

## 고층 빌딩에 적용되는 빌딩통합형 태양광패널 효율성 개선방안

### Efficiency Improvement for Building Integrated Photovoltaic Applied to High-rise Building

이도현<sup>1</sup>, 안인석<sup>2\*</sup>

Do-Hyun Lee<sup>1</sup>, Ihn-Seok Ahn<sup>2\*</sup>

#### 〈Abstract〉

With the advent of cutting-edge technology, renewable energy is significantly considered as alternative resources to supply electric power. However, many barriers such as energy intermittency, high initial installation cost, and low-efficiency generation challenged building new infrastructure with clean energy. Efforts reducing greenhouse gas emissions and reliance on fossil fuels resulted in the decentralization of power generation like distributed energy resource (DER). This paper is to introduce and evaluate the feasibility of building-integrated photovoltaics (BIPV) in a high-rise building in Ulsan. To optimize BIPV, a variety of methods to minimize efficiency decrease and maximize electric power generation after installing BIPV on the building's facade are suggested. The variables causing power losses are analyzed. By utilizing System Advisor Model (SAM), actual power generated from solar panels is measured by Thin-film PV, Mono-crystalline PV, and Poly-crystalline PV.

*Keywords : Building Integrated Photovoltaics (BIPV), System Advisor Model (SAM), High-rise Building, Curtain wall*

---

1 주저자 University of Southern California, 전기공학, MS 1 Dept. of Electrical Engineering, University of Southern California  
E-mail: dohyunle@usc.edu

2\* 교신저자, 위덕대학교 에너지전기공학부, 교수, 공학박사 2\* Prof., Division of Energy and Electrical Engineering, Uiduk  
E-mail: isahn@uu.ac.kr University, Ph.D.

## 1. 서론

탄소배출 줄이기 및 실생활 친환경 에너지 적용은 전 국가적으로 현세대가 해결해야 할 문제로 떠오르고 있다. 그러나 현재 적극적으로 신재생에너지 도입을 위하여 노력 중인 미국, 중국, 유럽 등 선진국들과 달리 한국의 경우 신재생 에너지에 관한 정부의 새로운 정책이 마련되고 있지만, 실상에서의 도입은 앞서 언급된 선진국들과 비교하여 현저히 느리다. 현재의 인프라에 새로운 변화를 가져온 직류 전원 장치 및 자동차의 전기화와 같은 기술의 발전은 전기의 수요 증가로 이어지고 있다. 내연기관 자동차를 줄이고 전기자동차 보급을 늘리기 위한 정책들은 석유 의존도 감소와 화석연료의 무분별한 사용으로 인하여 초래되는 공기 질 저하 개선에도 기여를 하고 있다. 그러나 전기자동차나 직류전원 장치 공급의 상승세는 전력망에 전기의 수요 증가라는 새로운 과제를 가지고 왔다. 에너지 통계 연보에 따르면 Table 1과 같이 부문별 전력 소비량에서 건축물이 차지하는 비율은 약 45%로 매년 증가하는 추세로 앞으로도 건축물에서의 전력 소비량은 기술의 발전과 함께 증가할 것으로 예상된다.

탄소배출 절감 및 깨끗한 전기 생산이라는 명확한 목표가 생겨난 만큼 증가하는 전기의 수요를 맞추기 위해서는 기존의 화석연료를 사용하여 전기를 생산하는 방법을 탈피하여 재생에너지를 통

한 전기 발전 조건은 필수 불가결이다. 태양에너지를 활용한 태양전지는 현재에도 여러 가지 형태로 적용되어 널리 사용되고 있지만 정작 건축물 분야에서 에너지 소비량이 가장 높은 고층빌딩에 설치 사용되는 국내의 사례는 굉장히 미미하다. 그러나 우리나라 역시 에너지 문제를 해결하기 위하여 3020 에너지 정책, 2030년까지 37%의 탄소저감 등 다양한 정책을 마련하여 노력하고 있다 [1]. 더 나아가 이러한 정부의 공격적인 대안은 한국의 공기 질 개선뿐만 아니라 혁신기술에서도 선진국들과 어깨를 나란히 할 수 있는 디딤돌이 될 것이다.

