

# 발열 필름을 이용한 제설 기능 PV module & system 제작 및 특성평가

박은비\* · 조근영 · 조성배 · 김현준 · 유정재 · 박지홍\*

럭스코 기술연구소, 문경시, 36937

## A Study on the Fabrication and Characteristics of Snow Removal PV Module & System using Heating Film

Eun Bee Park\* · Geun Yuoung Cho · Sung Bae Cho · Hyun Jun Kim · Jeong Jae Yu · Chi Hong Park\*

R&Dpart LUXCO CO., LTD, Mungyeong-si 36937, Korea

**ABSTRACT:** Piled snow upon PV module interferes with Photoelectric Effect process through photovoltaic directly. As a result of this phenomenon, its generation efficiencies keep decreasing or are stuck at zero power generating status. In addition, PV facilities have been installed on those places such as water surface, roof-top, and other isolated places, dealing with conditions of “Securing high REC weighted value”, “Difficulty of securing land” and so forth. Through this study, we are able to actualize the function of heating over PV modules when it snows. We adopted laminating method through heating film and modules, guaranteeing warranty more than for 25 years. Also we are trying remote control systemically, not by hardware control, to run parallel with automatic driving and monitoring system which enable to control operation time, insolation, amount of snowfall automatically. We applied analysis of actual proof to both snow removal PV system and general PV power system, and these led to bear power consumption analysis while snow-removing, and its comparison after finishing the task as “One stone, two birds.” In the long run, we could carry out economic analysis against snow removal system, and this helps to verify the most maximized control method for snow removal conditons on a basis of weather information. this study shall let prevent people from negligent accidents, and improve power generation problems as mentioned from the top. Ultimately, we expect to apply this system to heavy snowfall regions in winter season in spite of its limited system installaion in Korean territory, initially.

**Key words:** PV module, PV system, Snow removal, Heating film, Remote control

### subscript

ENCAP :encapsulant

WVTR : water vapor transmission rate

POE : polyolefin elastmer

D.H : damp heat

T.C : temperature cycle

MLT : mechanical load test

PID : potential induced degradation

STC : standard test condition

### 1. 서론

지구의 규모적 측면에서 환경오염과 화석연료의 고갈 위험에 따른 에너지 부족 문제를 해결하기 위하여 태양광과 풍력발전 등의 신재생에너지 사업이 전 세계적으로 추진되고 있다<sup>1)</sup>.

그 중 태양광 산업은 매년 고속성장을 하고 있으며 미래에도 큰 성장이 예상되는 미래유망 산업이다. 이에 발맞춰 국내에서도 2030년까지 신재생에너지 전원의 비중을 11%까지 확대하기 위하여, 신재생에너지 의무할당제(RPS), 공공건물의 신재생에너지 설치 의무화, 그린홈 100만호사업 등이 적극적으로 추진되고 있다<sup>1,2)</sup>.

이와 같은 노력에 반해 겨울철 적설 후 눈이 쌓인 태양광 발전소는 발전량 저하나 발전 불가능 상태에 놓여 있으며, ‘높은REC가중치 확보’, ‘부지 확보의 어려움’ 등으로 건축물 옥상, 또는수면에 설치되어 제설 작업의 어려움과 안전사고의 발생을 초래한다.

이를 극복하기 위해 기존 태양광 모듈 내부에 발열필름을 합

\*Corresponding author: ebpark@luxco.co.kr, chpark@luxco.co.kr  
Received November 15, 2016; Revised November 21, 2016;  
Accepted November 24, 2016

지하여 25년 이상의 장수명을 보장할 수 있는 ‘제설기능 적용 태양광 모듈’과 발전소 적용에 필요한 ‘원격제어 시스템’ 개발을 진행하였다.

