

PV시스템의 Matching 손실저감을 위한 태양전지 및 축전지 최적전압 구성법

劉 權 種, 宋 鎮 洙, 姜 琦 煥, 魯 明 根, 成 世 鎮

Optimal Voltage Arrangement between PV Array and Battery with minimal energy loss

Gwon-Jong Yu, Jinsoo Song, Gi-Hwan Kang, Myong-Gun No, Se-Jin Sung

요 약

태양광 발전시스템의 발전출력은 일사량과 온도에 따라서 크게 변동하고, 태양전지 어레이와 병렬로 연결되는 축전지의 전압에 의해 변동한다. 이 대책으로 지금까지 MPPT 제어(최대출력점 제어)를 해왔는데, 이 제어방식은 손실이 크고 비용이 많이 든다. 따라서 본 논문에서는 이러한 PV 시스템 구성요소의 매칭 손실저감을 위하여 PSpice를 이용한 구성요소의 전자 모델링을 행하고, 태양전지 어레이와 축전지 및 인버터 입력전압의 최적 전압구성법에 대한 연구 결과에 대하여 기술하고 있다. 축전지 최적전압은 태양전지 어레이 최적전압의 약 90%정도가 적당하다는 결과를 얻었다.

ABSTRACT

Many systems will be operated with storage battery for stabilizing their power output. Solar cell has a optimum output voltage on which the maximum power output is produced. The optimum output voltage changes according as the intensity of solar irradiance and temperature. On the other hand, output voltage of storage battery also changes according as state of charge, charge or discharge current, and so on. therefore, it is necessary to clear the optimum rated voltage of storage battery which minimizes the energy loss of solar cell due to the voltage mismatch.

In this paper, a battery simulation of PSpice was developed to analyze the optimum rated voltage of storage battery based on solar cell array I-V characteristic and storage battery charge and discharge I-V characteristics. As the results of simulation on typical PV systems, it was clear that the optimum rated voltage of storage battery is 90% of solar cell optimum voltage at normal operation.

Key Words: PV System, Optimum output voltage of Solar cell, Storage battery, Voltage miss matching)

1. 서 론

태양광 발전은 환경오염과 에너지 고갈의 심각한 문제에 직면해 있는 우리에게 미래에너지로 각광을 받기 시작하였다. 또한 미래의 대체에너지 중에서도 태양광 발전은 가장 실용화에 근접해 있다.

태양광 발전 시스템에서 태양전지의 출력은 일사량에 의존

하여 불안정하다. 이 때문에 축전지나 보조전원을 병렬시켜 출력의 안정화를 도모하도록 한다. 또 배전선이 완비되어 있는 곳에서 상용전력계통과 연계하고, 계통을 축전지 대신에 이용하는 방식이 효과적이고, 개인 주택을 중심으로 이후에 보급하는 것을 예상하면, 이 경우에도 일사량의 급변으로부터 배전선의 전압변동 억제나 수요피크와 발전출력을 일치시키는 것 등을 목적으로 소용량의 축전지의 설치가 고려되고 있다.

태양전지와 축전지를 접속한 경우, 운전중의 동작전압은 태양전지 출력 I-V특성, 축전지 충전 I-V특성, 또는 부하 인피던스로부터 정해지지만, 이 중에 태양전지의 출력 I-V특성은 상기와 같이 일사강도와 소자온도에 의해, 또한 축전지의 충전 I-V특성은 잔존용량이나 전해액의 온도로부터 각각 변화하기 때문에, 운전할 때의 동작전압은 복잡하게 변화하게 된다. 이것으로부터 축전지 시스템 정격전압을 설정하는데, 운전할 때 동작전압값이 태양전지의 최대출력 동작전압과 크게 다르게 되면, 그 결과 태양전지 출력전력량은 현저하게 감소할 가능성이 있다. 따라서 태양전지 출력의 저하와 함께 축전지의 충전부족을 초래하고, 그 결과 축전지 수명을 단축시킬 가능성이 있다. 그래서, 이러한 에너지 손실을 억제하기 위한 최적의 축전지 시스템 정격전압을 설정해야 한다.^{[7][8]}

본 논문에서는 태양광 발전시스템을 구성하는 태양전지 어레이의 출력 I-V특성, 축전지 시스템의 충전 I-V특성, 부하 패턴, 일사량강도 데이터 등에 의해 태양광 발전시스템 구성 형태, 또는 운전형태에 대한 축전지 시스템 정격전압을 구하기 위한 PSpice 시뮬레이션을 행하였다. 이것으로부터 축전지 설치시스템에 있어서 최적 축전지 시스템의 정격전압 설정법에 대한 연구결과에 대하여 기술하고 있다.

