



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

건물통합형 태양광발전 시스템의 발전성능에 관한 연구



2014 年 2 月

釜慶大學校 産業大學院

電氣工學科

李 始 源

工學碩士 學位論文

건물통합형 태양광발전 시스템의 발전성능에 관한 연구

Study on the Power Performance for BIPV System

指導教授 裴 鍾 一

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2014 年 2 月

釜慶大學校 産業大學院

電氣工學科

李 始 源

李始源의 工學碩士 學位論文을 認淮함

2013 年 12 月

主審 工學博士 朴 昶 炫 (印)

委員 工學博士 安 永 珠 (印)

委員 工學博士 裴 鍾 一 (印)



목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경 및 필요성	1
1.2 연구 목적	3
제 2 장 본 론	
2.1 태양광 발전의 특성	4
2.2 건물통합형 태양광 발전시스템(BIPV)	6
2.2.1 BIPV 정의	6
2.2.2 BIPV 설계	7
2.2.3 BIPV 설계 프로세스	8
제 3 장 BIPV 발전성능에 관한 고찰	22
3.1 BIPV 에너지 소요량	22
3.2 BIPV 모듈의 발전성능 모델링	27
제 4 장 결 론	36
참고문헌	37

표 목차

표 1 자연에너지 활용형의 발전 시스템 특징	5
표 2 각 지방의 일사량 값	17
표 3 태양전지성능	18
표 4 PV-시스템에서 전기생산이 저하되는 주요 원인	21
표 5 건축물의 등급에 따른 신·재생에너지 공급률 및 신·재생에너지 생산량	22
표 6 건축 연면적과 등급에 따른 태양광에너지 설치규모 및 생산량	24



그림 목차

그림 2-1 독립형 계통연계방식 개념도	11
그림 2-2 계통연계형 계통연계방식 개념도	12
그림 2-3 패시브하우스 아파트, 오스트리아 통합계통연계도	14
그림 2-4 BIPV의 다양한 설치방법	14
그림 2-5 태양계통도	16
그림 2-6 방위와 경사에 따른 일사량 취득비율	18
그림 2-7 태양전지와 외벽사이길이에 따른 온도손실을	20



Study on the Power Performance for BIPV System

Si-Won Lee

Department of Electrical Engineering

Graduate School of Industry

Pukyong National University

Abstract

Abstract - Building-integrated photovoltaics (BIPV) are photovoltaic materials that are used to replace conventional building materials in parts of the building envelope such as the roof, skylights, or facades.[1] They are increasingly being incorporated into the construction of new buildings as a principal or ancillary source of electrical power, although existing buildings may be retrofitted with similar technology

To address the serious depletion of fossil fuels and air pollution, the green energy boom is taking place worldwide. In particular, the market for photovoltaic (PV) energy, a type of renewable energy, has been expanding by approximately 52% per year since 2000. Along with the growth of the PV market, the market for building-integrated photovoltaic (BIPV) systems is also rapidly growing because the building sector's energy consumption is increasing with the improvement in the quality of life.

The electrical design parameters that affected the performance of the BIPV system were calculated to predict the system's electrical generation. The electrical characteristics of the PV module immediately

varied with the environmental factors. To calculate the change of short circuit current (I_{sc}) according to the irradiance and the change of open circuit voltage (V_{oc}) according to the temperature, the electrical generation of the PV array was drawn using the MPP (maximum power point) calculation method.



제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 필요성

산업혁명 이후 급격한 도시집중현상, 경제성장, 도심지 인구집중 등으로 인해 야기된 환경문제가 정보문명 사회에서 부각되지 못하다가 지구온난화, 오존층파괴, 수질 및 대기오염이 인류와 지구미래를 위협하고 있음을 깨닫게 된 후, 전 세계는 녹색문명을 선언하게 되었다. 우리나라도 소비 에너지의 97%를 수입에 의존하고 있기 때문에 유가상승과 같은 국제적 정세변화에 매우 민감하게 대응하고 있다. 새로운 패러다임인 녹색문명은 인류의 삶의 질 확보, 지구환경보전의 중요성과 자원절약 및 폐기물의 최소화에 목표를 두고 있다.

특히 신·재생에너지와 같은 지속 가능한 에너지 공급체계를 구축하여 건축물과 도시의 에너지원으로 대체하는데 주력하고 있다. 왜냐하면 태양에너지, 풍력에너지, 지열 에너지 등 재생 가능한 에너지는 화석연료를 사용하지 않기 때문에 황화물(SOx), 질산화물(NOx), 미세먼지 등 환경오염물질의 배출이 없고, 이산화탄소(CO2) 등과 같은 온실가스 발생이 없어 지구 환경 문제에 능동적으로 대응할 수 있는 환경 친화적이고 청정한 에너지이기 때문이다.

최근 지구온난화에 따른 전 지구적 온도 상승과 각종 기상이변 그리고 화석연료 고갈과 유가 상승 등에 따른 에너지 안보 위협 문제들을 계기로 국제사회는 기후변화를 더 이상 남의 문제가 아닌 자신의 문제로 인식하기 시작했다. 이에 녹색경쟁은 가도되고 안가도 되는 길이 아니라, 가야만 하는 길이고, 이미 가고 있는 길이며, 누가 먼저 잘 움직이느냐, 즉 Early &

Smart Mover가 국가 경쟁력이 되고 있다. 미국의 토마스 프리드먼 (Thomas L. Friedman)¹⁾도 Outgreening, 즉 남보다 더 먼저, 더 빨리 그린에 다가서는 개인과 기업, 국가가 생존에 유리한 고지에 선점한다고 강조하였다.

그럼에도 불구하고 우리나라는 소비되는 총에너지의 97%이상을 수입에 의존하는 반면 에너지소비 순위가 프랑스와 영국에 이어 10위, 석유소비는 독일과 인도에 이어 7위이므로, 범국민적인 에너지절감 및 에너지 확보 그리고 온실가스 의무감축을 이행하기 위해서 대체에너지 개발과 보급 확대가 필요하다.

이에 무엇보다도 에너지 효율향상과 에너지 소비량 절감을 뼈대로 하는 에너지 저소비형 경제 구조로의 전환이 최우선 과제이며, 더불어 자체 에너지 공급의 능력을 키워나갈 수 있는 재생에너지의 개발 및 적용에 대한 노력이 매우중요하다.

지금 처해있는 지구환경 및 에너지 문제를 고려해 볼 때, 향후에도 이러한 증가추세는 계속될 것으로 예측되고 있다. 최근 서비스 산업의 활성화 및 생활편의 증대에 따른 에너지소비의 증가, 건축물이 대형화,복합화에 따라 에너지 다소비형 건축물 증가 등으로 인하여, 에너지 사용비중 중 주거부분의 비율이 국가 전체 에너지 사용량의 약 36%를 차지하는 등 사용하는 원단위는 오히려 증가한 것으로 나타나, 미래 국제협약에 적극 대처할 수 있는 정책의 전환이 필요하다.

1.2 연구목적

앞에서 언급한 에너지문제에 의해 각 국가들은 신재생 에너지를 적극적으로 보급 중이며, 태양광발전(Photovoltaic; PV) 시장이 연간 68% 성장하고 있다. 또한, 최근에는 태양광발전 기술요소들의 도입을 통하여 건물 에너지 소비를 줄이기 위한 건축계획적 방법이 활발히 연구되어지고 있다.

특히, 건물의 지붕 및 입면에 PV를 적용하여 마감재를 대체하는 시스템인 BIPV(Building-Integrated Photovoltaic; 태양광발전 시스템)은 국내와 같이 제한된 대지와 건물상황에서 별도의 PV모듈의 설치 부지 확보가 필요 없이 전력 생산 기능과 함께 건축의 마감 재료 기능을 동시에 충족시키며 각광을 받고 있다. 건물 외관의 창호, 커튼월, 벽면, 지붕, 발코니, 창 등 여러 건물 구성 요서에 적용 가능하다. 따라서 BIPV 모듈 특성에 따라 자연채광이나 차양에도 이용 가능해 건물 전체적인 에너지 성능 및 쾌적성을 향상시킬 수 있다. 또한, 기존 태양광 시스템에 비해 초기 설치비용이 비교적 높지만 건물 디자인과 조화를 이루는 시스템 구현이 가능하고 BIPV가 설치된 건물은 친환경적인 이미지를 확보할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 BIPV 시스템의 발전성능에 영향을 미치는 전기적 설계 파라미터 즉, 일사량에 따른 I_{sc} , 온도에 따른 V_{oc} , 곡선인자 FF 그리고 최대출력 P_{max} 등을 계산하여 PV 모듈 또는 어레이의 최대출력점 MPP(maximum power point)를 계산방법을 도출하여 향후 BIPV 시스템의 연구에 지표가 될 수 있는 수식을 정립해 보았다.

