

Sol-Gel 하드 코팅 막에서의 Spiropyran의 광 변색 특성

정상혁 · 조경인 · 박정용 · 송기창[†]

건양대학교 화학생명학과
320-711 충남 논산시 내동 26
(2008년 1월 11일 접수, 2008년 1월 25일 채택)

Photochromic Properties of Spiropyran in Hard Coating Films Made by Sol-Gel Method

Sang Hyeok Jeong, Kyung In Cho, Jeong Yong Park and Ki Chang Song[†]

Department of Chemical and Biochemical Engineering, Konyang University, 26 Nae-dong, Nonsan, Chungnam 320-711, Korea
(Received 11 January 2008; accepted 25 January 2008)

요 약

실란커플링제인 glycidoxypopyl trimethoxysilane(GPTMS)과 vinyltriethoxysilane(VTES)을 출발물질로 하여 sol-gel 법에 의해 유-무기 혼성 용액을 제조하였다. 이 용액에 spiropyran계 광 변색 염료를 ethylacetate에 용해시킨 용액을 혼합하여 광 변색 코팅 용액을 제조하였다. 그 후 기재인 polycarbonate 시트에 스핀 코팅 시키고 100 °C에서 2 h 동안 열 경화시켜 광 변색성을 갖는 하드 코팅 막을 제조하였다. 코팅 막은 UV 광을 조사함에 의해 투명색으로부터 푸른색으로 변했다가 다시 투명색으로 변하는 가역적인 색변화를 보여주었다. 이때 코팅 막의 소색속도 및 연필경도는 코팅 용액 중의 GPTMS의 mol비가 증가됨에 따라 증가하였다.

Abstract – Organic-inorganic hybrid solutions were made using glycidoxypopyl trimethoxysilane (GPTMS) and vinyltriethoxysilane (VTES) as starting materials by sol-gel method. Photochromic coating solutions were prepared by mixing the solution of photochromic dye (spiropyran) dissolved in ethylacetate with the organic-inorganic hybrid solutions. Photochromic films were prepared on polycarbonate sheets by spin coating and cured for 2 h at 100 °C. The resulting films exhibited a reversible color change upon irradiation with UV light from transparent to blue. The color-fading speed and pencil hardness of the coating films increased with increasing the GPTMS content in the coating solutions.

Key words: Photochromic, Sol-Gel, Organic-Inorganic Hybrid, Spiropyran, Glycidoxypopyl Trimethoxysilane, Vinyltriethoxysilane

1. 서 론

광 변색성이란 광의 작용에 의하여 단일의 화학종이 분자량은 변화하지 않고 화학결합이 변화되면서 흡수스펙트럼이 서로 다른 한 쌍의 이성질체가 가역적으로 생성되는 현상이다[1-4]. 광 변색성을 이용한 기능성 물질들은 광 정보 저장매체(optical-data storage media) 혹은 광학적 변환 장치(optical switch) 등의 광전자 장치(optoelectronic device)로서의 응용성 때문에 이 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

광 변색성을 나타내는 대표적인 물질인 spiropyran은 자외선에 노출되면 착색되고, 빛을 차단하거나 가시광선에 조사되면 본래의 옅은 색을 띠게 된다[2-3]. 이것은 spiropyran(SP)이 보통상태에서는 안정된 닫힌 형으로 존재하는데 UV 광에 노출되면 Fig. 1과 같이 빛을 흡수하여 전자 들뜬 상태를 거친 후 이성질화 반응에 의해

C-O결합이 깨지면서, 유색의 merocyanine(MC) 형태로 변화하는 것에 기인한다. 불안정한 MC는 가시광선 또는 열에 의해 다시 안정된 닫힌 형으로 돌아간다[4].

Sol-gel법은 고순도의 금속 알콕사이드를 전구체로 사용하여 용액 중에서 가수분해 및 중축합 반응을 거쳐 기능성 코팅용액, 금속산화물 나노입자 및 기능성 세라믹스를 경제적으로 제조하는 방법이다[5]. 이 방법에서는 높은 화학적 균일성을 지닌 생성물을 얻을 수 있으며, 특히 상온에서 화학반응이 진행되므로 무기물인 실리카 망목 구조에 광 변색 유기물질을 “host”로서 도입하여 분자단위로 cross-linking 시킴으로서, 광 변색 코팅 용액을 쉽게 제조할 수 있다[6-7].

본 연구에서는 실란커플링제인 glycidoxypopyl trimethoxysilane (GPTMS)과 vinyltriethoxysilane(VTES)을 출발물질로 하여 sol-gel 법에 의해 유-무기 혼성 용액을 제조하였다. 이 용액에 spiropyran계 광변색 물질인 1,3,3-trimethylindolino-6'-nitrobenzopyrlospiran을 첨가하여 광 변색 코팅 용액을 제조하였다. 그 후 기재인

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

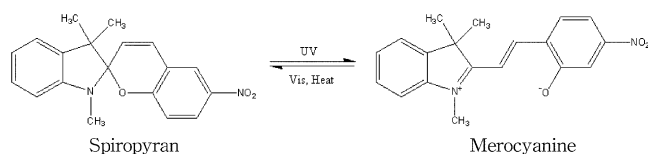


Fig. 1. Photochromic transformation of spiropyran.

polycarbonate(PC) 시트 위에 스핀 코팅 및 열 경화시켜 코팅 막을 제조하였고, 이 코팅 막의 광변색성, 연필경도, 기재와의 부착성 등의 물성을 조사하였다.