2. PV 시스템 구성과 연구과제

2.1 PV 시스템의 기본구성

태양광 발전시스템은 독립형과 계통연계형으로 구분된다. 이러한 두 가지 시스템의 기본구성은 그림 1과 그림 2에 보이고 있다. 구성요소는 태양전지 어레이, 축전지, 인버터, 부하 그리고 보조전원이나 전력계통 등이 있다.

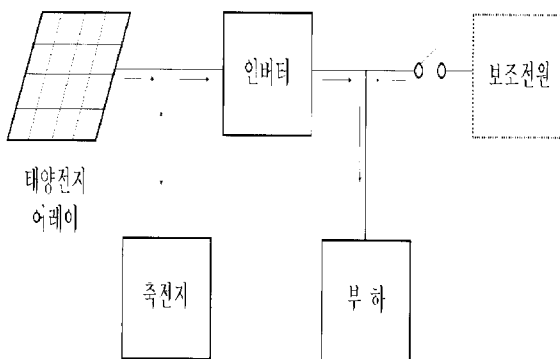


그림 1 독립형 태양광 발전시스템의 구성
Fig. 1 Configuration of generalized stand alone type PV System

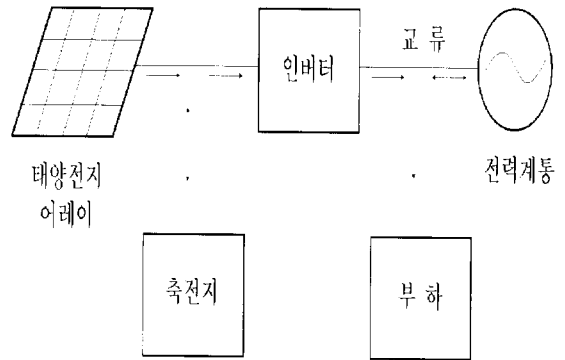


그림 2 계통연계형 태양광 발전시스템의 구성
Fig. 2 Configuration of generalized utility connected PV System

독립형 시스템에서는 부하에 안정 공급하는 경우에 축전지는 불가피한 것이 되지만 가격저감을 위해 축전지 용량을 절감하기 위해 디젤발전기 등의 보조전원을 연결하는 경우도 있다.

계통연계형은 역조류가 없는 시스템과 역조류가 있는 시스템으로 나눈다. 역조류가 없는 시스템에서는 태양전지의 잉여전력을 이용하기 위해 축전지를 설치할 필요가 있다. 역조류가 있는 시스템에서는 전력계통이 축전지의 대응이기 때문에 축전지를 설치할 필요가 없지만, 한편으로는 소용량의 축전지를 설치하여 급격한 계통전압 변동을 방지하여 출력의 평균화를 도모하거나, 계통에 정전이 발생했을 때 픽업전원으로 활용하는 것 등을 고려한다.

2.2 PV 시스템의 어레이 시뮬레이션

태양전지 어레이에 대한 시뮬레이션은 이미 저자가 발표한 논문에서 실험으로 타당성이 입증되었다. 여기에서는 본 논문에서 이용할 수 있는 태양전지 어레이 시뮬레이션의 결과를 간단하게 언급한다.^{[1][2][3][4]}

태양전지 어레이 등가회로는 다음 그림 3과 같고, 본 논문에서 사용되는 10 kW급 어레이의 P-V, I-V 시뮬레이션 곡선은 그림 4와 같다.

3. 축전지 시스템의 시뮬레이션

3.1 축전지 PSpice 시뮬레이션

축전지는 다음과 같은 회로모델을 이용하였다. 이 모델은 축전지의 비선형적인 특성과 주어진 충전 및 방전 데이터에 의해 회로 모델 파라미터를 결정할 수 있다. 특히 방전곡선에서 방전전류에 따라 단자전압과 용량(Ah)이 달라진다. 내부

저항도 축전지의 방전된 양에 따라 변화함을 알 수 있다. 이처럼 축전지는 여러 가지 요인에 의해서 시뮬레이션을 수행하기 때문에 매우 복잡하다.

