

바이폴 ±750 직류 배전망 연계용 태양광 발전 시뮬레이터 구현

Implementation of a Photovoltaic System Simulator for Interconnecting with Bipolar ±750V DC distribution Grid

김 태 훈* · 김 석 웅* · 조 진 태** · 김 주 용** · 정 재 승†

(Tae-Hoon Kim · Seok-Woong Kim · Jin-Tae Cho · Ju-Yong Kim · Jae-Seung Jung)

Abstract - The micro-grid designed as bipolar ±750V low-voltage DC power distribution system demonstrated by KEPRI, demands interconnection of a number of small decentralized power source including variable renewable generator. Therefore, variable researches for the influence of interconnection with the bipolar typed DC grid and these variable power sources are required for superior quality of power distribution. Renewable power generation simulators for the bipolar ±750V low-voltage DC power distribution system are necessary for such researches. In this paper, we carry out a research on the photovoltaic simulator that be actually able to interconnect with a bipolar ±750V low-voltage micro-grid. Simulator for this research is not only able to simulate photovoltaic generation according to weather informations and PV modules characteristics, but also contribute to stabilization of bipolar ±750V low-voltage of the system. Therefore, the simulator was designed to develop a system that can situationally respond to variable control algorithms such as the MPPT control, droop control, EMS power control, etc.

Key Words : Photovoltaic simulator, DC distribution system, LVDC, Microgrid, Decentralized power source

1. 서 론

현재 우리가 사용하고 있는 에너지의 대부분은 석유, 천연가스, 석탄 같은 화석연료에서 얻고 있으며 이들의 대부분은 수입에 의존하고 있다. 이들 화석연료의 경우 그 사용량이 증가할수록 각종 오염물질과 더불어 온실효과를 일으키는 이산화탄소의 배출량이 증가하게 되어 지구 온난화를 가속화하게 된다. 따라서 화석연료를 대체하기 위한 방안으로 여러 종류의 신재생 에너지원이 제안되었으며 이에 대한 지속적인 연구가 수행되고 있다 [1-2].

주로 연구되고 있는 신재생 에너지원으로는 태양광, 태양열, 풍력, 지열 등이 있으며 이들로부터 얻어진 전력은 상용 교류배전망으로 연계되기 위해서 직류로 먼저 변환된 후 다시 교류로 변환하는 과정을 거치게 된다. 이 변환 과정에서 추가적인 에너지 변환기기가 요구될 뿐만 아니라 이에 따른 에너지 손실도 발생하므로 신재생 에너지원의 경제적인 운용을 저해하게 된다. 우리나라의 경우 신재생 에너지원을 대규모로 운영하기에 불리한 자연조건을 가지고 있으므로 소규모의 다양한 신재생 에너지원을 유기적으로 결합하여 운용하는 것이 보다 유리할 수 있다. 따라

서 이러한 부가적인 에너지 변환기기의 존재는 소규모의 신재생 발전의 경제성과 효율성에 보다 큰 악영향을 미치므로 이에 대한 해결책이 요구되고 있다.

마이크로그리드(Microgrid)는 다수의 소규모 분산전원을 이용하여 전력을 공급하는 시스템으로 전체 용량이 수 kW~수 MW 정도의 전력계통을 의미한다 [3-6]. 마이크로그리드는 주 계통에서 발생한 사고로 인해 전력의 단절이 발생하여도, 병렬 연결된 다수의 분산전원으로 이를 대체하여 정전사고를 방지할 수 있는 장점이 있다. 특히 마이크로그리드를 저압 직류 배전망으로 구성할 경우, 다양한 종류의 신재생 에너지원의 연계시 교류로의 재변환 과정을 생략할 수 있으므로, 이 과정에서 요구하는 기기와 에너지 손실을 배제할 수 있어 소규모의 신재생 에너지원으로도 경제적인 전력생산이 가능할 것으로 사료된다. 이 뿐 만 아니라, 일반적으로 가정에서 사용되는 소형 전자기기의 경우 대부분 저압 직류를 이용하는 장치가 대부분이므로 이를 위한 전력변환 과정 또한 배제할 수 있으므로, 부하단에서의 에너지 소비 효율의 증대 효과 또한 얻을 수 있을 것이다.

