

## 나노실리카와 TEOS가 함유된 친수성 코팅액의 태양광 유리패널에 미치는 표면 특성 연구

이 수<sup>1,†</sup> · 김승혜<sup>1</sup> · 황 현<sup>2</sup>

<sup>1</sup>창원대학교 화공시스템공학과

<sup>2</sup>성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스전공

(2017년 2월 14일 접수: 2017년 3월 29일 수정: 2017년 3월 30일 채택)

### Effect of nanosilica and TEOS in hydrophilic coating solution on the surface characteristics of solar cell glass panel

Soo Lee<sup>1,†</sup> · Seung Hye Kim<sup>1</sup> · Heon Hwang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Changwon National University, Changwon, 641-773, Korea

<sup>2</sup>Department of Bio-Mechatronics Engineering, Sungkyunkwan University, 440-746, Korea

(Received February 14, 2017; Revised March 29, 2017; Accepted March 30, 2017)

**요약** : 태양광 발전의 효율을 높이기 위한 실란 커플링제와 나노 무기산화물을 첨가한 계면활성제를 이용한 친수성 코팅액을 제조하여 태양광 모듈의 유리 표면에 도포하여 김서림 방지(antifogging) 및 내오염성(antifouling)을 부여하였다.

1% 친수성 코팅액에 나노 무기산화물인 Ludox<sup>®</sup>를 첨가한 경우 Ludox<sup>®</sup>의 농도에 관계없이 초친수성과 우수한 antifogging 효과를 나타내었다. 그러나 유리에 대한 antifouling 효과는 Ludox<sup>®</sup>를 10% 이상 첨가하였을 때부터 발현되었다. 또한, pH 4에서 가수분해한 TEOS를 첨가한 코팅액의 경우 TEOS를 0.7% 첨가한 경우 steam test 결과 antifogging 효과를 유지하였으며, 코팅한 유리 표면을 젖은 김와이프로 100회 문지른 후에도 pollution test 결과 antifouling 효과를 유지하였다. 또한, AFM을 이용하여 표면 거칠기( $R_q$ )를 확인한 결과 TEOS를 너무 많이 첨가하면 가장 높은 표면 거칠기 값을 보였으며 코팅된 표면의 상태도 매우 불규칙하였다. TEOS가 0.7% 첨가된 경우 비교적 높은 표면 거칠기 값과 안정된 표면 상태를 나타내었다.

결론적으로 김서림 방지 특성만을 위하여는 나노 무기산화물인 Ludox<sup>®</sup>는 필요없으나, antifouling의 효과를 나타내기 위해서는 최소 10%의 Ludox<sup>®</sup>가 첨가되어야 하며, 우수한 내구성을 나타내기 위해서는 0.7%의 TEOS를 첨가해야 한다.

주제어 : 테트라메톡시실란, 루독스<sup>®</sup>, 친수 코팅, 태양광패널, 표면조도

**Abstract** : A hydrophilic coating solution was prepared by adding a silane coupling agent and a nano-inorganic oxide in aqueous surfactant solution to increase the efficiency of photovoltaic

<sup>†</sup>Corresponding author  
(E-mail: [slee@changwon.ac.kr](mailto:slee@changwon.ac.kr))

power generation due to the introduction of antifogging and antifouling properties on the glass surface of the solar cell module.

Addition of Ludox<sup>®</sup>, a nano-inorganic oxide, to 1% hydrophilic coating solution showed improved hydrophilicity and excellent antifogging effect regardless of Ludox<sup>®</sup> concentration. However, the antifouling effect on the glass surface was showed only when Ludox was added more than 10%. In the case of addition of 0.7% of hydrolyzed TEOS at pH 4, the antifogging effect was maintained as a result of the steam test as well as the antifouling effect even after the coated glass surface was rubbed 100 times with a wet Kimwipe. In addition, from the surface roughness ( $R_q$ ) calculated using AFM data, the higher surface roughness with irregular surface shape was obtained with the higher concentration of TEOS. The addition of 0.7% of TEOS showed relatively high surface roughness and well organized surface condition which can help to improve transmittance of light.

In conclusion, Ludox<sup>®</sup> is not required only for the antifogging property. However, at least 10% of Ludox should be added to show antifouling effect and 0.7% of TEOS should be added for good durability.

*Keywords : TEOS, Ludox<sup>®</sup>, Hydrophilic coating, Solar cell panel, Surface roughness*

## 1. 서론

석탄, 석유 등의 화석연료를 대체하기 위한 신 재생에너지원 중에서도 태양광 발전은 친환경적이며, 영구히 사용 가능한 에너지원으로 주목받고 있으며 그 전망도 매우 밝은 편이다[1]. 이러한 태양광 발전은 광전변환소자를 이용하여 태양에너지를 전기로 전환하여 생산하는 발전 방식으로 높은 전력 생산을 위해서는 설치 면적이 넓어야 하며 태양광이 잘 드는 옥외에 설치해야 하기 때문에 모듈 설치 환경에 따라 그 성능의 차이를 보인다[2-5]. 이러한 이유로 외부에 노출로 인해 발생하는 고온 및 온도 변화, 높은 UV 조사, 습기 및 이슬, 풍화, 먼지 및 오염물질 등에 의한 효율을 저하 요인으로부터 모듈 표면을 효과적으로 차단하는 기술의 연구가 최근 부각되고 있다[6-8]. 결국 태양광 효율이 감소된다는 것은 태양빛이 모듈판(유리)을 통하여 투과도가 감소함을 의미하며 이러한 투과도 감소에 대한 여러 요인 중 대표적인 것이 김서림 현상(fogging)과 미세입자에 의한 오염이다.

