

일사량 및 실부하 패턴을 고려한 태양광 시스템 운전기법

문희성, 최규영, 이병국  
 성균관대학교 정보통신공학부

Operating Technique of Photovoltaic System Considered Irradiation and Residential Load

Hee-Sung Moon, Gyu-Yeong Choe, Byoung-Kuk Lee  
 School of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

**Abstract** - 본 논문에서는 일사량과 온도 및 실부하 패턴이 고려된 3kW급 계통 연계형 태양광 발전시스템의 플랫폼을 제시하였다. 가정의 실제 전력 사용패턴 분석을 위해 하루의 일사량과 온도가 고려된 PV 시뮬레이터와 24시간 실부하의 사용패턴을 이용하여 부하모델링을 수행하였다. 또한 제안된 PV 시뮬레이터와 부하모델링을 적용하여 계절별, 시간별 태양광 발전 전력과 실부하의 전력사용량을 비교 분석 하였으며 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하였다.

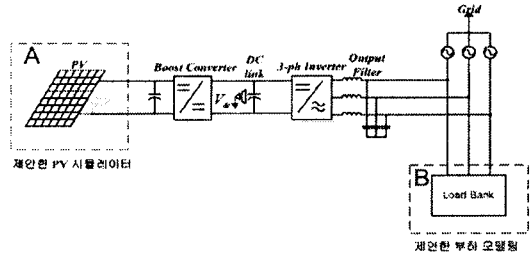


그림 1. 시스템 블록도

1. 서 론

국제적인 환경문제 및 석유자원의 고갈로 인해 신재생 에너지의 필요성이 날로 증대되어 가고 있으며, 그에 따라 친환경적이며 무한한 에너지 자원을 이용하는 태양광 발전 시스템이 각광받고 있다. 현재까지 유인 도서지역의 전원, 등대, 통신, 인공위성의 전원공급용 및 연구목적으로 주로 사용되었으나 앞으로는 대규모 및 주택용 태양광 발전시스템의 보급의 형태로 개발되어 태양광 발전의 실용화시대를 맞이하고 있다 [1],[2].

가정용 계통 연계형 태양광 발전시스템의 경우 고효율화를 위해 MPPT, 계통 연계, Anti-islanding과 같은 기술들이 사용되고 있으나 이러한 기술을 검증하기 위한 기존 시뮬레이션 상에서 일사량, 온도, 부하가 실제 조건을 충족시키지 않고 이상적인 상태에서 적용되었다는 한계점을 갖는다. 따라서 가정에서의 발전 전력과 부하 전력사용량을 명확히 예측 할 수 없는 단점이 있다. 그러므로 가정용 계통 연계형 태양광 발전시스템에서 계절별, 시간별 일사량과 온도가 고려되고 실부하 모델링이 적용된 시뮬레이션이 필요하다.

본 논문에서는 계통 연계형 태양광 발전시스템의 태양광 어레이에 일사량과 온도인 기상조건의 영향을 고려하였고 또한 계통 연계시 분산전원인 태양광 발전과 가정의 실부하 전력패턴에 따른 전력사용과의 관련성을 검토하였다. 이를 바탕으로, 3kW급 태양광 발전 시스템에서 실제 운영을 모의하기 위해 일사량과 온도, 실부하를 적용한 태양광 발전시스템의 플랫폼을 제시하였고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 기상조건 고려한 태양발전 시뮬레이터

제안된 PV 시뮬레이터와 부하패턴 모델링은 그림 1의 A와 B에 해당한다. A에서는 24시간동안의 일사량과 온도변화에 따른 PV특성을 보여주기 위해 구현이 간단한 보간형 모델을 바탕으로 계절별, 시간별 일사량과 온도의 변화를 고려한 태양발전 시뮬레이터를 구현하였고, B에서는 24시간동안 가정용 6대부하의 사용패턴의 통계자료를 이용하여서 부하모델링을 하였다.

2.1.1 시간별 일사량 변화

본 논문에서 제시하고자 하는 플랫폼은 24시간을 기준으로 하고 있다. 그림 2은 2007년 수원의 365일 시간별 일사량 평균을 분석한 자료이다. PV 시뮬레이터의 일사량과 온도정보는 기상청의 자료를 사용하였다.

계절별, 시간별 평균일사량은 식 (1)로 나타내 진다.

$$\text{계절} = \frac{\sum \text{시간별 일일 온도 데이터}}{\text{계절별 일수}} \quad (1)$$

여기서, 봄은 3, 4, 5월이며, 여름은 6, 7, 8월, 가을은 9, 10, 11월, 겨울은 12, 1, 2월을 기준으로 계절별 일 수를 계산하였다.