2. 실험

2-1. 코팅용액의 제조

실란커플링제인 glycidoxypopyl trimethoxysilane(GPTMS, 98%, Aldrich Chemical)과 vinyltriethoxysilane(VTES, 98%, Aldrich Chemical)을 사용하여 ethylacetate(EA, 99.5%, Samchun Chemical) 및 H₂O와 반응시켜 sol-gel법에 의해 유-무기 혼성 용액을 합성하였다. 광 변색 물질로서 UV 조사 후에 높은 광 변색성을 보이는 spiropyran계 광 변색 물질인 1,3,3-trimethylindolino-6'-nitrobenzopyrylospiran (6-NSP, TCI)을 사용하였고, 6-NSP의 유-무기 혼성 용액과의 용해성을 향상시키기 위해 분산제로서 ethylacetate(EA, 99.5%, Samchun Chemical)를 사용하였다.

먼저 실란커플링제인 GPTMS와 VTES의 mol비를 다양하게 조절하여(0.10:0, 0.09:0.01, 0.07:0.03, 0.05:0.05, 0.03:0.07, 0:0.10; 각 용액의 총량 0.10 mol) 6종류의 용액을 제조한 후(Table 1 참조), 이 용액들에 EA와 H₂O의 양을 각각 0.40 mol씩 혼합하여 실온에서 1 h 동안 교반시켰다. 이 용액에 촉매인 HNO₃ 0.001 mol을 첨가하고, 다시 5 h 동안 교반시킨 후 경화제인 ethylene diamine(EDA, 99%, Aldrich Chemical) 0.005 mol을 첨가하여, 30 min 동안 교반시켜 유-무기 혼성 용액을 제조하였다. 그 후 EA 0.40 mol에 6-NSP 0.005 mol을 용해시킨 용액을 유-무기 혼성 용액에 첨가하고, 상온에서 30 min 동안 교반하여 최종 광 변색 코팅 용액을 제조하였다.

제조된 코팅 용액은 스핀 코터(Spin 1,200, Midas)를 이용하여 700 rpm에서 1 min 동안 0.5 mm 두께의 PC 시트(Makrolon, Song Asia Plastic Technology)에 코팅시켰다. 또한 기재에 용액을 코팅한 후 표면에 부착시키기 위해 100 °C에서 2 h 동안 열 경화시켜 광 변색 코팅 막을 제조하였다. 그 후 상온에서 냉각시킨 코팅 막의 물성을 측정하였으며, 이상의 제조 공정을 Fig. 2로 나타내었다.

2-2. 코팅 막의 물성 측정

2-2-1. UV 조사

광 변색 염료인 6-NSP 중의 C-O 결합의 닫힌 구조를 열린 구조

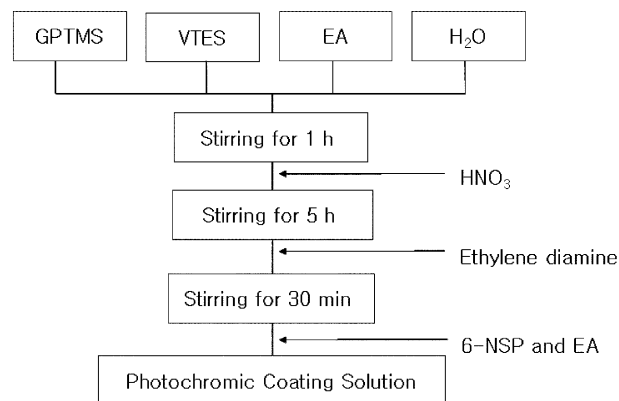


Fig. 2. Experimental procedure for preparing photochromic coating solutions.

로 변화시키기 위해 파장 365 nm를 갖는 UV 조사기(VL-4.LC, UV lamp 4 W, Vilber Lourmat)를 사용하였다.

2-2-2. 흡광도

UV 조사 후 코팅 막의 가시광선 영역에서의 최대 흡광도 파장에서의 소색 속도를 분석하기 위해 상온에서 UV-Visible spectrometer(UV-2450, Shimadzu)를 사용하였다.

2-2-3. 투과도

UV 조사 전의 가시광선 영역에서의 코팅 막의 투과율을 측정하기 위해 UV-Visible spectrometer(UV-2450, Shimadzu)를 사용하였다.

