

개선된 태양 에너지 하베스팅 모델에 대한 분석

Analysis on the Advanced Model for Solar Energy Harvesting

나양타이 불간바트*, 공인엽**
Bulganbat Nayantai*, In-yeup Kong**

요약

산이나 숲과 같은 광범위한 영역을 모니터링하기 위해 설치된 센서 노드들은 배터리 교체할 때 시간과 비용이 많이 드는 단점이 있다. 이에 무선 센서 네트워크 주위에 존재하는 신재생 에너지를 이용하여 사용 기간을 최대로 늘릴 필요가 있는데, 태양 에너지는 365일 항상 수집할 수 있는 무한한 에너지원이 된다. 이러한 센서 네트워크를 최적으로 설계하기 위해서는 센서 네트워크가 실제 구축되는 환경에서 수집되는 태양 에너지의 양을 예측하고 분석해주는 에너지 모델이 필요하다. 이는 설치 환경에서 필요로 하는 태양광 패널의 크기나 성능 등의 요구 사항을 미리 파악할 수 있도록 필요한 데이터를 제공해줄 수 있기 때문이다. 그러나 이를 분석하는 기존의 태양 에너지 하베스팅 모델들은 수집되는 에너지 양에 영향을 주는 여러 요소 중 일부만 고려하여 에너지를 예측하였다. 이에 본 논문에서는 기존 모델에서 고려하지 않는 태양전지 패널의 발열 손실, 월별 각도 손실, 월별 배터리 발열/냉각까지 모두 고려하여 기존 모델을 개선한 모델을 제안하였다. 그리고 이 모델에 대해 패널 각도, 기온, 패널 표면 온도에 따른 에너지 수집량을 실험을 통하여 분석한 결과, 이러한 요소들이 태양 에너지 수집 양에 영향을 준다는 것을 확인할 수 있다.

ABSTRACT

Replacement of sensor nodes for monitoring a wide range area such as mountains and forests needs a lot of time and cost. Using new and renewable energy around them can maximize the lifetime of wireless sensor networks, in which solar energy is infinite energy source that is available in 365 days. To design these sensor networks, solar energy model is essential and to estimate and analyze the overall photovoltaic energy. Using this, we can figure out important data such as the size and performance of solar panel needed. However, existing researches for solar energy harvesting consider parts of many factors to influence the quantity of solar energy gathered. In this paper, we suggest advanced solar energy harvesting model considering angular loss (solar cell panel), overheat loss (solar cell), rechargeable battery heat and cooling for each monthly properties. From our experimental results according to outdoor temperature, panel angle and the surface temperature of solar panel, we show these impact factors are correctly configured.

Keywords : Wireless Sensor Network, Solar cell, Energy harvesting, Energy Prediction

I. 서론

무선 센서 네트워크는 근거리 무선통신 장치를 이용하고 배터리로 동작하며 다양한 분야에서 유용하게 사용된다. 일반적으로 무선 센서 네트워크는 수백에서 수천만 개의 노드들을 이용하며 산, 숲, 도로, 건물 등 사람의 손이 닿기 어려운 곳에 배치된다. 이러한 이유로 배터리 방전 시 교체 및 충전이 쉽지 않으므로 한 개의 배터리로 최소 몇 년 이

상 동작할 수 있어야 한다. 즉 배터리의 수명이 그 센서네트워크의 수명을 좌우한다고 할 수 있다.

이러한 배경으로 무선 센서 네트워크에서 신재생 에너지를 사용하여 수명을 연장하려는 연구가 진행되어 왔다. 특히 태양 에너지는 매일 사용할 수 있고 에너지의 밀도가 다른 에너지원들 보다 높아 많이 이용되고 있다[1-4]. 하지만 태양 에너지를 사용할 때에는 태양으로 부터의 일사량이 끊임없이 변하고 또한 태양의 이동 때문에 각도 및 과열과 결빙 손실, 오염 등에 의한 손실들이 발생한다. 이러한 손실들은 태양 에너지를 기반으로 하는 무선 센서 노드를 설계할 때 센서 노드의 수명을 예측하기 위해서 고려되어야 할 요인들이다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서의 기존의 태양 에너지 하베스팅 모델의 고려되지 않은 부분들을 고려하여

* 동원엔지니어링 R&D 센터

** 금오공과대학교

투고 일자 : 2013. 2. 13 수정완료일자 : 2013. 4. 15

게재확정일자 : 2013. 4. 30

※이 연구는 2010년도 금오공과대학교학술연구비에 의하여 지원된 논문임. (과제번호: 2010-104-123)

개선된 태양에너지 하베스팅 모델을 제안하였다.