친유성을 가져 수접촉각이 매우 높은 대부분의 고체 표면이 저온에서 고온다습한 환경으로 전환될 때 표면의 온도는 대기 중 이슬점의 온도보다 낮아져 수증기의 응축으로 인해 표면에서는 다량의 물방울이 생성되는 데 이 현상을 김서림 현상

이라고 정의한다. 빛의 투과도가 중요한 태양광 모듈 유리 뿐 만 아니라 농업, 광학장치, 차량 유리 등 실생활에서도 빈번하게 발생하여 사용상의 문제를 일으킨다[9-11]. 그렇기 때문에 투명한 표면에서 생기는 김서림 현상을 방지하기 위한 연구가 수십 년 전부터 시작하여 지금까지도 이어져 오고 있다. 이러한 점을 해결하기 위한 방법 중 가장 대표적인 것이 표면을 친수성 또는 소수성으로 개질 또는 코팅하는 것이다[12].

소수성 코팅은 물방울이 거의 완벽한 구형의 모양으로 맺히기 때문에 물방울을 표면에서 굴러 떨어지며 표면에 있는 먼지 입자도 함께 제거할 수도 있다는 이점이 있으나 이러한 경우 적절한 거친 표면이 필요한데 이로 인하여 빛의 산란이 증가되어 투과도가 낮아지는 단점이 있다[13]. 반면 친수성 코팅은 물방울이 표면에 맺히지 않고 퍼지도록 하여 제거하는 방법을 말한다. 그리고 이 때 계면활성제 또는 친수성 고분자를 첨가하여 코팅액을 제조하는 방법을 흔히 이용한다. 그러나 문제점은 이 자체만으로는 유리 표면에 고정되어 지속적으로 코팅을 유지하는 힘이 없어 지속성이 떨어진다[13-14]. 무기-유기 혼성물질을 이용하여 친수성에 대한 내구성을 높이는 방법을 이용한 연구를 사례로 들 수 있는데 sol-gel 법을 이용해 무기물인 나노 실리카에 유기물인 APS( $\gamma$ -aminopropyltriethoxysilane)를 첨가하여 장기적

인 친수성을 제고한 것이 대표적인 예이다[15].

다음으로 먼지 등에 의한 표면 오염물질 역시 발전 효율을 15%까지 저하시킨다. 그러므로 유리 표면의 내오염성 코팅은 필수적이라 말할 수 있다[8].

한 연구에서는 PEG가 함유된 고분자와 FAS(fluoroalkyl silane)를 통해 소수화하여 내오염성 및 반사방지 코팅액을 제조하였으며[16], 또 다른 연구에서는 칼륨계 실리케이트염과 알콕시실란, 실란 커플링제 및 나노실리카의 혼합을 이용한 실리케이트계 코팅액을 제조하여 건축재에 활용하고자 하였다[17]. 그러나 소수성 코팅은 투과도를 저하시키는 원인이 될 수 있기 때문에 [12-13] 친수성 고분자인 PVA를 통한 친수성 코팅막을 이용한 내오염성 및 투과도 향상에 대한 연구가 더욱 유리하다고 알려져 있다[18].

하지만 김서림 방지 및 내오염성 등의 기능을 가지는 코팅액이지만 실용화를 위해서는 내구성을 반드시 가져야한다. 이를 위하여 PEAS(perfluoroalkylsilane), TEOS(tetraethoxysilane)와 불소계 고분자를 사용해 유리표면을 소수성으로 만들고 표면에 형성된 코팅 필름의 내구성을 향상시키자 한 연구[19]와 VTES(vinyltriethoxysilane), PTMS(phenyltrimethoxysilane) 등을 사용하여 코팅액과 기판 사이의 접착력을 향상시키는 연구가 활발히 진행 중이다[20].

그러므로 본 연구에서도 친수성 코팅액을 제조하여 김서림 방지 및 내오염성을 부여하고 더불어 이에 대한 내구성 향상을 위한 실란 커플링제와 나노 무기산화물을 첨가한 코팅액을 태양광 모듈의 유리 표면에 도포함으로써 태양광 발전의 효율을 높이려는 최적의 조건을 확립하였다.

## 2. 실험

### 2.1. Materials

태양광 패널용 유리 표면에 코팅을 하기 위한

친수성 코팅액(A series)을 제조하기 위하여 Aldrich Chemical사의 PEG-PPG-PEG, Duksan사의 Tween 20, Span 20, PEG 300을 사용하였다.

또한, 코팅액의 친수성을 나타내기 위해 Aldrich Chemical사의 30 wt% Ludox<sup>®</sup> silica 수 분산용액을 사용하였고 유리와의 접착력을 향상시키기 위하여 사용된 실란 역시 Aldrich Chemical사의 TEOS를 사용하였다.

용매 사용을 위한 에탄올은 Duksan Chemical사의 시약을 사용하였고 유리 세척을 위한 이소프로판올은 Daejung Chemical사의 시약을 그대로 사용하였다.