2-2-4. 연필경도

연필경도는 연필경도 측정기(CT-PC1, Coretech.)에 연필경도 측정용 연필을 45°로 끼우고, 일정 하중(500 g)을 가하면서 이것을 밀면서 측정하였다. 연필은 Mitsubishi 연필을 사용하였는데, 1H-9H, F, HB, 1B-6B 등의 강도를 나타내는 연필을 사용하였다.

2-2-5. 접착력

ASTM D3359에 근거하여[8] 경화된 코팅 층에 cutter로 바둑판 모양의 홈을 낸 후, 그 위에 3M 테이프를 잘 밀착시켜 일정한 힘으로 수회 떼어내어 코팅 층과 기재와의 밀착정도를 관찰하였다. 코팅된 지지체 표면에 1 mm 간격으로 11×11로 십자형으로 칼집으로 내어 100개의 정방형을 만들고, 그 위에 테이프(3M Tape)를 부착한 후 급격히 잡아당겨 표면을 평가하였다. 남은 눈 수의 개수가 100개면 5B, 95개 이상은 4B, 85개 이상은 3B, 65개 이상은 2B, 35개 이상은 1B, 그 이하는 0B로 나타내었다.

Table 1. The effect of GPTMS/VTES molar ratios in the coating solutions on the properties of coating films

Sample number	GPTMS (mole)	VTES (mole)	State of coating solutions	Viscosity of coating solutions (cp)	Pencil hardness	Adhesion
G10V0	0.10	0	Red, transparent solution	-	-	-
G9V1	0.09	0.01	Red, transparent solution	2.0	1H	5B
G7V3	0.07	0.03	Red, transparent solution	1.8	HB	5B
G5V5	0.05	0.05	Red, transparent solution	1.6	1B	5B
G3V7	0.03	0.07	Red, transparent solution	1.5	2B	0B
G0V10	0	0.10	Red, transparent solution	-	-	-

2-2-6. 미세구조

기재인 PC 지지체 위에 코팅된 코팅 층의 미세구조를 관찰하기 위하여 코팅 층의 두께와 막의 표면 형상을 주사전자현미경(SEM, JSM-6335F, JEOL)을 사용하여 관찰하였다. 이때 가속전압은 10 kV이었으며 다양한 배율로 확대하여 미세구조를 관찰하였다.

3. 결과 및 토의

3-1. 실란커플링제 종류 변화에 따른 6-NSP의 광변색 거동

Spiropyran계 유도체인 6-NSP는 일반적으로 자외선 조사에 의해 spiropyran(SP)중의 C-O 결합이 끊어지면서 이온 해리되어 유색을 나타내는 merocyanine(MC)으로 이성화되며, 가시광선 또는 열에 의해 무색의 SP로 돌아가는 광변색 특성을 나타낸다. 6-NSP의 MC 구조는 양전하와 음전하를 갖고 있는 양성 이온성 이므로, 용액의 최대 흡광도 파장(λ_{max})은 용매의 극성에 따라 변하며 용매의 극성이 증가할수록 λ_{max} 값이 감소하는데, 이러한 현상을 negative solvatochromism이라고 한다[9].

Fig. 3은 광 변색 염료인 6-NSP 0.001 mol을 실란커플링제인 GPTMS와 VTES 0.10 mol씩에 각각 용해시킨 용액을 UV로 1 min 동안 조사 후 UV-Visible spectrometer로 용액의 λ_{max} 를 측정하여, 실란커플링제 종류 변화가 6-NSP의 광 변색 거동에 미치는 영향을 살펴본 그림이다. GPTMS 용매에 용해된 6-NSP는 UV 조사 후 푸른색을 나타내었으며 λ_{max} 는 578 nm에서 나타났다. 반면에 VTES 용매에 용해된 6-NSP는 UV 조사 후 붉은색을 나타내었으며 GPTMS 용매에 용해된 경우 보다 단파장인 560 nm에서 최대 흡광도를 나타냈다. 이 결과로부터 전술한 negative solvatochromism 현상에 의해 GPTMS가 VTES 보다 더 비극성 용매임을 알 수 있다.

Fig. 4는 Fig. 3의 용액을 UV로 1 min 동안 조사 후 UV-Visible spectrometer로 Fig. 3에서 나타난 각 용액의 λ_{max} 에서 시간에 따른 소색 속도를 비교한 그림이다. UV 조사 직후, GPTMS에 용해된 6-NSP의 초기 흡광도 값은 3.0이었고 소색 평형에 도달하는 시간은 약 8 min이었다. 반면에 VTES에 용해된 용액의 초기 흡광도 값은 2.4이었으며, 소색 평형에 도달하는 시간은 약 25 min으로 GPTMS에 용해된 6-NSP의 소색 시간보다 느렸다. 이는 착색된 MC 구조

