

스핀 코팅을 이용한 용액 공정 방식의 컬러 코팅 기술 연구

Research on color coating technology of solution process method using spin coating

임성민*, 안현식*, 최윤석**

Seongmin Lim*, Hyeon-Sik Ahn*, Yoonseuk Choi**

Abstract

In this paper, front color glass for Building Integrated Photovoltaic (BIPV) system was implemented by spin coating method using color solution. Solutions suitable for color solutions were investigated using pearlescent pigments and various solutions to implement color glass. One of investigated solutions, NOA 63 and NOA 65, which are ultraviolet light curing agents, were able to implement color glass with superior coating properties and color reproducibility than other solutions. Color glass realized by spin coating with a NOA 65 based color solution showed high transmittance of 86% in the visible and near-infrared wavelength bands, and the change in optical properties of color glass over time was insignificant, making it a suitable material for realizing color glass for BIPV. Suitable as a color solution. The solution process method using the spin coating method is expected to facilitate the manufacturing process of front color glass for BIPV as it can produce color glass more easily and quickly than the existing physical deposition method or color glass manufacturing process using nanoparticles.

요약

본 논문에서는 컬러 용액을 사용하여 스핀 코팅 방식으로 Building Integrated Photovoltaic(BIPV) 시스템용 전면 컬러 유리를 구현하였다. 컬러 유리 구현을 위해 진주광택 안료와 다양한 용액을 사용하여 컬러 용액에 적합한 용액을 조사하였다. 조사한 용액 중 자외선 광 경화제인 NOA series의 경우 다른 용액보다 우수한 코팅성과 컬러 재현성을 가진 컬러 유리를 구현할 수 있었다. NOA 65 기반의 컬러 용액으로 스핀 코팅하여 구현한 컬러 유리는 가시광선 및 근적외선 파장 대역에서 최대 86%의 높은 투과율을 보였으며 시간에 따른 컬러 유리의 광학적 특성의 변화가 미미하여 BIPV용 컬러 유리 구현을 위한 컬러 용액으로 적합하였다. 스핀 코팅 방식을 활용한 용액 공정 방식은 기존의 물리적 증착 방식이나 나노 입자를 활용한 컬러 유리 제작 공정보다 쉽고 빠르게 컬러 유리를 제작할 수 있어 BIPV용 전면 컬러 유리 제작 공정이 용이해질 것으로 기대된다.

Key words : spin coating, solution process, color glass, BIPV

1 Department of Electronic Engineering, Hanbat National University, Republic of Korea

★ Corresponding author

E-mail : ychoi@hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1134

※ Acknowledgment

This work was supported by "Regional Innovation Strategy (RIS)" through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the MOE(2021RIS-004) and MSIT, Korea, under the ICAN(ICT Challenge and Advanced Network of HRD) program(IITP-2022-1711179309) supervised by the IITP.

Manuscript received Mar. 10, 2023; revised Mar. 18, 2023; accepted Mar. 20, 2023.

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.

