

내마모성 색상코팅제를 코팅한 폴리카보네이트 필름의 물리적 특성

김 현 준[†]

경기대학교 화학공학과
443-760 경기도 수원시 영통구 이의동 산 94-6번지
(2009년 6월 1일 접수, 2009년 6월 8일 채택)

The Physical Properties of Polycarbonate Films Coated with Hard and Color Coating Materials

Hyunjoon Kim[†]

Department of Chemical Engineering, Kyonggi University, San 94-6, Iui-dong, Youngtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi 443-760, Korea
(Received 1 June 2009; accepted 8 June 2009)

요 약

폴리카보네이트(polycarbonate)는 가볍고, 내충격성 및 가공성이 우수하여 광학기기의 렌즈 및 각종 건축물의 투명 소재 등에 유리의 대체품으로서 널리 이용되고 있으나 낮은 표면경도를 가지고 있어 유통 또는 사용시의 접촉으로 인하여 제품에 손상을 줄 염려가 있다. 따라서 본 연구에서는 폴리카보네이트 필름에 아크릴레이트 올리고머, 모노머, 용매, 염료, 실리콘 아크릴레이트, 그리고 광개시제 등을 다양한 함량비율에 따라 혼합한 코팅용액을 제조하고, 구성 성분의 비율에 따른 폴리카보네이트 필름의 표면 경도, 접착력, 그리고 투과율의 변화를 실험하였다. 그 결과 최대 연필 경도가 2H이고, 접착력과 가시광선 투과율이 우수한 코팅용액의 조성을 얻었다. 색상코팅 실험 결과, 기존 산화물 증착에 의해 구현하던 색상을 본 실험에서 제조한 코팅 용액을 사용하여 거의 대부분 구현할 수 있었으며, 이를 바탕으로 색상 윈도우 렌즈를 제작한 결과, 매우 깨끗하고 균일한 색상과 표면을 가졌다.

Abstract – UV curable hard and color coatings were formed on polycarbonate(PC) films. The coating materials were composed of a commercially available end-capped polyester(EB830), diacrylate monomer(HDDA), silicon acrylate, photoinitiator, and organic dye as a coloring agent. The surface properties of coating films were evaluated, and the influences of the compositions of coating materials were investigated. The coating films showed high transmission and good adhesion between coating layer and PC substrate. And the coating films exhibited higher hardness than bare PC film. The coating films with various colors were obtained by wet process, and the clear and color window lenses for mobile phone were prepared successfully.

Key words: Polycarbonate Film, Hard Coating, Color Coating, Window Lens

1. 서 론

PMMA(polymethylmethacrylate), PC(polycarbonate), PES(polyethersulfone), 그리고 PET(polyethylene terephthalate) 등의 투명 플라스틱은 가볍고, 내충격성 및 가공성이 우수하여 광학기기의 렌즈 및 각종 건축물의 투명 소재 등에 유리의 대체품으로서 널리 이용되고 있다[1]. 이러한 투명 플라스틱의 여러 응용분야 중의 하나로써 휴대폰용 윈도우 렌즈(window lens)를 들 수 있다. 윈도우 렌즈란 휴대폰 또는 휴대폰 정보단말기 등의 TFT-LCD, 디스플레이 장치, 기타 가시화면 등 액정 표시장치의 커버로서, 긁힘(scratch)을 비롯한 각종 충격과 외부적인 환경으로부터 제품을 보호하고 또

한 디자인 개발을 통한 제품의 상품화를 높이는데 필요한 부품소재이다. 윈도우 렌즈는 투명 플라스틱 기판에 코팅과 증착 및 인쇄 등의 과정을 거쳐 생산되어지며, LCD 보호기능과 LCD에 표시된 정보의 정확한 전달 기능, 생활 굽힘 등에 대한 안정성, 투명성, 유연성, 인쇄의 정밀성, 밀착성, 그리고 강도 등이 요구된다. 휴대폰용 윈도우 렌즈에 사용되는 플라스틱 기판 재료로는 현재까지 PMMA와 PC가 주로 사용되고 있다. 현재까지 상용화된 제품에 PMMA 소재의 윈도우 렌즈를 주로 사용해온 이유로는 PMMA가 PC보다 광학적 특성(투과율)이 높고, 높은 표면경도를 가지고 있기 때문이다. 그러나 휴대폰 표시창으로서의 그 외의 물리적인 특성, 즉 충격강도, 인장강도 및 굴곡강도 등의 기계적 강도는 PC보다 낮다. 그리고 PC는 투명성과 내충격성, 치수 안정성, 내열-내한성이 가장 뛰어나 유리를 대체할 수 있는 광학재료로 각광을 받고 있

