

공공시설물 심미성 향상을 위한 CIGS 태양전지 적용 방안 연구

이샘¹, 서지영¹, 박수지¹, 남원석², 장중식^{2*}

¹국민대학교 테크노디자인전문대학원 제품이노베이션디자인학과 석사과정, ²국민대학교 조형대학 공업디자인학과 교수

A Study on the Application of CIGS Solar Cells to Improve the Aesthetics of Public Facilities

Saem Lee¹, Ji-Young Seo¹, Su-Jy Park¹, Won-Suk Nam², Jung-Sik Jang^{2*}

¹Student, Graduate School of Technology Design, Kookmin University

²Professor, Department of Industrial Design, Kookmin University

요약 산업화와 동반한 환경문제가 세계적으로 대두되면서 특히 우리나라에서는 태양에너지와 풍력에너지가 실용화 단계에 접어들었다. 또한 태양전지를 활용한 심미성 향상에 대한 연구가 활발히 이루어지는 가운데 BIPV, CIGS 등 투과가 가능한 태양전지 개발, 유연성과 색감을 가지고 있는 태양전지 개발이 그 예시이다. 이에 본 논문에서는 태양전지 개발 및 태양전지 기반의 공공시설물 설치 상층에 발맞춰 심미성 향상을 위한 CIGS 태양전지를 활용한 공공시설물 디자인 가이드라인을 제시하고자 한다. 우선 태양전지에 관한 문헌조사와 태양전지를 활용한 공공시설물 사례조사를 통해 태양전지 적용의 적합성을 높이기 위한 구성요소를 도출했다. 그 다음 공공시설물 가이드라인 선행연구를 통해 평가원칙 정립과 디자인 가이드라인 초안을 작성했다. 이를 전문가 집단을 대상으로 3차례의 델파이조사를 실시하여 타당성을 검증했으며 최종적으로 공공디자인 심미성 향상을 위한 태양전지 적용 방안 디자인 가이드라인을 도출하였다. 향후 태양전지를 활용한 공공시설물의 접근성 및 인지성, 사용성, 형태 및 심미성, 지속가능성 및 에너지효율성, 도시경관과의 연속성 개선을 통한 심미성 향상의 기초자료로 활용되길 기대한다.

주제어 : 신재생에너지, 태양전지, CIGS, 공공시설물, 공공디자인

Abstract As environmental problems accompanied by industrialization have emerged worldwide, solar and wind energy have entered the stage of commercialization, especially in Korea. In addition, research on improving aesthetics using solar cells is being actively conducted. Examples include developing a transmissive solar cell and developing a solar cell with flexibility and color. Therefore, in line with the upward trend of solar cell development and solar cell-based public facility installation, we will present guidelines for designing public facilities using solar cells to improve aesthetics. First of all, components were derived to increase the suitability of solar cell application through literature surveys on solar cells and case studies on public facilities using solar cells. Next, through prior research on public facility guidelines, we established evaluation principles and drafted design guidelines. Based on this, a Delphi survey was conducted on a group of experts to verify its validity. Design guidelines for solar cells application measures to improve the final public design aesthetics were derived. The goal is to improve the public facilities using solar cells, through Accessibility and cognition, Usability, Shape and aesthetics, Sustainability and energy efficiency, Continuity with the urban landscape. And it is expected that this data will be used to improve the aesthetics of public design using solar cells in the future.

Key Words : New renewable energy, Solar cell, CIGS, Public Structure, Public design

*This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) Grant funded by the Korean. Government(MSIP)(No. Grant Number 2019M1A2A2072418).

*Corresponding Author : Jung-Sik Jang(kmjanggo@kookmin.ac.kr)

