

## Glycidoxypropyl Trimethoxysilane과 Methacryloxypropyl Trimethoxysilane의 Sol-Gel 반응을 이용한 하드코팅 용액의 제조

오승균 · 정재식\* · 이범석\*\* · 송기창†

건양대학교 화공생명학과  
320-711 충남 논산시 내동 26  
\*(주)에이엠아이  
415-862 경기도 김포시 통진읍 귀전리 658-5  
\*\*한국에너지기술연구원  
365-343 대전시 유성구 장동 71-2  
(2007년 10월 12일 접수, 2007년 10월 27일 채택)

## Preparation of Hard Coating Solutions by Sol-Gel Reaction of Glycidoxypropyl Trimethoxysilane and Methacryloxypropyl Trimethoxysilane

Seung Kyun Oh, Jae Shik Chung\*, Bum Suk Lee\*\* and Ki Chang Song†

Department of Chemical and Biochemical Engineering, Konyang University, 26 Nae-dong, Nonsan, Chungnam 320-711, Korea

\*Advanced Materials Institute, 658-5 Gwijeon-ri, Tongjine-up, Gimpo, Gyeonggi 415-862, Korea

\*\*Korea Institute of Energy Research, 71-2 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

(Received 12 October 2007; accepted 27 October 2007)

### 요 약

실란커플링제인 glycidoxypropyl trimethoxysilane(GPTMS)과 methacryloxypropyl trimethoxysilane(MPTMS)을 10:0, 9:1, 7:3, 5:5, 3:7, 0:10의 다양한 몰 비로 혼합한 용액으로부터 sol-gel법을 이용하여 하드 코팅 용액을 제조하였다. 제조된 코팅 용액을 polycarbonate(PC) 시트 위에 스핀 코팅 시키고, 130 °C에서 3 h 동안 열 경화시켜 하드 코팅 막을 제조 하였다. 이 과정 중 코팅 용액 중의 GPTMS와 MPTMS의 몰 비 변화가 코팅 막의 물성에 미치는 영향을 살펴본 것이다. GPTMS와 MPTMS가 5:5의 몰 비로 제조된 코팅 용액으로 PC 시트 위에 코팅한 경우가 다른 조건으로 제조된 코팅 용액보다 우수한 연필경도 및 기재와의 부착력을 보였다. 또한 코팅 용액 중의 H<sub>2</sub>O의 첨가량이 증가할수록 코팅 막의 연필경도는 증가하였다.

Abstracts - Hard coating solutions were prepared from glycidoxypropyl trimethoxysilane (GPTMS) and methacryloxypropyl trimethoxysilane (MPTMS) precursors with different molar ratios of 10:0, 9:1, 7:3, 5:5, 3:7, and 0:10, respectively, by the sol-gel method. The polycarbonate (PC) sheets were spin-coated, and cured at 130°C for 3 h. The effect of the GPTMS:MPTMS molar ratios of the mixture was investigated on the properties of coating films. The highest pencil hardness and adhesion to PC sheets of coating films were found for solution with GPTMS:MPTMS molar ratio of 5:5. Also, the pencil hardness of coating films was increased with increasing the H<sub>2</sub>O content in the coating solutions.

Keywords: Glycidoxypropyl Trimethoxysilane, Methacryloxypropyl Trimethoxysilane, Hard Coating, Sol-Gel Method, Organic-Inorganic, Films

### 1. 서 론

최근 투명유리 소재를 대신하여 투명 플라스틱이 경량성, 가공의 용이성, 우수한 내충격성 등의 장점으로 인해 안경이나 광학 기기의 렌즈 및 건축물의 창유리, 열차 등 수송차량의 창유리 소재 등에 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 투명 플라스틱 중에서 가장 많이 사용되고 있는 재료의 하나로 polycarbonate(PC) 수지가 알려

져 있다. PC는 투명 플라스틱 중에서 굴절률이 1.58로 유리의 굴절률(1.50~1.52)과 비교해도 높은 수치를 보이며, 광 투과율이 90% 정도로 렌즈 등의 광학적 용도에 있어 유리의 대체품으로서 호응도가 크다. 그러나 표면경도가 낮기 때문에 마찰에 의해 긁히기 쉽고, 용제 등에 대한 내성도 나빠서 그대로 사용할 경우 쉽게 손상을 입어 투명성이 떨어지는 등의 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 해결하기 위해 플라스틱 표면에 하드코팅을 하게 되는데, 하드코팅제로서 sol-gel법에 의해 제조된 유-무기 혼성 코팅제가 다양하게 사용되고 있다[1, 2].