해당 연구를 통해 겨울철 적설로 인한 발전량 저하 현상 및 직접적 제설 작업에서 발생할 수 있는 인사고 등에 대한 개선이 가능하며, 적설 이슈로 제한적 설치가 이루어지고 있던 국내외 다설 기후지역에서의 태양광 발전 적용 가능성 또한 증가할 것으로 예상되어 진다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 제설기능 모듈 제작

본 연구에서는 탄소소재의 면 발열필름을 태양광 모듈내의 태양전지와 백시트 사이에 삽입함으로써 접착을 위해 기존 태양광 모듈 대비 봉지재 층의 추가가 이루어지는 구조로 라미네이션 진행을 하였으며, 제설기능의 구현을 위해 발열필름용 AC 전력인가로 절연처리의 필요성이 부각되어 봉지재 소재를 EVA 대비 체적 저항이 높은 POE 소재를 사용하여 절연 성능을 향상시켰다<sup>3)</sup>.

POE 소재를 사용한 태양광 모듈의 라미네이션 공정조건은 158°C의 온도에 Vacuum 5 min 40 sec / 3 Step-Press 3 min / Retain 10 min으로 총 18 min 40 sec의 시간이 소요되는 반면 제설기능 태양광 모듈 라미네이션 공정조건은 발열필름과 봉지재 층이 추가됨에 따라 온도 160°C , Vacuum 5 min 50 sec / 3 Step-Press 3 min 00 sec / Retain 10 min 20 sec 의 공정조건에서 라미네이션을 진행 하였다. 이는 기존 일반 태양광 모듈의 라미네이션 공정에서 약 13°C의 온도와 2 min 40 sec의 공정시간이 증가한 형태이다<sup>4)</sup>.

태양광 모듈 제작은 실증 분석을 위해 일반 태양광 모듈 및 제설 기능 태양광 모듈을 동시 제작하였으며, 발전량 분석의 오차를 줄이기 위해 변환효율 17.4%의 다결정 태양전지를 제설기능 모듈과 비교군 일반 모듈에 동일 적용하였다.

### 2.2 실증단지 구축

본 연구로 개발된 제설기능 태양광 모듈은 비교군인 일반 태양광 모듈과 같이 각 250 Wp급 단위 모듈을 연결하여 5 kW급의 어레이 구성을 통해 총 10 kW의 실증단지 구축을 진행하였다. 2015년 11월경 한국수자원공사 태백권 관리단 내에 위치한 실증단지는 2015년 12월~2016년 3월까지의 실증 발전 DATA 수집에 사용되었다(Fig. 1).

Fig. 2와 같이 실증단지 모니터링 시스템은 총 2 EA의 동양 E&P사 5 kW급 S550K 인버터를 개별 사용하여 발전량 DATA를 확보하고 제설기능 태양광 모듈에는 제설 기능 구현에 필요한 AC전력을 공급하기 위하여 10 병렬 2 직렬 구조의 어레이 구성을 진행하였다. 이와 같은 구조를 통해 발전 시에는 비교군 모

**Table 1.** snow-removal module material device

Material	Type	Thickness
Glass	Low ion thermal glass	3.2 mm
ENCAP	POE	0.45 mm
In't ribbon	Sn60Pb40	1.5*0.23 mm
Cell	Multi 3BB	0.2 mm
Bus ribbon	Sn60Pb40	5.0*0.25 mm
ENCAP	POE	0.45 mm
Heating film	Carbon film	0.54 mm
ENCAP	POE	0.45 mm
Backsheet	PVDF/PET/PE	0.33 mm
Matrix	6*10 array	

**Table 2.** Lamination recipe

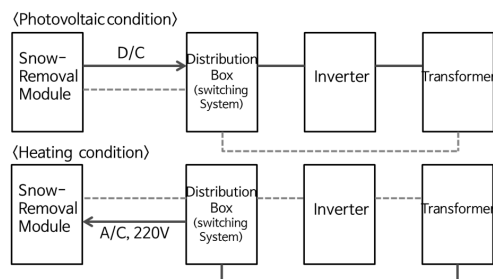
Machine	NLM-340 (NPC)
Type	Electric heater
TEMP	160°C
Press	3min
Retain	10 min 30 s
Recipe time	19 min 10 s

듈과 동일한 과정으로 동작되지만 적설 시, 변압기에서 제설기능 태양광 모듈을 향해 220 V의 AC 전력을 공급함으로써 제설기능 구현이 가능하도록 설계하였다.

