

## 콜로이드 실리카를 이용한 UV 경화형 친수성 코팅 도막 제조

양준호 · 송기창<sup>†</sup>

건양대학교 의료신소재학과  
32992 충청남도 논산시 대학로 121  
(2017년 10월 16일 접수, 2017년 10월 26일 수정본 접수, 2017년 11월 7일 채택)

### Preparation of UV-Curable Hydrophilic Coating Films Using Colloidal Silica

Jun Ho Yang and Ki Chang Song<sup>†</sup>

Department of Biomedical Materials, Konyang University, 121, Daehak-ro, Nonsan, Chungnam, 32992, Korea  
(Received 16 October 2017; Received in revised form 26 October 2017; accepted 7 November 2017)

#### 요 약

알코올에 분산된 콜로이드 실리카를 아크릴 단량체인 pentaerythritol triacrylate (PETA)와 혼합시킴에 의해 UV 경화형 친수성 코팅 용액을 제조하였다. 또한 이 친수성 코팅 용액을 PC 기재 위에 스핀코팅 시킨 후 10 min 동안 UV 경화시킴에 의해 친수성 코팅 도막이 제조되었다. 이 과정 중 코팅 용액 중의 콜로이드 실리카 양을 10-50 g으로 변화시켜 코팅 도막의 친수성에 미치는 영향을 살펴보았다. 그 결과 코팅 용액 중의 콜로이드 실리카 양은 코팅 도막의 친수성에 큰 영향을 미치며, 콜로이드 실리카 양이 30 g인 경우에 37°의 가장 낮은 접촉각과 H의 우수한 연필경도를 나타내었다.

**Abstract** – UV-curable hydrophilic coating solutions were prepared by mixing colloidal silica dispersed in alcohol with an acrylic monomer, pentaerythritol triacrylate (PETA). Hydrophilic coating films were also prepared by spin coating the hydrophilic coating solutions on PC substrates and UV curing for 10 minutes subsequently. The effect of the amount of colloidal silica in the coating solutions, which was varied from 10 g to 50 g, was investigated on the hydrophilic properties of UV-cured coating films. The results showed that the amount of colloidal silica had a great influence on the hydrophilic properties of UV-cured coating films and the coating film prepared with 30 g of colloidal silica showed a lowest contact angle of 37° and an excellent pencil hardness of H.

Key words: Hydrophilic coating solutions, Colloidal silica, Hydrophilic coating films, Organic-inorganic hybrid, UV-curable, Pentaerythritol triacrylate

#### 1. 서 론

저온의 환경 상태에서 고온 다습한 곳으로 이동할 때 고체의 표면 온도가 대기의 이슬점 보다 낮은 경우에는 공기 중에 있는 수증기가 고체의 표면에 응축되는 현상이 발생되는데 이를 김서림[1]이라 한다. 이러한 김서림 현상이 PMMA, PET나 PC와 같은 투명 플라스틱의 표면에 발생하면 응축된 수증기로 인한 빛의 산란으로 투명성이 저하되어 사용 시에 큰 장애를 일으키게 된다[2, 3]. 이러한 문제를 해결하기 위해서 두 가지 방법이 사용되는데 한 방법은 수증기가 응축되지 않도록 고체의 표면을 가열하는 것이며, 다른 방

법은 투명 플라스틱의 표면을 친수성 물질로 코팅하는 것이다[4]. 전자의 방법이 효율적이나 에너지 비용이 많이 들어 사용에 제한이 있다.

친수성 코팅이란 계면활성제나 친수성 고분자를 플라스틱 표면에 도포하여 물방울이 표면에 맺히지 않고 퍼지도록 하여 제거하는 방법을 말한다[5]. 그러나 이 물질 자체만으로는 플라스틱 표면에 고정되어 지속적으로 코팅을 유지하지 못하므로 지속성이 떨어진다[6]. 이를 보완하기 위해 지금까지 여러 연구자들이 졸-겔법과 같은 습식 화학공정을 이용해 유-무기 혼성물질을 제조해 장기 지속성을 나타내는 친수성 코팅 필름을 제조하였다. Park 등[7]은 콜로이드 실리카와 에폭시실란을 반응시켜 장기 친수성을 보이는 유-무기 혼성 코팅용액을 합성하여 PET 필름 위에 코팅한 후 산성 조건으로 제조된 코팅용액이 중성이나 염기성 조건으로 제조된 경우 보다 우수한 친수성을 보인다고 주장하였다. Lee 등[8]은 무기물 콜로이드 실리카 용액(Ludox)에 아미노계 실란커플링제인 3-aminopropyltriethoxysilane

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

E-mail: songkc@konyang.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

을 첨가하여 유-무기 혼성 코팅용액 제조에 대한 연구를 수행하였다. 그들은 산성과 중성인 조건에서 제조된 경우에는 순간적으로 겔이 되어 고분자 필름 위에 코팅할 수 없었으나, 염기성 조건에서 만들어진 코팅용액은 코팅이 잘되며, 우수한 친수성을 보인다고 보고하였다. 또한 Lee 등[5]은 콜로이드 실리카에 아미노실란, 에폭시 실란과 아크릴실란을 각각 반응시켜 친수성 코팅 용액을 제조하여 에폭시실란이나 아크릴실란을 사용한 경우에는 친수성이 우수하나 아미노실란을 사용한 경우에는 겔화가 일어나 코팅 용액을 제조할 수 없었다고 보고하였다.

친수성 코팅용액의 경화 방식으로는 열에너지를 이용해 경화시키는 열경화법과가시광선 보다 파장이 짧은 UV 광을 이용해 경화시키는 UV 경화법이 있다[9]. 위에서 살펴본 장기 지속성을 나타내는 친수성 코팅 필름에 관한 연구[5,7,8]에서는 열경화법을 사용하였으며 UV 경화법을 사용하여 친수성 필름을 제조한 경우는 거의 보고되지 않았다. UV 경화법은 경화가 수분 내에 이루어지므로 건조 오븐 내에서 고온, 장시간의 경화 조건을 필요로 하는 열경화법에 비해 경화속도가 빨라 생산성이 향상되며, 에너지가 절감되는 장점이 있다[9]. 또한 UV 경화법은 열을 직접적으로 가하지 않으므로 열가소성 플라스틱, 목재, 종이 등의 고온 열경화가 곤란한 기재에도 코팅이 가능하다는 장점이 있다[9].

