옥상녹화가 PV모듈 발전량에 미치는 영향 고찰

유동철*, 이응직**

*세명대학교 대학원 건설공학과(mie234@nate.com),

**세명대학교 건축공학과(drlee@semyung.ac.kr)

A study on the effect that the green roof has on the performance of PV module

Yoo, Dong-Cheol* Lee, Eung-Jik**

*Dept. of Architecture, Graduate School, Semyung University(mie234@nate.com),

**Dept. of Architecture, Semyung University(drlee@semyung.ac.kr)

Abstract

This study aims to examine the effect of the combined application of green roof and PV system on the PV efficiency by measuring the temperature and performance of PV module in order to reduce the temperature on the roof using roof planting system and determine the potential of efficient increase in solar-light power generation.

In the experimental methodology, either monocrystalline or polycrystalline PV module was installed in green roof or non-green roof, and then the surface temperature of PV was measured by TR-71U thermometer and again the performance, module body temperature, and conversion efficiency were measured by MP-160, TC selector MI-540, and PV selector MI-520, respectively.

As a result, the average body temperature of monocrystalline module was lower by 6.5°C in green roof than in non-green roof; that of polycrystalline module was lower by 8.8°C in green roof than in non-green roof. In the difference of generation, the electricity generation of monocrystalline module in green roof was 46.13W, but that of polycrystalline module was 68.82 W, which indicated that the latter produced 22.69W more than the former.

Keywords : 태양광(Photovoltaic), 옥상녹화(Green roof), 발전효율(Generating Efficiency), 모듈(module)

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

세계적 경기 침체로 인해 태양광 설비에 대한 국제 수요가 급감하고, 주요 태양광 기업의

경영실적이 악화되는 상황을 겪으면서 우리나라 또한 태양광 산업이 어려움을 겪고 있다.

이와 같은 배경아래 한국 정부는 태양광 산업의 활성화와 보급 확산을 위해 ‘그린홈 100만호 사업’을 중심으로 ‘햇살가득홈’ 프로젝트를

투고일자 : 2012년 3월 4일, 심사일자 : 2012년 3월 7일, 게재확정일자 : 2012년 4월 22일

교신저자 : 이응직 (drlee@semyung.ac.kr)

추진하기로 발표했다. 즉 올해 3월부터 시행하는 ‘햇살가득홈’ 프로젝트는 전기 다소비 가구(월 600kWh 이상)를 대상으로 태양광 주택을 확산하는 정책으로 발표하였고 이를 통해 주택용 태양광발전의 확산과 업계의 내수시장 활성화에 일조할 것으로 기대된다.

하지만 일반적인 상황의 태양광 시설은 대부분 건물의 옥상부에 설치되고, 건물 중에서도 옥상은 표면온도가 높은 장소 중 하나이기 때문에 이런 장소에 태양광 모듈을 설치할 경우 높은 작동 온도로 인해 PV 효율저하의 우려가 따른다. 그러나 옥상녹화를 조성한다면 녹화에 의해 건물의 옥상 표면온도가 기존의 콘크리트 옥상보다 낮아진다는 연구 결과들이 있고¹⁾, 그에 따라 건물 옥상녹화를 통해 도시의 열섬현상 완화 및 미관 개선, PV 효율의 증가 등 이점을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 논문은 옥상녹화에 의한 지붕부의 온도를 감소 현상과 태양광 발전의 효율성 증가 가능성을 확인하고자 모듈의 온도와 발전량을 측정하여 지붕의 옥상녹화와 PV시스템 복합 적용이 PV모듈의 발전량 향상에 미치는 영향을 고찰하기 위한 목적을 가진다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 방법으로는 옥상녹화와 비 옥상녹화 장소에 현재까지 주로 사용되고 있는 단결정 및 다결정 PV 모듈을 각각 설치하고, 1주일간 1시간 단위로 TR-71U 온도 측정계를 이용하여 PV모듈 표면과 본체 온도를 측정하여 변화 차이를 분석했다.

아울러 I-V Curve Tracer인 MP-160, TC selector MI-540, PV selector MI-520을 이용하여 PV모듈(SCM 100W)의 본체 온도와 일사량, 발전량, 변환효율을 측정하여 상호 비교방식으로 분석이 이루어졌다. 실험적 연구 특성상 측정은 단기간으로 한정하여 그 실측값을 이용하였다.

