

Special
Thema

I 태양광발전 시스템의 건물일체화 (BIPV)를 위한 기술요건

윤종호 교수
(국립한밭대 건축공학과)

1. 서론

건물일체형 태양광발전 즉, BIPV(Building Integrated Photovoltaic System)는 PV모듈을 건축 자재화하여 건물 외피에 적용함으로써 경제성은 물론 각종 부가가치를 높여 보다 효율적으로 PV시스템을 보급 활성화 시키려는 개념이다. BIPV시스템은 전기에너지 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 PV시스템 지지를 위한 구조물 건립비용이 필요하지 않으며, 전기부하가 발생하는 그 지점에서 발전이 된다는 장점도 가지게 된다.

한편 PV시스템을 건축설계와 통합시키는 문제는 단지 에너지 성능측면의 비용-효과 차원을 넘어 사회, 경제적으로 많은 부가적 가치를 제공한다. 또한 건축가는 실내의 쾌적수준 저하나, 건물 외관의 의장적 문제 및 경제적 제한사항 등에 크게 제약받지 않고도 환경친화적이고 에너지 효율적인 건물을 설계할 수 있게 된다. 실제로 이러한 장점들은 아직까지도 여전히 태양전지의 발전비용이 일반 발전비용보다도 5배이상 비싼 수준임에도 불구하고, 선진국의 수많은 사례에서 계통연계형 BIPV 시장이 급속히 성장하고 있는 현상을 통해 입증되고 있다.

국내의 경우도 2000년 초부터 건물일체형 태양광발전(BIPV)의 개념이 본격적으로 도입되기 시작하였다. 사실 전 세계적으로 보더라도 BIPV의 개념은 90년대 초반부터 본격적으로 활성화되기 시작한 최신 기술 분야이기 때문에 국내의 도입 시기도 그리 짧은 편은 아니다. 정부에서 2000년대 들어 적극적으로 추진 중인 대체에너지 개발보급 사업 중, 태양광 분야는 중점사업으로 선정되어 집중 투자되고 있는 분야이다. 따라서 매년 많은 수의 태양광발전 시범보급 사업 및 지역에너지 사업이 수행되고 있으며, 전국에서 태양광발전의 설치사례가 급속히 증가하고 있다. 여기서 나

타나는 대표적 특징의 하나는 기존의 적용사례가 독립형 PV시스템이 주를 이루던 반면, 최근 들어서는 건물에 PV를 적용하는 BIPV에 대한 관심과 비중이 크게 높아지고 있다는 점이다.

그러나 BIPV 기술에 대한 관심 및 시장의 급속한 성장에도 불구하고 아직까지 완전한 형태의 BIPV 건물을 주변에서 손쉽게 찾아보기는 쉽지 않은 듯하다. BIPV 기술의 국내 정착을 위해서는 앞으로 많은 기술적 발전과 해결책에 대한 노력이 있어야겠지만, 그중에서도 가장 중요한 일 중의 하나는 PV 기술을 건물에 통합시키는 실현 주체인 건축가 및 건축실무자의 역할이 강조되어야 한다는 점이다.

PV모듈을 건축적 입장에서 설계 초기단계부터 건물 외피의 일부로서 통합시키는 역할은 다른 어떠한 기술적 문제보다도 중요하다고 할 수 있다. 건물 외관의 종합적인 의장성과 사용상의 기능성, 기존 건축 재료와의 조화성, 모듈체계, 시공디테일, 배선방법 등 건축가는 PV모듈을 건물외피로 통합시키는데 있어 필요한 각종 전문가들을 처음부터 마지막까지 조율하고 관리해야 하는 지휘자적 위치에 있는 것이다. 따라서 BIPV와 관련된 제반 지식을 충분히 숙지하고 있어야만 효율적인 통합화 결과를 기대할 수 있는 것이다. 하지만 일반적으로 건축가들의 기본적 성향은 공학적, 기술적 사항들에 대해 충분한 지식을 습득하고 있지 못하며, 특히 에너지 문제에 있어서는 대부분의 경우가 생소한 분야로 인식하고 있다. 태양광발전과 같이 비교적 최근에 정립되고 있는 첨단기술의 경우는 더욱 그러할 것이다.

전기를 생산하는 PV모듈을 건축 자재화하여 건물외피에 부착하기 위해 수반되는 제반 고려사항은 기술적 측면에서 경제성 문제까지 수많은 검토요소가 존재한다. 이러한 고려요소를 큰 주제별로 구분해 본다면 건축 계획적 요소와 발전성능의 상호관계, 건물 의장성 문제, 배선 등과 같은 기술적 요소, 안전성 문제, 시공성, 재료 및 구조적 문제, 유지보수성 등을 대표적으로 들 수 있을 것이며, 이외에도 법적 검토방법, 경제성 평가방법, 성능평가 방법 등도 직접적으로 관련되는 요소이다.

따라서 본 논문에서는 이러한 배경 하에 국내 건물일체형 태양광발전 시스템의 건물 통합화를 위한

각종 건축적 고려요소에 대한 체계적 접근방법을 수립하고, PV모듈의 건축 통합화 과정에 요구되는 수많은 건축적 고려사항 중, 특히 건축실무자와 직접적으로 연관성이 큰 건축 계획적 요소를 중심으로 그 간의 연구결과를 요약 제시하고자 한다.

2. BIPV의 정의 및 필요성

2.1 태양광발전(PV)의 특징

태양광 발전(PV; Photovoltaic)은 광전효과에 의해 태양에너지를 수광하면 직류전기를 만들어내는 태양전지(Solar Cell)를 모듈화하여 전기를 생산해내는 시스템이다. 태양전지를 이용한 발전은 우선 에너지원인 태양광의 수명이 반영구적이고 연료비가 필요하지 않다는 점이다. 또한 화석연료와 같이 환경을 오염시키는 배기가스와 유해물질을 배출하지 않으며 소음도 전혀 발생하지 않는 깨끗한 에너지원이다. 발전 규모도 계산기의 전원에서부터 100 kW 이상의 엄청난 전력 발전시스템에 이르기까지 다양한 규모의 발전에 이용 가능한 장점을 가지고 있다. 특히 기존의 발전 시스템은 발전소와 전기를 사용하는 장소가 떨어져 있어 송전에 따른 문제가 발생하였으나, 태양전지는 소비하고자 하는 그 장소에 바로 설치하여 사용할 수 있다. 반면 태양에너지는 무한하지만 에너지 밀도가 작기 때문에 큰 전력을 얻기 위해서는 그만큼의 큰 설치면적이 요구되며, 기상조건에 따라 태양전지의 출력이 변하는 단점을 가지고 있다. 예를 들어 흐린 날은 맑은 날에 비해 1/2-1/5 정도로 출력이 감소한다. 그러나 확산광에도 반응하기 때문에 비오는 날에도 맑은 날의 1/10수준은 발전이 가능하다. 태양전지의 또 다른 단점으로는 축전기능이 없다는 점이다. 즉 태양광을 받을 때에만 발전이 가능하기 때문에 밤이나 비가 오는 날에 사용하기 위해서는 축전지와 조합해야 하는 어려움을 가지고 있다.