본 논문 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 에너지 예측 모델에 대해 간략히 설명한다. 3장에서는 무선 센서 노드 기반 태양 에너지 하베스팅 기술에 영향력 계수들과 개선된 에너지 예측 모델을 제시한다. 4장에서는 실험을 통해 각각 손실에 대해 검증하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 연구

Carlo Bergonzini 등은 그들의 연구에서 태양광 에너지를 이용한 시스템의 에너지 수집량 예측 알고리즘을 소개하였으며 기존의 WCMA (Weather Conditioned Moving Average) 알고리즘을 개선하였다. 개선된 알고리즘은 에너지 비용을 9.2 % 이하로 감소시키고 평균 오류를 PDR (Phase Displacement Regulator)을 사용하여 감소시켰다. 또한 논문에서 제안된 새로운 알고리즘을 다른 알고리즘들과 비교하였다[5].

논문 [6]에서는 태양 에너지 기반 센서 시스템을 위한 효율적인 에너지 관리 기법을 제시하였다. 시간 슬롯 단위의 수집 가능 에너지량에 대한 기댓값 모델을 기반으로 각 시간 슬롯에 할당되는 에너지의 변화를 최소화함과 동시에 주기적으로 수집되는 태양 에너지를 최대한 활용하기 위한 에너지 할당 기법을 제안하였다.

Vishal Prajapati는 태양광 에너지 기반 무선 센서 노드의 에너지를 예측하는 모델을 제시하였으며 예측 시 날씨의 영향을 고려하였다[7]. 위와 같은 연구들은 장기적인 예측에 관한 연구는 아니며 또한 예측 모델에서 계절별, 월별 특성이 고려되지 않은 연구이다.

그러나 Daniela Kruger 등의 연구에서는 태양전지 패널에 수집된 에너지량과 월별 배터리의 잔여량을 예측하는 모델이 소개되었다. 또한 에너지를 예측할 때 영향을 주는 요소들인 각도손실, 현지 일사량, 배터리의 발열, 결빙손실 등도 고려되었다. 월별 수집된 태양에너지 수집량의 예측은 식 (1)에 의해 계산된다[8].

$$E_{solar}(M) = (1 - L(M))e_{el}e_{panel}AaR(M) \tag{1}$$

- $L(M)$ - 월별 배터리 과열 결빙
- e_{el} - 전기 손실
- e_{panel} - 태양전지 패널의 효율
- A - 태양전지 면적
- a - 각도 손실
- $R(M)$ - 월별 일사량

그러나 식 (1)에서는 태양전지 패널의 발열에 따른 손실과 월별 각도 손실을 고려하지 않았다는 문제점이 있다. 3장에서는 이러한 요소들을 고려한 개선된 태양 에너지 하베스팅 모델을 제안한다.

III. 영향력 계수 및 에너지 예측

3.1 개선된 영향력 계수

본 논문에서는 기존의 연구들을 적용하고 개선된 태양 에너지 하베스팅 모델을 제시한다. 표 1에서 기존의 연구들과 제안 모델은 태양 에너지 하베스팅 모델을 설계하기 위해 (보정)고려해야 할 사항들을 적용한 것을 나타냈다.

