

대규모 PV시스템의 태양전지 어레이 구성법

유권중** 송진수** 노명근** 성세진*
한국에너지기술연구소** 충남대학교*

Solar Cell Arrays Connection of Large Scale PV System

Gwon-Jong Yu** Jin-Soo Song** Myong-Gun Ro** Se-Jin Sung*
Korea Institute of Energy Research** Chung Nam National University*

Abstract

The 10kW or 1MW model of a photovoltaic array written in PSPICE is presented in this paper. A problem with this large scale centralized photovoltaic system is the decrease of power due to the resistance of cable connecting individual subarray with inverter. In this paper, we analyzed the relationship between the resistance of cable and subarray output power of 1MW photovoltaic system by the PSPICE modeling. As a result of simulation, we can prove that photovoltaic array output power is limited by the resistance of cable.

1. 서론

화석에너지의 고갈과 오염문제로 인하여 무한정하고 깨끗한 에너지인 태양광 발전에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한 대체에너지 중에서도 꾸준한 연구개발로 에너지 변환효율인 태양전지의 저가화가 가속화될 것으로 전망되어 가장 실용화에 근접하는 미래에너지원으로 각광을 받고 있다.

그 중에서도 대용량 집중배치형 PV시스템은 태양전지 어레이군을 한곳에 집중배치하여 거기에서 발생하는 발전출력을 배전계통으로 보내는 시스템이다. 이러한 대용량 집중배치는 시스템 구성기에 대한 가격저감의 효과가 있고, 기존의 전력계통과 연계가 쉬운 장점이 있다.

태양에너지는 저밀도 에너지(약1km²)이기 때문에, 변환효율을 고려하더라도 출력이 수백~100kW에 이르는 대용량 집중배치형 PV시스템을 건설하기 위해서는 1만~2만에 정도의 태양전지 모듈이 필요하고, 태양전지 어레이의 점유면적은 수만m²에 이르게 된다.

그래서 다음과 같은 문제점이 있다. 태양전지 어레이 사이 또는 태양전지 어레이와 인버터를 연계하는 케이블(이하 직류연계선으로 표기한다)의 길이가 어레이 갯수에 비례하여 길어지게 되고, 직류연계선의 저항의 영향에 의해 태양전지 어레이 출력의 저하를 초래한다.

따라서 여기에서는 PSPICE를 이용한 어레이 모델링을 통하여 1000kW급 대규모 집중배치형 태양전지 어레이의 구성방법을 고찰하고, 또한 직류연계선 저항값의 적정값을 설정하는 방법에 대해 고찰한다.

2. GM-53W급 모듈을 이용한 10kW급 어레이 모델링

금성 모델 GM-53W급 모듈을 사용하여 10kW급 어레이를 모델링하기 위하여 GM-53 모듈을 직렬로 28개, 병렬로 7개를 연결한다. 다음 표1은 GM-53 모듈의 PSPICE를 이용한 시뮬레이션 사양과 Manufacturer 사양의 비교를 나타내고 있고, 그림1은 GM-53 모듈의 PSPICE 등가회로를 나타

내고 있다. I_{ph}는 광기전류값이고, R_s는 직렬저항, R_{sh}는 병렬저항, I_d는 다이오드 전류이다(여기에서 다이오드 전류식은 $I_d = I_0 (\exp(qV_L / AkT N_s) - 1) N_p$ 이고, I₀: 역포화전류(A) q: 전하 V_L: 부하전압 A; 제작자 상수 k; 볼츠만 상수 T; 대기온도 N_s: 직렬 셀의 수 N_p: 병렬 셀의 수이다).

금성 GM-53	Simulation	Manufacturer	% Error
개방회로전압	22.39V	21.7V	3.18
단락회로전류	3.54A	3.35A	5.67
최대출력전압	17.76V	17.4V	2.07
최대출력전류	3.05A	3.05A	0
최대출력전력	54.28W	53W	2.42

표1. 금성 GM-53의 사양비교

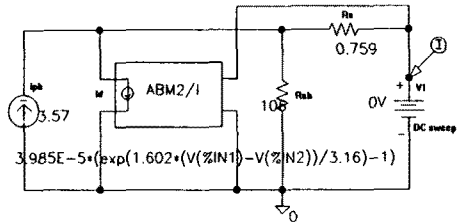


그림1. GM-53 모듈의 PSPICE 등가회로

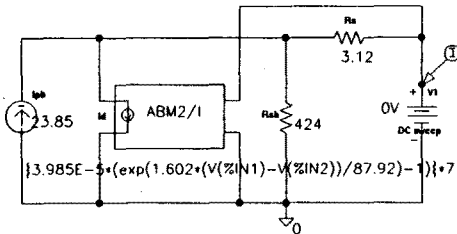


그림2. 10kW급 서브 어레이의 등가회로

그림2는 10kW급 어레이의 PSPICE 등가회로로서 그 시뮬레이션 결과는 Voc(개방회로전압)=622V, I_{sc}(단락회로전류)=23.68A, V_{op}(최대출력전압)=492V, I_{op}(최대출력전류)=20.35A, P_{max}(최대출력전력)=10.016kW 이 된다.