화석 연료 사용 절감의 방안으로써 다양한 신재생에너지 자원들이 주목받고 있다. 그러나 여전히 새로운 에너지원을 토대로 한 새로운 인프라의 구축에는 태양에너지의 에너지 간헐성, 높은 초기 설치비용, 비효율적인 발전 등 여러 가지 장벽들이 존재한다. 이러한 문제에 새로운 관점을 제공하고자 본 연구에서는 빌딩 통합형 태양광 패널 (Building Integrated Photovoltaics, BIPV) 의 고층 빌딩 적용 시 추후에 발생하는 효율성 감소를 최소화하고 전기 생산을 최대화 할 수 있는 방안을 제시한다.

## 2. 연구대상 및 분석

### 2.1 지역선정

지역 선정으로는 수도권 쏠림 현상을 개선할 수 있고 지역개발에 기여할 수 있으며 수평은 줄이고 수직으로는 늘어난 고층 빌딩의 도입이 유리하게 작용할 수 있는 지역을 선택하였다. KOSIS에 제공한 자료에 따르면 울산의 경우 6개의 광역시 중 인구 밀도가 가장 낮게 나타나지만, 울산

Table 1. Energy consumption by sector

항목	2017	2018	2019	2020	2021
산업	54.5%	53.9%	53.8%	52.8%	52.8%
수송	0.6%	0.6%	0.6%	0.6%	0.6%
건축	44.9%	45.5%	45.6%	46.6%	46.6%
합계	100%	100%	100%	100%	100%
(TWh)	507	526	520	509	443

의 총면적에서 약 70%를 차지하고 있는 울주군의 면적을 제외하고 대부분의 인구가 울주군을 제외한 나머지 구에 거주 중인 것을 고려했을 때 실질적인 인구밀도는 약 2,900명/km<sup>2</sup>로 광역시중 총 4번째로 높은 수준이다.

또한 울산의 대기 환경은 오래전부터 꾸준히 개선되어오고 있지만 공업 도시의 이미지로 인하여 환경 오염에 대한 선입견이 강하게 자리를 잡고 있다. 신재생에너지를 적용한 고층 건물 도입은 도시의 발전에 이바지 할 수 있다. 비수도권 지역 고층 빌딩의 건축은 랜드마크라는 관광자원을 형성하여 수도권 지역의 인구과밀현상의 해결책이 될 수 있고 토지 효율 극대화를 통하여 지역 경제 발전을 촉진 할 수 있다 [2]. 울산의 대부분의 문화공간이 형성되어 있는 성남동, 삼산동이나 학원가가 밀집되어있는 옥동조차 고층 건물 밀집도가 낮기 때문에 태양광 패널 운전 시 주변 환경에 의한 영향이 상대적으로 적어 울산을 선택했다.

## 2.2 연구도구 및 고려사항

태양광 패널 실제 적용 운전 시를 고려하여 울산 지역의 실제 주거 아파트를 선정 후 System Advisor Model (SAM) 소프트웨어를 사용한 Simulation을 통하여 실질적으로 얻을 수 있는 전력량과 건물 표면에 부착되어 운전 시 발생할 수 있는 장단점을 고려하여 울산시에 적용되어 사용될 수 있도록 분석한다. 태양전지 설치 후 발생하는 발전량 감소 문제를 미연에 방지하기 위해서는 초기 설계 단계에서 건축물 설계 계획, 일사량, 온도, 주변 건물의 환경과 같은 발전량 저하에 원인이 될 수 있는 요소를 세밀하게 고려해야 한다.