현 단계에서 태양광 발전의 보급 확산에 가장 큰 걸림돌은 경제성 문제이다. 그간의 기술혁신 및 생산 공정의 개선을 통해 개발초기 단계보다 1/10 수준으로 가격이 하락했지만 여전히 다른 발전시스템

에 비해 가격 경쟁력을 갖기에는 어려움이 있다. 하지만 현재의 기술개발 추이로 판단할 때 가까운 시기에 저비용의 태양전지가 급속히 보급 확산될 것으로 기대하고 있다.

2.2 BIPV의 기본개념 및 특징

과거 태양광 발전시스템의 주 응용분야는 그림1과 같이 낙도나 산간지역과 같이 전력공급이 원활하지 못한 지역의 자체 발전용이나, 등대, 가로등에 주로 적용되었으며, 이러한 시스템을 독립형 발전시스템으로 분류한다. 하지만 독립형 발전시스템의 경우 PV모듈 설치를 위한 별도의 부지확보가 필요하며, 지지구조물을 위한 별도의 설치비용 및 수유와 공급 처간의 송전손실이라는 단점을 가지고 있다.

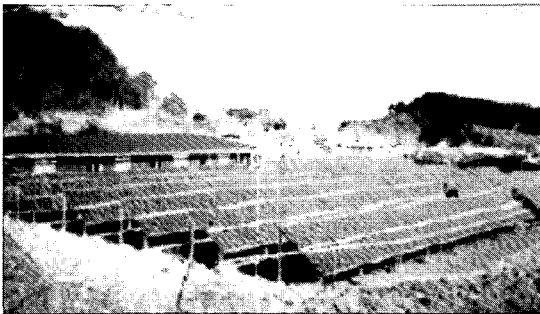


그림 1. 호도의 독립형 발전시스템.

한편 현재까지도 매우 고가인 태양전지의 경제성 문제를 보상하고 앞서 독립형 발전시스템의 제반 단점을 보완할 수 있는 응용방법의 하나로 태양전지 모듈을 수요처인 건물에 직접 부착하는 새로운 개념이 90년대 이후 급속히 확산되고 있다. 특히 태양광 발전시스템은 다른 대체에너지 활용 기술과 달리 시스템 구성이 간단하며, 외관도 미려하기 때문에 기존 건물물의 외피요소를 대체할 수 있는 요소로 큰 잠재성을 인정받고 있다. 이렇듯 그림2의 예시와 같이 태양광 발전모듈을 건축자재화 하여 그림3의 예시처럼 건물의 외피요소로 건물에 통합시키려는 기술 분야를 건물통합형 태양광발전 시스템(BIPV ;

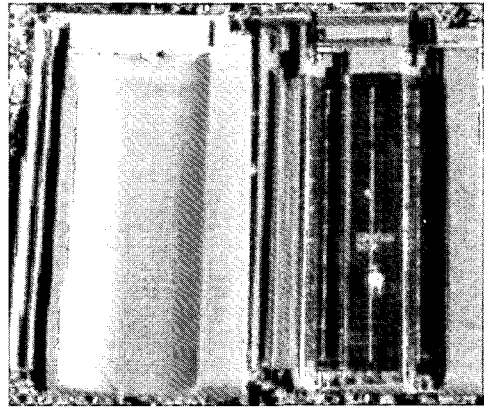


그림 2. 지붕재로 결합된 태양전지 모듈.

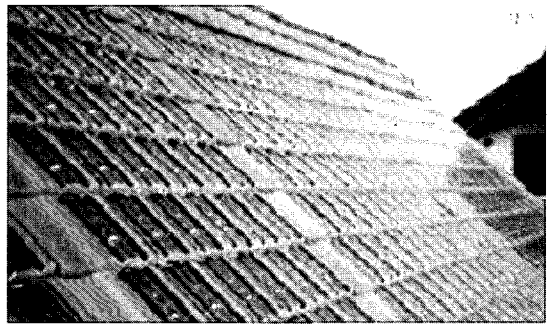


그림 3. 지붕재로 통합된 BIPV의 사례.

Building Integrated PV)이라 한다.

건물통합형 태양광발전 즉, BIPV는 PV모듈을 건축 자재화하여 건물 외피에 적용함으로써 경제성은 물론 각종 부가가치를 높여 보다 효율적으로 PV시스템을 보급 활성화 시키려는 개념이다. BIPV시스템은 전기에너지 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.

2.3 BIPV의 국내도입 필요성 및 국내외 기술동향

90년대 이후 대체에너지 기술 분야의 중점 투자분야로 급부상한 BIPV시스템은 국내에도 시급히 보급 활성화 되어야할 여러 배경 사유를 가지고 있다. 이는 크게 ① 범국가적 건물분야 에너지소비 증가 문제, ② 건물의 전기에너지 소비 구성비 문제, ③ 건물분야 전기에너지 절감기술의 한계 문제, ④ BIPV의 미래 및 시장성 문제로 대별해 볼 수 있다. 이에 대한 세부적 내용 및 BIPV시스템의 국내 및 국외 기술동향 수준은 기존 연구인 윤을[1] 통해 소개한 바가 있으므로 본 논문에서는 생략하기로 한다.

3. 건축통합화를 위한 접근방법 및 기술적 고려요소

3.1 최적 설치각도 및 위치 문제

태양 복사량은 위도에 따라 변화하며, 최대 획득량은 시스템의 설치위치 즉, 경사각 및 방위각에 의해 결정된다. 일반적인 가장 바람직한 방위는 정남향이며 수평면으로부터 경사각은 그 지역의 위도에 의해 결정된다. 또한 연중 일수에 의해서도 변화되는데 태양고도가 낮은 동절기의 경우 수평면보다는 수직 파사드에 설치된 시스템이 보다 많은 획득량을 기대할 수 있다. 이 항목에 대한 보다 구체적인 그 동안의 연구결과는 4장에서 기술하였다.

