기 위한 투과도 측정 그래프를 Figure 7에 각각 제시하였다. 편광현미경의 편광판과 SY-FCF 필름의 코팅축을 수평 또는 수직으로 하여 측정된 필름 표면사진을 보면, SY-FCF 필름이 광학적 이방성을 보임을 다시 한 번 확인할 수 있다. 또한, 투과도 그래프를 보면 SY-FCF의 흡수대역인 400 ~ 550 nm 영역에서 2.3절에 제시된 계산식으로 계산된 편광도 값이 95% 이상으로 비교적 높은 편광도를 보이고 있음을 알 수 있다.



(a)



(b)

Figure 6. UV-Visible spectra of SY-FCF/H₂O solution (a) and SY-FCF film on glass substrate measured with single polarizer (b). SY-FCF film was fabricated with 31 wt% SY-FCF solution; with 20 mm/s of coating speed, 2200 g of weight, and 25 °C of drying temperature.

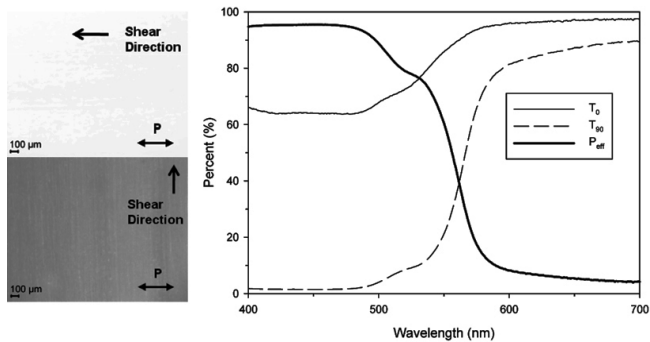


Figure 7. POM texture and transmittance curves of SY-FCF anisotropic film coated with 31 wt% SY-FCF solution with 20 mm/s of coating speed, 2200 g of weight, and 25 °C of drying temperature.

3.3. SY-FCF 코팅에 영향을 주는 인자

Figure 4에 제시된 각 코팅 변수의 영향을 고찰하기 위해, 코팅 용액

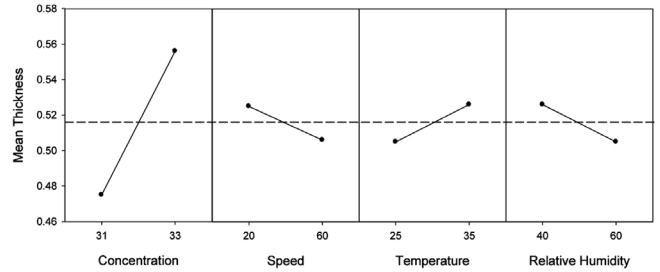
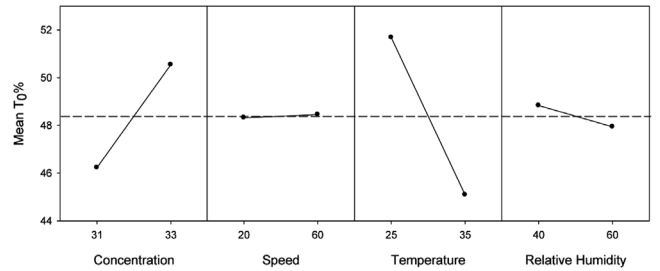
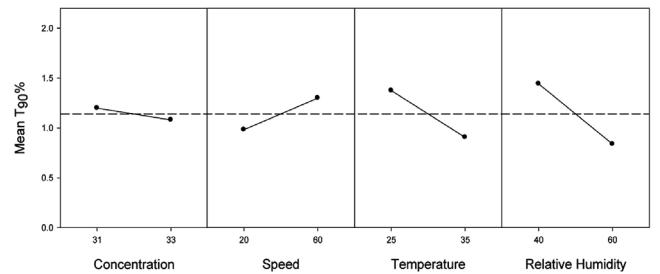


Figure 8. Main effect plots of parameters affecting the mean thickness of SY-FCF anisotropic films.



(a)



(b)

Figure 9. Main effect plots of parameters affecting the T₀ (a) and T₉₀ (b) of SY-FCF anisotropic films.