현재 KEPRI에서는 바이폴(bipolar) ±750 V 저압 직류 배전망에 대한 실증 사이트를 구축하고 있으며, 이를 이용하여 저압 직류 배전망의 효율적인 운용 알고리즘을 개발하려 하고 있다. 이를 위해서는 다양한 분산 전원과의 연계가 필수적이지만 [7-9] 바이폴형의 저압 직류 배전망과의 연계를 위한 분산전원의 적절한 설계, 연계 및 운용, 연계시 발생하는 영향 등에 대한 연구가 매우 부족한 실정이다 [1-2, 10-11]. 특히 분산전원으로 많이 이용되는 신재생 에너지원의 경우, MPPT(Maximum Power Point

† Corresponding Author : Korea Electrical Engineering & Science Research Institute.

E-mail:bucstual@naver.com

* Korea Electrical Engineering & Science Research Institute.

** KEPCO Research Institute.

Received : August 22, 2016; Accepted : October 19, 2016

Tracking) 제어, 교류 배전망과의 연계에 대한 연구가 대부분을 차지하고 있어 직류 배전망에 적합한 신재생 에너지원의 개발을 위해서는 더 많은 연구가 필요하다. 본 논문은 바이폴 ±750 V 저압 직류 배전망과 신재생 에너지를 연계한 마이크로그리드 개발을 위한 연구로서 바이폴 ±750 V 저압 직류 배전망에 연계될 신재생 에너지원 중 태양광 발전원의 개발 및 운용 방안 연구에 필요한 시뮬레이터의 설계, 요구 기능 및 실증에 관한 연구이다.

2. 본 론

2.1 바이폴 ±750 V 저압 직류 배전망의 특성

KEPRI에서 실증 중인 저압 직류 배전망은 바이폴 구조로 +선과 -선, 그리고 중성선의 3개 선로로 구성된다. 양 전극은 중성선에 대해 ±750 V를 가지며 이는 유럽 표준에 정의된 저전압 계통이 가질 수 있는 가장 높은 전압이다. 바이폴 구조의 직류 배전방식은 모노폴 구조의 직류 배전방식과 달리 중성선을 독립적인 선로로 구성하므로 선로설치비용이 증가하는 단점이 있지만, 대지 귀환전류가 없기 때문에 부식과 같은 환경문제를 일으키지 않는 장점을 가진다. 또한 +, - 선로는 각각 독립적으로 동작할 수 있으므로 한 선로에 고장이 발생하더라도 다른 선로를 통하여 전력을 공급받을 수 있으므로 계통 신뢰도가 높다. 바이폴 구조는 멀티-터미널 방식으로 다수의 분산 전원들과의 연계가 가능하다. 따라서 그림 1의 마이크로그리드처럼 배전 선로에 다수의 부하, 분산 전원이 병렬로 연결된 배전 계통에 적합한 구조이다. 바이폴 구조의 전력변환기는 2개의 2레벨 전력변환기를 병렬로 연결하거나 3레벨 전력변환기 1대로 구성이 가능하다.