Received October 27, 2021

Revised November 20, 2021

Accepted December 20, 2021

Published December 28, 2021

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

환경오염 문제를 복구하기 위한 세계 각국의 신재생 에너지 기술 개발 동향에 따라 현재 우리나라에서도 태양 에너지를 이용하여 전기를 생산하는 태양열, 태양광발전 재생에너지의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 대표적인 사례로는 흔히 태양전지(Solar cell)라고 알려진 기술로 결합이 가능한 구조의 모듈형 패널의 형태로 설치물의 구조나 규모에 따라 그 범위가 주거시설이나 건축물, 공공시설물 등 광범위하게 적용되고 있다. 하지만 이에 반해 현재까지 설치되어 온 태양전지의 형태 및 심미성은 다소 투박한 색감과 외형으로 설치물의 심미성 및 주변과의 조화에 어긋나는 등의 문제를 발견할 수 있었다. 이에 따라 서울시에서는 주변 환경과 조화로운 공공 시설 태양광 디자인을 개발하기 위해 '자치구 디자인 태양광 경진대회'를 주최하는 등 도시미관 향상을 위한 유형별 공공시설 디자인 개발에 힘쓰고 있는 추이다 [1]. 이에 따라 태양전지 기술 개발의 동향 역시 심미성 향상을 목표로 BIPV, CIGS 등을 중심으로 이루어지고 있는 실정이다. 본 논문에서 다루고 있는 CIGS 박막 태양전지는 일반 태양전지와는 달리 투광성과 다양한 색상 구현, 유연성을 가지고 있는 태양전지로 심미성 측면에서 잠재성이 높기에 다양한 형태 및 구조의 태양 전지의 개발 및 태양전지 기반 공공시설물 설치 성장세에 발맞춰 주변 환경과의 조화 및 심미성 향상에 기여할 수 있을 것이라고 판단된다. 이에 본 논문에서는 CIGS 박막 태양전지를 활용하여 도시경관 및 공공시설물 심미성 향상을 목표로 현재 국내에 설치된 태양전지 기반 공공시설물 적용 사례들을 디자인적 관점에서 심미성 요소와 문제점을 분석하여 디자인 가이드를 도출하고, 유연성과 투광성, 다양한 색상 구현이 가능한 CIGS 박막 태양전지를 활용한 공공시설물 디자인 적용 방안을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구에서는 태양전지 기반의 공공시설물의 심미성 향상을 목표로 유연성과 투광성, 다양한 색상 구현이 가능한 CIGS 태양전지를 활용한 공공시설물 태양전지 적용 방안을 연구하여 디자인 가이드라인을 제안하고자 한다. 첫째, 이론적 고찰을 통한 태양전지와 공공시설

물의 이해를 바탕으로 태양전지의 공공시설물 적용 가능성 및 한계점을 파악하였다. 둘째, 국내 지역별 태양 전지 적용 공공시설물의 사례 분석을 통해 현황을 파악하였다. 셋째, 공공시설물 적용 방안을 위한 선행연구를 진행하여 평가원칙을 정립하고, 이를 토대로 디자인 가이드라인 초안을 작성하여 3차례의 델파이 조사를 전문가 집단을 대상으로 실시하여 공공시설물 심미성 향상을 위한 태양전지 적용 방안 디자인 가이드라인의 타당성을 검증받았다. 마지막으로 검증된 평가 항목들의 최종 정리 및 점검을 통해 공공시설물 심미성 향상을 위한 태양전지 적용 방안 디자인 가이드라인을 도출했다.

2. 이론적 고찰

2.1 태양전지

2.1.1 태양전지의 이해

태양전지란 태양의 빛에너지를 전기에너지로 변환하여 전기를 발생하는 장치를 말한다. 이는 에너지를 내포한 빛이 재료의 표면에 조사될 때 전압과 전류가 발생하는 광전효과(Photovoltaic effect)에 기초한 전자 소자로 빛에너지를 전기에너지로 바꿀 수 있다는 점에서 전기를 생산하는 방식이 친환경적이라고 볼 수 있다 [2]. 태양전지 발전 패널의 기본 단위는 '셀(Cell)'이며, 이를 여러 장의 직렬로 연결하여 전지판 형태로 가공한 것을 '모듈(Module)'이라고 한다. 또한 구조물에 설치하기 위해 모듈을 구성한 것을 '어레이(Array)'라고 지칭한다[3]. 태양전지는 '결정질 실리콘 태양전지'와 '박막 태양전지'로 소재와 흡수층의 형태에 따라 크게 두 가지로 분류된다. 여기서 '결정질 실리콘 태양전지'는 실리콘의 결정 상태에 따라 단결정 실리콘 태양전지와 다결정 실리콘 태양전지, 비정질 실리콘 태양전지로 구분되는데 이와 같은 실리콘의 특성을 가진 태양전지를 1세대 태양전지라고 한다. 반면, '박막 태양전지'는 재료의 소모량을 극소화시켜 재료면에서 실리콘을 사용할 수도 있고, 다른 화합물 반도체를 사용할 수도 있으며, 또한 이는 모두 박막의 형태로 제작된다는 점이 1세대 태양전지와와의 가장 큰 차이점이다.