제 2 장 본 론

2.1 태양광 발전의 특성

태양광 발전이란 실리콘 등의 반도체에 빛이 닿으면 전기가 발생하는 광전효과를 응용한 태양 전지를 사용하여 태양의 빛으로부터 직접 전기를 얻어 이용하는 발전(發電)기술이다. 태양광 발전 시스템은, 태양전지를 전면에서 다수 깔아 놓은 태양전지모듈, 발생된 직류전압을 교류로 변환시키는 인버터 그리고 상용전원과 접속하기 위한 계통연계(系統連繫)장치 등으로 구성된다. 최근 개발된 채광형의 투명 또는 반투명 태양전지를 이용하면 개구부 옥상의 시선차단벽, 루버, 차양, 발코니의 난간 등의 2차적인 부위에 건물과 통합하여 설치하는 것도 가능하다.

최근에는 태양전지 모듈을 커버하는 유리나 수지필름 등에 다양한 색채감과 소재감을 연출할 수 있는 제품도 생산되고 있다. 태양광 발전 시스템은 태양전지를 사용하여 태양에너지를 전기에너지로 직접 변환하는 자연에너지 활용형의 발전 시스템으로서 다음 표1과 같은 특징을 가지고 있다.

<표1> 자연에너지 활용형의 발전 시스템 특징

장점	• 발전 과정에서 유해물질의 배출이나 소음의 발생이 없다. • 발전을 위한 연료(자원)가 불필요하다. • 견고하고 내구성이 뛰어나 수명이 길다. • 모듈의 증감에 의해 다양한 규모의 발전 시스템을 구축할 수 있다. • 발전효율은 시스템의 규모와 상관없이 거의 일정하다. • 구동부가 없는 정적 발전방식이므로 점검이 거의 불필요하고 설비의 자동화, 무인화가 용이하다. • 일사의 차폐효과도 기대할 수 있다. • 건물재료와의 일체화도 가능하다.
단점	• 계절이나 기후에 따라 발전량이 변하고 야간에는 발전이 불가능하다. • 태양에너지의 밀도가 낮기 때문에 넓은 설치면적을 필요로 한다. • 다른 발전시스템과 비교하여 현시점에서는 아직 가격이 비싸다

2.2 건물통합형 태양광 발전시스템(BIPV)

2.2.1 BIPV 정의

BIPV시스템(Building Integrated Photovoltaic System)이란 기존의 PV기술을 건축물에 접목하여 태양전지 모듈 자체가 곧 건물 외장재로서 기존 건축물의 마감재를 대체하면서 전기를 발전하는 다기능 복합 시스템을 말한다. 건물 외피에 전지판을 이용하는 건물외장형 태양광 발전시스템으로, 태양광에너지로 전기를 생산하여 소비자에게 공급하는 것 외에 건물일체형 태양광모듈을 건축물 외장재로 사용하여 건설비용을 줄이고 건물의 가치를 높이는 디자인요소로도 쓰인다.

건물통합형 태양광발전 즉, BIPV는 PV모듈을 건축자재화하여 건물 외피에 적용함으로써 경제성은 물론 각종 부가가치를 높여 보다 효율적으로 PV시스템을 보급·활성화 시키려는 개념이다. BIPV 시스템은 전기 에너지 생산과 동시에 지붕, 파사드, 블라인드, 태양열 집열기 등과 같이 건물 외피와 결합하여 또 다른 기능을 제공할 수 있는 가능성을 부여한다. 이러한 복합적인 기능을 통한 비용절감 효과는 최근에 건물에서 흔히 볼 수 있는 고가의 외장 마감재에 소요되는 비용과 PV시스템의 비용이 비슷할 때 최대의 경제성을 확보할 수 있을 것이다. 부가적으로 PV시스템을 위한 별도의 부지확보 비용과 PV 시스템 지지를 위한 구조물 건립비용이 필요하지 않으며, 전기부하가 발생하는 그 지점에서 발전이 된다는 장점도 가지게 된다.

한편 PV시스템을 건축설계와 통합시키는 문제는 단지 에너지 성능 측면의 비용-효과 차원을 넘어 사회·경제적으로 많은 부가적 가치를 제공한다. 또한 건축가는 실내의 쾌적수준 저하나, 건물 외관의 의장적 문제 및 경제

적 제한사항 등에 크게 제약받지 않고도 환경친화적이고 에너지 효율적인 건물을 설계할 수 있게 된다. 실제로 이러한 장점들은 아직까지도 여전히 태양전지의 발전비용이 일반 발전비용보다도 5배 이상 비싼 수준임에도 불구하고, 선진국의 수많은 사례에서 계통연계형 BIPV 시장이 급속히 성장하고 있는 현상을 통해 입증되고 있다.

2.2.2 BIPV의 설계

BIPV 표준설계를 위해 한국건설기술연구원이 제시한 설계 시 유의 사항은 다음과 같이 정리된다.

- 1) 외벽에 석재, 금속패널 등 시중에서 일상적으로 유통되고 있는 건축자재와 창호부의 치수가 일치하지 않아 입면을 구성하는 선들의 배열이 맞지 않는 경우가 자주 발생하는데, 설계단계에서 이러한 문제를 미리 해석하지 않는다면 건물과 조화를 이루는 BIPV시스템의 실현은 실제로 불가능하다. 따라서 BIPV 규격 표준화를 시도하여 건축외관 디자인을 BIPV모듈 사이즈에 맞추기 위해서는 건축가가 태양광발전시스템의 원리와 제품생산과정에 대해 지식을 습득하고, 태양광 발전전문가와 설계초기단계에서부터 긴밀하게 협조하면서 업무를 진행하여야 한다.¹⁾
- 2) 직달 일사에 대한 방해 요소가 없어야 한다.
- 3) 태양광을 최대한 이용한다. (한국의 경우 정남향에 30도의 경사각이 최적)
- 4) PV-모듈에 그림자가 지지 않도록 한다. (모듈을 여러 줄로 설치하는 경우는 모듈의 그림자가 다른 모듈에 걸치지 않게 설치하고 먼지, 눈에 의한 균일한 그늘, 새똥, 낙엽 또는 눈에 의한 불균일한 음영이 발생하지 않게 한다.)
- 5) 결정질 PV-모듈은 후면 통풍이 잘 되도록 한다.

1) 건물 유형별 BIPV 표준설계 한국건설기술연구원 p.162

- 6) 전기사용이 용이한 곳에 설치한다.
- 7) 태양광 에너지생산량 계산은 시시각각 변하는 온도와 빛의 세기변화, 다양한 모듈, 인버터의 조합 그리고 운전으로 산출된다. 그래서 적합한 태양광에너지 생산량 예측은 전문적인 시뮬레이션프로그램을 사용하여 분석해야 한다. 그리고 가장 정확한 데이터는 평균적인 기후데이터를 시간대별로 대입하고 산출된 전기생산량을 모두 합산하면 된다. 이러한 정확한 에너지생산량 계산은 건축주에게 투자가치를 증가시키는데 도움이 된다.
- 8) 일반적으로 동쪽으로 태양광을 설치하는 것이 서쪽보다 많은 에너지를 생산할 수 있다. 그 이유는 동쪽은 아침부터 전지판에서 점차로 온도상승이 되는 반면 서쪽은 오후부터 강한 온도에서 차차 온도가 하강되기 때문에 효율 면에서 비교적 떨어진다.
- 9) 조립이 용이해야한다.

2.2.3 BIPV의 설계 프로세스

BIPV 설계를 위한 기본적 지식을 정리하면 다음과 같다.

- 1) PV에서 생산되는 전기는 직류이며, 계통연계의 경우 인버터를 통해 교류로 변환된 후 활용된다.
- 2) PV는 직달일사는 물론 확산일사에도 반응하여 전기를 생산한다.
- 3) PV모듈에 도달하는 일사량이 크면 클수록, 발전량도 커진다.
- 4) PV모듈의 효율은 대략 5~15% 수준이다.
- 5) 기본적 태양전지는 빛을 투과시키지 않지만, 일부 모듈의 경우 태양전지와 태양전지 사이를 투명한 소재로 마감하도록 설계함으로서 부분적으로 빛을 투과시킬 수 있는 모듈도 있다.
- 6) 최근에는 태양전지 자체가 빛을 투과시킬 수 있는 투명 태양전지가 생산·시판되고 있다.
- 7) PV 어레이의 환경조건이 균일하게 형성될 수 있도록 설계해야만 시스템

효율의 극대화를 기대할 수 있다.

- 8) 다양한 형태와 크기의 PV 모듈이 존재하며, 적용되는 PV 모듈의 종류에 따라 외관도 크게 변화된다.
- 9) PV의 기존 설치사례로 볼 때 최소 15년 이상 작동 수명이 보장된다.
- 10) PV의 에너지 투자회수기간이 짧다.
- 11) 건축설계자들은 PV의 발전출력에 핵심적 영향을 미치는 아래 요소에 주도적 영향력을 가지고 있다. (경사각 / 방위 / 음영 / 온도)
- 12) 계통연계 시스템의 경우 PV를 통한 연간 총발전량이 주 관심사이다.
- 13) 최적의 설치각도를 벗어난다고 해서 발전성능에 결정적 영향을 받는 것은 아니다. 대부분의 경우 적절한 일정 범위의 방위 및 경사각 내에서의 최대출력의 95% 이상은 발전효율을 기대할 수 있다.
- 14) 음영은 어떠한 경우라도 최대한 피하도록 설계되어야 한다.
- 15) PV모듈로부터 발생하는 열을 효과적으로 제거하기 위한 환기계획이 수립되어야 한다.
- 16) 적절한 각도로 설치되었다고 가정할 경우, 개략적으로 단결정 PV모듈 1m^2 를 통해 얻을 수 있는 연간 발전량은 약 $100\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{year}$ 수준이다.