3. 직렬저항에 의한 태양전지 출력변동

태양전지 셀(또는 모듈, 어레이)에 있어서 발생한 출력전력을 인버터나 계통에 연계하는 직류연계선의 저항과 태양전지 셀(또는 모듈, 어레이) 출력 I-V 특성과의 관계를 다음에 나타내고 있다.

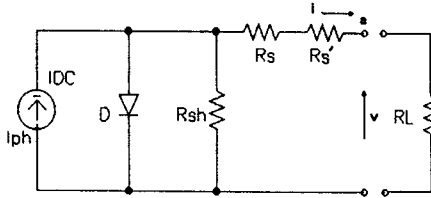


그림3. 일반적인 태양전지의 등가회로

그림3은 일반적인 태양전지 셀(또는 모듈, 어레이)의 등가회로이다. 여기에서 I_{ph} 는 일사량에 따른 광기전류원, D는 다이오드, R_{sh} 는 다이오드 P-N접합의 누설 전류에서 기인한 병렬저항, R_s 는 반도체 직렬저항, 또한 여기에서 문제가 되고 있는 직류연계선의 저항을 R_s' 로 나타내었다.

그림4는 36개의 태양전지 셀을 직렬로 접속된 구조(삼성 모델 SM-60 모듈)에 있어서 태양전지 모듈의 직류연계선의 저항값과 부하단에 있어서 태양전지 모듈의 출력 I-V 특성의 관계를 보인 것이다. 이것으로부터 직류연계선의 저항 R_s' 가 증가할때 태양전지의 비직선성이 상실되고, 그에 따른 V_{op} (최대출력전압), I_{op} (최대출력전류), I_{sc} (단락회로전류)의 감소를 볼 수 있다. 또한 R_s 가 3Ω 정도 이상에서는 단락전류값의 감소가 현저하게 됨을 알 수 있다.

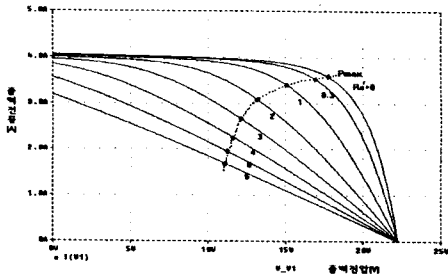


그림4. 모듈의 직류연계선의 저항값과 출력 I-V 특성

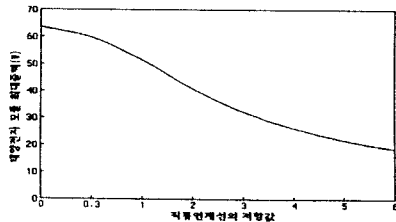


그림5. 직류연계선의 저항값과 모듈의 최대출력

그림5는 그림4로 얻어진 직류연계선의 저항 R_s' 와 최대출력전력(P_{max})의 관계를 보이고 있는 것이다. 이것으로부터 R_s' 값이 증가함에 따라서 P_{max} 값은 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 태양전지 셀(또는 모듈, 어레이)에 있어서 직류연계선의 저항은 최대출력전압 V_{op} , 최대출력전류 I_{op} , 최대출력 P_{max} 를 저하시키는 것으로 되고, 1000kW

급과 같이 태양전지 어레이의 규모가 커지는 경우, 직류연계선의 길이가 길게 될 때에는 직류연계선의 저항값에 주의할 해야 한다.

4. 대규모 PV시스템의 어레이 구성과 시뮬레이션 결과

대규모 PV시스템의 태양전지 어레이 출력특성을 알아보기 위하여 PSPICE로 모델링한 어레이 모델을 가지고, 실제 규모의 태양전지 어레이 모델을 구성하고, 시뮬레이션을 행했다. 구성한 모델은 1000kW급 집중배치형 PV시스템의 태양전지 어레이이다.