### 2.2. 친수성 코팅액의 제조

Table 1에 나타낸 바와 같이 Tween 20과 Span 20의 양을 각각 다르게 한 친수성 코팅액을 제조한 후 ethanol과 물을 2:8의 비로 혼합한 용매에 희석하여 친수성 및 antifogging 효과를 확인하였다.

Table 1. Compositions of A series hydrophilic coating solutions

Component (g)	A-1	A-2	A-3
Tween 20	0.1	0.2	0.0
Span 20	0.1	0.0	0.2
PEG-PPG-PEG	0.1		
PEG 300	0.1		

### 2.3. Ludox silica 농도에 따른 코팅액의 제조

Table 2와 같이 Ludox<sup>®</sup> silica를 농도별로 첨가하고 물과 ethanol을 8:2의 비로 혼합한 용매를 혼합하여 S series를 제조하였다.

### 2.4. TEOS의 농도에 따른 코팅액의 제조

유리와의 접착력을 향상시키기 위하여 사용된

Table 2. Compositions of S series coating solutions under various Ludox<sup>®</sup> concentrations

Component (%)	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
A-2	1				
Ludox <sup>®</sup> silica	0	3	7	10	15
Solvent	99	96	92	89	84

Table 3. Compositions of T series coating solutions under various TEOS concentrations

Component (%)	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
A-2	1				
Ludox <sup>®</sup>	10				
TEOS	0	0.3	0.7	1.0	1.5
Solvent	89	88.7	88.3	88	87.5

10 wt% TEOS-에탄올 용액을 이미 본 연구팀이 논문[21]에서 밝힌 바와 같은 최적조건인 *p*-toluene sulfonic acid를 첨가하여 pH 4 조건에서 24 h 이상 가수분해를 실시한 후 Table 1에 나타난 A-2 용액에 Table 3과 같이 Ludox<sup>®</sup> 10% 첨가하고 TEOS를 농도별로 첨가하여 혼합한 T series를 제조하여 친수성 및 내구성을 확인하였다.

## 2.5. 분석방법 및 분석기기

코팅액의 친수성과 내구성을 확인하기 위하여 코팅액을 아래 Fig. 1에 나타난 바와 같은 속도로 Spin Coater(E-FLEX, EF-60P, 한국)를 이용하여 태양광 패널용 유리 표면에 0.25 mL의 코팅액을 떨어뜨려 코팅하였다. 코팅된 slide glass 표면에 물 2  $\mu$ L를 떨어뜨린 후 contact angle meter(ARMA, G-1, 일본)를 사용하여 수 접촉각을 측정하였다.

또한, 표면의 내구성을 확인하기 위해 마른 김 와이프와 젖은 김 와이프를 이용하여 코팅액이 도포된 태양광 패널용 유리 표면을 100회 문지르고 수 접촉각을 측정하였으며 코팅 도막의 방담 특성을 확인하기 위해 수증기가 올라오는 뜨거운 물이 담긴 페트리디쉬 위에 필름의 코팅면이 아래로 향하게 놓은 뒤 코팅 도막의 김서림을 확인하였다.

Antifouling 효과를 확인하기 위해 코팅액에 도포된 태양광 패널용 유리 표면에 베이비 파우더를 묻혀 코팅 도막의 오염도를 확인하여 비교하였다.

코팅된 유리표면의 거칠기는 원자힘 현미경(Park Systems, model XE-100, 한국)을 이용하여 크기 5  $\mu$ m x 5  $\mu$ m, Resolution 0.15 nm의 조건으로 측정하였다. 코팅된 유리의 광투과도는 UV/VIS spectrophotometer(Shimadzu, UV-2100, 일본)를 이용하여 가시광선 영역에서 측정하였다.

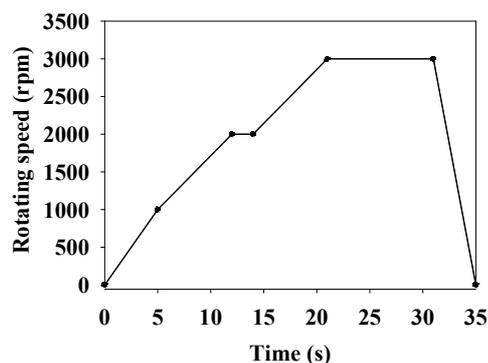


Fig. 1. Coating condition with spin coater.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 계면활성제를 이용한 친수성 코팅액의 제조

실험에 쓰일 각종 계면활성제를 이소프로판올로 세척한 유리에 각각 코팅하여 약 30 min 동안 상온에서 건조시킨 후 접촉각을 측정된 결과 Table 4에 나타난 바와 같이 모든 시약이 5° 이하로 초친수성이 나타난 것을 확인하였다.

Table 4. Water contact angle of surfactants

Component	Contact angle (°)
PEG-PPG-PEG	5 ↓
Span 20	5 ↓
Tween 20	5 ↓
PEG 300	5 ↓

Table 1에 나타난 바와 같이 배합된 A-1, A-2는 ethanol과 물을 2 : 8의 비로 혼합한 용매에 녹았지만 A-3는 완전히 녹지 않았으며, 물 용매에서는 A-2만 녹는것을 확인할 수 있었다.