2.1.2 박막 태양전지 'CIGS'

박막 태양전지에서 대표적으로 활용되는 화합물 반도체로 'CIGS(Copper Indium Gallium Selenide)'

가 있다. CIGS 박막 태양전지는 구리, 인듐, 갈륨, 셀레늄의 4원소로 이루어진 $Cu(InGa)Se_2$ 화합물을 유리나 플라스틱 기판에 증착해 광흡수층으로 사용하는 태양전지로 기존의 실리콘 태양전지보다 효율면에서 우수한 특성을 보이며 박막 태양전지 분야에서 가장 높은 변환 효율을 가지고 있는 차세대 태양전지라고 볼 수 있다[4]. 이는 2세대 박막 태양전지를 기반으로 하고 있으나 사용되는 반도체 소재가 유기물 반도체 등과 같은 새로운 소재를 활용함으로써, 상용 결정질 태양전지에 비해 적은 소재 사용과 간소한 공정만으로 고효율의 태양전지를 제조할 수 있다는 장점이 있으며, 뿐만 아니라 다른 유기계 차세대 태양전지와 달리 화학적으로 매우 안정적이고 구부러지는 유연함을 가지고 있으나 내구성 역시 높다. CIGS 박막 태양전지 기술의 개발은 2020년 8월을 기준으로 에너지기술연구원 태양광연구단에 의해 두께가 극히 얇은 유연한 유리 기판이 적용된 세계 최초의 유연성과 투광성을 모두 갖춘 양면수광형 CIGS 박막 태양전지 구현에 성공하였다. 이는 추가 공정이나 비용 없이 파장별 흡수율에 따라 반사색을 조절하여 보라, 녹색, 청색 등 7가지 이상의 색상을 구현해 낼 수 있어 심미성 향상 요소 적용 및 상용화에 용이하다.

2.2 공공시설물

2.2.1 공공시설물의 정의 및 유형

공공 시설물이란 ‘공공(公共)’의 ‘국가나 사회의 구성원에 두루 관계되는 것’의 의미와 Public의 ‘개인이 아닌 모든 사람의 사용을 위한 것’이라는 사전적 의미를 받아들여 ‘한 국가나 사회의 모든 구성원의 사용을 위하는 것’이라고 정의할 수 있다. 이러한 공공시설물은 용도와 문화적 특성에 따라 다양한 형태를 띠고 있으며, 행정이나 법률적 관리 차원에서도 다소 상이하다. 공공시설물은 한국공공디자인학회의 가이드라인에 따라 크게 교통시설, 편의시설, 공급시설로 대분류되며, 이는 보행, 운송, 휴게, 위생, 판매, 관리, 정보, 행정시설 등 8개의 항목으로 소분류 할 수 있다. ‘공공시설물 디자인 평가를 위한 기초항목 연구’에 의하면 공공시설물의 디자인 평가의 개념에서 공공디자인은 공공의 이익을 증요시해야 하는 사회적 역할을 지니고 있기에 사회 문화적 가치를 추구해야 하고, 이 때문에 제품이나 시설에 대해 전반적인 장단점을 찾아내고, 그것을 시정해 나아가는 활동으로서 심미적 관점, 환경적 관점,

기능적 관점, 경제적 관점 등의 의해 고려되어 제작 및 설치되어야 한다고 서술되었다[5].

3. 태양전지 적용 공공시설물 사례분석

3.1 서울 이촌 한강공원 하이브리드 보안등



Fig. 1. The Han River Park Hybrid security light

서울 이촌 한강 공원에 위치한 하이브리드 보안등은 태양전지와 풍력발전기가 결합된 형태이다. 한전 전력과도 연결이 가능하고, 한전전력 검용으로 사용 시에는 태양전지와 풍력발전기가 분전함 안의 배터리 리를 충전시켜 놓았다가 밤에 사용하게 된다. 또한 날씨가 좋지 않아 충전이 불가한 상황이면 컨트롤러가 한 전 전력을 연결해 놓은 선으로 바꾸어 점등이 가능하게 된다. 햇빛과 풍력을 주 에너지원으로 쓰다 보니 설치 장소에 대한 제한점이 존재한다. 설치 방향은 햇빛을 잘 받을 수 있는 남향 혹은 남서향이어야 한다. 또한 그늘 그림자가 없어야 하며 풍향의 간섭을 덜 받는 곳과 안전성이 확보된 곳에 설치해야 한다[6]. 태양전지가 위치한 높이가 높아 사람의 시야를 크게 가리지 않고 빛을 반사시키지 않아 보는 사람으로 하여금 부담스럽지 않은 규모의 태양전지라 할 수 있다. 또한 바람이 불 때마다 바람개비가 돌아가는 모습은 시각적인 즐거움을 제공 해준다.

3.2 인천 에너지 솔라 로드



Fig. 2. Energy Solar Road

인천의 영흥화력발전소 앞 에너지파크에 길이 10m, 폭 3m의 CIGS 태양전지를 활용한 솔라 로드가 조성되었다. CIGS 태양전지와 LED를 결합하여 무채색 도로에 다채로운 색상으로 활기를 불어넣는다.[7] 보도 블럭과 차량이 이동하는 도로에 같이 설치되어있다. 방진, 방수 기술과 미끄럼 방지 기술 등이 적용되어 있으며 표면에 LED인 발광다이오드를 내장하여 교통신호, 영상 재생 등을 보여주며 홍보시설로 활용되기도 한다[8]. 한국에서 차도에 태양전지를 설치하는 사례는 매우 드물며 해당 사례는 LED와 CIGS 태양전지를 결합하여 무채색의 도로에 색상을 바탕으로 활기를 주는 역할로 평가받는다.

