

분산전원 세부모델을 적용한 DC Micro-grid의 동작특성 분석

이지현, 권기현, 이혜연, 한병문
 명지대학교

Operational Characteristic Analysis of DC Micro-grid with
 Detail Model of Distributed Generation

Ji-Heon Lee, Ki-Hyun Kwon, Hye-Yeon Lee, Byung-Moon Han
 Myongji Univ.

Abstract - DC 마이크로그리드는 태양광과 연료전지와 같은 DC 출력의 분산전원, 풍력이나 가스엔진과 같은 AC 출력의 분산전원이 이차전지나 수퍼커패시터와 같은 에너지 저장장치와 직류로 결합되어있는 구조로, 최근 급증하고 있는 디지털부하에 고품질, 고신뢰도 전력을 공급하는 새로운 직류배전시스템이다.

본 연구에서는, 먼저 DC 마이크로그리드의 한 시스템 구성을 가정하고, 이들 분산전원과 에너지저장의 컨버터를 제어하는 기법을 제안하였다. 또한 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 사용하여 각각의 분산전원의 세부모델을 구현하고, 이를 DC 마이크로그리드로 구성한 후 분산전원의 생산량, 에너지저장의 저장량, 부하의 소모량, 연계계통의 공급량을 타당한 시나리오로 가정하여 전체 마이크로그리드의 동작을 분석하였다.

1. 서 론

최근 수십 kW 용량의 태양광발전과 풍력발전을 기반으로 하는 소규모전력망에 대한 관심이 급증하고 있다. 이러한 시스템은 기존 배전망과 연계하여 사용하여 효율과 경제성을 확보할 수도 있고, 기존 배전망이 없는 섬이나 산간, 오지 등에 설치하여 운용도 가능하다. 이러한 소규모전력망을 마이크로그리드라 하며 분산전원과 부하를 결합하는 전력망을 AC로 하느냐 DC로 하느냐에 따라 AC 마이크로그리드와 DC 마이크로그리드로 구분할 수 있다. AC 마이크로그리드는 기존의 배전망을 그대로 활용하는 장점을 가지고 있으나, 교류계통의 단점인 동기화, 안정도, 무효전력소모의 문제가 내재되어 있다. 반면에 DC 마이크로그리드는 분산전원이 발생하는 전력을 모두 직류로 변환하여 통합한 후 배전망의 한 점에서 인버터를 통해 연계하는 방식이며 AC 마이크로그리드가 가지는 많은 문제가 발생하지 않는다. 또한 하나의 인버터로 배전망과 연계하여 비용이 낮고, 보호나 감시도 용이한 장점을 갖는다.

본 연구에서는 먼저 각 단일전원에 대한 특성분석을 수행하고 나중에 DC 그리드로 통합하였을 때의 문제점을 해결하였다. 그리고 마이크로그리드 내에서의 시나리오를 정하여 에너지 저장장치의 성능을 검증하고, 에너지 매니지먼트 수행을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 DC 마이크로그리드의 구성

본 연구에서는 그림 1에 보인 것처럼 분산전원으로는 출력조절이 불가능한 풍력발전과 태양광발전, 출력조절이 가능한 연료전지발전으로 구성하였고, 에너지 저장장치는 울트라 캐패시터로 구성하였다. 풍력발전은 회전기를 기반으로 하는 발전장치로 출력이 교류이므로 AC/DC 컨버터에 의해 직류전력으로 변환된다. 태양전지는 출력이 DC 전력으로 모듈의 출력전압이 낮아 부스트

컨버터를 사용하여 일정 직류전압으로 승압시켜 주어야 한다.

