

## PVC 젤 기반 렌즈를 사용한 소형 경관조명

정은진<sup>1</sup> · 허용해<sup>2</sup> · 정용주<sup>3</sup> · 김상연<sup>4</sup> · 진경복<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>한국기술교육대학교 에너지신소재화학공학과 석사과정

<sup>2</sup>한국기술교육대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정

<sup>3</sup>한국기술교육대학교 에너지신소재화학공학부 교수

<sup>4</sup>한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 교수

<sup>5\*</sup>한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 교수

## Mini Landscape Illumination Using Polyvinyl Chloride Gel-based Lens

Eun-Jin Jung<sup>1</sup> · Yong Hae Heo<sup>2</sup> · Yongju Jung<sup>3</sup> · Sang-Youn Kim<sup>4</sup> · Kyoungbog Jin<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>M.S. Course, Department of Energy, New Materials and Chemical Engineering, Koreatech, Cheonan 31253, Korea

<sup>2</sup>Ph.D. Course, Department of Computer Science and Engineering, Koreatech, Cheonan 31253, Korea

<sup>3</sup>Professor, Department of Energy, New Materials and Chemical Engineering, Koreatech, Cheonan 31253, Korea

<sup>4</sup>Professor, Department of Computer Science and Engineering, Koreatech, 31253, Cheonan Korea

<sup>5\*</sup>Professor, Department of Mechatronics Engineering, Koreatech, Cheonan 31253, Korea

### [요약]

본 연구에서는 전기 활성 가변 초점 렌즈, 레이저,하우징으로 구성된 소형 경관조명을 제안한다. 가변 초점 렌즈는 PVC 젤 기반의 전기 활성 고분자와 중앙에 환형의 구리 금속이 도금된 인쇄 회로 기판으로 구성되어 있다. 인가되는 전압에 따라 가변 초점 렌즈의 형상이 볼록에서 평면으로 변화하므로, 레이저에 의해 생성된 빛을 모으거나 확산시킬 수 있다. 본 연구에서는 PVC 젤의 기계적, 광학적, 유전 특성을 검증하기 위한 실험이 수행되었다. 또한 PVC 젤 기반 제안하는 렌즈의 형상이 볼록에서 평면으로 변화하는 것을 조사하기 위한 또 다른 실험이 수행되었다. 실험을 통해, 인가된 전압에 의해 소형 경관 조명의 빛의 집중(또는 분산)되는 정도를 제어할 수 있음이 관찰되었다.

### [Abstract]

This study proposes a compact landscape illumination consisting of an electro-active varifocal lens, a laser, and a housing. The varifocal lens was developed using a polyvinyl chloride (PVC) gel-based electroactive polymer and a printed circuit board having a central hole, the perimeter of which was coated with copper. Depending on the applied voltage, the shape of the varifocal lens changed from convex to planar, which determined whether the light generated by the laser was collected or spread. Experiments were conducted to verify the mechanical, optical, and dielectric properties of the PVC gel. Another experiment investigated whether the shape of the PVC gel-based proposed lens changed from convex to planar, observing that the amount of convergence (or dispersion) of the light from the compact landscape illumination can be controlled by applying a voltage.

**색인어** : 경관조명, 스마트 재료, 가변 초점 렌즈, PVC 젤, 고분자

**Keyword** : Landscape Illumination, Smart Material, Varifocal Lens, PVC Gel, Polymer

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2024.25.3.817>



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.

**Received** 02 February 2024; **Revised** 23 February 2024

**Accepted** 08 March 2024

**\*Corresponding Author; Kyoungbog Jin**

**Tel:** +82-41-560-1144

**E-mail:** kbjin@koreatech.ac.kr

## I. 서론

경관조명은 도시 및 자연 경관을 밝게 하고 아름다움을 표현하는 용도로 사용되며 단순히 어두운 공간을 밝히는 기능적 용도 외에 감정적/시각적 콘텐츠를 제공한다[1]. 예를 들어, 야간 미학을 표현하기 위한 레이저쇼, 테마 조명, 공원 및 공공장소의 미관 개선 등이 있다. 이러한 경관조명은 도시의 랜드마크를 형성하고, 관광자원으로 활용되며, 공간의 감성과 개성 표현에 중요한 역할을 한다[2]-[5]. 이를 위해 기존의 사례에서는 경관조명이 나무줄기, 벽과 같은 다양한 구조물 사이에 삽입되거나, 지면에 매립되는 등 경관조명이 외부에 노출되지 않도록 다양한 곳에 설치되어 왔다[6].

