

2025년 추계학술발표대회 : 대학생부문

건물일체형 태양광(BIPV)패널의 발전효율과 미관성 통합 인식 연구

A Study on the Integrated Perception of Power Generation Efficiency and Aesthetic Value of Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) Panels

○정 상 훈* ○박 종 현**
Jeong, Sang-hoon Pack, Jong-hyun

Abstract

This study investigates the integrated perception of power generation efficiency and aesthetic value in Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) panels. While traditional photovoltaic systems prioritize energy performance, BIPV applications require a balanced consideration of visual design and functional output. Through a review of color application techniques, efficiency trade-offs, and architectural integration methods, this research analyzes how various panel colors affect both energy yield and visual harmony. A user perception survey was conducted to assess preferences and acceptance of low-efficiency yet visually enhanced BIPV panels. The results suggest that color-integrated BIPV systems, despite slight efficiency reductions, are positively perceived in terms of architectural aesthetics and urban compatibility.

키워드 : 건물일체형 태양광(BIPV), 신재생 에너지, 태양광 패널 심미성, 건축 디자인

keyword: Building-Integrated Photovoltaics (BIPV), Renewable Energy, Aesthetic Value of Solar Panels, Architectural Design

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 급격한 산업화 및 도시화로 인한 에너지 소비 증가는 환경 문제를 심화시키고 있으며, 이에 따른 해결책으로 신재생 에너지인 태양광 발전 기술은 전 세계적으로 가장 주목 받고 있으며 가장 많이 보유하고 우리 일상에 조차도 자주 사용되는 추세이다. 태양광 발전 기술은 기존의 지붕 설치형(SPV)뿐만 아니라, 건물 외피와 일체화하여 에너지 생산과 건축 디자인을 동시에 충족하는 건물 일체형 태양광(BIPV, Building-Integrated Photovoltaics) 시스템으로 확장되고 있다. BIPV는 에너지 자립형 건축물 구현과 더불어 외관 디자인 요소의 역할도 수행할 수 있어, 기능성과 심미성을 동시에 고려하는 현대 건축 추세에 부합한다. 그러나 BIPV 시스템의 실질적 확산 및 개발을 위해서는 발전 효율성뿐만 아니라 패널 색상, 형태, 질감 등 디자인 요소가 건축물에 미치는 영향을 정밀하게 분석할 필요가 있다. 특히 패널 색상은 건축 미관에 직접적인 영향을 미치는 동시에 발전효율에도 간접적 변화를 초래할 수 있기 때문에, 색상 선택은 BIPV 설계에서 중요한 의사결정 요소로 작용한다.

이에 본 연구는 BIPV 건물 일체형의 형태를 지닌 태양광 발전 기술을 색상과 종류에 따른 발전량과 미적 분석을 통해 BIPV의 사용이나 선택에 개선 방안을 제언하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 BIPV 시스템을 중심으로 하며, 그중에서도 패널의 색상과 종류가 발전효율과 미관에 미치는 영향을 주된 연구 대상으로 설정하였다.

연구는 이론적 고찰을 통해 BIPV 시스템의 기본 개념과 특징을 파악하고, 다양한 색상별 발전효율 데이터를 수집·분석하는 한편, 사례 분석 및 설문조사를 통해 디자인 통합성과 심미성에 대한 평가를 수행하였다.

연구 방법은 다음과 같다. 선행 연구 및 문헌조사를 통해 BIPV와 색상 심미성에 관한 이론적 배경을 정리하였다. 다음으로 실제 적용 사례를 분석하여 색상에 따른 발전 성능과 디자인 통합 사례를 비교한 후 색상별 심미성에 대한 설문조사 결과를 수집하여 패널 색상에 따른 선호도 및 통합성 평가를 시행하였다. 이를 종합 분석하여, BIPV 패널 색상 선택에 대한 가이드라인을 제시하고 향후 연구 방향을 논의하였다.

* 호남대 건축학부 4학년 과정

** 호남대 건축학부 교수, 박종현

(Corresponding author : Department of Architecture, Honam University, jonghyun.park@honam.ac.kr)

2. BIPV 이론적 고찰

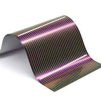
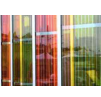
2.1 태양광의 배경

태양광 발전은 발전 과정에서 이산화탄소나 기타 오염 물질을 배출하지 않으며, 설치 지역에 따라 규모 조정이 가능해 분산형 에너지 공급에도 유리하다. 이러한 특성은 도시 내 에너지 자립도를 높이고, 에너지 수급의 안정성을 향상하는데 기여할 수 있다. 특히 건물 외피를 에너지 생산 요소로 활용하는 BIPV 기술은 환경 문제 대응과 건축 미적 요구를 동시에 만족시키는 능력으로 주목받고 있다.