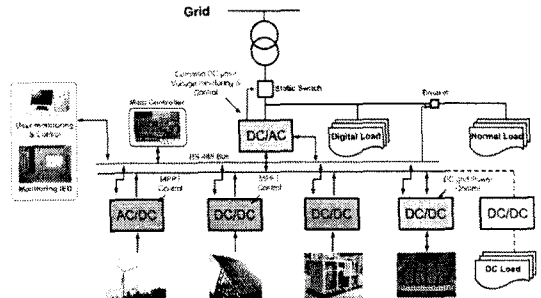


그림 1. DC 마이크로그리드의 구성도

에너지 저장장치는 양방향 DC/DC 컨버터를 통해 충전·방전 동작을 하여 DC 그리드의 에너지를 조절하는 기능을 한다. 연료전지는 출력전압이 낮아서 dc grid에 연결하기 위해선 높은 승압비를 가진 컨버터를 사용하여야 한다. 계통연계인버터는 연계된 배전망에서 공통 DC전압단의 일정전압 제어를 수행하며, 특히 배전망으로 공급하는 전력에 고조파함유율이 낮을 것이 요구된다.

2.2 Energy Management Method

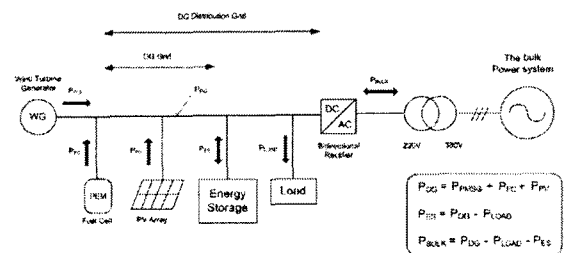


그림 2. 각 구성요소들의 전력흐름도

그림 2는 제안하는 시스템의 각 구성요소들의 전력흐름도이다. 풍력발전기와 연료전지, PV 어레이의 출력전력을 분산전원의 출력 P_{DG} 로 정의한다. 분산전원에서의 출력은 단방향성으로 DC그리드에 전력을 공급하는 주 에너지원의 역할을 담당한다. 에너지 저장장치에서는 DC그리드의 상황에 따라 에너지를 저장하거나 방출한다. DC그리드에서 부하의 소비전력이 분산전원의 출력전력보다 작으면 충전을 하여 에너지를 저장하고, 반대로 부하의 소비전력이 분산전원의 출력전력보다 커지면

방전을 하여 에너지를 방출한다. 일사량이나 풍속이 변하면 분산전원의 출력이 변동하므로 이 때 출력전력이 줄면 에너지 저장장치에서 방전을 하여 전력의 균형을 유지한다.

2.2.1 ES(Energy Storage)

ES는 DC 마이크로그리드의 에너지를 조절하는 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 배터리에 대비하여 고출력의 충·방전이 가능하고 수명이 길며 넓은 작동온도 범위에서 차별성을 가진 UC(Ultra Capacitor)를 사용하였다.

표 1. ES 파라미터 & 전압 제한치

전압제한치	V_{MAX}	V_{MIN}	V_{HIGH}	V_{LOW}
	130[V]	80[V]	125[V]	100[V]
UC 파라미터	용량	내부저항	L_C	L_I
	2[F]	0.1[ohm]	2[mH]	0.1[mH]

ES의 파라미터를 표 1에 나타내었다. UC의 보호를 위하여 전압에 제한치를 두어 범위를 설정하여야 한다. 또한 DC/DC 컨버터의 안전 동작을 위해서 최대, 최소치를 정하고 이를 넘지 않는 선에서 전압제어를 하도록 한다. 전체 시스템의 용량과 UC가 부담할 전력을 검토하여 UC의 용량을 선정하였다. 계통연계운전부터 독립운전에 이행하는 사이에 필요한 전력이 보상을 만큼의 용량만이 필요하다.[1]

전력보상 개시직전의 UC의 단자전압을 V_{before} , 보상 후의 단자전압을 V_{after} , 여기서 필요한 보상시간을 t , 보상할 전력을 P 로 하여 식 (1)을 정의한다.

$$\frac{1}{2} C((V_{before})^2 - (V_{after})^2) = \int_0^t P dt \quad (1)$$

그림 3은 ES를 위한 회로도와 제어기 모델이며, 충·방전을 제어하기 위해 양방향 DC/DC 컨버터를 사용하였다. 동작모드를 살펴보면 먼저, 충전시에 벡모드로 동작하며 최대전압까지 충전이 되면 더 이상 충전하지 않는다. 방전시에는 부스트모드로 동작하며 최소전압까지 방전을 하고 나면 더 이상 방전하지 않는다. ES의 제어기는 DC 마이크로그리드의 메인 컨트롤러에서 내보내는 전력 레퍼런스에 따라 충·방전을 실시한다.

