
태양 에너지 기반 무선 센서 노드를 위한 에너지 예측 모델의 설계

나양타이 불간바트 · 공인엽

금오공과대학교

Design of Energy Prediction Model for Solar-Powered Wireless Sensor Nodes

Bulganbat Nayantai · In-Yeup Kong

Kumoh National Institute of Technology

E-mail : bulgaa_19@yahoo.com

요 약

무선 센서 네트워크를 이용한 응용들 중 특히 환경 모니터링을 위해 대량으로 배치된 센서 노드들은 배터리 교체가 어렵고 교체시에 비용이 많이 드는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해서는 무선 센서 네트워크 주위에 존재하는 신재생 에너지를 이용할 필요가 있다. 신재생 에너지들 중 태양 에너지는 매일 사용할 수 있고 에너지의 밀도가 다른 에너지원들 보다 높아 많이 이용되고 있다. 이에 본 논문은 태양 에너지를 충전하여 지속적으로 동작할 수 있는 무선 센서 노드의 에너지 충전 및 방전 특성을 모델링하여 무선 센서 노드의 에너지 활용 형태를 예측할 수 있는 이론적 모델을 제안한다. 개선된 모델에 의해 예측된 결과와 실제 무선 센서 노드의 에너지 활용 패턴을 비교 분석함으로써 실제와 유사하게 모델링할 수 있다.

ABSTRACT

Distributed sensor nodes for environmental monitoring, have a problem of difficult and expensive battery change. In this case, renewable energy such as solar energy is helpful. We can use high-quality solar energy everyday. In this paper, we model photovoltaic energy prediction model for sensor nodes, which includes charge and discharge characteristics as well as seasonal and monthly characteristics of the solar energy. Our model is useful to predict energy consumption of solar-powered sensor nodes realistically using real world use data of the nodes.

키워드

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

1. 서 론

무선 센서 네트워크에서 가장 문제시되는 부분이 센서노드의 전원문제이며 이에 대한 해결책으로 유휴에너지 수집 기술을 제시할 수 있다. 유휴에너지 수집 기술은 주위 환경으로부터 버려지는 에너지를 모아 전기에너지로 변환시켜 저장하고, 저장된 에너지는 센서노드를 구동하기 위해 사용한다. 우리가 사용할 수 있는 유휴에너지는 빛, 열, 진동, 바람, 압력, 전파, 조수 등이 있다.

현재 가장 대표적인 빛 에너지는 태양광 에너지이다[1]. 태양광을 이용한 에너지 하베스팅 시스템은 태양광 에너지를 전기 에너지로 변환하는 태양전지, 변환된 전기 에너지를 저장하는 이차전지인 리튬폴리머 배터리와 과충전 방지회로가 포함된 파워매니지먼트 장치와 무선 센서노드로 구성된다. 그림 1은 태양전지를 이용한 에너지 하베스팅 시스템의 구성도이다.

본 논문에서는 에너지 하베스팅 기술을 사용하는 태양 에너지 기반 무선 센서 노드를 위한 개선된 에너지 예측 모델을 제시한다.

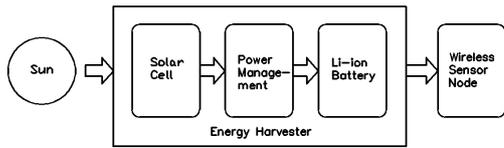


그림 1. 에너지 하베스팅 시스템 구성도

II. 제안하는 에너지 예측 모델

본 장에서는 태양 에너지 기반 무선 센서 노드를 위한 에너지를 현실에 가깝게 예측하기 위해 기존의 연구들을 적용하고 개선된 예측 모델을 제안한다.

표 1. 기존의 연구와 제안 모델 비교

Impact Factors	기존 연구 (A)	기존 연구 (B)	기존 연구 (C)	제안 모델
R(M) 월별 일사량	R(M)	X	R(M)	R(M)
a 각도 손실	a	X	a'	a(M) 개선됨
E_{heat} 태양전지 패널 발열 손실	X	E_{heat}	X	E_{heat} 개선됨
L(M) 배터리의 과열/결빙 손실	X	X	L(M)	L(M)

기존 모델과 본 연구내용을 비교하면 표 1과 같다. 표 1에 나타난 4가지 요소들은 태양광 기반의 에너지 예측 모델을 설계하기 위해 고려해야 할 사항들이며 상세히 설명하면 다음과 같다.