간단한 축전지 모델을 소개하겠다. 축전지 회로 모델은 그림 5와 같다. R1은 축전지 내부저항, D1은 전지의 히스테리시스 효과, D2는 비선형 내부저항 효과, D3는 전하 누설과 과충전 도전누설, C1은 선형 저장 커패시턴스, C2는 화학 반작용 저장효과 커패시턴스를 나타내며, 위의 커패시턴스 값은 C1으로 흐르는 전류에 따른 전압에 관계하여, 흐르는 전류의 양에 따라 용량이 변하는 아래와 같은 비선형 관계식을 가진다.⁵⁾¹⁰⁾

$$I_1 = K_1 (\exp K_3 V_1 - 1) \tag{1}$$

$$I_2 = 2K_1 \sinh(K_3 V_1) \tag{2}$$

$$K_1 = \frac{I_0 \exp(40.27 K_2 \left(1 - \frac{519}{T + 459}\right))}{\exp(40.27 \frac{V_0}{L}) - 1} \tag{3}$$

$$K_3 = \frac{20900}{L(T + 459)} \tag{4}$$

- I_0 : 기준 다이오드 전류
- V_0 : 기준 다이오드 전압
- T : 실제 다이오드 온도
- I_1 : 실제 다이오드 전류
- V_1 : 실제 다이오드 전압
- K_2, L : 실제 데이터에 의한 상수

$$C_1 = A \exp(-B(V_{C1} - V_M)^2) + D \tag{5}$$

- C_1 : V(volt)에서 커패시턴스 값(Farad)
- V_{C1} : 커패시턴스의 실제 전압레벨
- V_M : 중간 전압 레벨
- A : $V=V_M$ 일 때 커패시턴스(Farad)
- B : 분포(배전)상수
- D : 최소 커패시턴스(Farad)

주어진 축전지 충전 데이터를 이용하여 C_1, C_2, R_1 을 Zimmerman과 Peterson 논문의 방정식인 식(5)로부터 구한다. 각각의 파라미터들은 축전지의 특성상 실험 값에 의해 스케일링하거나 개수 조정의 과정을 거쳐야 한다. 특히 온도나 잔존용량 그리고 내부저항에 따라서 변화가 심하므로 반복실험을 행해야 한다.¹⁰⁾

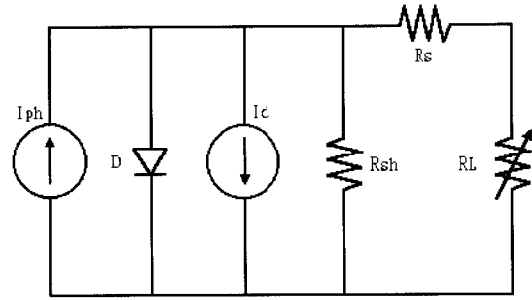


그림 3 태양전지 모듈과 어레이 모델링
Fig. 3 Solar cell module and array modeling

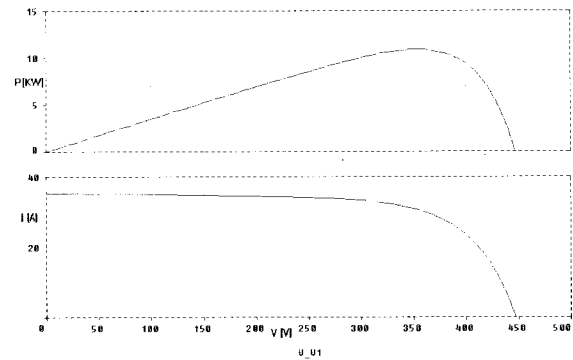


그림 4 10 kW 어레이의 I-V, P-V 특성곡선
Fig. 4 I-V, P-V characteristics for 10kW array

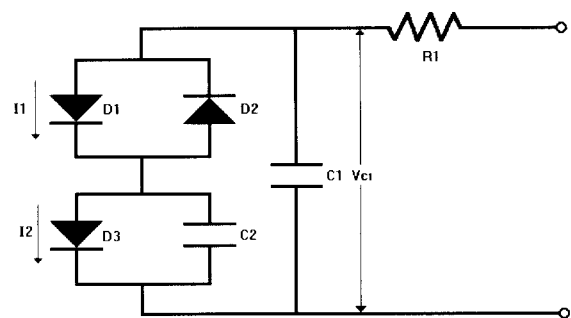


그림 5 축전지의 등가회로
Fig. 5 Equivalent circuit of Battery

축전지의 I-V특성을 시뮬레이션 하기 위해 전자회로 시뮬레이션 프로그램인 PSpice를 통하여 그림 6과 같은 회로를 구성하고 시뮬레이션을 행하였다. 먼저는 태양전지 어레이의 I-V특성과 비교검토를 위해서 축전지의 I-V 곡선을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과, 충전할 때의 특성곡선은 그림 7과 같이 되었고, 방전할 때의 곡선은 그림 8과 같이 되었다.