3.3 세종시 태양광 그늘막



Fig. 3. Sejong City's sunshade

세종 호수 공원 주차장에 위치한 태양광 그늘막이다. 세종 호수 공원 주차장 중 2천 424평의 규모로 설치되었으며 연간 125만kwh의 전기를 생산한다. 또한 호수 공원을 찾는 시민에게 눈, 비를 막아주며 그늘을 제공해주는 역할을 한다. 게다가 태양 발전 시설이 연간 생산하는 전기의 양인 125만kwh는 세종시민 400가구가 1년간 쓸 수 있는 양이다. 특히 타 태양광 발전 시설과 다르게 실시간으로 전기 생산 과정을 확인할 수 있는 상황판이 자전거 거치대 및 벤치 등의 편의시설에 설치되었다[9]. 해당 태양 발전 시설은 그늘막과 눈, 바람을 막아주고 태양 빛의 흡수를 위해 기울어지는 형태를 띠고 있으며 그 아래 차가 주차할 수 있는 공간이 있다. 경제적인 이득은 확실하지만 공공디자인으로써의 심미성, 조화성 등의 기능은 떨어진다고 판단된다.

3.4 경남 거창군 금연구역 안내 조명등



Fig. 4. The information light for non-smoking areas

경남 거창군은 간접흡연의 폐해를 예방하며, 쾌적한 환경을 조성하고자 '금연안내 표시 태양광 조명등'을 죽전공원에 27개, 책 읽는 공원에 12개를 설치하였다. 거창읍 상림리에 거주하는 주민들은 해당 태양 발전 기기 덕에 흡연하는 사람과 치안까지 보장되는 효과를 보고 있다며 큰 만족감을 드러냈다. 또한 거창군은 공원의 조명 등 뿐만 아니라 정류장과 버스터미널, 군청사 등 노후 된 금연안내 표시관 67개를 교체하여 도시미관에 힘쓰고 있다[10]. 태양 발전 기기인 '금연안내 표시 태양광 조명등'은 공공디자인으로써 심미성이 높지 않지만, 기능적인 측면에서 높은 역할을 한다고 할 수 있다. 해당 구역이 금연 구역이라는 것을 사용자에게 알리며, 태양 발전기기를 통해 타 에너지가 요구되지 않는다. 또한 조명등이라는 역할을 통해 치안효과를 보고 있으므로 기능성 부분에서 우수한 공공디자인 사례이다.

3.5 대구 스타디움 앞 지하도로 태양광 발전시설



Fig. 5. Underground solar power generation facility

대구 수성구 대구스타디움 앞 지하도로에 위치한 태양광 발전 시설이다. 해당 태양광 발전 기기는 200kwh 급의 전기를 공급 가능하며 생산되는 전기는 지하차도에 설치된 조명을 켜는데 사용된다[11]. 해당 태양광 발전 기기는 19억원이 투입된 시설이며 도시경관 향상에 큰 도움이 되고 있다. 2011년, 대구 세계 육상 선수권 대회 이후 유입되는 내외국인에게 볼거리를 제공하는 등의 효과를 주었으며 도시 이미지를 높이기 위해 대회의 주경기장이었던 대구 스타디움 부근에 설치되었다. 해당 위치는 지하도로라는 특징 때문에 조명에 대한 전력 소비가 컸지만 본 공공시설물을 통해 심미성 향상과 에너지 절감의 효과를 효율적으로 제공받고 있다.

4. CIGS 태양전지를 활용한 공공시설물 디자인 적용 가이드라인 개발

4.1 공공시설물 디자인 평가원칙 정립

4.1.1 공공시설물 디자인 평가원칙 선행연구

공공의 이익을 추구해야 하고, 주변 환경과의 조화를 고려하기 위한 디자인적 관점의 평가 원칙을 도출하기 위해 공공시설물 디자인 평가항목에 관한 국내사례 3개, 해외사례 3개의 선행연구 조사를 통해 공공시설물 디자인 평가 원칙을 정립하였다[12-17].