기존의 경관조명에는 다수의 렌즈가 삽입되는 경우가 있으며, 모터, 기계적 구동기 등을 이용하여 렌즈의 초점을 조절하고 있다[7]. 그러나, 다수의 기계적 부품을 사용하는 경관조명은 작은 크기로 제작하기에 한계가 있다. 이러한 이유 때문에 기존의 렌즈를 사용하는 경관조명은 설치할 수 있는 공간이 제한된다. 따라서 이를 극복할 수 있는 소형 경관조명의 개발이 필요하다.

최근 렌즈를 소형화시키기 위해, 많은 연구자는 전기장에 의해 변형이 발생하는 PVC(polyvinyl chloride) 젤에 주목하고 있다[8]-[11]. Cheng 등[8]은 소형 전자 및 광학 장치에서 응용할 수 있는 단순하고 얇은 PVC 젤을 기반으로 하는 가변 초점 마이크로렌즈를 제안하였다. Lan 등[9]은 PVC 젤을 이용하여 빔 스테어링, 전자 디스플레이 분야에 활용할 수 있는 빠른 반응 속도의 마이크로 렌즈 어레이를 제작하였다. Xu 등[10]은 PVC와 DBA(dibutyl phthalate)로 제작한 젤을 사용하여 렌터쿨러(보는 각도에 따라 이미지가 다르게 보이게 설계된 구조) 마이크로렌즈 어레이를 제안하였다. Hirai 등[11]은 PVC 젤과 ITO(Indium Tin Oxide) film, ITO glass를 이용하여 인가 전압에 의해 초점을 조절할 수 있는 인공 동공용 PVC 젤 렌즈를 제안하였다.

이처럼, PVC 젤을 기반으로 하는 렌즈는 기본 기계적 구조의 렌즈와 다르게 전극과 PVC 젤만을 이용한 단순한 구조로 제작이 가능하다. 또한 PVC 젤 기반 렌즈는 렌즈의 전극에 전압을 인가할 경우 두 전극 사이에서 전기장이 형성되면서 PVC 젤이 양극 방향으로 이동하는 특성이 있다[12]-[15]. 이를 통해 빛이 통과하는 PVC 젤의 형상을 변화(블록↔평면)시켜 빛이 조사되는 영역을 바꿀 수 있다.

그러므로, 본 연구에서는 PVC 젤 기반 렌즈를 사용한 소형 경관조명을 제안한다. 제안하는 경관조명은 소형의 크기(직경: 20 mm, 높이: 30 mm)로 설계되었으며, 전압 신호에 의해 빛이 조사되는 영역을 변화시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 제안하는 경관조명의 디자인을 설명한다. 경관조명의 구조와 경관조명을 구성하는 PVC 젤 기반 렌즈의 구조 및 동작 원리에 대해 설명하고, PVC 젤 제작 과정을 설명한다. 제 3장에서는 PVC 젤의 물질 특성을 확인하기 위한 실험과 소형 경관조명의 프로토타입과 실제 적용 예시에 대하여 기술한다.

## II. 제안하는 경관조명의 디자인

### 2-1 제안하는 경관조명의 구조

본 연구에서 제안하는 경관조명은 그림 1(a)와 같이 PVC 젤 기반 렌즈, 하우징, 레이저로 구성된다. 하우징 위에 PVC 젤 기반 렌즈를 올려놓고, 렌즈의 아래에 레이저가 위치하도록 제작하였다. 그림 1(b)는 조립된 모듈을 나타낸다. 제안하는 경관조명의 크기는 직경 20 mm, 높이 30 mm이다(그림 1(c)).