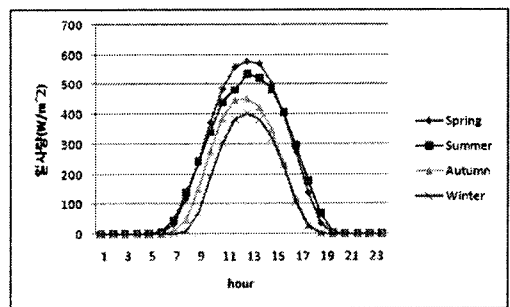


그림 2. 시간별 일사량 변화

그림 2를 통해 봄과 여름이 일사조건이 가장 좋음을 가시적으로 알 수 있다. 봄은 연평균 일사량에 비해 24%, 여름은 21% 높게 나타났으며 가을과 겨울의 평균 일사량은 연평균 일사량에 비해 상대적으로 낮게 나타난다.

시간별 일사량은, 가장 높은 일사량인 13시를 기준으로 거의 선형적으로 증가하다가 감소하는 모양을 보여준다. 이러한 일사량의 변화에 따라 태양광 발전 출력전력이 비례하여 변동하는 것을 확인할 수 있다.

### 2.1.2 시간별 온도 변화

그림 3 또한 2007년 수원의 365일 시간별 온도평균을 내어 분석한 자료이다. 4계절의 모듈온도 차이가 확연히 구별됨을 알 수 있다.

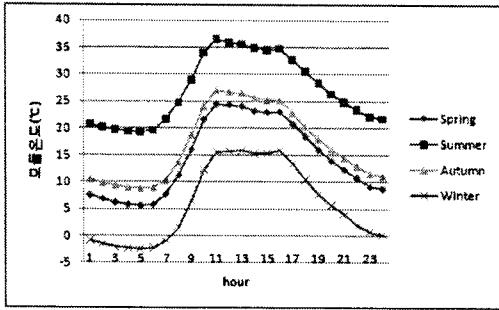


그림 3. 시간별 모듈온도 변화

계절별, 시간별 온도의 차이에 따라 그림 3과 같이 모듈의 온도가 바뀌게 되고, 모듈의 온도에 따라 모듈의 효율이 변동하게 된다. 모듈온도가 증가하면 개방전압이 감소하는 경향이 있다. 개방전압과 단락회로 전류의 관계방정식은 다음과 같다.

$$I_{sc} = I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV_{oc}}{kT}\right) \right] \quad (2)$$

식(2)로부터 발전 전력은  $V_{oc}$ 의 감소에 따라 줄어드는 것을 알 수 있다. 따라서 모듈의 효율은 온도가 증가할수록 감소한다.

	A day																																																				
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24																											
Spring	S	0	0	0	0	0	0	0	4	33	120	243	372	484	559	578	579	561	480	273	138	37	4	0	0	0	0	T	9	8	7	6	6	6	6	8	11	18	23	24	24	24	23	23	23	21	18	16	14	12	11	9	9
Summer	S	0	0	0	0	0	0	0	0	47	140	243	338	439	481	535	520	482	405	296	177	69	6	0	0	0	0	T	22	21	20	20	19	19	20	21	25	28	34	38	36	36	35	34	35	33	31	28	27	25	23	22	22
Autumn	S	0	0	0	0	0	0	0	10	40	132	274	385	446	453	423	340	238	117	30	5	0	0	0	0	0	T	11	10	10	9	9	9	9	10	14	19	24	27	27	26	26	25	23	20	18	16	14	13	11	11		
Winter	S	0	0	0	0	0	0	0	10	72	108	304	384	404	383	320	228	108	27	5	0	0	0	0	0	T	0	-1	-2	-2	-3	-2	-1	2	7	12	18	16	16	15	15	16	13	10	8	6	4	2	1	0			
A day		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24																																							
Simulation time		0																																																			

그림 4. 일사량, 온도 프로파일

그림 4는 계절별, 시간별 일사량과 온도의 정보를 보여주고 있다. 시뮬레이션 시간은 부하의 시뮬레이션 시간과 동일하게 맞추어 2초로 시뮬레이션 하였다.

### 2.2 사용 패턴과 시간을 고려한 실부하 모델링

가정에서 사용하는 부하들(가정용 부하)은 대부분 TV, 냉장고, 컴퓨터 등과 같은 정류부하이다. 에너지관리공단의 자료를 바탕으로 특별히 일일 가전기기 사용량의 62%를 차지하고 있는 가정용 6대 부하를 선택하여 계절별 소비전력을 그림 6에서 보여주고 있다.