Table 5에 나타낸 바와 같이 1% A series 코팅액을 유리에 각각 코팅하여 약 3 min 동안 상온에서 건조시킨 후 측정된 유리 표면의 수 접촉각은 A-1과 A-2 코팅액은 5° 이하로 초친수성을 나타냈으며 A-3의 경우에는 10°를 나타내었다. 또한, Fig. 2에 나타낸 steam test 결과도 A-1과 A-2에서만 antifogging 효과를 나타내었으며 A-3에서는 나타나지 않았다.

Table 5. Contact angle and steam test result of A series coating solutions

	A-1	A-2	A-3
Contact angle(°)	5↓	5↓	10

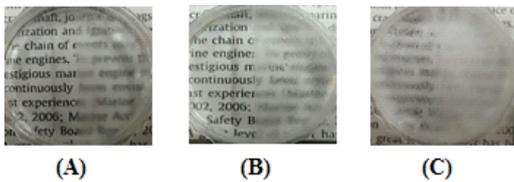


Fig. 2. Steam test results of A series coating solutions; (A) A-1, (B) A-2, (C) A-3.

다음은 물과 에탄올의 혼합 비율을 결정하기 위하여 A-2 코팅액을 Table 6와 같이 에탄올과 물과 혼합하여 용매 조성에 따른 용해도와 친수성 및 antifogging 효과를 확인한 결과 Fig. 3에서와 같이 W-1, W-2는 녹지 않았다.

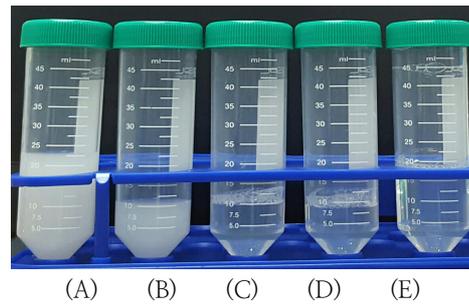


Fig. 3. Solubility of the W series of under various water concentrations; (A) W-1, (B) W-2, (C) W-3, (D) W-4, (E) W-5.

잘 용해되지 않은 W-1은 수 접촉각과 steam test가 불가능하여 제외하고, W-2, W-3, W-4, W-5를 유리에 각각 코팅하여 약 30 min 동안 상온에서 건조시킨 후 표면의 수 접촉각을 측정된 결과 W-2와 W-3은 5°이하로 초친수성을 나타냈으며 W-4는 10°, W-5는 20°로 물의 함량이 높아질수록 수 접촉각이 높아졌으며, Fig. 4에 나타낸 바와 같이 W-5를 제외하고는 모두 antifogging 효과를 나타내었다. 이를 통해 W-3이 용해도와 친수성, antifogging 효과도 모두 우수하였으며 이를 기초로 첨가제의 변화를 실시하였다.

Table 6. Compositions of hydrophilic coating solutions

Component ratio	W-1	W-2	W-3	W-4	W-5
Water	1	2	4	8	16
Ethanol	1	1	1	1	1
A-2 solution	0.05				

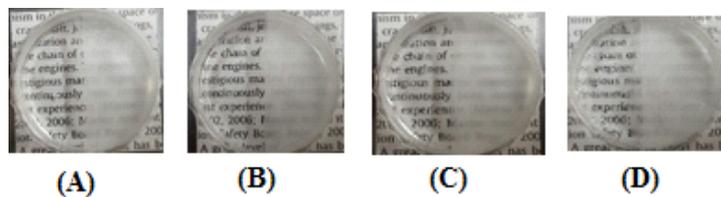


Fig. 4. Steam test results of W series coating solutions; (A) W-2, (B) W-3, (C) W-4, (D) W-5.

### 3.2. Ludox<sup>®</sup> silica 농도에 따른 표면 특성

태양광 패널용 유리 표면을 이소프로판올에 세척한 후 상온에서 10 min 동안 건조한 후 Table 2와 같이 S series 코팅액을 제조하여 spin coater를 이용해 코팅한 뒤 90 min 동안 상온에서 건조하였다. 건조한 각 유리 표면의 수 접촉각을 측정하여 Table 7에 나타내었다. 그 결과 전체적으로 표면이 Ludox<sup>®</sup>의 농도와 관계없이 S series 모두 5° 이하의 접촉각으로 초친수성을 나타내는 것을 알 수 있었다.

또한, S series를 코팅하여 steam test를 실시한 결과 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 Ludox<sup>®</sup>의 농도와 관계없이 모든 코팅액에서 우수한 antifogging 효과를 나타내었다. Fig. 6에 나타낸 바와 같이 pollution test를 실시한 결과 Ludox<sup>®</sup>가 7% 정도 첨가된 경우 antifouling 효과가 발현되기 시작하였으며, 10% 이상 첨가된 S-4, S-5에서 뚜렷한 antifouling 효과를 나타내었다.

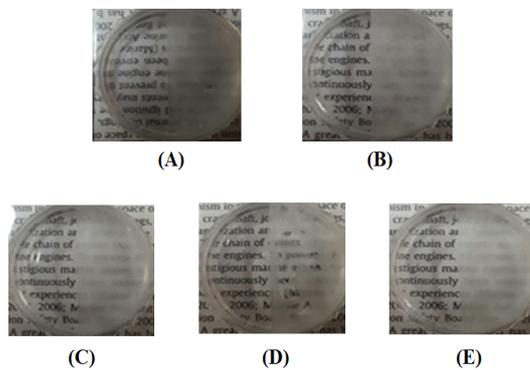


Fig. 5. Steam test results of S series coating solutions; (A) S-1, (B) S-2, (C) S-3, (D) S-4, (E) S-5.