3.2 음영 문제

인접건물에 의한 음영은 우선적으로 배제해야할 설계요소로, 저층 주거건물만 배치된 경우는 비교적 손쉽게 해결될 수 있는 반면, 고층 아파트 건물 내에 위치하는 저층 주거의 경우 음영문제가 큰 영향을 미치게 된다. 건물의 배치밀도 또한 큰 영향을 미치는 요소로서, 도심지와 같이 건물간의 거리가 조밀한 경우 연중 상당기간동안 음영에 의한 영향을 받게 된다. 설치 위치와 관련해서는 지붕과 같은 수평면보다는 파사드와 같은 수직면이 음영에 의한 영향을 크게 받음으로 보다 큰 인동간격이 필요하다. 그

림4에서 나타낸 바와 같이 PV모듈에 부분적 음영이 형성될 경우 병목현상으로 인해 전체 시스템의 효율이 저하되기 때문에 PV모듈에 대한 음영방지 계획은 BIPV의 건물 적용시 중요한 건축적 고려요소라 할 수 있다. 보다 구체적인 그 동안의 연구결과는 4장에서 기술하였다.

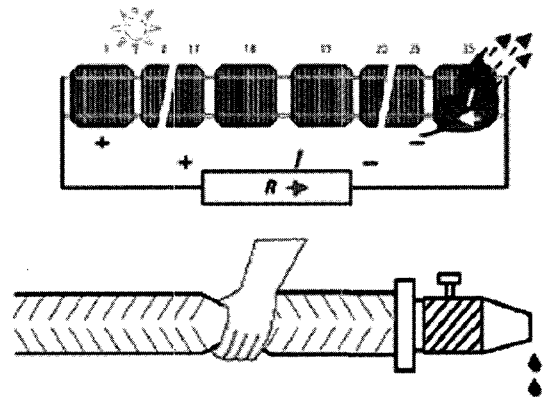


그림 4. 모듈의 부분적인 음영은 발전효율 저하에 큰 영향을 미친다.

3.3 형상과 색상 문제

일반적인 태양전지의 색상은 청색 또는 진한청색 및 흑색이 대부분이지만, 필요에 따라 다양한 색상의 태양전지도 제작 가능하다. 태양전지의 효율은 청색계열에서 최대의 효율을 나타내며, 그 외의 색상에서는 kWp당 비용이 급속히 증가한다. 현재 가능한 색상종류는 회색, 녹색, 적황색 및 황색 계열이다. 모듈의 형태 또한 색상에 의해 큰 영향을 받으며, 프레임이 없는 모듈의 경우 매우 균일한 이미지 효과를 연출할 수 있다. 한편 프레임의 색상 및 형태를 효과적으로 활용할 경우 또 다른 강조 이미지를 제공할 수 있는 건축적 언어로 활용될 수 있다.

3.4 PV를 건물에 일체시키는 통합 수준

건축설계와 PV시스템 설계는 상호 영향관계에 있으며, 이들의 통합 수준을 어떠한 단계로 하느냐에 따라 결과는 크게 달라질 수 있다. 예를 들어 완전 건물일체형 BIPV를 의도할 경우 최종 건물에서 PV는 건물 지붕이나 파사드에 부착된 건축마감재와 같

이 보일 것이며, 반대로 PV를 건물의 디자인 요소로 고려하지 않을 경우 안테나나 굴뚝을 위치시키듯 건물에 부가시키면 될 것이다.

PV시스템을 건축디자인, 즉 건물에 통합하는 수준은 다음의 5단계로 구분될 수 있다.

- 보이지 않게 적용하는 수준
- 설계에 부가되는 수준
- 건축적 이미지 부가 수준
- 건축적 이미지 결정 수준
- 새로운 건축적 개념 창조 수준

3.5 PV를 건물에 일체시키는 통합 방법

건축가는 PV모듈을 이용해 다양한 부위 및 방법으로 설계에 접목시킬 수 있으며, 이러한 가능성을 요약해 보면 다음과 같다.

- 지붕에 단순 설치
- 지붕의 차양 장치로 설치
- 지붕 마감재로 부착
- 방수용 지붕마감재로 부착
- 투명한 지붕재로 시공
- 투명 PV모듈을 통한 채광용 창문으로 설치
- 건물 전면에 설치
- 건물 전면 마감재로 설치
- 온실, 아트리움 마감재로 설치
- 차양 장치로 설치
- 불투명 또는 반투명 블라인드
- 캐노피로 설치
- 건물전면 보호용 처마로 설치
- 복합형 태양열 집열기로 설치

그림5는 주택 지붕을 대상으로 PV모듈을 일체시키는 수준을 예시한 것이다. 우선 가장 초보적 단계로 기존 주택의 평지붕 또는 경사 지붕에 단순 거치시키는 방법이 있다. 이 경우 기존 건물 외피와는 직접적으로 통합되지는 않으며 지지대가 부가적으로 설치되어야 할 것이다. 다음 단계로는 기존건물의 경우 기존 지붕마감재를 제거해내고, 신축건물의 경우 기존 마감재 대신에 PV모듈을 매립시키는 방식을 고려할 수 있다. 완전한 형태의 통합화는 기존의 지붕마감재를 대신해 완전히 PV모듈로만 지붕마감

하는 형태가 될 것이다. 이 경우 그림에 예시한 바와 같이 타일형태의 일체화와 프로파일 형태의 일체화를 고려할 수 있을 것이다. 한편 PV모듈의 온도상승에 따른 발전효율의 저하를 방지하기 위해 지붕구조에 자연배기가 이루어지는 시스템으로 구성해 효율 향상을 도모할 수도 있을 것이다.

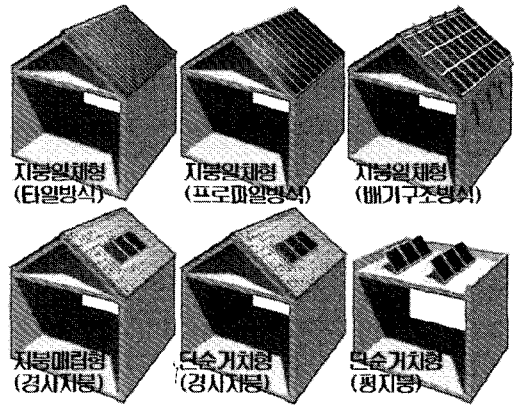


그림 5. 주택 지붕구조를 대상으로 한 BIPV 일체화 수준의 예시.

3.6 PV시스템의 기능별 결합 방법

(1) 광/열 복합 (PV-Thermal Hybrid) : PV시스템은 수광하는 태양복사의 극히 일부만을 전기로 변화시키며, 나머지는 모두 열로서 손실된다. 따라서 이 열을 효과적으로 회수할 경우 태양열/광 복합 집열기로 이용하여 효율을 극대화할 수 있다. 이 경우 PV판 뒷면이 냉각되기 때문에 PV의 발전효율을 약 10%까지 높일 수 있는 이중효과가 있다. 공기식 시스템의 경우 하절기에는 자연대류를 통한 자연배기로, 동절기의 경우 환기 예열부하, 공간난방 및 히트펌프의 열원으로 사용될 수 있다. 액체식 시스템의 경우는 급탕 및 난방용 열원으로 활용될 수 있다. 현재까지의 응용분야는 대부분 저온 난방시스템에 적용되고 있다.