본 연구에서는 이전의 연구들과는 달리 친수성 코팅 용액의 경화 방식으로 UV 경화법을 사용하였다. 먼저 알코올에 분산된 콜로이드 실리카를 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTMS)와 같은 실란커플링제를 반응시켜 무기물을 제조하였고, 3관능성 아크릴 단량체인 pentaerythritol triacrylate (PETA)를 유기물로 사용하였다. 그 후 이 무기물과 유기물을 혼합하여 유-무기 혼성 코팅용액을 제조한 후 이를 polycarbonate (PC) 기재 위에 스핀코팅 후 UV 경화를 실시하여 친수성 코팅 필름을 제조하였다. 이 과정 중 무기물인 콜로이드 실리카의 첨가량과 실란커플링제 종류 변화 등의 제조 변수가 코팅 필름의 물성에 미치는 영향을 살펴보았다.

## 2. 실험

### 2-1. 재료

본 연구에서는 친수성을 나타내기 위한 무기물 나노입자로서 10~20 nm 크기의 실리카 나노입자가 각각 메탄올, 에탄올 및 이소프로판올에 분산되어 있는 다양한 종류의 콜로이드 실리카(SS-SOL 30OMAC, SS-SOL 30OEAC, SS-SOL 30OPAC, 30 wt%, S-CHEMTECH Co.)를 사용하였다. 또한 실란커플링제로는 3-glycidoxypolypropyltrimethoxysilane (GPTMS, 99.9%, Sigma-Aldrich), 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTMS, 99.9%, Sigma-Aldrich), methyltrimethoxysilane (MTMS, 99.9%, Sigma-Aldrich)과 vinyltrimethoxysilane (VTES, 98%, Sigma-Aldrich)을 사용하였다. 광경화를 위한 아크릴 단량체로는 pentaerythritol triacrylate (PETA, Sigma-Aldrich)를 사용하였고 광개시제는 X-CURE® PI-981 (CHEMPIA)를 사용하였다.

### 2-2. 친수성 코팅 용액과 코팅 도막의 제조

먼저 교반기와 냉각기, 온도계 등을 1 L 용량의 4구 반응기에 장착한 후 알코올에 분산된 콜로이드 실리카(10~50 g)와 실란커플링제(10 g)를 첨가하고 70 °C로 유지되는 항온조에서 3 hr 동안 반응

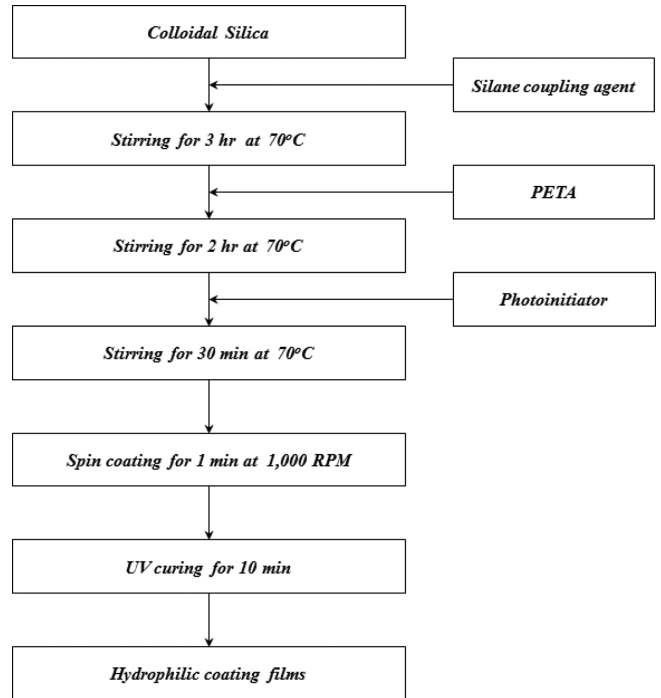


Fig. 1. Experimental procedure for preparation of UV-curable hydrophilic coating solutions.

하였다. 교반된 용액에 3관능성 아크릴 단량체인 PETA를 첨가하고 70 °C에서 2 hr 동안 교반한 후 광개시제를 첨가하여 70 °C에서 30 min 동안 교반하여 광경화형 친수성 코팅 용액을 제조하였다(Fig. 1). 그 후 이 용액을 두께 1 mm인 polycarbonate (PC) 기재 위에 spin coater (spin1200, Midas)를 사용하여 1,000 RPM으로 1 min 동안 스핀코팅 하였다. 또한 UV 경화를 위해 UV-A 영역인 365 nm 파장을 사용하여 10 min 동안 UV 경화시켜 코팅 필름을 제조하였다. 이때 수은 램프의 세기는 2.51 J/cm<sup>2</sup>로 조절하였다.

### 2-3. 분석방법

#### 2-3-1. 투과율

여러 조건으로 제조된 시료의 가시광선 영역에서의 투과율 변화를 측정하기 위해 코팅 용액들을 PC 기재 위에 코팅하고 UV 경화시켜 코팅 도막으로 제조한 뒤, UV-Visible Spectrometer (UV-2450, Shimadzu)를 사용하여 200~800 nm 파장의 범위에서 투과율을 측정하였다.

#### 2-3-2. 접촉각

코팅 도막의 접촉각을 측정하기 위하여 접촉각 측정기(Phoenix-Mini, Surface Electro Optics)를 사용하여 관찰하였다. Zoom microscope를 이용하여 표면의 영상을 최적의 배율이 되도록 확대시키고 표면에 물방울을 떨어뜨린 후 모니터와 SurfaceWare9 프로그램을 이용하여 정량적으로 해석하여 접촉각을 측정하였다. 그 후 컴퓨터와 CCD camera를 연결한 후 측정된 영상을 frame grabber를 이용하여 컴퓨터에 전송한 데이터를 PC 화면에서 관찰하여 접촉각을 측정하였다.

#### 2-3-3. 연필경도

연필경도는 연필경도 측정기(CT-PC1, Core Tech., Korea)에 연

필경도 측정용 연필을 45° 각도로 끼우고, 일정 하중(500 g)을 가하여 5~8회 정도 밀어 급힘 정도를 확인 하면서 측정하였다. 연필은 Mitsubishi 연필을 사용하였는데, H-9H, F, HB, B-6B 등의 강도를 나타내는 연필을 사용하였다.

#### 2-3-4. 부착력

코팅 도막의 부착력은 ASTM D 3359에 의하여[10] UV 경화된 코팅 도막 층에 cutter로 바둑판 모양의 홈을 낸 후 그 위에 3 M 테이프를 잘 밀착시켜 일정한 힘으로 여러 번 떼어내어 코팅 층과 기재와의 부착정도를 관찰하였다. 코팅된 지지체 표면에 1 mm 간격으로 11×11로 십자형으로 칼집을 내어 100개의 정방형을 만들고, 그 위에 테이프를 부착한 후 급격히 잡아 당겨 표면을 평가하였다. 남은 눈 수의 개수가 100개면 5B, 95개 이상이면 4B, 85개 이상은 3B, 65개 이상은 2B, 35개 이상은 1B, 그 이하는 0B로 나타내었다.