2.2 BIPV 시스템의 개념

BIPV(Building-Integrated Photovoltaics)란, 건축물의 외장재 역할과 태양광 발전을 동시에 수행하는 태양광의 형태로 건물 일체화 태양광 시스템을 의미한다. BIPV는 건물 외피(지붕, 벽체, 창호 등)와 일체화되어 일상적인 건축 재료의 기능(방수, 단열, 차양 등)을 대체하거나 보완하는 특성을 가진다. BIPV 시스템은 셀의 종류에 따라 다양하게 구분된다. 셀의 종류는 다음 표1. 과 같다.

표1. 셀에 따른 구분표

태양전지 항목	단결정질	다결정질	박막형 화합물	염료감응형, 유기물형
이미지				
경제성	낮음	높음	중간	높음
발전 효율	15%~21%	13%~18%	7%~13%	5%~10%
색상 선택 여부	가능	가능	가능	가능
색상 적용 방식	유리 코팅 적용	유리 코팅 적용	화학적 적용, 코팅	염료 자체의 고유 색상 적용
수명	깊	깊	중간	짧음

BIPV 시스템은 기존 태양광 설치 방식과 비교하여 다음과 같은 차별점을 가진다.

BIPV의 가장 큰 장점으로 공간 활용 효율성이 뛰어나다. 별도의 부지를 필요로 하지 않고 건물의 외장재를 대체함으로써 토지 이용 부담을 줄일 수 있다.

다양한 색상, 형태, 패턴을 적용할 수 있어 건물 디자인과 조화를 이루며, 외관을 향상함으로써 건축적인 부분에서 통합성을 제공한다.

경제성과 지속가능성 측면에서 유리하다. 초기 설치비는 다소 높을 수 있으나, 외장재 비용 절감 및 장기적인 에너지 절감 효과를 고려하면 경제적 이점을 기대할 수 있다. 이는 건물주나 사용자에게 있어 비용 절감을 통한 BIPV 보급률 증가에 도움이 된다.

이러한 차별화된 특성은 BIPV가 단순한 에너지 생산 설비를 넘어, 친환경적이고 심미적인 도시 건축을 실현하는 핵심 기술로 자리를 잡게 하는 데 기여하고 있다.

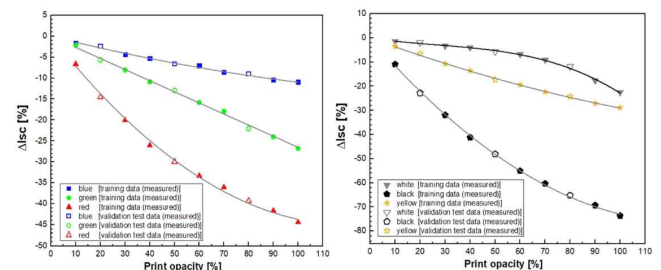
3. 건물 일체형 태양광(BIPV) 사례 및 설문 연구

3.1 색상 유형과 발전효율 비교

컬러 BIPV 시스템에서 색상은 시각적 효과뿐 아니라 발전효율에도 큰 영향을 미친다. 특히 색상 구현 방식에 따라 광 투과율이 달라지며, 이는 단락전류(Isc)의 감소를 통해 전체 발전 성능을 저하한다.

공주대 BIPV 에너지 성능 연구에서는 파랑, 초록, 빨강, 검정, 노랑, 흰색 등 6가지 색상 필터를 적용하여 발전 성능을 분석하였고, 그중 파란색과 검은색 필터는 투과성이 낮아 Isc 손실이 가장 크게 나타났다. 반면, 초록과 노랑 계열은 비교적 높은 효율을 유지했다. 또한 색상이 어두워질수록 전류 손실이 커지는 경향이 뚜렷하게 나타났으며, 이는 광 투과율 저하가 발전효율 감소의 핵심 원인임을 시사한다. 따라서 컬러 BIPV 설계 시 색상 선택과 필터 투과율 조절은 발전 성능 유지에 있어 매우 중요한 요소로 작용한다.

표2. Fig. 3 컬러 PV모듈의 투과성에 따른 Isc 그래프*



3.2 미적 요소 및 건축 적용 사례 및 분석

1. Swiss Tech convention centre (테크 컨벤션 센터)



스위스 로잔(Lausanne)에 위치한 국제 학술·문화 복합 시설로, 건물 전면에 염료감응형 태양전지(Dye-Sensitized Solar Cells, DSSC) 기반의 컬러 BIPV 시스템을 적용한 대표적 사례이다. 이 건물은 기능성과 예술성이 결합된 BIPV 설계로 세계적으로 주목을 받았으며, 색상과 채광, 발전 기능이 통합된 고유한 외피 디자인을 구현하였다.

