

A Study on Research Trends and Technical Proposals for Double-Sided PV applied to Building Envelopes

건물외피에 적용되는 양면형 PV의 연구동향 및 기술제언 연구

Suyeon Jung¹, Sowon Han², Heangwoo Lee³

정수연¹, 한소원², 이행우³

¹ Student, Major of Space Design, College of Design, Sangmyung University, Korea, s201920289@gmail.com

² Student, Major of Space Design, College of Design, Sangmyung University, Korea, hkghkdfyd123@naver.com

³ Assistant professor, Major of Space Design, College of Design, Sangmyung University, Korea, 2hw@smu.ac.kr

Corresponding author: Heangwoo Lee

Abstract: Energy use in the building sector continues to grow and the increasing trend could be a serious problem. Photovoltaic (PV) modules, which have emerged as a solution to this problem, are now becoming one of the popular renewable energy sources that convert solar energy, an infinite resource, into electricity, and related research and application cases are increasing. In recent years, there has been a surge in research to induce the reduction in building energy by applying PV modules as building envelopes, and much attention has been directed towards bifacial PV modules, a structure that improves power generation efficiency. Since bifacial PV modules have two layers of PV cells and show higher power generation efficiency compared to the existing monofacial PV modules, the value of bifacial PV modules is considered to be high. Thus, this study aims to derive the research trend of bifacial PV modules and recommend future research directions by analyzing research on bifacial PV modules that are applied as building envelopes. To do this, this study analyzed the trends of bifacial PV modules based on the research on bifacial PV modules conducted in Korea, and the conclusions are as follows: 1) The efficiency of bifacial PV modules is higher than that of conventional monofacial PV modules, but the number of studies on their application as building envelopes is significantly insufficient. This is because monofacial PV modules have been popular and widely spread, thereby capturing a large share in the related markets, and this has led to the lack of awareness of bifacial PV modules. 2) Previous research on bifacial PV modules applied to building envelopes has focused on power generation efficiency. Thus, performance evaluation has been performed only with simple fixed types, so accurate verification of bifacial PV modules has not been conducted. Some studies have shown that bifacial PV modules of the movable type have high power generation efficiency, but even in these studies, there are research limitations in that the performance evaluation is carried out without considering the energy for moving. 3) We analyzed that the previous studies have limitations in that they do not closely examine the high heat generated by attaching PV cells to both sides of the bifacial PV module and the economic feasibility is also not assessed. In this regard, future studies on bifacial PV modules applied as building envelopes should avoid simply verifying the power generation efficiency. Moreover, it is necessary to advance the research on bifacial PV modules by conducting a study that considers multifaceted issues

Received: February 04, 2023; 1st Review Result: March 20, 2023; Accepted: May 31, 2023

such as attaching and controlling bifacial PV modules to movable building envelopes.

Keywords: PV module, Double -sided, Building Envelopment, Renewable Energy, Research Trends

요약: 건물부문 에너지사용량은 지속적으로 증가하는 추세로, 이에 대한 문제는 심각한 수준이다. 이를 해결하기 위한 해결책으로 등장한 PV모듈은 무한한 자원인 태양에너지를 전기에너지로 변환시키는 대표적인 신재생에너지로서 관련 연구와 적용사례가 증가하고 있다. 최근 연구에서 PV모듈을 건물외피로 적용함으로써 건물에너지 저감을 유도하는 연구들이 급증하고 있으며, 특히 발전효율을 높인 구조인 양면형 PV모듈에 대한 관심이 증가하고 있다. 양면형PV모듈은 PV cell을 2장 겹친 구조로 기존 단면형 PV모듈에 대비하여 높은 발전효율을 보이고 있기 때문에 그 가치는 높다고 판단된다. 이에 본 연구는 건물외피로 적용되는 양면형 PV모듈에 대한 연구를 분석함으로써 양면형PV 모듈의 연구 경향 도출과 향후 연구방향 제언을 목적으로 한다. 이를 위해 본 연구는 국내에서 수행된 양면형 PV모듈에 대한 연구를 근거하여 그 동향을 분석하였으며, 이에 대한 결론은 다음과 같다. 1) 기존 단면형 PV모듈에 대비하여 양면형 PV모듈의 효율은 높게 나타나고 있으나, 건물외피에 적용되어 수행된 연구의 수는 현저하게 부족한 실정이다. 이는 단면형 PV모듈의 보급 및 확산이 주를 이루어 관련시장에서 높은 점유율을 차지하고 있으며, 이에 따라 양면형 PV모듈에 대한 인식부족이 그 원인으로 사료된다. 2) 건물 외피 적용된 양면형 PV모듈 관련 선행연구는 발전효율에 초점이 맞춰져 있어, 단순 고정형태의 타입에 대한 성능평가가 이루어져 양면형 PV모듈에 대한 정확한 검증이 이루어 지지 않는 것으로 사료된다. 일부 수행된 가동타입의 양면형 PV모듈은 발전 효율이 높게 나타나고 있으나, 이러한 경우에도 가동을 위한 에너지를 배제한 채 성능평가가 이루어지고 있는 부분에서 연구적 한계를 보인다. 3) 선행연구는 양면형 PV모듈을 양면에 PV cell을 부착함에 따라 발생하는 발전 고열, 경제성 등에 대한 면밀한 검토가 이루어지고 있지 않다는 한계를 가지고 있는 것으로 분석된다. 이러한 측면에서 향후 건물외피로 적용되는 양면형 PV모듈에 대한 연구는 단순 발전 효율만을 검증하는 연구는 지양한다. 또한 가동형 건물외피에 양면형 PV모듈을 부착하여 제어하는 등 다각적인 문제를 고려한 연구를 수행함으로써 양면형 PV모듈연구를 고도화시켜야 할 것으로 사료된다.