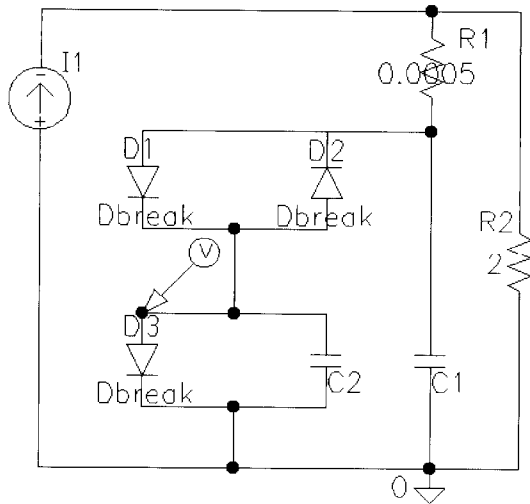


그림 6 축전지의 PSpice 회로
Fig. 6 PSpice circuit of Battery

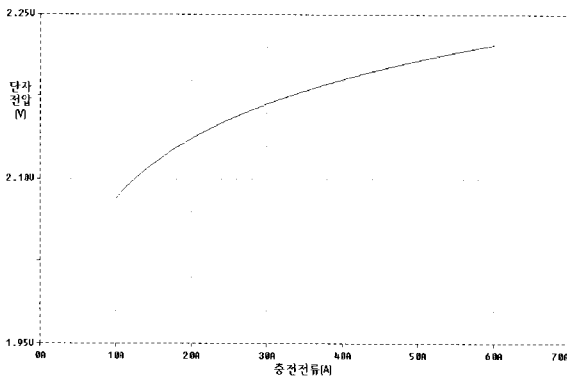


그림 7 충전할 때 I-V특성곡선(시뮬레이션 1)
Fig. 7 I-V characteristic of storage battery in simulation(1)

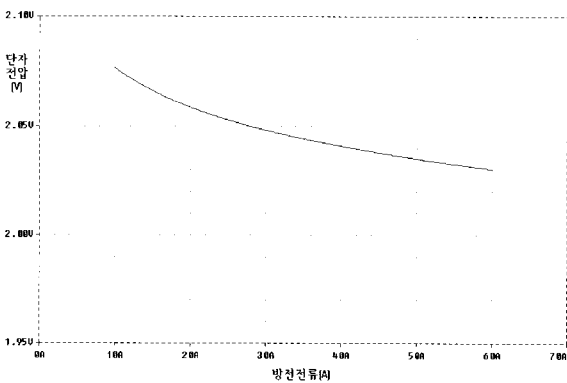


그림 8 방전할 때 I-V특성곡선(시뮬레이션 2)
Fig. 8 I-V characteristic of storage battery in simulation(2)

3.2 병렬운전의 문제점

태양전지 모듈 한 장과 축전지를 병렬 접속하여 운전한 경우에 발생하는 문제점에 관해, 태양전지 I-V특성, 축전지 충전 I-V, 또는 그것의 합성 I-V특성을 이용하여 고려해 본다. 여기에서 태양전지와 축전지를 병렬로 접속한 경우의 합성 I-V특성은 접속 케이블의 저항을 무시한 것으로 한다.

그림 9는 초기상태에 있어서 각 I-V특성을 보인다. 동작점은 합성 I-V특성과 부하선과의 교점으로 한다. 이 상태에서는 부하 인피던스로부터 동작점이 태양전지 모듈 최대출력전압 근방에 있고, 축전지의 충전전류가 비교적 작은 경우에는 문제가 없지만, 부하개방일 때(=부하선이 전압축과 일치)나 저부하 인피던스일 때 축전지의 충전전류, 또는 방전전류가 크게 되는 경우에는 축전지의 내부저항의 영향으로 그림 중의 V1 또는 V2에 보이는 것과 같이 동작전압과 축전지 개방전압과의 차가 크게 되어 에너지 손실이 증가한다. 초기상태 시뮬레이션에서는 2V 연축전지 9개를 투입하였다.

그림 10은 방전에 의해 축전지 개방전압이 태양전지 모듈 최대출력 동작전압보다 작게 된 경우에 있어서 각 I-V특성을 보인다. 이 경우, 충전상태일 때는 합성 I-V특성과 전압축과의 교점으로 한 부하개방상태로의 동작전압(V2)은 문제없다고 말할 수 있다. 한편, 그림 중에 부하선L로 보이는 예와 같이 부하 인피던스가 감소하고, 축전지가 방전하고 있는 경우에는 V1에 보이는 것과 같이, 축전지 개방에 의한 단자전

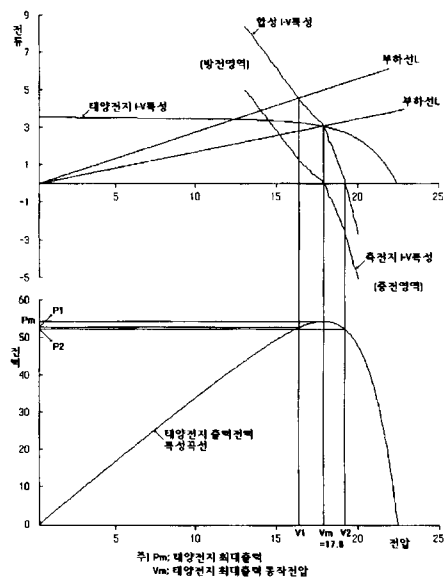


그림 9 태양전지 동작전압에 대한 축전지 영향 (축전지 개방전압 = 태양전지 동작전압)
Fig. 9 Influence of storage battery on operation voltage of solar cell (Storage battery Voc = Solar cell Vm)