1) 박기원, “옥상녹화의 개선방안에 관한 연구”, 동국대학교, 2005년

2. PV모듈의 온도 특성

태양전지의 전기적 특성은 온도 변화에 의존한다. 아래 <그림 1>은 온도변화에 따른 태양전지 전압-전류 특성변화 그래프를 나타낸 것으로, 태양전지 단락전류는 거의 일정하게 유지되나 개방전압은 온도의 영향을 크게 받아 변함을 보여준다.²⁾

그림 1. 온도변화에 따른 전압 특성 변화

출처 : Planning and Installing Photovoltaic System : A guide for installers, architects and engineers, JAMES & JAMES. 2005

PV모듈은 특히 여름철에 높은 온도에 따른 효율 감소를 가져올 수 있다. 따라서 이러한 효율 하락을 최소화하기 위해서는 PV모듈에서 발생하는 열 부하를 주위환경으로 원활하게 배출될 수 있도록 신속한 냉각작용이 필요하다.

PV모듈의 열 부하를 감소시키거나 냉각시켜 발전량 변화가 나타난 연구가 수행된 바, 즉 태양전지 온도에 따른 효율에 관한 연구로서 PV의 특성에 따라 모듈 온도를 감소시켜 발전량을 측정하였고 그에 따른 결과로 태양전지 모듈의 앞면의 온도를 감소시킨 경우 발전량이 2.8%증가하였고 본체의 온도를 감소시킨 경우 4.3%의 증가율을 보였다는 것이다.³⁾

태양전지 냉각에 따른 태양광발전 효율 개

2) 김지수, “옥상녹화와 온도저감 효과에 따른 PV효율 변화에 관한 연구”, 세명대학교, 2011

3) 신혜영외 8명, “태양전지 온도에 따른 효율”, 한국 조명·전기설비학회 2009춘계학술대회 논문집, 2009년 5월

선에 관한 연구에서는 위의 연구와 마찬가지로 전면과 본체의 온도를 각각 감소시켜 전면의 경우 7.8%의 평균 발생전력증가율을 나타냈고 본체의 경우 평균 9%의 발생전력을 얻을 수 있었다는 결론을 얻고 있다.⁴⁾

3. 옥상녹화

3.1 여름철 온도 저감 효과

국내 옥상녹화는 세덤류와 잔디를 사용하는 옥상녹화보다 혼합형 또는 중량형의 비중이 높게 구성되어있고 옥상정원 및 공원으로 많이 사용된다. 유럽의 경우에는 중량형과 혼합형에 비해 하중이 적으며 관리가 편리하고, 비용 면에서 유리한 저관리형 식물에 속하는 세덤류를 사용하여 옥상녹화를 통하여 지붕표면의 온도를 낮추고 있으며, 온도저감 효과를 보인 연구는 국내에서도 아래와 같이 연구되고 있다.

오승환(2007)의 저관리 경량형 옥상녹화의 온도저감 효과분석에서 식생은 기린초와 들나물을 사용하였고, 토심은 10~20cm를 적용하여 분석한 결과, 옥상녹화 실험 부분의 온도 변화폭은 5.7℃이고 콘크리트 바닥 표면온도의 변화 폭은 10.1℃의 차이를 보였다. 또한 옥상녹화를 설치한 장소와 하지 않은 장소의 온도변화폭은 4.4℃의 차이를 보였다. 또한 건물 내 천장온도는 옥상녹화를 설치한 장소 천장이 일반 천장보다 0.8~2℃ 정도 낮다고 나타냈다.⁵⁾

이와 같이 옥상녹화가 설치된 장소가 콘크리트보다 온도가 내려가는 것은 토양층에서 식생층의 반사를 포함한 일사차단효과와 식생부분의 증발산 작용에 의한 잠열효과 등의 작용이 영향을 미친다고 볼 수 있다.

3.2 옥상녹화와 태양광 시스템의 통합 효과

태양광 시스템과 옥상 녹화의 통합은 상당

히 긍정적인 효과를 제공한다. 앞서 서술한 내용과 같이 옥상녹화가 설치된 장소는 일반 콘크리트 옥상보다 표면온도가 낮기 때문에 옥상부의 공기온도도 영향을 받을 것이고, 이는 설치된 PV모듈의 동작온도와도 관계가 있을 것이다. 이 경우의 PV는 콘크리트옥상부에서 발전하는 PV보다 더욱 많은 발전량을 생산하는 효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 건물의 미관개선, 열섬현상 완화, 휴식 및 친환경 공간 등의 옥상녹화의 장점을 같이 가져갈 수 있다. 아래의 <그림 2>는 해외 옥상녹화 PV복합적용사례의 모습이다.