핵심어: PV모듈, 양면형, 건물외피, 신재생에너지, 연구동향

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

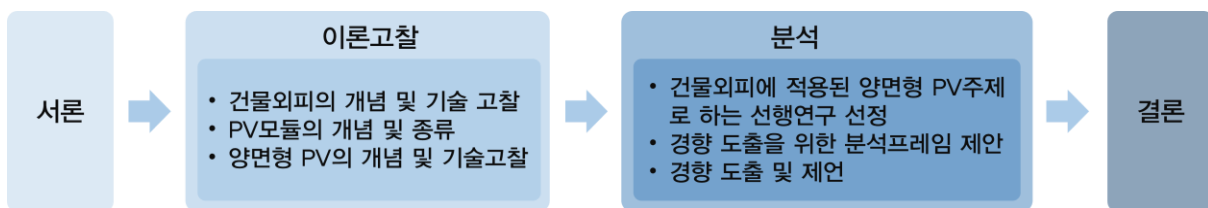
전 세계는 급변하는 도시화 및 기술발달로 인하여 건물부문에서 사용되는 에너지 사용량은 지속적으로 증가하고 있는 추세이다[1]. 국제에너지기구(IEA)의 보고서에 따르면 2019년 전세계 건물의 에너지 사용량은 2000년 대비하여 1.3배 증가하여 전체 에너지 사용량의 28%를 차지 하는 것으로 나타나고 있다[2]. 또한, 미국 에너지부(EIA)의 Annual Energy Outlook 2022 자료에 의하면 미국의 건물에너지 사용량은 2005년부터 2018년까지 약 10%로 높게 증가한 것으로 보고한 바 있다[3]. 국내 건설기술연구원(KICT)의 연구에 따르면 한국의 경우 건물에너지 사용량은 2005년부터 2018년까지 약 47% 증가하는 것으로 나타난 것으로 발표하였으며[4], 이러한 내용을 종합 시 건물부문의

에너지 저감과 관련한 이슈는 현세대가 당면하고 있는 최대의 과제라 할 수 있다. 건물 에너지 사용량과 직접적으로 관련된 건물의 에너지 효율등급은 건물의 열손실이 높게 나타나는 건물외피와 연관성이 높으며, 이러한 측면에서 건물외피와 관련 요소기술에 대한 연구가 증가하는 추세이다[5][6]. 최근 에너지 저감에 관련한 건물외피의 개념은 단순 단열성능을 높이는 것에서 벗어나 에너지 자립화 및 지속가능의 역할로 그 기능은 고도화가 요구되고 있다. 이러한 건물외피의 에너지 자립화 및 지속가능을 위한 하나의 해결책으로 등장한 신재생에너지는 기존의 화석연료와는 달리 무한한 에너지원인 햇빛, 물, 지열, 생물유기체 등을 이용하여 생성한 재생가능한 에너지를 의미한다. 이중 PV모듈은 태양에너지를 전기로 변환하는 것으로, 그 효율을 인정받아 적용 범위가 증가하고 있는 추세이다[7]. 최근에는 건물 전면에 PV모듈을 부착한 일종의 건물외피 일체형 타입인 BIPV가 등장하여 건물의 초기 설계에서부터 고려되고 있다. 또한, PV모듈의 낮은 발전 효율을 개선하기 위하여 도입된 양면형 PV모듈은 PV Cell을 앞뒤로 부착한 구조로 기존의 단면형 PV모듈에 대비하여 높은 발전효율을 가지고 있다. 이러한 측면에서 양면형 PV모듈은 신재생에너지 시장에서 중추적인 기술로 자리매김할 것으로 사료된다. 그럼에도 아직 양면형 PV모듈을 적용한 건물외피에 발생할 수 있는 문제와 이를 해결하기 위한 연구는 현저히 부족한 실정으로 사료된다.

이에 본 연구는 건물외피의 적용된 양면형 PV모듈의 건물에너지 저장에 대한 연구동향을 검토하며, 이후 건물외피로 적용되는 양면형 PV 모듈에 대한 연구방향을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 양면형 PV모듈이 적용된 건물외피의 기술동향을 분석하기 위해 [그림 1]에서 나타나듯이 다음 절차에 의거하여 진행하였다. 첫 번째, 본 연구의 문헌고찰 단계로 건물외피의 개념 및 기술, PV모듈의 개념 및 특성을 고찰하였다. 두 번째, 본 연구는 양면형 PV모듈에 관련한 연구들의 경향을 분석하기 위하여 관련 선행연구[8][9]를 근거하여 분석프레임을 제안하였다. 이후 본 연구는 선정된 선행연구에서 다루고 있는 양면형 PV의 기술과 한계를 분석하며, 이를 근거로 향후 양면형 PV모듈의 기술 개발 및 연구의 방향을 제안하였다.



[그림 1] 연구의 흐름도

[Fig. 1] Flow Chart of Research

2. PV모듈 및 건물외피 고찰

2.1 건물외피 개념 및 기술

건물외피는 건물의 주요 구성요소로 출입, 조망, 안전, 통풍 등의 긍정적인 기능을

제공하고 있으나, 건물에서 발생하는 에너지손실은 건물외피에서 가장 높게 나타나고 있다[10][11]. 일반적으로 건물외피는 외벽, 창문, 문, 지붕 등으로 구성되며, 외부의 환경으로부터 내부를 보호, 연결 등의 역할을 한다. 최근 환경문제가 떠오르며 건물외피 관련 에너지효율에 대한 연구가 증가함에 따라 건물외피 또한 여러 유형으로 나타나고 있는 추세이다[12]. 과거의 외피 기술은 벽과 창 등을 싸고 있는 것을 말하였으나, 최근 연구에서는 건물외피의 범주를 벽과 창호에 부착하여 외피의 성능을 개선시키는 루버, 블라인드, 광선반, 어닝 등의 건물외피 요소기술을 포함시키고 있다[13]. 루버는 외부에서 실내로 유입되는 자연광을 루버slat에 의하여 차단하는 차양기능을 가지며, 동시에 일부의 자연광을 실내로 반사시키는 채광의 역할을 한다. 또한, 루버는 바람막이 역할을 함으로써 채광창의 단열성능을 높인다[14]. 그러나 외부에 설치될 경우 오염 등에 의해 채광성능 저하, 유지관리 등의 단점을 가진다[15]. 블라인드는 외부 일사의 유입 또는 차단함으로써 실내공간의 일사취득을 조절하거나 유입되는 가시광선의 양을 제어하는 대표적인 건물외피 요소기술이다. 블라인드는 간편한 조작으로 원하는 양의 일사 유입이 가능하며, 일사 조절로 여름철 내부 온도 상승을 막아 냉난방 에너지 절약이 가능하다. 광선반은 반사판 형태로 창의 내부 또는 외부에 부착하여 자연광을 실내공간 깊숙히 유입시키는 일종의 자연채광시스템으로 조명에너지 저감 및 균일한 실내조도 구성에 유리하다[16]. 그러나 광선반은 자연광의 반사과정에서 현휘를 발생하는 문제점을 가지고 있어서 적절한 가동과 제어가 요구된다. 위의 내용을 정리하면 루버, 블라인드, 광선반 어닝 등 건물외피의 요소기술은 건물외피의 건물외피가 가지는 고유한 기능인 채광, 차양 및 집광 등의 성능을 개선이 가능하며, 실내외 환경에 대응하여 효율적인 채광, 차양 및 집광 등의 성능개선을 위하여는 별도의 에너지를 소모하여 각 건물외피에 대한 가동제어가 요구된다.