(2) 자연채광 : 투명 및 반투명 PV모듈은 발전과 함께 내부공간에 자연광을 도입시킬 수 있다. 내부공간에 생성되는 은은한 확산광과 태양전지로 인한 패턴형 그림자는 또 다른 공간 환경을 창출할 수 있다.

(3) 차양장치 : PV모듈은 건물 차양장치의 기능에 가장 효과적으로 적용할 수 있다. 최대의 직달일사 차단 설치각도가 최대의 발전효율을 낼 수 있기 때문이다. 고정형 또는 태양의 위치를 추적하는 가동형 모두 가능하다. 가동형의 경우 담천공 상태에서는 수평을 유지하는 것이 가장 발전효율이 좋으며 자연광의 유입에도 방해가 주지 않는다. 차양장치 상하부의 공기층을 자유롭게 유동할 수 있도록 하면 PV판 냉각효과로 인한 효율 증대를 기대할 수도 있다.

(4) 자연형 태양열 설계 : 투명 또는 반투명 PV를 이용할 경우 자연형 태양열 시스템과도 효과적으로 결합될 수 있다.

3.2.7 통합과정의 기본규칙

(1) PV 모듈에 부분적인 음영이 생기지 않도록 한다 : 건물 구조물 상호간의 음영은 물론, 모듈 자체의 프레임에 의한 자체 음영도 배제시키도록 고려해야 한다.

(2) PV 모듈 후면의 환기를 고려한다 : 결정계 계열의 PV모듈은 20℃에서 최대의 효율을 발휘하며, 온도가 상승할수록 효율이 떨어진다. 박막 아몰포스 전지는 방식이 틀림으로 이 규칙이 적용될 필요가 없다.

(3) 모듈의 설치 및 제거가 용이하도록 한다. : 대부분의 PV모듈 수명이 20년 이상 보장되지만, 1-2개의 모듈에 이상이 생길 경우 전체 모듈을 제거하지 않고 부분적으로 착탈이 용이하게 설계하는 것이 중요하다. 이러한 이유 때문에 전기 배선도 연결즉시 작동하도록 하는 형태가 바람직하다.

(4) 모듈 표면의 청결 유지에 대한 고려를 한다 : 경사형 모듈의 경우 대부분의 지역에서 강우 등을 통해 자연 청결이 유지된다. 건조한 지역의 경우는 주기적인 청소작업이 필요하다.

(5) 전기 결선의 용이성을 고려한다 : 모듈의 신속한 설치 및 교체를 위해 용이한 결선방식을 적용한다.

(6) 일사 또는 습기로부터 배선을 보호한다 : 모든 결선은 방수가 필요하며, 배선이 일사 및 자외선으로부터 경화되는 것을 방지한다.

3.8 기타 고려사항

위의 주요 검토사항 및 기타 고려사항을 종합적

표 1. BIPV를 위한 각종 건축적 고려사항.

구분	고려사항
설계요소와 발전성능	태양접근성(건물배치), 설치각도(방위 및 경사), 음영(인접건물, 식생), 온도
건축과의 조화성	형상과 색상, PV와 건물 통합수준, 건축적도와 모듈크기
배선	의장적 처리기술, 외피 관통문제, DC와 AC의 문제
안전	파손, 도난, 번개
시공성	외피시공방법, 방화, 적설하중, 풍압, 내압성, 시공순서
접근성 및 유지성	세척, 유지, 수리 교체, 도난 반달리움
법규적 문제	
경제성 및 부가가치	환경적영향, 건축적영향, 사회적영향, 경제적영향
평가도구	

으로 요약하면 표1과 같다.

4. BIPV 건물일체화를 위한 핵심 요소기술

본 절에서는 PV모듈의 건축 통합화 과정에 요구되는 수많은 건축적 고려사항 중, 특히 건축실무자와 직접적으로 연관성이 큰 건축 계획적 요소 즉, 설치각도의 문제, 음영의 문제 및 온도와 발전성능의 문제를 중심으로 그 간의 연구결과를 요약 제시하고자 한다.

4.1 PV모듈의 설치각도와 발전성능

건축가의 입장에서 BIPV 설계과정에 수많은 의문사항이 생길 수 있다. 예를 들어 “어떠한 위치에 어느 정도의 각도로 설치해야 가장 발전성능이 좋을 것인가” 라는 기본적인 의문부터, “건물의 다양한 제약조건으로 인해 동향, 서향 심지어는 북향에 설치할 경우 과연 어느 정도의 성능손실을 가져올 것인가”의 문제, 더 근본적으로는 “과연 발전 자체가 될 것인가”의 문제가 큰 관심 사항일 것이다. 이처럼 건축 실무자 입장에서 BIPV 건축물 설계과정에 반영되어야 할 건축적 설계 고려요소는 PV모듈의 설치위치와 설치방법에 따른 발전성능의 변화가 가장 큰 관심 요인 중 하나일 것이다.

태양 복사량은 위도에 따라 변화하며, 최대 획득

량은 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. 선행 연구에서는[1] 이를 위해 별도의 컴퓨터 모델링을 수행하였으며, 국내 지역별 BIPV 모듈 설치각도별 상대적 성능데이터를 제시하였다. 본 논문에서는 개발된 성능데이터 도표의 작성 개념 및 대전 지역의 결과 일부를 제시하였다.

4.1.1 설치각도별 상대적 성능데이터의 필요성

태양광발전 시스템은 연중 365일 태양에너지를 받아 발전을 하기 때문에 1년 중 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 수밖에 없다. 특히 상업용 건물의 경우 수직벽에 부착되어야 하는 경우는 물론이고 향도 남향 이외에 동서향으로 설치되어야 하는 경우도 흔히 발생할 것이다. 따라서 건축가는 BIPV 설계를 수행할 때 마다 PV모듈의 설치위치와 발전성능의 저하에 따른 고민을 하게 될 것이다.

따라서 논문에서는 건물외피의 다양한 부위에 PV모듈이 설치될 수 있다는 가정 하에, 설치위치 변경에 따른 상대적 발전성능 저하의 규모를 도표형태로 개발 제시함으로써 설계시 건축가들이 손쉽게 PV 모듈의 설치위치에 대한 의사결정을 진행할 수 있도록 하였다.

4.1.2 설치각도별 성능데이터 도표의 도해법

PV모듈을 통한 발전량은 기본적으로 수평일사량

과 비례한다. 따라서 본 논문에서는 우리나라 주요 도시의 일사량데이터를 활용해 PV모듈 설치각도별 상대적 성능데이터를 작성하였다. 지역별로 최적위치를 계산하기 위해 6개 도시(서울, 대전, 대구, 부산, 광주, 제주)의 위도, 경도, 방위각과 경사각을 변수로 계산을 실시하였다.