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

Sol-gel법은 고순도의 금속 알콕사이드를 전구체로 사용하여 용액 중에서 가수분해 반응과 중축합 반응을 거쳐 기능성 코팅용액, 금속산화물 나노입자 및 기능성 세라믹스를 경제적으로 제조하는 방법이다[3]. 이 방법에서는 높은 화학적 균일성을 지닌 생성물을 얻을 수 있으며, 특히 무기계 전구체에 유기물을 첨가하여 반응시킴으로써 무기물과 유기물의 중간 성격을 갖는 유-무기 혼성체를 손쉽게 제조할 수 있다. 이 경우 무기물과 유기물이 나노 단위로 균일하게 혼성된 복합체를 형성함에 의해 무기물이 갖는 내마모성, 투명성 등의 장점과 유기물이 갖는 유연성, 성형성 등의 장점을 모두 갖는 새로운 특성의 물질을 얻을 수 있다[4].

본 연구자들은 이전 연구[5]에서 colloidal silica와 실란커플링제인 glycidoxypopyl trimethoxysilane(GPTMS)를 출발물질로 하여 sol-gel법을 이용해, PC 시트 위에 하드코팅 막을 제조하고, GPTMS 첨가량이 증가할수록 코팅 막의 연필경도 및 기재와의 접착력이 우수하다고 보고하였다. 본 연구에서는 colloidal silica를 사용하지 않고 실란커플링제인 methacryloxypropyl trimethoxysilane(MPTMS)와 GPTMS만을 출발물질로 하여 sol-gel법에 의해, 플라스틱 기재 위에 코팅 시 표면경도가 우수한 하드 코팅 용액을 제조하고자 한다. 이렇게 제조된 하드 코팅 용액을 기재인 PC 시트 위에 스핀 코팅 시킴으로써 코팅 막을 형성하는 과정 중, 하드 코팅 용액 중의 GPTMS와 MPTMS의 몰 비 변화가 얻어진 코팅 막의 물성에 미치는 영향을 살펴보았다.

## 2. 실험

### 2-1. 코팅용액 및 코팅 막의 제조

코팅을 위한 출발물질로 상업용으로 제조된 GPTMS(98%, Aldrich Chemical)와 MPTMS(98%, Aldrich Chemical)를 사용하였다. GPTMS와 MPTMS의 화학구조식은 Fig. 1로 나타내었다. 처음에 다양한 몰 비로 조절된 GPTMS와 MPTMS의 혼합물 (총량 0.10 mol)에 각각 0.30 mol의 에탄올(EtOH, 99.9%, Duksan Chemical)과 H<sub>2</sub>O를 첨가한 후 1 h 동안 교반하였다. 그 후 0.001 mol의 acetic acid(99.5%, Samchun Chemical)를 촉매로 첨가한 후 1 h 동안 교반하였다. 교반된 용액에 가교제인 ethylene diamine(EDA, 99%, Aldrich Chemical) 0.001 mol을 첨가한 후 24 h 교반시켜 최종 코팅 용액을 제조하였다.

제조된 코팅 용액은 스핀코터(Spin 1,200, Midas)를 이용하여 2,500 rpm에서 1 min 동안 1 mm 두께의 PC 시트(Makrolon, Song Asia Plastic Technology)에 코팅시켰다. 또한 기재에 용액을 코팅한 후 표면에 부착시키기 위하여 130 °C에서 3 h 동안 열 경화를 시켰다. 그 후 상온에서 냉각시킨 코팅 막의 물성을 측정하였으며, 이상의 제조공정을 Fig. 2로 나타내었다.