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: hjkim68@kyonggi.ac.kr

다. 게다가 PC의 경우 PMMA에 비해 초박형 제품의 표시창에 적용의 폭을 넓힐 수 있다. 그러나 전술한 바와 마찬가지로 PC는 낮은 표면경도를 가지고 있어 유통 또는 사용 시의 접촉으로 인하여 제품에 손상을 줄 염려가 있다[2, 3]. 따라서 표면에 하드코팅제를 도장하여 사용되고 있다. 표면경도 향상을 위한 하드코팅용 코팅제로는 아크릴 수지, 폴리에스테르 수지, 그리고 폴리우레탄 수지 등이 실용화되어 있다. 하드코팅제를 투명 플라스틱 표면에 코팅하는 경우, 생성된 도막과 플라스틱의 굴절률 차이로 인해 광학적 특성이 떨어지게 된다. 이를 해결하기 위해 도막의 두께를 조절하는 연구가 꾸준히 진행되어 왔다[4]. 이러한 기술의 하나로서 진공 증착이나 스퍼터링 방법으로 무기물을 박층 코팅하는 방법이 있으나, 접착력과 플라스틱 자체의 내열성 문제로 그 적용의 한계가 있다고 알려져 있다[2-5]. 이러한 문제점을 해결하기 위한 기술적 대안의 하나로서 솔-겔 공정에 의한 유-무기 하이브리드 소재의 코팅제 개발을 들 수 있다[3,6-9]. 이러한 하이브리드 소재는 유기와 무기상을 분자레벨로 분산시킴으로써 균일한 상의 복합물질을 제조할 수 있다는 장점을 가지고 있다[10-13].

최근의 윈도우 렌즈 기술개발 동향을 보면 위에서 언급한 기계적, 광학적 성능 이외에도 지속적으로 새로운 기능을 부가하려는 노력이 계속되고 있다. 특히 슬림화, 대화면화 등 많은 디자인적인 요구사항이 많아지고 있다. 현재 모바일기기에 가장 많이 적용되는 디자인은 투명한 플라스틱 또는 유리 기판위에 Al, Ti, Ni, 그리고 Cr 등의 금속을 증착하여 거울과 같은 효과를 나타내는 것으로서, 이는 제품의 고급화와 고부가가치화라는 미래지향적인 이미지 때문에 가전업체와 정보통신 관련기업체에서 많이 적용하고 있다. 그러나 기존 윈도우 렌즈의 경우 전도성인 금속재료(Al, Ni, Ti, 및 Cr 등)를 사용하여 제조하기 때문에 모바일 기기의 디자인 측면에서 제한을 줄 수 있다. 모바일기기 중 윈도우 렌즈를 포함한 외장부품은 RF 회로와의 주파수 간섭 문제로 비전도성을 가져야 한다.

본 연구는 PC 필름 또는 시트의 경도 향상을 위한 자외선 경화형 유기 코팅제 개발과 관련된 연구로서, 향후 유-무기 하이브리드 코팅제 개발에 필수적인 유기물의 함량 및 구성 성분에 대한 최적 조건을 수립하는데 목적이 있다. 표면 경도 향상과 함께 다양한 색상을 보유하면서도 비전도성인 윈도우 렌즈를 제조하기 위한 본 연구는 현재 상업화된 폴리카보네이트 윈도우 렌즈를 생산·가공하는 공정에 적용하는 것이 최종 목표이다.

2. 실험

2-1. 시약 및 재료

자외선 경화형 하드코팅제는 올리고머, 모노머, 광중합 개시제, 그리고 각종 첨가제 등으로 구성된다. 본 연구에 사용한 아크릴레이트 모노머는 자외선 경화형 하드 코팅 도료에 자주 사용되는 폴리에스테르 아크릴레이트 올리고머인 EB830(SK Cytec Co.)을 사

용하였다. 모노머로는 2관능기인 1,6-hexanedioldiacrylate(HDDA), 또한 반응형 표면 개질제인 실리콘 아크릴레이트로는 두성신역의 PA-57을 사용하였으며, 광개시제로는 Ciba Geigy사의 Darocur1173을 사용하였다. 용매로는 에틸 아세테이트(ethyl acetate)를 사용하였다. 코팅에 사용한 폴리카보네이트(PC) 필름은 (주)모젠펜에서 휴대 폰용 윈도우렌즈 기판으로 사용하는 것과 동일한 재질의 PC를 사용하였으며, PC 필름과 색상코팅제와의 접착력을 향상시키기 위해 3-aminopropyltriethoxysilane(APTEOS)[Sigma Co., 98%]를 사용하였다.