그림 2. 옥상녹화 PV 복합적용사례(외국)

위의 그림에서 확인할 수 있는 것처럼 옥상녹화와 태양광을 통합 적용할 시 지피식물 및 세덤류를 식재하는 이유는 식생의 길이가 너무 높을 경우 PV모듈에 음영이 생겨 발전량을 저감시킬 우려가 있기 때문이고, 따라서 PV거치대는 식생의 성장 높이에 따라 고려되고 계획되어야 한다.

4. 현장실측

4.1 PV모듈 표면온도 측정

본 장은 옥상녹화와 태양광 시스템 복합 적용 시 PV모듈의 표면과 본체의 온도변화를 측정하고 분석·고찰한 내용으로서, 2011년 11월 2일부터 8일까지 D시 청사 5층 옥상부에서 진행하였다. 이 건물의 녹화 면적은 1300㎡이며, 세덤류를 비롯하여 사철나무, 라일락 등 약 30여종의 식물을 식재하여 체계적으로 관리가 이루어지고 있다. 옥상 녹화된 장소와 비녹화된 장소에 각각 단결정, 다결정 100W급

4) 김윤식, “태양전지 냉각에 따른 태양광 발전 효율 개선에 관한 연구” 순천향대학교, 2011년 2월

5) 오승환, “저관리 경량형 옥상녹화의 온도저감효과 분석”, 서울대학교, 2007년

PV모듈을 설치하고(그림 3, 4), 그 표면과 본체 온도를 TR-71U 온도 측정계를 이용하여 1시간 간격으로 측정하였다.

그림 3. PV모듈 온도 측정 설치 모습

그림 4. PV모듈 본체 온도 측정 설치 모습

총 7일간의 측정 기간 중 청정한 날의 측정 자료를 중심으로 비교·분석이 이루어졌으며, 그 결과에 의한 그래프는 아래와 같다.

그림 5. 11월 3일 단결정 PV모듈 온도 변화추이

그림 6. 11월 3일 다결정 PV모듈 온도 변화추이

11월 3일 단결정 PV모듈의 온도 차이를 비교하면 비 옥상녹화의 경우, 평균 온도는 40.96℃이고, 옥상 녹화 경우의 평균 온도는 36.77℃로 측정되었다(그림 5). 결국 4.19℃의 차이를 보였으며, 다결정 PV모듈 또한 옥상녹화와 비 옥상녹화의 평균온도가 40.68℃과 36.58℃로 4.1℃의 차이를 보이는 것으로 나타났다(그림 6).

그림 7. 11월 4일 단결정 PV모듈 온도 변화추이

그림 8. 11월 4일 다결정 PV모듈 온도 변화추이

11월 4일의 측정값을 비교해보면 비 옥상녹화의 경우 단결정 PV모듈의 평균온도는 35.92℃이고, 옥상녹화에 있어서는 평균 온도가 31.7℃로 약 4.22℃차이를 보였다. 비 옥상녹화면의 다결정 PV모듈의 평균온도는 35.07℃이고 옥상녹화의 경우 31.6℃로 3.47℃의 차이를 나타냈다.

그리고 구름이 많아서 흐렸던 11월 5일에도 비 옥상녹화 면의 평균 온도는 28~29℃이고 옥상녹화 면의 평균 온도는 27℃로 1.5℃~2℃차이의 온도차이가 분석되었다.

4.2 PV발전량 추정

모듈의 온도변화와 발전량의 상관관계 고

찰을 위하여 옥상녹화와 비 옥상녹화에 설치한 PV모듈에 TC센서를 부착하고 일사량계와 I-V Curve Tracer인 MP-160과 TC selector MI-540, PV selector MI-520으로 발전량과 모듈 본체의 온도를 측정하였으며 사용된 장비의 사양 및 사진은 아래와 같다.

표 1. 일사량계 및 발전량 측정 장비 사진

표 2. 옥상녹화와 비 옥상녹화 PV설치 모습

그림 9. 옥상녹화 비 옥상녹화 PV모듈 본체 온도 비교

위의 < 그림 9 >를 보면 옥상녹화에 설치된 PV단결정모듈의 본체 평균온도는 46.2

8℃, 비 옥상녹화는 52.83℃로 6.55℃의 차이를 보이고 있으며, 옥상녹화에서 다결정의 경우 평균온도는 51.43℃이고 비 옥상녹화는 42.55℃로 8.88℃의 차이로 측정되었다.