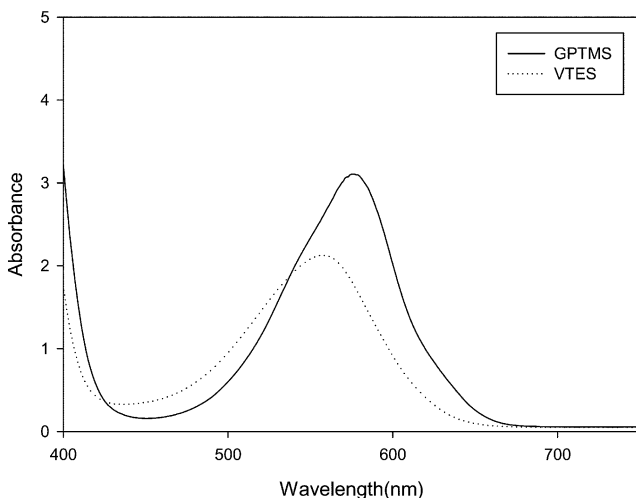


Fig. 3. Maximum absorbances of 6-NSP solutions dissolved in different silane coupling agents after irradiating UV light at 365 nm for 1 min.

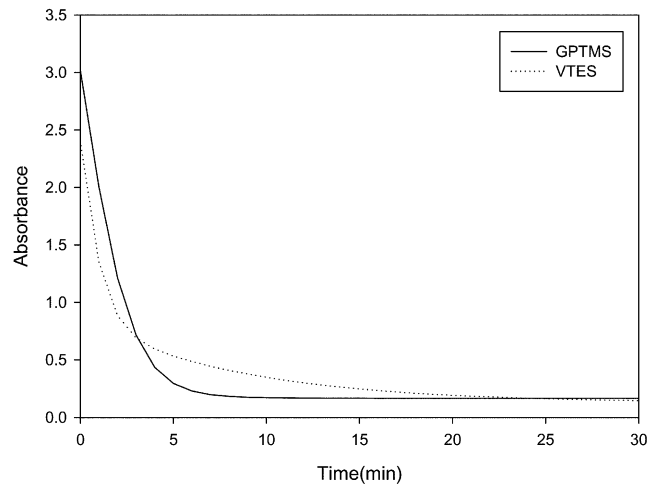


Fig. 4. Thermal bleaching of 6-NSP solutions dissolved in different silane coupling agents after irradiating UV light at 365 nm for 2 min.

는 극성이 큰 VTES에서 보다는 극성이 작은 GPTMS에서 불안정하므로, GPTMS의 경우 SP로의 역반응이 촉진되어 GPTMS에서의 소색 시간이 VTES에서 보다 빨라지는 것으로 판단된다[10].

3-2. GPTMS와 VTES의 mol 조성 변화에 따른 코팅 막의 광 변색성

본 연구에서는 Table 1에 나타난 것처럼, 실란커플링제인 GPTMS와 VTES의 mol비를 조정하여 유-무기 혼성 용액을 제조한 후, 광 변색 물질인 6-NSP를 혼성 용액에 첨가하여 다양한 조성의 광 변색 코팅용액을 제조하였다. 그 후 실란커플링제의 조성변화가 코팅 막의 광 변색성, 투과율, 연필경도, 부착성 등의 물성에 미치는 영향을 조사하였다. Table 1의 모든 조성의 코팅 용액은 연한 붉은색을 나타내었으며, 단독의 실란커플링제를 사용하였을 경우(G10V0, G0V10) 코팅 용액은 PC 표면에 코팅 막을 형성하지 못했으나, GPTMS와 VTES의 2종의 실란커플링제 혼합물을 사용 시에는 (G9V1, G7V3, G5V5, G3V7) PC 표면에 코팅 막을 형성하였다.

Fig. 5는 Table 1로 나타난 조성의 코팅 용액을 PC 시트 위에 코

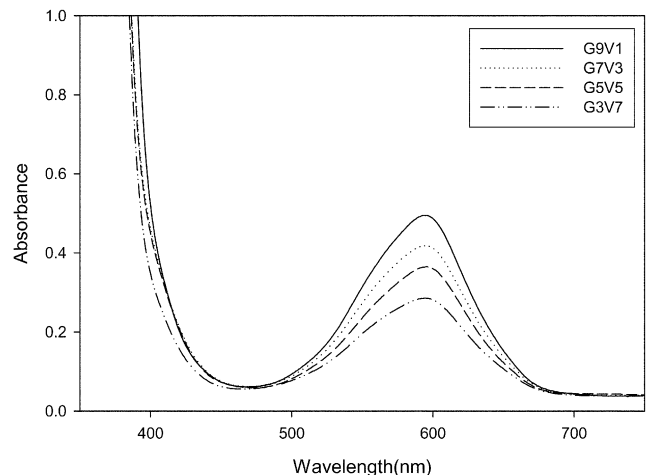


Fig. 5. Maximum absorbances of coating films after irradiating UV light at 365 nm for 1 min.