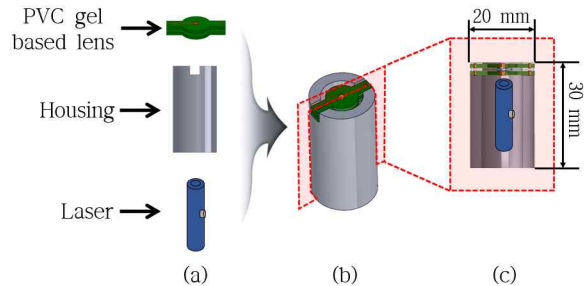


그림 1. 제안하는 경관조명의 구조, (a) 구성요소, (b) 조립된 모습, (c) 단면도

Fig. 1. The structure of proposed landscape illumination, (a) Components, (b) Assembled model, (c) Cross section view

### 2-2 PVC 젤 기반 렌즈의 구조 및 동작 원리

그림 2는 PVC 젤 기반 렌즈의 구조 및 동작 원리를 보여준다. 본 연구에서 제안하는 PVC 젤 기반 렌즈는 전극과 PVC 젤로 구성된다. 전극은 환형의 구리 금속을 PCB(Printed Circuit Board) 내부와 가장자리에 도금한 형태로 제작되었다. 사용된 PCB 전극은 1 mm의 두께를 가지며 중간 부분에 직경 1.5 mm의 구멍을 가지고 있는 형태이다. 이 PCB 전극은 렌즈의 상층부와 하층부에 위치한다. 하층부 PCB 전극 위에 PVC 젤을 올려놓고 상층부 PCB 전극으로 젤을 압축한다. 이러한 과정을 통해 볼록한 형상을 가지는 소형 경관조명용 PVC 젤 기반 렌즈를 제작하였다.

PVC 젤 기반의 렌즈는 초기 상태에서 PVC 젤이 볼록한 형상을 나타내고 전압 인가 상태에서는 평면에 가까운 형상을 나타낸다. PVC 젤은 전기장이 인가되면 양극 방향으로 이동하는 특성을 가지고 있다[12]-[15]. PVC 젤 기반 렌즈의 전극에 전압을 인가할 경우 두 전극 사이에서 전기장이 형성되면서 PVC 젤이 양극 방향으로 이동하게 된다. 이와 같은 현상에 따라 초기 상태(그림 2(a))일 때 조사 대상 물체의 넓은 영역에 빛이 조사되는 반면, 전압 인가 상태(그림 2(b))일 때 조사 대상 물체의 좁은 영역에 빛이 조사되는 것을 확인하였다. 이와 같이 전압 인가에 따라 빛이 한 지점에 모이거나 퍼지게 하며 빛이 조사하는 영역을 변화시킨다.

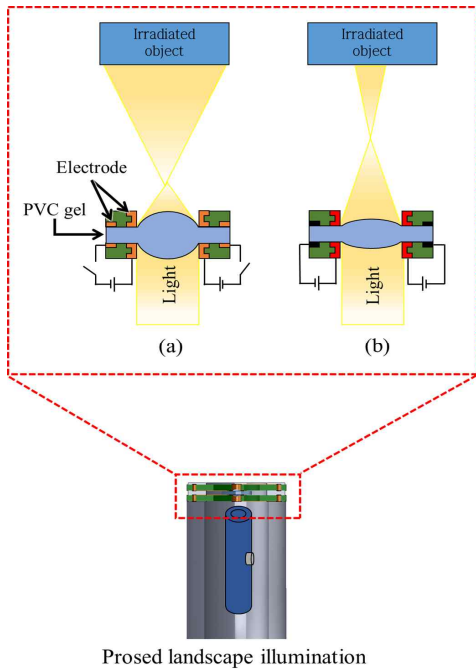


그림 2. PVC 젤 기반 렌즈의 구조 및 동작원리, (a) 초기상태, (b) 전압 인가 상태  
 Fig. 2. Structure and operating principles of PVC gel-based lens, (a) Initial state, (b) Voltage on state