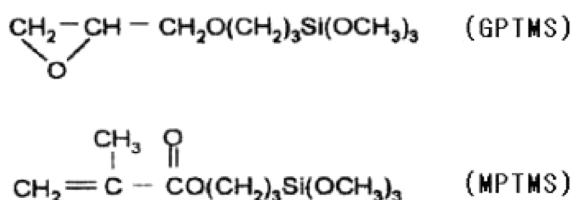


Fig. 1. Chemical structures of silane coupling agent monomers.

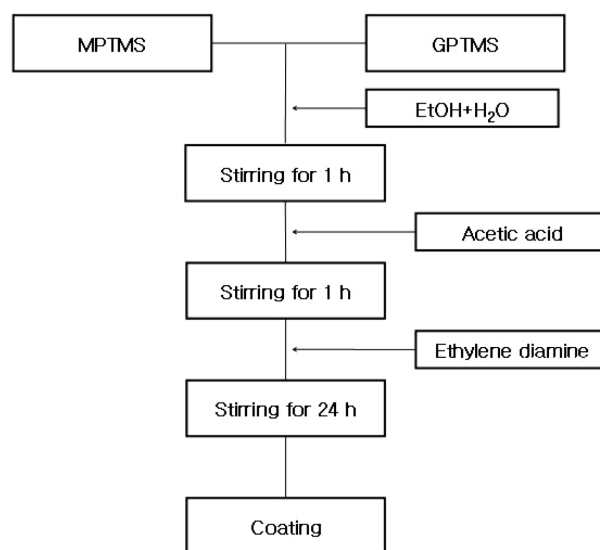


Fig. 2. Flow chart for preparation of hybrid coating films.

### 2-2. 코팅 용액 및 막의 물성 측정

#### 2-2-1. 연필경도

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

#### 2-2-2. 접착력

ASTM D 3359에 근거하여[6] 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 칼집을 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.

#### 2-2-3. 투과율

가시광선 영역에서의 코팅 막의 투과율을 측정하기 위하여 UV-visible spectrometer(UV-2450, Shimadzu)를 사용하여 200 nm에서 600 nm의 영역에서 관찰하였다.

#### 2-2-4. 미세구조

기재인 PC 시트 위에 코팅된 막의 미세구조를 관찰하기 위하여 코팅 층의 두께와 막의 표면 형상을 주사전자현미경(JSM-6335F, JEOL)을 사용하여 관찰하였다. 이 때 가속전압은 10 kV이었으며 3,000배로 확대하여 미세구조를 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. GPTMS와 MPTMS의 몰 비 변화가 코팅 막의 물성에 미치는 영향

본 연구에서는 GPTMS와 MPTMS가 서로 다른 몰 비 조건으로 제조된 혼성 코팅용액을 기재인 PC 시트 위에 스핀 코팅시킴으로

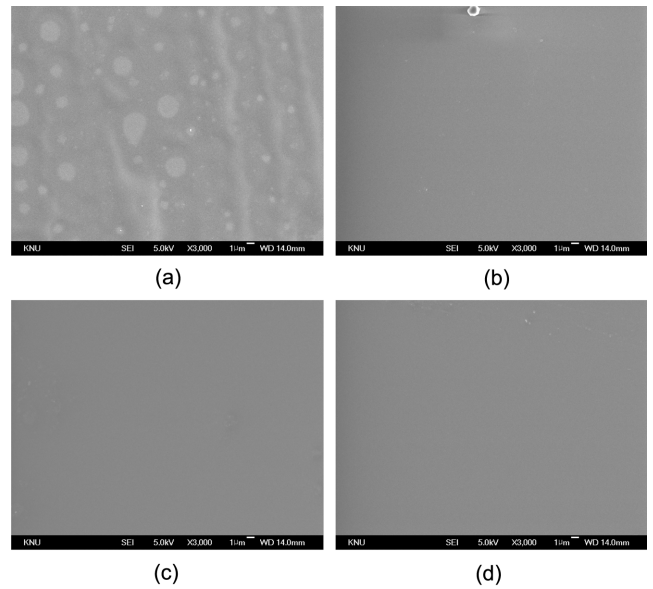
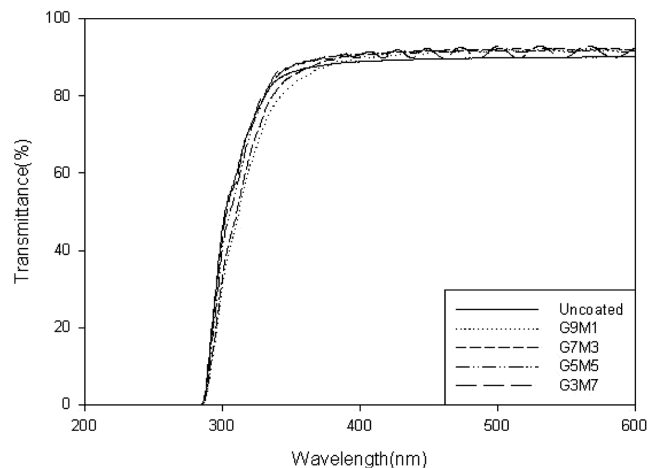
**Table 1. Viscosity of coating solutions and properties of coating films prepared with different molar ratios of GPTMS and MPTMS**