방위각은 정동을 0°로 한 후 10°간격으로 360°까지 설정 하였으며, 경사각은 수평을 0°로 한 후 10°간격으로 90°까지 변화시켜 계산을 실시하였다. 계산에 사용된 시뮬레이션 프로그램은 미국의 DOE-2.1을 이용하였다.

설치각도별 성능비교를 위한 도표는 총 3가지의 형태의 정보로 제공한다. 첫째는 그림6과 같이 x축을 방위각, y축을 경사각으로 하여 연간 최대 적산일사량값을 나타내는 지점을 100%로 설정하고 이 지점에 대한 상대적 성능감소 비율을 등성능곡선의 형태로 표시하였다. 이 도표를 통해 유사한 성능을 발휘할 수 있는 설치 경사각 및 방위각의 범위를 한눈에 쉽게 파악할 수 있다.

2번째 도표는 그림7과 같이 돔형태의 3차원 도표형태로 제공함으로써 기하학적으로 보다 현실감 있게 상대적인 성능차이를 파악할 수 있도록 하였다. 각 지역마다 정남을 기준으로 남서 측에서 본 그림과 남동 측에서 본 그림의 2개로 구성되며 앞서 노도

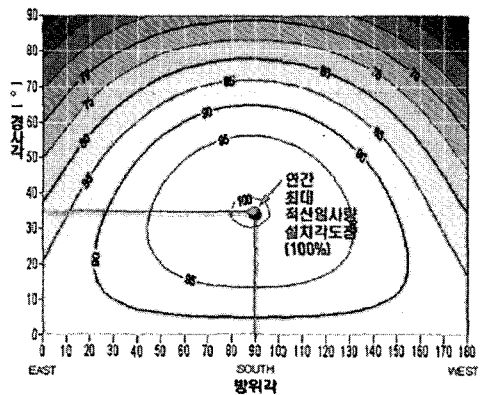


그림 6. PV모듈 설치각도에 따른 상대적 발전성능 노도 그림 1.

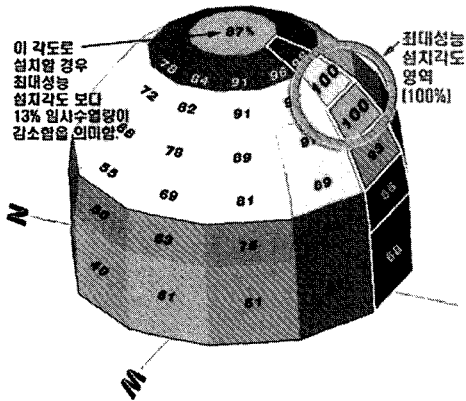


그림 7. PV모듈 설치각도에 따른 상대적 발전성능 노모그림 2.

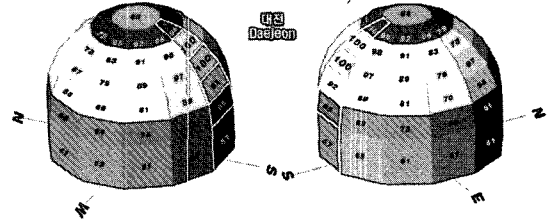


그림 8. 대전지역의 경사각, 방위각에 따른 PV설치 각도별 상대적 발전성능 비교 노모그림.

그림 1과 동일하게 최대 적산일사량값을 나타내는 설치각도를 100%로 하여 상대적 성능 비율 값의 형태로 표현하였다. 이 도표에서 방위각 설정각도는 정남을 기준으로 30° 간격으로 구분하였으며, 경사각은 수평면에서 수직면(90°)까지 15° 간격으로 구분하였다.

마지막 형태는 보다 세부적으로 상대성능을 파악하고자 할 경우를 위해 방위별, 경사각별 10° 간격으로 연간 적산일사량 상대적 수광비율을 도식한 수치 형태의 표로 제공하였다.

그림8은 2번째 유형의 노모그림 형태로 대전지역의 결과를 예시한 것이다.

4.2 음영(陰影)과 발전성능

4.2.1 PV모듈과 음영요인

발전 성능과 관련된 또 다른 중요사항으로 음영에 따른 발전성능의 저하문제이다. PV 모듈에 음영이 질 경우 도달 일사량 자체가 줄어들기 때문에 발전량이 감소하는 것은 당연한 원리지만, 부분 음영에 의한 전체 시스템의 발전량 감소도 매우 큰 영향요소이다.

음영은 그림9와 같이 크게 인접건물 또는 인근의 식재 등 장애물에 의한 음영과, 건물 자체에 있는 매스요소 또는 PV모듈 구조체 상호간에 의해 생성되는 음영으로 구분할 수 있다.

인접건물에 의한 음영은 우선적으로 배제해야할

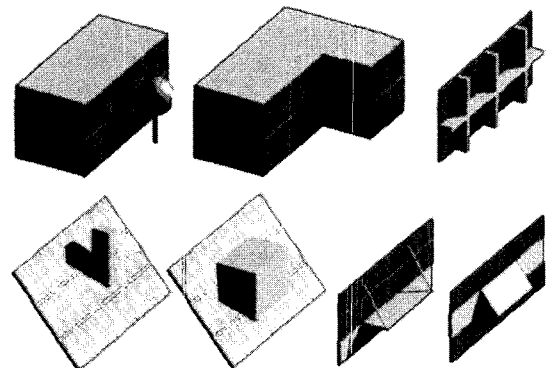


그림 9. 음영 발생의 주요 형태.

설계요소로, 저층 주거건물만 배치된 경우는 비교적 손쉽게 해결될 수 있는 반면, 고층 아파트 건물 내에 위치하는 저층 주거의 경우 음영문제가 큰 영향을 미치게 된다. 건물의 배치밀도 또한 큰 영향을 미치는 요소로서, 도심지와 같이 건물간의 거리가 조밀한 경우 연중 상당기간동안 음영에 의한 영향을 받게 된다. 설치 위치와 관련해서는 지붕과 같은 수평면보다는 파사드와 같은 수직면이 음영에 의한 영향을 크게 받음으로 보다 큰 인동간격이 필요하다.

건물주변의 녹화는 시각적 쾌적감 증대는 물론 미기후 조절측면에서 효과적인 설계수단이다. 그러나 식재를 통한 음영으로 인해 BIPV의 성능에 큰 영

향을 미칠 수 있다. 식생의 밀도가 높은 하절기의 경우 영향이 가장 크며, 잎이 떨어지는 하절기의 경우도 가지에 의해 큰 영향을 받을 수 있다. 식생의 성장 속도를 고려하는 것도 매우 중요하다. 일년 단위의 변화를 기준할 때 식생의 성장속도는 미미하지만, PV의 수명을 고려할 때 수년 후 식생의 성장결과 큰 영향을 미칠 수 있다. 이에 대한 해결책은 가능한 건물의 북측에 식재를 하며, 2층 높이를 넘지 않는 나무를 선택하고, 지속적 관리를 통해 일정 규모 이상 증가하지 않도록 해준다.