2-3 PVC 젤 제작 과정

그림 3은 경관조명용 렌즈를 구성하는 PVC 젤의 제작 과정을 보여준다. 테트라하이드로퓨란(Tetrahydrofuran, THF) (Sigma-Aldrich, 99.9 percent) 용매에 Poly(vinyl-chloride) (PVC) 분말(Sigma-Aldrich, Mw~282,000) 1 g, 가소제인 아세틸 트리부틸 시트레이트(Acetyl Tributyl Citrate, ATBC) (Sigma-Aldrich, 98 percent) 7 g을 넣고 이를 12 시간 동안 300 rpm으로 교반시킨다. 그 후 테플론 접시에 용액을 평평하게 붓고, 이 용액을 상온에서 72시간 동안 건조하여 테트라하이드로퓨란(Tetrahydrofuran, THF)을 증발시킨다. 이러한 과정을 통하여 PVC 젤을 얻을 수 있다.

III. 실험 및 결과

본 연구의 PVC 젤 기반 렌즈는 빛이 PVC 젤을 투과하는 구조를 가진다. 불투명한 PVC 젤은 빛의 투과가 발생하지 않기 때문에 렌즈로 사용하기 어렵다. 이러한 이유로, 본 연구팀은 제작된 PVC 젤의 투명도를 제작하였다(그림 4(a)). 제작된 PVC 젤의 투명도를 측정하기 위해 자외선-가시광선 분광광도계(HP 8452, HP, USA) 장비가 사용되었다. 그림 4(b)는 PVC 젤의 투명도 측정 결과를 나타내며, PVC 젤이 가시광선 영역인 400 nm ~ 700 nm 파장에서 90 % 이상의 높은 투명도를 갖는 것을 확인하였다.

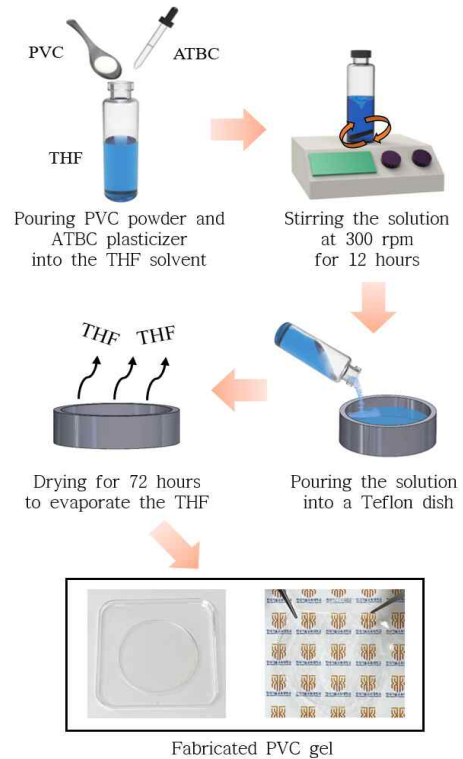


그림 3. PVC 젤의 제작 과정  
 Fig. 3. Fabrication process of the PVC gel

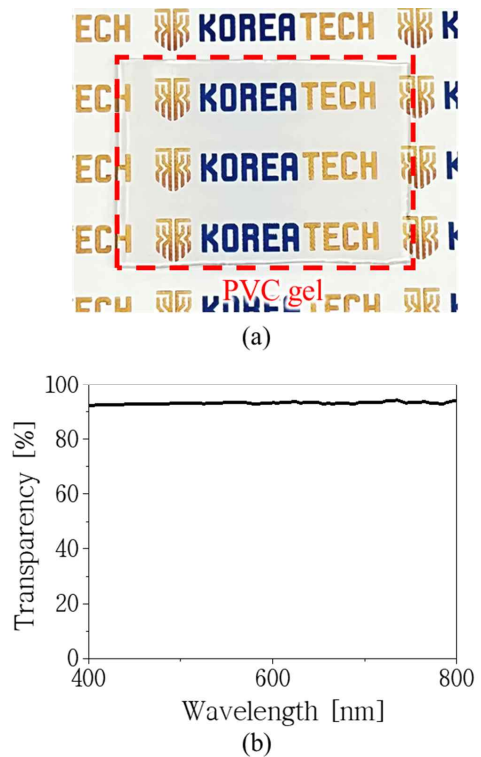


그림 4. (a) 제작된 투명한 PVC 젤, (b) PVC 젤의 투명도  
 Fig. 4. (a) Fabricated transparent PVC gel, (b) Transparency of PVC gel