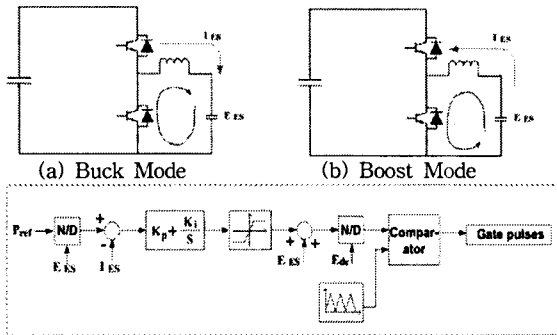


그림 3. ES의 동작모드와 제어블럭도

2.2.2 Control Method

각 구성요소들의 용량과 컨버터들의 제어를 위한 제어블럭도를 그림 4에 나타내었다. 먼저 계통연계 인버터는 AC 측, DC 측으로 전력을 전달할 수 있는 Bidirectional rectifier로서 DC 그리드의 전압을 일정하게 유지해주는

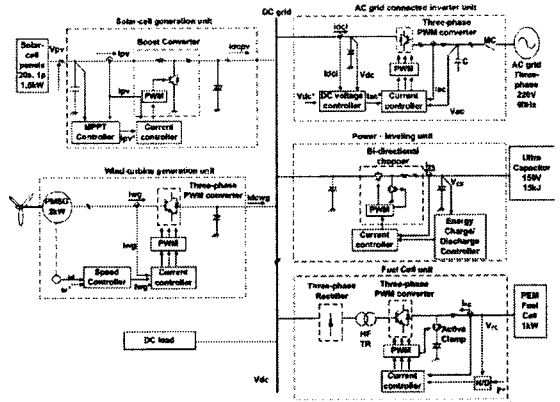


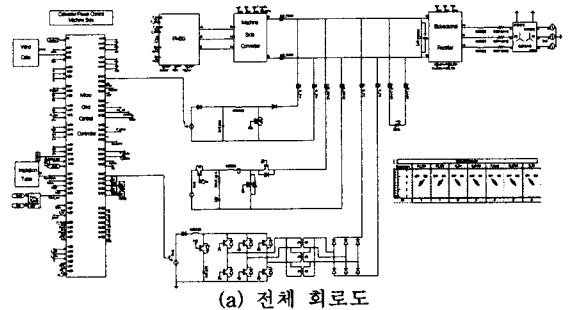
그림 4. 각 구성요소들의 제어블럭도

중요한 역할을 담당한다.

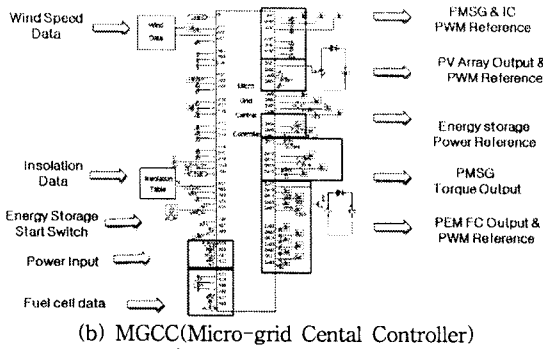
Solar cell Generation Unit은 일사량과 온도에 의해 변동하는 태양전지 어레이의 출력을 DC 그리드에 공급하는 기능을 한다. 모듈 20개를 직렬로 연결하여 어레이를 구성하였고, 최대 1.5kW를 출력한다. 태양전지의 부스트 컨버터는 일반적인 컨버터와 다르게 컨버터의 출력단을 조절하는 것이 아니고, 입력단을 조절하는 기능을 하며 태양전지의 출력특성상 최대 출력을 내기 위해서 MPPT(Maximum Power Tracking)제어를 해주어야 한다. 본 연구에서는 P&O기법을 적용하였다. 다음은 풍력발전기 부분이다. 발전기는 DC배전에 적합한 영구자석형 동기발전기를 사용하였으며 발전기의 출력은 2kW이다. Wind Turbine Generation Unit은 풍속에 따라 가변하는 출력에 대해 최대 출력을 내기위해서 MPPT제어를 수행한다. 각속도가 일정하도록 전류제어를 하면, 람다가 일정하게 유지되어 블레이드의 출력계수가 최대로 되므로 기계적 출력은 최대가 된다.[2] 연료전지는 PEMFC를 사용하며, 용량은 1kW이다. 연료전지의 특성상 출력전압이 낮아서 DC 그리드에 연결하기 위해선 컨버터의 승압비가 높아야 한다. 일반 부스트컨버터는 승압의 한계가 있으므로 고주파변압기를 연결한 3상 전류형 DC/DC 컨버터를 사용하였다. 본 연구에서 연료전지의 출력은 최대치인 1kW로 일정하도록 설정하였다.