실제 발전량 수치 측정과 효율성 최대화를 위하여 건물의 심미성과 많은 공간을 요구하고 운전 효율이 낮을 것으로 예상되는 옥상 설치에 연구에

서 제외한다. 또한 고층 건물은 일반적인 주거 아파트에 비교하여 월등히 높기 때문에 실제 운전에서 가장 가까운 발전량을 얻기 위해서는 높이에 따른 태양광 발전에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

### 2.2.1 온도와 일사량에 따른 설계 및 BIPV

태양광 패널은 현재 사용되는 종류가 다양하고 종류에 따라 온도, 계절, 주변 환경에 의한 요소들이 퍼포먼스에 직접적인 영향을 주기 때문에 패널의 종류에 따라서 전기 생산량에 다른 결과를 가져올 수 있다. 고층 빌딩은 수평으로는 공간이 제한되지만, 수직의 입면을 활용한 태양전지 부착 시 저층 주택이나 아파트와 비교해 공간적 활용이 뛰어나다. 그러나 고층 빌딩의 경우 상단부와 하단부의 높이 차이가 크고 상단부에 가까워질수록 높이에 따라 다른 일사량과 온도로 인하여 전력 발전량이 달라진다 [3, 4]. 이 때문에 효율성 유지 및 적절한 인버터 설계를 위하여 상황에 맞는 패널의 종류가 사용돼야 한다.

Liu et al.(2011)은 동일한 일사량과 발전 효율을 가진 PV를 zoning하여 효율성 증가 방안을 제안하였다. 태양광 패널의 효율성은 Standard Test Conditions (STC) 를 통하여 측정되어 제공되지만 여기서 사용되는 25°C, 풍속 1.0m/s은 실제 환경에서 동일하게 작용하는 경우는 거의 없다 [4]. Adeeb et al.(2019)는 요르단 암만 지역에서 3가지의 태양광 패널을 설치한 실험을 통하여 해당 패널들의 처음 제공된 -0.24%/°C, -0.42%/°C, -0.45%/°C 과 달리Thin-film PV, Mono-Crystalline PV, Poly-Crystalline PV 각각 -0.0984%/°C, -0.109%/°C, -0.124%/°C 온도 계수를 측정했다. 따라서 Crystalline PV의 경우 높은 효율성을 가지지만 상대적으로 낮은 온도계수를 동반하고 초기 비용에서도 경제성이 낮기 때문에 주변 온도와 일사량을 고려한 설계 및 BIPV Type은 필수적으로 고려되어야 한다.

### 2.2.2 옥상 설치

일반 가정 또는 낮은 건물들은 옥상의 용도가 고층빌딩만큼이나 용이하지 않다. 주거 주택이나 낮은 건물의 옥상에 설치되는 태양광 패널의 경우 태양 직사광선에 대한 노출이 상대적으로 낮아 온도 상승으로 인한 효율성 감소가 상대적으로 작고 유지보수가 어렵지 않다. 고층 건물의 경우 Fig. 1과 같이 옥상 정원, 헬리포트 또는 재난 상황 시 대피용도 등 다양한 용도로 활용 된다. 그러나 옥상의 공간이 제한적이지 않고 잉여 공간을 이용한 에너지 발전이 요구되는 경우 초기 계획 단계에서 높이를 고려한 옥상의 환경을 먼저 예상하여 이를 적용한 상황에서의 적절한 모듈 선택이 중요하다.

옥상의 패널 설치하는 높이가 증가함에 따라 직사광선에 노출이 커지고 고층 빌딩의 높은 전력량을 충당하기 위해서 많은 공간이 필요하다. 태양 에너지를 이용한다는 점에서 두 모듈이 공통점을 가지지만 태양열 패널의 경우 주간 동안에 축적한 열을 야간에도 공급이 가능하다. 이 때문에 온도의 상승에 민감한 태양광 패널과 열에너지를 이용한 태양열 중 더 효율적일 것으로 예상되는 모듈을 설치하는 것이 유리할 것으로 예상된다. PV는 일사량이 풍부한 낮 이후 야간에는 운전이 중단되는 치명적인 단점이 존재한다. 태양열 패널의 경

우 태양에너지를 이용한다는 점에서 공통점을 가지지만 주간 동안에 축적한 열을 야간에도 공급이 가능하다. 따라서 많은 공간을 요구하고 낮은 효율성이 예상되는 태양광 패널의 옥상 설치는 비효율적으로 판단된다.