제안하는 PVC 젤 기반 렌즈는 전기장에 의해 PVC 젤을 변형시켜 렌즈의 초점을 바꾸는 동작 원리를 가진다. 그러므로, PVC 젤의 기계적 특성(외력에 의한 변형 정도)은 PVC 젤 기반 렌즈가 대상 물체에 빛을 조사시키는 영역을 조절하는 범위를 결정짓는 중요한 요인이다. PVC 젤의 기계적 특성을 측정하기 위해서 만능시험기(Zwick & Roell, Z0.5) 장비를 사용하여 측정하였다. 측정 결과는 그림 5와 같이 0.38 MPa의 응력에서 190%의 인장율을 나타낸다. 이를 통해 PVC 젤이 높은 신축성을 가지는 것을 확인하였다.

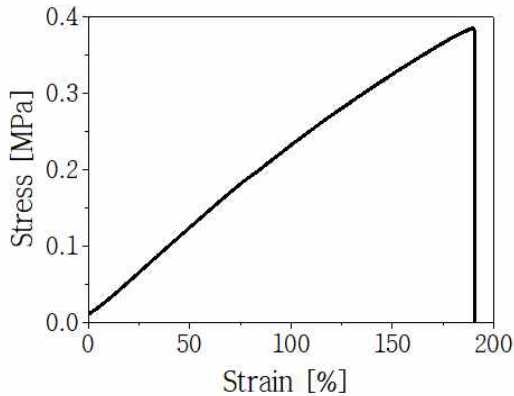


그림 5. PVC 젤의 기계적 특성  
 Fig. 5. Mechanical property of PVC gel

PVC 젤은 전기장에 의해 기계적인 변형(양극 방향으로 움직임)이 발생하는 특성을 가지고 있다[12]~[15]. 그러므로, PVC 젤의 상대 유전율은 PVC 젤의 전기장에 의한 변형에 영향을 미치는 주요한 요인이다[16]. PVC 젤의 상대 유전율을 측정하기 위해서 임피던스 분석기(SI-1260A, Solatron Analytical Co, Farnborough, UK) 장비를 통해 PVC 젤의 상대 유전율을 측정하였다. 그림 6은 PVC 젤의 상대 유전율 측정 결과를 나타낸다. PVC 젤의 상대 유전율은 주파수가 올라갈수록 감소하는 결과가 나타난다. 구체적으로 주파수가 1 Hz일 때 4200, 주파수가 100 Hz일 때 51, 주파수가 1 kHz일 때 18의 상대 유전율을 갖는다.