4.2.2 건물 자체매스에 의한 음영효과와 발전성능

건물에 설치된 PV모듈에 발생하는 음영은 다양한 원인에 의해 발생하지만 특히 건축 가능면적이 제한적인 우리나라에서는 대부분 인접건물이나 건물자체의 기하학적 형상에 의해 발생하며 이러한 현상은 시간별 · 계절별로 큰 차이를 나타낸다. 특히 건축 계획적 측면에서는 건물매스의 돌출에 의한 영향이 BIPV 설계와 관련하여 건축가와 직접적으로 연계되는 문제이다. 이러한 이유로 PV모듈을 건물에 적용하려할 때 건물의 자유로운 설계의 제약이 될 뿐만 아니라 음영에 의한 PV모듈의 발전량 차이를 정량적으로 분석한 연구결과가 없어 건축가들이 PV모듈을 건물 외피에 적용할 때 많은 어려움을 호소하고 있다.

따라서 선행 연구에서는[2] 건축물에 적용된 PV모듈을 대상으로 건물 자체에 의한 음영(Self-shading)의 영향이 발전성능에 미치는 효과를 정량적으로 평가 제시하였다.

건물 자체의 매스에 의해 형성되는 음영 유형은 기하학적 형태 및 향 등에 따라 매우 다양하지만 해석의 단순화를 위해 본 논문에서는 그림10과 같이 정남향 수직벽면에 PV모듈이 설치되고, 좌우측 및 상단부로 매스가 돌출되는 경우로 한정하여 음영 분석을 수행하였다. PV설치면과 바로 인접하여 돌출되는 경우로 제한하고, 돌출 정도를 돌출길이비(P)로 정의하여 P값 변화에 따른 해석을 수행하였다. 음영분석은 연중 8760시간을 대상으로 1%의 음영 해상도로 월평균 및 연평균 음영면적비를 산출할 수 있는 SolarTool을 이용해 수행하였다. 차양장치외 기하학적 돌출정도에 따른 음영분석 수행 후에는,

음영면적비에 따른 PV모듈의 발전성능 영향을 평가하였다. 발전성능의 평가는 온도 및 음영 영향을 통합적으로 해석 가능한 ESP-r 프로그램을 사용하였으며, 시간별 표준기상자료를 이용해 시간별, 계절별 영향을 평가하였다. 해석 대상지역은 대전지역을 기준하였다.

그림11은 음영영향 해석결과와 일례를 예시한 것으로, 수직 돌출길이비 P=0.1과 P=0.5의 2개 사례에 대해 동지 및 하지를 대상으로 시간별 음영변화 패턴을 도식화한 것이다. 그림에 도식된 바와 같이 P=0.1의 경우 태양고도가 낮은 동지일에는 수직 및 수평 돌출의 경우 모두 음영의 영향이 크게 나타나

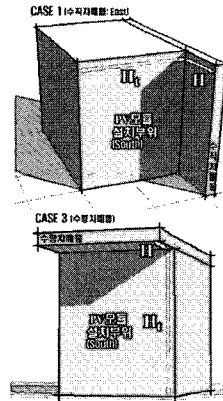


그림 10. 건물자체 돌출부위의 음영영향 평가 모델링을 위한 기본모델 일례.

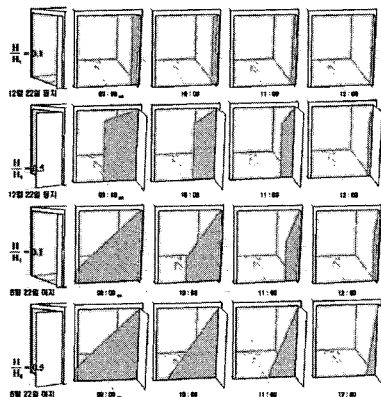


그림 11. 수직차폐물에 의한 시간별 음영패턴 분석결과.

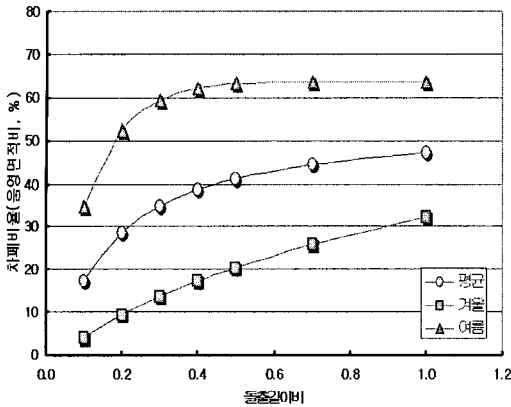


그림 12. 수평 돌출길이에 따른 계절별 음영면적비 분석 예.

지 않는다. 반면 태양고도가 높은 하지의 경우는 P=0.1의 작은 돌출길이에 대해서도 매우 큰 음영면적비가 형성됨을 알 수 있다.

또 다른 결과의 예로 그림12는 돌출길이에 따른 계절별 변화를 도식한 것으로 하절기의 경우 돌출길이에 0.3이하인 경우에서 음영면적비가 급격하게 증가하는 반면, 그 이후부터는 63%로 거의 변화를 나타내지 않는다. 반면 동절기의 경우 돌출길이에 증가에 따라 음영면적비는 선형적 증가추세를 보이지만 최대 32%를 넘지 않는 것으로 나타났다. 따라서 본 해석의 대상지역인 대전지역의 경우 P=0.3 부근에서 음영면적비가 민감하게 증감하기 때문에 이 부근에서 건물의 형상비 설계시 주의 깊게 고려해야 한다. 수직 돌출의 경우는 상대적으로 돌출길이를 고려한 형상 설계가 수평보다 비교적 자유로운 선택이 가능한 것으로 분석되었다.