2-2. 하드코팅 용액 제조 및 코팅

올리고머인 EB830과 2관능 모노머인 HDDA의 구성비율을 4:1 질량비로 고정하고, (EB830+HDDA)와 용매와의 함량비율을 질량비로 8:2, 6:4 그리고 5:5로 하여 용액의 점도를 조절하면서 폴리 카보네이트에 코팅시 표면특성 변화와 접착력 등의 물성 변화를 먼저 관찰하였다. 실리콘 아크릴레이트와 광개시제의 양은 각각 전체구성 성분 중 1과 4 wt%로 고정하였다. 다음으로 (EB830+HDDA)와 용매와의 질량비는 4:1로 일정하게 고정하고 EB830과 HDDA의 질량비를 4:0.4-4:2까지 세부적으로 변화시키면서 코팅용액을 제조하고 이를 코팅한 PC 필름의 물성을 측정함으로써 보다 최적 조건의 혼합비율을 찾고자 하였다. Table 1은(EB830+HDDA)와 용매와의 질량비는 4:1로 일정하게 고정하고, EB830과 HDDA의 질량비를 변화시켜 제조한 코팅용액의 최종 구성비를 나타낸다. Table 1의 구성비에서 편의상 실리콘 아크릴레이트와 광개시제의 양은 제외하고 올리고머, 모노머 및 용매의 합을 100 wt%로 하여 나타내었다. 위에서 제조한 코팅용액을 PC 필름 위에 스펀코팅에 의해 코팅하였다. 이때 500 rpm에서 10초, 그리고 800 rpm에서 20초 동안 연속적으로 회전시켰다. 코팅 후 자외선 경화장치에서 2~5분간 경화시켜 주었다.

2-3. 색상 코팅 용액 제조

색상 코팅 용액은 앞서 제조된 하드 코팅 용액에 염료를 첨가하여 제조하였다. 예비 실험 결과, PC 필름과 코팅액과의 접착력 문제가 발생하여 이를 해결하기 위해 코팅액에 3-aminopropyltriethoxysilane (APTEOS)를 첨가하였다. 염료의 함량은 가시광선 투과도를 약 70%에 맞추도록 조절하였다. 투과도를 70%로 할 때, 노란색 염료는 1.5 wt%, 분홍색 염료는 2.5 wt%, 오렌지색 염료는 2.6 wt%, 보라색 염료는 8.5 wt%, 청색 염료는 1.4 wt%, 형광 녹색은 2 wt%를 첨가하였다. 제조된 코팅 용액을 20초 동안 1,000 rpm에서 스펀 코팅하여 폴리카보네이트 필름 위에 코팅한 후, 10초간 자외선 경화하여 색상 박막층을 형성하였다.

2-4. 특성조사

제조된 코팅필름의 표면 경도를 측정하기 위하여 ASTM D3363에 근거하여 연필경도를 측정하였다. 표준연필을 6B에서 4H로 변화

Table 1. The compositions of ethyl acetate, EB830 and HDDA in coating solutions

Species	Weight percent(%) ^a of solvent and weight ratio ^b of EB830 and HDDA													
	20 ^a		20		20		20		20		20		20	
Solvent(ethyl acetate)														
Oligomer(EB830)	4 ^b	80 ^a	4	80	4	80	4	80	4	80	4	80	4	80
Monomer(HDDA)	0.4		0.6		0.8		1		1.3		1.5		1.7	2