Sample name	GPTMS (mol)	MPTMS (mol)	Viscosity of coating solution (cp)	Pencil hardness	Adhesion
G10M0	0.10	0	-	-	-
G9M1	0.09	0.01	5.6	HB	5B
G7M3	0.07	0.03	5.9	HB	5B
G5M5	0.05	0.05	6.5	H	5B
G3M7	0.03	0.07	7.8	H	0B
G0M10	0	0.10	-	-	-

써 코팅 막을 형성하게 되는데, 이 과정 중 코팅 용액 중의 GPTMS와 MPTMS의 몰 비 변화가 형성된 코팅 막의 물성에 미치는 영향을 살펴보았다. Table 1은 GPTMS와 MPTMS의 몰 비 변화에 따라 제조된 코팅 용액의 점도와, 코팅 막의 연필경도 및 기재와의 부착력을 나타낸 표이다. GPTMS 또는 MPTMS를 단독으로 사용하여 코팅 용액을 제조한 경우 코팅 막이 형성되지 않았으나, GPTMS와 MPTMS가 혼합된 코팅 용액들은 투명하며, 장시간(8 h) 동안 겔화되지 않고 코팅이 가능한 안정된 상태를 보였다. 코팅 용액들은 5.6~7.8 cp의 점도를 보이며, MPTMS 첨가량이 많아질수록 용액의 점도가 증가하는 경향을 보였다. 또한 코팅 막의 연필경도는 MPTMS의 몰 비가 10 %인 G9M1 조성에서는 HB이었으나, MPTMS의 몰 비가 50 %인 G5M5 조성에서는 H로 혼합 용액 중의 MPTMS의 몰 비가 증가할수록 연필경도가 증가하였다. 반면에 코팅 막의 기재와의 부착력은 GPTMS 몰 비가 50 % 이상 첨가된 G9M1, G7M3, G5M5 조성에서는 5B의 우수한 물성을 나타내었으나, GPTMS가 30 %로 적게 첨가된 G3M7 조성에서는 0B로 좋지 않은 부착력을 나타내었다. 이로부터 GPTMS의 몰 비가 증가할수록 우수한 부착력을 나타내며, MPTMS 함유량이 증가할수록 더 좋은 연필경도를 나타낼 수 있다. 이 결과는 코팅용액 중의 GPTMS와 MPTMS의 역할을 각각 나타내고 있다. GPTMS는 Fig. 1의 화학식에 나타나듯이 epoxy 관능기를 포함한 유기 사슬로 구성되어 있는데, 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 한다[7, 8]. 따라서 GPTMS의 함유량이 증가할수록 기재와의 부착력이 좋아지게 된다. 반면에 MPTMS는 GPTMS에 비해 높은 표면경도의 특성을 보이므로, MPTMS 함유량이 증가함에 따라 더 좋은 연필경도를 보이게 된다[9]. 이상의 결과로부터 GPTMS와 MPTMS가 5:5의 몰 비로 제조된 코팅용액으로 PC 시트 위에 코팅한 경우가 다른 조건으로 제조된 코팅용액보다 연필경도 및 기재와의 부착력 모두에서 우수한 물성을 보임을 알 수 있다.