I. 서론

최근 지구 온난화 등 환경 문제를 해결하기 위해 화석 연료 에너지의 사용을 친환경 에너지로 대체하기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 태양광 에너지를 기반으로 친환경 에너지를 생산할 수 있는 대표적인 시스템으로 Building Integrated Photovoltaic(BIPV) 시스템이 있다. BIPV란 태양광 발전 패널을 건축물 외벽에 적용하여 건축물 자체에서 태양광 에너지를 흡수하여 건축물에 사용되는 자가 발전 시스템을 구축하는 데 사용된다[1-5]. BIPV 시스템으로 얻는 태양광 에너지를 전기 에너지로 변환하여 건축물 자체에서 사용할 수 있어 건축물의 에너지 소비를 효율과 환경 보호에 장점을 가지고 있다. 이에 따라 고효율의 태양광 에너지 발전을 위한 태양광 패널은 최근 몇 년간 많이 연구되었다[6-7]. 하지만 BIPV 시스템은 태양광 패널을 건축물의 외벽에 적용하는 특수한 발전 방식이며 태양광 발전 패널의 구성 재료인 실리콘과 태양광을 최대한 흡수하기 위한 검은색 또는 남색의 짙은 단색 계열은 건축물의 심미성이 저하되는 요소가 된다. 이러한 문제를 해결하고자 BIPV 시스템에 적용하기 위해 높은 투과율과 심미성을 갖춘 컬러 유리에 대한 연구는 비교적 최근에 진행되고 있다.[8] 컬러 유리를 구현하기 위한 방식에는 물리적 증착 공정인 Thermal Evaporation[9] 및 RF 스퍼터링[10-12]이 있으며 최근에는 Nano particle[13]을 이용하여 컬러 유리를 구현하는 연구가 진행되었다. 물리적 증착 공정은 굴절률이 다른 금속산화물을 사용하여 적층하는 방식으로 빛의 간섭을 원리로 컬러를 구현한다. 물리적 증착 공정의 경우 금속산화물의 두께를 조절하여 컬러 유리의 투과율, 반사 스펙트럼 등을 고온 또는 진공 환경의 복잡한 제작 환경이 필요하다. 또한 금속산화물 두께에 따라 80% 이상의 높은 투과율을 가진 컬러 유리를 구현할 수 있지만 적층되는 금속산화물의 두께에 크게 의존하기 때문에 미세한 두께 차이로도 컬러 유리의 광학적 특성 및 컬러 구현에 영향을 미칠 수 있어 컬러 유리 구현을 위한 공정의 난이도가 높다. Nano particle를 사용한 컬러 유리의 경우 상온에서 용액 공정 방식을 이용하여 컬러 유리를 구현할 수 있으며 가시광선 파장 대역에서 약 80%의 높은 투과율을 보였으나 컬러 유리 구현을 위한 제작 공정과 나노 입자를 활용한 컬러 용액 합성이 복잡하다. 따라서 태양광 발전 효율 저하를 최소화하는 높은 투과율과 건축물의 심미성을 확보할 수 있는 컬러 유리를 빠르고 간단하게 제작할 수 있는 공정이 필요하다.

본 논문에서는 스핀 코팅을 이용한 용액 공정 방식으로 BIPV 시스템용 컬러 유리를 구현하기 위한 공정을 제안한다. 컬러 유리 구현을 위해 컬러 용액에 적합한 용액을 조사하였고 제조된 컬러 용액을 사용하여 스핀 코팅 방식으로 컬러 유리를 제작하였다. 용액 공정 방식은 물리적 증착 공정보다 박막의 두께 의존도가 낮으며 상온에서 빠르게 컬러 유리를 구현할 수 있다. 또한 나노 입자를 활용하는 방식보다 쉽고 간단하게 컬러 용액을 혼합할 수 있으며 진주광택 안료의 색 그대로 컬러를 구현할 수 있는 장점을 가진다. BIPV 시스템용 컬러 유리는 태양광 발전 패널을 숨길 수 있는 적절한 심미성과 발전 효율을 위한 높은 투과율이 고려되어야 한다. 따라서 다양한 용액으로 구현한 컬러 유리 중 코팅성이 우수한 컬러 유리의 경우 광학적 특성을 측정하여 BIPV 시스템에 적용 가능성을 검토하였다.

II. 실험 방법

본 절에서는 용액 공정을 통한 BIPV 시스템용 전면 컬러 유리 제작을 위한 다양한 용액을 조사하였다. 실험에 사용한 용액은 PMMA(poly methyl methacrylate, Sigma Aldrich, Korea), PVA(poly vinyl alcohol, Sigma Aldrich, Korea), PHPS(PerhydroPolysilazane, 18%, DNF, Korea), Cytop, PVP, P(VDF-TrFE), NOA 63, NOA 65(Norland Optical Adhesive, USA)를 선정하였다. 또한 다양한 색상을 구현하기 위해 세 가지 색상의 진주광택 안료(CQV, Korea)를 용질로 사용하였다.

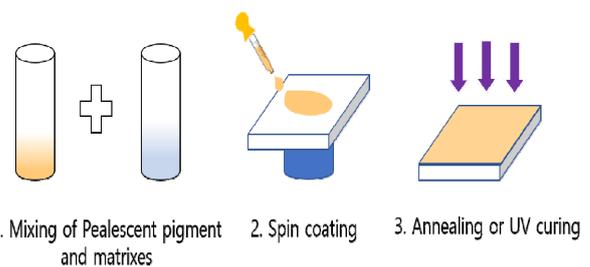


Fig. 1. Fabrication process of color solution and color glass.

그림 1. 컬러 용액 및 컬러 유리 제작 과정

그림 1은 용액 혼합 과정 및 스핀 코팅 과정을 나타낸다. 먼저 25 mm * 25 mm 크기의 투명 유리 기판을 아세톤 및 이소프로필 알코올로 15분 동안 초음파 세척 후 150°C 오븐에서 건조하였다.