표 3. PV STC I-V Report

PV STC 변환효율 결과				
	다결정		단결정	
	모듈A	모듈B	모듈C	모듈D
Pmax.(W)	99.5	96.8	91.9	93.3
Voc.(V)	21.6	21.7	21.6	21.6
Isc.(A)	6.53	6.47	5.93	5.79
Vmp.(V)	16.6	16.9	17.1	17.1
Imp.(A)	5.98	5.73	5.37	5.45
FF.(%)	70.6	69.0	71.9	74.5
Cell eff.(%)	14.3	13.9	15.1	15.3
module Eff.(%)	12.2	11.9	12.1	12.3

제품명: SCM 100W (솔라센터) A와 C는 비 옥상녹화 측정 모듈 B와 D는 옥상녹화 측정 모듈

<표 3>은 STC(Standard Test Condition) I-V Test Report로서 각 모듈 간 정확한 비교를 위한 측정값으로서 실제적으로는 4장의 모듈 효율 차이가 미세한 것으로 확인된다.

따라서 모듈 별 효율과 발전량에서 약간의 차이가 있지만 다결정의 경우 옥상녹화 상에서 측정되어질 모듈 B는 모듈효율이 더 낮음에도 불구하고 실제 측정에서는 < 표 5 >에서 보는바와 같이 옥상녹화의 경우 더 높은 발전량이 측정되었다.

단결정의 경우에는 STC 결과에서 옥상녹화용 모듈 D의 효율이 더 높고 실제 측정에서도 옥상녹화 모듈의 발전량이 더 높음을 확인할 수 있다(표 4). 그리고 비 옥상녹화의 발전량을 옥상녹화와 똑같은 변환효율로 계산하더라도 옥상녹화의 발전량이 더 높은 것을 알 수 있다.

좀 더 자세히 살펴보면 <표 4>에서 옥상녹화의 발전량의 합계는 867.391W이고 비 옥상녹화 발전량은 821.261W로 46.13W의 차이를 보였다. 평균온도는 6.5℃차이를 보였으며, 이것은 PV 모듈의 온도가 상승하면 발전량이 하락한다는 것을 나타내는 것이다. 모듈 본체의 온도에서 볼 수 있듯이 비 옥상녹화의

단결정 모듈 본체의 경우 최고 온도 58.9℃이고 옥상녹화의 최고온도는 51.3℃로서 약 7.6℃차이가 났음을 볼 수 있다.

표 4. 단결정 PV의 온도 및 발전량

시각	단결정			옥상녹화		
	온도	발전량	변환효율	온도	발전량	변환효율
12:42	51.7	69.368	10.647	51.3	72.432	11.117
12:52	47.7	70.065	10.880	47	72.464	11.042
13:02	50.4	69.870	10.949	48.3	72.679	11.223
13:12	51.4	68.277	10.560	49	72.156	11.143
13:22	51.2	66.438	10.619	47.1	71.193	11.204
13:32	55.1	64.886	10.789	48.5	69.401	11.163
13:42	53.6	63.663	10.782	50.5	67.791	11.251
13:52	54.9	61.308	10.740	41.6	69.126	11.799
14:12	58.9	60.999	11.640	44.8	63.720	11.979
14:22	52.3	61.536	11.679	46.1	63.596	12.254
14:32	52.6	58.656	11.710	46.2	60.253	11.796
14:42	56	54.768	11.849	44.8	57.114	11.935
14:52	51	51.875	11.826	36.5	55.440	12.391

단위 : 온도(℃), 발전량(W), 변환효율(%)

표 5. 다결정 PV의 온도 및 발전량

시각	다결정			옥상녹화		
	온도	발전량	변환효율	온도	발전량	변환효율
12:42	49.2	76.117	10.775	48	76.612	11.051
12:52	47.1	76.901	11.236	43.4	76.99	10.957
13:02	47.5	76.816	11.082	44.5	77.338	11.289
13:12	50.3	75.230	10.857	43.8	77.312	11.141
13:22	55.3	72.821	11.024	43	76.503	11.255
13:32	55.1	70.959	10.899	44.2	74.633	11.341
13:42	53.8	70.147	11.155	45.9	72.727	11.264
13:52	52.1	68.831	11.117	38.2	74.001	11.952
14:12	56.2	66.755	11.779	41.2	68.519	12.141
14:22	49.2	67.313	11.751	42.1	68.129	12.204
14:32	53.3	64.736	12.249	43.7	64.916	11.849
14:42	48.4	61.146	12.083	41.6	61.444	12.256
14:52	51.2	57.644	12.456	33.6	58.988	12.385

단위 : 온도(℃), 발전량(W), 변환효율(%)

그림 10. 단결정 발전량 비교

그림 11. 다결정 발전량 비교

위의 <표 5>는 <표 4>와 마찬가지로 다결정 모듈의 발전량과 변환효율을 나타낸 것이다. 옥상녹화의 발전량의 합계는 928.112W이고 비 옥상녹화의 발전량은 905.418W로 22.69W의 차이를 보였으며, 다결정 모듈 본체의 비 옥상녹화 최고 온도는 56.2℃이고 옥상녹화의 온도는 48℃로 약 8.2℃ 정도의 온도 차이를 보였다.