Fig. 3은 Table 1의 여러 조성으로 제조된 코팅 용액을 PC 시트 위에 코팅하여 얻어진 막 표면의 미세구조를 3,000배의 배율로 관찰한 SEM 결과이다. 이 그림에서 조성과 관계없이 모든 코팅 막에서 미세 균열이 발생되지 않으며, 매끄러운 표면 상태를 나타내었으나, MPTMS가 적게 첨가된 G9M1 조성에서는 막 중에 백색 혼탁 현상을 나타낼 수 있다.

Fig. 4는 Table 1의 여러 조성으로 제조된 코팅용액을 PC 시트 위에 코팅하여 얻어진 코팅 막의 투과율 변화를 살펴본 그림이다. 그림에서 나타나는 바와 같이 GPTMS와 MPTMS의 몰 비 변화와 상관없이 모든 코팅막이 기재의 투과율(89%) 보다 높은 91%의 투과율을 나타내었다. 여기서 주목되는 점은 Fig. 3의 SEM 결과에서 백

**Fig. 3. SEM photomicrographs of surfaces of polycarbonate sheets prepared from coating solutions with different compositions. (a) G9M1, (b) G7M3, (c) G5M5, and (d) G3M7.****Fig. 4. Light transmittance of polycarbonate sheets prepared from coating solutions with different compositions.**

색 혼탁 현상을 보인 G9M1 조성에서도 코팅 막의 투과율은 91%로 다른 조성들에 비해 투과율이 나쁘지 않은 점으로, 이 원인에 대해서는 현재 계속 연구 중에 있다.

Fig. 5는 Table 1의 여러 조성으로 제조된 코팅 용액을 PC 시트 위에 코팅하여 얻어진 코팅 단면을 측정된 SEM 사진이다. 이 사진에서 위 부분이 코팅 층이며, 아래 부분이 기재인 PC 시트이다. 코팅 층이 비교적 고른 단면을 갖고 있음을 알 수 있으며, Table 1의 조성 중 MPTMS의 몰 비가 각각 0.1, 0.3, 0.5, 0.7인 용액으로 제

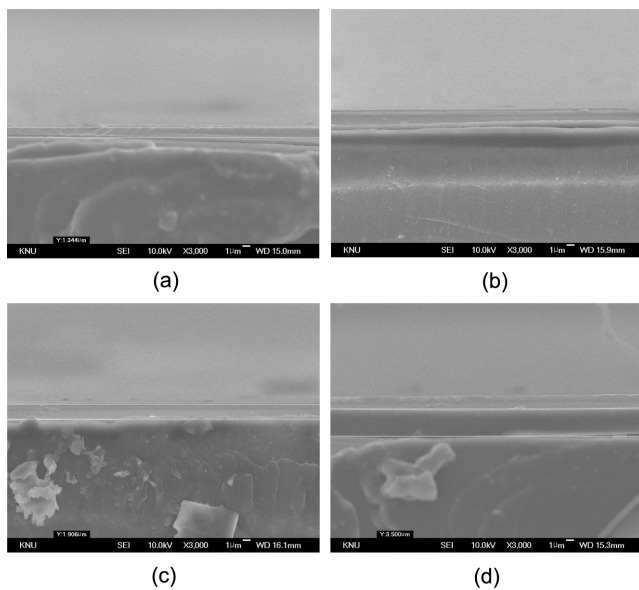


Fig. 5. SEM photomicrographs of cross sections of polycarbonate sheets prepared from coating solutions with different compositions. (a) G9M1, (b) G7M3, (c) G5M5, and (d) G3M7.

Table 2. Properties of coating films prepared from coating solutions with different H<sub>2</sub>O content

Sample name	H <sub>2</sub> O/silane molar ratio	Pencil hardness	Adhesion
H0	0	-	-
H1	1	HB	5B
H3	3	H	5B
H5	5	H	3B
H7	7	H	0B
H9	9	-	-

조된 코팅 막의 두께는 각각 1.34  $\mu\text{m}$ , 1.60  $\mu\text{m}$ , 1.91  $\mu\text{m}$ , 3.50  $\mu\text{m}$ 로 MPTMS의 물 비가 증가함에 따라, 코팅 두께가 증가함을 알 수 있는데, 이는 Table 1에서 나타난 바와 같이 용액 중의 MPTMS 양 증가에 따라 코팅 용액의 점도가 커지기 때문이다.