BIPV 설계를 위해서는 기술적 고려요소에 대한 사항도 필요하다.

특히 PV모듈의 설치각도와 발전성능은 밀접한 관계를 가지고 있다. 태양 복사량은 위도에 따라 변화하며, 최대 획득량은 시스템의 설치위치 즉, 경사각 및 방위각에 의해 결정된다. 일반적으로 가장 바람직한 방위는 정남향이며 수평면으로부터 경사각은 그 지역의 위도에 의해 결정된다. 또한 연중 일수에 의해서도 변화되는데, 태양고도가 낮은 동절기의 경우 수평면보다는 수직 파사드에 설치된 시스템에서 보다 많은 획득량을 기대할 수 있다.

최대 효율을 위한 시스템의 설치위치 결정을 위해서는 국내 지역별 방위 및 경사각에 대한 연중 적산일사 획득량에 대한 상대적 성능비교 데이터의 수립을 통해 효율적인 성능데이터를 제공할 수 있다.

태양광발전 시스템은 연중 365일 태양에너지를 받아 발전을 하기 때문에 1년중 적산일사량이 가장 많은 설치각도로 PV모듈을 부착하는 것이 가장 바람직하다. 따라서 기존의 독립형 PV발전 시스템은 그 지역의 위도조건에 따라 가장 상기의 조건을 만족시키는 설치각도로 부착되었다.

그러나 건물일체형 태양광발전(BIPV) 시스템의 경우 PV모듈이 건축외장재로 건물 외피에 적용되기 때문에, 건물 조건에 따라 다양한 위치에 설치될 수 밖에 없다. 특히 상업용 건물의 경우 수직벽에 부착되어야 하는 경우는 물론이고 향도 남향 이외에 동·서향으로 설치되어야 하는 경우도 흔히 발생할 것이다. 따라서 건축가는 BIPV설계를 수행할 때 마다 PV모듈의 설치위치와 발전성능의 저하에 따른 문제가 있다.

이러한 태양광 발전 시스템 설계순서를 다음과 같이 정리한다.

1) 지구단위계획지침 검토

지구단위계획지침에 규정된 지붕형태(경사지붕, 평지붕), 색상, 건물배치 등을 면밀히 검토하여 사이트에 필요한 법적인 사항을 분석한다.

2) 건물 설계 검토

BIPV는 최대발전성능을 낼 수 있는 일반적인 PV시스템과는 달리 설치 조건에 따라 발전성능에 있어 불가피한 손실이 발생하게 된다. 이러한 손실을 최소화하기 위해서는 설치 전 건물 설계 검토가 필요하고 각 손실요인에 대한 예측분석을 통해 최적 조건으로 만들어 주어야 한다.

3) 태양광 시스템 검토

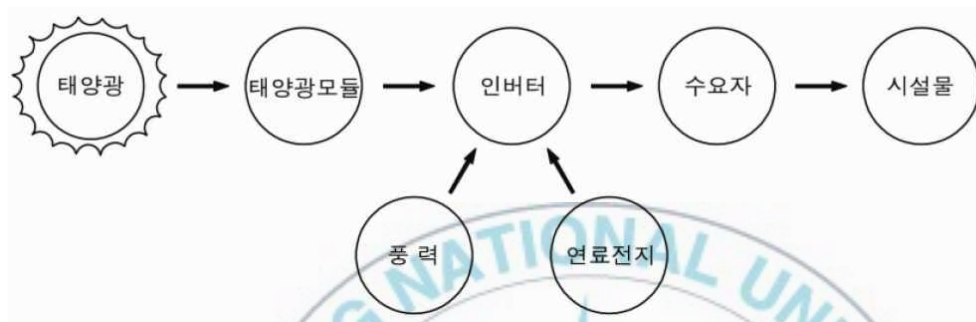
계통 구성방식은 크게 독립형과 계통연계형으로 나눌 수 있다.

① 독립형

- 야간이나 태양광이 적을 때 전력을 공급하기 위한 축전 설비를 갖추고

있어, 태양광 발전이 가능한 시간 동안 축전지에 전력용 전력을 저장하였다가 사용하는 방식.

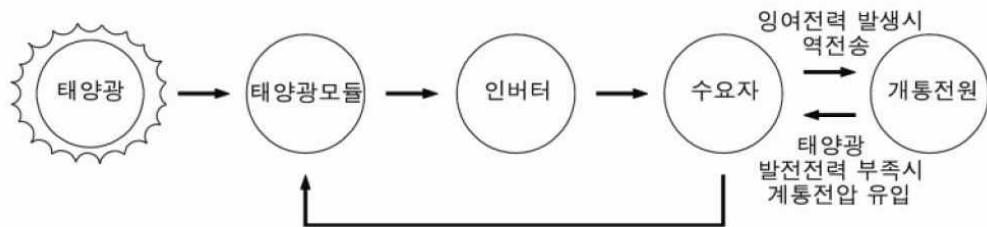
- 태양광이 적은 날이 장기화되거나 시스템 고장 등의 문제 시 보조용으로 디젤발전기 및 풍력 발전기를 갖춘 복합 발전(Hybrid)시스템으로 활용 가능.
- 산간 지역 및 도서 지역 발전소용, 해양기지 전원용, 등대 전원용 ,원거리 통신기지 전원용 등.



[그림 2-1] 독립형 계통연계방식 개념도

② 계통연계형

- 태양광으로 발전된 직류 전기 에너지를 인버터에 공급하여 사용 전력으로 변환시켜 안정된 전원을 수요자에게 공급하는 시스템.
- 계통과 연계가 가능하게 하여 야간이나 태양광 발전 전력이 부족할 경우 계통 전력을 유입하여 사용하게 하고 잉여전력이 발생할 경우 계통 전원으로 역전송하도록 하는 방식.
- 가정 및 일반 건물 전원용, 태양광 발전소용 등으로 사용.



[그림 2-2] 계통연계형 계통연계방식 개념도

4) 어레이 설계 및 설치 규모 결정

- ① 연간 전력 생산량
- ② 태양전지 모듈 선정
- ③ 인버터선정

④ 모듈 직렬 결선수 선정

(이때 $V_{oc}(\text{개방전압}) \times \text{직렬수}$ 가 인버터 동작전압 범위 내에 존재해야한다. 만약 태양전지 모듈의 방위각과 경사각이 동일한 대상으로 검토하여 상기 조건이 다를 경우 구분하여 설계해야 한다.)

⑤ 병렬수 선정

(직렬수 $\times$ 병렬수 $\times$ 모듈 1장 면적이 설치면적보다 작아야 한다.)

⑥ 모듈수량이 결정(직렬수 $\times$ 병렬수)되면 설치면적이 결정된다.

⑦ 발전차액지원, 시설지원

건축단계별 BIPV 표준설계순서를 다음과 같이 정리된다.

1) 기획설계

기획단계는 생산하고자 하는 건축물에 BIPV를 다양하게 적용해 볼 수 있는 단계이다. 건축주의 요구에 의해 BIPV도입이 고려될 수도 있지만, 건축디자이너가 설계초기단계에 BIPV를 건축물의 개념적인요소로 활용할 수도 있다. BIPV가 디자인적 요소 이외에, 건물 에너지의 일부를 담당하는 설비

시설로 도입될 수 있으며, 신·재생에너지 시설을 의무적으로 도입해야만 하는 공공건축물의 필요조건을 충족시키는 요소로도 설계될 수 있다. 또한 BIPV에 크게 영향을 미칠 수 있는 비용과 발전성능에 대한 검토가 이루어지는 단계이기도 한다. 따라서 건물 디자인에 비교적 큰 영향을 미치는 BIPV모듈의 종류와 Cell의 집적도에 따른 가격과 발전성능의 상관관계를 살펴보고, 다른 건축외장재와의 대체 가능성도 면밀히 검토되어야 한다.

만약 건축가가 건물을 설계함에 있어 BIPV시스템을 도입하고자 한다면, 이 단계에서 건축주의 동의를 이끌어 내야만 하는데, 그 이유는 BIPV시스템의 도입은 건축물의 배치, 색상, 외관, 비용 등에 영향을 미치기 때문이다. 따라서 건축가는 건축주에게 BIPV시스템에 대해 충분히 이해시킬 수 있도록 사전에 BIPV에 대해 풍부한 정보를 파악하고 있어야 한다.

