

분산전원과 에너지저장으로 구성된 독립형 DC 마이크로그리드의 협조적 Droop 제어 기법

이지현, 김현준, 한태희, 박아련, 한병문
명지대학교

Coordinated Droop Control Method for Stand-alone Type DC Micro-grid with Distributed Sources and Energy Storage

Ji Heon Lee, Hyun Jun Kim, Tae hee Han, Ah Ryun Park, Byung Moon Han
Myongji University

ABSTRACT

본 연구에서는 분산전원과 에너지저장으로 구성된 독립형 DC 마이크로그리드의 신뢰도를 향상시키기 위한 협조적 Droop 제어기법을 제안하고 그 성능과 동작을 분석한 내용에 대해 기술하고 있다. 제안하는 시스템의 동작 타당성을 체계적으로 분석하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션 모델을 개발하였으며 이를 기반으로 하드웨어 시스템을 제작하여 제안하는 시스템의 동작특성을 분석하였다.

1. 서 론

최근 스마트그리드의 대두와 함께 국내외적으로 도서지방이나 오지에서는 풍력, 태양광, 연료전지 등의 분산전원과 에너지저장을 복합적으로 운용하여 부하에 전력을 공급하는 독립형 마이크로그리드의 설치가 증가하고 있다.

하지만 마이크로그리드의 시스템 용량 산정 및 운영에 대한 최적설계가 잘 이루어져 있지 못하여 고장이 많고 공급신뢰성이 낮은 실정으로 인해 빈번한 유지보수가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 독립형 DC 마이크로그리드의 신뢰도 및 분산전원과 에너지 저장의 활용도를 향상시키기 위한 협조적 Droop 제어기법을 제안하고 그 성능과 동작을 분석한 내용에 대해 기술하였다. 제안하는 시스템의 동작 타당성을 체계적으로 분석하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션 모델을 개발하였으며 이를 기반으로 6.6k급 하드웨어 시뮬레이터를 제작하여 시스템의 동작특성을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 시스템 설계

제안하는 독립형 마이크로그리드는 그림 1에 보인 것처럼 전체 시스템의 효율과 가격 운용의 용이성을 고려하여 DC 마이크로그리드 형태로 구성하였다. 분산전원으로는 재생에너지원으로 풍력발전과 태양광 발전을 사용하며 출력조절이 가능한 엔진발전을 사용하였다. 풍력발전과 엔진발전은 3상 AC/DC 컨버터를 사용하며 태양광발전은 3상 인터리브드 부스트 DC/DC 컨버터를 사용하였다. 에너지저장요소는 장시간 전력관리가 가능한 배터리 중에서 가격과 성능을 고려하여 Ni MH 배터리를 사용하였으며 3상 인터리브드 양방향 DC/DC 컨버터를

를 사용하였다. 부하에는 DC/AC 인버터를 통하여 교류전력을 공급하게 된다.

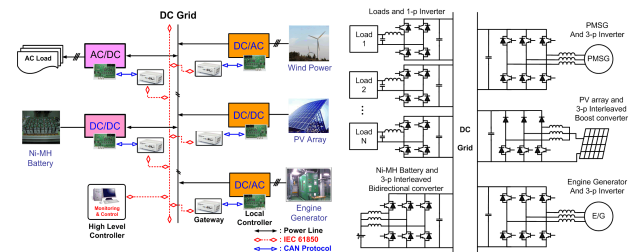


그림 1 독립형 마이크로그리드의 구성
Fig. 1 Configuration of Stand-alone Type Micro-grid

독립형 마이크로그리드에 있어서 시스템의 전체적인 용량은 가격적인 면과 설치지역의 기후조건을 고려하여 설계되어야 하며 본 논문에서 사용하는 시스템 설계 절차를 그림 2에 나타내었다.