1) 태양전지 어레이의 구성

실제의 1000kW급 태양전지 어레이의 구성에 입각하여 그림6에 보인 것과 같은 10kW급 어레이 블록을 5개 병렬로 연계하여 한 개의 서어브 어레이(50kW급)로 한다. 따라서 이 서어브 어레이(50kW) 20개를 인버터로부터 차례로 설치하고, 각 서어브 어레이와 인버터를 직류연계선으로 접속한 것을 상정했다. 또 실제의 서어브 어레이 1개의 길이, 또한 인버터로부터 최외곽으로 먼 거리에 위치해 있는 서어브 어레이의 거리는, 약 200m이다. 또 한 개의 어레이 블록 내의 태양전지 모듈의 구성은 직렬로 28개, 병렬로 7개이다.

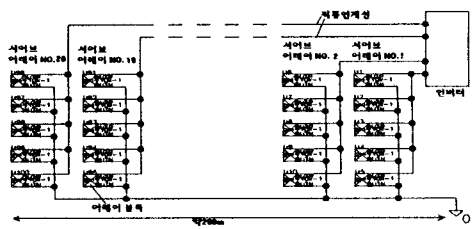


그림6. 1000kW PV시스템의 태양전지 어레이 구성법

2) 직류연계선의 저항값

각 서어브 어레이와 인버터를 연계하는 직류연계선에 있어서는 최대 수백(A)정도의 전류가 흐르고, 저항의 영향으로 인한 손실이 최대로 크게 되는 것으로 한다.

각각의 저항값은 각 서어브 어레이 사이의 거리가 거의 같은 것으로부터 그림6에 있어서 서어브 어레이 NO.2를 R(Ω)(R은 변수값)으로 놓고, 이것을 기본으로 해서 이하 거리에 비례하는 서어브 어레이 NO.3를 $2 \times R(\Omega)$, 서어브 어레이 NO.4를 $3 \times R(\Omega)$, 서어브 어레이 NO.20을 $19 \times R(\Omega)$ 로 설정했다. 서어브 어레이 NO.1의 저항값은 $0.0(\Omega)$ 으로 했다.

3) 시뮬레이션 결과

실제의 인버터 직류 입력전압값은 500V에 일정 제어를 한다. 또 직류연계선에 있어서 손실량의 허용값은 시스템의 사양에 의해 태양전지 출력의 3-4%로 한다. 시뮬레이션은 위의 조건 2)에 따라서 직류연계선의 저항값R을 변화시키고, 인버터 종합입력 I-V특성에 대해서 구했다. 이러한 결과에 의해, 인버터 입력전압값이 500V시에 있어서 직류연계선의 저항값과 인버터 입력전력의 관계를 구한 것과 함께, 인버터 입력전압 최적설정시에 있어서 두 값의 관계에 대해서도 구했다.

시뮬레이션 결과를 그림7부터 그림9에 보인다. 그림7은 직류연계선의 저항값R의 변동에 따른 인버터 종합입력 I-V특성의 변동을 보인다. R의 증가에 의해 최대출력 전압값의 저하가 일어난다. 또 500V로 일정제어했을 경우에는, R의 증가와 함께 입력전류가 저하되는 것을 알 수 있다. 그림8은 그림7에 의해 얻어지는 직류연계선의 저항값과 인버터 종합입력전력값의 관계에 대하여 보인 것이다. 그림8 중의 곡선a는 인버터 입력전압값 500V로 일정제어한 경우의 인버터 종합입력전력값(태양전지 종합출력)의 변동을 보이고 있고, R의 증가와 함께 감소율이 크게 되는 경향이 있다.

한편, 곡선b는 인버터 입력전압값을 최적값으로 설정한 경우의 인버터 종합입력전력값의 변동을 보이는 것이다. 직류연계선의 저항값에 의한 인버터 종합입력전력값은 보통 직선적으로 감소하지만, 그 감소율은 인버터 입력전압 500V 일정제어시보다 적고, 감소율의 차는 R의 증가와 함께 커지게 되는 경향이 있다.