### 3-2. H<sub>2</sub>O 양의 변화가 코팅 막의 물성에 미치는 영향

본 절에서는 이전의 GPTMS와 MPTMS의 물 비 변화 실험에서 가장 좋은 연필경도와 부착력을 보였던, GPTMS와 MPTMS가 각각 50%로 제조된 G5M5 조성에서 H<sub>2</sub>O 첨가량의 변화가 코팅 막의 물성에 미치는 영향을 살펴보았다. Table 2는 G5M5 조건에서 H<sub>2</sub>O 첨가량을 GPTMS와 MPTMS 전체 첨가량(0.1 mol)의 0-9배로 변화시켜 제조된 코팅 막의 물성을 나타낸 표이다. H<sub>2</sub>O가 전혀 첨가되지 않거나(H0), 과량으로 H<sub>2</sub>O가 첨가된 경우에는(H9) 경화제인 EDA의 첨가 직후 용액의 침전이 일어나 코팅이 불가능하였다. 반면에 적당량의 H<sub>2</sub>O가 첨가된 H<sub>2</sub>O의 물 비가 1, 3, 5, 7의 조성에서는 코팅이 가능하였고, 이때 용액은 장시간(8 h) 동안 침전이 되지 않고 코팅 가능한 상태를 보여주었다. H<sub>2</sub>O의 첨가량이 비교적 적은 H1의 경우에는 HB의 연필경도를 보였으나, H<sub>2</sub>O의 첨가량이 비교적 많은 H3, H5, H7 조성에서는 H의 우수한 연필경도를 보였다. 또한 H1, H3, H5 조성에서는 기재와의 부착력이 5B나 3B로 우수한 반면, 물의 첨가량이 많은 H7의 경우에는 0B의 좋지 않은 부

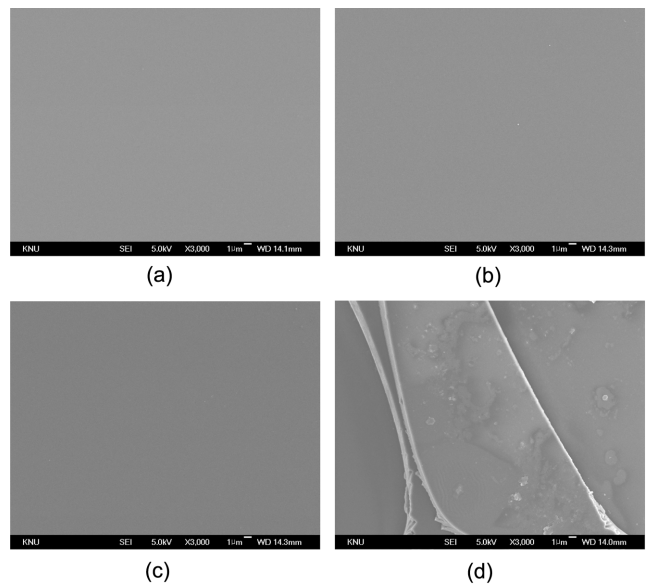


Fig. 6. SEM photomicrographs for surfaces of polycarbonate sheets prepared from coating solutions with different H<sub>2</sub>O content. (a) H1, (b) H3, (c) H5, and (d) H7.

착력을 나타내었다. 이것은 용액 내에서의 물의 역할을 나타내는 것으로, 물은 GPTMS나 MPTMS 중의 methoxy 관능기와 반응하여 실라놀기(Si-OH)를 형성하여 표면경도를 향상시키므로, 물의 첨가량이 많아질수록 코팅 막의 연필경도는 증가하게 된다. 반면에 H7 조성처럼 물이 과량으로 첨가되면, 물은 GPTMS나 MPTMS와 같은 유기물과의 친화력이 떨어져 코팅 용액 중에서 상 분리현상이 발생되므로, GPTMS나 MPTMS와 같은 실란커플링제가 제 역할을 충분히 못해, 코팅 막의 부착력이 약화되었다고 판단된다.