Table 1. Concentration of solution and used solvent.

Concentration	Solution	Solvent
5 wt%	PMMA	Toluene
	PVA	DMF
	PVA	DIW
	Cytop	CT-Solv.180
2 wt%	PHPS	O-xylene
10 wt%	PVP	(Poly(4-Vinyl phenol), MMF([Poly(melamine-co- formaldehyde) methylated])
	P(VDF-TrFE)	Cyclopentanone

표 1은 컬러 유리 구현을 위한 용액을 조사하기 위해 사용된 용액의 농도와 용액을 희석하기 위해 사용된 용매를 나타낸다. PMMA를 Toluene(99.8%, Sigma aldrich, Korea)으로 5 wt% 농도로 희석 하였다. PVA는 DMF(Dimethylformamide, 99.8%, Sigma aldrich, Korea)로 5 wt% 농도로 희석했으며 또 다른 PVA는 DIW(DI Water)를 이용하여 5 wt% 농도로 희석하였다. PHPS는 o-xylene(98%, Sigma aldrich, Korea)으로 2 wt% 농도로 희석된 용액과 18 wt% 농도의 희석하지 않은 PHPS를 사용하였으며 5wt% 농도의 Cytop과 10 wt% 농도의 PVP 그리고 10 wt%의 P(VDF-TrFE)를 사용하였다. Cytop은 Cytop(8wt%, Sigma Aldrich, Korea)과 CT-Solv.180(Sigma Aldrich, Korea)을 혼합하여 제조하였으며 PVP는 (Poly(4-Vinyl phenol), Sigma Aldrich, Korea)를 MMF([Poly(melamine-co-formaldehyde), methylated], Sigma Aldrich, Korea)에 30 wt% 농도로 혼합 후 PGMEA([propylene glycol methyl ether acetate], Sigma Aldrich, Korea)와 혼합하여 제조하였다. P(VDF-TrFE)의 경우 P(VDF-TrFE)(Sigma Aldrich, Korea)와 Cyclopentanone(Sigma Aldrich, Korea)를 혼합하여 제조하였다.

Table 2. Pearlescent pigment concentration of solution and spin coating condition.

	Concentration of pearlescent pigment	Spin coating speed (RPM)	Spin coating Time (s)
PMMA(Toluene) PVA(DMF)	20 wt%	1000	50
PVA(DIW)	5 wt%	1000	50
18 wt% PHPS PHPS(o-xylene) NOA 63 NOA 65	5 wt%	3000	50
P(VDF-TrFE) Cytop PVP	5 wt%	3000	30

표 2은 각 용액에 따른 진주광택 안료의 농도와 컬러 박막을 형성하기 위한 스핀 코팅 조건을 나타낸다. 용액의 색상을 구현하기 위해 각 용액에 진주광택 안료의 종류인 Reflex™ Red Pearl(붉은색)과 Reflex™ Evergreen Pearl(초록색) 그리고 Reflex™ Deep Blue Pearl(파란색)를 사용하여 세 가지 색상의 컬러 용액을 제조하였다. 각 컬러 용액을 500 rpm에서 5초 동안 예비 스핀 코팅을 공통 적으로 진행하였다. PMMA(Toluene), PVA(DMF), PVA(DIW) 기반의 컬러 용액은 예비 스핀 코팅 후 1000 rpm에서 50초의 스핀 코팅 진행하였으며 PHPS, NOA 63, NOA 65 기반의 컬러 용액은 예비 스핀 코팅 후 3000 rpm에서 50초의 스핀 코팅으로 진행하였다. Cytop, PVP, P(VDF-TrFE)는 예비 스핀 코팅 진행 후 3000 rpm에서 30초의 스핀 코팅을 진행하였다. 다양한 용액들과 진주광택 안료를 혼합한 컬러 용액은 스핀 코팅 방법으로 컬러 박막을 형성하였고 코팅성이 우수한 컬러 유리의 경우 투과도 및 반사도를 측정했다. 스핀 코팅 방식으로 형성된 박막은 Alpha-step D-300(KLA)로 측정하였으며 투과도 및 반사도는 Lambda 950 UV-Vis-NIR spectrophotometer(Perkin Elmer)로 측정하였다.