이 자료를 보면 옥상녹화 부분에서 증발산 잠열효과가 있어서 온도가 낮아진다고 판단되는데 실제적인 증발산 잠열효과에 대해서는 측정 장비의 부재로 인해 실측이 이루어지지 못했지만, PV모듈 표면과 본체 온도 측정 결과를 통해 옥상녹화가 콘크리트 지붕보다 온도저감 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

결과적으로 태양고도가 낮아지는 가을인데도 불구하고 옥상녹화와 비 옥상녹화 면의 PV 모듈 온도 차이는 6~8℃ 정도로 나타났고 발전량에서도 옥상녹화의 PV모듈이 더 많은 양을 생산했다. 따라서 옥상녹화와 태양광 시스템을 복합 적용한다면 모듈 효율 상승을 가져 올 수 있을 것이며, ‘그린홈 100만호’ 또는 ‘햇살가득 홈’과 같이 보급 사업에 있어서도 시스템의 효율 상승뿐만 아니라 대도시에서는 열섬현상 완화 및 도시 미관개선에도 긍정적인 효과가 기대된다.

물론 태양고도가 높은 여름에는 옥상 녹화 면과 비 옥상녹화 면의 온도 차이는 더 클 것이므로 PV시스템 효율 향상이 더 뚜렷하게 나타날 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구는 옥상녹화와 비 옥상녹화 면에 단결정, 다결정 PV모듈을 설치하고, 주어진 한계 조건에서 TR-71U 온도측정계를 사용하여 표면온도 측정 이후, I-V Curve Tracer인 MP-160, TC selector MI-540, PV selector MI-520을 이용하여 발전량 및 모듈본체온도, 변환효율을 실측하여 분석하였으며, 아래와 같이 그 결과를 도출하였다.

- (1) 옥상녹화와 비 옥상녹화에 각각 설치된 PV에서 단결정 모듈의 본체 평균 온도는 6.5℃ 정도의 차이를 보이고 있으며, 다결정 모듈의 경우 8.8℃ 차이를 보였다.
- (2) 모듈 발전량의 차이로는 옥상녹화에서 단결정 PV가 867.391W를 비 옥상녹화 면에서 821.261W를 생산했고 46.13W의 차이를 확인할 수 있었으며 옥상녹화의 경우 다결정 PV의 발전량은 928.112W 비 옥상녹화는 905.418W로 약 22.69W 정도의 차이를 확인할 수 있었다.
- (3) 단기간의 실측을 통한 측정 값 만으로 결과를 내는 한계가 있지만, 옥상녹화를 이용하여 태양광 발전의 효율성 증가 가능성을 확인하고자 한 연구 목적처럼, 실측 결과 또한 온도 저감효과와 효율 상승이 나타남을 확인할 수 있었다.
- (4) 따라서 향후 저에너지·저탄소 건축분야에 있어서 옥상녹화효과와 태양광 발전의 장점이 복합적으로 적용된다면 시너지 효과가 클 것으로 판단된다.
- (5) 차후 기온이 높은 여름철에 옥상녹화와 비 옥상녹화의 온도변화와 발전량 측정을 비롯한 연중 실측을 계획하고 있고, 그에 따른 안정적이고 객관적인 자료를 확보하고자 한다.

후 기

본 논문은 교육과학기술부의 ‘일반연구자 지원사업’에 의해 수행된 연구(2011-0006120)의 일부분임.

참 고 문 헌

1. 신혜영외 8명, “태양전지 온도에 따른 효율”, 한국 조명·전기설비학회 2009 춘계 학술대회 논문집, 2009년 5월
2. 김윤식, “태양전지 냉각에 따른 태양광발전 효율 개선에 관한 연구”순천향대학교, 2011년 2월
3. 김지수, “옥상녹화와 PV발전의 상관관계에 관한 실험적 연구” 생태학회 춘계학술대회 논문집 2009년
4. 김지수, “옥상녹화와 온도저감 효과에 따른 PV효율 변화에 관한 연구”, 세명대학교, 2011
5. 이춘우, “옥상녹화 활성화를 위한 녹화 유형별 기온 저감효과 및 시민의식 분석”, 계명대학교, 2009년
6. 박기원, “옥상녹화의 개선방안에 관한 연구”, 동국대학교, 2005년
7. 오승환, “저관리 경량형 옥상녹화의 온도 저감효과 분석”, 서울대학교, 2007년