Fig. 6은 H<sub>2</sub>O의 첨가량을 달리하여 제조된 코팅 용액을 PC 시트 위에 코팅하여 얻어진 막 표면의 미세구조를 3,000배의 배율로 관찰한 SEM 결과이다. 물의 첨가량이 비교적 적은 H1, H3, H5의 경우 매끄러운 표면 상태를 나타내었으나, 물의 첨가량이 많은 H7의 경우 표면에 크랙이 발생하였다. 이 현상은 이전에 지적되었듯이 H<sub>2</sub>O의 첨가량이 많아질수록 용액 내에서 상 분리현상이 진행되어 이것이 코팅 막의 부착력에 영향을 주었다고 사료된다. 실제로 과량의 물이 첨가된 H9의 경우 상분리 현상으로 인하여 기재 위에 용액의 코팅이 불가능하였다.

Fig. 7은 H<sub>2</sub>O 첨가량 변화에 따라 달리 제조된 코팅용액을 PC 시트 위에 코팅하여 얻어진 코팅 막의 투과율 변화를 살펴본 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 H1, H3, H5 조건에서 제조된 코팅 막은 모두 기재의 투과율(89%)보다 높은 수치(91%)를 나타내었다.

Fig. 8은 H<sub>2</sub>O 첨가량 변화에 따라 달리 제조된 코팅용액을 PC 시트위에 코팅하여 얻어진 코팅 단면을 측정된 SEM 사진이다. 이 사진에서 알 수 있듯이 H<sub>2</sub>O의 첨가량이 3인 경우에는(H3) 코팅 막의 두께는 1.66  $\mu\text{m}$ 으로 작은 수치를 보였으나, H<sub>2</sub>O의 첨가량이 5, 7인 경우(H5, H7)에는 각각 3.38  $\mu\text{m}$ , 3.34  $\mu\text{m}$ 로 두꺼운 두께를 보였다. 이는 첨가된 물량이 많을수록 용액 중에서 GPTMS와 MPTMS의 가수분해 및 중축합반응을 촉진시켜 용액의 점도를 향상시키므로, 코팅 막의 두께가 두꺼워지기 때문으로 판단된다.

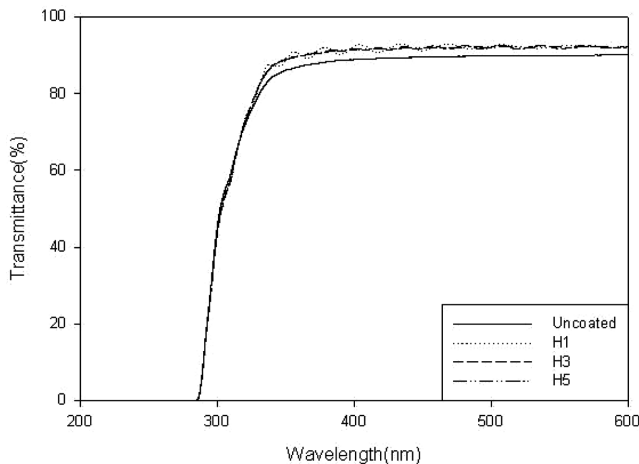


Fig. 7. Light transmittance of polycarbonate sheets prepared from coating solutions with different H<sub>2</sub>O content.

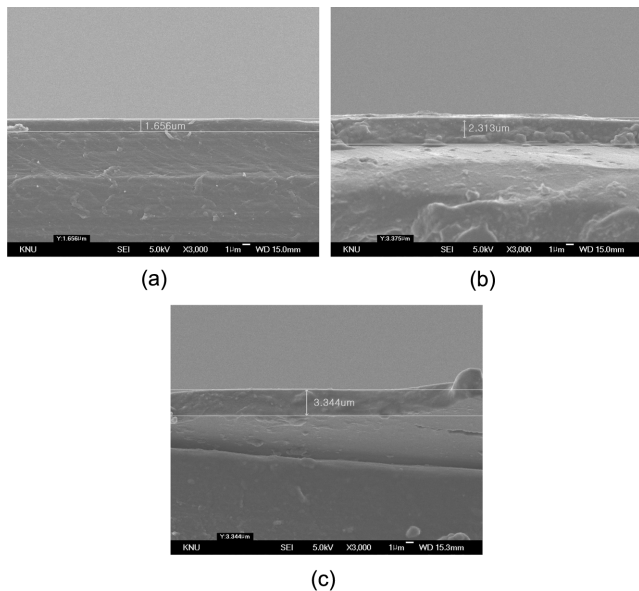


Fig. 8. SEM photomicrographs of cross sections of polycarbonate sheets prepared from coating solutions with different H<sub>2</sub>O content. (a) H3, (b) H5, and (c) H7.