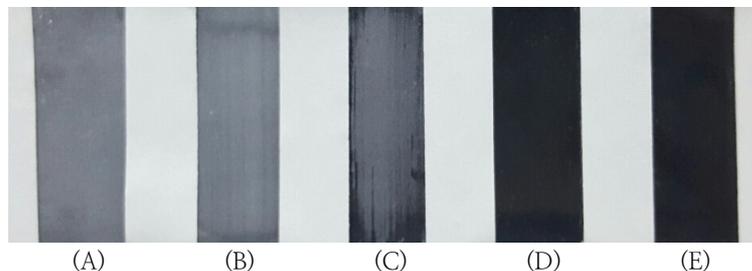


Fig. 6. Pollution test results of S series coating solutions; (A) S-1, (B) S-2, (C) S-3, (D) S-4, (E) S-5.

Table 7. Water contact angles of S series coating solutions

Sample	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
Contact angle (°)	<5	<5	<5	<5	<5

### 3.3. TEOS 농도에 따른 표면 특성

이소프로판올로 세척한 태양광 패널의 유리 표면을 Table 3에 나타낸 바와 같은 조성으로 제조한 T series 코팅액을 spin coater를 이용해 코팅한 뒤 90 min 동안 상온에서 건조하였다. 그 후 초기 수 접촉각을 측정한 뒤 15 cm 거리에서 물을 1회 분무하고 상온에서 50 min 동안 건조 후 다시 수 접촉각을 측정하는 것을 반복하여 Table 8에 물 분무 횟수에 따른 수 접촉각을 나타내었다.

그 결과 분무 9회 차에서 T-3과 T-4를 제외한 나머지 용액의 코팅 표면이 35° 이상을 나타내었고 분무 10회 차에서는 T-3을 제외하고 모든 용액의 코팅 표면이 40° 이상을 나타냈다. 이를 통해 친수성은 TEOS를 0.7% 첨가한 T-3이 가장 오래 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

그리고 TEOS 농도에 따른 antifogging 효과를 확인하기 위해 steam test를 실시하였다. 15 cm 거리에서 물을 1회 분무하고 상온에서 50 min 동안 건조 후 다시 steam test를 실시하는 것을 반복하여 총 3회 분무하였다. 3회 물 분무 후 steam test를 실시한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 그 결과 전체적으로 TEOS가 첨가되지 않은 T-1보다 TEOS가 첨가된 T series가 antifogging 효과를 더 오래 유지하는 것을 확인할 수 있었으나, T-5의 경우와 같이 TEOS가 너무 과량 첨가하게 되면 오히려 antifogging 효과가 약간 감소하는 현상을 보였다.

Table 8. Contact angles of T series coating solutions after water spray test

Times	Contact angle ( ° )				
	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
1	<5	<5	<5	<5	<5
3	9	7.5	7	<5	<5
4	11	11	7	8	8
7	33	32	27	25	33
9	37	35	29	30	39
11	<b>43</b>	<b>43</b>	38	<b>44</b>	<b>42</b>
12	<b>43</b>	<b>43</b>	<b>42</b>	<b>44</b>	<b>42</b>

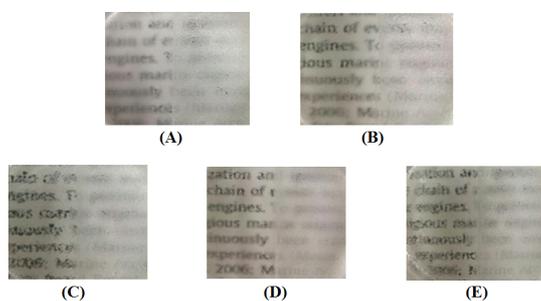


Fig. 7. Steam test results of T series coating solutions: (A) T-1, (B) T-2, (C) T-3, (D) T-4, (E) T-5.

Table 9. Contact angles of T series coating solutions after durability test

Sample	Contact angle ( ° )				
	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
Dry-wiping	15	15	<5	10	13
Wet-wiping	25	12	12	14	15

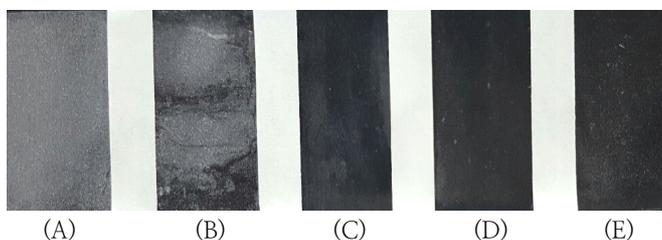


Fig. 8. Pollution test results of T series coating solutions: (A) T-1, (B) T-2, (C) T-3, (D) T-4, (E) T-5.