표 2. 대구지역의 월별 일사량 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

2.1 현지 일사량

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

2.2 각도 손실

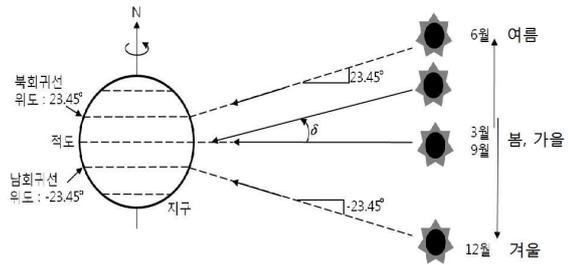


그림 2. 계절별 태양의 적위

표 3. 계산된 월별 태양의 적위, 대구시 위도, 고도각, 각도 손실

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

태양전지의 출력은 계절, 각도, 시간, 조도에 따라 지속적으로 변화된다. 그래서 태양전지모듈을 설치할 때 고려할 사항 중에서 중요한 것이 방향과 경사각도이며 태양전지모듈이 태양광선과 90° 일 때 가장 효율이 좋다.

그림 2에서 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 태양전지모듈의 설치 경사각도 θ 는 식 1과 식 2와 같다.

$$B_n = 90^\circ - L + \delta \tag{1}$$

$$\theta = 180^\circ - 90^\circ - B_n \tag{2}$$

L은 현지위도 (대구시), δ 는 태양의 적위이며 지면을 180°로 하고 태양전지모듈의 설치 경사각도를 구할 수 있다[2]. 식 3은 본 연구에서 제안한 각도 손실이며 표 3에서는 월별로 나타냈다.

$$a(M) = 1 - \frac{|\delta|}{100\%} \tag{3}$$

2.3 태양전지 패널의 발열 손실

태양광 발전에 사용되는 실리콘 결정질계의 효율은 16~22%를 나타내고 있다. 실제 현장에서는 훨씬 낮은 효율을 보이고 있는데 이러한 효율 저하는 다양한 외적인 요소들이 있으나 상당 부분이 패널의 표면 온도가 크게 상승하는데 기인하는 것으로 알려져 있다[3].

그림 3에서는 외기 온도(Outdoor Temp)와 태양전지 패널온도(Single Panel) 값을 보여주고 있다[4].

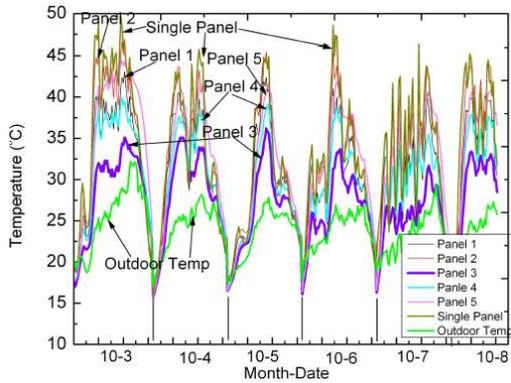


그림 3. 외기온도변화와 태양전지 패널의 표면온도 변화

표 4. 태양전지 패널의 월별 발열 손실

Month	대구시 최고온도	패널 온도	발열 손실 (e_{heat})
January	5.5	0	1
February	8.9	0	1
March	13.9	0	1
April	20.4	37.4	0.95
May	25.2	42.2	0.88
June	28.7	45.7	0.87
July	30.4	47.4	0.87
August	30.9	47.9	0.86
September	26.8	43.8	0.91
October	21.9	38.9	0.93
November	14.8	0	1
December	7.8	0	1

그림 3에서 보는 바와 같이 태양 전지 패널의 온도는 외기 온도에 비해 대략 16°C~17°C 높다는 것을 알 수 있다. 이를 기준으로 추산한 패널 온도는 표 4와 같다.

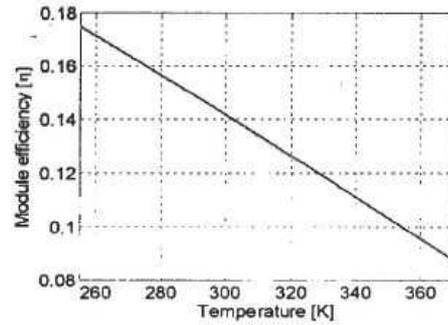


그림 4. 온도에 따른 태양전지 모듈의 효율

그리고 그림 4는 대전·충남 소재 대학의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로 태양광 모듈 온도의 증가에 따라 효율이 감소하는 특성을 나타내고 있다[5]. 그림 4의 데이터를 참조하면 표 4의 발열 손실 부분을 계산할 수 있다.

2.4 배터리의 과열/결빙 손실

이차전지는 온도변화에 민감하여 특히 추위와 고열 상황에서 충전 효율이 감소되는 특성이 있는데 그 데이터는 표 5와 같다.