시키면서 45° 각도를 유지하여 일정한 하중(1 kg)을 가하였을 때 도막의 스크래치가 발생하는 연필의 경도를 표면 경도값으로 정했다. 계면 접착력은 ASTM D3359에 근거하여 경화된 코팅층에 바둑판 모양의 흡을 낸 후 그 위에 셀로판테이프를 잘 밀착시켜서 일정한 힘으로 수회 떼어내어 코팅층과 PC 필름과의 밀착 정도를 관찰하였다. 가로, 세로 각 1 mm의 10개의 흡을 내어 총 100칸의 격자 중 남아있는 칸의 정도로 접착력을 평가하는 방법으로서, 예를 들어 100/100은 접착이 대단히 우수함을 나타낸다. 가시광선 투과율은 Perkin-Elmer사의 Lambda UV-Vis spectrophotometer를 사용하여 측정하였다. 먼저 PC 필름의 투과율을 측정하고, 이를 기준으로 코팅된 PC 필름의 투과율을 비교하여 측정하였다. 표면 상태는 광학현미경을 통해 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 표면 특성

폴리카보네이트 필름에 아크릴레이트 올리고머와 모노머, 첨가제를 특정 함량비율로 혼합한 후 자외선 경화시킨 코팅필름의 표면 모폴로지, 경도, PC 필름과 코팅층의 접착력, 투과율 등을 분석하였다. 우선적으로 용액의 점도에 따른 코팅필름의 표면상태와 코팅의 용이성을 조사한 결과, (EB830+HDDA)와 용매와의 질량비가 4:1일 때 코팅이 재현성있고 균일하게 이루어졌고 가장 깨끗한 표면상태를 가졌으며, 용매의 양을 줄임에 따라, 즉 점도가 커짐에 따라 코팅이 용이하지 않았다. 따라서 이후의 코팅 용액 제조 및 특성분석은(EB830+HDDA)와 용매와의 질량비를 4:1로 고정하고 구성 성분중의 화합물의 함량을 변화시키면서 실험을 진행하였다. 코팅표면의 광학현미경 분석 결과, EB830과 HDDA의 질량비가 4:0.8~1인 경우에는 코팅표면이 균일하고 깨끗하였으나, EB830과 HDDA의 질량비가 4:1.7~2인 경우에는 크랙이 발생하거나, 불균일한 표면을 가짐을 알 수 있었다. 이는 HDDA의 함량이 증가함에 따라 가교도가 증가하고 따라서 표면질감성이 과도하게 커지기 때문으로 볼 수 있다. Fig. 1은 EB830과 HDDA의 질량비에 따른 코팅필름의 표면사진 결과를 나타낸다.

코팅필름의 연필 경도 분석 결과, 코팅제를 코팅하지 않은 PC 필름의 연필경도는 6B였으나, 코팅필름의 연필경도는 최소 1H, 그리고 최대 2H의 값을 얻었다. 전술한 바와 마찬가지로 HDDA의

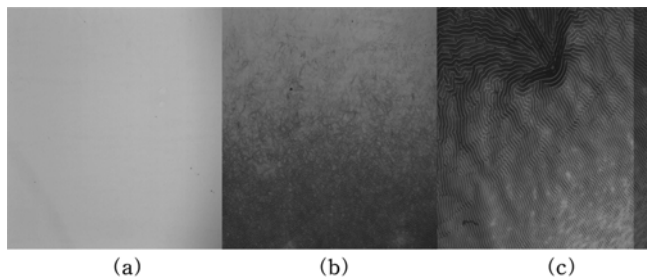


Fig. 1. Micrographs of coating surface. (a) EB830:HDDA=4:1, (b) EB830:HDDA=4:1.5, (c) EB830:HDDA=4:2.

함량이 너무 낮거나 또는 높을 경우, 재현성 있는 균일 코팅층을 얻기 어려웠으나 수회의 실험을 거쳐 표면층이 비교적 깨끗한 샘플을 대상으로 연필경도를 측정하였다. Table 2의 결과에서 볼 수 있듯이 EB830과 HDDA의 질량비가 4:0.8~1.3인 경우가 2H로 가장 좋은 결과를 얻었으며, 나머지 함량비로 코팅된 필름의 연필경도는 모두 1H였다. 이는 2관능성 모노머의 증감에 따른 가교도의 영향 때문으로 볼 수 있다. 2관능성 모노머가 증가할수록 가교도가 증가하여 연필경도가 증가하나, 일정량 이상의 모노머가 첨가되면 표면에 발생한 크랙으로 인해 오히려 연필경도가 떨어짐을 알 수 있었다. 2H의 연필경도는 폴리카보네이트 필름 자체의 무른 성질을 감안할 때 비교적 우수한 연필 경도값으로 판단된다. 본 연구에서 제조한 코팅제를 유리 기판에 적용해 본 결과 3H의 연필경도를 보였다. 향후 본 연구 결과를 바탕으로 유-무기 하이브리드 코팅액을 제조, 그 특성을 조사할 계획이며, 보다 향상된 코팅제를 제조할 수 있을 것으로 기대된다.