2.2 양면형 PV모듈의 개념 및 특성

PV모듈(PV Module System)은 태양광 전지셀을 이용하여 태양광에너지를 전기에너지로 변환하여 전기를 생산하는 발전기술로, 햇빛을 받으면 태양전지셀이 광전효과에 의하여 전기를 발생시킨다[17]. 전기를 생산하는 가장 작은 단위인 태양전지(PVCell)는 P형반도체와 N형반도체를 접합시킨 구조이며, PV모듈은 일반적으로 여러 개의 태양광 전지셀을 직렬 또는 병렬로 연결한 형태로 지니고 있다. PV모듈은 크게 단면형 PV와 양면형 PV로 구분되며, 이에 대한 세부적인 내용은 다음과 같다. 단면형 PV모듈(Monofacial PV Module)는 전면에 유리로 덮여있고 후면에는 백시트가 깔려있는 구조로, 태양광 전지셀은 전면에만 배치되어있다[18]. 단면형 PV모듈은 태양의 직달일사만을 이용하여 발전하는 구조로, 전면 전극으로 들어오는 빛을 이용하여 전류를 생성한다 이는 구성요소가 단순하여 생산과 설치가 비교적 간단하다. 반면, 단면형은 한 개의 셀이 문제가 생기면 전체 모듈의 발전효율에 영향을 미치기에 이런 부분의 고려가 필요하다. 또한 단면형 PV는 단일 면에서만 태양광을 수집하기에 일부분 온도 상승이 다른 부분에 비하여 더 높아질 수 있으며, 발열문제는 단면형에 있어서 가장 큰 고려요소 중 하나로 제시된다. 단면형 PV는 발전 과정 중 고열이 발생하여 발전 효율을 저하시킬수 있다[18]. 양면형 PV모듈은 보통 양면수광형(Bifacial PV Module)로도 불리며, 일반적인 단면형 태양전지와 달리 전면 전극과 후면 전극으로 들어오는 태양광을 이용하여 전면과 후면에서 동시에 전류를 생산하는 구조이다[19]. 이러한 양면한

PV모듈은 전면과 후면에 동시에 전기를 생산할 수 있는 장점이 있어 기존 단면형 PV모듈과 비교하여 평균 37% 이상의 발전성능이 향상된다[20]. 그러나 양면형 PV모듈은 단면형에 대비하여 제작과 설치비용이 높으며, 더 큰 설치 공간이 필요하므로 공간적인 제약이 있다. 이어서 양면형 PV모듈은 모듈 뒷면에서 발생하는 열이 모듈 내부로 흡수되기 때문에 모듈의 전기적 성능을 저하시켜 단면형보다 높은 발열 문제를 가지고 있다. 또한, 양면형 태양전지 기술은 아직까지 그 성능을 정확히 측정하기 위한 국제표준이 정립되어 있지 않으며, 단면형 PV모듈과 달리 가동여부와 PV의 취약점인 발열에 관하여 고려되지 않는 것에 있어 향후 지속적인 연구가 필요한 것으로 알려져 있다[21].

PV모듈의 발전효율을 높이기 위해서는 태양빛이 PV모듈로 수직에 가깝게 입사되는 것이 유리하기에 PV모듈을 태양의 고도와 방위각에 따라서 가동하는 것이 유리하다. 이러한 측면에서 가동형 건물외피에 PV모듈을 부착하여 건물외피와 PV모듈을 동시에 가동시키는 연구가 증가하고 있는 추세이다[22]. 이는 본 연구가 수행하고자 하는 건물외피 적용 양면형 PV모듈의 가동에 대한 부분이 중요하다는 것을 의미하고 있다.

3. 분석결과 및 논의

3.1 건물외피 적용 양면형 PV모듈 관련 선행연구 선정

본 연구는 건물외피에 적용되는 양면형 PV모듈에 대한 연구동향을 분석하며, 이에 따라서 선행연구의 선정이 중요하다. 이에 본 연구는 선행연구 선정을 위하여 다음의 절차에 의거하였다. 우선 본 연구는 2023년 4월 7일을 기점으로 건물과 PV를 키워드로 논문을 검색하여, 486건의 논문을 도출하였다. 이후 양면형 PV기술이 적용된 키워드로 재검색하였으며, 그 결과 총 42건의 논문이 도출되었다. 본 연구는 도출된 논문 중 연구의 난이도 및 인용률을 고려하여 학술발표논문 및 학위논문을 제외한 총 7건의 논문으로 선별하였다. 이러한 부분은 앞서서 언급하였듯이 건물외피에 적용되는 양면형 PV모듈에 대한 연구는 단면형 PV모듈에 현저하게 부족하게 나타나고 있다는 것을 입증하고 있다. 이러한 부분은 본 연구가 수행하고자 하는 연구경향을 도출하기에는 적은 수의 논문으로 사료될 수 있다. 그러나 건물외피로 적용되는 양면형 PV모듈은 큰 범주에서 PV모듈이며, 양면형 PV모듈이 가지는 높은 발전효율을 고려시 향후 많은 연구와 적용사례가 증가할 것이라 판단된다. 이러한 측면에서 적은 수의 논문이나 일부 수행된 논문을 근거하여 향후 연구의 방향성을 제언하는 것은 시기적절한 것으로 사료된다.

본 연구는 선행연구 검색을 위하여 국내 학술연구정보서비스에서 제공하는 논문검색 엔진을 사용하였으며, 학술연구정보서비스는 학술정보원에서 제공하는 학술연구정보화시스템으로 공신력있는 검색엔진으로 높은 신뢰도를 가지고 있기에 본 연구에 적합한 것으로 판단된다.

3.2 분석프레임 제안

본 연구는 건물외피로 적용되는 양면형PV모듈의 연구도향을 분석하기 위하여 다음의 내용을 분석하였다. 일단 선정된 각 논문에 대한 연구의 목적, 방향, 결과 등의 개요를 분석하였다. 이후 분석된 개요를 근거로 [표 1]에서 나타나듯이 양면형 PV모듈의

가동여부(수준), PV발전 효율저하의 문제(발열, 소일링) 고려, 성능평가의 유무 및 범주(건물에너지 저감, 실내쾌적도 개선) 및 경제성 검토에 대한 내용을 정리하였다. 본 연구가 분석프레임으로 설정한 분석지표는 건물외피 적용 및 발전효율 등 고려사항의 내용을 근거하였다[23].