압의 감소에 기인하고, 동작전압은 축전지 개방전압보다 감소한다. 그 결과, 태양전지 모듈 최대출력 동작전압과 부조화가 크게 되고, 에너지 손실이 현저하게 된다. 방전할 때의 시뮬레이션에는 2V 연축전지 8개를 투입하였다.

그림 11은 축전지가 충전되고, 축전지 개방전압이 태양전지 모듈 최대출력 동작전압보다 크게 된 경우에 있어서 각 I-

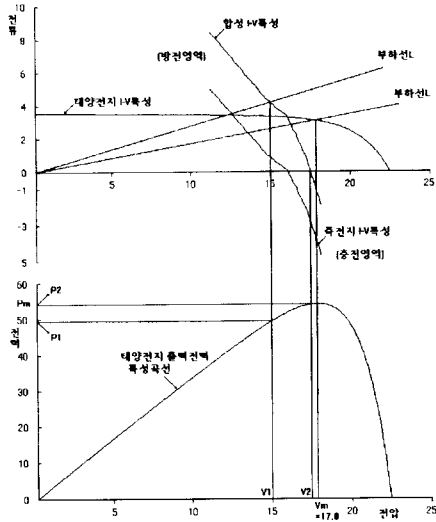


그림 10 태양전지 동작전압에 대한 축전지 영향 (축전지 개방전압 < 태양전지 동작전압)
Fig. 10 Influence of storage battery on operation voltage of solar cell(Storage battery Voc < Solar cell Vm)

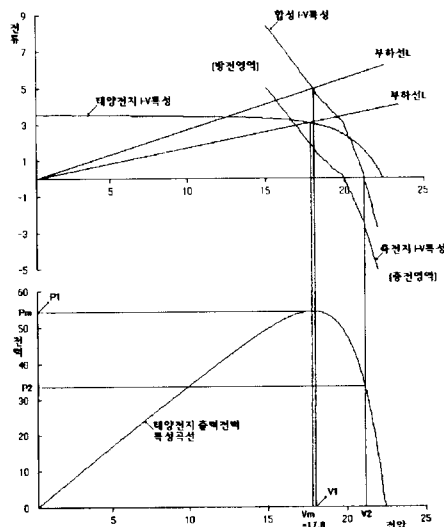


그림 11 태양전지 동작전압에 대한 축전지 영향 (축전지 개방전압 > 태양전지 동작전압)
Fig. 11 Influence of storage battery on operation voltage of solar cell(Storage battery Voc > Solar cell Vm)

V특성의 예를 보인다. 이 경우에는 부하 개방시의 동작전압 V2는 축전지 내부저항의 영향으로 태양전지 모듈 최대출력 동작전압과의 부조화가 다시금 크게 된다. 특히 전압이 태양전지 모듈 최대출력 동작전압보다 큰 영역에는 태양전지 모듈 I-V특성은 정전압 영역에 들기 때문에, 전압이 약간 상승하고 큰 에너지 손실을 초래할 가능성이 있다. 충전할 때의 시뮬레이션에는 2V 연축전지 10개를 투입하였다.

이와 같이, 축전지의 잔존용량이나 충방전전류의 상태로부터 동작전압은 비교적 크게 변화하고, 경우에 따라서는, 태양전지 모듈 최대출력 동작전압의 부조화로부터 큰 에너지 손실을 초래할 가능성이 있다. 이것에 더한 태양전지 어레이 I-V특성 자체도 일사강도나 소자온도로부터 각각 변화하기 때문에, 운전시에 있어서 동작전압과 태양전지 모듈 최대출력 동작전압과의 관계는 다시금 복잡한 것으로 된다.

3.3 시뮬레이션 결과

1) 하루의 경시변화

하루의 경시변화는 하루 24시간을 시간단위로 태양광 발전 시스템에 필요한 데이터를 수집 정리하여 나타낸 것이다.