Table 1. Prior Study on the Evaluation Factors of Public Facilities Design

Precedent research	Evaluation criteria
Design Seoul guide lines.	Accessibility, Usability, Safety, Landscape, Sustainability, Community.
Indicators of the Seoul Public Design Evaluation System	Accessibility, Usability, Safety, Locality, Landscape, Sustainability, Construction, Community, Local residents, Economic feasibility
Administrative-centered complex city designation system for good buildings	Publicity, Harmony, Accessibility, Morphology, Environmental design, Spatiality.
Spaceshaper by The United Kingdom	Accessibility, Usability, Diversity, Maintenance, Environment, Design and Landscape, Community, Individual evaluation
PPS(Project for Public Spaces) by the United States	Accessibility & Connectivity, Comfort & Image, Usability & Activity, and Social exchange.
DQI by The United Kingdom	Accessibility, Spatial planning, Usability, Performance, Technology, Construction, Social integration, Internal environment, Form and material, Characteristics and Innovation

4.1.2 태양전지 설계지침 선행연구

태양전지의 특성에 유의한 평가원칙을 정립하기 위해 태양전지 설계 지침에 관한 국내사례 1개, 해외사례 2개의 선행연구 조사를 진행하여 평가원칙 정립에 반영하였다[18-20].

Table 2. Previous studies on solar cell design guidelines checklist

Precedent research	Evaluation criteria
Solar Design Guidelines: Recommendations for the City of Detroit	Complement & Blend with Context, Consider edge conditions, Design for different land uses, Locate strategically & Layer Uses, Maximize Co-Benefits, Make the invisible visible
Guidelines for installation and maintenance of solar power generation facilities	Heat loss prevention design, Ventilation on the back of the module, Waterproof function, Tightness design at joints and coupling parts between modules
Solar Energy System Design Guidelines & Sun recognition program.	Ground mounting categories, System size, Reasonable energy use, Safety lighting, Prevention of multiple panels, Prevention of glare

Table 1, 2에서 정리한 공공디자인 평가원칙 및 태양전지 설계 지침 항목에 관한 국내외 사례들의 선행연구 분석을 통해 태양전지 적용 공공시설물 심미성 향상을 위한 가이드라인 제안을 위해 그 특성에 유의한 평가지침 항목들을 선정하여 총 5가지의 평가원칙을 정립하였다. 이에 해당되는 항목으로는 접근성 및 인지성, 사용성, 형태 및 심미성, 지속 가능성 및 에너지 효율성, 도시 경관과의 연속성의 항목들로 정립하였다.

4.2 CIGS 태양전지 적용 공공시설물 디자인 가이드라인 개발

정립한 평가원칙을 토대로 CIGS 태양전지를 활용한 공공시설물 디자인 적용 가이드라인 항목 초안을 작성하였으며, 접근성 및 인지성에 해당되는 항목으로 9개, 사용성 항목에서 12개, 형태 및 심미성에서 12개, 지속 가능성 및 에너지 효율성에서 12개, 도시 경관과의 연속성에서 11개의 항목으로 총 56개의 가이드라인 항목 초안이 도출되었으며 이를 바탕으로 델파이조사를 진행하여 최종 가이드라인을 도출하였다.

4.3 델파이조사

4.3.1 델파이조사 개요

델파이(Delphi) 조사 기법은 예상이 가능한 문제에 대해 전문가들의 의견을 참고하여 해당되는 문제를 예측 및 해결하고, 최종적 의견의 일치율 목표를 하는 기법이다. 이는 전문가 집단에게 여러 차례 설문지를 거쳐 문제의 정확한 분석 및 종합하여 결과를 도출하는데 본 연구에서는 예상되는 여러 문제들의 초안을 바탕으로 평가항목의 타당성을 입증하기 위해 총 3차례의 설문 조사를 실행하여 전문가들의 검증을 받았다. 전문가 집단은 문제의 적합성 평가 입증에 4년 이상의 산업 디자인 경력자들로 구성되어 있으며, 제품 디자이너, UX/UI 디자이너, 공공 디자이너, 태양전지 연구자 등 총 30명을 선정하였다. 조사의 결과에 따라 전문가 집단의 의견을 수렴 및 정리하여 최종적으로 CIGS 태양전지를 활용한 공공시설물 적용을 위한 가이드라인을 도출하였다.

Table 3. Overview and scope of Delphi investigation techniques

Degree	Survey schedule	Contents of investigation
1st	2021.09.01.~ 2021.09.08	Clean up and delete entries for drafts
2nd	2021.09.15.~ 2021.09.22	Five-point Likert scale for the first Delphi survey, items supplemented and deleted
3rd	2021.10.03.~ 2021.10.10	Five-Likert scale for the 2nd Delphi survey, items supplemented and deleted

Table 4. Participants in the Delphi survey

The number of people	A major field of study.
15	UX/UI designer
8	Product designer
4	Public designer
3	Solar cell researcher

4.3.2 1차 델파이조사

1차 델파이 조사에서는 전문가 집단의 의견을 수렴하기 위해 작성된 초안을 바탕으로 1차 설문조사를 실시했다. 설문지에는 CIGS 태양전지를 활용한 공공시설물에 대한 평가항목에 부적합한 내용이나 수정되어야 할 항목을 선택하는 등의 의견을 제출받는 형식으로 구성

하였다. 조사를 진행한 결과, 총 56개의 항목 중에서 중복 내용 또는 부적합 요인의 항목 5개를 삭제하였다.