- 기존의 연구 (A)는 태양 에너지 기반 무선 센서 노드를 위한 에너지 예측 모델을 설계했으며 표 1에 나타난 바와 같이 태양전지 패널의 발열 손실을 고려하지 않았다. 또한, 각도 손실을 고려했지만 월별 구분 없이 고정된 값으로 계산한 부족한 점이 있었다[8].
- 기존의 연구 (B)에서는 무선 센서 노드를 위한 에너지 하베스팅 기술을 연구했다. 태양전지 패널이 태양광선과 90° 일 때 가장 효율이 좋다 이러한 점에서 태양전지 패널의 경사각을 월별로 계산했다. 하지만 태양전지 패널의 발열 손실과 배터리의 과열 결빙 손실 등을 언급하지 않았다[9].
- 기존의 연구 (C)는 태양광발전 시스템에서 사용되는 식을 활용하여 태양전지 패널의 발열 손실을 계산하는 식을 구하였으며 3.1.3절에서 제시한다[10][11].
- 제안 모델은 기존의 연구(A)에서 언급되지 않은 부분들을 고려하여 개선된 태양 에너지 하베스팅 모델을 제안하였으며 기존의 연구 (A)를 기반으로 하였다.

표 1. 기존의 연구와 제안 모델의 비교.

Table 1. Comparison of previous research and proposed model.

Impact factors	기존 연구 (A)	기존 연구 (B)	기존 연구 (C)	제안 모델
현지 월별 일사량- $R(M)$	✓	✓	✗	✓
각도 손실- a	✗	✓	✗	✓
태양전지 패널의 발열 손실- $e_{heat}(M)$	✗	✗	✓	✓
배터리의 과열/결빙 손실- $L(M)$	✓	✗	✗	✓

3.1.1 현지 일사량

태양에서 수집된 태양 에너지량과 에너지 예측 모델에 영향을 주는 요소들 중의 하나는 현지 일사량이다. 일사량은 태양광선에 직각으로 놓은 1cm²의 넓이에 1분 동안의 복사량으로 측정된다. 본 연구에서는 대구지역의 1971년부터 2000년 까지의 30년간의 월별 평균 일사량 자료를 사용하였으며 표 2에 나타내었다[12].

표 2. 대구지역의 월별 일사량 R(M) [mWh/cm^2].

Table 2. Average monthly solar radiation for Deagu R(M) [mWh/cm^2].

Month	R(M)	Month	R(M)
January	7164.24	July	12563.26
February	8267.54	August	12330.76
March	11254.40	September	10624.70
April	13657.95	October	9902.50
May	15387.62	November	7041.47
June	13632.95	December	6488.98

3.1.2 태양전지 경사각도 및 각도 손실

태양전지의 출력은 계절, 각도, 시간, 조도에 따라 지속적으로 변화된다. 그래서 월별 수집된 태양 에너지 수집량을 실제와 가깝게 예측하기 위해서 월별 각도 손실을 계산해야 한다.

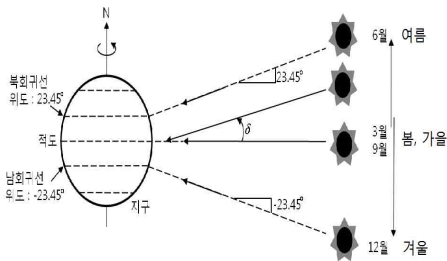


그림 1. 계절별 태양의 적위
Fig. 1. Seasonal solar declination

그림 1에서 적위(δ)는 지구의 중심축과 태양의 중심축으로부터 일직선으로 생기는 광선과 지구의 적도면 사이에 형성된 각을 나타내며 태양의 고도를 계산하기 위해서는 적위를 알아야 한다. 하지점인 6월 21일에 태양은 가장 높은 지점에 도달하고, 적위는 23.45° 가 된다. 반대로 12월 21일의 적위는 -23.45° 가 된다. 태양의 고도각 B_n 과 태양전지패널의 설치 경사각도 θ 는 식(2)와 식(3)과 같다. 태양의 적위에 따라 생기는 각도 손실을 식(4)와 같이 구할 수 있다.

$$B_n = 90^\circ - L + \delta \tag{2}$$

$$\theta = 180^\circ - 90^\circ - B_n \tag{3}$$

L 은 현지위도 (대구시), δ 는 태양의 적위이며 지면을 180° 로 하고 태양전지 패널의 설치 경사 각도를 구할 수 있다[9]. 식(4)은 본 연구에서 사용할 각도 손실이며 표 3에서는 월별로 나타냈다.

$$a(M) = 1 - \frac{|\delta|}{100\%} \tag{4}$$

표 3. 매달 개선된 각도 손실 및 태양전지 패널의 설치 경사각.