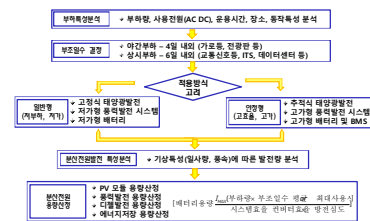


그림 2 시스템 설계 절차
Fig. 2 Design Flow of the System

2.2 신뢰도 향상을 위한 협조적 Droop 제어 기법

독립형 마이크로그리드는 기존 전력망과 단절되어 있기 때문에 운영 시에 전력균형을 유지하는 것이 가장 중요한 요소이자 신뢰도를 결정짓는 기술이다.

본 논문에서는 분산전원들과 에너지 저장장치가 연계단의 전압에 따라 자율적으로 제어를 수행하면서 전력균형을 유지하는 협조적 Droop 제어기법을 제안한다. 분산전원과의 협조적 제어를 통하여 운용 신뢰도와 안정성을 높였으며, 배터리의 SOC에 따른 운전 영역을 설정하여 배터리 수명과 보호도 고려하였다.

마이크로그리드 전력관리를 위한 배터리 컨버터의 Droop 제어기를 그림 3에 나타내었다. 사용하는 제어기는 여러 에너지 저장장치가 서로 전력관리를 수행하는 경우에 순환전류의 억제도 가능하다. 전압제어기가 감당하는 전력과 전압 변동률,

DC 그리드의 최소 전압에 의하여 Droop곡선의 기울기인 R_v 가 결정된다.

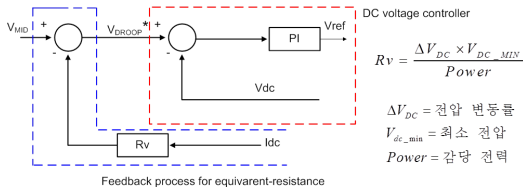


그림 3 Droop 제어 블록도와 등가 임피던스 산정
Fig. 3 Droop Control Block & Calculation of Virtual Impedance

그림 4에 제안하는 협조적 Droop제어 개념을 나타내었다. Droop곡선은 DC 그리드의 전압과 배터리 SOC에 따라 그림에서 보는바와 같이 A,B,C 세 영역으로 분류된다. 각 Area마다 Droop곡선의 기울기가 변하게 되는데 이는 배터리 감당 전력이 달라지면서 Droop곡선을 형성하는 등가 임피던스가 자동적으로 조정되기 때문이며 각 해당 Area의 등가 임피던스는 그림에 표시하였다. 또한 분산전원들은 DC 그리드 전압 변동률에 의해 각 영역별로 그림에 나타난 협조제어를 수행한다.

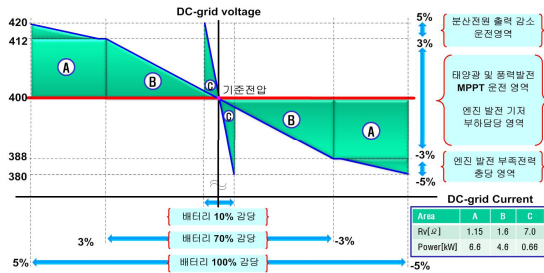


그림 4 협조적 Droop 제어 개념
Fig. 4 Concept of Coordinated Droop Control

배터리 보호를 위한 에너지저장 동작 시퀀스를 그림 5에 나타내었다. 상위 SOC 제한 제어 시퀀스에서는 배터리 SOC에 대한 운용영역을 설정하고 SOC 영역별로 등가임피던스를 조정한다. SOC가 운용범위 내에 있을 경우에는 하위 전력 균형 제어 시퀀스로 들어가게 되고 DC 그리드 전압에 따라 등가임피던스를 조정한다. 이로 인해 Droop 곡선은 DC 그리드에 유입되는 전력과 배터리 SOC에 의해 자동적으로 변경된다.