마지막 예로 그림13은 PV모듈 온도의 영향 및 직사광, 확산광 등의 영향을 통합적으로 고려할 수 있는 비정상 에너지 성능평가 프로그램인 ESP-r 이용해 돌출길이에 따른 연간 PV발전성능의 변화를 시뮬레이션한 결과의 일례이다. 앞서 수직 및 수평 돌출길이에 따른 PV설치면의 음영면적비 변화의 분석결과는 순수히 태양 기하학적 형상에 기준하여 음영과 PV 발전성능의 관계를 간접적으로

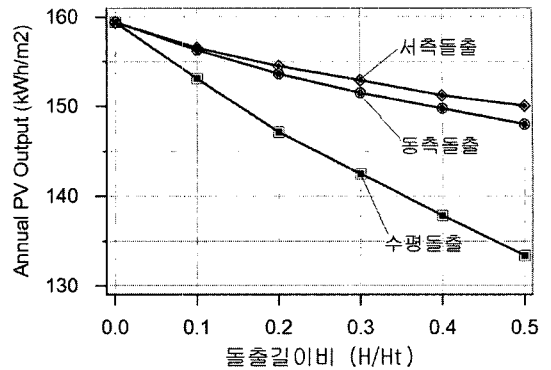


그림 13. 돌출길이에 따른 연간 PV발전량 분석 예.

평가한 것이며, 따라서 직사광선의 영향만 고려된 셈이다. 이러한 분석 결과는 기하학적 형태를 기준하여 결과를 도출한 것임으로 상대적, 객관적 성능 비교자료로 쉽게 활용되는데 효과적이다. 그러나 실제 기상데이터는 기하학적으로 정확히 좌우 대칭이 되지 못하며, 건물에 부착되었을 경우 태양전지의 표면온도 및 공기온도의 영향, 확산광의 영향 등을 고려하지 못했기 때문에 단순히 음영면적비의 관계가 PV발전성능과 비례한다고 할 수는 없다. 따라서 온도의 영향 및 직사광, 확산광 등의 영향을 통합적으로 고려한 연간 PV발전성능의 변화를 평가 제시 함으로서 앞서 수행한 음영면적비 결과와 함께 BIPV 설계시보다 실질적인 설계기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

4.3 PV모듈의 온도와 발전성능

4.3.1 온도와 발전성능

PV모듈은 태양복사를 받아 전기를 생산하지만, 전기로 변환되지 못한 태양복사에너지는 열로 변환되어 PV 모듈의 온도를 상승시킨다.

그림14와 같이 PV모듈의 온도가 상승하면 발전효율은 감소하는 특성을 가지고 있으며, 특히 결정계 태양전지의 경우 효율 감소 폭이 더 크다.

기존의 독립형 PV시스템에서는 후면 배기가 자유롭기 때문에 온도에 따른 발전효율 저하의 문제가 큰 관심사항이 아니었으나, 건축자재화 되는 BIPV

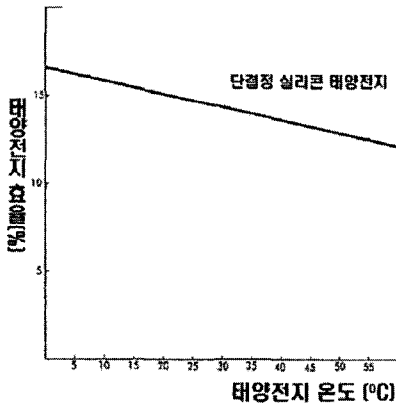


그림 14. 온도와 발전효율의 관계.

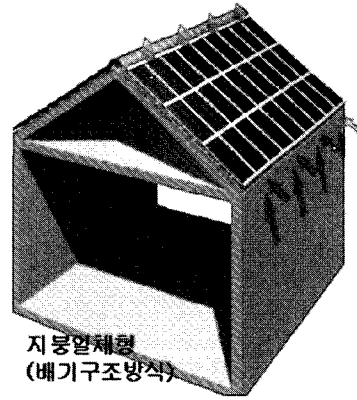


그림 15. 통기구조를 고려한 설계사례.

의 경우 설계 방법에 따라 큰 온도차이를 보일 수 있기 때문에 온도에 따른 발전성능의 문제는 매우 중요한 설계 고려요소이다.

건축외피에 부착된 PV모듈의 온도는 높은 일사 조건에서 주변온도보다 20-40 °C 이상 상승한다. 일반적으로 태양전지의 온도가 1 °C씩 상승할 때 마다 발전량은 0.4-0.5 %씩 감소한다. 따라서 PV모듈을 건축외장재로 결합시키는 경우 필히 효율적으로 열을 분산시킬 수 있는 방법에 대한 설계적 디테일 개발이 필요하다.

그림15는 지붕일체형 주택용 BIPV의 개념도를 나타낸 것으로 PV 모듈의 후면배기를 고려해 설계함으로써 PV모듈의 발전효율 저하를 막고 하절기 과열현상을 방지할 수 있는 개념의 사례를 예시한 것이다.

건축물 외피에 결합된 PV모듈의 온도상승에 따른 배열 문제는 동절기 난방성능 및 하절기 냉방성능 과도 연계됨에 따라 열적인 문제와 전기적 문제를 복합적으로 고려해야하는 매우 복잡한 고려요소이다.

4.3.2 PV모듈 설치방법에 온도 및 발전성능의 영향

본격적인 BIPV 건물의 설계를 위해 PV모듈을 외피에 통합화시킬 경우 PV모듈의 온도는 60 °C 이상 상승하는 사례가 빈번히 발생될 것이며, 이에 따라

태양전지의 발전성능 저하가 예상된다. 따라서 건축가들은 PV모듈을 외장재로 적용할 경우 어느 정도의 온도상승이 발생할지, 온도상승에 따라 실제로 발전성능의 저하가 있는 것인지, 또한 어느 정도의 발전 성능 저하가 있는 것인지, 온도 상승을 방지하기 위한 방법은 무엇인지, 후면 통기 구조를 만들어 줄 경우 효과가 있는지, 어느 정도의 상하부 통기구를 형성시켜야 하는지, 방수의 문제 등으로 하부만 통기시킬 경우 효과가 있는지, 있다면 어느 정도인지, 등등 각각의 설계 사례별로 매우 많은 의문점이 발생할 것이다. 하지만 앞서 기술한 바와 같이 BIPV 기술의 역사가 그리 오래되지 못하다 보니 다양한 설계조건을 충족시킬 수 있는 각종 성능데이터 및 설계 기초자료가 매우 부족한 실정이다.