[표 1] 연구동향 분석 프레임

[Table 1] Research Trend Analysis Frame

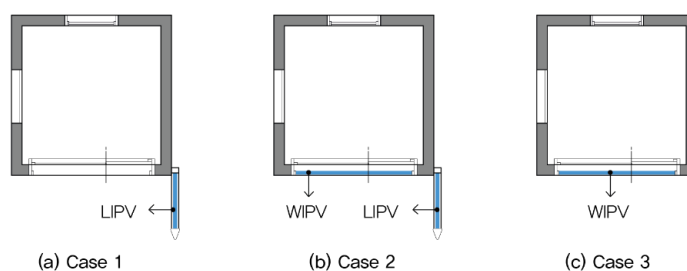
저자	양면형 PV모듈 가동여부(수준)	양면형 PV모듈 발전 효율저하 문제 고려		양면형 PV모듈 적용에 따른 성능평가		경제성 고려
		발열문제	소일링 문제	건물에너지 저감 고려	실내쾌적도 개선 고려	
000	적용/미적용	고려/미고려	고려/미고려	고려/미고려	고려/미고려	고려/미고려

3.3 분석결과

본 연구는 양면형 PV 모듈이 적용된 건물외피의 기술 동향을 분석하기 위하여 선정된 총 7건의 논문의 개요는 다음과 같다.

조경주 외 1명에 의하여 2020년에 수행된 “Evaluation of Power Generation Performance for Architectural Applications of Louver-integrated Bifacial Solar Modules :Focus on clear day’s data [24]” 연구는 [그림 2]에서 나타나듯이 LIPV로 구성된 Case 1, 창호일체형 단면형모듈(WIPV)과 LIPV를 조합한 Case 2, WIPV으로 구성된 Case 3으로 나누어 현장실험을 수행하였다. 해당연구는 LIPV는 실제 BIPV로서의 활용가능성을 확인하기 위하여 다양한 현장 조건에서 에너지 발전량 성능평가를 진행하였으며, 그 결과, 4월 구름이 적고 맑은날 Case 1은 Case 3보다 하루 동안 약 28.7% 전력을 생산하였다. 또한 6월 구름이 적고 맑은날 LIPV의 전면과 후면의 발전량을 비교했을 때, 전면이 후면에 대비하여 약 83.4% 효율이 나타났다. Case 2의 하루동안의 발전량 합계는 LIPV의 그림자로 인한 에너지 손실이 없는 경우에 대비하여 약 9.27%로 감소하였다. 그러나 그림자 영향을 감안하더라도 LIPV를 설치하는 것이 WIPV를 단독으로 설치하는 것보다 건물의 자립률 향상에 도움이 된다는 결과가 도출된다. 해당 연구는 맑은 날에 초점을 두어 실험했다는 한계를 가지나, BIPV로서의 LIPV가 기여할 수 있는 부분을 명확히 하고 디자인 요소를 결합하였다는 것에 있어 의의를 가진다. 그러나 해당연구는 PV모듈의 가동 및 제어를 고려하고 있지 않으며, 고정된 형태에서의 발전효율만을 고려하고 있다는 한계를 가진다.

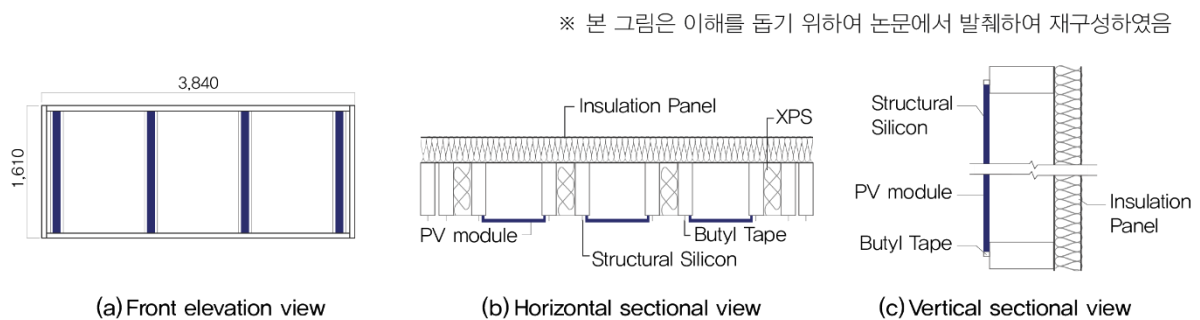
※ 본 그림은 이해를 돕기 위하여 논문에서 발췌하여 재구성하였음



[그림 2] 실험용 양면 모듈의 전면부와 후면부

[Fig. 2] Front and Rear Part of Bifacial Module for Experiments

강준구 외 2명에 의하여 2015년에 수행된 “Analysis of Generation Characteristics of a Bifacial BIPV System According to Installation Methods[25]” 연구는 양면형 PV모듈의 경사각과 설치 외벽의 반사조건에 따른 시스템의 발전특성을 분석하였다. 이를 위하여 해당 연구는 [그림 3]에서 나타나듯이 양면형 PV모듈의 후면부로 빛이 반사 유입되도록 하기 위하여 다양한 소재의 마감재를 건물외피로 적용하여 발전 효율을 검증하고 있다. 또한, 경사각 변화에 따른 양면형 BIPV 시스템의 발전성능은 30°로 설치된 흰색 단열판을 건물외피의 마감재로 적용한 유형이 가장 크게 나타났으며, 수직설치와 비교하여 최소 39%이상 발전성능이 향상되는 것으로 분석하고 있다. 이에 따라서 해당 연구는 양면형 BIPV 시스템의 성능은 BIPV가 설치되는 외벽의 반사율이 높을수록 발전성능이 향상되며, 적절한 경사각을 고려하여 설치하는 것이 발전효율 개선에 적합하다는 결론을 도출하고 있다. 그러나 해당 연구는 양면형 PV모듈이 설치되는 건물외피의 마감재의 반사율과 설치각도에 따른 성능평가로 양면형 PV모듈에 대한 별다른 가동 및 제어가 이루어지고 있지 않아서 발전에 대한 높은 효율 개선을 기대하기 어려울 것으로 사료된다.