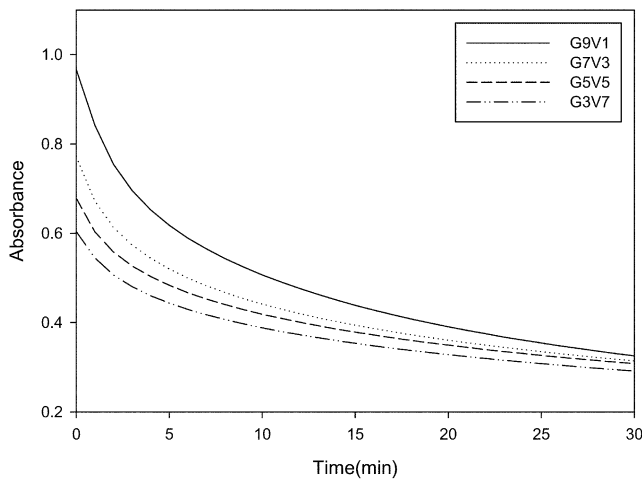


Fig. 6. Thermal bleaching of coating films after irradiating UV light at 365 nm for 2 min.

팅하여 얻어진 막을 UV로 1 min 동안 조사한 후에 UV-Visible spectrometer로 400~750 nm 영역에서 흡광도를 측정한 그림이다. 모든 조성에서 UV 조사 후의 코팅 막은 푸른색을 나타내었고, λ_{\max} 를 나타내는 영역은 595 nm으로 동일하였다. 이 결과는 Fig. 3의 GPTMS와 VTES 용매에 각각 6-NSP를 용해시켜 얻은 용액의 경우 578, 560 nm에서 λ_{\max} 를 나타내던 결과와 차이점을 보이는데, 이는 Fig. 2의 실험절차 상 코팅 막을 형성하는 코팅 용액 중에 포함된 GPTMS나 VTES와 같은 실란커플링제의 총 함량(0.10 mol) 보다는 용매인 EA의 총 함량(0.80 mol)이 크므로, 코팅 막은 EA 용매의 λ_{\max} 인 595 nm에서 최대 흡광도를 나타낸다고 판단된다[10].

Fig. 6은 Table 1로 나타낸 여러 조성의 코팅 막을 상온으로 유지된 암실에서 UV 광원 365 nm에서 2 min 동안 조사한 후에, Fig. 5에서 나타난 각각의 코팅 막들의 λ_{\max} 에서 시간에 따른 소색 속도를 나타낸 그림이다. GPTMS의 mol 조성이 증가함에 따라 초기 흡광도는 G3V7 시료의 0.60에서 G9V1 시료의 0.96으로 증가하는 경향을 보였다. 또한 초기 흡광도 값이 반감기($\tau_{0.5}$)까지 감소되는 시간은 G3V7, G5V5, G7V3, G9V7 시료의 경우, 각각 27, 23, 16, 13 min으로 GPTMS의 mol 조성이 증가함에 따라 소색 시간이 감소하는 경향을 보였다. 이는 3-1절에서 언급하였듯이, 6-NSP의 MC 구조가 역반응에 의해 SP로 돌아갈 때, 극성이 작은 GPTMS에서의 MC 구조가 VTES 보다 더욱 불안정하기 때문에 GPTMS의 mol 조성이 증가함에 따라 소색 시간이 감소되는 것으로 사료된다[10].

Fig. 7은 본 연구에서 제조된 코팅 막의 전형적인 착색-소색과정을 나타낸 그림이다. 코팅 막에 UV를 조사하면 코팅 막은 착색이 일어나 2 min 이내에 평형치인 A_0 의 흡광도를 나타내게 된다. 그 후 암실에서 코팅 막을 방치하면 소색이 일어나 흡광도가 감소하게 되는데, 최종 평형상태에서의 흡광도는 A_1 , 임의의 시간 t 에서의 흡광도는 A_t 로 나타낼 수 있다.

Fig. 8(a)는 상온에서 365 nm의 UV 광원을 사용하여 2 min 동안 조사한 후 암실에서 소색 반응에 대하여, 코팅 막의 λ_{\max} (595 nm)에서의 시간에 따른 흡광도 변화를 측정한 다음, 소색 반응을 1차 반응으로 가정하여 얻어진 아래 식 (1)을 이용하여 코팅 막의 광반응 속도를 나타낸 그림이다.

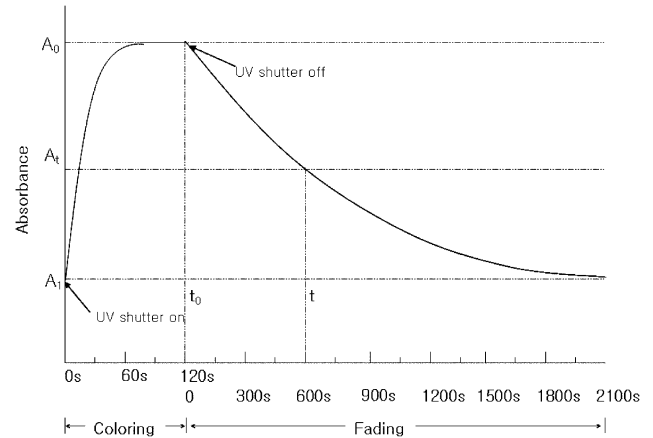


Fig. 7. Schematic illustration of the coloring-fading process.