2. Denmark International School, Nordhavn
(덴마크 코펜하겐 노르드헤븐 국제학교)



덴마크 코펜하겐 항구 재개발지구에 위치한 국제학교로, 이 건물은 친환경 교육의 상징성을 강조하고, 도시 재생 속에서 에너지 자립형 건축의 가능성을 보여준다.

가장 큰 특징은 단결정 실리콘 셀에 청록색(Kromatix™) 컬러 유리를 덧씌운 구조로, 전기적 성능과 시각적 디자인을 모두 만족시킨다. 외관상으로는 바다색 계열의 유리 모듈이 리드미컬하게 구성되어 건축물 전체가 하나의 예술 작품처럼 보인다.

3. 송파 KT 타워 청진 CH타워 (94빌딩)



서울시 송파구 문정동에 위치한 고층 업무용 건축물로, 외벽에 도시 업무지구 내에서 에너지 자립과 외관 통일성을 동시에 고려하여 BIPV를 설계에 반영한 건축물로서 패널은 각 층별로 설치되어있으며, 외장유리와 일체화되어 고정형 커튼월 형태로 구성되어 있다. 태양광 설비가 외관상 눈에 띄지 않도록 배치하는 동시에 효율성과 설비 일체화에 초점을 맞춘 설계되었다.

4. 경기주택도시공사



경기도 수원시 광교 신도시에 위치한 공공업무 시설로, 외관 전면에 에너지 절감과 시각적 정체성을 동시에 고려한 BIPV 외피 설계를 채택하여 적용한 대표적인 건축물로 파란색 계열의 유리형 모듈이 고정형 커튼월과 일체화된 형태로 적용되었다.

5. 충북 진천고등학교



충청북도 진천군에 위치한 교육용 건축물로서 건물 외벽과 창호부에 BIPV 모듈을 적용하여 에너지 생산과 시각적 교육 효과를 동시에 달성하는 목표를 달성하였다. 특징으로는 청색·노란색 등 다양한 색상의 모듈이 건물 외벽에 배열되어, 시각적으로 활기 있는 입면을 구성하는 것이다.

6. 서울 월계중학교



노원구에 위치한 교육용 건축물로서 위의 진천고등학교와 같은 목표를 달성하였다. 가장 큰 특징으로 외벽, 창호, 난간부에 설치된 BIPV는 흰색, 회색, 청색 등의 컬러 패널로 단조롭지 않은 디자인을 보인다.

모두 종합하여 위의 표와 같이 정리할 수 있다.

표3. 사례별 특징표

사례 항목	1	2	3	4	5	6
패널 유형	염료감응형	단결정	-	다결정	단결정 다결정	단결정 다결정
설치 용량 (KWp)	2	720	400	640	17.67	30
투명성	투명	불투명	불투명	불투명	불투명	불투명
발전량 (kWh/yr)	8,000	300,000	100,000	200,000	27,000	50,000
색상	빨, 녹, 주황의 5가지 음영	주변 바다의 3가지 색	검은색	파란색, 청회색	황색, 갈색, 검색	주황색, 파란색, 하늘색

3.3. 설문조사 내용

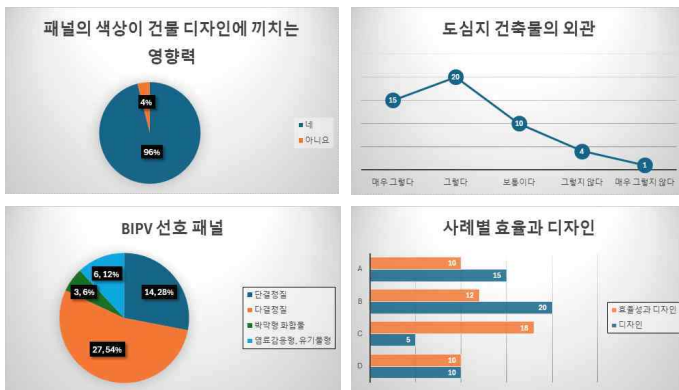
본 설문에서는 BIPV의 시각적 심미성과 발전 효율성 간의 가치 판단, 기술 선호도, 사례 평가에 대한 인식을 종합적으로 분석하기 위해 실시되었다. 응답자는 호남대학교 건축학과 재학생들이며, 총 10문항을 중심으로 색상과 효율의 인식 차이를 평가하였다. 내용은 다음과 같다.