여기서 말하는 가정용 6대 부하는 냉장고, TV, 밥솥, 컴퓨터, 세탁기, 에어컨이다. 봄, 가을, 겨울은 비슷한 패턴을 보이고 있으나 여름에는 에어컨의 사용으로 20시쯤에 더 많은 전력을 사용하고 있고 전력사용량의 최소값과 최대값과의 차이가 가장 크다.

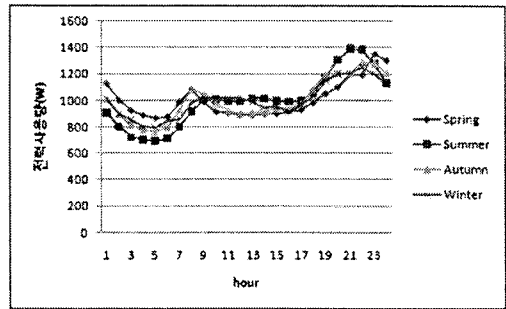


그림 5. 시간별 부하 전력사용량

부하	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
PC													
TV													
Rice cooker													
Refrigerator													
Washing machine													
Air conditioner													
A day	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Simulation time	0												
Simulation degree	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360

그림 6. 부하모델링을 위한 부하 프로파일

그림 5는 시간별 부하 전력사용량에 대해 보여주고 있고 그림 6은 에너지 관리공단의 자료를 사용하여 본 논문에서 제시하고자 하는 부하모델링의 실현화 기법을 보여준다 [3],[6]. PSIM 시뮬레이션 프로그램의 "Gating block for switch" 기능을 이용한다. 최소 샘플링 시간은 식 (3)과 같다.

$$T_{sp} \geq \frac{3}{f_{s,120Hz}} \quad (3)$$

일반적으로 고조파 분석을 위해서 최소 3주기 이상의 주기파가 요구되어 진다. 또한 일일 고조파 분포를 확인하기 위해 필요한 최소 분석시간은 식 (4)와 같다.

$$T_{Sim} \geq \frac{3}{f_{s,120Hz}} \times \frac{24}{t_{load,min}} \quad (4)$$

최소 샘플링 시간과 시뮬레이션 시간과 24시간을 근거로 24시간을 각주파수 360도와 일치시키고, 전체 시뮬레이션 시간을 2초로 결정하였다. 그림 5을 근거로 일일 24시간에 대한 시뮬레이션 시간과 각 가전기기의 온-오프 타임을 결정된 부하 파일을 알 수 있다.

### 2.3 시뮬레이션 결과

본 절에서는 태양전지와 전력변환기, 제어기, 계통을 PSIM을 이용해 구현하였다. 그림 7은 계통 연계형 태양광 발전 시스템의 회로이다.

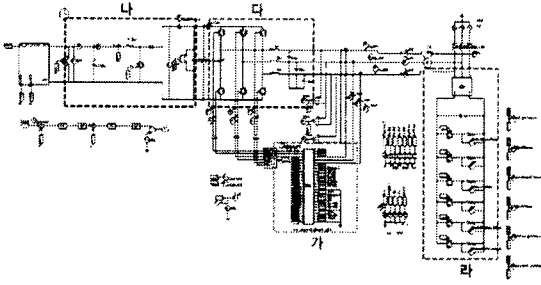
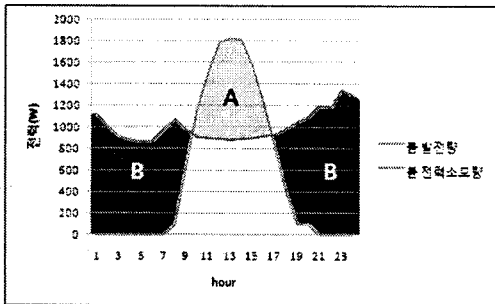


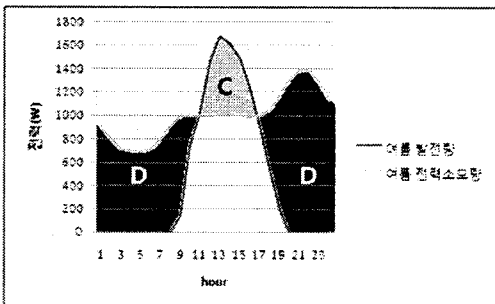
그림 7. 계통 연계 태양광 발전시스템

'가'는 DLL로 구현된 3kW급 계통 연계형 태양전지, PLL알고리즘과 MPPT 부분으로서 일사량과 온도가 고려되어 모델링 되었다. '나'는 태양광 발전된 전압을 승압시키는 부스트 컨버터이며, '다'는 직류전압을 교류전압으로 변환시켜주는 인버터이다. 그리고 '라'는 24시간의 프로파일이 적용된 실부하 뱅크이다.