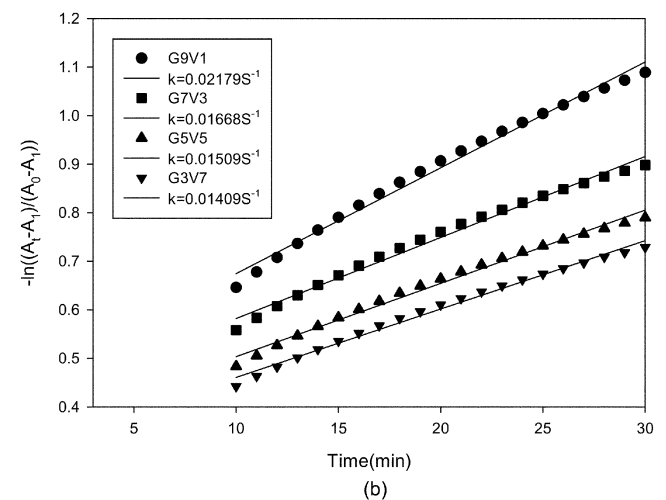
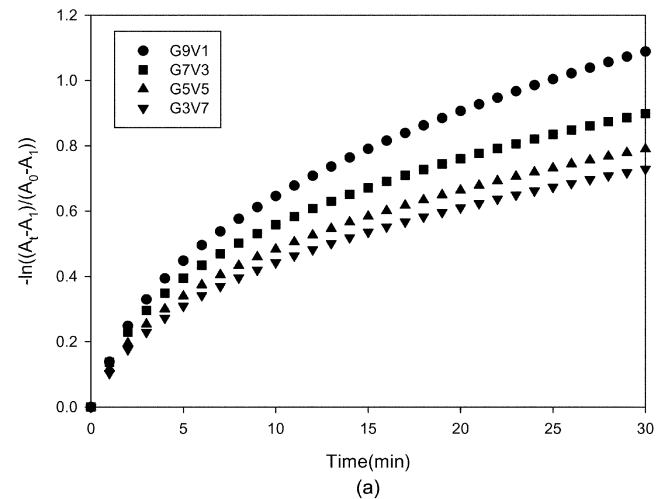


Fig. 8. (a) Plot of $-\ln[(A_t - A_1)/(A_0 - A_1)]$ versus time of coating films after irradiating UV at 365 nm for 2 min, b) reaction rate constants of photo-reaction of coating films after 10 min in the coloring-fading process.

$$-\ln \frac{A_t - A_1}{A_0 - A_1} = kt \quad (1)$$

식 (1)에서 A_t , A_0 , A_1 의 기호 설명은 Fig. 7의 정의에 따르며, k 는 광반응 속도 상수이다. 모든 조성의 코팅 막은 UV 조사 후 10 min

까지는 소색 속도가 곡선 형태의 2차 속도 식을 나타내어 소색 속도가 빠름을 알 수 있다. 반면에 10 min 이후에는 직선 형태의 1차 속도 식을 나타내어 소색 속도가 느려짐을 알 수 있다. 이는 UV 조사 직 후 코팅 막의 MC 구조는 매우 불안정하기 때문에 SP로의 역반응이 촉진되어 소색 시간이 빨라지지만, 시간이 지남에 따라 MC의 구조가 안정화되므로 역반응이 느려져 소색 시간이 느려지기 때문이다. 또한 Fig. 8(b)는 Fig. 8(a)에서 UV 조사 후 10 min 이후의 소색 반응의 광반응 속도 상수(k)를 구한 그림으로 G3V7, G5V5, G7V3, G9V7 시료에 대해, k는 각각 0.014, 0.015, 0.017, 0.022 s⁻¹로 GPTMS의 mol 조성이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이는데, 이는 전술한 것처럼 극성이 작은 GPTMS의 비중이 코팅 용액 중에서 커지기 때문인 것으로 사료된다.

3-3. GPTMS와 VTES의 mol 조성 변화가 코팅 막의 연필경도 및 부착력에 미치는 영향

코팅 막의 연필 경도는 G3V7, G5V5, G7V3, G9V1 시료에 대해, 각각 2B, 1B, HB, 1H로 GPTMS의 mol 조성이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이는 GPTMS의 함량이 증가함에 따라 뒤의 Fig. 9의 SEM 결과에서 나타나듯이 코팅 막의 두께가 두꺼워지기 때문으로 판단된다. 또한 코팅 막의 기재와의 부착력은 G9V1, G7V3, G5V5 시료에서는 5B의 좋은 부착력을 나타내었지만, G3V7 시료에서는 0B의 좋지 못한 부착력을 나타내었다. 이는 GPTMS 구조 내의 epoxy 관능기가 지방족 amine 계통의 경화제인 ethylene diamine과 반응하여 가교결합에 의해 3차원 구조의 고분자가 되어, 기재인 PC 시트 표면의 유기 관능기와 화학적 결합이 일어나 플라스틱 시트 위에 부착되는 역할을 하기 때문에[11-12], 코팅 용액 중에 GPTMS가 적정량 함유되었을 경우 좋은 부착력을 보이지만 GPTMS의 함유량이 적을 경우에는 부착력이 떨어지기 때문으로 판단된다.