#### 2-3-5. 미세구조

코팅 도막의 표면 형상을 광학현미경(CX31, OLYMPUS)을 사용하여 100배로 관찰하였다.

#### 2-3-6. FT-IR 분석

FT-IR (Cary 630, Agilent Technologies)을 사용하여 콜로이드 실리카 중의 나노입자의 표면이 실란커플링제로 표면개질되었는지의 여부를 확인하였다.

### 3. 결과 및 토론

#### 3-1. 콜로이드 실리카 첨가량이 코팅 도막의 물성에 미치는 영향

콜로이드 실리카는 나노미터 크기(10~20 nm)의 비정질 실리카 입자가 물이나 알코올 등의 용매에 분산되어 있는 분산체이다[11]. 실리카 입자는 표면이 OH기로 둘러싸인 무기물 나노입자로 친수성을 나타내며, NaOH나 NH<sub>4</sub>OH와 같은 염기를 사용하여 염기성 pH 조건으로 안정화되어 있다. 이전의 열경화형 코팅[5,7,8]에서는 분산매가 물인 콜로이드 실리카를 사용하였으나, UV 경화형 코팅에서는 분산매가 물인 콜로이드 실리카를 사용하게 되면 유기물인 PETA와 혼합되지 못해 상분리가 일어나므로 알코올이 분산매인 콜로이드 실리카를 사용하였다. 본 절에서는 분산매가 메탄올인 콜로이드 실리카 SS-SOL 30OMAC을 사용하였으며, 코팅 용액의 조성 중의 콜로이드 실리카 양을 Table 1과 같이 10~50 g으로 변화시켜

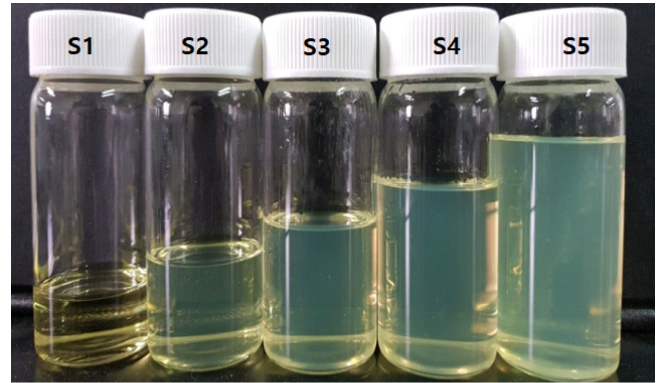


Fig. 2. Photographs of UV-curable hydrophilic coating solutions prepared with different amounts of colloidal silica in Table 1.

S1, S2, S3, S4, S5의 5종의 코팅 용액을 제조하여 조성 변화가 UV 경화된 친수성 필름의 물성에 미치는 영향을 살펴보았다. 여기서 콜로이드 실리카 양을 10~50 g으로 조절 한 이유는 Table 1에서 볼 수 있듯이 실리카 입자의 표면을 개질하기 위한 실란커플링제의 양을 10 g으로 고정하였기 때문에 이 양으로 표면개질이 가장 잘 될 수 있는 콜로이드 실리카 최적 량을 찾기 위해서이다.

Fig. 2는 콜로이드 실리카 양을 10~50 g으로 변화하여 제조된 Table 1의 S1, S2, S3, S4, S5 시료의 사진이다. 그림에서 보는 것처럼 모든 용액이 투명한 상태를 확인할 수 있으며 실리카 양이 많아질수록 용액의 부피가 커짐을 알 수 있었다.

Fig. 3은 콜로이드 실리카 양을 조절하여 제조한 친수성 코팅 용액으로 PC 기재위에 코팅한 도막의 투과율 분석 결과이다. PC 기재의 투과율은 가시광선 영역에서 90%로 높은 투과율을 나타내었다. 그러나 실리카 양이 10 g과 20 g으로 적게 첨가된 S1과 S2 시료의 경우 평균 투과율이 각각 55%와 80%의 낮은 투과율을 나타내었다. 그러나 실리카 양이 30 g이상으로 첨가된 S3, S4, S5 시료는 PC 기재와 같이 90%의 높은 평균 투과율을 나타내었다. 이를 통해 실리카 양이 30 g 이상 첨가되어야만 코팅 도막의 투과율이 향상된다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 4는 콜로이드 실리카 양을 조절하여 제조된 친수성 코팅 용액을 PC 기재 위에 코팅하여 얻어진 코팅 도막을 광학 현미경을 이용하여 100배로 관찰한 표면 사진이다. 콜로이드 실리카 첨가량이 적은 S1과 S2 시료의 표면에는 콜로이드 입자들이 응집되어 있는 구조를 보였으나 콜로이드 실리카가 일정량 이상 첨가된 S3, S4,

Table 1. Synthesis conditions of UV-curable hydrophilic coating solutions

Sample code	Type of dispersion medium of colloidal silica	Colloidal silica (g)	MPTMS (g)	GPTMS (g)	MTMS (g)	VTES (g)	PETA (g)
S1	Methanol	10	10	0	0	0	5
S2	Methanol	20	10	0	0	0	5
S3	Methanol	30	10	0	0	0	5
S4	Methanol	40	10	0	0	0	5
S5	Methanol	50	10	0	0	0	5
S6	Methanol	30	10	0	0	0	5
S7	Ethanol	30	10	0	0	0	5
S8	Isopropanol	30	10	0	0	0	5
S9	Methanol	30	10	0	0	0	5
S10	Methanol	30	0	10	0	0	5
S11	Methanol	30	0	0	10	0	5
S12	Methanol	30	0	0	0	10	5

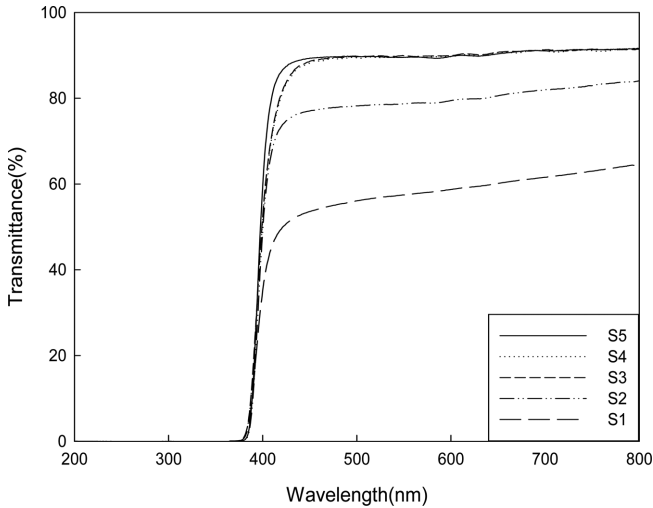


Fig. 3. UV-visible transmittance spectra of UV-cured hydrophilic coating films prepared with different amounts of colloidal silica.