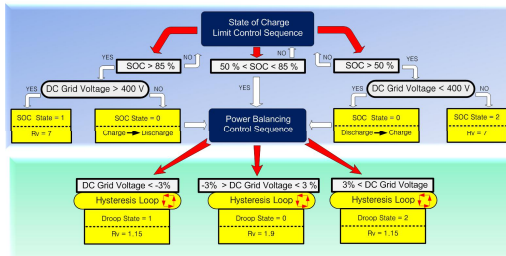


그림 5 에너지 저장장치 동작 시퀀스
Fig. 5 Operation Sequence of Energy Storage

그림 6에 각 컨버터의 제어 블록도를 나타내었다. 분산전원 제어 컨버터는 DC그리드 전압 변동률에 의해 최대출력추종제어 또는 기저부하 담당제어를 수행하거나 협조제어를 수행한다. 부하용 컨버터는 부하에 맞는 전압제어를 수행하며 배터리 컨버터에서는 협조적 Droop제어를 수행한다.

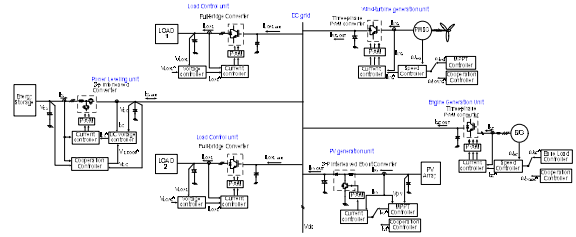
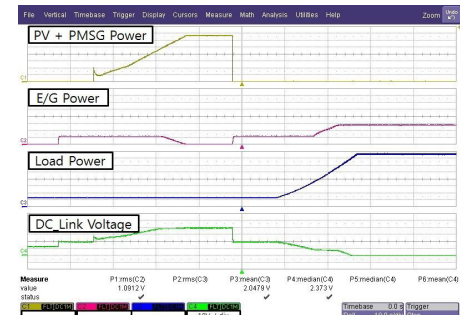


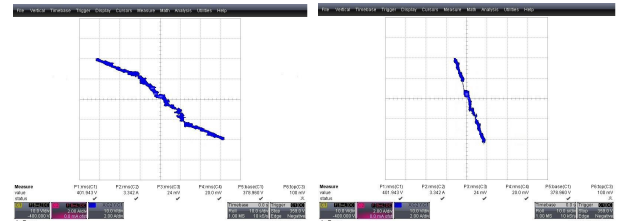
그림 6 컨버터 제어 블록도
Fig. 6 Control Block of Converters

3. 실험을 통한 결과분석

제안하는 기법의 타당성 검증을 위해 하드웨어 시스템을 구축하여 실제적 검증을 수행하였다. 그림 7(a)는 분산전원 출력, 부하 소모전력, DC 그리드 전압을 나타낸다. 분산전원들은 DC 그리드 전압에 따른 협조제어를 수행하며, 부하에는 어떠한 상황에서도 안정적으로 전력이 공급되고 있다. 또한 배터리에서의 협조적 Droop제어에 의하여 DC 그리드 전압이 기준치 $\pm 5\%$ 내에서 제어되면서 DC 그리드의 전력균형을 유지함을 확인하였다. 그림 7(b), (c)는 협조 Droop 곡선과 SOC 보호곡선을 나타내며 제안하는 제어개념과 유사한 결과를 보여준다.



(a) 분산전원 출력, 부하 소모전력, DC 그리드 전압



(b) 협조 Droop 곡선

(c) SOC 보호 Droop 곡선

그림 7 실험 결과
Fig. 7 Experimental Result

4. 결론

본 논문에서는 독립형 마이크로그리드의 신뢰도와 분산전원의 활용도를 향상시키기 위한 협조적 Droop 제어기법을 제안하였다. 동작 특성을 분석하기 위해 6.6kW급 하드웨어 시뮬레이터를 제작하였으며 실험을 통하여 제안하는 협조적 제어기법의 성능을 검증하였다. 제안하는 제어기법을 통해 독립형 마이크로그리드의 높은 전력 신뢰도와 안정성을 얻을 수 있었다.

본 연구는 중소기업청의 산학연 공동기술개발사업(과제 번호:000454680111)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.