4.3.3 2차 델파이조사

2차 델파이 조사에서는 1차 조사를 기반으로 수정된 51개의 평가항목을 리커트 5점 척도의 재 설문을 진행하여 Lawshe(1975)의 이론에 근거한 CVR 값의 최솟값 0.33 미만 항목과 평균값이 3.00 미만인 항목을 삭제하였다. 최종적으로 도출된 CVR 값의 최솟값인 0.33 미만의 항목과 평균값 3.00 미만의 항목으로 총 12개의 항목을 삭제하였다.

4.3.4 3차 델파이조사 및 결과

3차 델파이 조사에서는 2차 델파이 조사를 기반으로 삭제 및 수정된 39개의 평가 항목에 대한 리커트 5점 척도 설문조사를 재 실시하여 2차 델파이 조사에서 사용된 CVR 최솟값 0.33보다 0.02 강화하여 최솟값 0.35 미만의 항목과 평균값 0.50을 강화한 3.50 미만의 항목 3개를 삭제하여 최종적으로 36개의 항목이 도출되었다.

4.4 최종 CIGS 태양전지를 활용한 공공시설물 디자인 적용 가이드라인 도출

Table 4. Guidelines for Designing Public Facilities Using CIGS Solar Cells

Number	Draft guidelines for CIGS solar cell public facilities.
Accessibility and cognition	1 The installation quantity of solar cells should be adjusted in consideration of commercial areas and floating populations.
	2 The installation design of solar cells should be considered to maximize the acceptance rate of light.
	3 It provides a function of charging a user's electronic device through power of a solar cell.
	4 The structure for assembling and dismantling solar cells should be designed intuitively so that it is easy to recognize.
	5 The area occupied by the facility should be minimized, but the installation of solar cells should be maximized so that power supply should not be affected.
Usability	6 Solar cells should be installed in consideration of the convenience of use of the facility and the movement of the radius of use.

Shape and aesthetics	7	It should be designed so that users do not feel uncomfortable applying solar cells when using facilities.
	8	Considering the simultaneous use of various people, it is necessary to design a solar cell power storage function that can accommodate the maximum number of people.
	9	Solar cell assembly structures should be designed to facilitate maintenance and repair.
	10	A solar cell application structure should be designed in consideration of stability and versatility.
	11	The scale and shape of solar cell installation should be designed to be minimized and optimized.
	12	While solar cells are used as an element of aesthetics, the top priority is to use them in a convenient and intuitive design for facility use.
	13	When using solar cells, it provides a sense of visual stability by using casting and auxiliary colors.
	14	Harmony of materials and colors of facilities and solar cells should be considered.
	15	Safe finishing should be provided in consideration of the stability of all users for the recognition and utilization of solar cells.
	16	Solar cells and facility structures in the form of considering the characteristics of the layout should be designed.
	17	Designs that are not complicated in the recognition and use of solar cell applications should be provided.
	18	Solar cells should be used as aesthetic elements, but excessive decorative design should be minimized.
Sustainability and energy efficiency.	19	When installing solar cells, a design that provides visual openness without giving a stuffy feeling should be provided.
	20	It should provide an intuitive design that is convenient for solar cell power use.
	21	A design that avoids the use of solar cell application facilities for other purposes rather than their original use should be provided.
	22	It provides a design representing regional characteristics by utilizing the color and shape of solar cells.
	23	Materials used when installing solar cells should not be harmful to the environment.
	24	It should be possible to continuously supply stable energy through solar cells.
	25	The replacement period of consumables used in solar cells and facilities should not be short.

26	Designs considering hygiene and pollution should be provided in consideration of solar cell energy loss.
27	When designing solar cells, the use of decorations and materials that conflict with other facilities should be avoided.
28	Materials that can protect solar cells from external pollution should be used.
29	Solar cell application design should be provided to prevent loss of energy efficiency.
30	A robust design should be provided to prevent damage to solar cells from natural disasters and external impacts.
31	It is necessary to provide a design that applies solar cells using materials with little shape deformation depending on physical properties.

