

# 독립형 마이크로그리드에 적용되는 디젤발전기의 제어 및 해석

이우종, 신규범, 차한주  
충남대학교

## Control and Analysis of Diesel Generator in Stand-Alone Microgrid

Wujong Lee, Gyubeom Shin, Hanju Cha  
Chungnam National University

### ABSTRACT

본 논문에서는 독립형 마이크로그리드에 적용되는 디젤발전기의 동작을 해석하고 디젤발전기의 실제 시스템에 대하여 고려한 모델링 및 제어에 대하여 서술한다. D Q축의 임피던스가 서로 다른 돌극형 디젤발전기로, 제어는 조속기와 여자기로 나뉘며 엑추에이터, 디젤엔진, 그리고 여자기의 응답속도를 고려하여 모델링하였다. 조속기는 주파수를 60Hz로 유지하고 유효전력을 지령치만큼 발전한다. 여자기는 전압을 380V<sub>LL</sub>로 유지하고 무효전력을 0으로 만드는 제어를 수행한다. 본 논문에서는 독립형 마이크로그리드에 적용되는 50kVA 디젤발전기의 조속기와 여자기를 모델링 및 제어하고 MATLAB/Simulink를 통해 디젤발전기의 동작을 해석하여 독립형 마이크로그리드에서의 운전 타당성을 증명하였다.

### 1. 서 론

도서(섬)지역이나 산간 오지의 경우 기존 배전선로를 통하여 전력을 공급하기에 물리적으로 불가능하거나 비용이 너무 많이 소요되기 때문에 디젤발전기 등을 이용하여 자체적으로 전력을 공급해 오고 있다. 디젤발전기는 낮은 효율과 최근 환경오염 및 연료비 상승의 문제점을 해결하기 위해 태양광발전, 풍력발전, 에너지 저장장치(ESS) 등으로 구성된 소규모 전력공급 시스템인 독립형 마이크로그리드에 대한 연구가 지속되고 있고, 또한 설치하여 운전되고 있는 지역도 있다.

독립형 마이크로그리드는 기존의 디젤발전기에 신재생에너지원, 에너지 저장장치를 결합하여 운전되는 시스템으로 평상시에는 신재생에너지원이나 ESS를 통해 부하에 전력을 공급하여 디젤발전기의 부담을 줄여주는 운영방안을 채택하고 있다. 하지만 비상시 디젤발전기를 전원으로 사용하기에 디젤발전기의 동작 해석<sup>[1]</sup>과 올바른 제어기의 모델링<sup>[2][3]</sup>이 필요하다.

2장에서는 디젤발전기에 대한 해석 및 모델링, 그리고 제어에 대한 내용을 서술하고 MATLAB/Simulink 시뮬레이션을 통하여 50kVA 디젤발전기의 동작을 확인한다.

### 2. 디젤발전기 해석 및 모델링

기존의 도서(섬)지역에서는 디젤발전기에서 주전원을 생성하여 전력을 공급하는 방식이었지만, 독립형 마이크로그리드를 적용함에 따라 배터리 에너지 저장장치(BESS)에서 주전원을 생성한다. 독립형 마이크로그리드 구성은 그림 1과 같이 BESS와 디젤발전기로 전력원이 구성되고 두 시스템을 통해 부하에 전력을 공급한다.

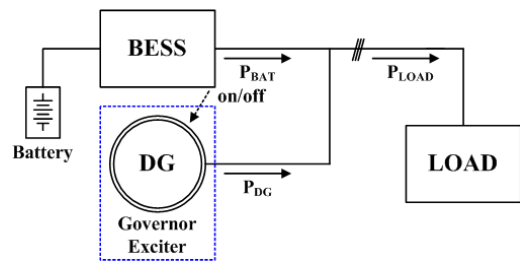


그림 1 독립형 마이크로그리드 구조  
Fig. 1 Configuration of Stand-alone Microgrid

### 2.1 디젤발전기 해석

디젤발전기는 동기기로 구성되고 동기기의 수식을 바탕으로 해석한다. 디젤발전기 고정자의 3상 전압은 자속으로 표현되고 고정자 저항  $R_a$ 와 상호 임피던스  $X_{ad}$ 로부터 계자전류  $i_{fd}$ 는 식(1)~(3)과 같이 정상상태에서 표현된다.

$$e_d = -\omega_r \psi_q - R_a i_d = -X_q i_q - R_a i_d \quad (1)$$

$$e_q = \omega_r \psi_d - R_a i_q = -X_d i_d + X_{ad} i_{fd} - R_a i_q \quad (2)$$

$$i_{fd} = \frac{\psi_d + L_d \dot{i}_d}{L_{ad}} = \frac{e_q + R_a i_q + X_d i_d}{X_{ad}} \quad (3)$$