S5 시료는 콜로이드 실리카의 응집 현상이 없는 매끈한 표면 구조를 보였다. 이런 콜로이드 실리카 입자들의 응집현상으로 인해 Fig. 3에서 S1과 S2 시료의 투과율이 낮게 됨을 알 수 있었다.

Fig. 5는 콜로이드 실리카 양을 조절하여 제조한 친수성 코팅 용액을 PC 기재 위에 코팅하여 얻어진 코팅 도막의 물 접촉각 사진이다. S1, S2, S3, S4, S5 시료의 접촉각은 각각 60°, 56°, 37°, 41°, 56°로 나타났으며 S3 시료의 접촉각이 37°로 가장 적어, 친수성이 가장 우수함을 알 수 있었다. 실리카 첨가량이 10 g에서 30 g으로 증가할수록 도막의 접촉각은 감소하였으나 40 g 이상으로 과량 첨가 시

에는 오히려 접촉각이 증가하여 실리카 첨가량에는 최적치가 있음을 알 수 있었다. 이는 친수성을 나타내는 무기물인 콜로이드 실리카를 유기물인 PC 기재 위에 고정시키기 위해 실란커플링제인 MPTMS 일정량(10 g)으로 실리카 입자를 표면개질 하였는데 MPTMS 10 g으로 표면개질 가능한 콜로이드 실리카의 최적 양이 30 g임을 의미한다.

Fig. 6은 콜로이드 실리카 양을 조절하여 제조한 친수성 코팅 용액을 FT-IR을 사용해 분석한 결과이다. 콜로이드 실리카 첨가량이 많아질수록 3,400 cm<sup>-1</sup> 영역의 OH기의 피크 세기가 증가하였다. 또한 모든 시료에서 2,982 cm<sup>-1</sup>와 1,703 cm<sup>-1</sup>에서 흡수 피크를 발견할 수 있는데 이는 실란커플링제인 MPTMS의 -CH<sub>3</sub>기와 -C=O 결합을 각각 나타낸다[12]. 이 결과로부터 모든 시료에 있어 콜로이드 실리카 표면이 MPTMS로 표면개질이 이루어졌음을 알 수 있다.

Table 2은 콜로이드 실리카 양을 조절하여 제조한 UV 경화형 코팅 도막의 연필경도와 부착력을 측정된 결과이다. 코팅 되지 않은 PC 기재의 연필경도는 B인 반면 모든 시료의 연필경도는 H로 3단계 상승하였다. 또한 대부분의 시료들의 부착력은 5B로 우수한 반면 콜로이드 실리카가 50 g으로 과량 첨가된 S5 시료의 경우 4B로 부착력이 좋지 않았다. 이는 콜로이드 실리카 첨가량(50 g)에 비해 MPTMS의 양(10 g)이 상대적으로 적어 실리카 표면이 충분히 MPTMS로 표면개질 되지 못해 부착력이 좋지 못한 것으로 판단된다.

### 3-2. 콜로이드 실리카의 분산매 종류가 코팅 도막의 물성에 미치는 영향

본 연구에서는 앞서 진행된 콜로이드 실리카 첨가량 변화 실험에서 최적치인 30 g의 조건에서 콜로이드 실리카의 분산매 종류를 Table 1과 같이 메탄올, 에탄올 및 이소프로판올로 각각 변화시켜 S6, S7, S8

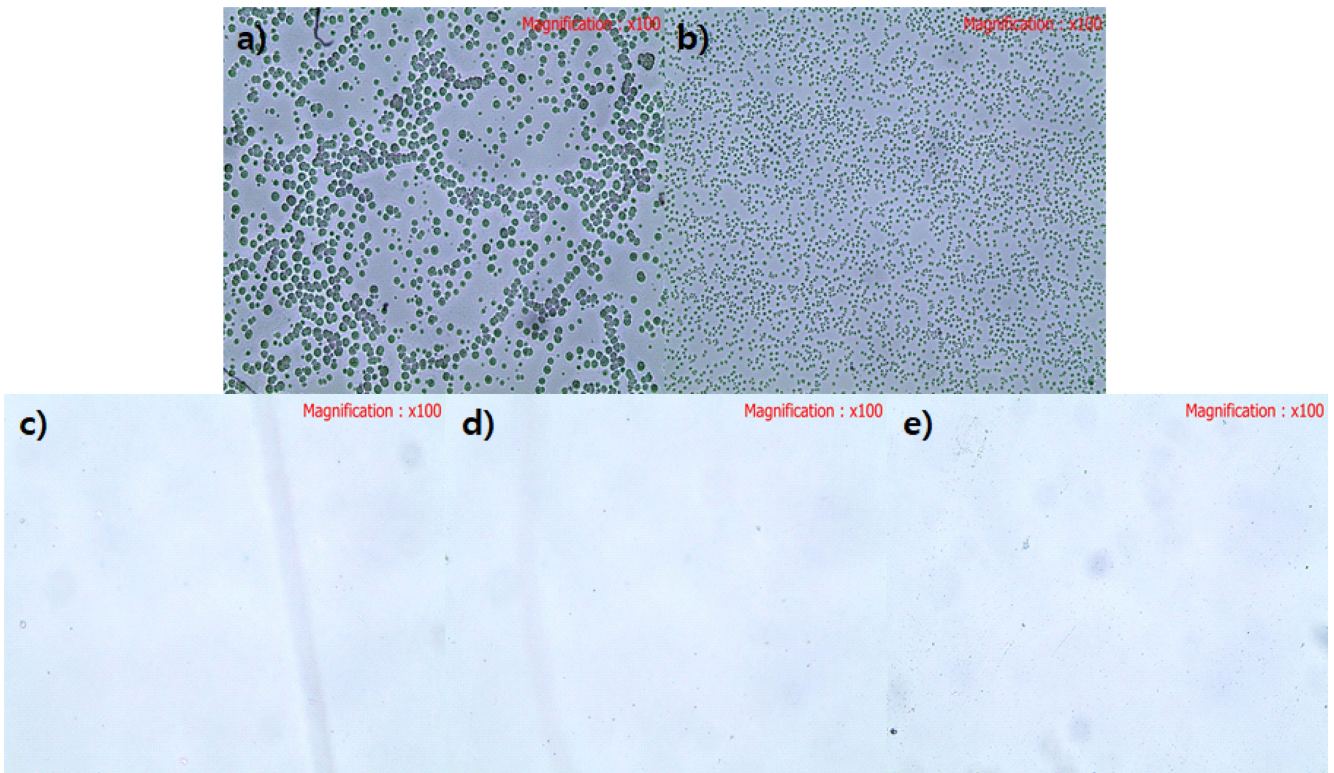


Fig. 4. Optical images of surfaces of coating films prepared with different amounts of colloidal silica. a) S1, b) S2, c) S3, d) S4, e) S5 in Table 1.