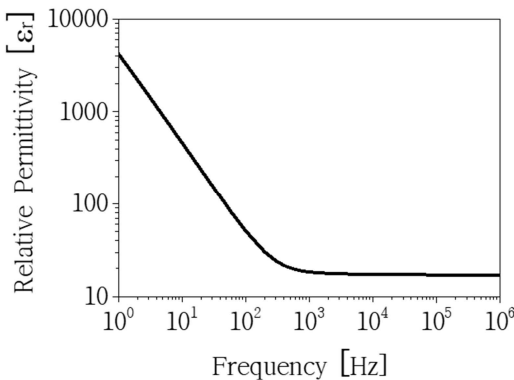


그림 6. PVC 젤의 상대 유전율  
 Fig. 6. Relative permittivity of PVC gel

Proposed landscape illumination

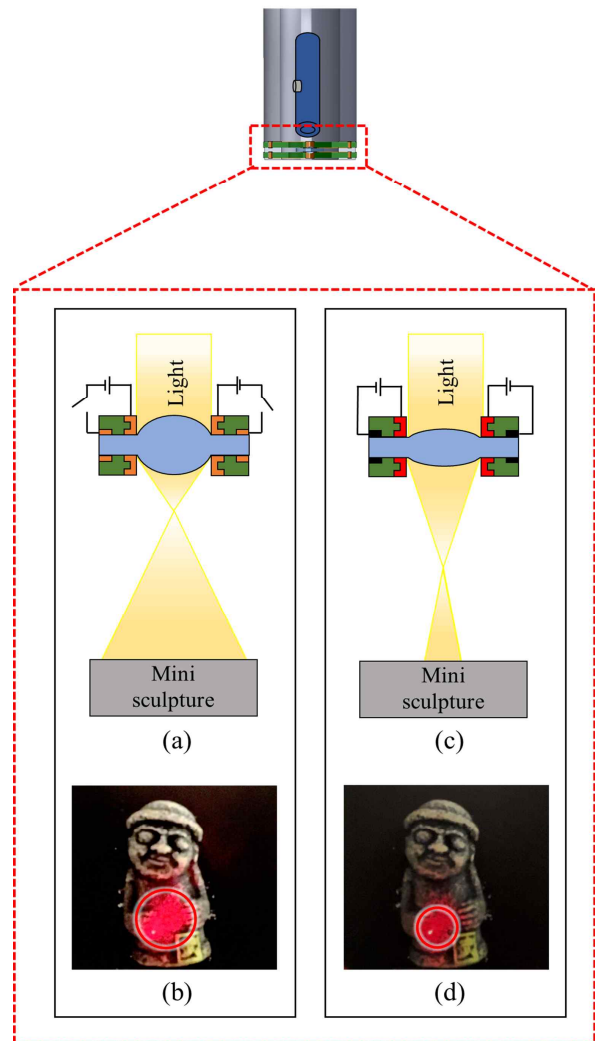


그림 7. 소형 경관조명의 프로토타입, (a) 초기상태, (b) 초기상태일 때 빛의 조사 영역, (c) 전압 인가 상태, (d) 전압 인가 상태일 때 빛의 조사 영역

Fig. 7. Prototype mini landscape illumination, (a) Initial state, (b) The area of light irradiation in the initial state, (c) Voltage on state, (d) The area of light irradiation in the voltage on state

본 연구팀은 제안하는 소형 경관조명으로 빛의 조사 범위가 변화될 수 있는지와 빛의 조사 범위의 변화가 육안으로 관찰될 수 있는지를 확인하기 위해서, 미니 조각품(돌하르방 형상의 조각품)에 소형 경관조명을 이용해 빛을 조사하였다. 또한, 초기 상태의 소형 경관조명이 생성하는 빛의 조사 범위와 전압 인가 상태의 소형 경관조명이 생성하는 빛의 조사 범위를 확인하였다(그림 7(a)~7(d)). 그 결과로, 전압 인가 여부에 따라서 PVC 젤 기반 렌즈가 양극 방향으로 변형되며, 경관조명의 레이저 빛이 모이고 퍼지는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과를 통해, 본 연구팀은 빛의 조사하는 영역을 변화시킬 수 있는 소형 경관조명의 개발 가능성을 확인하였다.