### 2.2.3 음영

대부분의 고층 건물들은 한 지역에 밀집되어 지어지는데 이러한 특성들은 건물 표면에 설치되는 태양광 패널에 큰 영향을 끼친다. 고층 빌딩의 상층부의 경우 주변의 건물로 인하여 생겨나는 음영이 미미하지만, 하층부의 경우에는 인접한 건물로 인한 음영이 넓게 생겨난다.

Lee et al.(2021)은 주변 밀집 건물들로 인하여 생겨난 음영과 아파트 입면을 높이에 따라 분류한 태양광 패널 발전량 실험을 통하여 얻은 결과를 바탕으로 Fig. 2와 같은 인버터 설치 방안을 제시했다. 해당 실험에서 선정된 아파트 단지에서의 음영은 전력량 발전에 약 10%의 감소를 초래했다. 그러나 고층 건물의 경우 주변의 건물보다 월등히 높게 설계되었고 울산은 수도권과 달리 주로 외곽지역에 밀집된 공장이나 화력단지가 많으며 고층 빌딩의 밀집도가 상대적으로 낮기 때문에 주변 건물로 인해서 생기는 음영으로 인한 효율성



Roof Garden  
Roppongi, Tokyo

US Tower  
Los Angeles, USA

Fig. 1 Actual cases of using the rooftop

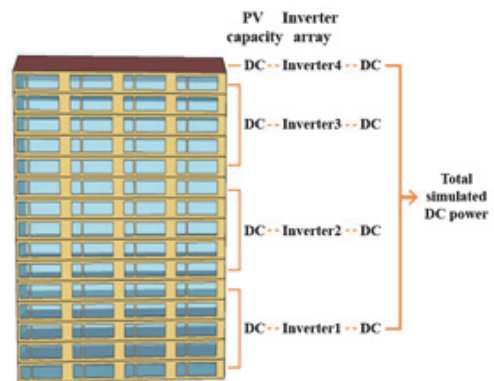


Fig. 2 Application of inverter installation [1]

저하는 미미할 것으로 기대된다 [1].

### 3. BIPV의 효율성 및 단열

BIPV의 발전 효율성 감소는 대부분 주변의 온도나 음영에 의한 영향이 가장 크지만, 건물 입면과 태양의 초기 방위각 설정 또는 온도 감소를 위한 기기 추가로 효율성 감소 예방 및 개선이 가능하다. 또한, 실외 열 차단을 위하여 설치되는 커튼월 같은 외장재를 대신하여 에너지 생산뿐만 아니라 에너지 소비 절약에도 기여 할 수 있다 [3].

#### 3.1 효율성 개선 방안

온도의 상승은 직접적으로 전력 생산량에 영향을 끼치므로 태양광 패널에 있어서 온도 유지·조절은 필수적으로 고려되어야 한다. 이를 위한 해결책으로 다양한 방법이 제시되고 있다. 건물의 외벽과 패널 사이에 여유 공간을 만들어 공기의 흐름을 이용한 온도 저하를 유도 할 수 있고 밝은 색 패널 선정은 전열 감소에 효과적일 것으로 예상된다.

Shin et al.(2010)은 알루미늄 플레이트를 태양전지 뒷면에 설치함으로써 방열 기능을 증진 시키

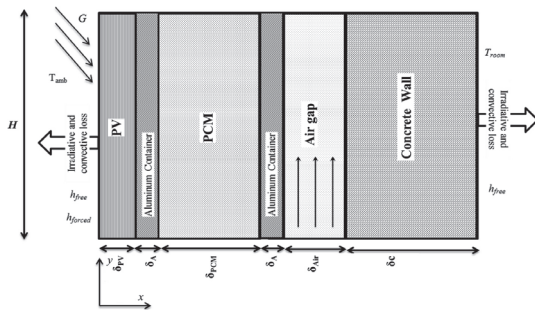


Fig. 3 Numerical model [6]

고 하단에 알루미늄 패널을 추가하여 반사 빛을 통한 발전량 증가 방안을 제시하였다 [5].