PC 필름과 코팅층간의 접착력 측정 결과, 실험에서 제조된 모든 코팅필름이 100칸의 격자 중 접착력 테스트 후 남아 있는 칸이 100칸(100/100)으로서, 계면 접착력이 매우 우수함을 알 수 있었다. 다시 말해 올리고머와 모노머, 그리고 용매의 함량에 관계없이 코팅 필름의 접착력에는 문제가 없음을 알 수 있었다.

올리고머(EB830)와 모노머(HDDA)의 함량비율은 4:1로 일정하게 유지하고 (EB830+HDDA)와 용매의 함량비율을 8:2, 6:4, 그리고 5:5로 변화를 주어 제조한 코팅필름의 투과율을 UV-vis spectrophotometer를 이용해 가시광선 영역(400~800 nm)에서 측정한 결과, 가시광선 투과율은 용매의 양에 관계없이 거의 비슷한 값을 나타내었다. Fig. 2는 그 결과를 보여준다. 한편 (EB830+HDDA)와 용매의 함량비율은 4:1로 일정하게 하고 EB830과 HDDA의 함량비율을 4:0.4~4:2로 세분화하여 투과율을 측정한 결과, Fig. 3에서 볼 수 있듯이 4:0.4와 4:2의 함량비로 코팅한 필름이 다른 코팅필름에 비해 가시광선에서의 투과율의 차이가 가장 컸음을 알 수 있었다. 특히 4:2의 비율

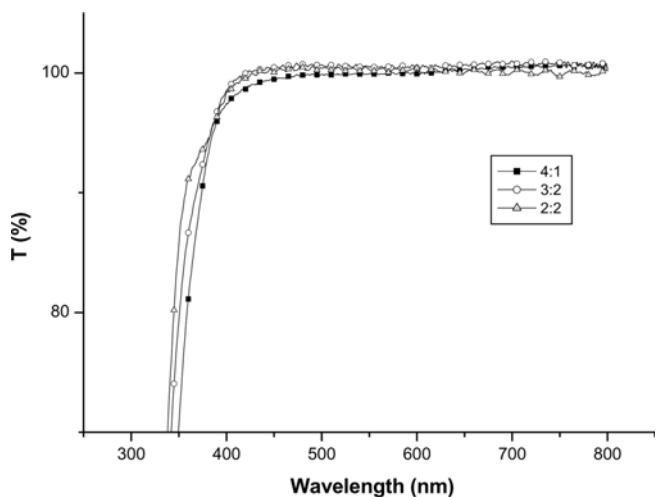


Fig. 2. Light transmission of coated polycarbonate film varying the weight ratio of (EB830+HDDA) and ethyl acetate.

Table 2. The effect of weight ratio of EB830 and HDDA on pencil hardness

Weight ratio of EB830 and HDDA	4:0.4	4:0.8	4:1.0	4:1.3	4:1.5	4:1.7	4:2.0
Pencil hardness	1H	2H	2H	2H	1H	1H	1H

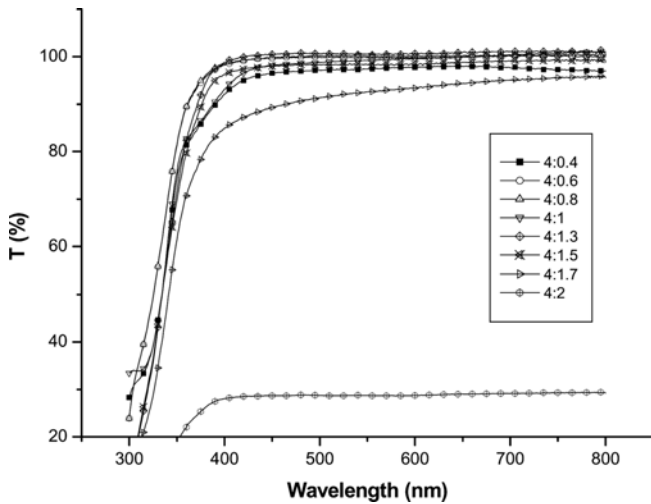


Fig. 3. Light transmission of coated polycarbonate film varying the weight ratio of EB830 and HDDA.