Table 3. Monthly computed angular loss and tilt angle of solar panel

Month	L	(δ)	B_n	θ	$a(M)$	a
January	35.87	-20.1	34.03	55.97	0.80	0.7
February	35.87	-11.2	42.93	47.07	0.89	0.7
March	35.87	0	54.13	35.87	1.00	0.7
April	35.87	11.6	65.73	24.27	0.88	0.7
May	35.87	20.1	74.23	15.77	0.80	0.7
June	35.87	23.4	77.23	12.47	0.77	0.7
July	35.87	20.4	74.53	15.47	0.80	0.7
August	35.87	11.8	65.93	24.07	0.88	0.7
September	35.87	0	54.13	35.87	1.00	0.7
October	35.87	-11.8	42.13	47.67	0.88	0.7
November	35.87	-20.4	33.73	56.27	0.79	0.7
December	35.87	-23.4	30.73	59.27	0.77	0.7

3.1.3 태양전지 발열 손실

기존의 연구에서 보정되지 않은 부분 중 하나는 태양전지 패널의 발열 손실이다. 태양광 발전에 사용되는 실리콘 결정질계의 효율은 16~22%를 나타내고 있지만 실제 현장에서는 발열 손실 때문에 훨씬 낮은 효율을 보이고 있다 [13][14]. 태양전지의 소자는 온도와 일사량의 영향 때문에 특히 여름에 발열 손실이 많이 생긴다. 태양전지 발열 손실은 일사량과 기온에 따라 계속 변하기 때문에 월별 혹은 년별 예측이 어렵다. 그러나 해당 환경의 외부 온도와 태양광 강도에 따라 계산 가능하다.

본 절에서는 태양광발전 시스템에서 사용되는 식을 활용하여 태양전지 패널의 발열 손실을 계산하는 식을 구하였다. 태양전지 발열 손실은 $e_{heat}(M)$ 로 표시했으며 $e_{heat}(M)$ 의 값은 0과 1 사이의 값이며 1에 가까울수록 태양전지 패널의 발열 손실이 적으며 0에 가까울수록 발열 손실이 많다. 태양전지 패널의 온도의 계산식은 다음과 같다[10][11].

$$T_{Cell} = T_{ambient} + \frac{(T_{NOCT} - 20)}{800} \cdot S \tag{5}$$

$T_{ambient}$ - 외부온도 [$^\circ C$]

T_{Cell} - 태양전지 패널의 온도 [$^\circ C$]

S - 패널의 태양 일사 [W/m^2]

T_{NOCT} - 공칭 태양전지 동작 온도(NOCT)

여기서 NOCT(Nominal Operating Cell Temperature)는 태양사로 정오의 일사 $800W/m^2$, 외부온도 $20^\circ C$, 풍속 $1m/s$ 인 기준 조건일 때 모듈을 이루는 태양전지의 동작 온도이다. 즉, 모듈이 표준기준환경(Standard Reference Environment, SRE)에 있는 조건에서 전기적으로 회로 개방 상태를 나타낸다. T_{NOCT} 는 태양전지의 모양 및 재료에 따라 $5^\circ C$ 에서 $10^\circ C$ 사이의 값을 가진다.

태양전지 패널 발열 손실은 식(6)과 같다.

$$e_{heat}(M) = \frac{S}{1000} \times [1 - \lambda \frac{(T_{Cell} - 25)}{100}] \quad (6)$$

발열 손실 계산 시 표준시험조건(STC)을 기준으로 하였다. 표준시험조건이란 태양광발전 시스템의 성능을 시험할 때 기준이 되는 국제적인 표준으로 질량 정수(AM) 1.5의 지역을 기준으로 하며 다음은 빛의 일사는 1,000[W/m²]를 기준으로 하고 마지막으로 모든 시험의 기준 온도는 25°C로 해야 한다는 조건이다. 또한 위 식에서 λ는 최대전력 온도계수이며 결정질 실리콘 태양전지의 특성에 따라 -0.5%/°C로 두었다.