기본적으로 온도(외기/제설기능 모듈/비교군 모듈), 풍향, 풍속, 일사량을 확인할 수 있도록 기상센서를 설치하였으며, JENOPTIK사의 SHM 30 레이저 측정 방식 적설량계를 사용하여 적설량에 따른 제설기능 가동 유무와 자동제어가 가능하도록 시스템을 구성하였다<sup>5)</sup>.



**Fig. 1.** snow-removal PV & General purpose PV test bed image



**Fig. 2.** Test bed construction plan

제설 제어 모드로는 수동 미동작/수동 동작/자동 동작 모드를 설계하여 제어 입력의 수동 제어가 가능하도록 설계하였다.

### 3. 결과

#### 3.1 제설기능 모듈의 신뢰성 검증

본 연구를 통해 제작된 제설기능 태양광 모듈의 신뢰성 검증을 위해 기존의 결정질 태양광 모듈 성능검사 IEC 61215 규격에 의거한 Damp Heat / Temperature Cycle / MLT 와 IEC 62804 규격의 PID Test 등을 한국건설생활환경시험연구원(KCL)내 시험 분석 설비를 통해 분석 하였으며, Table 3과 같이 Damp heat 1,000 h 분석 결과 초기 대비 출력 저하율은 0.21%로 IEC 출력 저하 평가 기준인 출력 저하 5% 대비 매우 낮은 출력 저하율을 확인하였다. 또한 Temperature Cycle 1.01%, PID 0.6%, MLT 1.11%의 출력 저하율을 확인하여 태양광 모듈 내 제설 기능 추가에 따른 신뢰성 저하는 발생하지 않는다는 것을 확인하였다.

또한 제설 시 많은 수분이 태양광 모듈 표면에 발생함에 따라 WVTR 평가를 진행하여 태양광 모듈 내 수분 침투 특성에 대해 분석을 진행하였으며, 분석 설비는 충북테크노파크 내에 설치 되어있는 MOCON사의 PERMATRAN-W 3/33 계측기를 활용

하여 분석을 진행하였다. Table 4를 통해 분석 결과 시료 5EA 평균 1.454 g/m<sup>2</sup>\*day 로써 기존 EVA 소재 WVTR 평가의 평균인 1.89 g/m<sup>2</sup>\*day에 대해 23%의 수분 투습 저하를 개선을 보였다.

마지막으로 제설기능 태양광 모듈에서 가장 핵심이 되는 부분인 ‘모듈 온도 상승 평가’는 제설 전력 인가 시 외기온도에 따른 모듈 온도 상승 분석 기법을 한국건설생활시험연구원과 분석 기법 수립 후 평가를 진행하였으며, Fig. 3과 같이 항온항습 챔버를 활용하여 외기온도 -15°C / -10°C / 0°C의 환경으로 설정 후 각 온도 조건별 1 h 동안의 제설 전력인가 상태에서 모듈의 전면2, 후면3 부분의 위치에 대한 온도변화 특성을 분석하였으며, 평가 결과 모듈 전면 온도상승 기준 -15°C 분위기에서는 18°C, -10°C에서는 17.5°C, 0°C에서는 18.4°C의 온도 상승 특성을 확인할 수 있었다<sup>6)</sup>.

실증 분석을 위해 일반 모듈과 연구용 모듈의 STC 환경에서의 발전 성능 분석을 진행하였으며, 동일 변환효율의 태양전지 및 전면소재 사용에 따라 발전 성능의 편차는 발생하지 않았다.

#### 3.2 실증단지 모니터링 시스템 가동

옥외 발전성능 분석 및 제설 기능 가동에 따른 효과 분석을 위해 실증분석을 진행하였으며, 2015년 12월에서 2016년 3월까지 총 4개월에 걸친 효과 분석을 진행하였으며, 그 과정에서 상용화 가능성에 대한 수익성 분석을 진행하였다.