2.2 태양광 발전 시뮬레이터 현황과 개선

국내·외에서 개발된 태양광 시뮬레이터의 경우, 표 1에서와 같

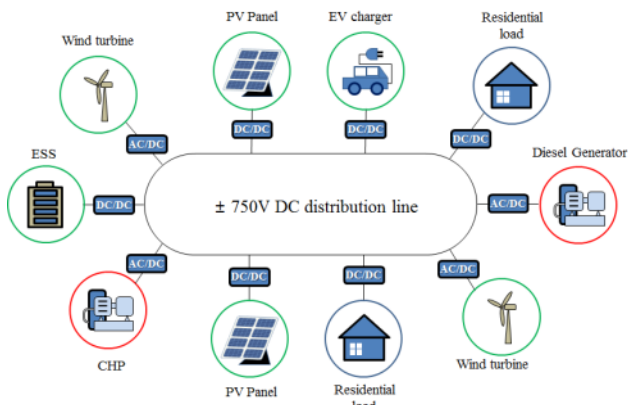


그림 1 독립형 직류 마이크로그리드 구성도

Fig. 1 A structural schematics of the stand-alone type DC micro-grid

이 전압 범위는 보통 1,000 V까지 이며, 용량은 병렬로 연결 시 최대 1.5 MW까지 가능하다. 그리고 통신방식은 Ethernet을 사용하며 원격으로 제어가 가능하지만 제어모드는 MPPT 제어만 제공한다. 하지만 직류 배전망의 경우 태양광 발전과 같은 분산전원의 발전량에 따라 전압의 변동이 발생하며 이를 안정적으로 제어하기 위해 다양한 제어방식을 적용할 수 있어야 한다. 본 논문에서 제안한 태양광 시뮬레이터는 기존의 MPPT 제어뿐만 아니라 직류 배전망의 전압 제어를 위한 Droop 제어 및 전력 제어도 적용할 수 있도록 하였다. 특히 KEPRI의 바이폴 직류 배전망의 +부와 -부를 각각 독립적으로 제어할 수 있도록 하여, 한 극에서 고장이 발생하여도 다른 극을 통한 전력의 공급이 가능하도록 하였다. 즉, 제안한 시뮬레이터를 이용하여 바이폴 직류 배전망의 전압 안정화를 위한 신재생 발전원의 제어에 필요한 알고리즘 개발 실증이 가능하도록 하였다.

또한 다양한 태양전지 모듈을 적용할 수 있도록 태양전지 사양을 임의 변경할 수 있도록 하고, 일사량 및 온도 센서를 외부에 설치하여 실시간 태양광 발전량을 분석할 수 있으며, 기상청 데이터와 연동을 통해 국내 전 지역의 태양광 발전량에 대한 모의가 가능하도록 하였다. 따라서 현재 진행 중인 여러 에너지 자립섬 개발과 같은 독립된 마이크로그리드에 대한 태양광 발전 및 전력분석이 가능하므로 이를 이용하여 각 지역에 적합한 태양광 발전 제어 알고리즘 및 설비 용량 설계 등에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

2.3 제안된 태양광 발전 시뮬레이터의 시스템 구성

바이폴 저압 직류 배전망 연계용 태양광 발전 시뮬레이터는 상용계통 AC 380 V를 입력으로 받아 구현되며 계통과는 절연이 되어 있다. 그리고 외부 일사량, 온도 데이터를 받아 태양전지 모

표 1 국내외 태양광 발전 시뮬레이터의 현황

Table 1 Specifications of domestic and foreign photovoltaic simulator

구분	국외 제품	국내 제품
태양전지 출력전압	Max. DC 1,000 V	Max. DC 1,000 V
전압 및 전류 정밀도	0.1~1.5%	1.0~1.5% 이내
태양전지 셀 유형	단결정 및 다결정 실리콘	단결정 및 다결정 실리콘
일사량 및 온도 범위	일사량: 0~2000 W/m ² 온도: -40~90 ℃	일사량: 0~1000 W/m ² 온도: -20~90 ℃
태양광 발전 모의 방식	전류-전압 특성 파라미터 입력 플라즈마 램프 사용한 실시간 태양광 발전 모의	제논 램프 사용한 실시간 태양광 발전 모의
제어모드	MPPT 제어	MPPT 제어
운영 시스템	GUI 방식의 원격시스템 태양광 전류, 전압 및 전력 분석	GUI 방식의 원격시스템 태양광 전류, 전압 및 전력 분석

들과 유사한 동작을 하며 DC ±750 V의 저압 DC 계통에 발전된 전력을 전달한다. 이를 위해 태양광 발전 시뮬레이터는 그림 2와 같이 구성된다. 주요 구성기기는 AC 380 V 계통 전력을 받아 외부 일사량 및 온도 데이터를 통해 가상의 태양전지 모듈로 동작하는 AC/DC 컨버터와 그 출력을 받아 직류배전망으로 전달하기 위한 태양광 PCS(Power Conversion System)로 동작하는 DC/DC 컨버터 그리고 입력된 알고리즘에 의해 시뮬레이터를 동작시킬 수 있는 제어장치이다.

AC/DC 컨버터는 태양광 전지 모듈에 대한 시뮬레이션이 가능하도록 운영시스템의 GUI(Graphic User Interface)를 통해 일사량, 온도 등의 기상조건과 태양전지 모듈의 특성 파라미터를 입력받아 이에 따른 태양전지 모듈의 출력전압을 구현한다.