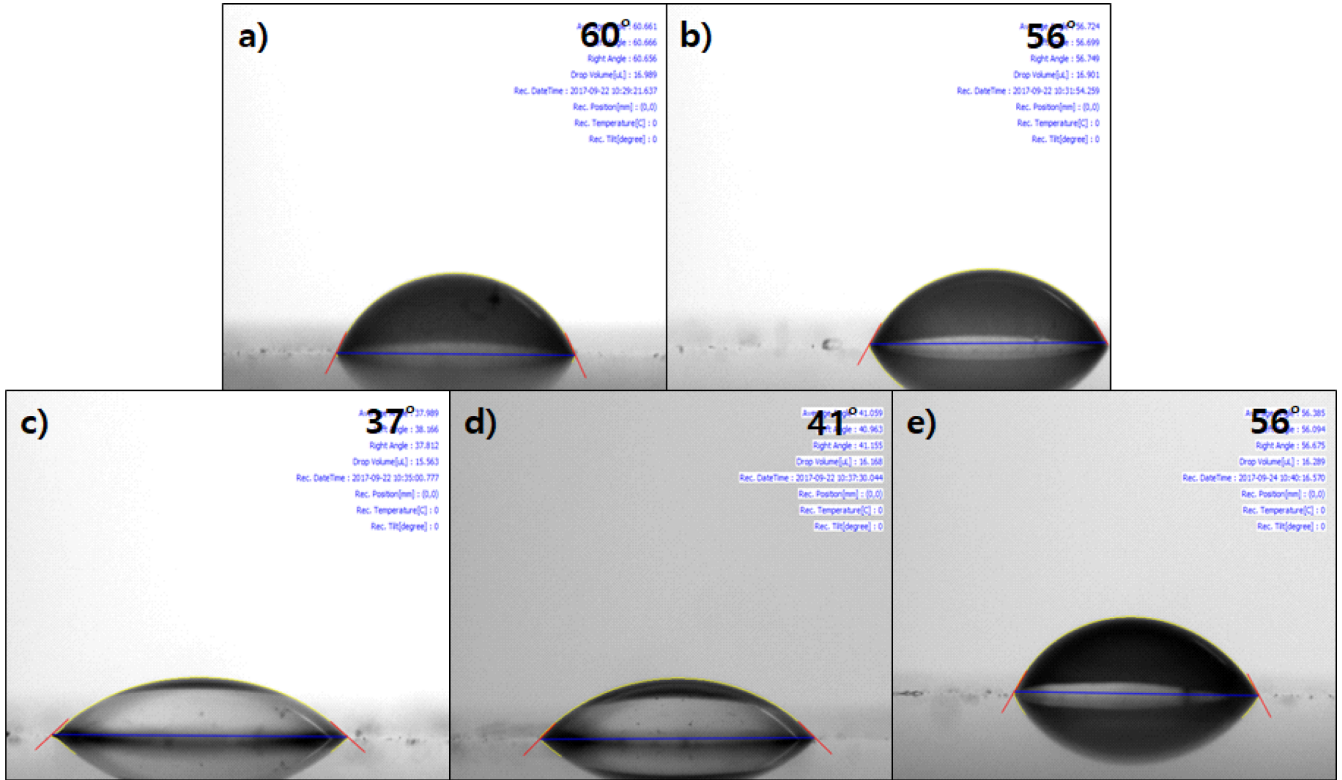


Fig. 5. Contact angles of UV-cured hydrophilic coating films prepared with different amounts of colloidal silica. a) S1, b) S2, c) S3, d) S4, e) S5 in Table 1.

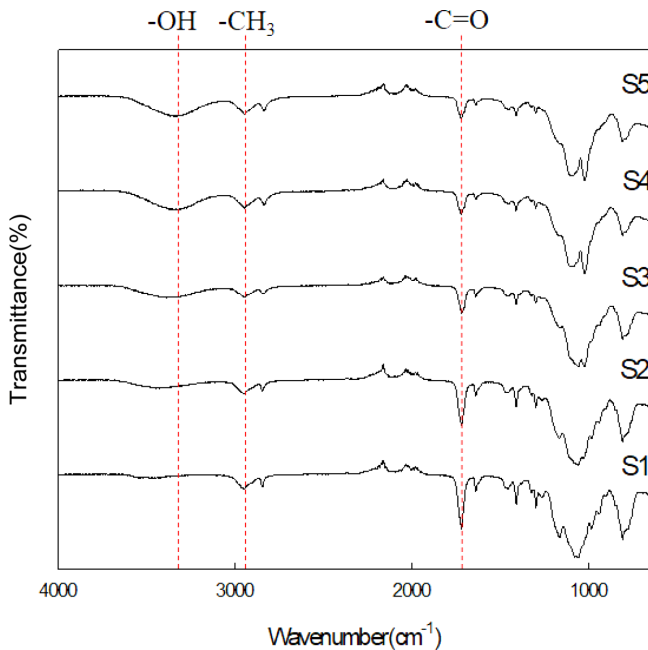


Fig. 6. FT-IR spectra of UV-curable hydrophilic coating solutions prepared with different amounts of colloidal silica.

의 세 종류의 코팅 용액을 제조하여 콜로이드 실리카 분산매의 종류가 코팅 도막의 물성에 미치는 영향을 살펴보았다.

Fig. 7은 콜로이드 실리카의 분산매 종류를 메탄올, 에탄올과 이소프로판올로 각각 변화시켜 제조한 친수성 코팅 용액의 사진이다. 그림에서 보는 것처럼 모든 용액은 침전이 없는 반투명한 용액이 제조되었다.