3.1.4 배터리의 과열/결빙 손실

이차전지는 온도변화에 민감하여 특히 추위와 고열 상황에서 충전 효율이 감소되는 특성이 있는데 그 데이터는 표 4과 같다[16].

표 4. 이차전지의 월별 온도 변화에 따라 생기는 손실 L(M).

Table 4. Assumed energy loss due to temperature exceedance L(M).

Month	L(M)[%]	Month	L(M)[%]
January	25	July	25
February	10	August	10
March	0	September	0
April	0	October	0
May	10	November	0
June	25	December	10

3.2 에너지 예측 모델

본 절에서는 태양 에너지 하베스팅 모델을 이용하여 수집되는 태양광 에너지의 양을 예측한다. 3.1절에서 언급한 요소와 표 5의 파라미터 값을 사용하여 설계한 모델은 식 (7)와 같으며 이것은 일년동안 태양에서 수집된 에너지량이다.

표 5. 태양전지 기반 센서노드의 파라미터
Table 5. Solar powered wireless sensor node's parameters

	Description	Symbol	Value	Unit
1.	Battery Capacity	C	6549	mWh
2.	Panel Size	A	114.5	cm ²
3.	Panel Efficiency	e _{panel}	0.07	
4.	Electrical loss	e _{el}	0.7	
5.	Duty cycle	d	0.23	
6.	Sleeping node power dissipation	P _{sleep}	0.165	mW
7.	Maximum node power dissipation	P _{running}	148.5	mW
8.	Average node power dissipation	P _{node}	26.72	mW
9.	Starting month	t _{start}	4	

$$E'_{solar}(M) = (1 - L(M))e_{el}e_{panel}e_{heat}(M)Aa(M)R(M) \quad (7)$$

L(M)은 월별 과열/결빙 손실이며 a(M)은 월별 각도 손실, R(M)은 대구시의 월평균 일사량이다.

월별 소비된 에너지량을 얻기 위해서는 센서 노드의 전력소비와 통신주기를 알아야 한다. 무선 센서 노드가 동작하는 Active mode에서 전력소비는 P_{running} 이고 동작하지 않는 Sleep mode에서의 전력소비를 P_{sleep} 이라고 표시하면 각 노드의 전체 전력 소비 P_{node}는 다음과 같다.

$$P_{node} = dP_{running} + (1 - d)P_{sleep} \quad d \in [0.0; 0.1] \quad (8)$$

월별 노드에 의해 소비된 에너지(E_{diss}(M))는 다음과 같이 구한다. 여기서 DiM(M)은 월별 일수(28일~31일)이다.

$$E_{diss}(M) = P_{node} \cdot 24 \cdot DiM(M) \quad (9)$$

위의 식들을 활용하여 매월 말에 남은 에너지량은 식 (10)과 같이 계산되며 E(0)는 초기 배터리 충전(전력)양이다[8].

$$E(t) = \min\{C, E(t-1) + E_{solar}(M(t)) - E_{diss}(M(t))\} \quad (10)$$

본 연구에서는 일년동안의 무선 센서 노드의 에너지 수집량을 계산 하였으며 에너지 수집을 처음 실행 하는 월에 따라 M(t)의 값이 달라진다.

$$M(t) = ((t - 2 + t_{st}) \bmod 12) + 1 \quad t_{st} \in 1, \dots, 12 \quad (11)$$

t는 시스템 시작 후 개월 차를 나타내고 t_{st}는 시작 개월이다. 예를 들어, 시작월이 4월이고 8개월차(t=8)이면 11월(M(t)=11)이 된다.