그리고 TEOS 농도에 따라 제조된 T-series 코팅액이 도포된 유리 표면의 친수성에 대한 내구성을 확인하기 위해 마른 킴와이프와 물에 젖은 킴와이프를 이용하여 코팅된 유리의 표면을 100회 문지른 뒤 접촉각을 측정하여 그 결과를 Table 9에 나타내었다. 여기서 보는 바와 같이 마른 킴와이프로 100회 문지른 결과 전체적으로 T series 코팅액 모두 친수성이 유지되었으며 그 중 T-3만이 초친수성을 나타내었다. 그리고 젖은 킴와이프로 100회 문지른 결과에서는 T series 코팅액 중 T-2와 T-3의 친수성이 가장 잘 유지되었음을 확인할 수 있었다. 따라서 두 실험 결과 T-3의 경우가 친수 내구성이 가장 우수하였다.

TEOS 농도에 따른 유리 표면의 antifouling 효과의 내구성을 확인하기 위해 T series 코팅액을 90 min 간격으로 총 3회 코팅하고 90 min 동안 상온에서 건조한 후 젖은 킴와이프를 이용해 코팅된 slide glass의 표면을 100회 문지르고 베이비 파우더를 문혀 pollution test를 실시하여 Fig. 8에 나타내었다. 그 결과 TEOS가 0.7% 이상 첨가된 T-3, 4, 5에서 antifouling 효과를 유지하고 있음을 알 수 있었다.

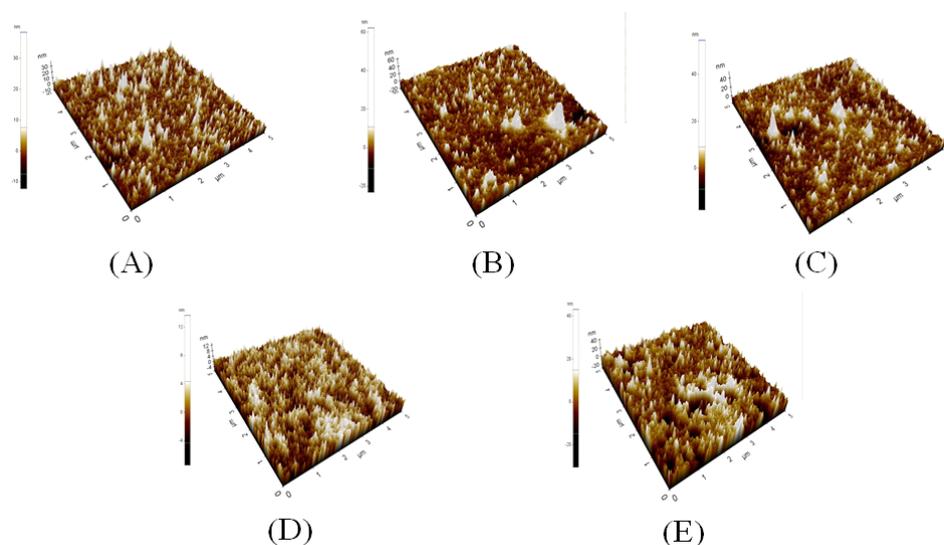


Fig. 9. AFM photos of T series coating solutions; (A) T-1, (B) T-2, (C) T-3, (D) T-4, (E) T-5.

표면 거칠기를 확인하기 위해 원자력 현미경 (AFM)을 사용하여 표면 거칠기를 비교하여 Fig. 9에 나타내었다. 그 결과 TEOS가 첨가되지 않은 T-1의 경우 표면 거칠기( $R_a$ )가 3.89 nm으로 측정되었으며, TEOS를 첨가한 T-2나 T-3의 경우 5.00 정도로 표면 거칠기가 증가하다가 1.0% 첨가한 T-4는 2.21까지 표면 거칠기가 오히려 감소하였으며, 1.5% TEOS가 첨가된 T-5의 경우에는 표면 거칠기는 7.55까지 크게 증가하였으나 코팅된 표면에 aggregation이 일어남으로 인해 불균일한 형태를 나타내었다. 결과적으로 T-3 코팅액을 사용한 경우가 가장 규칙적인 프랙탈 표면을 나타내어 태양광의 투과도를 향상시킬 수 있는 구조로 판단된다.

끝으로 태양광 발전의 효율 증가를 하기 위하여 코팅 전 후의 가시광선 영역에서의 투과도 변화를 측정하여 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 10에 나타낸 S series 코팅액이 도포된 유리의 투과도는 기준 유리(투과도 89.7%)에 비해 Ludox<sup>®</sup>의 함량이 증가할수록 550 nm에서 90.0, 91.5, 91.5, 91.9, 92.6%로 향상되었으며, Fig. 11에 나타낸 T series 코팅액이 도포된 유리의 경우 550 nm에서의 투과도는 TEOS가 첨가되지 않은 T-1의 경우 91.9%로부터 TEOS가 0.3% 첨가된 T-2와 0.7% 첨가된 T-3의 경우 92.5%

로 투과도가 비슷하게 높아졌다. TEOS가 1.0% 이상 함유된 T-4와 T-5에서는 오히려 투과도가 감소되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 앞의 AFM 결과에서 나타난 T-3의 프랙탈 표면 형성 결과와 잘 일치하는 것이다.