## IV. 결 론

본 연구에서는 PVC 젤 기반 렌즈를 사용한 소형 경관조명을 제안하였다. 제안하는 소형 경관조명의 구조는 PVC 젤 기반 렌즈와 하우징, 레이저로 구성되어 있다. 제안한 경관조명의 렌즈는 DC(Direct Current) 모터와 같은 기계적인 구동기 없이 전기장에 의해 형상이 변할 수 있는 PVC 젤을 이용하기 때문에 단순한 구조로 동작할 수 있다. 이러한 이유로 인해, PVC 젤 기반 렌즈 사용하면 좁거나 작은 공간에서 사용될 수 있는 소형 경관조명 개발이 가능하다. 또한, PVC 젤은 90% 이상의 높은 투명도를 가지고 있으므로 빛이 투과하여 렌즈로 사용하기 적합하며, 0.38 MPa의 응력에서 190%의 인장율로 높은 신축성을 지니고 있으므로 전압을 인가하였을 때 기계적 형상을 바꾸기 용이하다. 제안하는 소형 경관조명을 구성하는 PVC 젤 기반 렌즈는 전압을 인가하였을 때 PVC 젤의 형상이 볼록에서 평면으로 바뀌면서 빛이 조사되는 영역이 바뀐다. 또한, 본 연구에서는 제안하는 PVC 젤 기반 소형 경관조명과 미니 조각품을 이용해서, 제안하는 소형 경관조명이 생성하는 빛의 조사 범위 변화가 육안으로 관찰할 수 있는지를 확인하는 실험을 수행하였다. 본 연구팀이 예측한 대로, 제안하는 소형 경관조명이 미니 조각품에 조사한 빛의 조사 범위는 초기 상태보다 전압 인가 상태에서 육안으로 관찰될 수 있을 만큼 줄어들 것이 확인되었다. 이러한 결과를 바탕으로, 빛이 조사되는 영역의 변화를 생성할 수 있는 소형 경관조명 개발 가능성을 확인하였다. 또한, 본 연구팀은 제안하는 PVC 젤 기반 렌즈를 사용한 소형 경관조명을 응용하면, 인테리어 연구, 조명을 이용한 스마트 팜, 휴먼-컴퓨터 인터랙션 시스템 등에 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

## 감사의 글

이 논문은 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(RS-2023- 00245538). 또한 이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구입(No. RS-2023-00262273). 또한 본 연구는 한국기술교육대학교 교무팀의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 참고문헌

[1] J.-Y. Park, M.-S. Oh, H.-S. Kim, and T.-K. Kang, "A Study on the Design Process of Night-Scape Lighting Application of LED," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 25, No. 6, pp. 1-8, June 2011. <https://doi.org/10.5207/JIEIE.2011.25.6.001>

[2] L. Valetti, A. Pellegrino, and C. Aghemo, "Cultural Landscape: Towards the Design of a Nocturnal Lightscape," *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 42, pp. 181-190, March-April 2020. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.07.023>

[3] S. Suomalainen, City Lighting and Dark-Time Landscape as a Service, Master's Thesis, Estonian University of Life Sciences, Tartu, Estonia, August 2017.

[4] T. Alves, "Art, Light and Landscape New Agendas for Urban Development," *European Planning Studies*, Vol. 15, No. 9, pp. 1247-1260, 2007. <https://doi.org/10.1080/09654310701529243>

[5] R. S. Jurševska and K. Vugule, "Urban Nightscapes and Lighting Master Plans. Case Study of Liepāja," *Landscape Architecture and Art*, Vol. 20, No. 20, pp. 63-72, October 2022. <https://doi.org/10.22616/j.landarchart.2022.20.07>

[6] K. J. Kim and J. Lee, "A Study on Architectural Lighting Design Guidelines of Nightscape Lighting Plan -Focusing on the Local Governments' Nightscape Planning-," *Journal of Korea Design Knowledge*, No. 26, pp. 157-166, June 2013. <http://dx.doi.org/10.17246/jkdk.2013..26.015>

[7] S. Xu, H. Ren, and S.-T. Wu, "Dielectrophoretically Tunable Optofluidic Devices," *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 46, No. 48, 483001, December 2013. <http://dx.doi.org/10.1088/0022-3727/46/48/483001>

[8] X. Cheng, W. Yang, L. Cheng, H. Yan, and Z. Jiao, "Tunable-Focus Negative Poly(Vinyl Chloride) Gel Microlens Driven by Unilateral Electrodes," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 135, No. 15, 46136, April 2018. <https://doi.org/10.1002/app.46136>