이를 기준으로 계산된 에너지량은 표 6과 같다. 표 6에서 노드에 의해 소비된 에너지는 일정하지만 월별로는 해당 월의 일수 때문에 달라진다. 그리고 12월과 1월에는 이차 전지의 전력이 소모되었다. 이는 겨울철 일사량이 부족해서 태양에서 수집된 에너지가 센서 노드가 사용한 에너지 보다 적기 때문이다.

표 6. 기존의 연구(A)와 제안 모델의 수집되는 태양 에너지량의 비교

Table 6. Comparison of previous research E_{solar}(M) and proposed research E'_{solar}(M)

t	M(t)	E(t) [mWh]	제안 모델 E' _{solar} (M) [mWh]	기존 연구(A) E _{solar} (M) [mWh]	E _{diss} (M) [mWh]
0		6549			
1.	April(04)	6549	67739.09	40229.66	25264.8
2.	May(05)	6549	62081.52	45324.43	26106.96
3.	June(06)	6549	43942.16	40156.02	25264.8
4.	July(07)	6549	42143.68	37005.24	26106.96
5.	August(08)	6549	54991.17	36320.41	26106.96
6.	September(09)	6549	59538.35	31295.19	25264.8
7.	October(10)	6549	48935.47	29167.94	26106.96
8.	November(11)	6549	31399.5	20740.74	25264.8
9.	December(12)	5482	25039.96	19098.64	26106.96
10.	January(1)	3462	24086.83	21102.36	26106.96
11.	February(02)	6549	37070.92	24352.14	23580.48
12.	March(03)	6549	63142.81	33149.98	26106.96

무선 센서 노드가 하루에 소비하는 에너지의 양은

Ediss(D)=842.16mW 이며, 1월달에 배터리에 남은 에너지량은 E(10)=3462mWh 이다. 배터리에 남은 에너지량 E(10)을 무선 센서 노드의 1일 소비 에너지량 Ediss(D)로 나누면 그 값은 98시간이고 4일 11(98시간)시간이 된다. 이것은 대략 4일의 부조일수(태양이 비치지 않은 날의 수)동안 센서 노드가 동작할 수 있음을 나타낸다. 태양 에너지 기반 무선 센서 노드의 배터리 선정 시 부조일수는 고려되어야 할 사항 중 하나이며 보통 3-7일 정도로 두고 계산을 한다. 본 연구에서 부조일수는 4일 11시간으로 계산되었다.

IV. 실험 및 실험 결과

4.1 실험 환경 구축

본 장에서는 태양전지 패널에 의해 수집되는 에너지량에 영향을 주는 태양전지 패널의 설치각도, 태양전지 패널의 발열에 따른 출력 변화를 모의실험을 통하여 분석한다. 모의실험은 (주)한백전자 기술 연구소에서 개발된 신재생 에너지 종합 실습장비 HBE-Green-Energy를 사용하여 실내에서 진행하였다.

4.2 태양전지 패널의 각도에 따른 생산 전압

이 실험은 패널의 각도 변화가 에너지 생산량에 미치는 영향을 확인한다. HBE-Green-Energy 실습장비에 설치되어 있는 태양전지 패널의 각도를 1초마다 1.8도 씩 90도 까지 변화시켜 가며 생산 전압의 순간 값을 측정하였다. 이때 인공 태양의 밝기는 최대치로 하였다.

그림 3에서는 각도 변화에 따른 태양전지 패널의 생산 전압의 변화를 볼 수 있다. 태양전지 패널의 각도를 1.8도에서 90도 까지 변화시킬 경우에 생산 전압이 5.79V에서 8.13V 까지 증가하였으며 태양전지 패널과 태양광선의 각도가 90도일 때 효율이 가장 높다는 것을 알 수 있다.

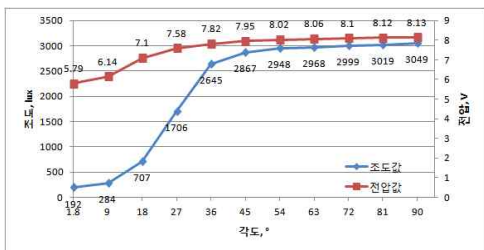


그림 2. 각도에 따른 생산전압 변화
Fig. 2. Change of the voltage depends on the angle.