표1은 실험을 행한 날을 대표적인 날로 선정하여 나타낸 일사강도 데이터와 이에 따라서 태양전지 어레이에서 발생하는 광기전류값, 그리고 태양전지 어레이의 최대출력값을 하루 시간 단위로 나타내고, 대표적인 일반가정 부하패턴과 이에 따른 축전지의 전압변동, 그리고 축전지 전압변동의 추이에 따라 발생하는 실제적인 태양전지 어레이 출력전력을 나타내고 있다. 다음 표1에서는 축전지의 전압은 대표적으로 태양전지 어레이 최적 동작전압과 같은 것으로 선정할 것을 나타내고 있다.

2) 에너지 손실특성

에너지 손실은 직류동작전압과 태양전지 어레이 최대출력 동작전압과의 부조화에 의한 태양전지 어레이 출력전력량의 손실이다. 기타, 참고로 축전지의 충방전에 동반한 손실은 평

표 1 10 kW급 태양광 발전시스템의 데이터(시뮬레이션)
Table 1 Data Set of 10 kW class PV system(Simulation)

시간	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h
일사량(W/m ²)	120	290	460	610	720	760	770	670	560	390	260	130	90	0	0	0
평균전류(A)	4.04	9.44	15.5	20.6	24.3	25.6	25.9	22.6	18.5	13.1	8.43	4.38	3.03	0	0	0
Pmax(kW)	0.96	2.57	4.51	6.20	7.47	7.93	8.05	6.89	5.52	3.74	2.25	1.05	0.68	0	0	0
부하(kW)	0	2.95	2.95	0	0	2.95	2.95	2.95	2.95	0	0	8.50	8.50	8.50	2.95	2.95
전압변동(V)	365	355	356	370	375	380	370	366	365	375	370	350	350	350	350	350
Power(kW)	0.02	2.21	4.36	5.89	7.14	7.48	7.88	6.73	5.27	3.00	1.41	0.58	0.09	0	0	0

가하지 않았다.

여기에서는 운전기간의 태양전지 어레이 최대출력전력량 (Pm), 부하소비전력량(P1), 실제의 태양전지 어레이 출력전력량(Ps)으로 하고, 각각 다음 식(6), 식(7)과 같이 정의한다.

- 동작전압의 부조화에 의한 손실(Lv):

$$Lv = (Pm - Ps) / Pm \times 100\% \quad (6)$$

- 축전지의 충방전에 의한 손실률(Lb):

$$Lb = (Ps - P1) / Pm \times 100\% \quad (7)$$

Pm은 운전기간 전체에 걸친 동작전압이 태양전지 어레이 최대출력 동작에 일치하는 경우에 있어서 태양전지 어레이 출력전력량을 나타낸다.

- 종합에너지 손실률(Lt)은 다음 식(8)과 같다.

$$Lt = Lv + Lb = (Pm \times P1) / Pm \times 100\% \quad (8)$$

그림 12는 각 케이스에 있어서 축전지 시스템 정격전압과 각 에너지 손실률과의 관계를 보인다. 여기에 X축은 축전지 시스템 정격전압(Vb)을 표준 동작상태에 있어서 태양전지 어레이 최대출력 동작전압(Vs)로부터 %로 규격화한 값이다.

그림 12에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

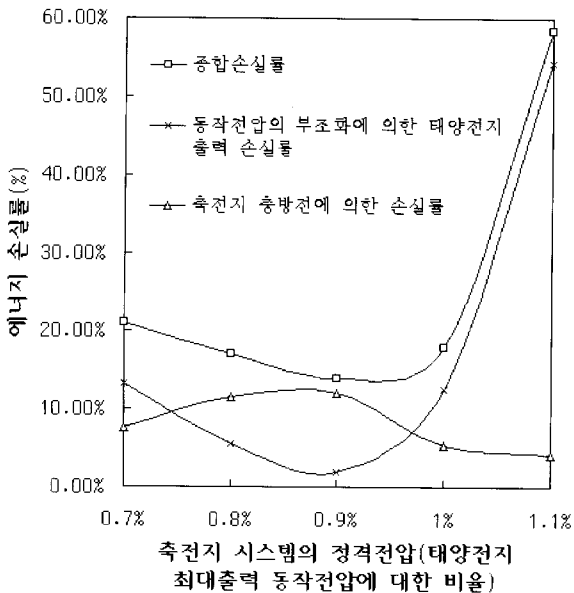


그림 12 축전지의 개방전압과 에너지 손실 (시뮬레이션)
Fig. 12 Energy loss vs. open circuit voltage of storage battery (Simulation)

Lv의 최대값은 Vb/Vs의 영역에 존재한다. 동작전압의 부조화에 의한 손실률의 최소값은 2%정도로 작다.

Lb은 오목모양의 곡선으로 되고, 동작전압의 부조화에 의한 손실률이 최소로 되는 경우에 축전지의 충방전에 의한 손실률은 최대로 된다.

