

# 디젤 발전기 연료소모와 배터리의 충전상태를 고려한 분산 전원 시스템에서의 운전 전략

이경규\*, 기디언\*, 최재호\*, 송유진\*\*  
충북대학교\*, 한국에너지기술연구원\*\*

## Hybrid Energy System Control Strategy Considering Fuel Consumption of Diesel Generator and State of Charge(SOC) of Battery

Kyungkyu Lee\*, NIYITEGEKA GEDEON\*, Jaeho Choi\*, Yujin Song\*\*  
Chungbuk National University\*, Korea Institute of Energy Research\*\*

### ABSTRACT

본 논문은 디젤발전기, 태양광, 에너지 저장장치로 구성 된 마이크로 그리드 시스템에서의 효율적인 운전 제어 전략을 제안한다. BSFC(Brake Specific Fuel Consumption)맵을 기반으로 디젤발전기의 운전을 최적지점에서 일정하게 운전을 하고 부하의 변화는 에너지 저장장치의 충/방전으로 보상한다. 또한 에너지 저장장치의 안정적인 운전을 위해 에너지 저장장치의 SOC(State Of Charge)를 고려한 제어전략을 사용한다. SOC가 일정 범위를 벗어나게 되면 에너지 저장장치가 부하의 변동에 충분히 보상해주지 못하는 경우가 발생하기 때문에 이를 고려해 운전함으로써 부하에 신뢰성 있는 안정적인 전원을 공급할 수 있게 한다. 제안된 마이크로 그리드 운전 제어 전략은 PSiM 시뮬레이션을 통해 검증되었다.

### 1. 서론

기존의 전력 시스템은 발전된 전력을 소비자에게 전달하는 단방향 구조였지만 마이크로 그리드는 기존의 전력시스템과 상호 보완적인 관계를 가지며 국소 발전 및 양방향 전력 교환이 가능하기 때문에 최근 많은 연구가 이루어지고 있다. 이러한 마이크로 그리드는 여러 분산전원과 에너지 저장장치를 이용하여 부하로 전력을 공급하는 구조로 구성되어 있다. 이 시스템은 계통 연계운전, 독립운전 두 가지로 구분될 수 있다. 도서 및 산간 지역의 경우 기존의 배전 선로를 통해 전력을 공급하기엔 비용 및 여러 기본적인 문제 등이 많기 때문에 마이크로 그리드의 독립 운전을 사용하게 된다. 여기서 디젤발전기를 주 전원으로 사용이 되는데 이 때 발생하는 환경문제 및 시스템 효율로 인해 신재생 에너지원 및 에너지 저장장치들로 시스템을 구성하게 된다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서는 디젤발전기, 태양광발전, 에너지 저장장치로 구성된 시스템에서의 모델링 및 효율적인 운전 전략을 제안한다. 각 분산전원들의 모델링은 PSiM의 라이브러리를 이용하여 모델링 하였다. 시스템 운전 전략은 먼저 BSFC맵을 근거로 디젤발전기를 정전력에서 지속적인 운전을 하게하여 연료 소모를 최소화 하고 부하의 변화는 에너지 저장장치를 통해 보상을 하였다. 또한 에너지 저장장치의 SOC를 고려해 운전함으로써 부하가 요구하는 전력을 안정적이고 지속적으로 공급할 수 있는 시스템을 제안된 제어전략을 이용해 PSiM으로 시뮬레이션 하여 검증하였다.

### 2. 시스템 구성

본 논문에서 구성한 분산전원 시스템은 그림 1과 같다. 디젤 발전기를 주 전원으로 하고 태양광 발전시스템과 에너지 저장 장치가 컨버터를 통해 하나의 인버터로 연결이 되어있고, 그 인버터가 ac bus에 연결되어 있는 구조이다.

디젤발전기는 PSiM 라이브러리의 DC 모터와 동기 발전기로 구성되었다. 제어기는 일반적인 조속기와 여자기로 구성되어 있다.

태양광 발전시스템은 PSiM 라이브러리의 Solar Module을 사용하였으며 3상 인터리브드 부스트 컨버터를 이용하여 일반적인 P&O방식의 MPPT제어를 수행한다.