로 실험한 필름은 육안으로 봤을 때도 투명하지 않고 뿌옇게 보였으며, 표면이 거칠었다.

3-2. 색상 윈도우렌즈 제작

앞의 실험결과를 바탕으로 (주)모잠에서 생산·가공하고 있는 실제 휴대폰용 윈도우 렌즈에 적용할 색상코팅 용액을 제조하였으며, 이를 이용해 색상 윈도우 렌즈를 제작하였다. 코팅용액은 용매를 전체구성 성분 중 20 wt%로 하고, EB830과 HDDA의 질량비를 4:1로 하여 제조하였다. 실험 결과 색상을 구현하기 위해 첨가한 염료 성분에 의해 접착력 저하의 문제가 발생해 코팅액에 3-aminopropyltriethoxysilane(APTEOS)를 첨가하였으며, 우수한 계면 접착력을 보였다. APTEOS는 대표적인 실란커플링제의 하나로서 본 연구실에서 수행한 이전 연구를 비롯한 여러 연구결과에서 플라스틱 필름의 계면 접착력을 향상시킨다고 보고된 바 있다[14-16]. 색상코팅 결과 기존 산화물 증착에 의해 구현하던 박막의 색상을 본 실험에서 제조한 코팅 용액을 사용하여 거의 대부분 구현할 수 있었다. 윈도우 렌즈 제작은 폴리카보네이트 기판 위에 색상 코팅 용액을 박막코팅하고, 자외선 경화 후 색상 박막층 위에 진공 증착층을 형성하였다. 그 다음으로 각종 로고나 홀로그램 등의 피인쇄물이 인쇄될 부분을 마스크층으로 도포하였다. 이와 같이 진공 증착층 상부의 테두리 부분에 마스크층을 도포한 상태에서, 진공 증착층의 증착으로 인해 발생하는 불투명한 표면을 제거하기 위해 마스크층의 하부면에 위치한 부분만을 남기고 진공 증착층의 나머지 부분을 제거하는 탈막 공정을 진행하였으며, 최종적으로 컴퓨터 수치 제어작업을 통해 생성된 투명창의 주변부를 규격에 맞게 절단하여 색상 윈도우 렌즈를 완성하였다. Fig. 4는 윈도우렌즈 제작의 단면층을 개략적으로 나타낸 것이며, Fig. 5는 한 예로서 녹색 염료를

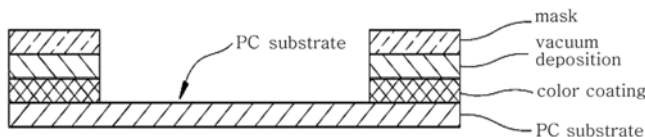


Fig. 4. Schematic diagram of cross-section of window lens.



Fig. 5. Photograph of color window lens for mobile phone.

사용하여 제작한 윈도우 렌즈를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 매우 깨끗하고 균일한 표면과 색상을 가진 윈도우 렌즈를 제작할 수 있었으며, 표면 경도 측정 결과 2H의 연필경도를 나타내었다.

4. 결 론

아크릴레이트 올리고머(EB830), 2관능 모노머(HDDA), 용매(ethyl acetate), 실리콘 아크릴레이트, 그리고 광개시제 등을 다양한 함량비율에 따라 혼합하고 이를 폴리카보네이트(polycarbonate) 필름에 코팅한 후 자외선 경화함으로써 내마모성 코팅필름을 제조하고, 구성 성분의 비율에 따른 코팅필름의 표면 경도, 접착력, 그리고 투과율의 변화를 실험하였다. 실험 결과, 올리고머(EB830)와 모노머(HDDA)의 비율이 4:0.8~1.3인 경우 연필경도가 2H로서 코팅하지 않은 폴리카보네이트 필름의 6B에 비해 우수한 값을 보였다. 접착력 측정실험에서는 본 연구에 사용된 모든 필름이 100/100으로 우수하였고, 가시광선 투과율은 EB830과 HDDA의 질량비가 4:0.6~1.7인 코팅필름의 경우 우수한 투과율을 나타내었다. 이러한 결과를 바탕으로 색상을 구현할 수 있는 염료를 혼합하고, 계면 접착력 향상을 위한 APTEOS를 첨가하여 제조한 내마모성 색상 코팅 결과, 기존 산화물 증착에 의해 구현하던 박막의 색상을 본 실험에서 제조한 코팅 용액을 사용하여 거의 대부분 구현할 수 있었다. 최종적으로 휴대폰용 윈도우 렌즈를 제작하였으며, 우수한 연필경도(2H)와 매우 깨끗하고 균일한 색상과 표면을 가진 윈도우 렌즈를 제작할 수 있었다.