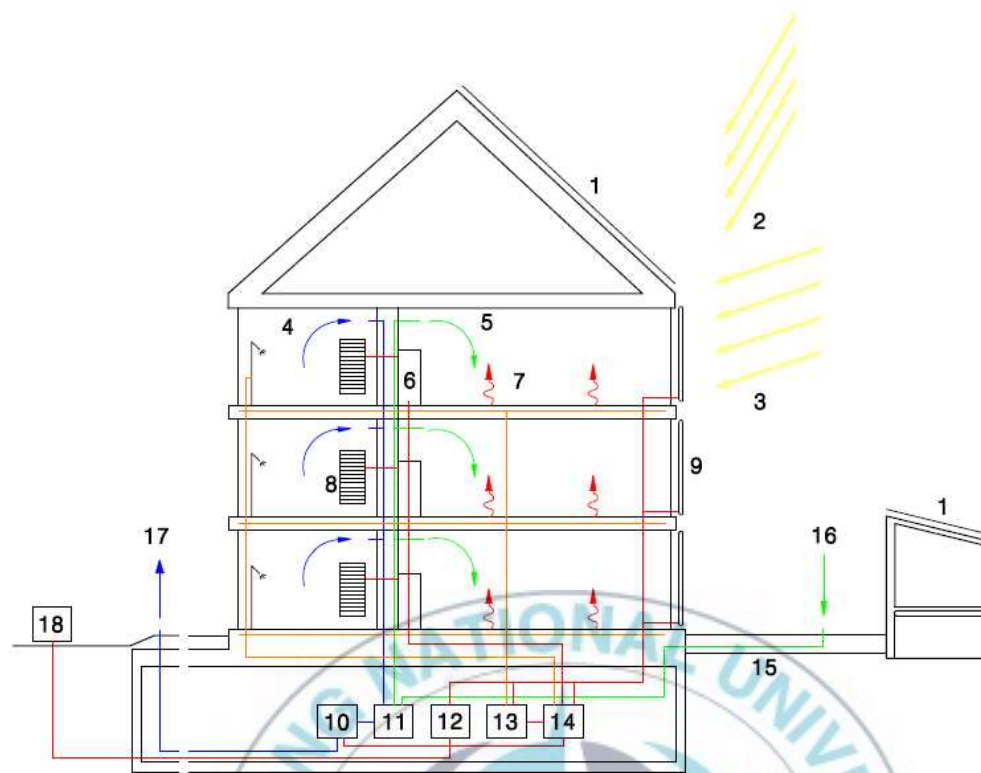
① 건물의 컨셉 작업

구상도, 스케치, 계획도, 조직도, 동선도, 면적도표, 기본 설계도 등 건물 배치 및 파사드 방위 결정, 형태 컨셉, 색상 컨셉

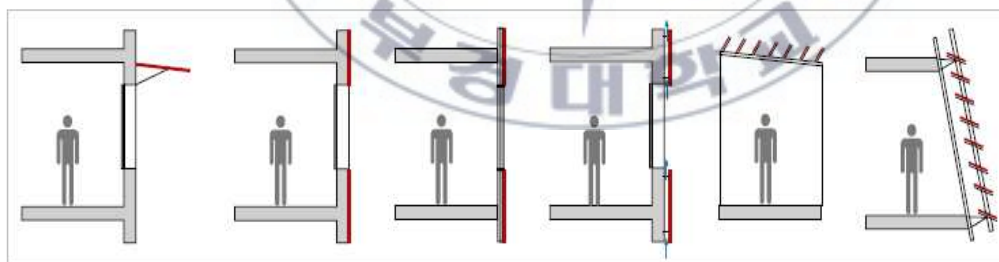
② BIPV 모듈 설계

건물과 조화를 이루는 태양광발전시스템을 설계하려면, 먼저 태양전지가 설치되는 건물의 설치장소에 대해 분석하고 태양전지모듈을 설계하여야 한다. 태양전지모듈 설계에 영향을 미치는 요소로 건물 컨셉을 이해할 필요가 있다. 설치장소(지붕, 외벽, 커튼월, 차양)에 따라 건물 컨셉에 맞도록 모듈의 형태, 색상, 사이즈 등을 설계한다.

- 지붕에 설치되는 경우
- 천창에 설치되는 경우
- 커튼월에 설치되는 경우



[그림 2-3] 패시브하우스 아파트, 오스트리아 통합계통연계도



[그림 2-4] BIPV의 다양한 설치방법

2) 기본설계

기획 설계에서 간략하게 표현되었던 이미지가 구체적인 도면으로 표현되기 시작하는 단계이다. 기획 설계에서 의도된 것을 분석하고 조사하여 구체적인 형태를 결정하는 단계이다. 기획 시의 조건과 요구사항 등을 바탕으로 배치, 평면, 입면, 단면 등의 모양과 구조, 재료, 설비, 공사비, 공사기간 등의 내용을 설계 도서에 표시한다. 설계 도서에는 세부설계를 위한 직접적인 지침이 될 수 있는 내용이 포함된다. 기본설계 시 작성도면은 배치도, 평면도, 입면도, 단면도, 투시도, 모형 등이 만들어 진다.

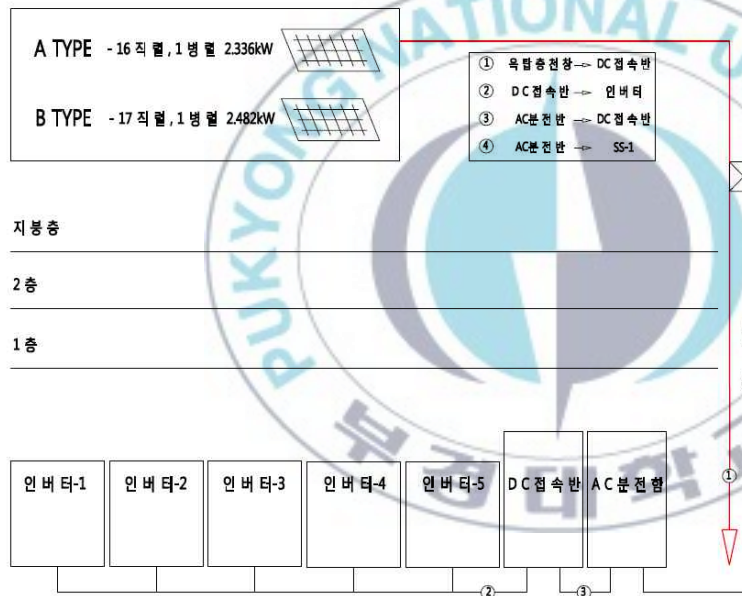
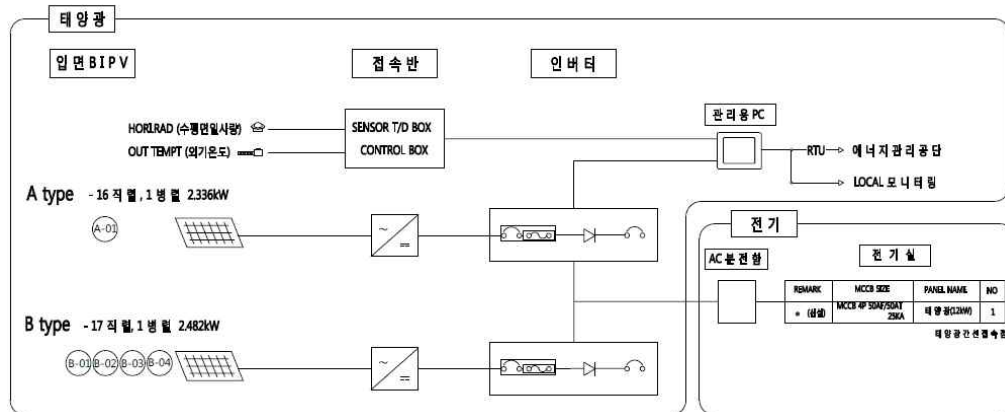
3) 실시설계

도면을 보고 시공을 할 수 있을 만큼 더욱 구체적이고 정확한 설계도서를 만드는 단계로, 건물의 배치, 평면, 입면, 단면 등 실제로 지어질 건물 형상이 건축 인·허가와 시공을 전제로 도면으로 나타내어 진다. 실시설계도서의 종류로는 공사 실시에 필요한 여러 종류의 도면과 지방서가 포함된다. 입찰자나 시공자가 공사비의 재료를 산출하고 시공하는데 직접 이용되며, 건축주와 일반인들이 알아볼 수 있도록 표현하는 기본설계도서와는 달리 실제 시공과정에서 활용되며, 설계자의 의도를 보다 정확하게 전달하기 위해 보다 전문적이고 기술적으로 표현해야 한다.

건물의 벽체구성, 창호종류, 지붕의 구조 등 건축의 부분요소들을 어떻게 하나의 건축물로 완성할 것인지를 나타내게 된다. 계획된 태양광발전시스템의 건물 통합 방법, 구조적인 고려, 설비시스템과의 통합 등 태양광발전시스템의 설계 및 설치에 대한 내용이 구체적으로 다루어져야 하는 단계이기도 하다. 이 과정에서 BIPV 모듈을 설계하고, 태양광발전시스템의 설계 및 설치방법이 면밀히 검토되어야 한다.

- 건축도면 : 배치도, 평면도, 입면도, 단면도, 전개도, 창호도, 투시도 등
- 구조도면 : 구조평면도, 골조기초, 각부 상세도, 기둥·보·바닥일람 표, 배근도 등
- 설비도면 : 전기, 위생, 냉·난방, 공조, 승강기, 소방 설비도 등

- 조경도면 : 조경도
- 시공도면 : 시공 상세도, 시공 계획서, 시방서 등



[그림 2-5] 태양계통도(영덕신재생에너지 홍보관(입면 BIPV 설치모듈 8EA
총용량:146W x 845 =12.264kW 경사형 BIPV)

태양광 전지판 에너지 생산량을 계산하기 위해서 다음에 대한 값이 필요하다.