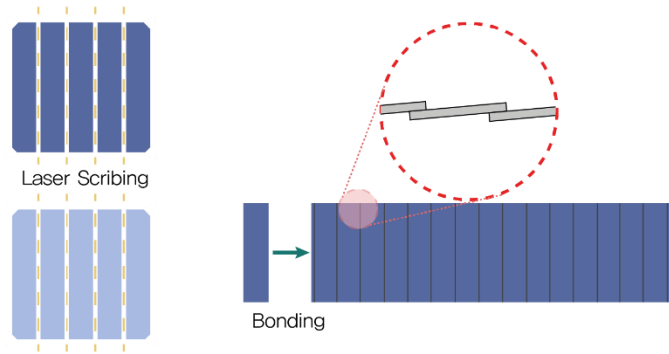


[그림 3] BIPV 모델 도면

[Fig. 3] Drawings of BIPV Wall Models

어승아 외 2명에 의하여 2022년에 수행된 “A Study on the Output Characteristics According to the Cell Electrode Pattern for a Large-area Double-sided Shingled Module[26]” 는 [그림 4]에서 나타나듯이 대면적 양면형 쉐들드 셀의 분할패턴 및 전, 후면 적극 패턴을 설계하여 출력 변화를 비교하여 가장 출력 특성을 보이는 분할 횟수와 전극 패턴의 최적화 도출을 목적으로 하고 있다. 해당 연구는 Griddler Pro로 시뮬레이션을 진행하였으며, 셀의 사이즈 종류별 분할 횟수에 따른 분할 셀의 전면 효율을 비교하고 있다. 분석결과 M6사이즈의 경우에는 6분할 전면 평거 142개일 때 가장 높은 효율을 보였으며, 후면일 경우에는 146개의 평거 개수를 가진 전극패턴에서 가장 많은 효율을 보였다. M10 사이즈의 경우에는 7분할에서 전면평거 150개, 후면평거 150개에서 가장 높은 효율을 보였고, M12사이즈에서는 7분할에서 전면평거 192개, 후면평거 208개에서 가장 높은 출력을 보였다. 전면 및 후면에서의 최적의 출력 특성을 가진 양면 셀의 효율을 계산했을 때, M6은 24.397%, M10은 24.393%, 24.382%, M12는 24.382%의 결과가 도출되었다. 해당 논문은 발전 효율을 개선하기 위한 쉐들드 형태의 양면형 PV모듈을 제안하여 그 적정규격을 도출하였다는 점에서 유의미하나 고정된 형태로 높은 효율 개선에는 제약이 있을 것으로 사료된다.

※ 본 그림은 이해를 돕기 위하여 논문에서 발췌하여 재구성하였음

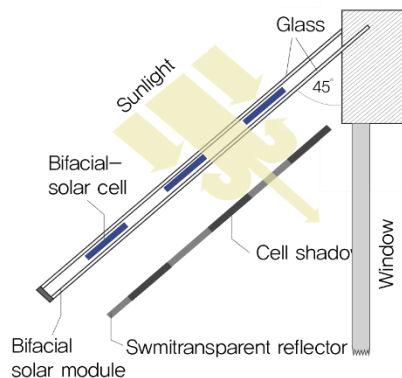


[그림 4] 싱글셀로 싱글 스트링을 만드는 과정

[Fig. 4] The Process of Making a Shingles String with Shingled Cells

강준구 외 2명에 의하여 2015년에 수행된 “Analysis of Temperature and Power Generation Characteristics of Bifacial BIPV System Applied into Curtain Wall[27]” 연구는 양면형 BIPV시스템의 성능을 분석하기 위하여 동일한 발전용량의 단면형 PV와 양면형 PV를 설계 및 제작을 한 후, 성능평가를 통하여 온도 특성 및 전력생산량을 비교 및 분석하였다. 해당연구는 성능평가를 진행하기 위하여 [그림5]에서 나타나듯이 커튼월 실험체를 통하여 현장실험을 진행하였다. 그 결과는 먼저, 온도측면에서는 양면형 BIPV인 경우 직접적인 일사획득에 의하여 단면형 BIPV보다 중공층 및 단열판의 온도상승이 높게 나타난 것을 알 수 있었다. 또한, 발전성능측면에서는 양면형 BIPV가 단면형 BIPV에 대비하여 반사면의 반사특성에 따라 하루 전력생산량은 5~21% 향상되는 결과를 도출하였다. 이를 통하여 양면형 PV모듈은 BIPV에 적용이 가능할 것으로 판단되며, 향후 양면형 BIPV 활성화를 위하여 유용한 자료로 활용될 수 있다. 그러나 해당연구는 양면형 BIPV모듈의 발전성능을 분석함에 있어서 셀 배치나 구조적 영향에 대한 분석은 포함하지 않았기 때문에 향후 이에 따른 연구와 다양한 요소들에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

※ 본 그림은 이해를 돕기 위하여 논문에서 발췌하여 재구성하였음

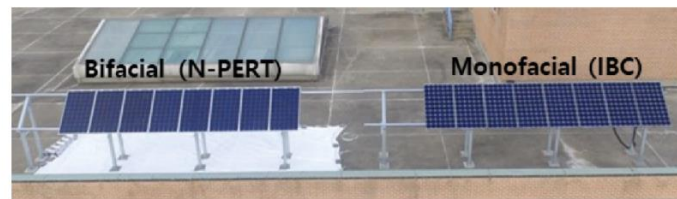


[그림 5] 양면형 태양전지를 이용한 차양 요소

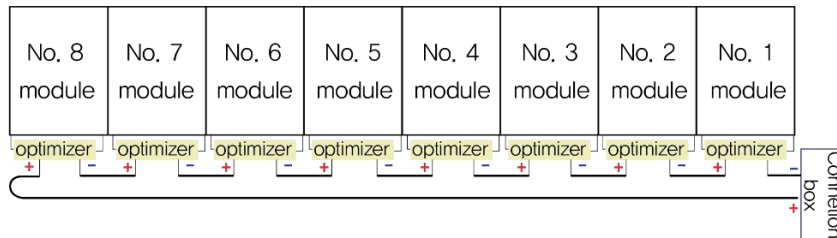
[Fig. 5] Sun-shading Element with Bifacial Solar Cells

장주희 외 4명에 의하여 2018년에 수행된 “A Preliminary Research of the Bifacial PV System Under Installation Conditions[28]”는 양면수광형 모듈에 영향을 미칠 수 있는 환경적 요소에 따른 발전성능의 변화추이를 확인하는 연구이다. 이를 위하여 해당연구는 양면수광형 모듈의 설치 형태에 따른 에너지 생산량을 시뮬레이션을 통해 분석하며, [그림 6]과 같이 기상조건에 따른 단면모듈과, 양면 모듈의 에너지 성능 평가를 실험을 통해 비교하였다. 또한, 해당연구는 양면 태양광 모듈에 Tyvek 소재를 사용하여 알베도에 따른 양면수광형 모듈의 발전량을 비교하였다. 그 결과 모듈의 설치 높이가 23%, 55%, 80% 증가함에 따라서 양면수광형 모듈의 발전량이 13.9%, 24.9%, 33.53% 증가하였으며, 단면수광형 모듈 대비 양면수광형 모듈을 설치시 연간 평균 13.9% 더 높은 발전량이 나타나고 있음을 입증하고 있다. 또한 Tyvek 설치 이후 단면수광형 모듈과 양면수광형 모듈의 일일 등가 발전량을 차이가 커졌으며 반사광선 측정 알베도는 시멘트가 23%, Tyvek이 55%로 반사매질에 따른 양면수광형 모듈의 일일 등가발전량의 증가를 확인하였다. 해당연구는 단면형 및 양면형 PV모듈의 발전효율을 검증을 비교 분석하고 있으나, 앞선 선행연구들과 동일하게 단순 적용 수준으로 효율개선에 대한 정도는 낮을것으로 사료된다.