제설기능 구현을 위해서는 적설량 분석이 필수 요소이며, 레이저 측정 방식의 적설량계를 활용하여 실시간 적설량 수치 분석을 통해 제설기능 동작을 제어 할 수 있으며, 자동 운전기능의 구현이 가능해 졌다.

Table 5에서는 실제 실증단지 자동운전 기능의 제어조건을 나타내고 있으며, 4개월간의 실증단지 운영을 통해 확보되어진 태백지역의 기상 및 제설 Data를 활용하여 확립된 최적의 제어 조건이다. 총 2가지의 제설 조건이 부합 시 제설 운전이 가동되어지는 프로세스를 구현하였으며, 10 mm 이상의 적설 시 자동 운전을 수행하며, 가동 후 0.5 mm 이하로 적설이 인식되어질 경우 운전을 종료하는 프로세스를 구현하였다. 또한 발전이 불가능함에 따라 제설 후 다시 적설이 되는 현상의 억제를 위해 일사량 Data를 기반으로 자동운전 가동 시간에 대해 프로세스를 구현하였으며, 오전 8시 30분에서 오후 2시 30분 이외의 시간에서는 적설이 인지되어도 제설 운전을 진행하지 않는 프로세스를

Table 3. snow-removal PV reliability assessment data

Test	Result (Pmax)		Drop.
D.H 1,000 h	before	254.231	0.21%
	after	253.692	
T.C 50 cycle	before	251.052	1.01%
	after	248.520	
MLT 2,400 Pa	before	253.052	1.11%
	after	250.250	
MLT 2,400 Pa	before	255.43	0.6%
	after	253.96	

Table 4. snow-removal PV WVTR TEST data

Sample	#1	#2	#3	#4	#5
WVTR (1.g/m <sup>2</sup> · day)	1.44	1.41	1.44	1.42	1.46
Average	1.454 g/m <sup>2</sup> · day				

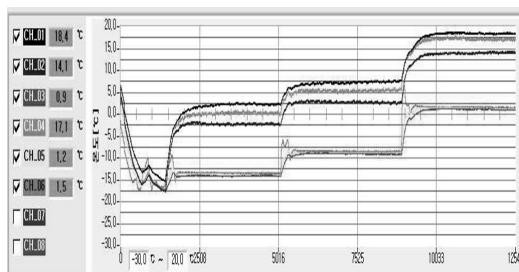


Fig. 3. PV surface temperature rise test graph

Table 5. auto-operation condition process of snow-removal

'amount of snowfall' condition (unit: mm)	
upper limit	lower limit
10	0.5
'sunrise/sunset time' condition	
sunrise	sunset
08:30	14:30

수립하여 제설에 소요되는 전력의 최소화 구현을 진행하였다.

### 3.3 옥외 분석 결과

Fig. 4에서는 2016년 2월 실증단지의 제설기능 태양광 모듈, 일반 비교군 모듈 그리고 외기 온도로 나뉜 총 3 부분의 최고 온도를 비교한 결과로써 비교군 일반 모듈에 대비하여 제설기능 모듈의 내부소재 추가 영향으로 발전에 따른 최대 온도가 평균 3°C 높음을 확인 하였으며, 특히 적설일인 6, 7, 9, 14일을 포함하여 이틀간 제설기능 태양광 모듈과 비교군 일반 모듈의 온도차가 크게 나타남을 확인하였다. 이는 제설 모드 가동에 따른 온도 상승과 비교군 일반 모듈의 미발전에 대한 온도 차이로 확인되었다.

또한, Fig. 5에서 같은 달의 제설기능 태양광 모듈과 비교군 일반 모듈의 평균온도를 참고하여 발전량 data를 비교해본 결과, 적설일 기준 이틀간 제설기능 태양광 모듈에서의 발전량 이득을 볼수 있었으며, 이는 일반 모듈에서 적설 후 낮은 기후에 의해 표면 강화유리와 적설 되어 진 눈이 동결됨에 따라 적설 후일 높은 일사조건에서도 적설 되어 진 눈에 의해 발전량 저하 현상이 발생되어지고 있음을 확인하였다.