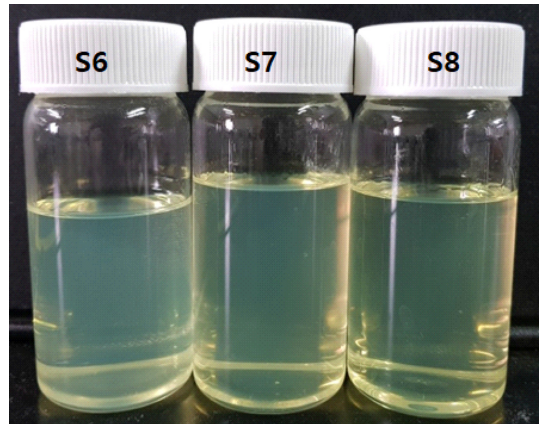


Fig. 7. Photographs of UV-curable hydrophilic coating solutions prepared with different types of dispersion medium of colloidal silica in Table 1.

Fig. 8은 콜로이드 실리카의 분산매 종류를 변화시켜 제조한 코팅 용액으로 PC 기재 위에 코팅한 UV 경화 도막의 투과율 분석 결과이다. PC 기재의 투과율은 가시광선 영역에서 90%로 높은 평균 투과율을 나타내었다. 그러나 콜로이드 실리카 분산매를 에탄올을 사용한 S7 시료는 가시광선 영역에서 80%의 낮은 평균 투과율을 보였으나, 메탄올이나 이소프로판올을 사용한 코팅 도막들(S6, S8)은 PC 기재와 비슷한 90%의 우수한 평균 투과율을 나타내었다.

Fig. 9는 콜로이드 실리카의 분산매 종류를 변화시켜 제조한 UV 경화 도막을 광학 현미경을 이용하여 관찰한 표면 사진이다. S6과 S8 시료의 표면은 실리카 입자들의 응집이 없는 매끈한 구조를 보였으나, 에탄올로 분산된 S7 시료의 표면은 콜로이드 입자들의 응

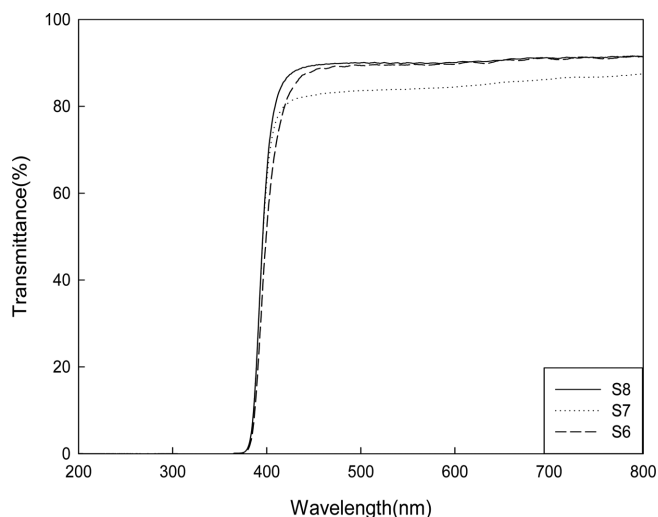


Fig. 8. UV-visible transmittance spectra of UV-cured hydrophilic coating films prepared with different types of dispersion medium of colloidal silica.

집 현상이 발견되었으며, 이로 인해 Fig. 8에서 S7 시료의 평균 투과율이 80%로 낮게 관찰되었다고 판단된다.

Fig. 10은 콜로이드 실리카의 분산매 종류를 변화시켜 얻어진 UV 경화 도막의 수접촉각 분석 결과이다. 분산매의 종류를 메탄올, 에탄올, 이소프로판올로 변화시켜 제조한 도막의 접촉각은 각각 37°, 51°, 56°로 메탄올인 경우가 가장 친수성이 우수하였다. 이 결

Table 2. Pencil hardness and adhesion of UV-cured coating films prepared with different coating solutions

Sample code	Pencil hardness	Adhesion
PC plate	B	-
S1	H	5B
S2	H	5B
S3	H	5B
S4	H	5B
S5	H	4B
S6	H	5B
S7	H	5B
S8	H	5B
S9	H	5B
S10	F	5B
S11	H	5B
S12	H	4B

과로부터 콜로이드 실리카 분산매의 분자량이 증가할수록 UV 경화 도막의 접촉각이 상승함을 알 수 있었다.

Table 2에서는 콜로이드 실리카의 분산매 종류를 변화시켜 제조한 친수성 코팅 용액으로 PC 기재 위에 코팅한 도막들(S6, S7, S8)의 물성 측정 결과를 나타내었는데 세 경우 모두 H의 연필경도와 5B의 부착력을 나타내었다. 이상의 결과로부터 콜로이드 실리카의 분산매 종류가 코팅 도막의 친수성과 투과도에는 영향을 미치나, 코팅 도막의 연필경도 및 부착력에는 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다.

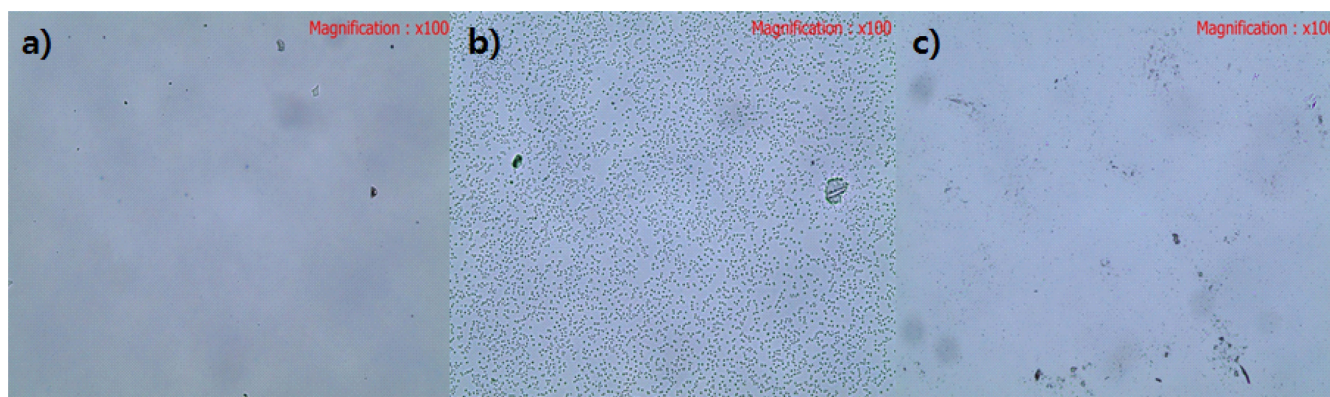


Fig. 9. Optical images of surfaces of coating films prepared with different types of dispersion medium of colloidal silica. a) S6, b) S7, c) S8 in Table 1.