2.3 Operation Analysis

앞서 말한 내용들을 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 사용하여 분석하였다. 각 분산전원을 모의하기 위해 시뮬레이션 내부에 수식과 모형을 이용하여 구현하였다. 태양전지와 연료전지는 본래의 특성수식을 이용하여 구현하였으며, 영구자석형 동기발전기는 소프트웨어 라이브러리에서 제공하는 동기발전기를 응용하였다. 태양전지와 풍력발전기에서의 전력은 변하는 일사량과 풍속을 출력하기 위해서 테이블에 데이터로 저장하여 가변시켜 주었다.



(a) 전체 회로도



(b) MGCC(Micro-grid Central Controller) 그림 5. 시뮬레이션 회로도

그림 5의 (a)는 시뮬레이션 회로도이다. 왼쪽 위부터 풍력발전기, PV Array, ES, 연료전지이고 오른쪽에 계통 연계형 인버터를 통해 계통에 연결하였다. 부하는 하루의 평균적인 데이터를 기준으로 테이블을 작성하였으며, 일반적인 저항부하로 모의하였다. (b)는 시스템의 메인 컨트롤러로서, 마이크로그리드의 모든 운영을 통괄하며, 각 파트별로 표기한 테로 역할을 수행하는 기능을 한다. 그림 6은 성능 분석을 위해 작성한 시나리오 Flow Chart이다. ES의 전압은 상한과 하한사이를 유지하면서, 계속 동작한다. 만약 P_{DG} 가 P_{LOAD} 보다 크면 ES는 충전모드로 동작을 하고, 부하가 증가하거나 또는 분산전원 출력의 합이 감소하여 P_{LOAD} 가 P_{DG} 보다 크면, ES는 방전모드로 동작한다. 이때 충전하거나 방전하는 전력은 $P_{DG}-P_{LOAD}$ 이다. 이런 상황에서는 계통으로부터의 전력수급이나 공급은 없다.

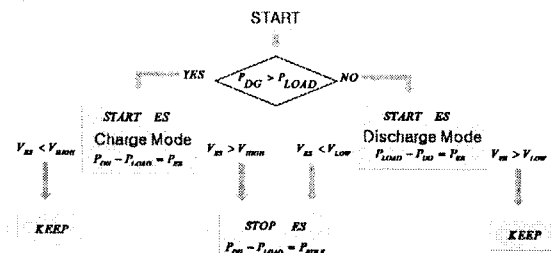
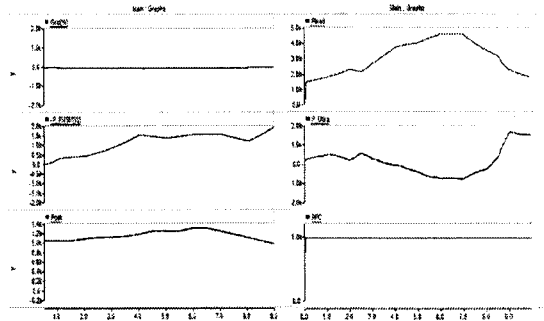