전기자의 전압 및 전류 관계는 그림 2와 같다.  $\phi$ 는 전압과 전류의 위상차이로 유무효전력의 역할과 관계되고,  $\delta_i$ 는 Rotor angle 또는 Load angle로 동기발전기에서의 유효전력에 영향을 준다.  $\delta_i$ 는 식(4)로부터 얻을 수 있고 이는 주파수의 변화량과 같다. ( $\delta_i = \Delta\omega_r t$ )

$$\delta_i = \tan^{-1} \left( \frac{X_q I_t \cos \phi - R_a I_t \sin \phi}{E_t + R_a I_t \cos \phi + X_q I_t \sin \phi} \right) \quad (4)$$

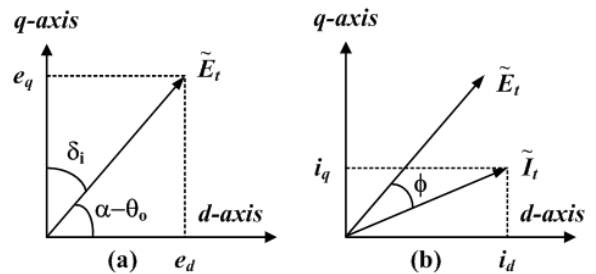


그림 2 전기자 전압 및 전류

Fig. 2 Representation of armature voltage and current  
동기발전기 출력  $P, Q$ 는 역률로서 계산되기도 하지만 동기발전기 파라미터로부터 예측 또는 계산된다. 모델링하고자 하

는 50kVA 동기발전기는 돌극형으로 d축과 q축의 임피던스가 다르기 때문에 임피던스간의 다른 부분을 고려하여 식 (5)(6)으로 디젤발전기의 출력을 계산한다.

$$P = E_t I_t \cos \phi = \frac{E_t}{X_q} (X_{ad} i_{fd} - (X_d - X_q) i_d) \sin \delta_i \quad (5)$$

$$Q = E_t I_t \sin \phi = \frac{1}{X_d} [E_t (X_{ad} i_{fd} - (X_d - X_q) i_d) - E_t^2] \quad (6)$$

## 2.2 디젤발전기 모델링

일반적인 디젤발전기는 조속기와 여자기로 구분되어 동작하며, 독립형 마이크로그리드에 적용되는 50kVA 디젤발전기는 평상시 BESS와 병렬운전하여 전력공급만을 담당한다. 하지만, BESS가 동작하지 못하는 경우에는 디젤발전기가 전원을 공급하는 CVCF(constant voltage constant frequency)로 동작한다.

조속기에서는 주파수를 60Hz로 유지하는 주파수제어기와 지령치에 따른 발전량을 제어하는 유효전력제어기로 이루어져 있다. 실제의 디젤발전기의 액추에이터( $\tau_2$ )와 엔진동작( $\tau_1$ )를 고려하여 그림 같이 조속기를 모델링된다. 여자는 디젤발전기 출력전압을  $380V_{LL}$  유지하도록 제어하는 전압제어기와 무효전력을 0으로 보상하는 무효전력제어기로 구성되고 여자기의 동작딜레이( $\tau_e$ )를 고려하여 그림 4와 같이 모델링된다.

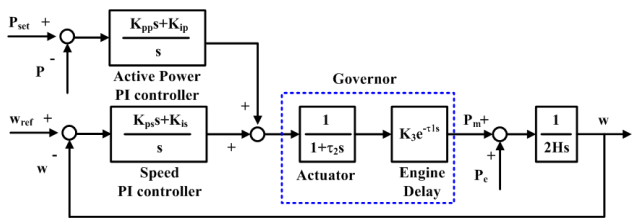


그림 3 조속기 제어기 모델링

Fig. 3 Governor controller modeling

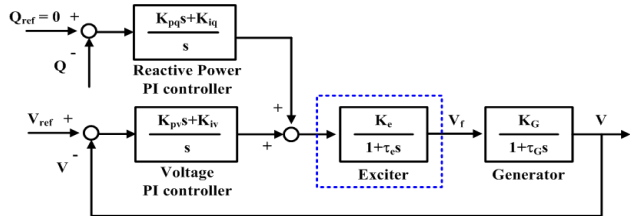


그림 4 여자기 제어기 모델링

Fig. 4 Exciter controller modeling

## 3. 시뮬레이션

MATLAB/Simulink를 기반으로 독립형 마이크로그리드에 적용되는 디젤발전기를 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션에 적용한 파라미터는 실제의 50kVA 디젤발전기 파라미터를 근거로 적용하고 파라미터는 표1과 같다. 디젤발전기는 BESS와의 위상각을 고려하여 두 시스템의 위상각 차이가  $10^\circ$  이하일 때 연결된다.