※ 본 그림은 이해를 돕기 위하여 논문에서 발췌하여 재구성하였음



(a) Installation condition



(b) Each type of PV system configuration

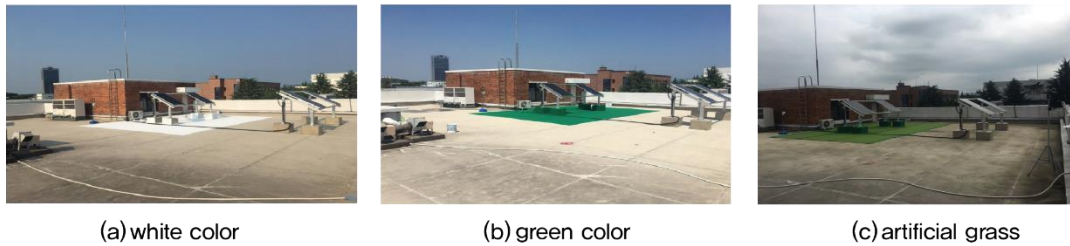
[그림 6] 단면 및 양면 PV 시스템의 테스트 베드

[Fig. 6] Test Bed of Monofacial and Bifacial PV System

박도현 외 7명에 의하여 2018년에 수행된 “Evaluation of Bifacial Si Solar Module with Different Albedo Conditions[29]” 연구는 옥외실증 설비에서 양면수광형 태양광 모듈의 발전성능을 단면수광형 태양전지와 비교하며, 바닥면의 반사율 변화에 따라 양면수광형 모듈의 발전성능 차이를 비교분석하였다. 해당연구는 단면 및 양면 태양전지 모듈에 대하여 [그림 7]에서 나타나듯이 건물의 옥상에 시멘트, 흰색페인트, 녹색페인트, 인조잔디로 네 가지 바닥면 조건을 정하고 각 바닥면의 반사율 변화에 따른 발전출력을 비교분석하였다. 또한 일사량계, 온도계 등의 외부 기상센서를 연결하여 하나의 프로그램으로 실시간 모니터링을 할 수 있도록 구성하였다. 이에 따른 결과, 단면 및 양면 PV를 사용한 시멘트 지반조건에서의 전력 생산량은 단면에 대비하여 양면수광형 PV가 20%이상 향상을 검증하고 있다. 단, 해당연구는 바닥재료의 반사률에 국한된

연구로 양면형 PV모듈의 발전효율은 제한적으로 것으로 사료된다.

※ 본 그림은 이해를 돕기 위하여 논문에서 발췌하여 재구성하였음



[그림 7] 바닥조건이 다른 PV 전력 모니터링 시스템

[Fig. 7] PV Power Monitoring System with Different Albedo Conditions

김경진 외 2명에 의하여 2019년에 수행된 “Analysis of Power Generation Performance by Applying Operational Algorithms for Bifacial Photovoltaic Module[30]” 연구는 TRNSYS 툴을 사용하여 양면수광형 태양전지를 모델링하고 기상 데이터를 바탕으로 다양한 운전알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 해당연구는 단면형 모듈과 양면형 모듈의 태양광 발전을 비교분석하기 위하여 [표 2]과 같이 8가지의 운영 알고리즘을 도출하여 시뮬레이션을 진행하였다. 각 알고리즘은 태양추적을 통한 가동기술이 적용되어 최대 42%의 발전효율이 개선되고 있음을 알 수 있다. 향후 해당연구의 결과를 활용하여 양면수광형 태양광발전의 지역별 경제성 분석과 실제 환경에서의 신뢰도를 증대시키기 위하여 꾸준한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 해당연구는 앞선 연구들과 달리 가동형기술을 적용하여 그 효율을 검증하고 있으나, 가동을 위한 에너지를 고려하고 있지 않다는 한계를 보이고 있다.

[표 2] 알고리즘 요약

[Table 2] Algorithm Summary

Category	Summary	Category	Summary
알고리즘 1	양면 PV 방위는 남, 북으로 회전하며 양면 PV 경사각은 90°로 유지한다.	알고리즘 5	양면 PV 방위는 동, 서로 회전하는 동시에 양축제어로 남, 북으로 회전이 가능하며 양면 PV 경사각은 90°로 유지한다.
알고리즘 2	양면 PV 방위는 남, 북으로 회전하며 양면 PV 경사각은 90°로 유지한다.	알고리즘 6	양면 PV 방위는 태양추적제어를 도입하여 조절하며 양면 PV 경사각은 0°로 유지한다.
알고리즘 3	양면 PV 방위는 동, 서로 회전하는 동시에 양축제어로 남, 북으로 회전이 가능하며 양면 PV 경사각은 0°로 유지한다.	알고리즘 7	양면 PV 방위는 태양추적제어를 도입하여 조절하며 양면 PV 경사각은 90°로 유지한다.
알고리즘 4	양면 PV 방위는 동, 서로 회전하는 동시에 양축제어로 남, 북으로 회전이 가능하며 양면 PV 경사각은 지역별 최적 경사각으로 유지한다.	알고리즘 8	양면 PV 방위는 태양추적제어를 도입하여 조절하며 양면 PV 경사각은 지역별 최적 경사각으로 유지한다.