CIGS 태양전지 적용 공공시설물 디자인 가이드라인 초안을 바탕으로 3차례에 걸친 델파이 조사를 통해 공공시설물의 심미성 향상을 위한 CIGS 태양전지를 적용 가이드라인을 도출하였다. 접근성 및 인지성 부분에 해당되는 항목으로는 지형적, 공간적 특성에 맞는 수량을 설치해야 하고, 태양전지의 빛 수용률 최대화와 구조의 직관성, 축적된 전력의 활용을 위한 설치가 필요하다. 또한 공간 특성에 맞춰 점유 면적과 전력 공급을 고려해야 한다. 사용성 부분에 해당되는 항목에는 사용자가 사용하는 과정에서의 다양한 동선을 고려하고 다중 이용시설의 목적을 실현해야 한다. 사용 시 안전성, 사후 관리를 고려한 설계를 지향하고 시설물의 규모를 공간의 특성에 맞게 지정해야 한다. 형태 및 심미성 부분의 항목에서는 주변 환경과 해당 지역을 나타낼 수 있는 조화로운 색채 사용으로 시각적 안정감을 제공하고 과한 장식 요소는 제한하며 해당 용도의 사용을 직관적으로 알 수 있는 디자인을 적용해야 한다. 지속 가능성 및 에너지 효율성 부분의 항목에서는 환경에 유해를 가하지 않는 소재와 지속적 사용을 위한 안정적인 에너지 공급, 재해로부터의 변형이나 안정성을 고려해야 한다. 도시경관의 연속성 부분의 항목에서는 시각적 통일감과 경관과의 조화를 고려하고 특히 도시경관과 사용하게 될 시민들의 생활환경을 개선할 수 있어야 한다는 가이드라인이 도출되었다.

5. 결론

현재 우리나라의 다양한 분야에서 공공시설에 신재생 에너지의 적용이 늘면서 기술과 더불어 심미성 개선의 필요성이 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 태양전지가 적용된 공공시설물의 심미성 향상을 위해 국내외 적용 사례를 분석하고, CIGS 박막 태양전지의 강점인 투광성 및 다양한 컬러 구현을 극대화하여 공공시설물 디자인에 적용할 수 있도록 디자인 적용 방안을 연구하였다. 이론적 고찰과 태양전지 적용 공공시설물 사례 분석을 통해 태양전지의 이론적 이해와 더불어 태양전지 적용 현황 및 제안 가능성을 살펴보고, 공공시설물 디자인 평가원칙에 대한 선행연구를 바탕으로 각 선행연구의 평가원칙으로 3사례 이상 중복되는 항목들을 도출하여 평가원칙을 선정하였다. 선정된 평가원칙은 접근성, 사용성, 형태 및 심미성, 지속가능성, 조화성으로 총 5가지의 평가원칙으로 정립되었으며, 이를 토대로 공공시설물에 CIGS 적용을 위한 디자인 가이드라인 항목 초안을 작성 후, 이를 4년 이상의 디자인 경력에 있는 전문가 집단 총 30명을 대상으로 3차례의 델파이 조사를 실시하였으며, 도출된 조사 결과에 따라 전문가 집단의 의견을 반영 및 수정하여 총 36개의 CIGS 태양전지를 활용한 공공시설물 디자인 적용 가이드라인 항목을 도출하였다. 선정된 가이드라인은 접근성 4개, 사용성 7개, 형태 및 심미성 8개, 지속가능성 7개, 조화성 8개로 선별되었으며, 전반적인 분석으로는 기능적인 측면에서의 개선과 지속가능성 측면의 개선보다는 심미성과 조화성 등의 직관적인 디자인과 안전한 마감 처리, 주변 경관과의 조화로움 등 시각적 요소의 개선을 중심으로 도출되었다. 또한 무엇보다 사용자의 태양전지 공공시설물 사용을 위해 주색과 보조색의 조화를 통해 시각적 안정감을 제공하고, 도시경관의 문제해결 및 사용자의 생활 환경 개선에 일조하는 것이 중요하다는 결론이 도출되었다. 본 연구를 통해 도출한 CIGS 태양전지 적용 공공시설물 디자인 적용을 위한 가이드라인은 공공시설물의 심미성 향상에 기여하고, 태양전지 활용을 위한 선행연구로서 학문적 기여 및 활용이 될 수 있기를 고대한다. 또한 본 연구를 진행하면서 실제 시설물 제작 및 실제 사용성 테스트를 진행하지 못하여 그 한계점이 있기에 향후 CIGS 적용 디자인 가이드를 바탕으로 구체적 결과물에 적용하여 실제 공공시설물의 심미성과 사용성 평가를 진행하고자 한다.