따라서 선행 연구에서는[3] 태양광발전 모듈을 건축 외장재로 적용했을 때, 열 및 발전 성능의 상관관계를 실험 및 시뮬레이션을 통해 규명함으로써 효과적인 BIPV 설계를 위한 기초 자료를 수립 제시하였다. 대표적 비정상 건물에너지 종합 성능평가 도구인 유럽의 ESP-r을 이용해 건물 외장재로서 PV모듈의 열 성능 및 발전성능을 동시에 평가할 수 있는 통합 에너지 해석모델을 수립하였으며, 이를 이용해 PV모듈의 단열성능 및 난방기, 냉방기에 미치는 영향에 대한 통합성능평가를 수행하였다. 또한 PV모듈의 외벽 부착방식에 따른 온도의 영향을 평가하기 위해

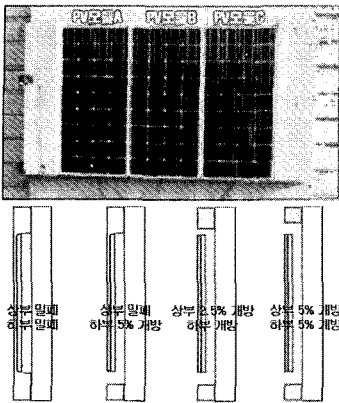


그림 16. 통기구구조에 따른 온도와 발전성능 평가 실험장치 및 실험조건 사례

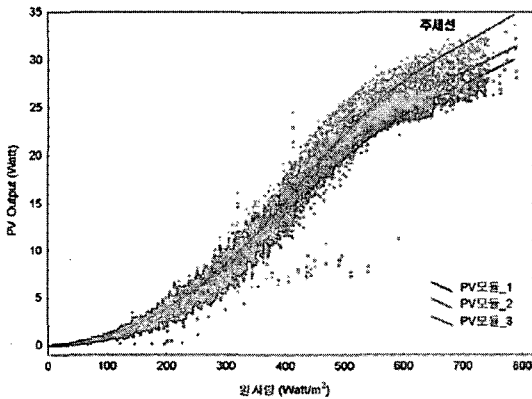


그림 17. 통기구방식별 PV모듈 발전성능 실험결과 예.

Test Module을 제작하여 3개 PV모듈 간의 초기조건 검증을 위한 예비실험 및 상/하부 통기 조건을 다양하게 조합 구현한 3개의 실험조건I, II, III 등 4개의 실험조건으로 나누어 실측실험을 수행하였으며, 이를 통해 PV모듈 통기 방식에 따른 온도변화 및 이에 따른 발전성능의 변화를 실험적으로 규명하였다. 그림 16은 통기구구조에 따른 온도와 발전성능 평가를 위한 실험장치 및 실험조건 조합의 개념을 예시한 것이다.

상하부 통기 조건을 달리한 3개 모듈은 일사량 조건에 따라 표면온도가 틀려지며, 그에 따라 발전량도 변화하게 된다. 그림17의 결과와 같이 모듈 A, B,

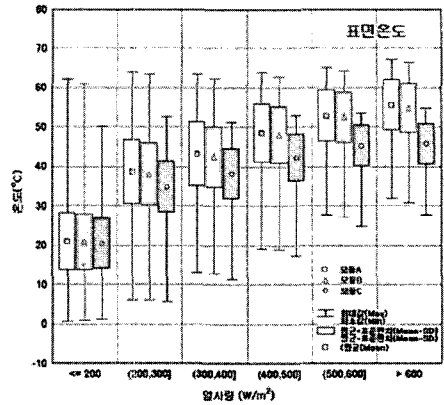


그림 18. 통기구방식별 PV 표면온도 실측치 통계분석 예.

C의 발전량이 일사량이 많아짐에 따라 발전량의 차이도 커지는 것을 알 수 있다.

그림18은 실측결과를 대상으로 데이터를 일사량 구간별로 구분하고 각 구간에서 평균, 표준편차, 최대 최소 값의 형태로 통계처리 하여 3개 모듈간의 성능을 비교한 결과이다. 이 그림은 모듈 A, B는 모두 상하부를 밀폐시킨 경우이며, 모듈 C는 모두 개방시킨 조건의 결과로서 일사량이 작은 영역에서는 표면 온도의 차이가 거의 없으며 결과적으로 3개 모듈간의 발전량도 동일하다. 반면 일사량이 커지면 온도 편차가 커지게 되며, 후면이 개방된 C모듈 온도가 가장 낮아, 발전량도 가장 많이 되는 것으로 규명되었습니다.

5. 결론

기술 및 경제의 발전과 함께 세계적으로 건물분야의 에너지 소비증가 추세는 계속될 전망이며 이에 따라 전기에너지 소비도 급증할 것이다. 반면 건물분야의 전기에너지 절감에 대한 확실한 기술적 대안이 없는 실정으로 태양광발전을 통한 건물의 자체적 전기수급 기술은 21세를 주도할 미래 산업분야이다. 이미 세계적으로 50만 이상의 주거건물에 PV를 이용한 발전시스템이 적용되어 있으며, 계통선과 연계

된 BIPV 상업용 건물도 수천 개에 이르고 있다. 주거 건물 및 상업건물용 BIPV시스템은 가까운 미래에 여러 PV 응용 분야 중에서도 가장 큰 시장을 형성할 것으로 기대되고 있다. 주거 및 상업용 건물은 BIPV가 적용될 수 있는 충분한 공간, 즉 외피면적을 제공할 여건이 이미 형성되어 있으며, 기존 건축 외장재의 재료비 및 시공비를 상쇄하는 개념으로 PV를 적용함으로써 경제성을 확보하고, 부하가 발생하는 지점에서 발전을 함으로서 분배 및 전송에 따른 비용과 손실을 절감할 수 여러 장점을 가지고 있다. 또한 무엇보다도 지구환경 및 에너지 문제에 대한 전세계적 우려 상황에 대해, 친환경적 철학 및 노력에 대한 이미지를 건물을 통해 부여할 수 있다는 측면에서 매우 큰 상징성을 가지고 있는 것이다.

한편 2004년부터 대체에너지 보급촉진을 위해 일 정규모 이상의 공공건물에는 의무적으로 대체에너지 시설을 설치하도록 법제화되었으며, 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.

참고 문헌

- [1] 윤종호, "건물통합형 태양광발전(BIPV) 시스템의 설계요소 및 접근방법", 제1회 태양광발전기술세미나 논문집, 태양광발전기술연구회, 2001. 10.
- [2] "상업용 건물의 BIPV(건물통합형태양광발전) 모듈 건축 통합화 연구", 한밭대학교 연구보고서, 산업자원부, 2004. 1.
- [3] 윤종호, 김병수, "인접 차폐물에 의한 건물일체 태양광발전 모듈의 음영 및 발전 성능 연구", 대한건축학회논문집(계획계), Vol. 21 No. 7, p. 149, 2005. 7.
- [4] "건축 외장재용 태양광발전 모듈의 열 및 전기 통합 에너지 성능평가 연구", 한밭대학교 연구보고서, 한국학술진흥재단, 2004.

저|자|약|력



성 명 : 윤종호

◆ 학 력

- 1985년 연세대 건축공학과 공학사
- 1994년 연세대 대학원 건축공학과 공학박사
- 1998년 Univ. of Colorado, JCEM, Post-Doc.

◆ 경 력

- 1988년 - 2000년 한국에너지기술연구소 선임연구원
- 2000년 - 현 재 국립한밭대 건축공학과 교수