1) 일사량값 측정

연평균일사량 - 각 지역에 일사량은 태양광에너지 생산에 가장 큰 영향을 미치는 요소 중 하나이다. 다음 표는 각 지방의 일사량 값을 나타내고 있다

<표2> 각 지방의 일사량 값

지역	수평면 전일사량	
	kcal/m ² .day	Wh/m ² .day
춘천	2,962	3,444
강릉	3,033	3,492
서울	2,752	3,200
대전	3,092	3,595
청주	3,037	3,532
포항	3,078	3,579
대구	3,019	3,511
광주	3,113	3,620
부산	3,135	3,646
목포	3,320	3,861
제주	2,922	3,398
수원	2,823	3,282
	3,059	3,577

(2011. 한국에너지기술연구원 일사량 통계 자료)

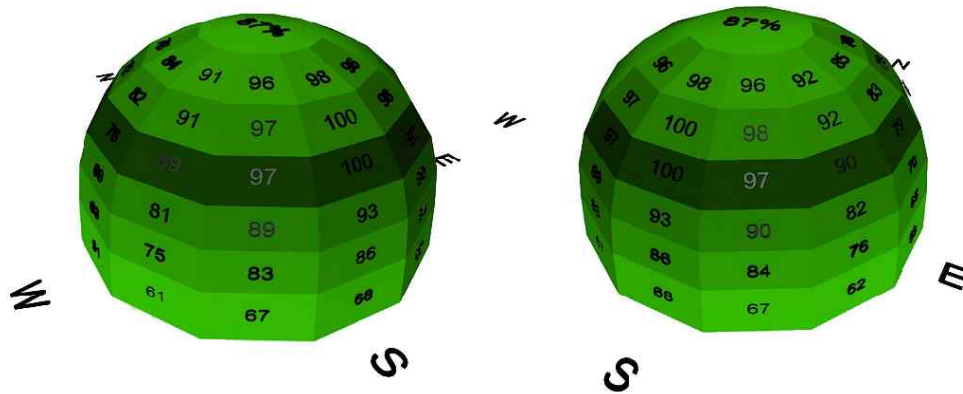
2) 태양전지면적

건물의 부하량을 결정하게 되면 다른 환경요소를 고려하고 경제성 평가를 통해 건물에 적합한 태양전지면적을 끌어낸다

3) 방위와 경사에 따른 일사량 취득비율

태양 복사량은 위도에 따라 변화하며, 최대 획득량은 시스템의 설치위치 즉, 경사각 및 방위각에 의해 결정된다. 일반적으로 가장 바람직한 방위

는 정남향이며 수평면으로부터 경사각은 그 지역의 위도에 의해 결정된다. 간격은 방위각의 경우 30도, 경사각의 경우 15도이며, 위도는 서울 지역이다.



[그림 2-6] 방위와 경사에 따른 일사량 취득비율

4) 태양전지성능

각각 태양전지의 성능은 아래 표3과 같이 나타난다.

<표3> 태양전지성능

	최대 태양전지 성능 (연구실)	모듈성능율 (상업용)	단위모듈면적당 (m ²) 성능 [Wp]	1kWp에 대한 면적요구량 [m ²]	온도상승에 의한 성능손실
단결정 실리콘					
고효율태양전지	21.6	12-16	120-160	6.5-9	0.4-0.5
하이브리드	24.7	16-20	160-200	5-6.5	0.3-0.4
HIT-태양전지	20.2	16-17	160-170	6-6.5	0.33
다결정 실리콘	20.3	11.5-15	115-150	7-9	0.4-0.5
Silizium amorph	13.2	5-7	50-70	15-21	0.1-0.2
mikrokristalin	15.2	5-7	50-70	15-21	0.5-0.7
mikromorph	13.0	7-9	70-90	11-14	0.3-0.4
CIS					
Standard (Selen)	20.0	8-11	80-110	9-13	0.3-0.4
Schwefel	13.1	6-7	60-70	15-17	0.3
나노태양전지	14.0	8-10	80-100	10-13	
CdTe	16.5	6-11	60-100	9-17	0.2-0.3

(참조 Photovoltaik Detail Praxis p.22)

5) 실행비용

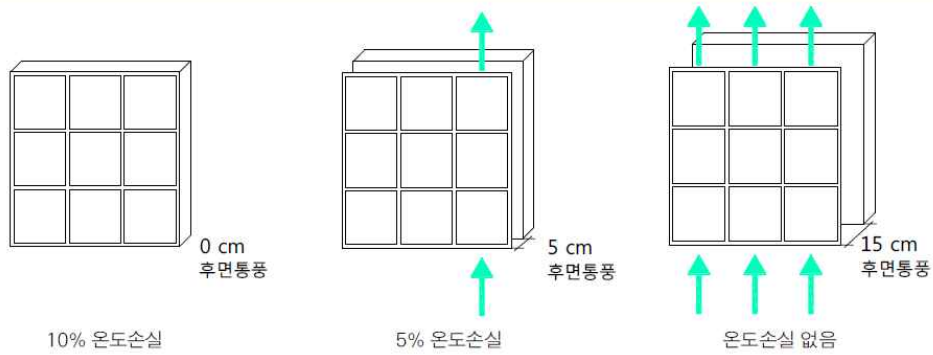
태양전지판 주변의 음영, 열손실, 비후면통풍, 난방입면일 경우 최적성능의 태양광에너지 생산량보다 10%적게 전기를 생산한다. 그리고 음영을 가진 난방입면의 경우 70%이하의 성능을 보이고 최적의 방향, 계획, 단열과 후면통풍이 되는 경우 85%까지 성능효율을 보인다.²⁾

PV-모듈의 온도상승은 곧 전력생산기능의 저하를 의미한다. 그림2-4는 결정질PV-모듈이 다양한 통풍상황에 따라 성능이 어떻게 변하는 지를 퍼센트로 보여준다(Decker, Burhard, 1998). PV-모듈후면 통풍은 의미가 있으며 매우 중요하다. PV-모듈에 자연 통풍을 적용하고자 한다면 최소 10-15cm의 이격공간을 확보하도록 한다.



2) Photovoltaik Detail Praxis p.28

PV 모듈 배면환기



태양전지 설치		주변환경 대비 온도상승	연간 에너지생산 감소율
	난방입면 (Warmfassade)	55K	10.5%
	난방지붕 (Warmdach)	43K	7.5%
	비난방입면, 후면통풍 불량호 (Kaltfassade, schlecht hinterlueftet)	39K	7.0%
	비난방입면, 후면통풍 양호 (Kaltfassade, gut hinterlueftet)	35K	6.0%
	지붕, 후면통풍 불량호 (Dach, schlecht hinterlueftet)	32K	5.0%
	지붕, 후면통풍 양호 (Dach, gut hinterlueftet)	29K	4.0%
	평지붕, 넓은 간격 (Aufdach, grosser Abstand)	28K	3.5%
	자유공간 (vollig freie Aufstellung)	22K	2.0%

[그림 2-7] 태양전지와 외벽사이길이에 따른 온도손실을

6) 태양광에너지 생산량 계산

태양전지 연간 생산량 = $1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5$

(1: 일사량값, 2: 태양전지면적, 3: 방위와 경사, 4: 태양전지성능, 5: 실행비율)

PV-시스템에서 전기 생산이 저하되는 주요 원인에 대한 고찰도 필요하다.

<표4> PV-시스템에서 전기생산이 저하되는 주요 원인³⁾

	결과		결과		
	가동중단	성능저하	설계	부품	설치
인버터고장					
시간별 또는 부분별 그늘짐					
상이한 모듈군의 부조화					
교체부품의 지연					
적합하지 않은 모듈방향					
인버터의 효율미달					
높은 모듈효율					
모듈의 혼탁					위치 및 경사각
직류전기케이블 파손					
보호-, 연결- 또는 안전장치의 고장					
제품의 컨트롤 부주의로 인한 모듈의 부조화					
모듈의 효율(기능) 저하					
모듈의 고장					
유지보수작업					
기상여건에 의한 훼손(태풍, 우박, 폭뢰)					

태양광발전시설에서 기대했던 에너지가 생산되지 않는다면, 이는 잘못된 에너지생산 예측, 불충분한 일사량, 모듈 또는 인버터에 그 원인이 있지 않고, 오히려 대부분 태양광발전시스템을 구성하고 있는 부품이 제대로 조율되지 못했기 때문이다. 또는 PV-케이블이 끊어진 결함을 발견하지 못했을 수도 있다. 표4는 전력생산량에 영향을 미치는 주요 요소를 정성적으로 나타내고 있다.