III. 실험 결과 및 토론

그림 2은 PMMA(Toluene), PVA(DMF), PVA(DIW), PHPS(o-xylene) 기반의 컬러 용액으로 스핀 코팅 방법을 통해 제작한 컬러 유리의 사진이다. 스핀 코팅 방법으로 제작한 컬러 유리는 코팅성이 균일하지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이는 스핀 코팅 후 컬러 용액을 유리 위

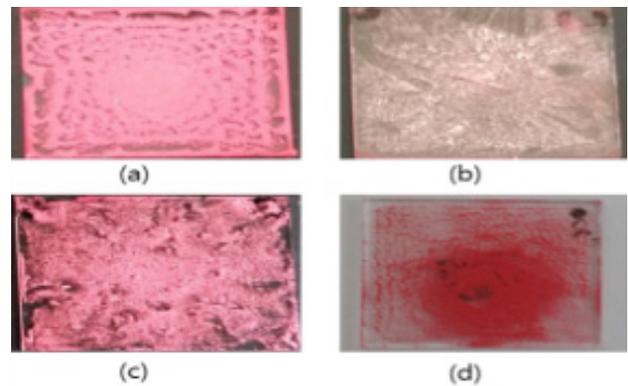


Fig. 2. Photograph of color glass made by (a) PMMA (Toluene), (b) PVA(DMF), (c) PVA(DIW), (d) PHPS (o-xylene).

그림 2. 컬러 용액으로 제작된 컬러 유리 (a) PMMA(Toluene), (b) PVA(DMF), (c) PVA(DIW), (d) PHPS(o-xylene)

에 균이기 위한 열 경화 과정 중 PMMA와 PVA가 기화되어 유리 기판에 진주광택 안료만 남게 되었고 남은 진주광택 안료가 유리 기판에서 쉽게 제거되기 때문이다. PHPS(o-xylene)의 경우 컬러 용액 내에 혼합되어 있는 진주광택 안료의 균일도가 낮아 스핀 코팅 후에 유리 기판에 진주광택 안료가 균일하게 코팅되지 않았다. 또한 모두 같은 진주광택 안료를 사용하였음에도 불구하고 열 경화 이후 사용한 용매에 따라 컬러 유리는 각각 다른 색을 보였다. 이러한 결과는 컬러 구현과 컬러 유리 제작 시 재현성이 떨어짐으로 BIPV 시스템용 전면 컬러 유리에 적합하지 않다.

그림 3은 18 wt% 농도의 PHPS와 진주광택 안료를 혼합한 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리 사진이다. PHPS 용액의 농도가 높아지면서 그림 2 (d) PHPS(o-xylene) 기반의 컬러 유리 보다 개선된 컬러의 균일도를 나타내었다. 그러나 PHPS 기반의 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리 또한 진주광택 안료 입자의 균일도 및 코팅성이 일정하지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 건축물의 심미성이 고려되어야 하는 BIPV용 전면 컬러 유리를 제작하기 위한 컬러 용액으로 적합하지 않다.

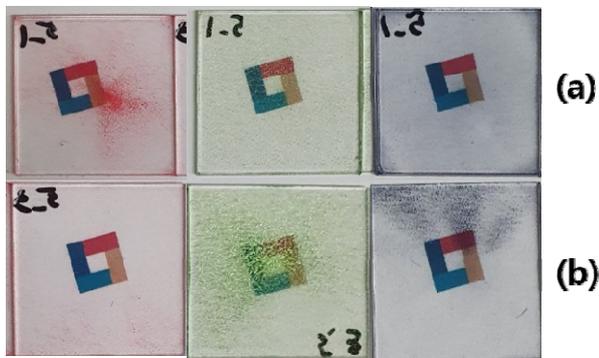


Fig. 3. Photograph of color glass made by PHPS based color solution was spin coating at (a) 1000 rpm, (b) 3000 rpm.
그림 3. PHPS 기반의 컬러 용액을 사용하여 제작한 컬러 유리 (a) 1000 rpm, (b) 3000 rpm

그림 4는 Cytop, PVP, P(VDF-TrFE)와 진주광택 안료를 혼합한 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리 사진이다. 형성된 박막은 세가지 용액 모두 최소 1~6 um의 두께를 나타내었다. 세 가지 용액을 사용한 컬러 용액은 유리 기판 전체에 코팅되어 컬러를 구현하였다. 그러나 스핀 코팅 후 진주광택 안료의 입자가 가시적이고 진주광택 안료의 분포가 균일하지 않고 재현성이 낮은 현상을 보였다. 열 경화 이후 용액이 기화되었으나 기판 위에 진주