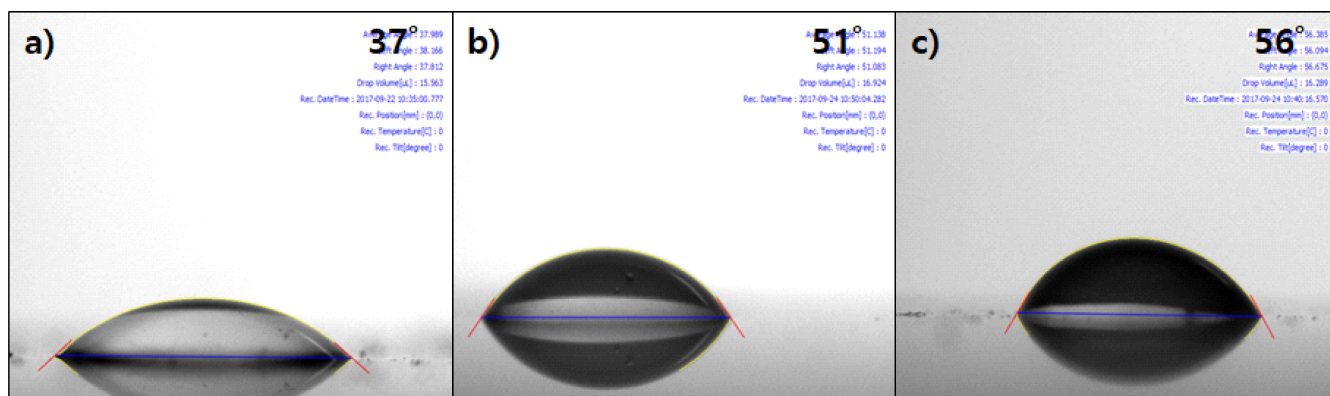


Fig. 10. Contact angles of UV-cured hydrophilic coating films prepared with different types of dispersion medium of colloidal silica. a) S6, b) S7, c) S8 in Table 1.

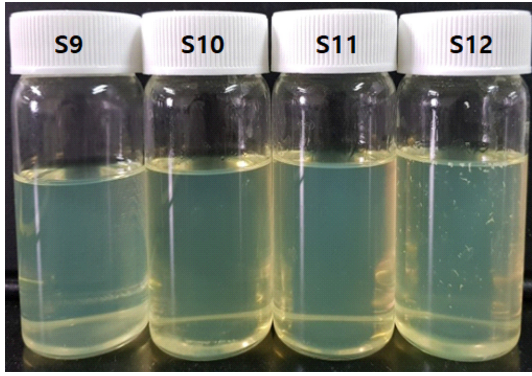


Fig. 11. Photographs of UV-curable hydrophilic coating solutions prepared with different types of silane coupling agents in Table 1.

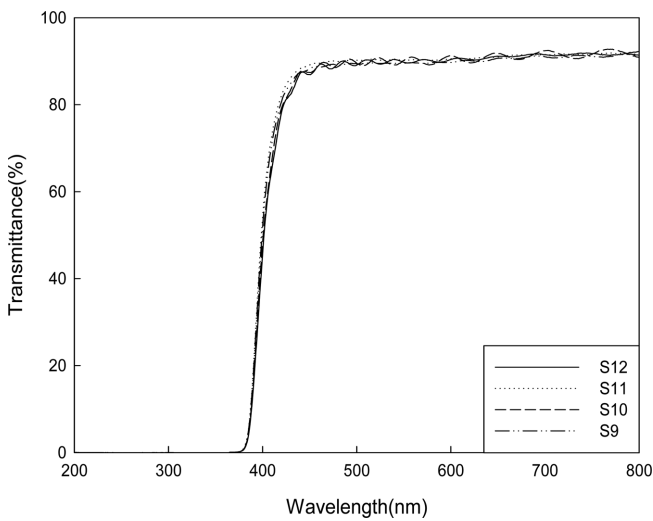


Fig. 12. UV-visible transmittance spectra of UV-cured hydrophilic coating films prepared with different types of silane coupling agents.

3.3. 실란커플링제 종류가 코팅 도막의 물성에 미치는 영향

본 연구에서는 앞서 진행된 콜로이드 실리카 첨가량과 분산매 종류 실험에서 최적치인 30 g과 메탄올 용매 조건에서 콜로이드 실리카를 표면 개질하는 실란커플링제의 종류를 MPTMS, GPTMS, MTMS, VTES로 각각 변화시켜 Table 1의 S9, S10, S11, S12의 4 종류의 코팅 용액을 제조하여 실란커플링제 종류가 코팅 도막의 물성에 미치는 영향을 조사하였다. 여기서 4종류의 실란커플링제를 사용한 이유는 아크릴실란인 MPTMS, 에폭시실란인 GPTMS, 메틸실란인 MTMS와 비닐실란인 VTES 중에서 UV경화 시 가장 물성이 우수한 실란커플링제를 찾기 위해서 이다.

Fig. 11은 실란커플링제 종류 변화에 따라 제조된 친수성 코팅 용액의 사진이다. MPTMS, GPTMS와 MTMS를 사용하여 제조된 용액들은 반투명하고 침전이 없는 안정된 상태를 보여주나 VTES로 만들어진 S12 시료는 침전물이 부유하는 불안정한 상태를 보였다.

Fig. 12는 실란커플링제 종류를 변화시켜 제조한 코팅 도막의 투과율 분석 결과이다. 실란커플링제를 변화시켜 얻어진 S9, S10, S11, S12 시료는 모두 평균 투과율이 가시광선 영역에서 90%로 PC 기재와 같이 높은 투과율을 보였으며, 실란커플링제 종류에 따른 영향은 없었다.

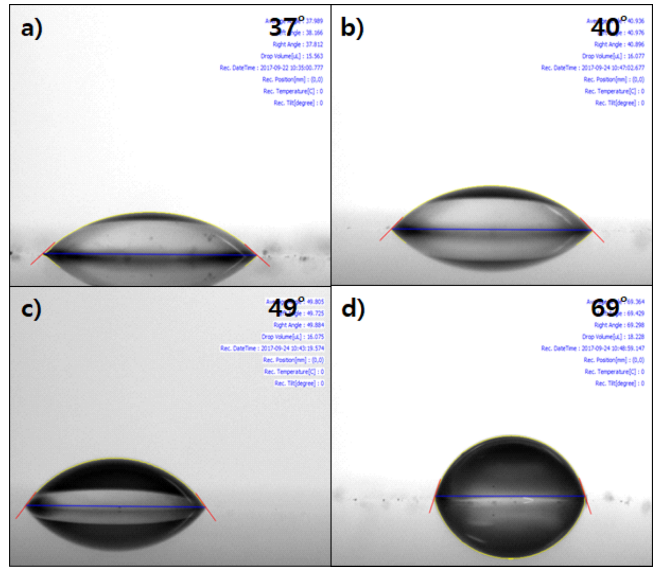


Fig. 13. Contact angles of UV-cured hydrophilic coating films prepared with different types of silane coupling agents. a) S9, b) S10, c) S11, d) S12 in Table 1.