3) 한국건설기술연구원, ‘건물 유형별 BIPV 표준설계’, 기술경제부

제 3 장 BIPV 발전성능에 관한 고찰

3.1 BIPV 에너지 소요량

태양광 발전 설치규모와 생산량을 도출하기 위해 먼저 건축물의 에너지소요량을 구해야한다. 업무용 건축물의 에너지소요량은 건축물의 표면적 넓이, 창면적비, 건물배치, 시공재료, 설비시스템 등이 다르기 때문에 일정한 에너지소요량을 구하기 어렵다. 그래서 에너지관리공단 신·재생에너지 이용 건축물 인증제도 도입방안 작성 및 검토기준 수립 연구(2009.9)에서 실제 분석한 10개 업무용 건축물 에너지소요량에 대한 데이터를 참고하였다. (이때 신·재생에너지 이용 건축물 인증제도를 도입하기 위해서 패시브 등급 저에너지 기준에 따른 건축물 조건을 대입해서 에너지소요량을 산출하였다.)

에너지 관리공단의 신재생에너지센터의 보고서에 따르면 10개 업무용 건축물 에너지소요량에 대한 평균값은 $175\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{yr}$ 이다. 이것은 저에너지 설계요소가 적용된 건축물에서 평균적으로 요구되는 에너지소요량이라고 볼 수 있다.⁴⁾

표5는 인증제도에서 정하고 있는 신·재생에너지 도입 비율에 해당하는 업무용 건축물 에너지소요량을 나타낸 것이다. 표에 나타낸 바와 같이 에너지공급률 1등급(20%)을 획득하기 위해서는 평균 에너지소요량의 20%인 $35\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{yr}$ 를 태양광 발전으로 생산해야 하고, 2등급(15%)을 획득하기 위해서는 $26.25\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{yr}$ 를 태양광 발전으로 생산해야한다.

4) 에너지관리공단, '신재생에너지 설비시스템 표준설계 가이드라인'. 2010.12, 부록 I.

<표5> 건축물의 등급에 따른 신·재생에너지 공급률 및 신·재생에너지생산량

신·재생에너지 이용 건축물 인증등급					
구분	1등급	2등급	3등급	4등급	5등급
신·재생에너지 공급률	20%	15%	10%	5%	3%
신·재생에너지 생산량	35	26.25	17.5	8.75	5.25

(단위 : kWh/m²·yr)

태양광 전지판 kW당 생산되는 연간 전력량

- 고정식 태양광 전지판 단위 kW당 연간 생산되는 에너지생산량은 1,358kWh/kW.yr (신·재생에너지 공급의무 비율의 산정기준 및 방법 제36조 관련) 이다. 추적식 태양광 전지판 단위 kW당 연간 생산되는 에너지량은 1,765 kWh/kW.yr이다.

저에너지 설계요소가 적용된 업무용 건축물 단위면적당 평균 에너지 소요량을 175kWh/m².yr로 구한 바 있다. 신·재생에너지 이용 건축물 인증등급 1등급, 즉 신·재생에너지 공급률 20%를 얻으려면 다음과 같은 프로세스로 태양광전지판(고정식) 설치규모(kW)를 산출할 수 있다. [표 2-6]를 보면 신·재생에너지 공급률에 따른 에너지소요량에서 1등급일 경우 단위면적당 태양광 발전이 감당해야 할 에너지소요량은 35kWh/m².yr이다. 이 값을 토대로 만약 건축물 연면적 1,000m²에서 태양광 발전으로 생산해야 할 에너지생산량을 구하면 1,000m² (건축물 연면적) × 35kWh/m².yr(단위면적당 에너지 소요량) = 35,000 kWh/yr이다.

그리고 태양광 전지판 설치규모를 구할 경우, 35,000kWh/yr ÷ 1,358 kWh/kW.yr (태양광 전지판 kW당 생산되는 연간 전력량) = 26kW이 산출된다.

태양광전지판(고정식) 설치규모 (kW) = (1등급(20%) 에너지소요량 / 1,358 kWh/kW.yr

표6은 위와 같은 동일한 과정을 거쳐 두 가지 변수인 건축물 연면적(1,000 m², 2,000m², 3,000m², 4,000m²)과 신.재생에너지 이용 건축물 인증등급(1등급-20%, 2등급-15%, 3등급-10%, 4등급-5%, 5등급-3%)을 각각 입력하여 나온 연면적에 대한 태양광에너지 생산량과 설치면적 결과값을 보여주고 있다.

<표6> 건축 연면적과 등급에 따른 태양광에너지 설치규모 및 생산량

인증 등급별 태양광에너지 생산량 및 설치규모										
구분 연면적 (m ²)	1등급		2등급		3등급		4등급		5등급	
	생산량 (kWh/yr)	설치규모 (kW)	생산량 (kWh/yr)	설치규모 (kW)	생산량 (kWh/yr)	설치규모 (kW)	생산량 (kWh/yr)	설치규모 (kW)	생산량 (kWh/yr)	설치규모 (kW)
1,000	35,000	26	26,300	20	17,500	13	8,750	7	5,250	4
2,000	70,000	52	52,600	39	35,000	26	17,500	13	10,500	8
3,000	105,000	78	78,900	59	52,500	39	26,250	20	15,750	12
4,000	140,000	104	105,200	78	70,000	52	35,000	26	21,000	16

연면적이 약 2,000m² 인 업무용 건축물이 신.재생에너지 이용 건축물 인증 제도에서 1등급을 받으려면 연간 70,000kWh/yr의 태양광에너지생산량이 필요하고 여기에 해당하는 설치규모는 52kW이다. 연면적이 약 2,000m²인 업무용 건축물일 경우 신.재생에너지 3등급을 받으려면 연간 35,000kWh/yr의 태양광에너지생산량과 26kW의 설치규모가 필요하다.

태양광 전지판 1m²에서 생산되는 연간 전력량

- 태양전지 1m²에서 생산되는 평균전력량은 140W/m² 이다.
- 고정식 태양광 전지판 단위 kW당 연간 생산되는 에너지생산량은 1kW규모의 고정식 태양광 발전시스템에서 연간 생산되는 에너지는

1,358kWh/kW·yr (신재생에너지 공급의무 비율의 산정기준 및 방법 제36조 관련) 이다.

- 태양전지 1m²에서 생산되는 연간 전력량은

$$1,358\text{kWh/kW}\cdot\text{yr} \times 0.14\text{kW/m}^2 = 190.1\text{kWh/m}^2\cdot\text{yr} \text{ 이다.}$$

(추적식태양광 전지판 단위 kW당 연간생산 에너지량 = 1,765 kWh/kW·yr)

저에너지 설계요소가 적용된 업무용 건축물 단위면적당 평균 에너지 소요량을 175kWh/m²·yr로 구한 바 있다. 신·재생에너지 이용 건축물 인증 등급 1등급, 즉 신·재생에너지 공급을 20%를 얻으려면 다음과 같은 프로세스로 태양광전지판(고정식) 설치면적을 산출할 수 있다. [표 2-6]를 보면 신·재생에너지공급률에 따른 에너지소요량에서 1등급일 경우 단위면적당 태양광발전이 감당해야 할 에너지소요량은 35kWh/m²·yr이다. 이 값을 토대로 만약 건축물 연면적 1,000m²에서 태양광 발전으로 생산해야할 에너지생산량을 구하면 1,000m² (건축물 연면적) × 35kWh/m²·yr (단위면적당 에너지 소요량) = 35,000 kWh/yr이다.

그리고 태양광 전지판 설치면적을 구할 경우, 35,000kWh/yr ÷ 190.1kWh/m²·yr (태양광 전지판 1m²에서 생산되는 연간 전력량) = 153m² (태양광 전지판 설치면적)이 산출된다.

태양광전지판(고정식) 설치규모 (kW)

$$= (1\text{등급}(20\%) \text{ 에너지소요량} \times \text{총연면적}) / 190.1 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{yr}$$

(1m²에서 연간 생산되는 전력량)

표6은 위와 같은 동일한 과정을 거쳐 두 가지 변수인 건축물 연면적(1,000 m², 2,000m², 3,000m², 4,000m²)과 신·재생에너지 이용 건축물 인증등급(1등급-20%, 2등급-15%, 3등급-10%, 4등급-5%, 5등급-3%)을 각각 입력하여 나온 연면적에 대한 태양광에너지 생산량과 설치면적 결과값을 보여주고 있다.



3.2 BIPV 모듈의 발전성능 모델링

PV 시스템의 발전량을 예측할 수 있는 상용프로그램들 즉, PV F-CHART, PV-DESIGNPRO, DASTPVPS, GREENIUS, PVS, PV*SOL, PVSYST 등 많은 소프트웨어가 사용되고 있다. 하지만 이 중 몇몇 프로그램은 태양광분야의 초보자나 건축물 설계자가 다루기에 난해한 분석 인자를 기입해야하는 프로세서를 포함하고 있다. PVSYST의 경우, STC조건하에서 PV 모듈 및 인버터의 일사강도에 따른 변환효율을 별도로 입력해야만 보다 실제값과 근사한 분석 결과를 얻을 수 있다. 이는 모듈 제조사 및 인버터 제조사가 정보를 제공하지 않으면 일반 사용자가 기입하기에는 쉽지 않은 부분이다. 이에 본 논문은 태양광발전 시스템 설계 초기 단계에 태양광 초보자나 건축설계자가 설계하고자 하는 PV 어레이의 발전량을 간단히 예측하기 위한 모델링을 정리하였다.