광택 안료만 남아 있어 물리적인 충격에 진주광택 안료가 쉽게 제거될 수 있다. 컬러 유리의 안정성 및 내구성은 BIPV 시스템에 중요한 요소로써 해당 컬러 용액은 BIPV 시스템에 적합하지 않지만 Cytop, PVP, P(VDF-TrFE)를 이용한 컬러 용액 공정은 추가 연구를 통해 문제점 개선이 가능할 것으로 예상되어 향후 추가 연구를 진행할 예정이다. 각 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리는 코팅성이 우수하고 구현된 컬러가 뚜렷하여 각 컬러 유리의 투과 및 반사 스펙트럼을 측정하였다.



Fig. 4. Photograph of color glass made by (a) Cytop, (b) PVP, (c) P(VDF-TrFE).
그림 4. 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리 (a) Cytop, (b) PVP, (c) P(VDF-TrFE)

그림 5는 Cytop, PVP, P(VDF-TrFE) 기반의 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리의 투과 및 반사 스펙트럼을 나타낸다. 세 가지 컬러 용액의 붉은색 컬러 유리의 경우 모두 620~700 nm 파장대역에서 최대 88%의 투과율을 나타내었으며 600~700 nm 파장대역에서 최대 12%의 반사율을 나타내었다. 초록색 컬러 유리의 경우 530~700 nm 파장대역에서 최대 87%의 투과율을 나타내었으며 460~645 nm 파장대역에서 최대 12%의 반사율을 나타내었다. 파란색 컬러 유리의 경우 CYtop은 450~520 nm 파장대역에서 최대 81%의 투과율과 420~460 nm 파장대역에서 최대 12%의 반사율을 나타내었다. PVP의 경우 530~700 nm 파장대역에서 최대 87%의 투과율과 400~445 nm 파장대역에서 최대 11%의 반사율을 나타내었다. P(VDF-TrFE)의 경우 435~515 nm 파장대역에서 최대 84%의 투과율과 400~475 nm 파장대역에서 최대 10%의 반사율을 나타내었다. Cytop, PVP, P(VDF-TrFE) 기반의 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리는 얇은 두께로 인하여 높은 투과율과 적절한 반사

율을 가지고 있어 태양광 발전 효율 저하를 최소화할 수 있는 광학적 특성을 가졌다. 그러나 대부분의 용매가 기화되어 진주광택 안료와 기판 사이의 안정성이 낮아 물리적 손상이 큰 단점을 보였다.

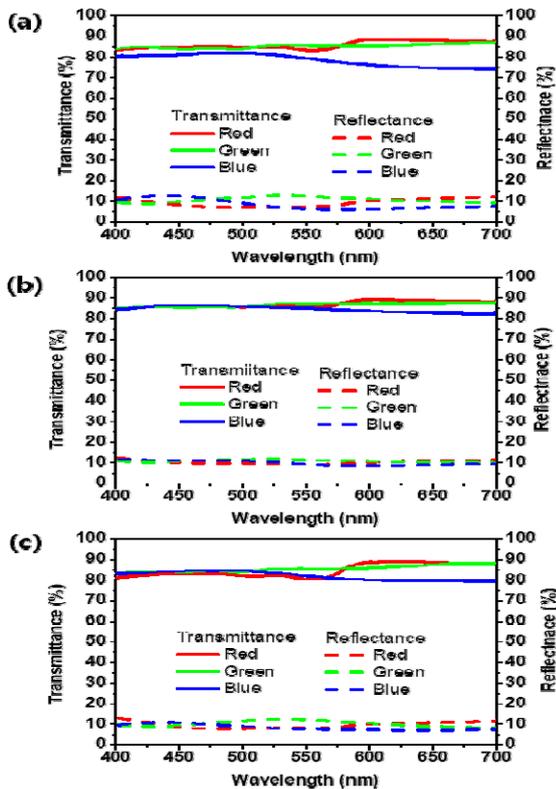


Fig. 5. Transmittance and Reflectance spectrum of color glass made by (a) Cytop, (b) PVP, (c) P(VDF_TrFE).