Kant et al.(2019)의 연구는 Fig. 3과 같이 알루미늄 컨테이너로 포장 된 Phase Change Materials (PCM)을 BIPV와 콘크리트 벽 사이에 삽입하여 열을 감소 시키고 PCM을 이용한 열 교환을 통하여 냉·난방에 소비되는 에너지 절감을 제안했다. PCM을 접목시킨 태양광 패널 운전 시 열의 감소로 인하여 전력 발전량이 약 28% 증가했다 [6]. 그러나 앞서 언급한 방열판 및 냉난방 부하저감을 고려한 조합은 건축물 입면 무게 상승의 원인이 되기 때문에 효과적인 중공층 간격 확장이나 Low-E 코팅 등 무게를 감소시킬 수 있는 설계가 필요하다 [2].

#### 3.2 커튼월(Curtain Wall)

고층빌딩의 저층부의 경우 태양 직사광선에 의한 직접적인 영향이 상대적으로 미미하거나 주변 건물로 생기는 음영으로 인하여 실내온도에 큰 영향을 받지 않는다. 반대로 상층부로 가까워질수록 외부 환경으로 인하여 증가하는 실내온도는 냉·난방 시 사용되는 에너지 사용량의 급증을 초래한다.

Lee. et al.(2016)이 진행한 조사에 따르면 국내 설치 된 BIPV중 약 60%가 단열을 위한 커튼월 형태로 설치되어 사용되고 있으며 또한 커튼월을 적용한 BIPV 적용 사례들이 점차 늘어나는 추세이다 [3]. 최근 CIGS 태양광 패널의 경우 높은 효율성과 경제성으로 인하여 주목되고 있지만, 소재의 구조상 단열을 위한 광투과를 구현할 수 없다는 취약성이 존재한다. 또한 연료감응형 및 유기태양전지는 소재의 개발로 인하여 효과적인 투과도를 구현하며 생산단가가 저렴하지만 낮은 효율성과 내구성의 문제 등으로 인하여 실제 도입이 미뤄지고 있다 [7]. 따라서 커튼월을 적용한 빌딩



통합형 태양광 패널은 계속 된 연구 개발이 요구되지만 단열재를 대신하여 외부의 영향으로 생기는 실내 온도 감소를 통한 에너지 사용량 절감에도 유용하게 사용될 수 있다.

## 4. 실험 및 고찰

### 4.1 실험개요

K-apt.com에서 제공 되는 단지별 월별 에너지 사용 추이를 바탕으로 울산에서 가장 높은 아파트를 대상으로 선택했다. BIPV 실제 적용 시 발전량 예측을 위하여 National Renewable Energy Laboratory (NREL)에서 제공되는 울산의 일사량을 제공하는 기후 지도를 SAM에 적용해 Thin-Film PV, Mono-Crystalline PV, Poly-Crystalline PV 각각 세 가지의 다른 기술이 적용된 태양광 패널을 대상으로 실험을 진행하였다. 또한 같은 조건의 발전을 형성하고자 Table 2와 같이 모듈의 총면적과 DC-to-AC 비율의 수치를 동일하게 설정하였다. 인버터의 경우 설치 될 모듈의 수와 전력량을 고려하여 1.25 DC-to-AC Ratio에 가장 가까운 모델을 선택했다. 또한 빌딩 입면에 패널이 설치되는 것을 고려하여 경사각을 90° 로 설정하였다.

Table 2. Solar panel configuration

Specification	Q.Smart UFL-115	SPR-X20-327	SPR-P17-355
Technology	Thin-film	Mono-Crystalline	Poly-Crystalline
Efficiency at STC	12.24%	20.06%	17.39%
$P_{max}$ (STC)	115W	327W	355W
Number of Modules	36	20	16
Total Module area	33.8m <sup>2</sup>	32.6m <sup>2</sup>	32.6m <sup>2</sup>
Inverter	SPR-3300f	SPR-5200	SPR-5000x
DC-to-AC Ratio	1.26	1.26	1.26

### 4.2 결과

실험의 결과 Thin-Film PV, Mono-Crystalline PV, Poly-Crystalline PV의 연간 발전량은 각각 4,177kWh, 6,393kWh, 5,534kWh로 측정되었고 종류별 월 에너지 생산량은 Fig. 4와 같다. NREL이 제공하는 기후 지도를 토대로 측정된 Global Horizontal Irradiance (GHI)와 일사량 공급이 시작되는 시간의 평균 온도  $T_{avg}$ 는 Table 3과 같다.