[9] C. Lan, Z. Zhou, H. Ren, S. Park, and S. H. Lee, "Fast-Response Microlens Array Fabricated Using Polyvinyl Chloride Gel," *Journal of Molecular Liquids*, Vol. 283, pp. 155-159, June 2019. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.03.050>

[10] M. Xu, B. Jin, R. He, and H. Ren, "Adaptive Lenticular Microlens Array Based on Voltage-Induced Waves at the Surface of Polyvinyl Chloride/Dibutyl Phthalate Gels," *Optics Express*, Vol. 24, No. 8, pp. 8142-8148, April 2016. <https://doi.org/10.1364/oe.24.008142>

[11] T. Hirai, T. Ogiwara, K. Fujii, T. Ueki, K. Kinoshita, and M. Takasaki, "Electrically Active Artificial Pupil Showing Amoeba-Like Pseudopodial Deformation," *Advanced Materials*, Vol. 21, No. 28, pp. 2886-2888, July 2009. <https://doi.org/10.1002/adma.200802217>

[12] M. Ali, T. Ueki, D. Tsurumi, and T. Hirai, "Influence of Plasticizer Content on the Transition of Electromechanical Behavior of PVC Gel Actuator," *Langmuir*, Vol. 27, No.

12, pp. 7902-7908, May 2011. <http://dx.doi.org/10.1021/la2009489>

- [13] M. Z. Uddin, M. Yamaguchi, M. Watanabe, H. Shirai, and T. Hirai, "Electrically Induced Creeping and Bending Deformation of Plasticized Poly(Vinyl Chloride)," *Chemistry Letters*, Vol. 30, No. 4, pp. 360-361, April 2001. <https://doi.org/10.1246/cl.2001.360>
- [14] M. Xu and H. Ren, "Adaptive Microlens Array Based on Electrically Charged Polyvinyl Chloride/Dibutyl Phthalate Gel," *Optical Engineering*, Vol. 55, No. 9, 095104, September 2016. <https://doi.org/10.1117/1.OE.55.9.095104>
- [15] Y. Yamada, H. Emori, and T. Hirai, "Deformable Polyvinyl Chloride Gel for Fabrication of Varifocal Microlens Array," *Engineering Research Express*, Vol. 2, No. 4, 045017, December 2020. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/abc186>
- [16] M. Ali and T. Hirai, "Characteristics of the Creep-Induced Bending Deformation of a PVC Gel Actuator by an Electric Field," *Journal of Materials Science*, Vol. 46, No. 24, pp. 7681-7688, December 2011. <https://doi.org/10.1007/s10853-011-5746-7>



**정용주 (Yongju Jung)**

1993년 : KAIST 대학원 (공학석사)  
1998년 : KAIST 대학원 (공학박사)

1995년~2002년: 삼성SDI 중앙연구소 선임연구원  
2002년~2010년: 한국원자력연구원  
2010년~현 재: 한국기술교육대학교 에너지신소재화학공학부 교수  
※관심분야 : 리튬-설퍼 전지, 리튬 이온 전지



**김상연 (Sang-Youn Kim)**

1996년 : KAIST 대학원 (공학석사)  
2004년 : KAIST 대학원(공학박사)

2004년~2006년: 삼성종합기술원 책임연구원  
2006년~현 재: 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 교수  
※관심분야 : 가상현실, 햅틱스, 센서/액츄에이터



**정은진 (Eun-Jin Jung)**

2023년 : 한국기술교육대학교  
응용화학공학과 학사

2023년~현 재: 한국기술교육대학교 에너지신소재화학공학과 석사과정  
※관심분야 : 렌즈, 스마트재료



**진경복 (Kyoungbog Jin)**

1999년 : KAIST 대학원 (공학박사)

2001년~현 재: 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 교수  
※관심분야 : 로봇틱스, Human-Computer Interaction



**허용해 (Yong Hae Heo)**

2019년 : 한국기술교육대학교  
컴퓨터공학과 학사

2019년~현 재: 한국기술교육대학교 대학원 컴퓨터공학과 석박사통합과정  
※관심분야 : 가상현실, VR 컨트롤러, 햅틱스, 스마트재료