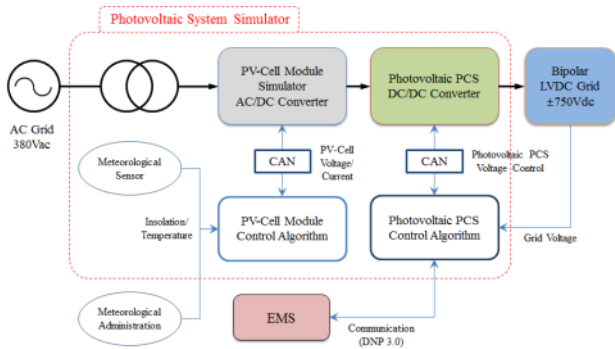


그림 2 태양광 발전 시뮬레이터 구성도
Fig. 2 Photovoltaic simulator configuration schematics

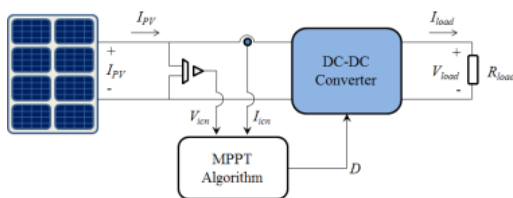


그림 3 MPPT 제어 구성도
Fig. 3 MPPT control circuit

DC/DC 컨버터는 AC/DC 컨버터의 출력을 계통전압이 맞도록 DC ±750V로 변환하여 출력하고, 직류 배전망의 ESS(Energy storage system)의 SOC(state of charge)에 따른 MPPT, Droop 및 Power 제어와 같은 계통 안정화 제어 알고리즘을 통하여 출력을 제어할 수 있다. Droop 제어의 경우, GUI를 통해 Droop 특성곡선의 파라미터 입력이 가능하고 Power 제어의 경우 GUI 또는 EMS와의 통신을 통해 시뮬레이터의 전류 및 전력에 대한 인위적 변경이 가능하다.

2.4 태양광 발전 시뮬레이터의 제어

2.4.1 MPPT 제어

태양전지 모듈의 전압 및 전류는 온도 및 일사량에 따라 변동

하며 부하상태도 변화하기 때문에 태양전지 모듈 특성이 변화하지 않아도 동작점이 변경된다. 태양전지 모듈이 효율적으로 동작하기 위해서는 최대출력을 항상 최대 전력점에서 동작하도록 제어되어야 한다.

본 논문에서 제안한 태양광 발전 시뮬레이터에는 그림 3과 같이 MPPT 제어가 적용되며, 태양전지 모듈에 연결된 부하 제어를 통해 임피던스 매칭을 최적화하여 최대 전력점 동작이 가능하도록 하며, 일사량과 온도의 변화에 따라 가변하는 태양전지 모듈의 최대 전력점을 추정하여 전압 지령치로 출력하는 역할을 수행한다. MPPT 제어는 태양광 시뮬레이터와 태양광 컨버터 사이에 전압 및 전류 센서를 설치하고, 측정된 전압 및 전류 값을 이용하여 최대 전력점을 계산할 수 있도록 하였다.

본 시뮬레이터에 적용된 MPPT 제어 알고리즘은 P&O (Perturbation & Observation) 알고리즘을 이용하며, 외부로부터 알고리즘을 수정할 수 있도록 설계되었다. P&O 제어 알고리즘은 태양전지의 동작점을 규정하는 직류단 전압제어 시 전압을 일정한 방향으로 변동시킨 후 태양전지 모듈의 출력을 측정, 이전 출력과 비교하여 출력이 증가하는 방향으로 전압을 상승 또는 하강시키는 방법이다. 일반적으로 전압의 변동폭은 고정인 P/dV 에 비례하여 전압 변동폭을 조정하는 가변폭 기법을 적용하며, 그 알고리즘의 제어 흐름도는 다음 그림 4와 같다.