그림 5와 6은 디젤발전기 유효전력 지령이 40sec 순간에 0W에서 50kW로 입력되었을 때의 시뮬레이션 결과이다. 그림 5는 무효전력제어가 없는 경우로 무효전력 보상이 이루어지지 않았기 때문에 43sec 이후 디젤발전기 정격보다 더 크게 발생한다. 무효전력의 영향에 의해 유효전력도 지령치에 따른 제어가 되지 않는다. 무효전력제어기를 추가한 그림 6은 유효전력이 0W에서 50kW로 3sec의 추종시간을 가지며 이후 올바르게 추종하고, 무효전력 또한 0으로 유지한다. 지령치가 변하는 순간 3kVar 만큼의 무효성분이 발생하지만 제어기에 의해 약

표 1 디젤발전기 파라미터

Table 1 Parameter of Diesel Generator

정격용량	50kVA	$X_d$	2.209pu
정격전압	$380V_{LL}$	$X_q$	1.047pu
$\tau_1$	0.25sec	$X_{ad}$	1pu
$\tau_2$	0.2sec	$R_a$	0.0495pu
$\tau_e$	0.046sec		

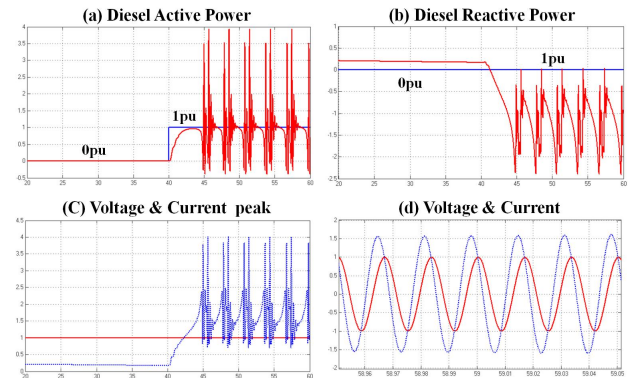


그림 5 무효전력제어가 없는 시뮬레이션 결과

Fig. 5 Simulation results without reactive power control

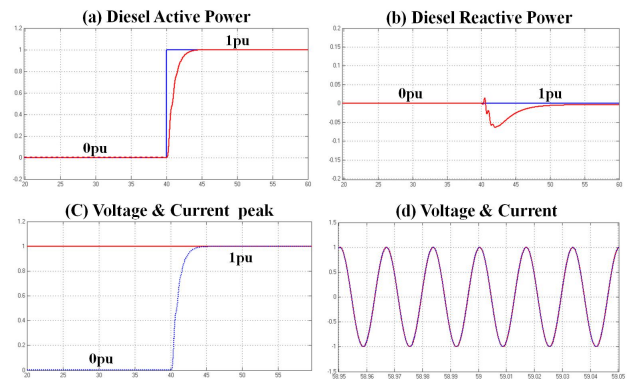


그림 6 무효전력제어가 포함된 시뮬레이션 결과

Fig. 6 Simulation results with reactive power control

sec 이내에 0으로 추종되고 역률도 1로 유지되며 전압과 전류의 위상이 동일함을 확인할 수 있다. 식 (5)(6)을 이용한 디젤발전기 전력의 수식적인 해석에 따르면 P와 Q는 50.014kW, 1.5kVar로 무효전력은 3% 계산되지만 측정의 오차에 의한 결과로 시뮬레이션 결과와 수식해석의 값이 일치한다.

## 4. 결론

본 논문은 독립형 마이크로그리드에 적용되는 디젤발전기의 동작을 해석하고 모델링하였다. 실제의 액추에이터, 엔진, 여자기를 고려하여 50kVA 디젤발전기를 모델링하고 MATLAB/Simulink로 동작을 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] Prabha Kundur, "Power System Stability and Control" Electric Power Research Institute.
- [2] Ahmad Darabi, Colin Tindall, and Stuart Ferguson, "Finite Element Time Step Coupled Generator, Load, AVR, and Brushless Exciter Modeling" IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.19, No.2, June 2004.
- [3] S.Mishra, D.Ramsasubramanian and P.C.Sekhar, "A Seamless Control Methodology for a Grid Connected and Isolated PV Diesel Microgrid", IEEE Trans. on Power System, Vol.28, No.4, November, 2013.