표 5. 이차전지의 월별 온도 변화에 따라 생기는 손실 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

III. 에너지 예측

2장에서 언급한 요소와 표 6의 설정값을 사용하여 설계한 모델은 식 4와 같으며 이는 일년간 태양에서 수집된 에너지양이다.

$$E_{solar}(M) = (1 - L(M))e_{el}e_{panel}e_{heat}Aa(M)R(M) \quad (4)$$

표 6. 센서노드의 파라미터

	Description	Symbol	Value	Unit
1.	Battery Capacity	C	6660	mWh
2.	Panel Size	A	114.5	cm ²
3.	Panel Efficiency	ϵ_{panel}	0.08	
4.	Electrical loss	e_{el}	0.7	
5.	Duty cycle	d	0.179	
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	

표 7. 월별 에너지의 예측된 값

t	M(t)	E(t) [mWh]	E_{star} [mWh]	E_{diss} [mWh]
0		6660		
1.	April(04)	6660	64352.13	19238.4
2.	May(05)	6660	54631.73	19879.68
3.	June(06)	6660	38229.68	19238.4
4.	July(07)	6660	36665	19879.68
5.	August(08)	6660	47292.41	19879.68
6.	September(09)	6660	54179.9	19238.4
7.	October(10)	6660	45509.98	19879.68
8.	November(11)	6660	31399.5	19238.4
9.	December(12)	5160	25039.96	19879.68
10.	January(1)	4207	24086.83	19879.68
11.	February(02)	6660	37070.92	17955.84
12.	March(03)	6660	63142.81	19879.68

$L(M)$ 은 월별의 과열/결빙 손실이고, $a(M)$ 은 월별의 각도 손실, $R(M)$ 은 구미시의 월평균 일사량이다. 월별 소비된 에너지량을 얻기 위해서 센서 노드의 전력소비와 통신주기를 알아야 한다.

zigbeX 센서 노드가 동작하는 Active mode에서 전력소비는 $P_{running}$ 이고 동작하지 않는 Sleep mode는 P_{sleep} 이라고 표시하면 각 노드의 전력 소비량 P_{node} 는 다음과 같다.

$$P_{node} = dP_{running} + (1-d)P_{sleep}, d \in [0.0;1.0] \quad (5)$$

월별 노드의 소비된 에너지($E_{diss}(M)$)는 다음과 같이 구한다. 여기서 $DiM(M)$ 은 월별 날짜수(28일~31일)이다.

$$E_{diss}(M) = P_{node} 24 DiM(M) \quad (6)$$

위의 식들을 활용하여 매월 말에 남은 에너지량은 식 7과 같이 계산되는데 $E(0)$ 는 초기 배터리 충전(전력)양이다[6].

$$E(t) = \min\{C, E(t-1) + E_{solar}(M(t)) - E_{diss}(M(t))\} \quad (7)$$

여기서 $M(t)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$M(t) = ((t-2+t_{st}) \bmod 12) + 1, (1 \leq t_{st} \leq 12) \quad (8)$$

t 는 시스템 시작 후 개월차를 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 7과 같다. 표 7에서 센서노드의 전력 소모는 매월 비슷한 값을 보인다. 그리고 12월과 1월에 이차 전지의 전력이 소모되었고 이는 태양에서 수집된 에너지가 센서노드가 사용한 에너지 보다 작기 때문이다.

IV. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 태양 에너지 기반 무선 센서 노드를 위한 에너지 예측 모델을 설계하였다. 기존 연구에서는 에너지 예측시에 월별 일사량, 각도 손실, 패널 발열, 이차 전지 과열 등의 요소 중에서 일부만 고려하였으나 본 논문에서는 모든 요소에 대하여 계절 특성뿐만 아니라 월별 데이터를 고려하였다.

향후과제로는 설계된 에너지 예측 모델의 실험을 통한 검증과 기존의 예측 모델들과의 비교 및 분석이 있다.

참고문헌

- [1] 이원미, "무선 센서노드의 전원공급을 위한 에너지 하베스팅 기술 연구" 대구 대학교 대학원 석사학위논문, 2010.
- [2] 김일, 태양위치추적시스템을 통한 고효율 태양광 발전시스템의 구현, 부산대학교 대학원 석사 학위논문, 2009.
- [3] Ingesoll, J.G., Simplified Calculation of Solar Cell Temperatures in terrestrial Photovoltaic Arrays, ASME J. Solar Energy Eng.108, pp95~101, 1986.
- [4] 이효진외, 상변환물질을 활용한 태양광 패널 표면온도 제어효과 및 최적화 시스템, 한국태양에너지학회 논문집, 2010.
- [5] 박지홍외, 결정질 실리콘 태양전지 모듈의 온도 상승에 따른 효율변화특성, 한국 전지 전자재료학회 하계학술대회 논문집 2005.
- [6] Daniela Kruger, Carsten Buschmann, Stefan Fischer, Solar Powered Sensor Network Design and Experimentation, University of Lubeck Ratzeburger Allee, Germany, 2009.