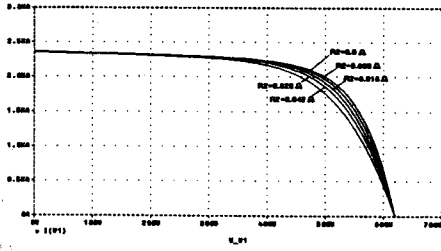


그림7. 1000kW급 어레이로부터의 인버터입력 I-V특성

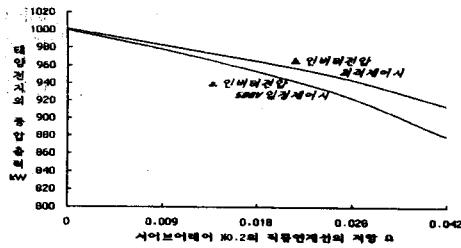


그림8. 직류선의 저항값과 태양전지 종합출력값

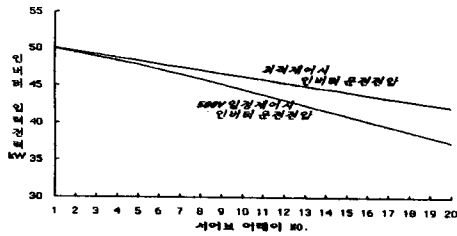


그림9. 각각 서어브 어레이로부터 인버터에의 입력전력

그림9는 직류연계선의 저항값R이 0.042Ω 일 때 있어서 각 서어브 어레이로부터의 인버터 입력전력값에 대해 보인 것이다. 이것에 의해 인버터 입력전압을 최적값으로 설정하면, 특별히 인버터로부터의 거리가 먼 서어브 어레이에 있어서 인버터 입력전력값의 500V 일정제어와의 차이는 크게 되고 종합입력 전력값이 증가하는 것을 알 수 있다.

그림8의 결과로부터 인버터의 종합입력전력이 3-4% 저하하는 R의 값은, 인버터 운전전압 500V 일정제어에 있어서 0.011Ω, 최적설정시에 있어서 0.016Ω으로 된다. 이것으로부터, 인버터로부터 최대로 멀리있는 서어브 어레이 NO.20에 있어서 직류연계선의 저항값은 보통 0.209Ω, 또는 0.304Ω으로 된다.

이상의 결과로부터, 각 서어브 어레이와 인버터를 연계하는 직류연계선의 종류로는, 서어브 어레이 NO.20과 인버터의 거리를 약 200m로 놓고, 단위 길이당의 저항값으로 환산하고, 인버터의 운전전압을 500V로 일정제어한 경우에 있어서 약 0.5Ω/Km, 인버터 운전전압값을 최적값으로 설정한 경우에 있어서 약 0.8Ω/Km 이하로 하지 않으면 인버터

의 종합입력의 손실값을 3-4% 이내로 억제하는 것이 불가능하다는 것을 알 수 있다.

그러므로 직류연계선의 종류의 선정에 대해서는 인버터의 최적운전 전압값을 포함하는 검토를 행하는 방법이 보다 경제적인 것을 알 수 있다.

5. 결론

대규모 집중배치형 태양전지 어레이의 가장 큰 문제점의 한가지는 직류연계선의 저항치에 의한 태양전지 어레이 출력의 저하이다.

본 논문에서, 이것을 방지하기 위한 직류연계선의 종류와 네트워크 방식에 대한 검토를 하기 위해 대규모 PV시스템의 태양전지 어레이 출력특성 해석에 PSPICE를 사용하여 모델링·시뮬레이션하고, 이것을 이용하여 대규모 PV시스템의 태양전지 어레이에 대한 문제점을 고찰하고, 이 PSPICE 프로그램에 대한 검토를 행하였다. 또한, 1000kW급 태양광 발전 시스템을 검토의 대상으로한 직류연계선의 저항값과 태양전지 어레이 출력의 관계에 대하여 해석했다. 그 결과, 직류연계선의 전력손실량의 허용값을 3-4%이하로 한 경우, 인버터 입력전력 500V 일정제어시에 있어서 0.5Ω/km, 최대출력제어시에 있어서 0.8Ω/km 이하의 직류연계선을 사용해야 됨을 알 수 있었다.

이후에는 1000kW급 PV시스템의 태양전지 어레이를 대상으로한 PSPICE 프로그램의 신뢰성을 향상시키고, 이에 대한 상세한 검토를 행하는 동시에 시스템의 최적운전방식을 검토하는데에 이 결과를 적용할 것이다.

참고 문헌

- 1) 유권중의; [태양광 어레이 모델링을 통한 최대출력점 고찰], 제1회 전력전자학회 논문집, 1996.
- 2) 유권중의; [최대전력제어를 위한 PSPICE의 태양광 어레이 모델링], 대한전기학회 하계학술대회 논문집A, pp 540, 1996.
- 3) R. Katan, V. Agelidis and C. Naggar; [PSPICE Simulation of Photovoltaic Arrays], International Journal Electrical Engineering Education, 1995.
- 4) Muhammad H. Rashid; [SPICE for Circuits and Electronics Using PSPICE], Prentice-Hall International, Inc
- 5) H. Kobayashi and Y. Takeda; [일본 전력중앙 연구소 보고서 연구보고: 183011], pp2-41, 전력중앙연구소, 昭和58年.