태양전지 어레이의 성능을 예측하기 위한 중요한 요소는 단락전류, 개방전압, FF 그리고 최대출력이다. W. Zhou et al.(2007)은 PV 모듈의 성능을 계산하기 위해 5개의 파라미터를 제안했다.⁵⁾

- 1) 일사량에 따른 I_{sc} 변화를 나타내는 요소,
- 2) 온도는 일정하고, 일사량에 따른 V_{oc} 변화를 나타내는 요소,
- 3) 일사량은 일정하고, 온도에 따른 V_{oc} 변화를 나타내는 요소,
- 4) 직렬저항 R_s
- 5) 최대 전력점 MPP

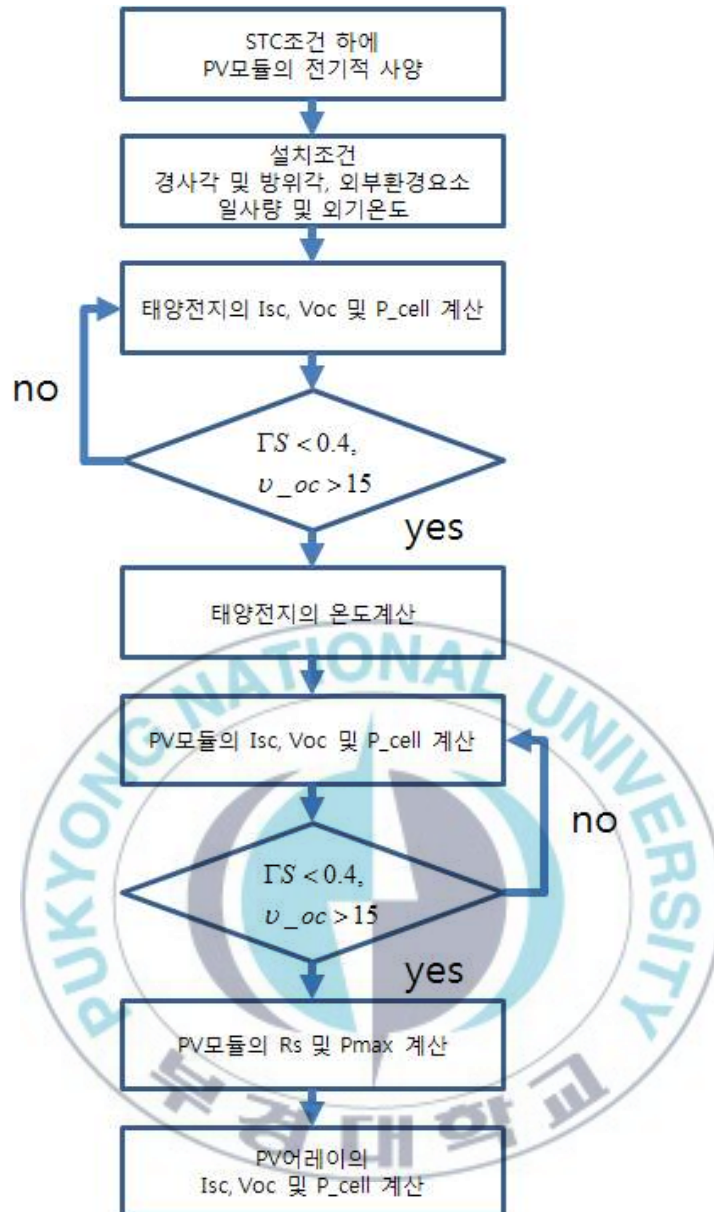
5) W. Zhou, H. Yang, Z. Fang, op. cit., pp.1187-1198

PV 모듈 및 어레이 출력 예측에 필요한 요소는 다음과 같다.

첫째, 모듈 및 어레이를 구성하고 있는 태양전지 개수 및 직.병렬 관계 그리고 STC 조건 상에 단위 모듈의 성능 규격(SPEC), 둘째, 외부환경 조건 즉, 일사강도 및 주위 온도가 요구된다.

단계별 출력 계산 순서는 그림 3-1과 같다. 우선 PV 모듈의 스펙을 이용해 태양전지의 단락전류 V_{oc} , 개방전압 I_{sc} 그리고 최대출력 P_{max} 계산 (모듈의 해당 값에 태양전지 개수를 나누어 계산)하고, NOCT 조건에서 태양전지의 온도 산출한다. 외부환경(일사량과 온도)에 의해 태양전지의 특성이 변하므로 일사강도에 따른 I_{sc} 와 온도에 따른 V_{oc} 를 예측하여, 태양전지의 FF 와 P_{max} 등 파라미터를 계산한다. 마지막으로 모듈 및 어레이를 구성하고 있는 태양전지의 직.병렬 수만큼 곱한 후 PV 모듈 또는 어레이의 MPP 를 계산한다.





[그림 3-1] PV 어레이 발전성능 시뮬레이션 흐름 순서도

PV 모듈의 I_{sc} 는 온도가 증가하면 I_{sc} 는 약간 증가하나 그 변화가 미미하여, PV 모듈의 성능 분석을 위해서 이 변화량에 대한 영향은 무시할 수 있다.

$$I = I_L - I_0 \left(\exp \frac{(V + IR_s)}{V_t} \right) - \frac{(V + IR_s)}{R_p} \quad \text{식(1)}$$

계산상의 가정은 다음과 같다.

- 1) 병렬저항(parallel resistance, R_{sh})은 무시
- 2) 광생성 전류와 단락전류는 동일
- 3) $\exp((V + IR_s)/V_t) \gg 1$

식(1)을 위 조건과 같이 정리하면 다음과 같다.

$$I = I_{SC} - I_0 \exp \frac{(V + IR_s)}{V_t} \quad \text{식(2)}$$

$$I = I_{SC} \exp \left(- \frac{V_{oc}}{V_t} \right) \quad \text{식(3)}$$

전류 I 는 식(2)에 식(3)을 대입하여 식(4)와 같이 구할 수 있다.

$$I = I_{SC} \left[1 - \exp \frac{(V - V_{oc} + IR_s)}{V_t} \right] \quad \text{식(4)}$$

태양전지 단락전류는 일사강도에 선형적이다.

$$I_{SC}(G) = \frac{I_{SC}^*}{G^*} G_{eff} \quad \text{식(5)}$$

V_{oc} 와 일사강도의 관계는 식(6)과 같이 이상적인 다이오드 방정식을 기본으로 로그함수를 따른다. 온도가 증가할 경우 V_{oc} 가 감소하는 이유는 온도가 상승하면서 포화 전류(saturation current)의 급격한 증가 때문이다. V_{oc} 는 전류가 0일 때의 전압으로 식(7)과 같이 구할 수 있다.

$$V_{oc} = V_t \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_o} \right) \quad \text{식(6)}$$

$$V_{oc}(T_c) = V_{oc}^* + (T_c - T_a^*) \frac{dV_{oc}}{dT_c} \quad \text{식(7)}$$

일반적으로 결정질 실리콘 태양전지의 dV_{oc}/dT_c 는 $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$ 이다. 식(8)은 태양전지 온도에 따른 개방전압의 증감률을 나타낸 것이다⁶⁾

$$\frac{1}{V_{oc}} \frac{dV_{oc}}{dT_c} \approx -0.003^\circ\text{C}^{-1} \quad \text{식(8)}$$

PV 모듈은 일반적으로 I-V와 조합된 기생 직렬 저항(parasitic series resistance)과 기생 병렬 저항(parasitic shunt resistance)을 가지고 있다. 기생 저항의 두 가지 타입은 FF 를 감소시키는 역할을 한다. 임의의 저항을 가지는 PV 모듈의 FF 정의식과 실험상의 표현식의 관계는 식(9)과 같다.

$$FF = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{P_{\max}}{V_{oc} I_{sc}} = FF_o (1 - r_s) \quad \text{식(9)}$$

이상적으로 곡선인자는 개방전압의 함수로서, 일반적으로 사용되는 수식은 경험적으로 식(10)과 같이 주어진다.

6) S. R. Wenham, M. A. Green, M. E. Watt, R. Corkish, op. cit., p.50

$$FF_o = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1} \quad \text{식(10)}$$

여기서 v_{oc} 는 정규화 된(normalized) 개방전압으로 식(11)과 같이 표현된다.
일반적으로 $v_{oc} > 15$, $v_{oc} < 0.4$ 이다.

$$v_{oc} = V_{oc}/V_t \quad \text{식(11)}$$

$$V_t = nkT/q \quad \text{식(12)}$$

여기서,

q : 전하량 1.60218×10^{-19} [C]

n : 다이오드 이상 계수(ideality factor),

k : 1.38066×10^{-23} [J/K]

T : 절대온도

다이오드 이상 계수 n 이 1이면 절대온도 T 가 300K에서 V_t 는 약 25mV이다. 일반적으로 Si 태양전지에서 n 은 1.5~1.0이며, n 이 작을수록 FF 는 증가한다.