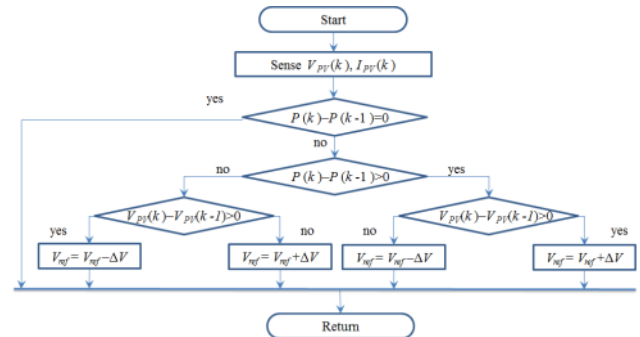


그림 4 P&O 제어 알고리즘 제어 흐름도
Fig. 4 Flow chart of a P&O control algorithm

2.4.2. Droop 제어

제안된 태양광 발전 시뮬레이터는 저압 직류배전망과 연계되어 분산전원으로 모의 동작하게 되므로, 계통의 안정화를 위한 제어 알고리즘에 따른 제어가 필요하다. 따라서 저압 직류배전망 ESS(Energy storage system)의 SOC(state of charge)와 부하 변동에 대해서 태양광 발전이 부하를 배분한 범위에서 전압 및 전력의 크기를 변동하여 제어하는 Droop 제어가 본 시뮬레이터에 적용되었다. 직류 계통에서는 전압 균형을 유지하는 것이 가장 중요한 요소이며, 태양광 시뮬레이터에서 직류 출력 전압에 대한 Droop 직선을 형성하여 정해진 전압 범위 내에서 전압 균형을 유지한다. 태양광 시뮬레이터에서 직류 계통 전압의 변화에 따라 태양광 시뮬레이터의 출력전력 가변을 위해 Droop 직선의 기울기를 입력할 수 있도록 설계되었다.

2.4.3. Power 제어

제안된 태양광 발전 시뮬레이터는 저압 직류 배전망에 연계될 다수의 다양한 분산전원 중 하나로 동작하게 되므로 Power 제어에 의하여 중앙집중식 제어 계통에서 상위제어기(EMS)의 전압, 전류 및 전력 지령에 따라 본 시뮬레이터가 지령 값을 추종할 수 있는 기능이 요구된다. 즉, 본 시뮬레이터는 저압 직류배전망에 연계되었을 때 MPPT나 Droop 제어 같은 시뮬레이터의 자율적인 제어뿐 만 아니라 상위 제어기에 의한 제어가 가능하도록 구성, 설계되었으며, 이를 위한 통신은 Ethernet DNP(Distributed Network Protocol) 3.0으로 하도록 되어 있다.

2.5 시뮬레이터에 의한 계통 전압 제어 실험

본 태양광 발전 시뮬레이터는 바이폴 구조의 ± 750 V 직류 배전망에 연계하기 위한 것이므로 +부와 -부의 출력을 각각 독립적으로 제어할 수 있어야 한다. 바이폴 구조의 직류 배전망으로

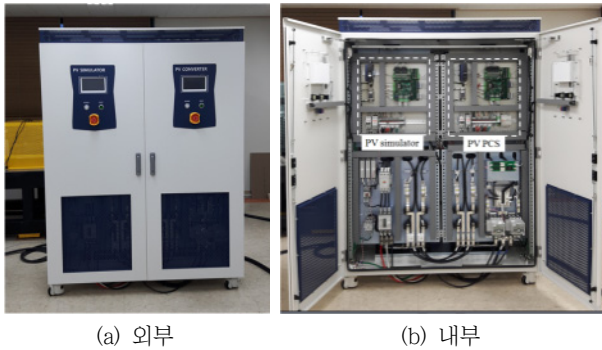


그림 5 태양광 발전 시뮬레이터 사진
Fig. 5 Photographs of the photovoltaic simulator

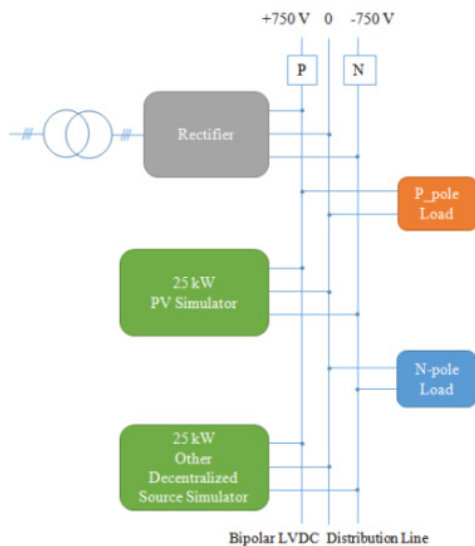


그림 6 태양광 발전 시뮬레이터 제어 실험 회로
Fig. 6 Experimental circuit for Photovoltaic simulator control

구성된 마이크로그리드에서는 +부와 -부에 연계된 부하의 크기나 분산전원 출력의 차이에 의한 전압 불균형이 발생할 수 있으므로 이를 해소하기 위해서 상기의 기능이 필수적이다. 즉 직류 마이크로그리드를 구성하는 분산전원들은 허용된 출력 범위 내에서는 각 부에 연결된 부하의 불균형에 의해 발생하는 전압의 불균형을 제어할 수 있어야 한다.

그림 5와 6은 개발된 태양광 발전 시뮬레이터의 내·외부의 사진과 이를 이용한 실험회로의 개략도이다. 실험회로는 태양광 발전 시뮬레이터를 포함한 신재생 발전 시뮬레이터 2대로 구성된 분산전원과 모의부하를 병렬 연결하여 구성하였다.