표4. 설문 질문

Q1	기본 조사	귀하의 학년은?
Q2	심미성 및 색상 인식	BIPV 패널의 색상은 건물 외관의 디자인에 중요한 영향을 준다고 생각한다.
Q3		BIPV 색상에 유리한 색상은?
Q4		다소 높은 비용을 지급하더라도, 디자인적으로 뛰어난 BIPV 패널을 선택할 의향이 있다.
Q5	디자인과 효율의 가치 판단	BIPV에 있어 더 중요하다고 생각하는 것은?
Q6		BIPV의 사용이 눈에 띄지 않도록 설치하는 것이 더 좋다고 생각한다.
Q7		BIPV 패널의 색상이 다양해질수록 도심 건축물 디자인의 질도 향상될 수 있다고 생각한다.
Q8	기술적 가치	BIPV 사용에 있어 적절하다고 생각하는 패널은 어떤 패널이라고 생각하는가?
Q9	사례 기반	사례에서 디자인만 보고 가장 마음에 드는 건축물은?
Q0	응답 분석	사례에서 효율과 디자인을 보고 가장 좋다고 생각하는 건축물은?

3.3. 설문조사 결과 요약

그래프1~4. 설문 결과 요약



설문 결과, 다수의 응답자는 "발전 효율을 위해 일정 수준 이상의 추가 비용을 지급할 의향이 있다"라고 응답하였으며, 디자인보다는 효율성이 더 중요하다는 견해에 동의한 응답 비율이 높게 나타났다. 이는 응답자들이 BIPV 시스템을 에너지 설비로서의 본질적 기능에 우선 가치를 두고 있다는 점을 시사한다. 또한, 설치 형태에 있어서는 "외관에서 눈에 띄지 않는 방식"이 더 바람직하다는 의견이 우세하였으며, 이는 시각적 통합성보다는 건물 외피와의 조화 또는 비 노출형 설계를 선호하는 경향으로 나타

났다. 반면, 색상의 디자인적 가치에 대해서는 긍정적인 응답도 확인되었다. 응답자들은 패널 색상이 다양해질수록 도심 건축물의 디자인 품질이 향상될 수 있다는 데에 공감하였다. 이를 통해 태양광 패널의 발전적 기능이 미적 심미성보다 더 중요하지만, 미적 심미성 또한 그 기능만큼 중요하다는 것이 포착되었다.

기술적 선호도 측면에서는 다결정질 모듈이 BIPV에 가장 적절한 기술이라는 응답이 다수를 차지하였다. 이는 가격, 안정성, 시공성 측면에서의 현실적인 고려가 반영된 결과로 해석된다.

사례 평가에 있어서는, 디자인 요소 중시으로는 A, B 사례가 높은 선호도를 보였으나, 효율과 디자인을 동시에 고려한 평가에서는 C 사례가 가장 높은 점수를 받았다.

이를 통해 사용자들은 BIPV가 단순히 미관 중심이기보다는 기능성과 심미성이 균형 있게 통합된 형태를 더욱 이상적으로 인식하고 있음을 알 수 있다.

결과적으로, 본 설문 참여한 호남대학교 건축학과 학생들은 발전효율을 디자인보다 더 중요하게 인식하고 있었으며, 효율성과 심미성 간의 우선순위 결정이 사용자 인식 기반에서 다르게 적용될 수 있음을 시사한다.

4. 제 4장 결론

이번 연구의 한계는 설문 표본이 적고 대상이 제한적이었다는 것과 전문성이 다소 결여되었다는 것이다. 항목 또한 다소 불균등해서 대학생으로서의 한계가 보였다고 볼 수 있다. 그러나 대학생으로서 설문을 통해 학과 동기와 후배들에게 BIPV를 알리고 그들의 인식을 조사함에 있어 의미가 있었다. 더 나아가 급격히 성장하고 있는 BIPV 산업에 있어 사람들이 BIPV에 대한 지식이 부족하고 인식에 따른 조사도 필요하다는 것을 확인할 수 있었다.

향후 연구에서는 대상의 범위를 넓히고 전문성을 더 갖출 수 있을 것이며 그를 통한 사람들의 BIPV 인식성 또한 향상하여 BIPV의 산업화가 더욱 나은 방향으로 나아가길 바란다.

참고문헌

1. 김슬기. "건물일체형태양광(BIPV) 통합설계를 위한 파사드 디자인 고려 요소에 관한 연구." 국내석사학위논문 홍익대학교 대학원, 2021. 서울
2. 김하영. "투광형 박막 PV 모듈이 적용된 창호형 BIPV 시스템의 에너지성능에 관한 연구." 국내석사학위논문 공주대학교 일반대학원, 2023. 충청남도
3. 안종권, 김진희, 김준태. (2022-06-22). 컬러 BIPV 시스템 연구 현황 및 동향 분석. 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 강원.
4. 김효중, 김현아, 김혜진, 이경우, and 이예진. "제로에너지건축물 인증(ZEB) 확보를 위한 최적설계 구현방안 연구." 대한건축학회논문집 40.7 (2024): 173-183.