V_{oc}/I_{sc} 는 태양전지의 특성저항(characteristic resistance)으로 정규화된 직렬저항 r_s 는 식(13)과 같이 표현된다.

$$r_s = R_s/(V_{oc}/I_{sc}) \quad \text{식(13)}$$

$$R_s = \left(1 - \frac{FF}{FF_o}\right) \frac{V_{oc}}{I_{sc}} = r_s \times \frac{V_{oc}}{I_{sc}} \quad \text{식(14)}$$

$$\frac{V_{mp}}{V_{oc}} = 1 - \frac{b}{v_{oc}} \ln a - r_s (1 - a^{-b}) \quad \text{식(15)}$$

$$\frac{I_{mp}}{I_{sc}} = 1 - a^{-b} \quad \text{식(16)}$$

여기서,

$$a = v_{oc} + 1 - 2v_{oc}r_s$$

$$b = \frac{a}{1+a}$$

식(17)은 태양전지 온도에 따른 FF 의 증감률을 근사화하여 나타낸 것이다.⁷⁾

$$\frac{1}{FF} \frac{dFF}{dT_c} \approx \frac{1}{6} \left[\frac{1}{V_{oc}} \frac{dV_{oc}}{dT_c} - \frac{1}{T_c} \right] \approx -0.0015 \text{ } ^\circ C^{-1} \quad \text{식(17)}$$



7) S. R. Wenham, M. A. Green, M. E. Watt, op. cit., p.51

PV 모듈의 최대출력 $P_{\max}$ 은 FF 를 이용해 다음 식(18)로 계산할 수 있다.

$$P_{\max} = FF(1 - FF_o) \times I_o \times V_{oc} \quad \text{식(18)}$$

$$= \left(\frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1} \times \left(1 - \frac{R_s}{V_{oc}/I_{sc}} \right) \right) \times \frac{I_{sc}^*}{G^*} G_{eff} \times \left(V_{oc}^* + (T_c - T_c^*) \frac{dV_{oc}}{dT_c} \right)$$

식(19)는 태양전지 온도에 따른 최대출력의 증감률을 나타낸 것이다.

$$\frac{1}{P_{\max}} \frac{dP_{\max}}{dT_c} \approx - (0.004 \sim 0.005)^\circ C^{-1} \quad \text{식(19)}$$

PV 모듈은 태양광시스템의 기본적인 전력 변환 단위를 의미한다. PV 모듈 한 장은 고전압 또는 고전류의 전력을 제공하기 위한 잠재량에 한계가 있다. PV 어레이 출력을 맞추기 위해 PV 모듈의 전압과 전류를 각각 증가시키기 위해 직병렬 연결해야만 한다. 직렬로 연결된 모듈의 개수 N_S 와 병렬로 연결된 모듈의 개수 N_P 의 $N_S \times N_P$ 행렬의 PV 모듈을 계산한다면, 전압과 전류의 크기 계산식은 식(20)과 같다.

$$I_A = N_P \times I_M, \quad V_A = N_S \times V_M \quad \text{식(20)}$$

여기서,

I_A : PV 어레이의 전류

V_A : PV 어레이의 전압

I_M : PV 모듈의 전류

V_M :PV 모듈의 전압

동일한 PV 모듈의 스트링(string)으로 구성된 어레이의 FF 는 단일 PV 모듈과 동일하다는 가정 하에, PV 어레이의 최대출력전력 P_A 는 다음 식 (21)과같이 계산할 수 있다.

$$P_A = FF_A \times V_A \times I_A = N_P \times N_S \times P_M \quad \text{식(21)}$$

여기서,

P_A : PV 어레이 전력

P_M : PV 모듈 전력



제 4 장 결 론

대체에너지 보급촉진을 위해 일정규모 이상의 공공건물에는 의무적으로 대체에너지 시설을 설치하도록 법제화되었으며¹ 에너지 및 환경성능의 강화를 위해 그린빌딩 인증제를 포함한 각종 인센티브 정책이 활발히 추진되고 있다. 다른 대체에너지 기술에 비해 시스템이 단순하고 유지보수가 편하며/투자 회수에 대한 경제적 이득이 명쾌하기 때문에 건축물을 위한 BIPV 기술의 보급 확산을 효과적으로 추진한다면 매우 큰 성공 잠재성을 가지고 있는 것으로 기대된다.

이에 본 논문에서는 BIPV 시스템의 발전성능을 분석하기 위하여 PV발전의 특성과 조건 그리고 설계관련 연구와 PV 모듈의 스펙을 이용해 태양전지의 단락전류 V_{oc} , 개방전압 I_{sc} , 그리고 최대출력 P_{max} 을 산출하였다. 외부환경에 의해 태양전지의 특성이 변하므로 일사강도에 따른 I_{sc} 와 온도에 따른 V_{oc} 를 예측하여, 태양전지의 FF 와 P_{max} 등의 파라미터를 계산하여 PV 모듈 또는 어레이의 MPP를 계산방법을 확인하였다.

향후 이를 기준으로 하여 모델링을 통해 발전성능을 증명하여 경제적 관점에 접근한 연구를 통해 신재생에너지를 적용하는 건축물 설계에 지표가 되는 정확한 데이터의 정립이 더욱 필요할 것이다.

참고 문헌

- [1] 윤용상, “태양광과 BIPV 활용 에너지창출 시스템” 한국건설기술연구원 2009 Geren Forum
- [2] 신재생에너지 표준화 최종보고서, 한국산업기술시험원, 2012
- [3] 태양광산업협회, 지경부 보도자료, 2011
- [4] 김준태, ‘건물적용 태양광발전 시스템의 유형 및 특징’ 저탄소녹색성장 과 건축에서의 태양광발전, p.82-85
- [5] 윤종호, “태양광발전 시스템의 건물일체화(BIPV)를 위한 기술요건”, 전기전자재료 제 19권 제2호. 2006.
- [6] 조대성, “건물일체형 BIPV의 설계 및 시공시 고려사항”, 건설기술 쌍용, 2012.
- [7] 에너지관리공단, “일반 건축물 신재생 에너지 설비시스템 표준설계 가이드라인”, 2010.
- [8] 김현일, “BIPV 시스템의 발전성능 분석 및 신뢰성 평가에 관한 연구”, 인하대학교, 2010
- [9] 김현일, 박경은, 이기옥, 강기환, 유권종, 서승직, (2009) “비동일한 방위 각에 의한 PV 모듈의 발전성능”, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, pp.303-308
- [10] 김현일, 박경은, 이기옥, 강기환, 유권종, 서승직, (2010) “PV 어레이의 발전성능 예측을 위한 모델링”, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, pp.109-114
- [11] EPIA Golbal Market Outlook for Photovoltaics, Greenpeace/EPIA Solar Generation VI, 2010
- [12] Solarbuzz LLC, Japan Photovoltaic Energy Association, Italian government agency GSE, 2010
- [13] IECEE Website, www.iecee.org
- [14] IEC61215, 2005, “ Crystalline silicon terrestrial photovoltaic(PV)

modules-Design and type approval"

[15] IEC61646, 2008, "Thin-film terrestrial photovoltaic(PV) modules-Design and type approval"

[16] 소정훈, (2007) "계측데이터를 이용한 태양광발전시스템의 성능특성 평가분석", 광운대학교 대학원 전기공학과, 박사학위청구논문

[17] 에너지관리공단, (2009) 신.재생에너지 백서 2008, p.283

[18] 우전천 광홍, (1993) PC를 이용한 공기조화계산법, 기문당, p.62

[19] 윤성환, 정선영, (2009) "공동주택의 주동형상 및 배치유형에 따른 여름철 옥외 열환경 예측 평가", 대한건축학회논문집 계획 제 25권 제9호 (통권251호), pp.321-328



감사의 글

회사업무에 따른 이론적 부족함을 느끼던 중 산업대학원 석사 과정에 입학하여 이론적으로 부족했던 여러 가지 부분들을 보충할 수 있었으며 정체가 되어 있던 제 자신을 한결음 더 나아 갈 수 있었던 소중한 시간이었습니다. 학업과 일을 병행해야 하는 어려움과 회사 업무로 인해 힘이 들 수 있었던 논문이 완성되기 까지 많은 도움과 격려가 있었기에 이렇게 좋은 결실을 맺고 졸업을 할 수 있었다고 생각합니다. 특히 부족한 저를 세심한 지도와 조언 그리고 배려로 이 자리까지 올 수 있게 해주신 평생의 스승이신 지도 교수 배종일 교수님의 은혜에 고개 숙여 깊은 감사를 드리며 바쁜 일정 속에서도 논문 심사를 위하여 귀중한 시간을 할애하여 열과 성의로 저의 초라한 논문을 심사해 주신 박창현 교수님, 안영주 교수님에게도 머리 숙여 감사를 드립니다. 그리고 논문이 나오기까지 많이 고민하고 연구하여 여러 방면에서 많은 도움을 준 심창수 조교님께도 고마운 마음을 전하고 싶습니다. 학업과 업무의 병행이 쉬운 일이 아님을 이해하고 많은 격려와 도움이 말씀 주신 회사 선후배님에게도 감사의 마음을 같이 전하고 싶습니다. 직장생활에 학업을 병행하느라 제대로 살피고 도와주지 못한 집안일을 묵묵히 하며 헌신적으로 내조해 준 사랑하는 아내와 가족에게 사랑한다는 말과 함께 이 기쁨을 같이 전하고 싶습니다.

2013. 12

이 시 원