이로 인해 Fig. 6에서는 2월의 적설일 중 14일 제설에 대한 data를 추가 분석결과 적설에 의한 제설 시 일반 모듈 대비 당일 뿐 아닌 이틀날까지 총 14.8 kWh의 발전량 이득이 발생 할수 있

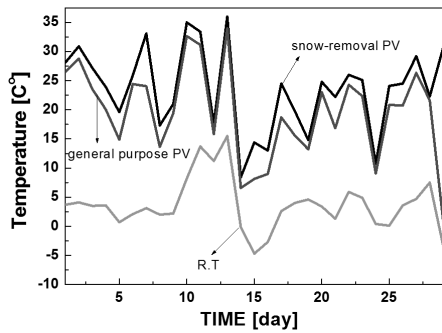


Fig. 4. Trough the snow-removal operation, Max. Temperature changes in February graph

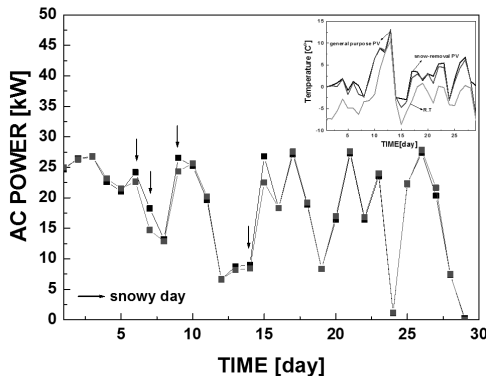


Fig. 5. PV power generation comparison & average temperature in February graph

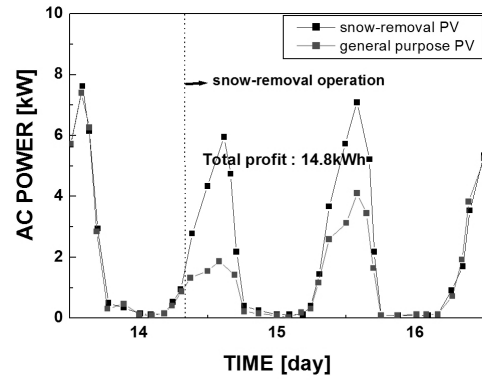


Fig. 6. After the snow-removal, PV power generation changes graph (15day standard)

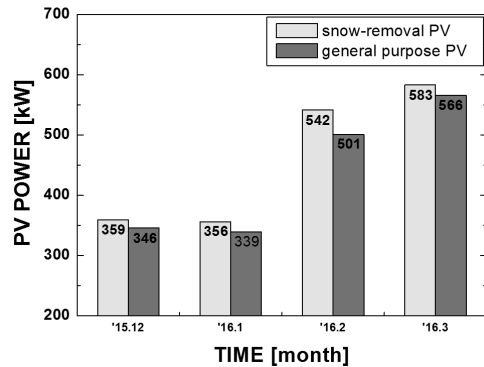


Fig. 7. snow-removal PV & general purpose PV winter monthly power generation graph (4 months)

음을 확인하였다.