4.3 기온에 따른 생산 전압

본 절에서는 주변 온도의 변화에 따른 생산전압의 변화를 측정해보았다. 본 실험에서는 TH-ME-025 항온항습기, 적외선 온도계, HBE-Green-Energy, 태양광 모듈을 사용하여 실험을 진행하였다. 먼저 항온항습기를 이용하여 대구시 월별 평균 최고온도를 유지할 수 있는 인공 환경을 구성하고 태양전지 패널을 항온항습기에 넣어 태양전지 패널의 표면온도가 항온항습기에서 조절한 온도와 같은 값이 되는

순간 값을 측정하였다. 온도의 측정은 적외선 온도계를 사용하여 측정하였고 태양광 모듈의 인공 태양의 밝기는 최대치로 하였다. 기온에 따른 생산전압 변화는 다음과 같다.

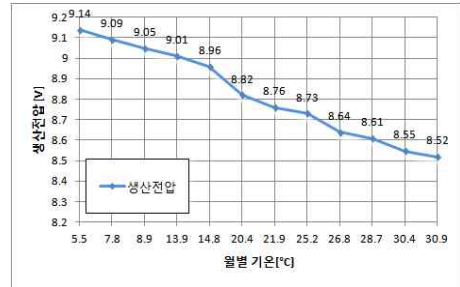


그림 3. 기온에 따른 생산전압 변화
Fig. 3. Change of the voltage depends on the weather.

그림 3에 1월 대구시 최고온도는 5.5°C 로 1년 중 가장 낮으며 이 때 생산전압은 9.14V로 가장 높은 전압 출력을 나타내었다. 반면 8월에는 30.9°C로 온도가 가장 높으며 생산전압은 8.52V로 가장 낮은 전압 출력을 보인다. 본 실험에서 관측된 결과로 외부 온도 올라 갈수록 태양전지 패널의 전기적 출력이 감소한다는 것을 알 수 있다.

4.4 태양전지 패널의 표면온도에 따른 생산 전압

4.4절에서는 태양전지 패널의 표면 온도에 따른 생산전압 특성을 분석하였으며 실험에 사용한 장비와 실험 방법은 4.3절의 실험 방법과 같이 진행하였다. 표면온도를 5°C 간격으로 0°C에서 70°C 까지 증가시키고 측정하였다. 측정값은 그림 5에 나타내었으며 표면온도가 0°C 일 때 생산되는 전압 값이 9.24V로 가장 많았으며 70°C 될 때 7.2V(2.04V 하강) 까지 감소하였다. 보통 여름철 외부온도가 대략 30°C 일 때 태양전지 패널 온도는 약 50°C-70°C 까지 상승한다. 따라서 패널의 발열 손실을 고려한 하베스팅 모델을 사용할 경우 더욱 정확한 예측이 가능하다.

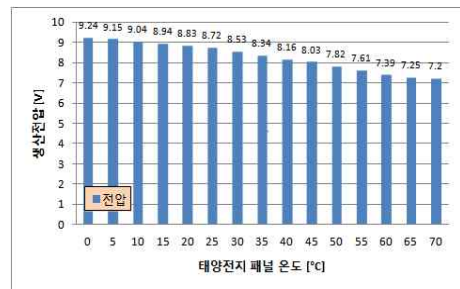


그림 4. 표면온도에 따른 생산전압 변화
Fig. 4. Change of the voltage depends on the surface temperature on the solar panel.

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 기존의 에너지 하베스팅 논문에서 부분적으로 고려했던 성능 인자들을 모두 고려하여 보다 개선된 태양 에너지 하베스팅 모델을 설계하였다. 이 모델은 월별

일사량, 각도 손실, 패널 발열, 이차 전지 과열/냉각 등의 요소를 모두 적용한 하베스팅 모델이다. 이를 검증하기 위한 첫 단계로서 모의실험을 통하여 태양광 패널의 각도, 패널의 표면 온도, 외부 기온에 따른 생산 전압의 변화량을 파악하였다. 이는 에너지 모델을 검증하고 보완하기 위해 필요한 기초적인 데이터로서, 모델의 상수 값과 가중치를 결정하는데 꼭 필요한 요소이다.