Fig. 9는 Table 1의 조성 중 G9V1, G7V3, G5V5, G3V7 시료를 PC 위에 코팅하고 열 경화하여 얻어진 코팅 막의 단면구조를 나타낸 SEM 사진이다. 위의 사진에서 밑 부분이 PC 지지체이며, 위 부

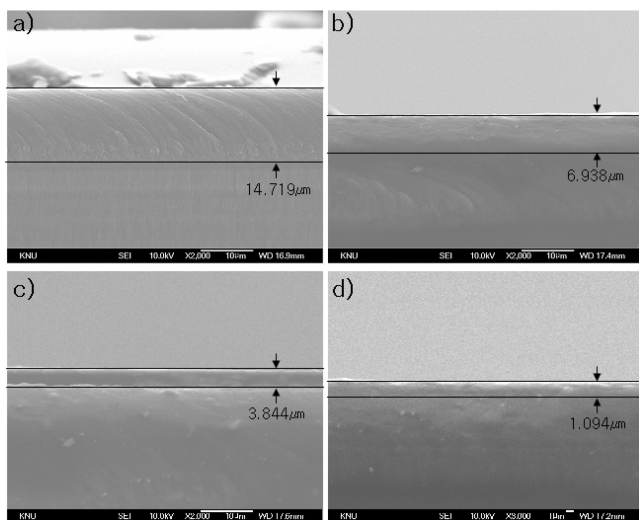


Fig. 9. SEM photomicrographs of the cross sections of coating films with different molar ratios of GPTMA and VTES. a) G9V1, b) G7V3, c) G5V5, and d) G3V7.

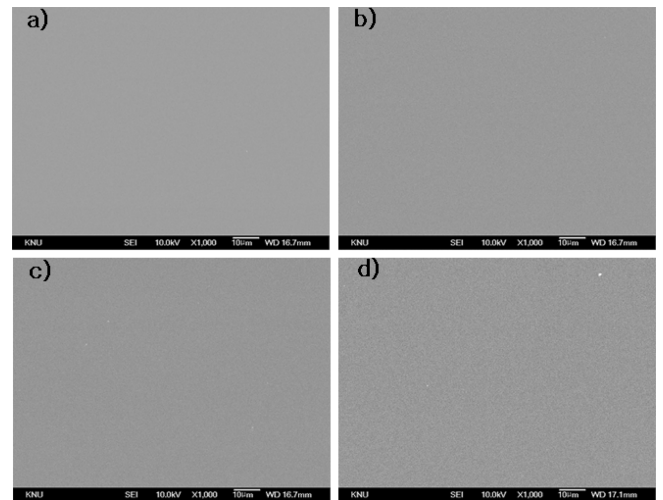


Fig. 10. SEM photomicrographs of coating surfaces of coating films with different molar ratios of GPTMS and VTES. a) G9V1, b) G7V3, c) G5V5, and d) G3V7.

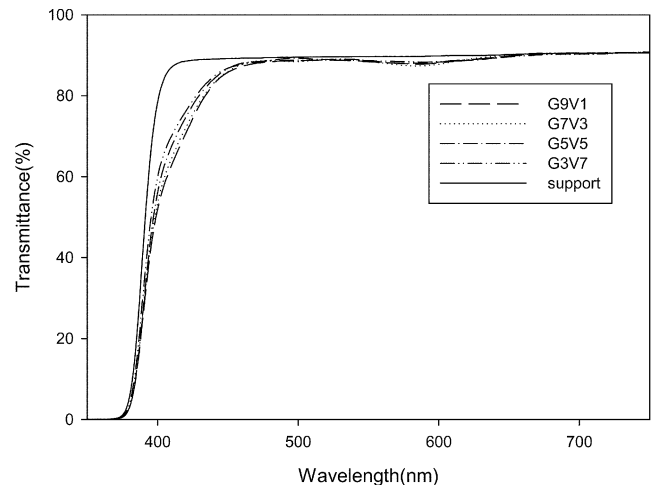


Fig. 11. Transmittances of coating films prepared from solutions with different molar ratios of GPTMS and VTES.

분이 코팅 층을 나타낸다. G9V1, G7V3, G5V5, G3V7 시료의 경우 코팅 막의 두께는 각각 14.7, 6.9, 3.8, 1.1 μm를 나타냈으며, GPTMS의 함유량이 증가함에 따라 코팅 막의 두께가 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 Table 1에 나타나듯이 코팅 용액 중의 GPTMS의 양이 증가됨에 따라 용액의 점도가 증가하기 때문에 코팅 막의 두께가 두꺼워진다고 사료된다.