K-apt에 따르면 실험 대상 아파트의 최근 10년간 연간 평균 에너지 사용량은 약 2,934,925kWh이다. 해당 아파트의 높이 200m, 층당 평균 면적 215m<sup>2</sup>을 고려하여 예상한 입면 최소 면적은 약 2938m<sup>2</sup>이다. 이를 기반으로 설치될 모듈의 수를 증가시켰을 때 예상할 수 있는 최적 발전량의 경

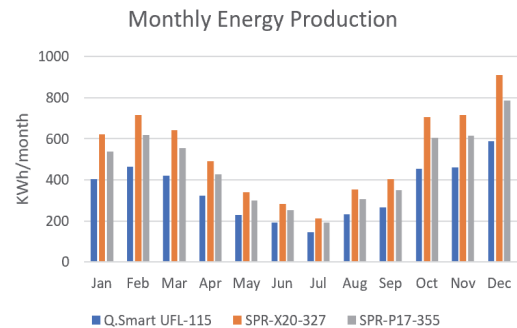


Fig. 4 Monthly energy production

Table 3. GHI and T<sub>Avg</sub> in Ulsan

Month	GHI (W/m <sup>2</sup> )	T <sub>Avg</sub> (°C)
1	72,456	7.29
2	101,849	7.99
3	145,923	11.15
4	182,733	13.65
5	184,983	18.55
6	191,346	23.09
7	122,096	23.26
8	161,159	27.49
9	114,448	22.63
10	121,925	17.92
11	86,794	13.44
12	89,048	5.72

우 UFL-115, SPR-X20-327, SPR-P17-355 각각 연 417,700kWh, 639,300kWh, 553.400kWh로 측정되었고 태양에너지를 사용한 에너지 공급은 현재 사용되는 연간 평균 에너지의 약 14%~21% 에너지를 충족 할 수 있다.

### 4.3 고찰

SAM의 경우 2층 이하 이상의 건물을 분류한 발전량을 분석하지만 세밀한 높이에 따른 발전량은 제공하지 않는다. 따라서 실제 적용 시에는 높이에 따른 발전량에서 차이를 보일 것으로 예상된다. NREL 데이터를 기반으로 일사량이 가장 높은 여름철에 에너지 생산량이 가장 높을 것으로 예상되었지만 가장 낮게 측정되었다.

Adeeb et al.(2019)의 실험에 따르면 전지의 실제 온도는 주변 온도보다 약 20°C 높게 형성된다. 이에 근거하여 여름철 주변 온도가 효율성 감소로 직접적인 영향을 미친 것 판단된다.

위의 연구에서 진행된 실험을 토대로 여름철 외부온도의 상승으로 인한 모듈 온도 상승이 Fig. 5처럼 패널의 발전량에 영향을 끼친것으로 볼 수

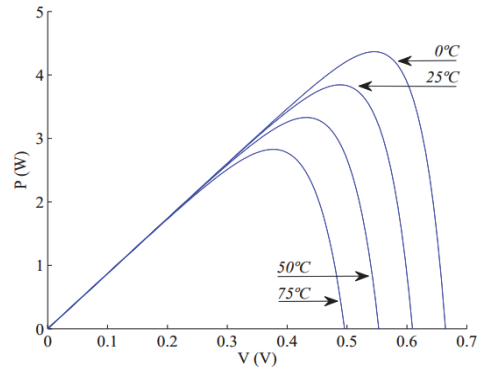


Fig. 5 P-V characteristics for the temperature variation [8]

있다. 또한 STC를 통하여 측정된 패널의 효율성은 모듈 온도 25°C, 풍속 1.0m/s 같은 이상적인 조건에서 측정되었기 때문에 실제 울산의 기후를 적용한 효율성과는 거의 일치하지 않는다. 따라서, 온도가 높은 여름철의 경우 온도계수를 고려한 방열 및 열 교환 장치의 추가와 패널 선택은 온도 상승을 낮추어 효율성 감소를 최소화 시키며 모듈에 최적온도를 형성하여 발전량을 극대화 시킬 수 있을것으로 예상된다.