그림 5. 컬러 유리의 투과 및 반사 스펙트럼 (a) Cytop, (b) PVP, (c) P(VDF_TrFE)

그림 6는 NOA 63과 NOA 65를 진주광택 안료와 혼합하여 제조한 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리이다. 스핀 코팅 방법으로 형성된 컬러 박막은 NOA 63의 경우 21~26 μm 이며 NOA 65의 경우 8~9 μm 의 두께를 나타내었다. NOA 63과 NOA 65를 사용한 컬러 유리는 앞서 사용한 컬러 용액 보다 코팅성이 우수한 것을 알 수 있었다. NOA 63과 NOA 65는 점성도가 높은 광경화성 접착제로써 스핀 코팅 시 접착제의 점성 특성으로 인해 진주광택 안료 입자들이 균일하게 코팅된 것으로 예상할 수 있다. 또한 자외선 경화를 통해 물리적인 손상 없이 컬러 박막을 경화하여 박막의 형태가 우수한 컬러 유리를 제작할 수 있었다. 또한 접착 특성으로 인해 유리 기판과 접착력이 우수하고 접착제가 진주광택 안료를 덮고 있어 외부 손상에도 안정적이다. NOA 63과 NOA

65를 사용한 컬러 용액의 경우 태양광 패널의 색을 감추고 건축물의 심미성을 확보하는데 효과적이다. 그러나 BIPV용 전면 컬러 유리는 건축물의 심미성뿐만 아니라 태양광 발전 패널의 효율 저하를 최소화할 수 있어야 한다. 따라서 컬러 용액의 코팅성이 적절하여 심미성이 확보된 NOA 63과 NOA 65 기반의 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리의 투과도 및 반사도를 측정하였다.



Fig. 6. Photograph of color glass made by (a) NOA 63, (b) NOA 65.

그림 6. 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리 (a) NOA 63, (b) NOA 65

그림 7은 NOA 63과 NOA 65 기반의 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리의 투과도 및 반사도를 측정한 그래프이다. BIPV용 컬러 유리는 태양광 패널의 발전 효율 저하를 최소화하기 위한 높은 투과도와 심미성을 위한 반사도가 적절히 고려되어야 한다. 먼저 NOA 63를 사용한 붉은색 컬러 유리는 630~700 nm 파장대역에서 최대 73%의 투과도와 최대 11%의 반사도를 나타내었고 초록색 컬러 유리는 400~450 nm 파장 대역에서 최대 72%의 투과도를 나타내었으며 500~550 nm 파장 대역에서 최대 16%의 반사도를 나타내었다. 파란색 컬러 유리는 400~450 nm 파장대역에서 최대 투과도 86%과 14%의 최대 반사도를 나타내었다. NOA 65로 제작한 컬러 유리의 경우 빨간색 컬러 유리는 650~700 nm 파장 대역에서 최대 84%의 투과도와 최대 9%의 반사도를 나타냈으며 초록색 컬러 유리는 500~550 nm 파장 대역에서 최대 86%의 투과도와 최대 11%의 반사도를 보였다. 그리고 파란색 컬러 유리의 경우 400~450 nm 파장 대역에서 최대 86%의 투과도와 10%의 반사도를 나타내었다. NOA 65의 경우 NOA 63보다 상대적으로 낮은 점성도를 가지고 있어 스핀 코팅 시 유리 기판 위에 형성된 컬러 박막의 두께가 얇아 컬러 유리의 투과도가 상승하고 반사도가 저하되었다. NOA 65 기반의 컬러 유리의 경우 3 가지 컬러 유리 모두 최대 86%의 투과도

를 가져 태양광 발전 패널의 발전 효율 저하를 최소화할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

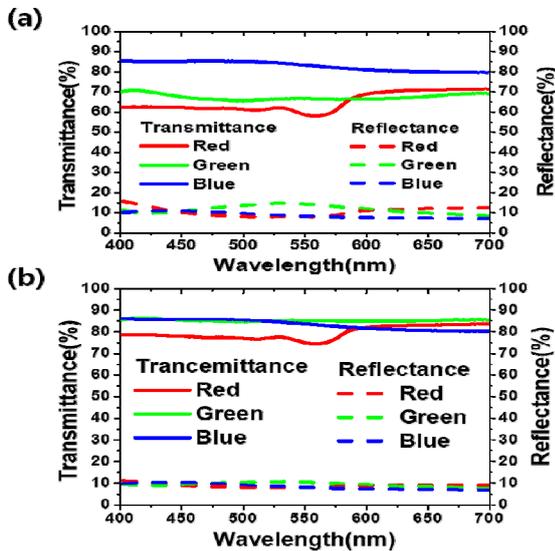


Fig. 7. Transmittance and Reflectance spectrum of color glass made by (a) NOA 63 (b) NOA 65.
 그림 7. 컬러 유리의 투과 및 반사 스펙트럼 (a) NOA 63, (b) NOA 65