Fig. 10은 Table 1의 G9V1, G7V3, G5V5, G3V7의 코팅 용액을 PC 기판 위에 코팅한 막의 표면의 미세구조를 1,000배의 배율로 관측한 SEM 사진이다. 모든 경우에서 제조된 코팅 막의 미세 구조는 균열이 없는 매끈한 미세구조를 보였다.

Fig. 11은 Table 1로 나타낸 조성의 코팅 막의 UV 조사 전의 투과율을 나타낸 그림이다. 모든 조성에서 투과율은 90%로 기재인 PC의 투과율과 같았으며, 코팅 막의 최대 흡광도를 나타내는 가시광선 파장 영역에서 투과율이 약간 감소되었다. 이는 UV 조사 전에서도 코팅 막 중의 소량의 SP가 MC로 이미 변환되어 있다는 것을 의미한다[10].

4. 결 론

실란커플링제인 glycidoxypyl trimethoxysilane(GPTMS)과 vinyl triethoxysilane(VTES)의 mol비를 각각 0.10:0, 0.09:0.01, 0.07:0.03, 0.05:0.05, 0.03:0.07, 0:0.10으로 다르게 하여 sol-gel법에 의해 유-무기 혼성 용액을 제조하였다. 이 용액에 spiropyran계 광 변색 물질인 1,3,3-trimethylindolino-6'-nitrobenzopyrpylospiran을 첨가하여 광 변색 코팅 용액을 제조하였다. 그 후 polycarbonate(PC) 시트 위에 스핀 코팅 및 열 경화시켜 코팅 막을 제조하였고, 이 코팅 막의 광 변색성, 연필경도, 기재와의 부착성 등의 물성을 조사하였다.

(1) 실란커플링제를 단일로 사용하여 유-무기 혼성용액을 제조하였을 경우, PC 시트 위에 코팅 막을 형성하지 못했다. 그러나 GPTMS와 VTES를 혼합하여 제조된 코팅 용액은 코팅 막을 잘 형성 하였으며, 코팅 막에 UV 광원을 조사 시 푸른색을 띠었으며, 상온에서 암실에 방치 시 원래의 투명한 색으로 가역적으로 전환되었다.

(2) 모든 조성의 코팅 막은 UV 조사 시, 595 nm에서 최대 흡광도를 나타내었으며, GPTMS의 mol비가 증가함에 따라 높은 초기 흡광도를 보였으며, 소색시간이 빨라지는 경향을 보였다.

(3) 모든 조성의 코팅 막의 표면은 크랙이 없는 매끈한 구조를 보였으며, GPTMS의 mol비가 증가됨에 따라 코팅 막의 연필경도는 증가하였다.

감 사

본 연구는 교육과학기술부 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Crano, J. C. and Guglielmetti, R. J., *Organic Photochromic and Thermochromic Compounds*, Plenum, NY(1999).

2. Brown, G. H., *Photochromism*, Wiley-Interscience, NY(1971).
 3. Drr, H. and Bouas-Laurent, H., *Photochromism, Molecules and Systems*, Elsevier, Amsterdam(2003).
 4. Mennig, M., Fries, K., Lindenstruth, M. and Schmidt, H., "Development of Fast Switching Photochromic Coatings on Transparent Plastics and Lens," *Thin Solid Films*, **351**, 230-234 (1999).
 5. Schmidt, H., *Better Ceramics Through Chemistry III*, MRS, Reno(1988).
 6. Brinker, C. J. and Scherer, G. W., *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*, Academic Press, Boston (1990).
 7. Hou, L., Schmidt, H., Hoffmann, B. and Mennig, M., "Enhancement of the Photochromic Performance of Spirooxazine in Sol-Gel Derived Organic-Inorganic Hybrid Matrices by Additives," *J. Sol-Gel Sci. Tech.*, **8**, 927-929(1997).
 8. ASTM D 3359, "Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test," ASTM International., 927-929(1997).
 9. Muller, P., "Glossary of Terms Used in Physical Organic Chemistry," *Pure & Appl. Chem.*, **66**(5), 1077-1184(1994).
 10. Jeong, S. H., Cho, K. I. and Song, K. C., "Preparation of Photochromic Coating Films Containing Spiropyran by Sol-Gel Method," *Korean Chem. Eng. Res.*, **46**(1), in press(2008).
 11. Park, J. K., Song, K. C., Kang, H. U. and Kim, S. H., "Preparation of Hydrophilic Coating Film Using GPS(Glycidoxypyl Trimethoxysilane)," *Korean Chem. Eng. Res.*, **40**(6), 735-740(2002).
 12. Song, K. C., Park, J. K., Kang, H. U. and Kim, S. H., "Synthesis of Hydrophilic Coating Solution for Polymer Substrate Using Glycidoxypyltrimethoxysilane," *J. Sol-Gel Sci. Tech.*, **27**, 53-59 (2003).