### 5. 결론

울산 지역의 주거 아파트에 태양광 패널 도입 시 발생할 수 있는 효율성 저하에 관한 해결방안 제시와 태양 전지 실제 운전 시 발전할 수 있는 전력량을 SAM을 통하여 측정하였다. 여름철의 경우 주변 온도로 인하여 발전량이 크게 감소하였다. 그러나 이는 울산 지역의 높은 습도를 고려하지 않았기 때문에 실제 발전 시에 더 큰 발전량 감소가 예상된다. 따라서 본 논문에서 제시된 효율성 개선 방안을 적용하여 태양광 패널 설치 시에 여름철의 경우 최소 30% 이상의 발전량 상승을 기대 할 수 있다.

태양광 패널의 운전은 주변 환경에 따라 발전량의 차이가 매우 크고 효율성 개선을 위하여 추가되는 기기들은 건물 입면의 무게를 증가시키기 때문에 이를 보완하여 운전하기 위해서는 초기 설계 단계에서 건축가들과의 협업이 굉장히 중요할 것으로 사료된다. 또한 고층 빌딩의 높이는 태양광 패널을 통한 발전에 여러 가지 변수들을 만들기 때문에 실제 흔히 사용되고 있는 지상의 태양전지들과는 다르게 고려 돼야 한다.

빌딩 통합형 태양광 패널의 개발은 현재 전 세계적으로 대두되고 있는 탄소 배출 절감을 위해서는 불가피하다. 그러나, 신재생 에너지는 낮은 효율, 높은 초기 투자비용과 같은 문제로 인하여 보급에 있어서 여러 가지 장벽이 존재한다 [9]. 따라서, 신재생 에너지 사용을 위한 정부의 적극적인 발 디딤은 혁신기술을 융합시킨 지역 랜드마크를 형성 할 수 있고 화석연료의 의존에서 벗어나 에너지 생산 및 절감에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] Lee S.Y., Lee R.D., Yoon J.H., Kim D.S.: Potential Impact of BIPV Installation Capacity on Energy Self-Sufficiency Rate in Apartment Complex. *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol.41, No.3, pp.25-37, (2021).
- [2] Kim H.S.: Energy conservation technology for high-rise buildings using renewable energy. *The Magazine of Korean Solar Energy Society*, KSES, Vol.10, No.1, pp.11-21, (2011).
- [3] Liu C.D., Seo Y.S., Oh M.S., Kim, H.S.: A Study on the Unit Type BIPV Design Method for Super-Tall Building Concentrating on the Solar Irradiance Incident on the Building Facades. *KSES Annual Autumn Conference*, pp.370-375, (2011).
- [4] Adeeb J., Farhan A., Al-Salaymeh A.: Temperature Effect on Performance of Different Solar Cell Technologies. *Journal of Ecological Engineering*, vol. 20, no. 5, pp.249-254, (2019).
- [5] Shin H.W., Kim B.M., Yang Y.W., Lee K.S., Kang G.H., Yoon J.H.: A Study for BIPV submodule. *KSES Annual Autumn Conference*, pp.3-8, (2010).
- [6] Kant K., Pitchumani R., Shukla A. Sharma A.: Analysis and design of air ventilated building integrated photovoltaic (BIPV) system incorporating phase change materials. *Energy Conversion and Management*, vol. 196, pp.149-164, (2019).
- [7] Moon H.B., Ahn J.W., Kim J.H., Kim J.T.: A Review on the BIPV Case and Application Method of BIPV. *KSES Annual Spring Conference*, pp.234-234, (2019).
- [8] Rodrigues E., Melício R., Mendes V., Catalão J.: Simulation of a solar cell considering single-diode equivalent circuit mode. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, pp.369-373, (2011).
- [9] Son W.T., Choi Y.S.: A Study on the Effects of prevention of the Urban Heat Island by Using New & Renewable Energy. *Journal of The Korean Society of Industry Convergence*, 12 (3), pp.157-162, (2009).