3.4 논의

양면형 PV모듈은 단면형에 대비하여 높은 발전효율을 보여 건물에너지 저감에 유효할 것으로 판단됨에도 건물외피에 적용되는 양면형 PV모듈에 대한 연구는 부족한 것으로 나타나고 있다. 이러한 부분에 대한 원인은 단면형 PV모듈이 이미 보급되어 활성화되어 있으며, 양면형 PV모듈에 대한 인식 부족을 그 원인으로 사료된다. 기수행된 선행연구를 근거로 건물외피 적용 양면형 PV모듈에 대한 분석결과는 [표 3]와 같으며, 이에 대한 내용은 다음과 같다. 본 연구가 분석한 선행연구는 양면형 PV모듈의 발전효율의 유효성을 검증에 초점이 맞추어져 있으며, PV모듈이 가지는 발전 효율 저하 및 실내 쾌적도 저하에 대한 부분은 고려는 반영되어 있지 않다. 또한, 양면형 PV모듈을 건물외피로 적용함에 있어서 고정형 타입으로 적용함으로써 발전효율에 개선에 제한적으로 나타나고 있다. 반면, 가동 및 효율저하에 대한 부분을 고려한 김경진 외 2명에 의거하여 수행된 연구는 타 연구들에 대비하여 높은 에너지 저감이 이루어짐을 확인 할 수 있다. 이러한 부분은 향후 양면형 PV모듈을 건물외피 적용함에 있어서의 방향성을 제시한다고 할 수 있다. 다만, 가동형 기술이 적용된 양면형 PV모듈에 대한 선행연구에서도 가동을 위한 에너지를 고려하고 있지 않아서 정확한 성능평가가 이루어졌다고 판단하기에는 어려움이 있다. 이러한 측면에서 선행연구의 결과를 실제 환경에 적용하기에는 어려움이 따를 것으로 사료된다. 이에 향후 연구에서는 건물외피에 적용되는 양면형 PV모듈 적용에 따른 에너지 저감, 실내쾌적도 개선 및 경제성에 기반으로 하는 복합적 성능평가를 실시하여야 할 것으로 사료된다.

[표 3] 연구동향 분석 프레임

[Table 3] Research Trend Analysis Frame

저자	양면형 PV모듈 가동여부(수준)	양면형 PV모듈 발전 효율저하 문제 고려		양면형 PV모듈 성능평가		경제성 고려
		발열문제	소일링 문제	건물에너지 저감 고려	실내쾌적도 개선 고려	
조경주 외 1명 [24]	미적용 (고정형)	미고려	미고려	28.7% 향상	미고려	미고려
강준구 외 2명 [25]	미적용 (고정형)	미고려	미고려	37% 향상	미고려	미고려
어승아 외 2명 [26]	미적용 (고정형)	미고려	미고려	24.382%~24.397%	미고려	미고려
강준구 외 2명 [27]	미적용 (고정형)	미고려	미고려	5~21% 향상	미고려	미고려
장주희 외 4명 [28]	미적용 (고정형)	미고려	미고려	13.9~33.53%	미고려	미고려
박도현 외 7명 [29]	미적용 (고정형)	미고려	미고려	20% 향상	미고려	미고려
김경진 외 2명 [30]	미적용 (가동형)	고려	미고려	42% 향상	미고려	미고려

4. 결론

본 연구는 양면형 PV모듈이 적용된 건물 외피의 기술동향을 도출하기 위하여, 국내

출판된 학술논문지 중 양면형 PV관련 논문을 대상으로 그 경향을 분석하였다. 이에 대한 결과는 다음과 같다.

첫 번째, 양면형 PV모듈의 발전효율은 기존 단면형 PV모듈에 대비하여 높게 나타나고 있으나, 건물외피에 적용되어 수행된 연구는 현저하게 부족하게 나타나고 있다. 이러한 부분은 단면형 PV모듈이 보급 및 확산되어 관련 시장의 높은 점유율을 확보하고 있으며, 이에 따라서 양면형 PV모듈에 대한 인식 부족이 그 원인으로 사료된다. 두 번째, 건물외피 적용 양면형 PV모듈 관련 선행연구는 발전효율에 초점에 맞추어져 있으며, 단순 고정된 타입에 대한 성능평가가 이루어져 양면형 PV모듈에 대한 정확한 검증이 이루어지고 있지 않은 것으로 사료된다. 일부 수행된 가동타입의 양면형 PV모듈은 발전효율이 높게 나타나고 있으나, 이러한 경우에도 가동을 위한 에너지를 배제한 채 성능평가가 이루어지고 있다는 연구적 한계를 보이고 있다. 세 번째, 양면형 PV모듈은 양면에 PV cell을 부착함에 따라서 발생하는 발전 고열, 경제성 등에 대한 면밀한 검토가 이루어지고 있지 않다는 한계를 가지고 있다. 이러한 측면에서 향후 건물외피로 적용되는 양면형 PV모듈에 대한 연구에서는 단순 발전 효율만을 검증하는 연구는 지양하며, 가동형 건물외피에 양면형 건물외피를 부착하여 제어하는 등 다각적인 문제를 고려한 연구를 수행함으로써 고도화시켜야 할 것으로 사료된다.

본 연구는 건물외피 적용 양면형 PV모듈에 연구 경향을 검토함으로써 향후 연구 방향을 제언하였다는 점에서 의미를 부여할 수 있으나, 해당 분야의 연구가 부족하여 일정한 경향을 도출해 내는 것에는 한계가 있다. 그러나 양면형 PV모듈의 기존 PV모듈에 대비하여 높은 발전 효율을 보여 발전가능성을 가지고 있기에 많은 연구가 예상되는 분야로 연구방향에 대한 검토는 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

5. 감사의 글

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(No. RS-2023-00208303).

References

- [1] M.S.Choi, S.Y.Oh, C.Y.Ji, D.Y. Lee, An Analysis of Residential Building Energy Consumption Using Building Energy Integrated Database, (2017), Vol.3, No.1, pp.101-118.
DOI: <https://doi.org/10.30902/jrea.2017.3.1.101>
- [2] <https://www.iea.org/reports/buildings>, Apr 4 (2023)
- [3] <https://www.eia.gov/>, Apr 4 (2023)
- [4] <https://www.kict.re.kr/>, Apr 4 (2023)
- [5] S. H. Cho, A Study on the Optimal Control Method of Smart Skin for Zero Energy Building, (2019), Vol.21, No.6, pp.1090-1096.
DOI: <https://doi.org/10.17958/ksmt.21.6.201912.1090>
- [6] Ahn Jonggwon, Kim Jinhee, Kim Juntae, Literature Review Study for SHGC Performance Evaluation Methods of Semi-transparent BIPV System, (2023), Vol.43, No.1, pp.35-47.
DOI: <https://doi.org/10.7836/kses.2023.43.1.035>
- [7] J. M. Seo, U. C.L ee, Maximum Power Point Tracking Technique of PV System for the Tracking of Open Voltage