Lt는 Vb와 Vs의 비에 대한 변화율이 큰 Lv의 영향에 따르고, 특성곡선은 Lv와 비슷하고 최소점은 Lv와 상당부분 일치하게 된다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 실험결과

10 kW급 태양광 발전시스템에 대한 하루 동안의 손실률에 대한 실험결과는 그림 13에 나타내고 있고, 실측 데이터는 표 2에 나타내고 있다. 실험은 제주도 월령단지에서 설치된 삼성전자(주) SM-53급으로 구성된 10 kW급 태양전지 어레이를 사용하였고, 축전지는 세방전지(주)의 연축전지 2V 360Ah를 사용하였다.

4.2 고찰

축전지 용량 선정에 있어서는 그림 12와 그림 13에서 보이는 것과 같이 축전지 시스템의 정격전압이 태양전지 최대출력 동작전압에 대한 비율 90% 근처에서 동작전압의 부조화에 의한 태양전지 출력 손실률이 가장 낮은 것으로 나타났다. 또한 축전지 충방전에 의한 손실률을 포함한 종합손실률에서도 동일한 결과를 나타내었다. 시뮬레이션 결과와 실험결과의 오차는 2~5% 정도가 나타났는데, 이것은 실험할 때 기상조건의 변화에 대한 오차와 측정오차 그리고 시뮬레이션에 의한 오차 등이 포함되어 있다. 특별히 실험결과의 손실률이 비교적 높게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 결과는 부하의 변동이나 일사량의 변화, 태양전지 성능이나 전력변환장치의 변환효율, 축전지에 대한 외부영향의 변동에 따라서 변할 수 있다.

표 2 10 kW급 태양광 발전시스템의 데이터(실험결과)
Table 2 Data Set of 10 kW class PV system(Experiment)

시간	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h
일사량(W/m ²)	120	230	460	610	720	760	770	670	550	390	250	130	90	0	0	0
평균전류(A)	3.94	9.12	14.9	20.0	22.7	24.9	25.2	21.9	18.4	13.2	8.32	3.93	2.78	0	0	0
Pmax(kW)	0.91	2.44	3.96	6.02	7.23	7.56	7.87	6.57	5.33	3.63	1.98	0.87	0.45	0	0	0
부하(kW)	0	2.95	2.95	0	0	2.95	2.95	2.95	0	0	8.50	8.50	8.50	2.95	2.95	
전압변동(V)	360	349	350	364	370	378	365	360	358	375	370	345	340	345	345	345
Power(kW)	0.11	1.52	3.79	4.92	6.72	6.78	7.37	5.95	4.78	2.86	0.92	0.64	0.23	0	0	0

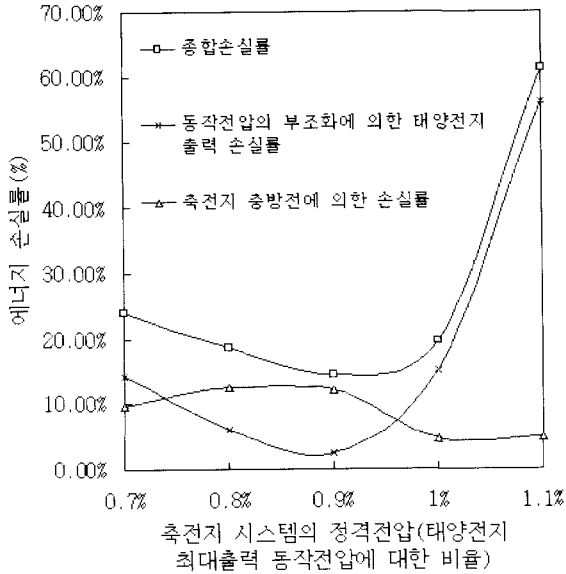


그림 13 축전지의 개방전압과 에너지 손실(실험결과)
Fig. 13 Energy loss vs. open circuit voltage of storage battery (Experiment)

5. 결 론

본 논문에서는 축전지가 설치된 태양광 발전시스템에서는 발전효율이 높은 운전을 행해야 하기 때문에, 축전지 시스템을 접속하여 운전할 때에 태양전지 동작전압의 최적 값으로부터의 탈조를 최대한 억제하고, 발전 전력량의 저하를 최소로 하기 위해 축전지 시스템의 최적 정격전압을 설정하여 축전지를 설치할 필요가 있다.

따라서 PSpice를 이용하여 축전지를 시뮬레이션하고, 태양전지의 최적전압에서 발생하는 최대출력과의 조화점을 찾기 위해 I-V곡선을 시뮬레이션 하였다. 또한 태양전지에 축전지를 접속하여 운전한 태양광 발전시스템을 대상으로 태양전지 특성의 변동이나 축전지의 충방전에 동반한 직류 동작전압의 변동으로부터 발생하는 에너지 손실률을 시뮬레이션 하였고, 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다. 그 결과, 축전지 시스템의 정격전압을 동작할 때의 태양전지 최대출력 동작전압의 90%정도에 설정하면, 태양전지의 에너지 손실률이 최소가 됨을 알았다.