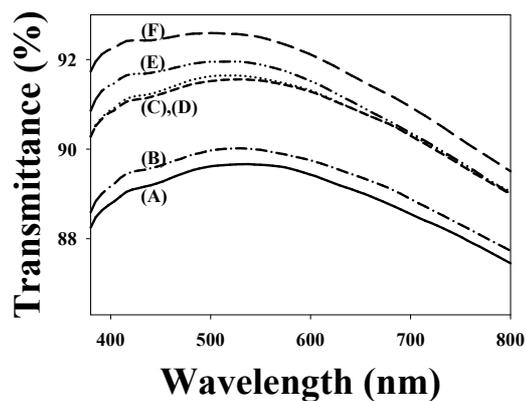


Fig. 10. Transmittance of S series coating solutions; (A) Glass, (B) S-1, (C) S-2, (D) S-3, (E) S-4, (F) S-5.

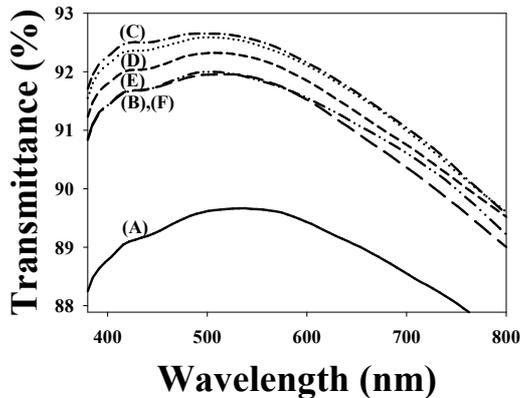


Fig. 11. Transmittance of T series coating solutions; (A) Glass, (B) T-1, (C) T-2, (D) T-3, (E) T-4, (F) T-5.

#### 4. 결론

본 연구에서는 1% A-2 친수 코팅액의 친수성 및 김서림 방지, 내오염성을 향상시키기 위해 Ludox<sup>®</sup> silica를 농도별로 첨가하여 그 특성을 비교하였으며, Ludox<sup>®</sup>를 첨가한 코팅액에 TEOS를 pH 4에서 가수분해한 후 이를 농도별로 첨가하여 유리와의 접착력 및 내구성을 확인하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 1% A-2 친수 코팅액에 Ludox<sup>®</sup>를 농도별로 첨가한 S series 코팅액을 제조하여 코팅한 유리 표면의 접촉각 측정 및 steam test를 실시한 결과 Ludox<sup>®</sup>의 농도에 관계없이 초친수성과 우수한 antifogging 효과를 나타내었다.
2. S series 코팅액을 도포한 유리 표면의 pollution test 결과 Ludox<sup>®</sup>를 7% 첨가하였을 때부터 antifouling 효과를 나타내었으며, 10% 이상에서 완전한 antifouling 효과를 나타내었다.
3. pH 4에서 가수분해한 TEOS를 첨가한 T series 코팅액을 제조하고 이를 코팅한 유리 표면에 물 분무를 통해 친수성과 antifogging에 대한 내구성을 확인한 결과 TEOS를 0.7% 첨가한 T-3이 10회 물 분무까지 비교적 낮은 접촉각을 유지하였으며 3

회의 물 분무 후 steam test 결과 TEOS를 0.3% 이상 첨가한 경우 antifogging 효과를 유지하는 것을 알 수 있었다. 또한, T-series에 코팅된 유리 표면을 마른 김와이프와 젖은 김와이프로 100회 문지른 결과 TEOS를 0.7% 첨가한 T-3이 비교적 낮은 접촉각을 유지하였다.

4. T-series 코팅액을 총 3회 코팅한 유리 표면을 젖은 김와이프로 100회 문지른 후 pollution test를 실시한 결과 TEOS가 0.7% 이상 첨가된 경우 antifouling 효과를 유지하였으며, AFM을 이용하여 표면 거칠기( $R_q$ )를 확인한 결과 1.5% 첨가된 T-5에서 가장 높은 표면 거칠기값을 나타내었으나 코팅된 표면의 상태가 매우 좋지 않았고, TEOS가 0.7% 첨가된 T-3에서 비교적 높은 표면 거칠기값과 프랙탈 표면구조를 보였다.
5. 끝으로 S series 코팅액이 도포된 유리의 투과도는 기준 유리(투과도 89.7%)에 비해 Ludox<sup>®</sup>의 함량이 증가할수록 550 nm에서 90.0, 91.5, 91.5, 91.9, 92.6%로 향상되었으며, T series 코팅액이 도포된 유리의 경우 550 nm에서의 투과도는 TEOS가 첨가되지 않은 T-1의 경우 91.9%로부터 TEOS가 0.3% 첨가된 T-2와 0.7% 첨가된 T-3의 경우 92.5%로 투과도가 비슷하게 가장 높았다.

따라서 계면활성제를 이용한 코팅액이 친수성과 김서림을 방지하는 특성을 나타내어 Ludox<sup>®</sup>의 도입의 필요성은 없으나, antifouling의 효과를 나타내기 위해서는 최소 10%의 Ludox<sup>®</sup>가 첨가되어야 하며, 또한 이 코팅액이 우수한 내구성과 태양광 발전 효율 향상을 위한 높은 광투과도를 위해서는 pH 4에서 가수분해한 0.7%의 TEOS를 첨가해야 한다고 결론내릴 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 2015년-2017년 한국에너지기술연구원에서 시행하는 산업기술혁신사업 (에너지기술개발사업)의 지원에 의하여 연구되었음.(No.20153030012750).