에너지 저장장치는 배터리와 슈퍼커패시터로 구성되어있고 하프 브릿지 dc/dc 컨버터를 통해 연결되어있다. 배터리의 모델은 PSiM 라이브러리의 배터리 모델을 사용했다. 슈퍼 커패시터는 3개의 전송라인으로 구성 되었고, 각각 저항과 가변 커패시터로 이루어져있다. 첫 번째 전송라인의 저항과 커패시턴스가 슈퍼 커패시터 전체의 저항과 커패시턴스를 나타내게 된다. 에너지 저장장치 측의 컨버터가 태양광 발전시스템과의 dc link 전압제어를 수행한다.

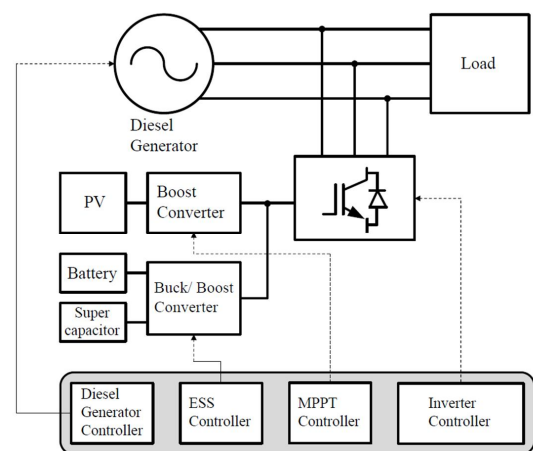


그림 1 분산전원 시스템의 구성  
Fig. 1 Configuration of hybrid energy system

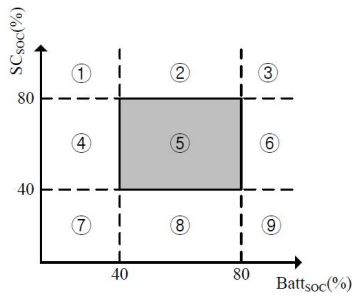


그림 2 에너지 저장장치의 SOC  
Fig. 2 SOC of energy storage system

### 3. 시스템 제어 전략

#### 3.1 디젤발전기의 운전 전략

디젤발전기의 운전전략은 앞서 서술한 것과 같이 BSFC맵을 근거로 연료 소모 효율이 최적인 지점에서 정전력 운전을 하고 변화하는 부하의 요구전력은 에너지 저장장치가 보상을 하는 것이다. 하지만 에너지 저장장치의 SOC가 부족하거나 남을 경우 디젤발전기의 출력을 변화하는 방식으로 운전한다.

#### 3.2 에너지 저장장치의 운전 전략

에너지 저장장치의 제어전략은 기본적으로 정전력 운전하는 디젤발전기의 부족하거나 남는 전력에 대해 충/방전을 통해 보상해주는 방식이다. 배터리와 슈퍼커패시터의 연계운전으로 배터리의 수명을 늘릴 수 있는 장점이 있고 빠른 응답특성을 가질 수 있다. 에너지 저장장치가 보상하는 전력은 로우패스 필터를 통해 고주파 성분은 슈퍼커패시터가 그 외의 성분은 배터리가 부담을 한다.

본 논문에서는 배터리와 슈퍼커패시터의 안정적인 동작범위를 임의로 40~80%로 정했다. 이 범위는 시스템 구성 시 여러 요인에 의해 바뀔 수 있다. 배터리와 슈퍼 커패시터의 SOC는 그림 2와 같이 구분할 수 있다. 여기서 ⑤가 배터리와 슈퍼 커패시터의 SOC가 설정한 범위 안에 있는 경우이다. 이 때 에너지 저장장치는 안정적으로 운전할 수 있다. 범위 외의 ①,②,④,⑥,⑧,⑨의 경우에는 배터리와 슈퍼커패시터간의 연계 운전으로 서로 전력을 주고받으며 안정한 ⑤영역으로 들어갈 수 있도록 제어한다. ③영역의 경우 배터리와 슈퍼 커패시터의 SOC가 모두 초과됨으로 디젤발전기의 출력을 낮추고 에너지 저장장치의 방전량을 증가 시켜 에너지 저장장치의 충전상태를 안정한 상태가 되도록 한다. 그와 반대로 ⑦영역은 디젤발전기의 출력을 높여 남는 전력을 에너지 저장장치의 충전에 이용한다.