향후에는 태양전지와 축전지 시스템의 지속적인 실험과 검토를 통하여 보다 신뢰성이 있는 시뮬레이션 기법을 개발하여 태양광 발전시스템 최적구성에 적용하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 유권중, 노명근 외, "태양광 어레이 모델링을 통한 최대 출력점 고찰", 제 1회 전력전자학회 학술대회 논문집, 1996.
- [2] 유권중, 노명근 외, "최대전력제어를 위한 PSpice의 태양광 어레이 모델링", 대한전기학회 하계학술대회 논문집A, p.540, 1996.
- [3] 유권중외, "전력 Peak Cut를 위한 주택용 태양광 발전 시스템의 에어컨 개발(Ⅲ)", 전력 연구원, 1995. 9.
- [4] Gwon-Jong Yu, Myong-Gun No, Se-Jin Seong, "Solar Cell Array Connections with PSpice", ISES 1997 Solar World Congress, 1997.
- [5] 이재문, 조보형, "전기자동차 전력시스템의 모델링 및 시뮬레이션", 대한전기학회 학술대회 논문집, 1997.
- [6] H. Kobayashi and Y. Takeda, "日本 電力中央研究所 報告書 研究報告: 183011", pp.2~41, 日本 電力中央 研究所, 昭和58年 9月.
- [7] H. Kobayashi, "Optimum Storage Battery Voltage for Photovoltaic System", 日本 電力中央研究所 研究 報告: T91071, 1992.
- [8] H. Kobayashi, K. Takigawa, Y. Takeda, "Storage Battery Operation Technique of PV System", 電力 中央研究所 研究報告: T86053, 1987.
- [9] MicroSim Corporation, "MicroSim Application Notes", pp.291~318.
- [10] H.G. Zimmerman, R.G. Peterson, "An Electrochemical Cell Equivalent Circuit for Storage Battery Power System Calculations by Digital Computer", IECEC 1970 Proceedings, Vol 6, pp.6.33~6.39, 1970.

< 저 자 소 개 >



유권중(劉權鍾)

1982년 2월 조선대 공대 전기공학과 졸업.
1985년 10월 일본 KOBE대학 대학원 석사과정 수료(석사). 1989년 3월 동 대학원 박사과정 수료(공학박). 1989년~1990년 일본Fuji전기(주) 종합연구소 선임연구원. 현재 한국에너지기술연 구소 책임연구원.



송진수(宋鎭洙)

1971년 고려대 전기공학과 졸업. 1976년 동 대학원 석사과정 졸업(석사). 1985년 동 대학원 박사과정 졸업(공학). 현재 한국에너지기술연구소 책임연구원.



강기환(姜奇煥)

1967년 9월 20일생. 1991년 대전공대 전기공학과 졸업. 1993년 건국대 대학원 졸업(석사). 현재 한국에너지기술연구소 태양광발전연구팀 근무.



노명근(魯明根)

1971년 10월 16일생. 1996년 2월 조선대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 3월 충남대학교 대학원 석사과정(전력 및 제어전공) 졸업예정. 현재 한국에너지기술연구소 태양광발전연구팀 연구생.



성세진(成世鎭)

1948년 7월 15일생. 1973년 서울대 공대 공업교육과 졸업. 1975년 동 대학원 졸업(석사). 1988년 일본 동경공업대 대학원 졸업(공학). 현재 충남대 공대 전기공학과 교수.



송진수(宋鎭洙)

1971년 고려대 전기공학과 졸업. 1976년 동 대학원 석사과정 졸업(석사). 1985년 동 대학원 박사과정 졸업(공학). 현재 한국에너지기술연구소 책임연구원.



강기환(姜奇煥)

1967년 9월 20일생. 1991년 대전공대 전기공학과 졸업. 1993년 건국대 대학원 졸업(석사). 현재 한국에너지기술연구소 태양광발전연구팀 근무.



노명근(魯明根)

1971년 10월 16일생. 1996년 2월 조선대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 3월 충남대학교 대학원 석사과정(전력 및 제어전공) 졸업예정. 현재 한국에너지기술연구소 태양광발전연구팀 연구생.



성세진(成世鎭)

1948년 7월 15일생. 1973년 서울대 공대 공업교육과 졸업. 1975년 동 대학원 졸업(석사). 1988년 일본 동경공업대 대학원 졸업(공학). 현재 충남대 공대 전기공학과 교수.