Fig. 13은 실란커플링제 종류를 달리하여 제조한 친수성 용액으로 PC 기재 위에 코팅한 도막의 물에 대한 접촉각 사진이다. MPTMS, GPTMS, MTMS, VTES로 제조된 시료들의 접촉각은 각각 37°, 40°, 49°, 69°로 실란커플링제 종류에 따라 큰 차이를 보였으며, MPTMS를 사용하여 제조된 S9 시료의 접촉각이 37°로 가장 낮아 친수성이 가장 우수하였다. 이는 아크릴실란인 MPTMS가 에폭시실란(GPTMS), 메틸실란(MTMS)이나 비닐실란(VTES)에 비해 UV 경화 시에 우수한 친수성을 나타냄을 알 수 있다. 이러한 결과는 Lee 등[5]이 열경화형 친수성 도막의 제조 시 아크릴실란을 사용한 경우가 에폭시실란을 사용한 경우 보다 친수성이 우수하다고 보고한 연구 결과와 일치한다.

실란커플링제의 종류를 달리하여 제조한 코팅 도막의 물성을 Table 2에 나타내었다. MPTMS와 MTMS를 사용하여 제조된 S9와 S11 시료의 연필경도와 부착력은 H와 5B로 우수한 물성을 나타내었으나 GPTMS를 사용한 S10 시료는 연필경도가 F로 좋지 못했으며 또한 VTES를 사용한 S12 시료의 부착력도 4B로 좋지 못하였는데 이는 실란커플링제 종류가 UV 경화 시에 코팅 도막의 물성에 큰 영향을 미침을 의미한다.

4. 결 론

알코올에 분산된 콜로이드 실리카를 아크릴 단량체인 PETA와 반응시켜 유-무기 혼성 용액을 제조하여 PC 기재 위에 코팅한 후 UV 경화시켜 친수성 코팅 도막을 제조하였다. 이 과정 중 반응 변수가 코팅 도막의 물성에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 콜로이드 실리카 양을 10~50 g으로 변화시켜 제조된 시료들의 접촉각은 각각 60°, 56°, 37°, 41°, 56°로 콜로이드 실리카 양이 30 g으로 제조된 시료의 접촉각이 가장 낮아 친수성이 가장 우수함을 알 수 있었다. 콜로이드 실리카 양을 조절하여 제조한 친수성 코

팅 용액을 FT-IR을 사용해 분석한 결과 모든 시료에 있어 콜로이드 실리카 표면이 MPTMS로 표면개질이 이루어졌음을 알 수 있었다.

(2) 콜로이드 실리카 양을 30 g으로 고정한 조건에서 실리카 나노입자가 분산된 분산매의 종류를 메탄올, 에탄올, 이소프로판올로 각각 변화시켜 제조된 코팅 도막의 접촉각은 각각 37°, 51°, 56°로 메탄올에 분산된 경우가 가장 친수성이 우수하였다. 그러나 코팅 도막의 연필경도와 부착력은 콜로이드 실리카 분산매의 종류에 따라 큰 차이를 보이지 않았다.

(3) 실란커플링제 종류를 MPTMS, GPTMS, MTMS, VTES로 각각 달리하여 제조된 코팅 도막의 접촉각은 각각 37°, 40°, 49°, 69°를 보여 아크릴실란인 MPTMS로 제조된 경우가 가장 낮은 접촉각을 보여 친수성이 가장 우수하였다.

## 감 사

본 연구는 중소기업청 기술혁신개발사업(과제번호 : S2219716)의 연구지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

- Jang, S. H., "Functional Silicon Coating Materials," *Polymer Science and Technology*, **12**(5), 676-688 (2001).
- Song, K. C., Park, J. K., Kang, H. U. and Kim S. H., "Synthesis of Hydrophilic Coating Solution for Polymer Substrate using Glycidoxypropyltriethoxysilane," *J. of Sol-Gel Sci. and Tech.*, **27**, 53-59(2003).
- Chen, G. E., Sun, L., Xu, Z. L., Yang, H., Hunag, H. H. and Liu, Y. J., "Surface Modification of Poly(vinylidene fluoride) Membrane with Hydrophilic and Anti-Fouling Performance via a Two-Step Polymerization," *Korean J. Chem. Eng.*, **32**(12), 2492-2500(2015).
- Yuan Y., Liu R., Wang C., Luo J. and Liu X., "Synthesis of UV-Curable Acrylate Polymer Containing Sulfonic Groups for Anti-Fog Coatings," *Progress in Organic Coatings*, **77**, 785-789(2014).
- Lee, B. H, Kim, E. K., Lee, S., Lim, H. J. and Lee, I. P., "Effect of the Types of Silane Coupling Agents on the Properties of the Hydrophilic Coating Films," *Korean Chem. Eng. Res.*, **54**(2), 163-170(2016).
- Lee, S., Kim, S. H. and Hwang H., "Effect of Nanosilica and TEOS in Hydrophilic Coating Solution on the Surface Characteristics of Solar Cell Glass Panel," *J. of Korean Oil Chemists' Soc.*, **34**(1), 152-162(2017).
- Park, J. K., Song, K. C., Kang, H. U. and Kim, S. H., "Preparation of Hydrophilic Coating Film Using GPS(Glycidoxypropyl Trimethoxysilane)," *Korean Chem. Eng. Res.*, **40**(6), 735-740(2002).
- 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).
- Hwang, J. H. and Song, K. C., "Preparation of UV-Curable Organic-Inorganic Hybrid Hard Coating Films Using Alumina sols and Acrylate Monomers," *Korean Chem. Eng. Res.*, **49**(3), 277-284 (2011).
- ASTM D 3359, "Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test," ASTM International, 927-929(1997).
- Cozzolino, C. A., Castelli, G., Trabattini S. and Farris S., "Influence of Colloidal Silica Nanoparticles on Pullulan-Coated BOPP Film," *Food Packing and Shelf Life*, **8**, 50-55(2016).
- Song, S. K., Kim, J. H., Hwang K. S. and Ha K. R., "Spectroscopic Analysis of Silica Nanoparticles Modified with Silane Coupling Agent," *Korean Chem. Eng. Res.*, **49**(2), 181-186(2011).