#### 4. 결 론

플라스틱 시트 표면의 약한 표면강도를 보완할 수 있는 하드 코팅 용액을 sol-gel법을 이용해 제조하였다. 코팅 용액은 실란커플링제인 GPTMS와 MPTMS를 혼합하여 제조하였다. 그 후 기재인 PC 시트에 스핀 코팅시키고, 열 경화시켜 하드 코팅 막을 제조하였다. 이 과정 중 코팅 용액 중의 GPTMS와 MPTMS의 몰 비 변화와 H<sub>2</sub>O의 첨가량 변화가 코팅 막의 물성에 미치는 영향을 살펴보았다.

(1) GPTMS 또는 MPTMS를 단독으로 사용하여 코팅 용액을 제조한 경우 코팅 막이 형성되지 않았으나, GPTMS와 MPTMS가 혼합된 코팅 용액들은 투명하며, 장시간 동안 겔화되지 않고 코팅이 가능한 안정된 상태를 보였다.

(2) GPTMS와 MPTMS가 5:5의 몰 비로 제조된 코팅 용액으로 PC 시트 위에 코팅한 경우가 다른 조건으로 제조된 코팅 용액보다 우수한 연필경도 및 기재와의 부착력을 나타냈다.

(3) H<sub>2</sub>O 첨가량을 변화시켜 제조된 코팅 막은 H<sub>2</sub>O의 첨가량이 증가할수록 연필경도는 증가하였으나, 기재와의 부착력이 감소하였다.

#### 감 사

본 연구는 에너지관리공단의 “저가용 금속알콕사이드 합성 및 이를 이용한 에너지 절약형 유리타일” 연구의 일환으로 연구되었습니다.

#### 참고문헌

- Cheong, I. Y., Cho, K. I., Cheong, S. H., Park, H. N. and Song, K. C., “Preparation of Hard Coating Solutions with High Refractive Index for Polycarbonate Sheet by the Sol-Gel Method,” *Korean Chem. Eng. Res.*, **45**(4), 335-339(2007).
- 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**(6), 643-648(2001).
- Brinker, C. J. and Scherer, G. W., *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*, Academic Press, Boston(1990).
- Lee, D. I., Jang, S. H. and Song, K. C., “Preparation of Hydrophilic Inorganic-Organic Hybrid Coating Solutions by Sol-Gel Method,” *Korean Chem. Eng. Res.*, **41**(6), 768-772(2003).
- Kim, D. H., Song, K. C., Chung, J. S. and Lee, B. S., “Preparation of Hard Coating Solutions using Colloidal Silica and Glycidoxypopyl Trimethoxysilane by the Sol-Gel Method,” *Korean Chem. Eng. Res.*, **45**(5), in press(2007).
- ASTM D 3359, “Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test,” ASTM International.
- Park, J. K., Song, K. C., Kang, H. U. and Kim, S. H., “Preparation of Hydrophilic Coating Film Using GPS(Glycidoxypopyl Trimethoxysilane),” *Korean Chem. Eng. Res.*, **40**(6), 735-740(2002).
- Song, K. C., Park, J. K., Kang, H. U. and Kim, S. H., “Synthesis of Hydrophilic Coating Solution for Polymer Substrate Using Glycidoxypopyltrimethoxysilane,” *J. Sol-Gel Sci. Tech.*, **27**, 53-59(2003).
- Jeon, S. J., Kim, W., Lee, J. J. and Koo, S. M., “Reparation and Characterization of Hard Coating Materials Based on Silane Modified Hybrid materials,” *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **17**(6), 580-585(2006).