의 농도(31, 33 wt%), 코팅속도(20, 60 mm/s)와 건조온도(25, 35 °C), 상대습도(40, 60%)를 조절하였고, 그에 따른 SY-FCF 코팅 필름의 두께와 투과도 변화를 관찰하였다(Table 1). 이를 토대로 Minitab프로 그래를 이용한 ANOVA 분석으로 주효과도를 고찰하였다. Figure 8을 보면, 코팅에 의해 형성된 최종 박막필름의 두께는 코팅 용액의 농도에 가장 크게 의존함을 알 수 있다. 이는 농도가 증가하면, 수용액 내 SY-FCF 함량 증가로 인해 잔류하는 SY-FCF의 함량이 증가하므로 최종 박막필름의 두께가 증가한 것으로 판단된다. 건조온도, 습도 역시 박막필름의 두께에 영향을 주는 것으로 생각되나, 본 실험에서 코팅 장비에 의한 두께 편차가 ± 10% 선임을 고려하면, 상기 인자들이 필름 두께에 미치는 영향에 대한 명확한 판단을 내리기는 어렵다. 그러나 일반적으로 필름 건조 시, 건조온도가 낮거나 상대습도가 높은 경우, 건조속도가 늦어지면서 더욱 밀집된(close packing) 구조의 결정 필름이 생성될 가능성이 높으므로 필름 두께에 영향을 주었을 것으로 추정된다. 실험결과를 종합해 보면, 농도에 비해서는 필름 두께에 미치는 영향이 적은 것만은 분명함을 알 수 있다.

코팅 변수가 투과도에 미치는 영향은 Figure 9에 제시하였다. 평행 방향의 투과도(T₀)는 건조온도에 가장 크게, 다음으로는 코팅 용액의 농도에 영향을 받는 것으로 관찰되었다(Figure 9(a)). 건조온도가 높을

Table 1. Experimental Conditions of SY-FCF Solution Coating and Average Thickness, Transmittance, and Degree of Polarization of Thin Films Obtained Thereof

Run order	Conc. (wt%)	Speed (mm/s)	Temp (°C)	RH (%)	Thickness (μm) ^a	T ₀ (%) ^a	T ₉₀ (%) ^a	P _{eff} (%) ^b
1	33	20	35	40	0.56	43.61	0.64	97.1
2	33	60	35	60	0.51	48.65	0.52	97.9
3	31	60	35	60	0.45	55.02	0.71	97.5
4	31	20	25	60	0.54	36.24	1.81	90.5
5	31	20	35	40	0.53	27.45	1.24	91.3
6	33	60	25	40	0.63	62.98	3.43	89.7
7	33	20	25	60	0.46	49.72	0.44	98.3
8	33	60	25	60	0.55	38.94	1.30	93.5
9	31	60	25	40	0.37	53.67	0.87	96.8
10	33	20	25	40	0.62	57.97	0.37	98.7
11	33	60	35	40	0.57	42.51	1.42	93.5
12	31	20	35	60	0.52	46.40	0.73	96.9
13	31	60	25	60	0.46	48.66	0.67	97.3
14	33	20	35	60	0.55	59.92	0.52	98.3
15	31	60	35	40	0.52	37.16	1.46	92.4
16	31	20	25	40	0.41	65.26	2.09	93.8

^a : mean value obtained with 5 different points, ^b : degree of polarization measured at 459 nm