그림 7은 태양광 발전 시뮬레이터의 제어 방식을 선택하기 위한 제어 흐름도이며, 분산전원의 발전량만으로 부하를 감당할 수 있는 경우와 없는 경우로 나누어 분산전원의 제어방식을 선택할 수 있도록 하였다. 분산전원의 발전량보다 부하가 더 큰 경우에는 정류기를 통한 계통 연계형 구조로 마이크로그리드가 운용되는 것으로 가정하며, 각 분산전원은 MPPT 제어모드로 동작하게 된다. 또한 부하의 불균형 문제가 발생할 시, EMS 지령에 의한 선로에서 발생한 잉여전력을 전력이 부족한 선로로 공급할 수 있도록 하였다. 분산전원의 발전량이 부하보다 큰 경우에는 계통 독립형 구조로 마이크로그리드가 운용되는 것으로 가정하며, 각 분산전원은 Droop 제어를 통하여 전력을 분담하게 된다. 일반적으로 신재생원은 MPPT 제어를 통하여 최대 전력을 생산하며, 잉여 발전량이 발생하였을 때는 이를 소모시킬 수 있는 시스템이 필요하다. 하지만 본 시뮬레이터의 경우, Droop 제어를 통하여 전력을 제한하여 공급할 수 있어 부가적인 전력 소모용 시스템을 필요로 하지 않는다.

그림 8은 부하 불균형 상황을 모의하였을 때의 태양광 발전 시뮬레이터의 출력 파형이다. 분산전원의 출력이 부하보다 작은 상황에서 MPPT 제어를 적용하였으며, 부하가 작은 선로의 전력 공급을 줄이고 부하가 큰 선로로 더 많은 전력을 배분하여 공급할 수 있도록 하여 양 선로의 계통 전압을 ± 750 V로 유지할 수

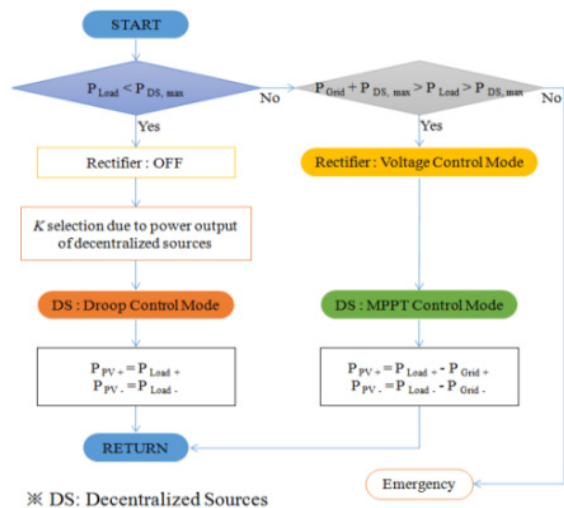


그림 7 태양광 발전 시뮬레이터 제어 흐름도
Fig. 7 Flow chart of photovoltaic simulator control algorithm

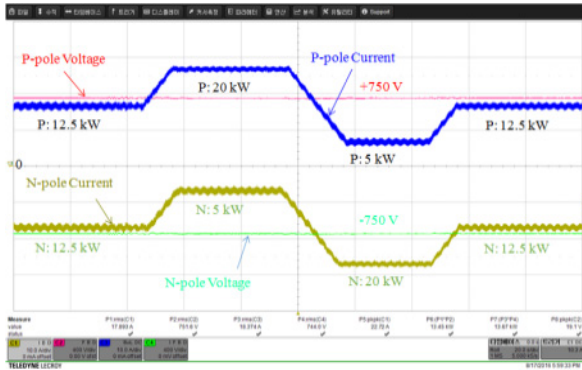


그림 8 태양광 발전 시뮬레이터에 의한 부하 불균형 해소에 대한 실험 결과 (Utility-connected: MPPT control)

Fig. 8 Experimental results for elimination of the load imbalance by the PV simulator (Utility-connected: MPPT control)