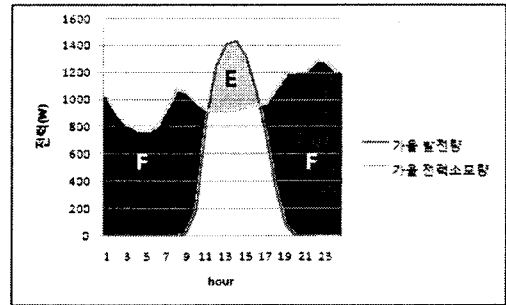
시뮬레이션 하여 얻은 계절별 발전량과 계절별 부하의 전력소모량 데이터를 엑셀프로그램을 이용하여 나타내면 그림 8과 같다. 그림 8에서 A, C, E, G는 태양광 발전하여 얻은 전력이 가정에서 소모되고 남은 전력, 즉 잉여전력이고 이 잉여전력은 계통으로 회생된다. 발전량 대비 잉여전력의 퍼센트는 봄 - 34.97%, 여름 - 20.57%, 가을 - 19.23%, 겨울 - 10.88% 이다. B, D, F, H는 발전하는 양보다 가정에서 사용하는 양이 더 많은 부분이다. 이러한 발전량의 부족부분은 계통으로부터 보충 받는다. 부하 측 전력의 수요와 태양광 발전에서의 공급을 살펴봄으로써 계절별 전력의 잉여 및 부족부분 대한 정보를 얻을 수 있다.



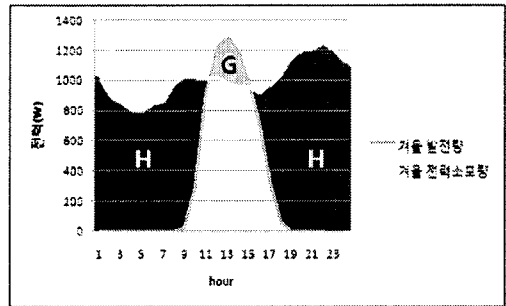
(a) 봄 전력 발전, 소모량



(b) 여름 전력 발전, 소모량



(c) 가을 전력 발전, 소모량



(d) 겨울 전력 발전, 소모량  
그림 8. 전력의 수요 및 공급패턴

봄은 14시쯤 발전량이 다른 계절에 비해 가장 많은 반면에 실부하에서 전력소모량이 가장 적기 때문에 잉여전력이 가장 많다. 이에 반해 겨울은 다른 계절에 비해 발전량이 가장 적은 반면 실부하에서 전력소모량이 많은 편이기 때문에 잉여전력이 아주 적고, 발전량이 적은 시간에 실부하에서 전력소모량이 많아서 부족전력은 많다.

### 3. 결 론

본 논문은 3kW급 계통 연계형 태양광 발전시스템에 계절별, 시간별 기상자료 통계 값을 적용하여 계통 연계형 태양광 발전 시스템 플랫폼을 제시하였다. 계절별, 시간별 일사량, 온도의 프로파일과 실부하 사용패턴을 고려하여 계통 연계된 가정용부하 태양광 발전시스템을 시뮬레이션 툴을 이용하여 구현하고 시뮬레이션을 수행하였다. 본 논문의 결과를 토대로 태양광 발전에 의한 계절별 전력생산량과 한 가정의 계절별 전력 수요량의 비교를 통해 계절별 전력 공급 및 수요 패턴을 예측할 수 있는 자료로 활용가능하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 최환, "표면온도 변화에 따른 태양전지 모듈의 출력특성", 조선대학교, 석사학위논문
- [2] 전인수, "계통 연계형 태양광 발전 시스템의 실제 적용을 위한 시뮬레이션 모델에 관한 연구", 동의대학교, 박사학위논문
- [3] 김중수, "가정용 연료전지 시스템의 저주파 리플전류 발생 메커니즘 분석", 성균관대학교, 석사학위논문
- [4] Imad Abouzahr, R. Ramarkumar, "An Approach to Assess the Performance of Utility-Interactive Photovoltaic Systems", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 8, No. 2, June 1993, pp. 145-153.
- [5] 최규영, 김중수, 강현수, 이병국, "PLECS를 이용한 태양광 발전시스템 설계", 대한전기학회 논문초록집, pp. 289, 2008. 07.
- [6] 에너지관리공단, <http://www.kemco.or.kr>