향후 과제로는 성능 인자들을 복합적으로 구성했을 때의 에너지 양의 변화를 측정하고, 실제 외부 환경에서 충분한 시간동안 측정 데이터를 수집함으로써 실제 구축될 환경에 더 가깝도록 모델을 보정하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] 박재복, 조현우, 우덕균, 임채덕, 김형신, “센서네트워크 노드의 전력모델 개발”, 한국정보과학회 논문집, Vol. 33, pp.169-171, 2006.

[2] Giuseppe Anastasi, Mario Di Francesco, Marco Conti, and Andrea Passarella, How to Prolong the Lifetime of Wireless Sensor Network (Chapter 6 in Mobile Ad Hoc and Pervasive Communications), CRC Press, January 2013.

[3] Ren-Guey Lee, Kuei-Chien, Shao-Shan Chiang, Chien-Chih Lai, HsinSheng Liu, and Ming-Shyan Wei, “A Backup Routing with Wireless Sensor Network for Bridge Monitoring System”, Elsevier Measurement, Vol. 40, Issue 1, pp.55-83, January 2007.

[4] Geoffrey Werner-Akke, Konrad Lorincz, Matt Welsh, Omar Marcillo, Jeff Johnson, Mario Ruiz, and Jonathan Lees, “Deploying a Wireless Sensor Network on an Active Volcano”, IEEE Internet Computing, Vol. 10, Issue 2, pp.18-25. April 2006.

[5] Carlo Bergonzini, Davide Brunelli, Luca Benini, “Comparison of energy intake prediction algorithms for systems powered by photovoltaic harvesters” Elsevier Microelectronics Journal, Vol. 41, Issue 11, pp.766-777, November 2010.

[6] 노동건, 윤익준, “태양 에너지 기반 센서 시스템을 위한 효율적인 에너지 관리 기법”, Vol.15, No.7, pp.478-488, 2009.7.

[7] Vishal Prajapati, “Efficient Prediction Model for Solar Power Harvesting Sensor Nodes”, Master thesis of Indian Institute of Technology, 2010.

[8] Daniela Kruger, Carsten Buschmann, and Stefan Fischer, “Solar Powered Sensor Network Design and Experimentation”, Proceeding of IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems, pp. 11-15, September 2009.

[9] 이원미, “무선 센서노드의 전원공급을 위한 에너지 하베스팅 기술 연구”, 대구대학교 대학원 석사학위논문, 2010.

[10] <http://www.posharp.com/photovoltaic/panefficiency/database.aspx>

[11] <http://pvcdrom.pveducation.org/MODULE/NOCT.htm>

[12] <http://blog.daum.net/6332park/4764534>

[13] Edson L. Meyer and E. and Ernest Vandyk, “Assessing the Reliability and Degradation of Photovoltaic Module Performance parameters”, IEEE Trans. on Reliability, Vol. 53. No. 1, pp. 83-92, 2004.

[14] 이효진, 전중환, “상변환물질을 활용한 태양광 패널 표면온도 제어효과 및 최적화 시스템”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.30, No.2, pp.10-15, 2010.4.



나양타이 불간바트 (Bulganbat Nayantai)

2005년 2월 몽골과학기술대학 전력공학과 (공학사)

2012년 8월 금오공과대학교 제어임베디드 공학과(공학석사)

2013년 2월~현재 동원에너지니어링 R&D 센터 연구원

※주관심분야 : 무선센서네트워크, 에너지 하베스팅 기술



공 인 엽 (In-yeup Kong)

正會員

1996년-2000년 부산대학교 컴퓨터공학과 (공학사)

2000년-2007년 부산대학교 컴퓨터공학과 (공학석사, 공학박사)

2008년 9월~ 현재 금오공과대학교 조교수

※주관심분야 : 무선센서네트워크, 임베디드시스템