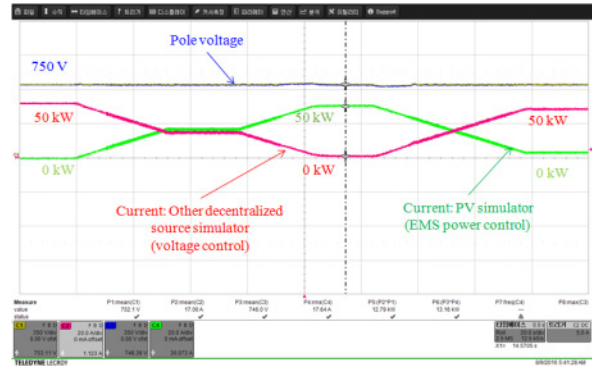


그림 10 비 계통 연계시 EMS의 지령에 의한 태양광 발전 시뮬레이터의 전력 제어

Fig. 10 Power control of PV simulator by the EMS instruction in the stand-alone mode

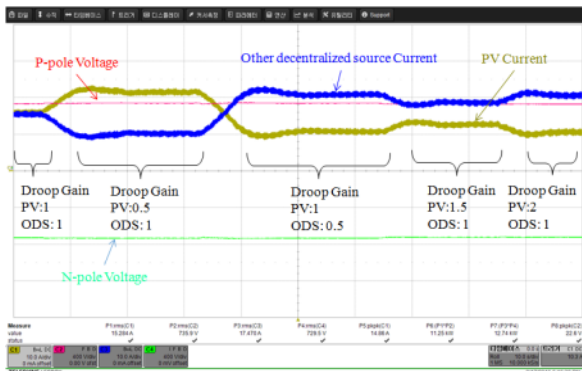


그림 9 태양광 발전 시뮬레이터에 의한 부하 불균형 해소에 대한 실험 결과 (Stand-alone mode: droop control)

Fig. 9 Experimental results for elimination of the load imbalance by the PV simulator (Stand-alone mode: droop control)

있도록 하였다.

그림 9는 분산전원의 출력이 부하보다 큰 경우의 태양광 발전 시뮬레이터 출력 파형이다. 실험 회로에는 태양광 발전 시뮬레이터를 포함한 두 개의 신재생 발전 시뮬레이터가 연계되어 있으며, 각 시뮬레이터가 전력을 분담하여 공급할 수 있도록 Droop 제어를 적용하게 된다. 신재생 발전원은 환경 변화에 따라 발전량이 변화하므로 발전량이 보다 큰 발전원이 전력을 더 크게 출력할 수 있도록 Droop 계수, K 를 결정하게 된다. 그림 9의 출력 파형에서 나타나 있는 것처럼, 태양광 발전 시뮬레이터의 출력이 또 다른 신재생 발전 시뮬레이터 출력의 2배라면, 태양광 발전 시뮬레이터의 K 를 다른 신재생 발전 시뮬레이터의 K 의 50%로 설정함으로써, 태양광 발전 시뮬레이터가 더 많은 전력을 부하에 공급할 수 있도록 하였다.

저압 직류 배전망에는 다수의 분산전원이 연계되며 각각의 분

산전원은 계통 상황에 따라 droop 제어나 MPPT 제어를 통해 계통 전압을 제어할 수 있다. 그러나 긴급 상황이 발생할 경우 분산전원의 개별 제어보다 우선적으로 상위제어기 즉 EMS에 의한 전력 제어가 필요할 경우가 발생할 수 있으므로 각 분산전원은 이에 대응할 수 있는 기능을 갖추어야 할 필요가 있다. 본 연구에서 개발된 태양광 발전 시뮬레이터는 이러한 기능을 내장하였으며 그림 10은 개발된 시뮬레이터의 EMS 지령에 따른 출력 결과이다. 다른 발전원이 $\pm 750V$ 로 전압 제어되고 있는 상황에서 태양광 발전 시뮬레이터에 출력 전력 지령을 주었을 때 이를 추종할 수 있음을 확인하였다.

3. 결 론

현재 KEPRI에서 실증중인 바이폴 $\pm 750V$ 저압 직류 배전망에 이용한 마이크로그리드의 경우 다수의 다양한 신재생 발전원이 연계되므로, 이들의 연계시 직류 계통에 미치는 영향 및 계통 전압 안정화를 위한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 바이폴 저압 직류 배전망에 연계할 수 있는 신재생 발전원 중에서 태양광 발전 시스템의 개발을 위한 시뮬레이터에 대한 연구를 수행하였다. 기본적으로 외부 기상상황 및 기상청 정보에 따른 태양광 발전 시스템의 발전량을 모의하며, 부가적으로 저압 직류 배전망의 전압 안정화에 미치는 영향을 연구할 수 있도록 계통의 상황에 따라 시뮬레이터 제어 방식을 선택할 수 있도록 하였다. 이를 위해서 신재생 발전에 일반적으로 적용되는 MPPT 제어뿐 만 아니라 다수의 신재생원 연계 운용을 위한 droop 제어 및 EMS에 의한 전력 제어에도 대응할 수 있도록 하였다. 이와 같은 다양한 제어방식을 적용한 시뮬레이터 제어 알고리즘을 통하여 직류 배전망에서 발생하는 계통전압 불균형 상황을 분산전원으로 제어할 수 있음을 확인할 수 있었다.