### 4. 시뮬레이션

시뮬레이션의 조건은 먼저 디젤발전기는 평균 발전량 10kW, 태양광 발전시스템 10kW, 평균 부하량은 20kW이고 14~26kV로 변화한다. 배터리는 lithium polymer 3.7V, 40Ah, 80개를 직렬로 연결했고 슈퍼 커패시터는 165F, 2.5V, 500개를 직렬로 연결했다. 시뮬레이션 결과를 보면 부하의 변동에도 디젤발전기는 정전력으로 운전하는 것을 확인할 수 있고 에너지 저장장치의 충/방전을 통해 부하가 요구하는 전력을 공급할 수 있게 한다. 안정적인 전력 공급으로 출력 측의 3상 전압과 주파수 역시 안정적인 것을 확인할 수 있다. 고려한 SOC역시 안정적인 범위 내에서 운전하는 것을 알 수 있다.

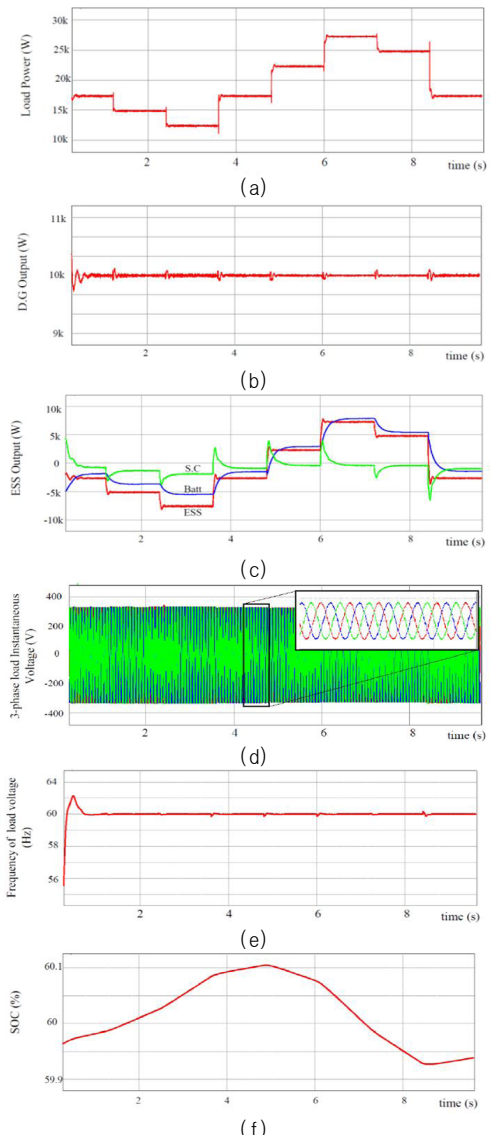


그림 3 시뮬레이션 결과 : (a) 부하 요구 전력, (b) 디젤발전기 출력, (c) 에너지저장장치 출력, (d) 부하3상전압, (e) 부하 전압 주파수, (f) 배터리 SOC

Fig. 3 Simulation results

### 5. 결론

본 논문에서는 분산전원 시스템에서의 효율적인 제어전략을 제안하였다. 디젤발전기를 최적 연료 소모 지점에서 정전력 운전을 하고 부하의 변화에 따른 요구 전력은 에너지 저장장치를 통해 보상을 하였으며 에너지 저장장치의 SOC에 따라 디젤 발전기의 출력을 변화시켜 부하로의 전력공급이 안정적으로 이뤄질 수 있도록 하였다.

이 논문은 한국 에너지 기술연구원의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

[1] S. Mishra, D. Ramasubramanian, and P. C. Sekhar, "Seamless Control Methodology for a Grid Connected and Isolated PV Diesel Microgrid," IEEE Trans on Power Electron, vol. 28, no. 4, pp. 4338-4344, 2013.