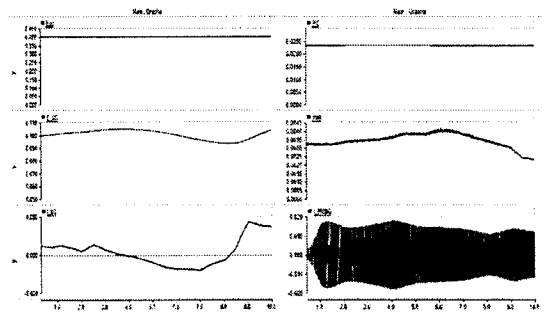
그림 6. Scenario Flow Chart

그림 7은 시뮬레이션 분석 결과 파형이다. (a)그래프는 각 구성요소들의 전력파형이다. 먼저 분산전원들의 출력을 보면 변동을 주기위해 만든 테이블 데이터에 따라 출력특성이 잘 반영되고 있으며 컨버터에서 MPPT제어를 이상 없이 수행함을 확인 할 수 있다. 분산전원들의 전력의 합이 부하보다 클 때에 남는 전력은 에너지 저장장치에 충전이 되고 부하의 전력이 분산전원의 전력보다 크면, 에너지 저장장치에서 방전하여, 모자라는 에너지를 공급한다. 부하의 전력이 줄어들면 잉여전력은 다시 에너지 저장장치에 충전된다. (b)그래프는 전압과 전류의 결과 파형이다. 시뮬레이션 동안에 DC그리드의 전압은 400V 레벨로 일정하게 제어되고 있으며 UC의 전압은 리미트를 넘지 않는다. 공통 DC그리드의 전압은 PV Array의 출력전압과 데이터 센터의 전압공급 레벨을 고려하여 설정하였다.[3] 연료전지는 일정한 전류출력을 내며, PV와 풍력발전기측에서는 변하는 일사량과 풍속에 대해 MPPT제어를 수행하고 있다. UC의 전류를 보면 양의 구간과 음의 구간이 있는데 충전하는 방향을 양으로 하였다. 전반적으로 방전되거나 충전되는 상황에서도 각 구성요소에 이상이 발생하지 않

는 안정적인 시스템을 확인 할 수 있다.



(a) Power Graph



(b) Voltage & Current Graph 그림 7. 시뮬레이션 결과 파형

3. 결 론

본 연구에서는 각 분산전원의 출력특성을 반영하여 출력변동시의 DC 마이크로그리드안의 에너지 제어를 위한 기본시스템 구축을 위해 다양한 시나리오를 가정하여 전체 DC 마이크로그리드의 동작을 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 사용하여 분석하였다. 시뮬레이션에 의한 연구 결과를 통해서 DC 마이크로그리드의 특성상 간단한 제어기법을 통하여 부하에 고품질의 전력 공급이 가능하고 원활한 제어가 가능함을 알 수 있었다. 향후 이번 분석을 기반으로 하드웨어 축소모형을 개발하여 실제적인 타당성을 거칠 계획이다.

[참 고 문 헌]

[1] Kakigano, H., Miura, Y., Ise, T., Uchida, R., "DC Micro-grid for Super High Quality Distribution - System Configuration and Control of Distributed Generations and Energy Storage Devices -", Power Electronics Specialists Conference, 2006. PESC '06. 37th IEEE, Page(s):1 - 7, 18-22 June 2006
 [2]Biczal, P., "Power Electronic Converters in DC Microgrid", Compatibility in Power Electronics, 2007. CPE '07, Page(s):1 - 6, May 29 2007-June 1 2007 [2]
 [3] Pratt, A., Kumar, P., Aldridge, T.V., "Evaluation of 400V DC distribution in telco and data centers to improve energy efficiency", Telecommunications Energy Conference, 2007. INTELEC 2007. 29th International, Page(s):32 - 39, Sept. 30 2007-Oct. 4 2007