감 사

본 연구는 2006 학년도 경기대학교 해외과건 연구비에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Hozumi, A. and Takai, O., "Two-Layer Hard Coatings on Transparent Resin Substrate for Improvement of Abrasion Resistance," *Applied Surface Science*, **82**, 16-22(1996).

2. Hwang, D. K., Moon, J. H., Shul, Y. G., Jung, K. T., Kim, D. H. and Lee, D. W., "Scratch Resistant and Transparent UV-Protective Coating on Polycarbonate," *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, **26**, 783-787(2003).
3. Gilberts, J., Tinnemans, A. H. A., Hogerheide, M. P. and Koster, T. P. M., "UV Curable Hard Transparent Hybrid Coating Materials on Polycarbonate Prepared by Sol-Gel Method," *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, **11**, 153-159(1998).
4. Sepeur, S., Kunze, N., Werner, B. and Schmidt, H., "UV Curable Hard Coatings on Plastics," *Thin Solid Films*, **351**, 216-219(1999).
5. Chwa, E., Wu, L. and Chen, Z., "Factors Towards Pencil Scratch Resistance of Protective Sol-Gel Coatings on Polycarbonate Substrate," *Key Engineering Materials*, **312**, 339-344(2006).
6. Tanglumlert, W., Prasassarakich, P., Supaphol, P. and Wongkasemjit, S., "Hard-Coating Materials for Poly(methyl methacrylate) from Glycidoxypropyltrimethoxysilane Modified Silatrane via a Sol-Gel Process," *Surface & Coatings Technology*, **200**, 2784-2789 (2006).
7. Que, W., Sun, Z., Zhou, Y., Lam, Y. L., Cheng, S. D., Chan, Y. C. and Kam, C. H., "Preparation of Hard Optical Coatings Based on an Organic/Inorganic Composite by Sol-Gel Method," *Materials Letters*, **42**, 326-330(2000).
8. Lee, M. S. and Jo, N. J., "Abrasion-resistance and Optical Properties of Sol-Gel Derived Organic-Inorganic Hybrid Coatings," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **12**, 643-648(2001).
9. Hass, K. and Wolter, H., "Synthesis, Properties and Applications of Inorganic-Organic Copolymers," *Current Opinion in Solid State and Material Science*, **4**, 571-580(1999).
10. Iwamoto, T. and Mackenzie, J. D., "Ormosil Coatings of High Hardness," *J. Mater. Sci.*, **30**, 2566-2570(1995).
11. Mackenzie, J. D. and Bescher, E. P., "Physical Properties of Sol-Gel Coatings," *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, **19**, 23-29(2000).
12. Mager, M., Schmalstieg, L., Mechtel, M. and Kraus, H., "Organic-Inorganic Hybrid Coatings Based on Polyfunctional Silanols as New Monomers in Sol-Gel Processing," *Macromol. Mater. Eng.*, **286**, 682-684(2001).
13. Hass, K., Amberg-Schwab, S. and Rose, K., "Functionalized Coating Materials Based on Inorganic-Organic Polymers," *Thin Solid Films*, **351**, 198-203(1999).
14. Jang, K. and Kim, H., "The Gas Barrier Coating of 3-Aminopropyltriethoxy Silane on Polypropylene Film," *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, **41**, 19-24(2007).
15. Jang, K., Kim, J., Lee, S. and Kim, H., "Gas Permeation Properties of Poly(N-vinylpyrrolidone)/3-aminopropyltriethoxysilane Hybrid Membranes," *Solid State Phenomena*, **124-126**, 683-686 (2007).
16. Lee, D., Park, J., Park, K., Jang, S. and Song, K., "Effects of APS (aminopropyltriethoxysilane) Addition on the Properties of Hydrophilic Coating Films," *Korean Chem. Eng. Res.*, **42**, 690-695(2004).