최종적으로 Fig. 7의 그래프를 통해 2015년 12월부터 2016년 3월까지 총 4개월간의 제설기능 태양광 모듈과 비교군 일반 모듈의 발전량 data를 비교결과 각 5 kW 발전설비 용량 기준에서 적설일이 가장 많았던 2016년 2월 기준으로 분석 시 약 40 kWh 이상의 발전량 이득과 제설 가동 소비 전력(가동 test 전력 포함) 27 kWh 으로 총 14 kWh의 순이득을 보였으며, 4개월간 총 88 kWh의 발전량 이득 중 제설 가동 소비 전력 51 kWh를 제외한 총 37 kWh의 순이득을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 연구에서는 면상 발열 필름을 태양광 모듈 내에 합지하는 방식을 통해 표면 강화유리/ 봉지재/ 태양 전지/ 봉지재/ 발열 필름/ 봉지재/ 백시트 구조의 태양광 모듈 설계 및 이에 적합한 라미네이션 공정 조건을 수립하였으며, 제작된 제설기능 태양광 모듈에 대한 D.H/T.C/PID/MLT/WVTR 등의 신뢰성 평가를 진행 시 IEC 규격 기준인 발전성능 저하 5% 대비 낮은 발전성능 저하를 보여줌에 따라 태양광 모듈 내 발열필름 추가에 따른 신뢰성 저하는 발생하지 않는 것으로 확인하였으며, 제설기능 모듈의 주요 기능인 ‘모듈 표면온도 상승’과 관련하여 -15°C/

-10°C / 0°C의 환경에서 평균 18°C 상승으로 적설에 필요한 열 에너지를 충분히 인가 가능함을 확인하였다.

또한, 겨울철 4개월간의 실증단지 가동을 통해 태백지역 적설 운전 조건은 적설량 0.5 ~ 10 mm / 가동시간 8:30 ~ 14:30 이라는 최적의 자동제어 조건을 확립할 수 있었으며, 향후 타 지역 설치 시 태백지역과 유사한 기후 Data를 보일 경우 확보되어진 적설 운전 조건을 활용 가능 할 것으로 예상된다. 실증단지내의 제설기능 모듈/일반모듈 각 5 kW 발전 DATA 비교를 통해 겨울철 일반모듈 대비 약 37 kWh의 발전량 이득을 확인하였다. 2015년 12월 설치 이후 2016년 10월까지 매월 실증단지 정기검진을 통해 외관 불량 발생에 대한 분석을 진행하였으며, 분석 결과 태양전지 핫스팟, 파손, 밀봉재 및 백시트의 변형 변색은 발생하지 않았다. 또한 수동 운전 모드를 활용하여 정기적인 제설 기능 시 운전 평가 결과에서도 성능에서의 저하는 발생하지 않았다. 향후 지속적인 실증단지 분석을 통해 외기온도-적설량-일사량에 따른 제설조건의 최적화 작업을 지속적으로 수행 할 예정이다.

이와 같은 연구결과를 통해 겨울철 제설기능 태양광 모듈을 이용한 건축물 상부 또는 수면에서의 제설작업의 안정성과 효율성을 확인하였으며, 겨울철 추가 발전으로 경제적 효율성을 확보하였다.

## 후 기

본 연구는 중소기업청 구매조건부 신제품 개발 사업 ‘제설기능 적용 태양광 모듈 발전 시스템 개발(S2241923)’과제의 일환으로 수행되었습니다.

## References

1. Choi, S. S., “The optimal operation algorithm for efficiency improvement of photovoltaic module”, Korea University of Technology and Education, 2014.
2. Im, D.-G. and Yu, J.-S., “Market trends and prospects for photovoltaics”, J. of Korean solar Energy Society, Vol. 10, No. 4, pp. 3-11, 2011.
3. Shim, J., “Study on outdoor testing and degradation of photovoltaic modules fabricated with EVA and POE encapsulants”, Cheong Ju university, 2016.
4. Kim, B.-M., Lee, K.-S., Kim, M.-K., Kang, G.-H., Lee, Y.-H., and Lee, M.-S., “A study on manufacturing process of PV Module according to EVA sheet type”, J. of KSES, Vol. 30, No. 2, pp. 183-188, 2010.
5. Hong, S.-W. and Koh, Y.-S., “Development of optimal operation of solar installations managed services program”, J. of KSCI, Vol. 21, No. 2, pp. 369-371, 2013.
6. Jin, Z. H., Shin, K. J., Kong, T. W., Jeong, H. M., and Chung, H. S., “A study on the Temperature and Electrical Characteristics of Carbon Heater”, J. of KSPSE, Vol. 10, No. 1, pp. 71-76, 2006.