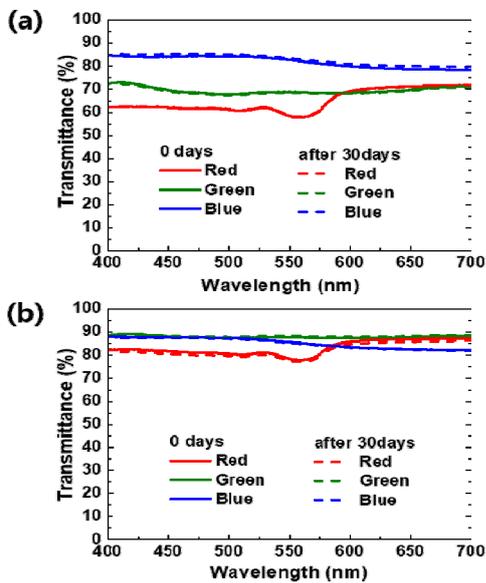


Fig. 8. Transmittance spectrum of color for stability (a) NOA 63, (b) NOA 65.
 그림 8. 안정성 검토를 위한 컬러 유리의 투과율 스펙트럼 (a) NOA 63, (b) NOA 65

그림 8은 NOA 63과 NOA 65 기반의 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리의 시간이 지남에 따른 투과율 변화를 나타낸다. 제작된 컬러 유리는 상온에서 방치하였으며 첫 투과율 측정 이후 30일 후 재측정을 통해 컬러 유리

의 안정성을 확인하였다. NOA 63과 NOA 65 기반의 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리의 경우 모든 컬러 유리에서 1% 이내의 투과율의 차이를 보여주며 시간이 지남에 따라 광학적 특성의 변화가 미미하여 장기간 건축물 외벽에 부착되어있는 태양광 패널을 가리기에 적합하다. NOA 63 및 NOA 65 기반 컬러 유리는 기존의 컬러 유리 제작 방식인 물리적 증착 공정 방식의 컬러 유리보다 비슷한 광학적 특성을 보였으나 상온에서 빠르고 간단하게 컬러 유리를 제작할 수 있는 공정의 용이성을 가지며 광 경화제의 점착 기능으로 인해 진주광택 안료가 균일하게 코팅되어 다른 컬러 용액들 보다 코팅성 및 박막의 안정성이 우수한 장점을 가지고 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 용액 공정 방식으로 BIPV 시스템에 적합한 컬러 용액의 용액을 조사하였다. 컬러 용액으로 PMMA, PVA, PHPS, Cytop, PVP, P(VDF-TrFE), NOA 63, NOA 65를 사용하였다. 실험 결과 PMMA, PVA, PHPS 기반의 컬러 용액의 경우 코팅성, 컬러 재현성, 내구성이 낮아 컬러 용액으로써 적합하지 않다. Cytop, PVP, P(VDF-TrFE) 기반의 컬러 용액의 경우 코팅성이 우수하며 최대 88%의 높은 투과율을 나타내었지만 컬러 재현성과 컬러 박막의 내구성이 낮아 BIPV용 컬러 유리를 구현하기 위한 컬러 용액으로써 개선이 필요하다. NOA 63과 NOA 65의 경우 스핀 코팅 시 코팅성과 컬러 재현성 그리고 컬러 박막의 내구성이 사용된 컬러 용액들 보다 우수하였으며 NOA 65 기반의 컬러 용액으로 제작한 컬러 유리의 경우 최대 10%의 반사율과 최대 86%의 높은 투과도를 나타내며 컬러 용액 제조를 위해 조사한 용액 중 BIPV 시스템용 컬러 유리 구현을 위한 용액으로 적합하였다. 스핀 코팅을 활용하여 용액 공정 방식으로 제작한 컬러 유리는 물리적 증착 공정이나 나노 입자를 활용한 컬러 유리 기반의 컬러 유리처럼 높은 투과율을 가졌지만 컬러 용액 혼합이 간단하고 진공 또는 고온의 공정 환경이 아닌 상온에서 간단하고 빠르게 컬러 박막을 형성할 수 있다. 그러나 스핀 코팅 방식은 코팅할 수 있는 기판의 크기가 한정되어 있어 대면적의 컬러 유리 구현은 용액 공정 기반의 인쇄 전자 방식 등의 기술이 필요하다.