수목 T₀ 값은 감소하는데, 높은 건조온도로 인한 빠른 수분증발은 SY-FCF 응집체(aggregate)의 자기배열을 방해하므로 전체적으로 필름의 배향도가 저하된 것으로 생각된다. 한편, 코팅 용액의 농도 증가는 T₀ 값 증가를 유도하는데, 이는 코팅 용액의 농도 증가가 코팅 층의 두께 증가를 초래하지만, 필름의 배향도 향상이 T₀ 값의 증가를 유도한 것으로 판단된다. 즉, 유방성 액정 특성을 보이는 SY-FCF 색소 용액 내 고형분 증가에 따른 급격한 점도 향상으로 바 코터를 이용한 전단 코팅 시, 보다 원활한 전단배향이 가능하여 배향도가 향상되었기 때문인 것으로 생각된다. 이를 확인하기 위해 모세관(capillary tube)을 이용하여 각 농도에서의 상대점도를 측정된 결과, 25 °C 항온조에서 동일한 거리까지 이동하는 데 소요된 시간이 31 wt% 용액은 54 s인 것에 비해, 33 wt% 용액은 192 s로 33 wt% 용액의 점도가 매우 높음을 알 수 있었다. 외부 전단력(shear force)의 원활한 전달에 용액의 점도는 중요한 역할을 하는 데, 점도가 높은 33 wt%의 SY-FCF 용액이 전단배향에 좀 더 유리했던 것으로 생각된다. 코팅속도와 상대습도는 주어진 변수 구간에서 T₀ 값에 미치는 영향이 상대적으로 미미하였다. 한편 코팅 변수가 수직방향의 투과도(T₉₀)에 미치는 영향을 분석해 보면(Figure 9(b)), 필름의 두께가 증가하는 농도, 코팅속도, 건조온도 조건에서 T₉₀ 값은 대체적으로 감소하였다. 이는 일반적으로 배향이 잘 되었거나, 막의 두께가 증가하면 T₉₀ 값이 감소하는 것과 일치한다. 그러나 T₉₀ 측정값이 약 0.4~3.4 %로 작고 측정값의 편차가 커서 본 실험 조건에서는 유의미한 결과를 도출하기 어렵다. 다만, 농도 증가는 필름의 두께 증가를 유도하나, T₀도 증가하는 것으로 보아 농도 증가에 따른 T₉₀ 감소는 단순히 두께 증가에 의한 영향만은 아님을 알 수 있었다. 코팅 두께, T₀, T₉₀ 값을 종합해 보면, SY-FCF 액정 용액을 이용하여 편광도가 높은 필름을 얻기 위해서는 SY-FCF 용액의 농도와 건조온도가 중요하였으며, 용액의 농도가 33 wt%일 때가 대체적으로 높은 편광도를 보였다.

4. 결 론

유방성 액정 색소인 SY-FCF 용액을 전단 코팅하여 광학적 이방성을 갖는 박막 필름을 제조하였다. SY-FCF 수용액은 상온에서 SY-FCF의 농도가 28 wt% 이상이면 완전한 네마틱 상으로 존재하였고, 농도가 30 wt% 이상이 되어야 전단배향에 의한 코팅으로 광학적 이방성을 갖는 필름 제조가 가능하였다. SY-FCF 용액 코팅 시, 최종 필름의 두께에는 용액의 농도가 가장 큰 영향을 주었으며, 평행방향의 투과도에는 건조 온도와 농도의 영향이 가장 컸다. 특히, SY-FCF의 농도 증가는 점도 증가를 초래하여, 전단코팅에 의한 배향성이 개선되고, 그로 인해 높은 투과도를 갖는 필름 제조가 가능하였다. 본 실험 조건에서는 T₉₀ 측정값의 편차가 커서 코팅변수와 투과도와 유의미한 관계를 도출하기 어렵지만, 건조 공정 변수인 온도와 상대습도는 필름의 두께에 비해 투과도에 더 큰 영향을 주는 것으로 생각되었다. 33 wt%의 SY-FCF 수용액을 이용하면 89.7~98.7%의 편광도를 갖는 필름 제조가 가능하였고, 25 °C, 상대습도 40%에서 건조 시 98.7%의 최대 편광도를 보이는 필름제조가 가능하였다.

감 사

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. J. Lyndon, Handbook of Liquid Crystals, ed. D. Demus, J. Goodby, G. W. Gray, H.-W. Spiess, and V. Vill, 2B, 981, Wiley-VCH, Weinheim (1998).
2. A.-M. Levelut, B. Donnio, and D. W. Bruce, *Liq. Cryst.*, **22**, 753 (1997).

3. J. Lyndon, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.*, **8**, 480 (2004).
4. S.-W. Tam-Chang and L. Huang, *Chem. Commun.*, 1957 (2008).
5. N. H. Hartshorne and G. D. Woodward, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **23**, 343 (1993).
6. D. Goldfard, Z. Luz, N. Spielberg, and H. Zimmermann, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **126**, 225 (1985).
7. U. S. Patent 5,739,296 (1998).
8. M. E. Sousa and G. P. Crawford, *Flexible Flat Panel Displays*, ed. G. P. Crawford, 180, John Wiley & Sons, Chichester (2005).
9. V. R. Horowitz, L. A. Janowitz, A. L. Modic, P. A. Heiney, and P. J. Collings, *Phys. Rev.*, **E72**, 041710 (2005).