향후에는 태양광 발전 시뮬레이터를 포함한 다양한 신재생 발전 시뮬레이터와 저압 직류배전망과의 연계에 의한 직류 계통의 안정화에 대한 연구를 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사 전력연구원의 재원으로 기초전력 연구원(15517)주관으로 수행된 과제임.

References

[1] S. Y. Kang, K. H. Kim, "Simulator Development for Stand Alone PV System Design," Proceedings of the Korean Institute of Power Electronics Conference, pp. 383-388, 2003.

[2] B. H. Jeong, J. M. Park, G. B. Cho, H. L. Baek and S. B. Chung, "Implementation of the 50kW Utility Inter-connected Photovoltaic System Simulator." Journal of the Korean Solar Energy Society, vol. 12, pp. 21-27, 2005.

[3] R. H. Lasseter, "Smart distribution: Coupled microgrids," Proceedings of the IEEE, vol. 99, no. 6, pp. 1074 - 1082, 2011.

[4] J. J. Justo, F. Mwasilu, J. Lee and J. W. Jung, "AC-micro grids versus DC-microgrid with distributed energy resources: A review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 24, pp.387 - 405, 2013.

[5] A. Ali, A. Farooq, Z. Muhammad, F. Habib and S. A. Malik, "A review: DC Microgrid Control and Energy Management System," International Journal of Electrical and Electronic Science, vol. 2, no. 2, pp. 24-30, 2015.

[6] H. J. Song, K. W. Park and E. K. Kim, "Design and Implementation of Stand-alone Microgrid Monitoring System for Green Energy Independence Island," The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 10, no. 4, pp. 527-532, 2015.

[7] Y. Gu, X. Xiang, W. Li and X. He, "Mode-Adaptive Decentralized Control for Renewable DC Microgrid With Enhanced Reliability and Flexibility," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 29, no. 9, pp. 5072-5080, 2014.

[8] W. Panbao, W. Wei, X. Dianguo, L. Guihua and L. Ming, "An Autonomous Control Scheme for DC Micro-Grid System," Industrial Electronics Society, IECON 2013 39th Annual Conference of the IEEE, pp. 10-13, 2013.

[9] T. H. Han, J. H. Lee, H. J. Kim and B. M. Han, "Optimized Design and Coordinated Control for Stand-alone DC Micro-grid," The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, vol. 18, no. 1, pp 63-71, 2013.

[10] K. B. Lee, K. M. Son and I. S. Jeon, "A Study on the Simulation Model of PV Generation System for its Application to Real Power System," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 22, no. 6, pp. 70-78. 2008.

[11] S. M. Lee, Y. H. Chun, "Assessment of Optimal Constitution Rate of Windturbine and Photovoltaic Sources for Stable Operation of Microgrid," The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 59, no. 2, pp. 272-276, 2010.

저 자 소 개



김 태 훈 (Tae-Hoon Kim)

1979년 6월 23일생. 2005년 경북대학교 전기공학과 졸업. 2007년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2016년 한양대학교 대학원 전기공학과 박사과정. 2012년~현재 기초전력연구원 차세대변전연구팀장.



김 석 웅 (Seok-Woong Kim)

1986년 3월 19일생. 2012년 충북대학교 전기공학과 졸업. 2016년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2016년~현재 기초전력연구원 차세대변전연구팀 선임연구원.



조 진 태 (Jin-Tae Cho)

1979년 11월 1일생. 2006년 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업. 2008년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2016년 고려대학교 대학원 전기공학과 박사과정. 현재 전력연구원 스마트배전연구팀 선임연구원.



김 주 용 (Ju-Yong Kim)

1969년 9월 27일생. 1992년 경북대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 전력연구원 스마트배전연구팀 책임연구원.



정 재 승 (Jae-Seung Jung)

1978년 4월 14일생. 2004년 경북대학교 공대 전자전기공학부 졸업. 2007년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 경북대학교 대학원 전자전기공학부 졸업(박사). 2015년~현재 기초전력연구원 차세대변전연구팀 선임연구원.