REFERENCES

- [1] S. Y. Park. (2018). *Seoul Metropolitan Government will hold the "Autonomous District Design Solar Competition"*. [Online]. <http://www.timesisa.com/news/view.html?section=93&no=20536>
- [2] Naver Terms. *Solar cell, Solar battery*. [Online]. https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5810487&cid=60217&categoryId=60217#_datalab
- [3] Naver Blog. *Solar Connect*. [Online]. <https://blog.naver.com/solarconnect/221550413807>
- [4] Naver Terms. *Copper indium gallium selenide thin-film solar cells*. [Online]. <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=3390030&cid=40942&categoryId=32371>
- [5] J. H. Park, Y. S. Lee & B. M. Park. (2011). A Study on Basic Items For Public Facility Design Evaluation - Focused on Public Facility Design in Busan. *Journal of The Archives of Design Research*. 351-360.
- [6] Dongjin's electric light (2019. 05. 28.), *Solar security light, wind security light, hybrid security light, product name DJ_701*, Dongjin's electric light <https://blog.naver.com/9892471/221548425015>
- [7] J. H. Park, W. S. Nam & J. S. Jang. (2020), Urban Design cases study analysis using solar cell : Focusing on the use CIGS Thin Film Solar cell, *The Korean Journal of The Korea Convergence Society*, 11(3), 163-170
DOI : 10.15207/JKCS.2020.11.3.163
- [8] Seoul Public Design Guidelines. (2021). [Online]. <https://news.seoul.go.kr/culture/archives/511341>
- [9] Installation of "Solar Power Plant" in the parking lot of Sejong Lake Park. (2014). [Online]. <https://news.naver.com/main/read.naver?mode=LSD&mid=sec&sid1=100&oid=001&aid=0006928234>
- [10] Geochang-gun, installation of information lights for non-smoking areas in the park.. (2016). [Online]. <https://www.asiatoday.co.kr/view.php?key=20161220010013496>
- [11] A solar power plant on the underground road in front of Daegu Stadium. (2009). [Online]. <https://www.donga.com/news/article/all/20090617/8745094/1>
- [12] Seoul Public Design Guidelines. (2021). [Online]. <https://news.seoul.go.kr/culture/archives/511341>

- [13] S. H. Kim. (2009). *A Study on Improving the Design Quality of Public Buildings with Indicator Development*. Seoul : AURI
- [14] E. J. Kim. (2011). *A study on the introduction of the design evaluation system for district unit planning area building*. Doctoral dissertation. Hanyang University, Gyeonggi-do.
- [15] J. H. Heo. (2012). *A Study on the Establishment of Design Evaluation System for User Satisfaction in the Public Realm*. Doctoral dissertation. Dankook University, Gyeonggi-do.
- [16] J. H. Lim. (2016). *A Study on Healing Environment-based Public Design Evaluation System, Focusing on Checklist through Evaluation Elements*. Doctoral dissertation. Sangmyung University, Chungnam-do.
- [17] J. E. Lee, S. H. Ryu & I. L. Koh. (2011). A Study on the Development of Evaluation Indicator for Architectural Design Quality Inhancement, Based on the Public Building. *Journal of The Korean Digital Architecture-Interior Association*, 11(1), 15-22.
- [18] City of Detroit. *Solar Design Guidelines : Recommendations for the City of Detroit*. Detroit : City of Detroit
- [19] Gyeonggi-do Provincial Office. (2021). *Guidelines for installation and maintenance of solar power generation facilities*. Gyeonggi. Gyeonggi-do Provincial Office
- [20] City of Santa Barbara. (2006). *SOLAR ENERGY SYSTEM DESIGN GUIDELINES & SOLAR RECOGNITION PROGRAM*. Santa barbara : City of Santa Barbara

이 샘(Saem Lee)

[학생회원]



- 2020년 3월 ~ 현재 : 국민대학교 테크노디자인전문대학원 제품이노베이션학과 석사과정
- 관심분야 : 제품디자인, 플랫폼디자인
- E-Mail : dltoa6746@kookmin.ac.kr

서 지 영(Ji-Young Seo)

[학생회원]



- 2020년 3월 ~ 현재 : 국민대학교 테크노디자인전문대학원 제품이노베이션디자인학과 석사과정
- 관심분야 : 3D프린팅, 제품디자인, 플랫폼디자인, UX/UI 디자인
- E-Mail : sjyqaz@kookmin.ac.kr

박 수 지(Su-Zy Park)

[학생회원]



- 2021년 9월 ~ 현재 : 국민대학교 테크노디자인전문대학원 제품이노베이션디자인학과 석사과정
- 관심분야 : 제품디자인, 공공디자인, 플랫폼디자인
- E-Mail : sz_2@kookmin.ac.kr

남 원 석(Won-Suk Nam)

[정회원]



- 2011년 3월 ~ 현재 : 국민대학교 공업디자인학과 (교수)
- 관심분야 : 제품디자인, 플랫폼디자인
- E-Mail : name@kookmin.ac.kr

장 중 식(Jung-Sik Jang)

[정회원]



- 1998년 3월 ~ 현재 : 국민대학교 조형대학 공업디자인학과 교수
- 관심분야 : 3D 프린팅, 제품디자인, 니팅기
- E-Mail : kmjanggal@kookmin.ac.kr