- according to Solar Module of Temperatur Influence, (2020), Vol.26, No.1, pp.38-45.
DOI: <https://doi.org/10.6113/TKPE.2021.26.1.38>
- [8] J. H. Choi, G. S. Kim, H. R. Cha, G. G. Kim, B. G. Bhang, S. Y. Park, H. K. Ahn, Power Prediction of P-Type Si Bifacial PV Module Using View Factor for the Application to Microgrid Network, (2018), Vol.31, No.3, pp.182-187.
DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2018.31.3.183>
- [9] Seungkyu Ahn, SeJin Ahn, Young Joo Eo, Jinsu Yoo, Joo Hyung Park, Kihwan Kim, Ara Cho , Jun-Sik Cho, Jae-Ho Yun, Donghyup Shin, Inyoung Jung, Jihye Gwak, Performance Parameters of a Bifacial PV Device and Accurate Measurement Method for the Parameters, (2017), Vol.5, No.3, pp.89-94.
DOI: <https://doi.org/10.21218/CPR.2017.5.3.089>
- [10] H. S. Jang, S. H. Lee, A Study on the Non-residential Building Envelope Remodeling for Energy Efficiency, (2012), Vol.13, No.6, pp.3-12,
DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2012.13.6.003>
- [11] J. W. Moon, S. M. Kim, S. Y. Kim, Application of Artificial Neural Network for Optimum Controls of Windows and Heating Systems of Double-Skinned Buildings, (2012), Vol.24, No.8, pp.627-635.
DOI: <https://doi.org/10.6110/KJACR.2012.24.8.627/>
- [12] S. I. Beak, H. M. Lee, S. Y. Jung, H. W. Lee, Analysis of Research Trends in PV Application of Movable Building Envelopes for Efficient Building Energy Reduction, (2022), Vol.8, No.10, pp.13-24.
DOI: <https://doi.org/10.47116/apjcri.2022.10.02>
- [13] M. S. Kim, S.W. Jee, M. G. Kim, Y. C. Cho, A Study on the Control System of Plant Growth Using IT Convergence Technology, (2018), Vol.22, No.4, pp.959-964.
DOI: <https://doi.org/10.7471/ikeee.2018.22.4.959>
- [14] S. Y. Shin, U. J. Sung, A Study on the Lighting Energy Saving of Indoor Louver Type Concentrating Daylighting System, (2020), Vol.14, No.4, pp.350-358.
DOI: <https://doi.org/10.22696/jkiaeb.20200030>
- [15] S. S. Jung, A Study on the Benefit-Cost Analysis of Solar Louver System, (2019), Vol.23, No.4, pp.72-77.
DOI: <https://doi.org/10.9726/kspse.2019.23.4.07>
- [16] M. G. Jang, H. W. Lee, J. H. Seo, Y. S. Kim, A Study on the Application of the Prism Sheet to Improve the Daylighting Performance of the Light Shelf, (2016), Vol.30, No.9, pp.401-412.
DOI: <https://doi.org/10.6110/KJACR.2018.30.9.401>
- [17] J. L. Lim, S. C. Woo, T. H. Jung, Y. K. Min, C. S. Won, H. K. Ahn, Analysis of Factor on the Temperature Effect on the Output of PV Module, (2013), Vol.62, No.3, pp.365-370.
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2013.62.3.365>
- [18] Y. J. Lee, Development of Power Generation Amount Prediction Program for BIPV System Installed on the Vertical Wall of Apartment, (2018), Vol.18, No.1, pp.105-111.
DOI: <https://doi.org/10.12813/kieae.2018.18.1.105>
- [19] K. J. Cho, Y. S. Yun, D. W. Cho, Basic Study for Analysis of Real Energy Self-Sufficiency Ratio of Apartment Complexes with Louver Integrated PV Modules, (2020), Vol.20, No.6, pp.113-118.
DOI: <https://doi.org/10.12813/kieae.2020.20.6.113>
- [20] J. G. Kang, Y. J. Kim, J. T. Kim, Analysis of Temperature and Power Generation Characteristics of Bifacial BIPV System Applied into Curtain, (2015), Vol.35, No.4, pp.57-66.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7836/kses.2015.35.4.057>
- [21] K. H. Lee, S. J. Kim, J. W. Jeong, Y. H. Song, Measurement Analysis of Power Generation Change with Bidirectional Reflectance PV Array, (2021), Vol.215, No.2, pp.190-199.
DOI: <https://doi.org/10.22696/jkiaeb.20210016>
- [22] M. H. Chung, Comparison assessment of semi-transparent solar cell for BIPV windows, (2020), Vol.11, No.1, pp.87-94.
DOI: <https://doi.org/10.5804/LHIJ.2020.11.1.087>

- [23] G. J. Lee, A Basic Study for Sustainable Analysis and Evaluation of Energy Environment in Buildings : Focusing on Energy Environment Historical Data of Residential Buildings, The Korea Academia-Industrial cooperation Society, (2017), Vol.18, No.1, pp.262-268.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.1.262>
- [24] K. J. Cho, D. W. Cho, Evaluation of Power Generation Performance for Architectural Applications of Louver-integrated Bifacial Solar Modules :Focus on clear day's data, (2020), Vol20, No.5, pp.129-134.
DOI: <https://doi.org/10.12813/kieae.2020.20.5.129>
- [25] J. G. Kang, J. H. Kim, J. T. Kim, Analysis of Generation Characteristics of a Bifacial BIPV System According to Installation Methods, (2015), Vol.3, No.4, pp.121-125.
DOI: <https://doi.org/10.21218/CPR.2015.3.4.121>
- [26] J. H. Kim, J. H. Lee, A Study on the Output Characteristics According to the Cell Electrode Pattern for a Large-area Double-sided Shingled Module, (2022), Vol.18, No.4, pp.64-69.
DOI: <https://doi.org/10.7849/ksnre.2022.0035>
- [27] J. G. Kang, Y. J. Kim, J. T. Kim, Analysis of Temperature and Power Generation Characteristics of Bifacial BIPV System Applied into Curtain Wall, (2015), Vol.35, No.4, pp.57-66.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7836/kses.2015.35.4.057>
- [28] J. H. Jang, O. H. Kwon, S. H. Lee, M. S. Shin, K. S. Lee, A Preliminary Research of the Bifacial PV System Under Installation Conditions, (2018), Vol.38, No.6, pp.51-63.
DOI: <https://doi.org/10.7836/kses.2018.38.6.051>
- [29] D. H. Park, M. S. Kim, W. S. So, S. Y. Oh, H. W. Park, S. H. Jang, S. H. Park, W. K. Kim, Evaluation of Bifacial Si Solar Module with Different Albedo Conditions, (2018), Vol.6, No.2, pp.62-67.
DOI: <https://doi.org/10.21218/CPR.2018.6.2.062>
- [30] G. J. Kim, T. K. Lee, J. U. Kim, Analysis of Power Generation Performance by Applying Operational Algorithms for Bifacial Photovoltaic Module, (2019), Vo33, No.4, pp.13-23.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2019.33.4.013>