## References

1. H. Hanaei, M. K. Assadim, and R. Saidur, Highly efficient antireflective and self-cleaning coatings that incorporate carbon nanotubes (CNTs) into solar cells: A review, *J. Renew. and Sustain. Energy Rev.*, **59**, 620–635(2016).
2. S. Biryukov, An experimental study of the dry deposition mechanism for air-borne dust, *J. Aerosol. Sci.*, **29**, 129–139(1998).
3. G. A. Mastekbayeva, and S. Kumar, Effect of dust on the transmittance of low density polyethylene glazing in a tropical climate, *Sol. Energy*, **68**, 135–141(2000).
4. H. K. Elminir, A. E. Ghitas, R. H. Hamid, F. El-Hussainy, M. M. Beheary, and K. M. Abdel-Moneim, Effect of dust on the transparent cover of solar collectors, *Energy Convers. Manag.*, **47**, 3192–203(2006).
5. F. M. Zaihidee, S. Mekhilef, M. Seyedmahmoudian, and B. Horan, Dust as an unalterable deteriorative factor affecting PV panel's efficiency: Why and how, *J. Renew. and Sustain. Energy Rev.*, **65**, 1267–1278(2016).
6. S. H. Euh, and D. H. Kim, The performance and efficiency analysis of PVT system : A Review, *J. Kor. Solar Energy Soc.*, **31**(3), 57–66(2011).
7. T. Lorenz, E. Klimm, and K. -A. Weiss, Soiling and Anti-soiling Coatings on Surfaces of Solar Thermal Systems-Featuring an Economic Feasibility analysis, *Energy Procedia*, **48**, 749–756(2014).
8. J. K. Kaldellis, and A. Kokala, Quantifying the decrease of the photovoltaic panels' energy yield due to phenomena of natural air pollution disposal, *J. Energy*, **35**, 4862–4869(2010).
9. J. K. Park, K. C. Song, H. U. Kang, and S. H. Kim, Preparation of Hydrophilic Coating Film Using GPS (Glycidoxypropyl Trimethoxysilane), *J. HWAHAK KONGHAK*, **40**(6), 735–740(2002).
10. K. C. Song, H. J. K. Park, H. U. Kang, and S. H. Kim Synthesis of Hydrophilic Coating Solution for Polymer Substrate Using Glycidoxypropyltrimethoxysilane, *J. Sol-Gel Sci. Techn.*, **27**(1), 53–59(2003).
11. 3M Innovative Properties Company, Hydrophilic coatings, articles, coating compositions and methods, U. S. Pat. 9,034,489 B2(2015).
12. R. Tang, A. Muhammad, J. Yang, and J. Nie, Preparation of antifog and antibacterial coatings by photopolymerization, *J. Polym. for Adv. Techn.*, **25**(6), 651–656(2014).
13. Q. Shang, and Y. Zhou, Fabrication of transparent superhydrophobic porous silica coating for self-cleaning and anti-fogging, *J. Ceramics International*, **42**, 8706–8712(2016).
14. D. Ebert, and B. Bhushan, Transparent, Superhydrophobic, and Wear-Resistant Coatings on Glass and Polymer Substrates Using SiO<sub>2</sub>, ZnO, and ITO Nanoparticles, *Langmuir*, **28**(31), 11391–11399(2012).
15. D. I. Lee, J. L. Park, K. P. Park, S. H. Jang, and K. C. Song, Effects of APS(aminopropyltriethoxysilane) Addition on the properties of hydrophilic coating films, *J. Sol-Gel Sci. and Techn.*, **42**, 690–695(2004).
16. J. Y. Kim, J. S. Lee, J. H. Hwang, T. Y. Lim, M. J. Lee, S. K. Hyun, and J. H. Kim, Fabrication of Hydrophobic Anti-Reflection Coating Film by Using Sol-gel Method, *Kor. J. Mat. Res.*, **24**(12), 689–693(2014).
17. W. B. Chae, D. Y. Seong, C. S. Kim, and S. K. Seo, Detergency Performance Evaluation of Organic Adherent Pollutant by Modified Silicate-Based Antifouling Coating Material, *J. Korea Institute of Building Construction*, **12**(1), 275–278(2012).
18. H. N. Jang, I. C. Kim, and Y. T. Lee, Membrane Permeation Characteristics and Fouling Control through the Coating of Poly(vinyl alcohol) on PVDF Membrane

- Surface, *J. Membrane*, **24**(4), 276–284 (2014).
19. D. K. Kim, M. S. Cha, J. E. Lee, K. W. Lee, and S. B. Lee, Surface properties of water-repellency coating films and their durability effects, *J. Appl. Chem.*, **5**(1), 76–79(2001).
  20. S. J. Jeon, W. Kim, J. J. Lee, and S. M. Koo, Preparation and Characterization of Hard Coating Materials Based on Silane Modified Boehmite Hybrid Materials, *J. Ind. Eng. Chem.*, **17**(6), 580–585(2006).
  21. S. Lee, S. I. Chan, and H. Hwang, Effect of proton concentration in TEOS to improve durability of hydrophilic and high light transmittance properties of nanosilica coating, *J. of Korean Oil Chemists' Soc.*, **33**(3), 483–491(2016).