실험을 통해 컬러 유리의 태양광 발전 패널의 발전을 위한 높은 투과도와 심미성을 확보할 수 있었으며 컬러 용액을 사용한 스핀 코팅 방법으로 BIPV 시스템용 전면

컬러 유리 제작 공정이 용이해질 것으로 기대된다.

References

- [1] Mary Dbbarma, K.Sudhakar, Prashant Baredar, "Thermal modeling, energy analysis, performance of BIPV and BIPVT: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.73, pp.1276-1288, 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2017.02.035
- [2] Y. Yang, Q. Wang, D. Xiu, Z. Zhao and Q. Sun. "A building integrated solar collector: All-ceramic solar collector," *Energy and Buildings*, vol.62, pp.15-17, 2013. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.03.002
- [3] Isabel Cerón "State-of-the-art' of Building intergrated Photovoltaic products," *Renewable Energy*, Vol.58, pp.127-133, 2013. DOI: 10.1016/j.renene.2013.02.013
- [4] A.K. Shukla, K. Sudhakar, P. Baredar, "Recent advancement in BIPV product technologies:A review," *Energy and Buildings*, Vol.140, pp.188-195, 2017. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.02.015
- [5] A. Henemann, "BIPV : Built-in solar energy," *Renewable Energy Focus*, Vol.9, no.6, pp.14,16-19, 2008. DOI: 10.1016/S1471-0846(08)70179-3
- [6] F. P. Sioshansi, *Distributed Generation and Its Implications for the Utility Industry*, Elsevier, 2014.
- [7] M. Amado and F. Poggi, "Solar Energy Integration in Urban Planning: GUUD Model," *Energy Procedia*, vol.50, pp.277-284, 2014.
- [8] SwissInso, Accessed at <https://www.swissinso.com/technology>, 2020.
- [9] Hyeon-Sik Ahn, Akpeko Gasonoo, Eun-Jeong Jang "Transition Metal Oxide Multi-Layer Color Glass For Building intergrated Photovoltaic System," *Journal of IKEEE*, Vol.23, pp.13-18, 2019. DOI: 10.7471/ikeee.2019.23.4.1128
- [10] Akpeko Gasonoo, Hyeon-Sik Ahn, "Metal Oxide Multi-Layer Color Glass by Radio Frequency Magnetron Sputterung for Building Integrated Photovoltaic System," *Journal of IKEEE*, Vol 22, pp.1056-1061, 2018. DOI: 10.7471/ikeee.2018.22.4.1056

[11] Akpeko Gasonoo, "Fabrication of Multi-Layer Metal Oxide Strucyre for Colored Glass," *Journal of Materials*, Vol.14, p.2437, 2021. DOI: 10.3390/ma14092437

[12] Akpeko Gasonoo, "Color Glass by Layered Nitride Films for Building Intergrated Photovoltaic (BIPV) System," *Crystals*, Vol.11, p.281, 2021. DOI: 10.3390/cryst11030281

[13] Yeo, S.-J.; Bera, S.; Kim, B.; Kim, D.-G.; Lee, B.-Y.; Park, S.-C.; Lim, H. "Inorganic-Nanoparticle-Based Super-Hydrophobic Colored Coatings for Sustainable Building-Integrated Photovoltaics," *ADVANCED MATERIALS TECHNOLOGIES*, 2022

BIOGRAPHY

Seongmin Lim (Member)



2020 : BS degree in Electronics & Control Engineering, Hanbat Nat'l University.

2022 : MS degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

2022~present : PhD degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

Hyeon-Sik Ahn (Member)



2019 : BS degree in Electronics & Control Engineering, Hanbat Nat'l University.

2021 : MS degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

2021~present : PhD degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

Yoonseuk Choi (Member)



1999 : BS degree in Electrical Engineering, Seoul Nat'l Univ.

2006 : PhD degree in Electrical and Engineering, Seoul Nat'l Univ.

2006~2008 : Principal Researcher, Hanyang Univ.

2008~2010 : Post Doctoral Scholar, Case Western Reserve Univ.

2010~present : Associate Professor, Hanbat National University.